

Sociedades Rurales

Producción y Medio Ambiente



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



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD XOCOMILCO

30

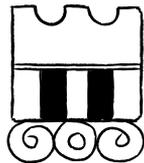
diciembre 2015

Sociedades Rurales

Producción y Medio Ambiente

Sociedades Rurales

Producción y Medio Ambiente



Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD XOCHIMILCO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Rector General
Dr. Salvador Vega y León

Secretario General
M. en C. Q. Norberto Manjarrez Álvarez

UNIDAD XOCHIMILCO

Rectora
Dra. Patricia E. Alfaro Moctezuma

Secretario
Lic. Guillermo Joaquín Jiménez Mercado

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

Director
Mtro. Rafael Díaz García

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

Director de la revista
Adolfo Álvarez Macías

Comité editorial

Encarnación Aguilar Criado, Universidad de Sevilla
Benjamín Ortiz Espejel, Universidad Iberoamericana,
Campus Puebla

Raquel Marbán Flores, Universidad Complutense

Luis Amado Ayala Pérez, UAM-X

Dan Badulescu, British Columbia University, Canadá

José Alfredo Cesín Vargas, UAER, UNAM

J. Charles Donato Rendón, Universidad Nacional de Colombia

Antonio Flores Macías, UAM-X

Rey Gutiérrez Tolentino, UAM-X

Germán Mendoza Martínez, UAM-X

Raúl Moreno M., Consultor Internacional Costa Rica

Mario Noa Pérez, Universidad de Guadalajara

María Teresa Núñez Cardona, UAM-X

Guadalupe Prado Flores, UAM-X

Guillermo Téllez, Universidad de Arkansas

Jorge Ignacio Servín Martínez, UAM-X

Juan Ku Vera, Universidad de Yucatán

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

Corrección
D. C. G. Amada Pérez¹

SOCIEDADES RURALES, PRODUCCIÓN Y MEDIO AMBIENTE. Año 2015, número 30, julio-diciembre de 2015, es una publicación semestral de la Universidad Autónoma Metropolitana, a través de la Unidad Xochimilco, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Departamento de Producción Agrícola y Animal. Prolongación Canal de Miramontes 3855, Col. Ex-Hacienda San Juan de Dios, Delegación Tlalpan, C.P. 14387, México, D.F., y Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud, Delegación Coyoacán, C.P. 04960, México, D.F., Tel. 54837231 y 54837230. Página electrónica de la revista: <http://srpma.xoc.uam.mx> y dirección electrónica: aalvarez@correo.xoc.uam.mx Editor Responsable Adolfo Álvarez Macías. Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título No. 04-2011-081214583100-203, ISSN 2007-7556, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: Mary Carmen Martínez Santana, asesor externo, correo: macma_577@hotmail.com, fecha de última modificación: 11 de diciembre de 2015. Tamaño del archivo 1700 KB.

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

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

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

© 2000, Universidad Autónoma Metropolitana, D.R.

Índice

Editorial	9
Política de la revista	15
ARTÍCULOS CIENTÍFICOS	
Sistemas agroforestales para la adaptación al cambio climático en el área protegida La Frailescana, Chiapas, México <i>Martin Laurenceau y Lorena Soto Pinto</i>	19
Ganadería y cambio climático: Avances y retos de la mitigación y la adaptación en la frontera sur de México <i>Guillermo Jiménez Ferrer, Lorena Soto Pinto, Esaú Pérez Luna, Juan Carlos Kú Vera Armin Ayala Burgos, Gilberto Villanueva López, Armando Alayon Gamboa</i>	51
Componentes de un sistema efectivo de adaptación al cambio climático: lecciones de las comunidades forestales de México <i>Francisco Chapela Mendoza y Fernando Ruiz Noriega</i>	71

Efectos potenciales del cambio climático en los recursos forestales. La sabanización de las regiones continentales de México <i>Cuahtémoc Sáenz Romero</i>	91
Hongos entomopatógenos y sus metabolitos, una alternativa sustentable para el control de plagas en viveros forestales y agricultura protegida: caso <i>Bradysia impatiens</i> (Johannsen) <i>Victor Hugo Marín Cruz, Silvia Rodríguez Navarro, Juan Esteban Barranco Florido, David Cibrián Tovar</i>	111
Intensificación agrícola, prácticas sociotécnicas e impactos ecológicos y sociales en El Bajío <i>Hermilio Navarro Garza, Diego Flores Sánchez, Ma. Antonia Pérez Olvera y Luz María Pérez Hernández</i>	135
Capacidad adaptativa de actores locales al cambio climático en geografías periurbanas en Latinoamérica. Notas conceptuales-metodológicas para su estudio <i>Pablo Torres Lima, Kristen Conway Gómez y Octavio Ahuitz Reyes Rivera</i>	161
RESEÑA	
El hombre de hierro. Límites sociales y naturales del capital en la perspectiva de la gran crisis <i>Tamara Perelmuter</i>	193
Guía de autores	205

Editorial

Este número está dedicado a analizar la relación entre la agricultura y el cambio climático. Hemos considerado oportuno que SRPMA enfocara su esfuerzo editorial a producir un número sobre esta temática, convocando para tal efecto a miembros de la comunidad académica de nuestro país que en la actualidad llevan a cabo proyectos de investigación y de desarrollo sobre este tema. La respuesta de la comunidad ha sido muy positiva, pues tenemos siete miradas particulares sobre cambio climático y agricultura. Al reunir estas contribuciones esperamos que el público lector del sector académico, gubernamental y privado se pueda beneficiar de los enfoques, objetivos, métodos y resultados alcanzados por los diversos grupos de investigación. En esta ocasión pudimos integrar un trabajo basado en las acciones de asociaciones civiles que hacen un trabajo muy importante acompañando a las comunidades rurales que buscan un mejor escenario de bienestar. Es deseable que en el futuro este trabajo de acompañamiento del sector social de México, y de otros países en condiciones similares, sea fruto de la colaboración entre múltiples actores que buscan apoyar, asesorar y fortalecer al sector en donde se concentra la marginalidad y la pobreza en el país. México tiene la particularidad de que sus recursos naturales de bosques y pastos se insertan en un sistema de usufructo a cargo de los ejidos y comunidades. De ahí la importancia de que estas comunidades reciban no sólo los apoyos gubernamentales en forma de subsidios, sino también en la modalidad de capacitación.

Resalta en todas las contribuciones de este número la intención de que las intervenciones de actores externos puedan materializarse en el desarrollo de *capacidades locales* orientadas al desarrollo de conocimientos, cultura ecológica, social y de género en el seno de las comunidades. Con más capacidades locales las producciones y las actividades podrán reflejarse en mayores ingresos monetarios y en mayores capacidades de inversión en obras sociales.

México se ha integrado a los procesos de adaptación y mitigación del cambio climático a través de los acuerdos internacionales. Para los sectores agropecuario, pesquero y alimentario existen diagnósticos nacionales sobre los efectos potenciales del cambio climático y sobre la contribución de las actividades en materia de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Aunque de difícil cumplimiento, la firma de tales acuerdos implica el compromiso de reducción de importantes cantidades de GEI y de balances positivos que conlleven a la acumulación de carbono en la vegetación y en los suelos. En medio de esta preocupación no debe olvidarse que las tecnologías de manejo que se propongan en las diferentes regiones, deberán considerar que la producción de alimentos suficientes por las comunidades es una meta que sobresale por encima de las demás.

El propósito del número fue reunir el trabajo en curso de especialistas que aportan miradas diferentes sobre cómo el cambio climático afectará las actividades productivas, y lo que deberá hacerse para adaptarse al cambio ambiental. Los trabajos recibidos y aceptados abarcan el sector forestal, ganadero y agrícola, sin dejar de lado la preocupación por la alimentación de la población rural y nacional. Enseguida se examinan cada uno de los trabajos que componen este número.

En *Sistemas agroforestales para la adaptación al cambio climático en el área protegida La Frailescana (Chiapas)*, artículo de Laurenceau y Soto-Pinto, se recogen resultados sobre experiencias de manejo de recursos maderables asociados a la producción de maíz en tres comunidades rurales que se encuentran dentro de un área protegida en Chiapas. Los árboles

maderables se convierten, por un lado, en una fuente de ingresos adicionales para las unidades familiares y, por otro, se garantiza la producción de maíz y frijol, misma que es la base de la alimentación de las familias. Ambos sistemas de producción contribuyen con el almacenamiento de carbono en el ecosistema, con lo cual se responde positivamente a los objetivos de adaptación y mitigación al cambio climático en comunidades altamente vulnerables a cambios ambientales debido a la precariedad de sus condiciones de vida.

La contribución de Jiménez *et al.* (*Ganadería y cambio climático: avances y retos de la mitigación y la adaptación en la frontera sur de México*) se enfoca en los avances en materia de adaptación y mitigación en el sector ganadero del sureste de México. Los sistemas agroforestales-silvopastoriles están vinculados a buenas prácticas ganaderas, las cuales se proponen la reducción de GEI, incluyendo políticas que reduzcan la deforestación que ha caracterizado a esa región de México. Los autores enfatizan en la importancia del manejo de las dietas de los hatos ganaderos a fin de limitar la producción de metano; así mismo se indica la necesidad de incrementar las capacidades locales en investigación y asesoría técnica a los productores, con lo cual se abre un amplio abanico de colaboración entre las redes locales de investigación e innovación.

Chapela y Ruiz refieren en su trabajo (*Componentes de un sistema efectivo de adaptación al cambio climático: lecciones de las comunidades forestales de México*) que nuestro país ha desarrollado capacidades suficientes para promover programas y acciones para contender contra los efectos del cambio climático, en comunidades rurales de diferentes regiones de México. Describen la experiencia en Santiago Comaltepec (Oaxaca), en la cual se concretaron medidas para responder a restricciones en agua y recursos productivos de los sistemas de producción y alimentación. Los bosques comunitarios pueden ser aprovechados de manera racional por las comunidades rurales y pueden tener capacidades de modernización que aseguren, por un lado, la biodiversidad de flora y fauna y, por otro, acrecentar la riqueza comunitaria y las capacidades para mejorar

las condiciones de alimentación, salud y educación locales. El papel de las asociaciones civiles, en el acompañamiento de comunidades que se trazan escenarios mejores de bienestar, seguirá siendo fundamental en el desarrollo de este sector.

La contribución de Sáenz (*Efectos potenciales del cambio climático en los recursos forestales. La sabanización de las regiones continentales de México*) se orienta al estudio de los escenarios posibles que enfrentará la vegetación de México ante el cambio climático. La hipótesis de trabajo que se maneja en la comunidad científica es que los biomas de clima templado en México se contraerán y los de clima seco se expandirán, lo que obligará a diseñar medidas de adaptación que sirvan para la conservación de los recursos vegetales del país, y para la reproducción de la población humana que seguirá creciendo durante las siguientes décadas. Ante tal escenario el autor plantea líneas de investigación que se adelanten a los cambios en cuanto a reducción de la biodiversidad, al menos en algunas regiones que recibirán menos agua de lluvia y verán incrementarse las temperaturas (caso de las tierras continentales de la vertiente occidental del país). Esta investigación deberá cubrir el sector forestal, agrícola, ganadero y de pesca, pues los cambios climáticos están ya afectando a esas actividades productivas.

El trabajo de Marín Cruz y col. (*Hongos entomopatógenos y sus metabolitos una alternativa sustentable para el control de plagas en viveros forestales y agricultura protegida: caso *Bradysia impatiens*, Johannsen*) ofrece los resultados de una revisión enfocada en el Manejo Integrado de Plagas en viveros forestales, mismos que tienen una alta relevancia en el contexto de la reforestación y el cambio climático, así como en el incremento necesario de las capacidades productivas del sector forestal en México. Se documentan los mecanismos mediante los cuales los conidios, enzimas y metabolitos secundarios, que produce el género de hongos *Beauveria*, participa en la reducción de las poblaciones del díptero del género *Bradysia*, presente en las poblaciones de plantas de viveros forestales.

El trabajo de Navarro y col. (*Intensificación agrícola, prácticas socio-técnicas e impactos ecológicos y sociales en El Bajío*) analiza las características de los sistemas de producción de cereales de la región de El Bajío (centro de México), caracterizados por el uso intensivo de insumos productivos de la agricultura convencional. Se presenta información sobre el desarrollo de empresas de insumos y servicios en las que se basa el modelo productivo. Esta intensificación está teniendo consecuencias en las condiciones químicas y físicas del suelo (por ejemplo, disminución de la materia orgánica), la contaminación de los ecosistemas terrestres (en superficie y en mantos acuíferos) en una zona densamente poblada, así como en la extracción de agua con sobreexplotación de los acuíferos. Los autores concluyen que es necesario diseñar nuevos sistemas de producción (de tipo agroecológico) que detengan las tendencias de degradación ambiental en esta importante región productora del centro de México.

Torres Lima, Conway y Reyes analizan la *Capacidad adaptativa de actores locales al cambio climático en geografías periurbanas en Latinoamérica*, con una mirada enfocada en objetivos y metodologías. Los autores plantean tres aproximaciones distintas a la cuestión de la adaptación de las comunidades periurbanas a los impactos del cambio climático: estudio basado en la comprensión de los sistemas periurbanos, revisión de las capacidades de respuesta con base en diferentes escalas espaciales (unidad familiar, municipio y región), y elección de indicadores para evaluar la capacidad adaptativa de los sistemas periurbanos ante el cambio climático.

Finalmente, Perelmuter ofrece una sugerente reseña de uno de los libros insignia de Armando Bartra, *El hombre de hierro. Límites sociales y naturales del capital en la perspectiva de la gran crisis*, quien en una segunda edición aumentada de 2014, precisa una perspectiva teórica para caracterizar la crisis actual y de las alternativas políticas que se vislumbran, especialmente para los sectores sociales menos favorecidos.

Los trabajos reunidos en este número de SRPMA sistematizan información relevante para ser usada por quienes toman decisiones o quienes se proponen profundizar en el conocimiento. Pensar en las soluciones de mitigación y de adaptación al cambio climático es una responsabilidad de las comunidades científicas y del sector gubernamental, pero también de una población que deberá incrementar su cultura ambiental. Es muy probable que en un futuro muy cercano este esfuerzo por documentar los diagnósticos y hacer las propuestas de soluciones sea atendido de nueva cuenta por nuestra revista. El tema es vasto y de la más alta importancia social. Los autores de este número, así como otros estudiosos y actores del sistema mexicano de investigación agropecuaria, forestal y de alimentación están invitados a continuar ampliando y enriqueciendo el conocimiento que esta entrega de SRPMA pone a disposición del público lector.

Fernando De León González. Editor Asociado.
Ciudad de México, a 31 de mayo de 2016

Política de la revista

Desde el Departamento de Producción Agrícola y Animal de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, se continúa con la misión de publicar regularmente y avanzar en la consolidación de la revista *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente* para que, a su vez, ésta sirva de instrumento de promoción y difusión del trabajo científico del personal académico del propio Departamento, así como de sus pares académicos.

Desde su origen, la revista se planteó con el objetivo central de comunicar y promover los avances en el desarrollo de las ciencias y campos de conocimiento asociados al estudio multidisciplinario de la producción y las transformaciones sociales, económicas, tecnológicas y ambientales en los territorios rurales, en el marco de un sistema alimentario mundial en permanente transformación.

Las temáticas que se privilegian en esta publicación comprenden los procesos que inciden en los distintos modelos de producción agropecuaria, silvícola, acuícola y pesquera, así como las actividades conexas al desarrollo rural bajo los métodos de análisis y la aplicación del conocimiento biológico, ambiental y socioeconómico, sin olvidar los análisis interdisciplinarios que se vienen construyendo. Así, la publicación comprende los cuerpos de conocimientos y métodos de las ciencias biológicas, sociales y ecológicas que tratan de explicar los problemas -científicos, tecnológicos y culturales- que enfrentan las sociedades a través de sus territorios ru-

rales, la agricultura, los recursos naturales, la alimentación y el desarrollo regional. En esa lógica, se trata de que se discutan y formulen alternativas de solución para los diversos problemas y retos locales, regionales, nacionales y globales.

De esta forma, Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente se orienta hacia la evaluación de la investigación de frontera y el nivel actual de la discusión entre disciplinas relacionadas con el objeto de estudio. Desde esa perspectiva, se pretende que las distintas contribuciones en la revista aborden la temática con rigor científico y con una visión humanista que brinde proyección y sentido a los resultados presentados.

En ese marco, se reitera que la política de la revista promueve la publicación de trabajos que aporten información inédita y original bajo las siguientes cuatro modalidades: i) Artículos de investigación, ii) Artículos de revisión y Notas de investigación, iii) Ensayos y revisiones bibliográficas y iv) Reseñas de libros y eventos especializados.

De esta forma, la publicación se mantiene como un campo abierto, crítico y constructivo que busca enriquecer las explicaciones científicas e interpretaciones que coadyuvan al desarrollo rural, agropecuario, alimentario y regional, teniendo como principios rectores: la equidad, la sostenibilidad y la competitividad.

Aparte de las contribuciones individuales, también se viene fomentando la edición de números temáticos, desarrollados por grupos formales e informales de investigación, para el abordaje de objetos de estudio comunes bajo distintas ópticas analíticas, métodos de trabajo, e incluso disciplinas. Para los interesados en esta segunda opción se les invita a contactar a la dirección de la revista para coordinar de la mejor manera posible alternativas de esta naturaleza.

En síntesis, esta revista se mantiene como una casa abierta para contribuciones del medio científico, tecnológico y del desarrollo que permitan fomentar y dar sustento al trabajo académico.

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

Edificio 34, tercer piso, jefatura del Departamento de Producción Agrícola y Animal.

Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud, 04960, Ciudad de México.

Tels. 5483-7230 y 7231.

aalvarez@correo.xoc.uam.mx

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

Sistemas agroforestales para la adaptación al cambio climático en el área protegida La Frailescana, Chiapas, México

Martin Laurenceau y Lorena Soto Pinto¹

Resumen. Campesinos de Chiapas establecieron sistemas agroforestales de maíz asociado con árboles maderables (*Ixim'te* tipo *Taungya*) para incrementar el valor de su tierra, así como mitigar y adaptarse al cambio climático en la zona de amortiguamiento del área protegida La Frailescana. El objetivo de este estudio fue analizar el desempeño de estos sistemas en los primeros años de establecimiento y los tradeoffs, asociados en tres comunidades del Área Protegida La Frailescana. Se realizaron inventarios ecológicos en 20 parcelas y se aplicaron 28 entrevistas. Los resultados mostraron relación positiva y significativa entre el tiempo de establecimiento y la complejidad, diversidad, biomasa, riqueza de especies, volumen de madera y valor económico ($p < 0.05$), al mismo tiempo, este sistema mantiene los rendimientos de maíz (1ton/ha) y frijol (600kg/ha) asociados a los árboles maderables (se observaron 33 especies arbóreas). Este sistema contribuye a la mitigación y adaptación al cambio climático, captura de carbono, además de que produce alimentos, genera valor económico e ingresos. Sin embargo, se observaron algunos tradeoffs socioecológicos.

Palabras clave: agroforestería, maíz con árboles maderables, pagos por servicios ambientales, Sierra Madre, *Taungya*, uso del suelo.

¹ El Colegio de la Frontera Sur, e-mail: lsoto@ecosur.mx

Abstract. *Farmers in Chiapas established agroforestry systems with maize associated to timber trees (Ixim'te Taungya type) to increase value to their land, mitigate and adapt to climate change. The aim of this study was to analyze the performance of these systems during the early years of the establishment and to discuss the associated tradeoffs, in three communities of the Fraileskana Protected Area. Ecological inventories were conducted in 20 plots, 28 interviews were applied. The results showed significant positive relationship among the establishment time and complexity, diversity, biomass accumulation, species richness, wood volume and economic value ($p < 0.05$). At the same time, this system maintains maize (1ton / ha) and bean (600kg / ha) yields. Thirty three woody species were recorded. This system contributes to mitigate and adapt to climate change, sequesters carbon, produces food, and yields economic value and income. However, some social and environmental tradeoffs were observed.*

Keywords: *agroforestry, maize with timber trees, payment for environmental services, Taungya, Sierra Madre, land use change.*

INTRODUCCIÓN

Según las últimas estimaciones, el calentamiento de la tierra será entre 1.5 y 2.5 grados Celsius durante el próximo siglo, si no se logran frenar las emisiones de gases de efecto invernadero. Las consecuencias del calentamiento serían catastróficas para la biodiversidad mundial, el funcionamiento de los ecosistemas y la disponibilidad de los servicios ambientales (IPCC, <http://www.ipcc.ch/report/ar5/index.shtml>).

Los sistemas agroforestales se han considerado importantes para ofrecer múltiples productos y servicios socioecológicos (Moreno *et al.*, 2013), y para contribuir en el proceso de mitigación y adaptación al cambio climático (Soto *et al.*, 2012). La agroforestería no sólo puede contribuir al proceso de captura de carbono, sino ayuda a diversificar los bienes de las familias campesinas a través de la disponibilidad de

alimentos, forrajes, leña, madera, medicinas, así como servicios tales como la polinización, la sombra, el control de plagas y enfermedades, y la conservación de recursos naturales (Tscharrntke *et al.*, 2011).

En los últimos años, México y los países mesoamericanos se han visto afectados por desastres naturales como huracanes y sequías, al respecto existe un consenso de que la frecuencia e intensidad de este tipo de eventos es probable que aumente en el futuro (Philpott *et al.*, 2008; Schroth *et al.*, 2009). Estudios realizados en México, Guatemala y Honduras indican que las temperaturas han aumentado entre 0.2 y 1 °C, y en algunos casos las lluvias han disminuido hasta en 15% con respecto a los últimos 30 años, por lo que algunas de las regiones cafetaleras más secas en Mesoamérica podrían dejar de producir café a finales de siglo.

En el estado de Chiapas, las causas principales de las emisiones de gases de efecto invernadero (78%) son debido a los cambios de uso de suelo (deforestación y degradación forestal), la silvicultura, la agricultura y la ganadería (Morales *et al.*, 2011). La agricultura figura en lugar preeminente, dada la utilización del sistema de roza-tumba-quema con ciclos de rotación de corta duración y la falta de disponibilidad de las tierras para el uso agrícola, lo que trae como consecuencias la degradación del suelo y bajos rendimientos, además de emisiones de gases efecto invernadero a la atmósfera (Cairns y Garrity, 1999).

El fenómeno de cambio climático pasa necesariamente por un proceso de adaptación (ajuste social o natural para reducir la vulnerabilidad causada por los impactos del cambio climático) (Parry *et al.*, 2007) y mitigación (reducción de los impactos). Una agricultura multifuncional que genere bienes de consumo y servicios socioambientales, que sea diversa, ofrezca empleo y conserve la base de recursos naturales podrá estar mejor adaptada al cambio climático (Wilson, 2008).

La región de La Frailescana, en la Sierra Madre de Chiapas, representa una zona de gran importancia por su diversidad de selvas y bosques. Además de su amplia cobertura forestal, La Frailescana es un área de transición entre dos regiones bioclimáticas: el Soconusco y el

sur de la Sierra Madre de Chiapas, y entre dos reservas biológicas: la Sepultura al norte y el Triunfo al sur (Figura 1). Esta región presenta una vulnerabilidad importante al cambio climático, considerando la deforestación para reconversiones a tierras agrícolas, aprovechamiento de los recursos maderables y las frágiles actividades productivas (milpa, cafetales, ganado bovino en su mayoría).

En esta región, campesinos dedicados al cultivo de maíz establecieron sistemas agroforestales de maíz con árboles maderables (*Ixim'te* o *Taungya*) con la finalidad de diversificar la producción, conservar el suelo, producir alimentos de manera tradicional, generar ingresos en el mediano y largo plazos y por los recursos naturales en general, así como adaptarse al cambio climático y ofrecer el servicio ambiental de captura de carbono. Ellos diseñaron, en conjunto con la Cooperativa Ambio, los sistemas de maíz con árboles maderables nativos de alto valor comercial a través del programa *Scolel'te* ("El árbol que crece" en idioma tzeltal, AMBIO, s.f. *Scolel'te*, <http://www.ambio.org.mx>), que funciona desde 1994. Este programa representa el proyecto más longevo de su tipo, a nivel mundial, con más de 1200 productores, distribuidos en más de 90 comunidades campesinas e indígenas del estado de Chiapas.

En este estudio, se analizó el desempeño, estructura y función de sistemas agroforestales de maíz con árboles maderables y los *tradeoffs* en el cambio de uso del suelo en los primeros años de establecimiento, en tres comunidades campesinas del APRN La Frailescana.

Figura 1. En área de estudio en la Sierra Madre de Chiapas, México



MATERIALES Y MÉTODOS

Área del estudio

El estudio se llevó a cabo en tres comunidades de la Sierra Madre de Chiapas, en el Área Protegida de Recursos Naturales La Frailescana, ubicada entre las Reservas de Biosfera la Sepultura y el Triunfo (Figura 1). Los tres ejidos se ubican en el suroeste del estado de Chiapas, en la parte alta de la Sierra Madre, municipio de Villa Corzo. El ejido Bonanza se ubica en la micro-cuenca Monterrey-Frailesca, entre las coordenadas 16° 2' 5.80" y 15° 57' 7.78" latitud norte y los 93° 21' 55.16" y 93° 30' 6.38" longitud oeste. Los ejidos La Unión y Nuevo Refugio se ubican en la micro-cuenca Tierra Santa, localizada entre las coordenadas 16° 2' 5.55" y 15° 58' 0.42" latitud norte y los 93° 24' 55.11" y 93° 30' 10.94" longitud oeste.

La altitud media de las parcelas recorridas es 896 ms n m (entre 861 y 1022 metros), y con pendientes hasta 70%. El clima es de tipo Aw2 (w) en la clasificación de Köppen; es un clima cálido subhúmedo con temperaturas medias superiores a 22°, con una estación de invierno seca y una cantidad de precipitación inferior a 60 mm para el mes más seco. Los suelos son, en su mayoría, litosoles (suelo de piedra, profundidad inferior a 10 cm) asociados con regosoles. Estos últimos son suelos sin estructura y de textura variable, muy parecidos a la roca madre; tienen poco desarrollo, en general son claros o pobres en materia orgánica, suelos frágiles, generalmente de baja fertilidad y susceptibles a la erosión; su productividad está condicionada a la profundidad y pedregosidad (INEGI, www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/.../EdafIII.pdf) (CAMBIO, 2014).

Se distinguen tres coberturas vegetales distintas: agricultura, vegetación secundaria y bosque de pino-encino. La agricultura en su mayoría es de temporal, basada en el sistema de milpa, que incluye cultivos de maíz, frijol y calabaza, principalmente. La agricultura permanente consiste en sistemas de café con sombra. La vegetación secundaria se divide en vegetación de pino-encino (algunas especies son *Pinus oocapa*, *Quer-*

cus sapotifolia, *Quercus peduncularis*, *Acacia pennatula*), selva de galería, selva baja caducifolia (algunas especies son *Astronium graveolens*, *Bursera simaruba*, *Bursera bipinnata*, *Cedrela salvadorensis*, *Cordia alliodora*) y selva mediana subperennifolia (algunas especies son *Ulmus mexicana*, *Cedrela salvadorensis*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Tapirira mexicana*, *Ceiba pentandra*) (CAMBIO, 2014).

Caracterización de los sistemas agroforestales Ixim'te o Taungya

Se caracterizaron los sistemas de milpa con árboles por medio de variables de estructura: diámetro de los árboles, altura, densidad, y variables funcionales del sistema: captura de carbono (Rendón y Soto, 2007), volumen maderable, valor de la madera, valor económico total, riqueza de especies, índice de complejidad de Holdridge y los valores de importancia de las diferentes especies (Soto y Armijo, 2014).

El volumen maderable se tomó usando la siguiente fórmula (Segura, 2005):

$$\ln V = -9.1833 + 2.0107(\ln D) + 0.7455(\ln H),$$

Dónde: V = volumen maderable del árbol (m³),

D = diámetro (m) y

H = altura (m)

El valor del volumen maderable fue determinado usando los precios de referencia para especies tropicales, y el valor total fue estimado por medio de la fórmula:

$$VT \text{ en USD por hectárea} = VM + VC + PSA,$$

Dónde: VT= Valor Total por ha en USD,
VM= Valor de la Madera,
VC= Valor de los productos comestibles (precio del maíz y el frijol en los primeros años),

PSA= Pago por servicios ambientales (\$891 por ha, pagado en cinco veces los años 1, 2, 3, 5 y 8 después del establecimiento del sistema (Sotero Quechulpa, Cooperativa Ambio, comunicación personal).

Se hicieron regresiones lineares entre edad de las parcelas y las diferentes variables de estructura y de función del sistema en el programa R.

Estimación de los almacenes de carbono

Se analizaron las especies presentes, la captura de carbono y las características del suelo en 20 parcelas: 12 parcelas de milpa con árboles tipo Taungya (entre 1 y 3 años de edad), 6 parcelas de milpa (con maíz, frijol, o ambos) y 2 parcelas de café.

Se midieron la altura (con un hipsómetro Haga) y el diámetro (con una cinta diamétrica) de los árboles y arbustos (diámetro >10cm), y de los juveniles (diámetro de 2-9.9 cm) a 1.3 m a la altura del pecho (d.a.p), en dos rectángulos de 250 m², cada uno en cada parcela. Los rectángulos forman entre ellos una "T", uno de los cuales se marca sobre la pendiente mínima y el otro sobre la pendiente máxima.

Se colectaron ocho muestras de herbáceas en cuadrados de 0.50 m², y cuatro muestras de hojarasca (separando la muestra en hojarasca fresca, seca y humus) en cada parcela. Las muestras fueron secadas, pesadas y después analizadas en un auto analizador LECO para determinar la cantidad de carbono total.

La biomasa aérea se estimó con una fórmula alométrica aceptada por el IPCC (Chave *et al.*, 2005) :

$$BA = \exp [-2.997 + \ln (\rho D^2 H)]$$

Donde: BA = biomasa aérea (kg/árbol),

ρ = densidad de la madera de cada especie o promedio (gr/cm³)

D = diámetro a la altura del pecho (cm),

H = altura (m)

La biomasa de las raíces también se estimó con una fórmula alométrica (Cairns *et al.*, 1997):

$$BR = \exp [-1.0587 + 0.8836 \ln (ABD)]$$

Donde: BR = biomasa total de las raíces gruesas y finas (kg peso seco)

ABD = suma de la biomasa arbórea y arbustiva (Mgha⁻¹ de materia seca).

Se midieron el largo y el diámetro (dos diámetros para las ramas de largo superior a 50 cm) de todas las ramas caídas que cruzan dos cuerdas dispuestas en el centro del lado mayor de los rectángulos (40 m de trayecto). La biomasa de las ramas caídas se calculó con la relación:

$$Brc = Lm * Btr * 10000 / \text{área promedio}$$

Donde,

Brc = Biomasa de las ramas caídas (kg/ha)

Lm = Longitud promedio de las ramas

Btr = Biomasa resultante en el trayecto de 40 m (kg), con área promedio = Lm*40 m

Se colectaron con una barrena 10 muestras de suelo a profundidades de 0-10, 10-20 y 20-30 cm, que se mezclaron para obtener una muestra compuesta por profundidad y parcela. Las muestras fueron secadas y analizadas en el laboratorio para determinar las tasas de carbono, nitrógeno

(método Kjeldahl), fósforo (método Olsen), caliza, densidad aparente, pH y textura.

Todas las especies registradas en las parcelas de 500 m² fueron colectadas e identificadas.

Aspectos sociales

Se hicieron 28 entrevistas semiestructuradas a productores de las tres comunidades participantes y no participantes del proyecto *Scolec'ite*. Se incluyeron indicadores sobre el manejo de los árboles y cultivos, el uso del suelo, así como la descripción del manejo de sus diferentes parcelas y cultivos. Se llevó a cabo una tipología de los productores en dos etapas: primero, un Análisis de Correspondencias Múltiples (ACM), que permitió resumir todas las variables que describen los individuos en un número reducido de ejes, y segundo, una Clasificación Ascendente Jerárquica (CAH) con el método de Ward, utilizando los tres primeros ejes del ACM, que agrupó los individuos similares en clases.

Además, se hicieron discusiones de grupo con los productores en las tres comunidades sobre los conocimientos que tienen del proyecto (calentamiento climático, mercado de carbono), los posibles riegos (falta de tierras disponibles para la milpa, enfermedades del café, variaciones de los precios) y sus puntos de vista de manera general (nivel de satisfacción, adecuación entre pago y trabajo requerido). Otras entrevistas fueron realizadas con el equipo de trabajo de AMBIO (detalles sobre funcionamiento de los proyectos, presencia en las comunidades, pagos por la captura de carbono).

RESULTADOS

Descripción del sistema de maíz/frijol con árboles (Taungya)

Este sistema consiste en la asociación entre cultivos tradicionales de milpa (maíz, frijol, calabaza, chile, yuca, piña, chipilín, frutales) y árboles maderables de alto valor en un sistema de rotación (Cuadro 1). Durante los primeros años (1 a 3 años) se asocian los cultivos junto a los árboles. Después, cuando hay demasiada sombra para cultivar junto a los árboles, las parcelas se dejan descansar con los árboles establecidos, los cuales se mezclan, al paso del tiempo, con los nativos de acahual (barbecho), hasta que los árboles sean aprovechados. Según el caso, las parcelas vuelven a un sistema de milpa tradicional, evolucionan a un sistema agro-silvo-pastoril o a un sistema de café con sombra (Soto *et al.*, 2013).

En Bonanza, La Union y Nuevo Refugio los productores entraron en el proyecto con la idea de una reconversión al café, la mayoría con una superficie de una hectárea. El plan más común es cultivar maíz, frijol, o ambos, en asociación con los árboles durante los dos primeros años (el maíz y el frijol se siembran en junio y agosto, respectivamente, y se cosechan en diciembre). El tercer año, los productores siembran, en promedio, un cuarto de hectárea con café (dentro de la hectárea de Taungya), aprovechando la sombra de los árboles. Después, durante cada año siembran un nuevo cuarto de hectárea con café, hasta tener un cafetal de 1.5 ha el sexto año. Este escenario varía entre los productores, y algunos decidieron una transición más rápida para obtener un cafetal completo al 4° año.

Cuadro 1. Lista de especies registradas en las parcelas de milpa con árboles (*Ixim'te* o *Taungya*) en comunidades de la APRN La Frailescana, Chiapas, México

Nombre Común	Especie	Familia	Uso
Aguacate, aguacatillo	<i>Persea americana</i>	Lauraceae	fruto comestible
Café	<i>Coffea arabica</i>	Rubiaceae	comestible
Calabaza	<i>Cucurbita pepo</i>	Cucurbitaceae	comestible
Caoba, Mahogany	<i>Sweitenia macrophyla</i>	Meliaceae	maderable, sombra
Caulote	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Malvaceae	frutos para alimento del ganado
Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	Meliaceae	maderable, sombra
Chalum	<i>Inga oerstediana</i>	Fabaceae	vaina comestible, sombra de café
Cojon de coche	<i>Olmediella betslediana</i>	No identificada	leña
Ixscanal	No identificada	No identificada	leña
Espigal	No identificada	No identificada	leña
Espino, Quebracho	No identificada	No identificada	leña
Frijol	<i>Phaseolus spp.</i>	Fabaceae	comestible
Guanacastle, Piche	<i>Enterobium cyclocarpum</i>	Fabaceae	forraje, maderable, leña
Guarumbo	<i>Cecropia obtusifolia</i> Bertol	Cecropiaceae	maderable,
Guash	<i>Leucaena Brachycarpa</i>	Fabaceae	comestible, forraje, leña
Guayaba	<i>Psidium guajava</i>	Myrtaceae	comestible, leña
Hierba de burro	No identificada	No identificada	leña

Hormiguillo	Platymicium dimorphandrum	Fabaceae	maderable
Guachipilín	Diphysa robinoides	Fabaceae	maderable, leña, sombra de café
Lolito	No identificada	No identificada	leña
Maculis, Matilis Guate	Tabebuia rosea	Bignoniaceae	maderable
Maíz	Zea mays	Poaceae	comestible, forraje
Malacate	Tricospermum mexicanum	Tiliaceae	maderable, leña
Mango	Manguifera indica	Anacardiaceae	fruto comestible
Matarratón	Glicedidia sypium	Fabaceae	cerco vivo, forraje
Matawai			
Nance	Byrsonima crassifolia	Malpighiaceae	comestible
No identificada	No identificada	No identificada	leña
No identificada	No identificada	No identificada	leña

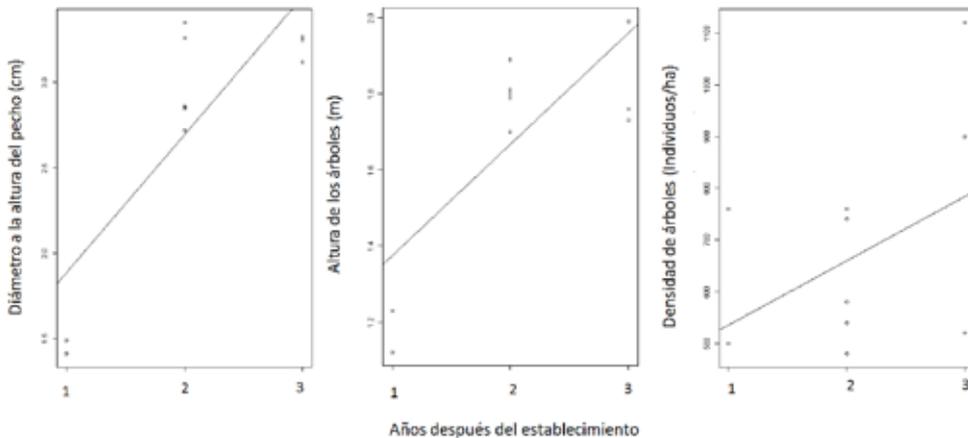
Estructura del sistema y especies

Las especies establecidas fueron: cedro (*Cedrela odorata*), caoba (*Sweitenia macrophylla*), matiliguate (*Tabebuia rosea*) y guachipilín (*Diphysa robinoides*), como madera de alto valor de uso, de servicio, y como sombra del café. Los valores de importancia más altos fueron para el cedro y el guachipilín (177% y 105% el segundo año, respectivamente), ya que fueron las especies sembradas para el enriquecimiento. Se debe notar que los productores no se restringen a estas especies y toleran otros arbustos, así como a árboles nativos que consideran de alto valor de uso o agroecológico, respondiendo a numerosos objetivos y necesidades (especies de sombra, comestible, maderable o para la leña); por lo que al tercer año se observaron 33 especies de árboles y arbustos en total, pertenecientes a 14 familias botánicas

(Cuadro 1). Esto explica, en parte, el aumento del Índice de Complejidad de Holdridge durante los tres primeros años (0.1, 0.3 y 0.6, respectivamente)

Durante los tres primeros años, después del establecimiento del sistema, el diámetro y la altura de los árboles establecidos aumentaron hasta $3.21\text{cm}\pm 0.08$ y 1.83 ± 0.14 ($P<0.01$; $r^2=0.69$, $P<0.01$; $r^2=0.58$, respectivamente) (Figura 2). El número de árboles por hectárea varió entre 500, para el primer año, hasta 1120 árboles, para el tercer año; la relación no fue estadísticamente significativa, pues hubo alta variabilidad entre parcelas ($P>0.05$) (Figura 2).

Figura 2. Cambios en el diámetro, altura y densidad de árboles en los primeros años de establecimiento, en parcelas de maíz con árboles tipo Taungya, en comunidades de la APRN La Fraileskana, Chiapas, México



Fuente: elaboración propia

Funciones del sistema

Los usos principales reportados para las especies registradas fueron sombra del café, leña, alimentos, forraje, madera para construcción y herramientas (Cuadro 1).

Se produce una cosecha de maíz, frijol, o ambos (si son cultivados en asociación) por año, con rendimientos de aproximadamente 1t/ha para el maíz (hasta 4 t/ha con maíz híbrido) y 600 kg/ha para el frijol, que es lo que requiere una familia para su alimentación, incluyendo los animales de traspatio. No se encontró efectos de los árboles sobre los rendimientos los dos primeros años, sólo un productor notó una disminución de 1t/ha para su maíz al tercer año.

En los primeros tres años de establecimiento aumentaron las funciones ambientales del sistema, la riqueza de especies ($P<0.01$; $r^2=0.73$), el carbono total ($P<0.01$; $r^2=0.51$), el volumen y valor de la madera ($P<0.01$; $r^2=0.71$) (Figura 3).

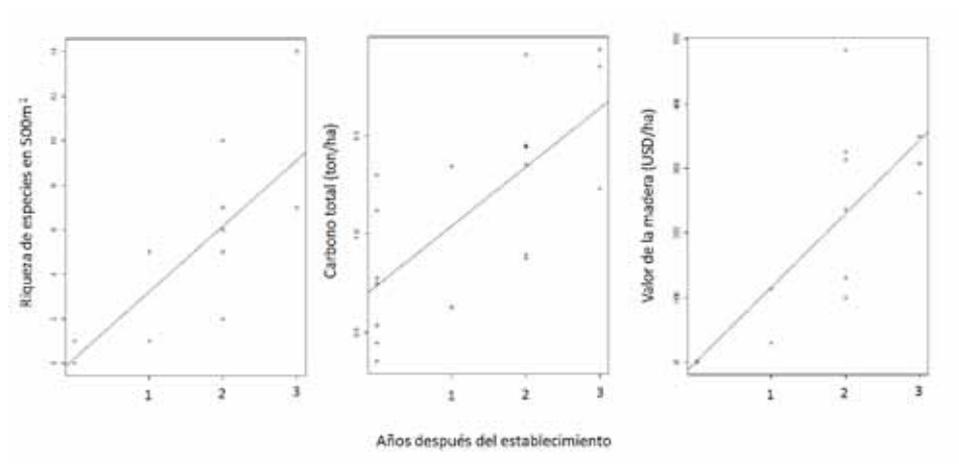
Utilizando las tasas de crecimiento en diámetro y altura, se puede predecir un volumen de madera de 150 m³/ha al año 15, con un valor aproximado de 13000 USD/ha o 5000 USD/ha en valor neto (35 USD/m³), y un valor total de 13900 USD (Figura 4).

Se observaron niveles bajos de carbono en el suelo a las profundidades 10-20 y 20-30 centímetros, los árboles podrían facilitar la incorporación de carbono en el futuro a estas profundidades. Los suelos mostraron buenos niveles de nitrógeno y fósforo.

Este estudio muestra un efecto positivo de este sistema con el paso del tiempo, considerando los tres primeros años del establecimiento y las previsiones a largo plazo, de acuerdo con estudios previos (Soto *et al.*, 2012; Cortina *et al.*, 2012). La utilización de especies maderables de alto valor permite un aumento de la productividad de la tierra, respondiendo, al mismo tiempo, a los objetivos de los productores (desarrollar un dosel forestal para la sombra del café, diversificar los ingresos por madera y el pago por servicios ambientales). Por otra parte, el incremen-

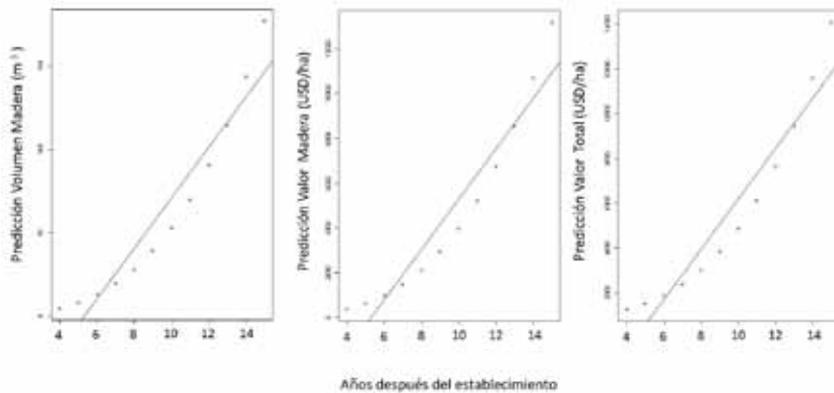
to de la riqueza de especies vegetales favorece la restauración de zonas degradadas en áreas de vegetación secundaria. El sistema de maíz con árboles maderables ofrece numerosos servicios ambientales, tales como el almacenamiento de carbono, la restitución de coberturas forestales, la protección de los suelos contra erosión y el mantenimiento de los ciclos hidrológicos.

Figura 3. Cambios en las variables funcionales en los primeros años de establecimiento, en parcelas de maíz con árboles tipo Taungya, en comunidades de la APRN La Frailescana, Chiapas, México



Fuente: elaboración propia

Figura 4. Predicción del volumen de madera en los primeros quince años de establecimiento de sistemas de maíz con árboles maderables, para comunidades de la APRN La Frailescana, Chiapas, México



Fuente: elaboración propia

Motivaciones de los productores y *tradeoffs* del sistema

El programa Scolel'te es implementado bajo el estándar Plan Vivo, reconocido como uno de los mejores a nivel mundial. La particularidad del Plan Vivo es diseñar el proyecto de manera participativa, por ello parte de un ordenamiento territorial comunitario. Los productores entraron en el proyecto con la finalidad de responder a sus propios objetivos.

Las razones para sembrar los árboles fueron: establecer una sombra para el cultivo del café (100% de los productores entrevistados), obtener madera de alto valor de uso y comercial (50%), el pago por servicios ambientales (40%), mejorar la calidad de la tierra (20%) y cuidar el medio ambiente (20%). Los productores manifestaron interés en reconvertirse al café, considerando que los cafetales pudieran ser más productivos,

en términos de recursos económicos, que los sistemas de milpa, sistema que dicen exige menos trabajo (y a la sombra) y tiene precios más altos que el maíz. De manera general, encontramos que la participación de los productores involucra factores con relación a los ingresos y recursos (cantidad de tierras), y factores relacionados al contexto institucional y social. Los productores poseen un promedio de 4.1 ± 1.7 hectáreas, y los ingresos provienen, en su mayoría, de la venta de los excedentes de maíz y de frijol. Por eso, las posibilidades de diversificar los ingresos con diferentes apoyos representan oportunidades importantes para ellos. Por otra parte, están en un contexto social que favorece su participación en el proyecto. Algunos productores mencionaron los problemas de la falta de apoyos por parte del gobierno y de la variabilidad importante de los precios del maíz como factores explicativos de la participación de la comunidad.

Por otro lado, las reglas del Área de Protección de Recursos Naturales (APRN) La Frailescana prohíben el sistema tradicional de roza-tumba-quema (no se puede quemar), colocando a los productores en una situación difícil, por lo que se ven obligados a recurrir, de manera importante, a los fertilizantes y químicos, que representan gastos importantes y consecuencias en su salud. Asimismo, en busca de alternativas, los cafetales con sombra aparecen como una opción muy interesante. También se derivó de las entrevistas el hecho de que los productores no consideran los riesgos posibles de la reconversión al café en el mediano y largo plazos; la mayoría de ellos no tienen experiencia en el manejo del café y desconocen las dificultades del trabajo que involucra y las capacidades requeridas para su buen manejo, además de que hay que considerar la volatilidad de los precios y la incidencia de plagas y enfermedades, así como los impactos que sobre este cultivo tendrá el cambio climático en los próximos años, especialmente en las zonas bajas.

También se encontró que la cooperativa AMBIO planea intercambios entre campesinos de estas comunidades y otras que tienen una experiencia mayor en el manejo de cafetales, con la intención de compartir

los riesgos del cambio de uso del suelo. Esta cooperativa procura sensibilizar a los productores acerca de la importancia de la diversificación de los cafetales, el manejo orgánico y la importancia de la suficiencia alimentaria. En esa lógica, planea promover la capacitación, siembra y manejo de frutales (Sotero Quechulpa, comunicación personal).

Dinámicas en cambios del uso del suelo

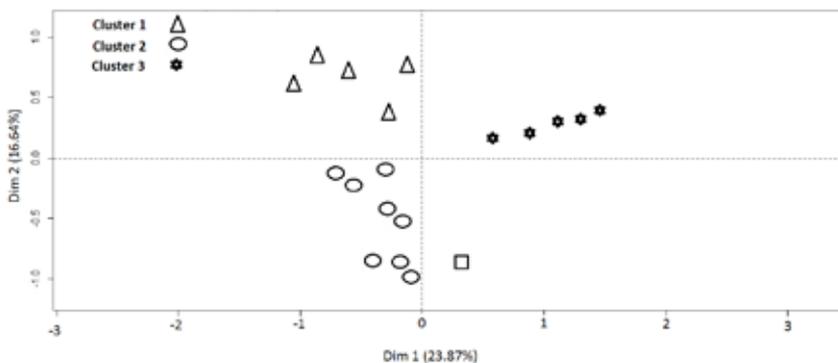
Los ejidos de La Unión, Nuevo Refugio y Bonanza se fundaron en 1984 con una extensión territorial de 570 hectáreas; para 1994 con una extensión de 218 hectáreas, y en 1996 con una extensión de 152 hectáreas. Los tres se fundaron en respuesta a la tensión sobre la tierra en los ejidos de Tierra Santa, Zacatonal de Juárez y La Frailesca, respectivamente (CAMBIO, 2014); la historia de su fundación se enmarca dentro del contexto más amplio de problemas para el acceso a la tierra en México (CAMBIO, 2014). En 1992, el gobierno federal estableció medidas para la creación de nuevos ejidos, facilitando un mercado entre propietarios privados y pequeños productores (CAMBIO, 2014). En 2007, el estado de Chiapas ocupó el primer lugar en nuevos ejidos creados desde 1992, con 63.4% del total nacional (Ramos, 2008). La mayoría de éstos son extensiones de ejidos ya existentes, y son un reflejo de la presión sobre la tierra que se vive en la mayoría de los ejidos chiapanecos (Ramos, 2008).

Se analizó el cambio del uso del suelo de 20 productores del proyecto; del total de los 76.6 hectáreas de tierras que tienen, casi 40% (o 30 hectáreas) entraron en el programa para la reconversión al café, esta conversión se hizo en tierras de milpa (95%), y en potreros (5%).

Se clasificó a los productores en función de sus superficies y usos del suelo, obteniendo 3 grupos de productores distintos (Figura 5). La clasificación con los tres primeros ejes del ACM explican 53.5% de la varianza total. Las contribuciones más importantes a los ejes son las de la superficie total (contribución de 29.9%, 46.3% y 14.4% para los ejes 1, 2 y

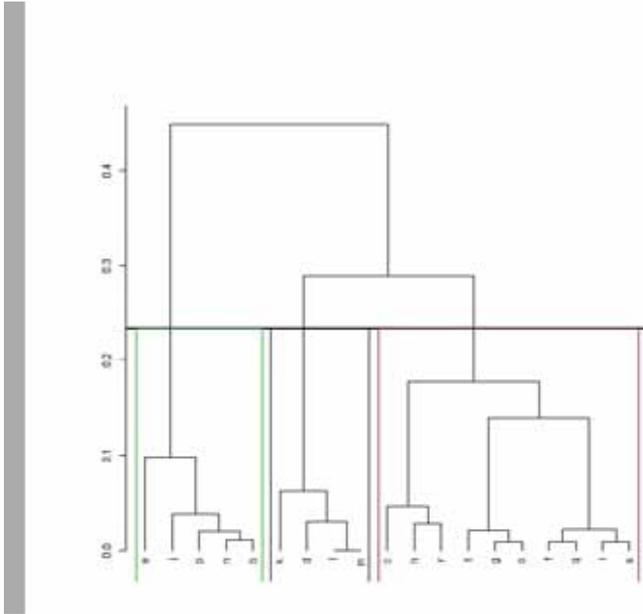
3, respectivamente), la superficie de los acahuales (contribución de 28.3%, 42.3% y 32.2% para los ejes 1, 2 y 3, respectivamente) y la superficie de las parcelas de Taungya (contribución de 20.8%, 2.4% y 44.7% para los ejes 1, 2 y 3, respectivamente) (Figura 6). Los usos de suelo en las comunidades son la milpa, los acahuales (vegetación natural derivada de la sucesión en diferente grado de madurez, que se establece después del cultivo agrícola por un periodo de 3 a más de 20 años [Roncal *et al.*, 2008]), los cafetales, los potreros (vegetación arbustiva sin cobertura aparente) y las parcelas tipo Taungya. Las parcelas mayores tuvieron entre 6 y 8 ha en total, al menos 2 ha de acahuales y más de 1 ha en Taungya. En el segundo grupo estuvieron productores con 3 a 6 ha, 1 a 2 ha de acahuales y algunas parcelas de café. En el último grupo, estuvieron los productores con menos de 3 ha y menos de 1 ha de acahuales. Se observó una relación fuerte entre la superficie de tierra y el tipo del uso de suelo; por ejemplo, los acahuales aparecieron sólo a partir de una superficie mínima (3 hectáreas) y como consecuencia un uso más intensivo (en cuanto al tiempo de uso y aplicación de insumos) en las superficies más pequeñas.

Figura 5. Tipología de acuerdo con los productores del proyecto *Scoleté* por su disponibilidad de tierra, en la APRN La Fraileskana, Chiapas, México



Fuente: elaboración propia

Figura 6. Dendrograma derivado del análisis de Clasificación Ascendente Jerárquica con el método de Ward



Fuente: elaboración propia

DISCUSIÓN

Los resultados muestran que el desempeño del sistema agroforestal de maíz con árboles maderables es positivo. La estructura y las funciones económicas y socioambientales del sistema se observan crecientes en los tres primeros años de establecimiento. Por su parte, los rendimientos de maíz y frijol no parecen ser muy impactados, como ocurre en los sistemas tradicionales rotacionales (Soto y Armijo, 2014), adicional a que aumentan la densidad de árboles, la riqueza de especies, la biomasa y el potencial de producir madera de alta calidad e ingresos derivados por

ésta. Otro aspecto importante y que no fue evaluado, es que se esperaría que la erosión se frene y se aumente la cantidad de materia orgánica del suelo debido a la incorporación de hojarasca derivada de los árboles del sistema, que estaría funcionando como un descanso o barbecho (Kwesiga *et al.*, 1999; Diemont *et al.*, 2006). Este sistema muestra su potencial para capturar carbono como una función ecosistémica que coadyuva a la mitigación de los efectos del cambio climático; además, dado que es un sistema que produce alimentos variados a lo largo del tiempo, ya sea en la fase de cultivo o en la fase arbórea, puede contribuir a bajar el riesgo y la vulnerabilidad por falta de alimentos en periodos críticos, y también puede generar empleo, ingresos, producir una diversidad de rubros como madera, leña, postes u otras plantas que pueden tener valor de uso y de cambio. Con este sistema se evita la quema, lo que puede contribuir a mantener el suelo, su fertilidad y atributos físicos, todo lo cual puede contribuir a la adaptación al cambio climático.

Sin embargo, observamos también *tradeoffs* en la concepción de largo plazo del sistema y los cambios en el uso del suelo. Los productores como primera prioridad señalaron el establecimiento de la sombra para el cultivo del café, en una zona que es bastante marginal para este cultivo, pues está ubicada debajo de mil msnm y con una marcada estación seca, una zona en donde el café es vulnerable por cuestiones climáticas y de calidad (Schroth *et al.*, 2009). Como en muchas otras regiones de Chiapas y México, se prioriza el sistema de mercado sobre el de autoabasto, dejando de lado las implicaciones que pudiera tener un cambio de uso del suelo y el riesgo de dejar de cultivar la milpa, dado que la superficie con que cuentan es bastante reducida y, en ocasiones, los productores tienen que decidir entre uno y otro sistema. De este modo, es necesario tomar en cuenta las tensiones que pudieran ocurrir por un cambio de uso del suelo, en el contexto de la seguridad alimentaria en sistemas de agricultura familiar. Para los campesinos de esta región, el maíz y el frijol representan los dos primeros alimentos de consumo diario, por ello, al no cultivarse *in situ* tienen que comprarlo, ya sea con productores que tienen

excedentes o fuera de la región, desconociendo a veces su procedencia y calidad. El autoconsumo de maíz varía de 400 kg a 1t/familia/año, y los productores estiman que una hectárea representa la superficie mínima para asegurarse una cosecha suficiente para una familia promedio de 5 miembros.

Entre los productores del grupo con una superficie inferior a 3 hectáreas, algunos casos son preocupantes, por ejemplo, dos productores (sobre los 9 de esta clase) entraron en el proyecto y sólo van a tener de un cuarto a media hectárea para producir maíz, por tanto, tendrán que comprar el maíz, o bien, comprar más tierras, según los propios testimonios; eso podría ser contraproducente, ya que podría favorecer la deforestación en otras tierras y reducir la adicionalidad del proyecto (Sierra & Russman, 2006; Arriagada, 2008; Arriagada *et al.*, 2012; Alix-García *et al.*, 2012) o disminuir las capacidades alimentarias de estas familias al depender de un mercado de alimentos que incrementa sus costos cada vez más. Otros autores ya han demostrado que una cantidad de tierras mínima es una de las condiciones para el éxito de sistemas del tipo Taungya (Paladino, 2011; Soto y Armijo, 2014; Hendrickson y Corbera, 2015).

Por otro lado, la presión que ejercen las instituciones ligadas a la conservación orienta al cambio de uso del suelo. Desde hace varias décadas ocurre el debate sobre los métodos más eficientes para la protección del ambiente, desde las más directas (pagos por servicios ambientales) hasta las “indirectas” (conservación basada en la comunidad y áreas protegidas) (Kiss, 2002; Nepstad, 2006; Andam, 2008; Pattanayak *et al.*, 2010). De hecho, la realidad es más compleja y no se puede reducir a esta discusión dicotómica. En el caso estudiado, el proyecto de pagos por servicios ambientales se hace dentro del área protegida La Frailescana, y más que una competencia entre esquemas de protección ambiental diferentes, se observan dos sistemas complementarios (Cortina *et al.*, 2012). Las reglas principales de la APRN La Frailescana son el control del aprovechamiento forestal, la interdicción del uso del fuego, de la ganadería extensiva, de las plantaciones de café convencionales y de la milpa tipo

roza-tumba-quema (Portillo, 20 marzo 1979; INE, 1999, 1999b; Quesada, 27 de noviembre 2007). Con el fin de promover el respeto de las reglas establecidas, el gobierno tiene diferentes programas, tal como el PSAH (Pagos por Servicios Ambientales Hídricos), y diferentes programas de adaptación al cambio climático (CONANP *et al.*, 2011). Asimismo, las acciones de la Cooperativa AMBIO participan en el esfuerzo general para la adopción de las reglas del área protegida en las comunidades: propone, por ejemplo, apoyos para la adopción de sistemas alternativos a la milpa tradicional, como los sistemas agroforestales de milpa con árboles o los cafetales diversificados, lo cual puede contribuir a la adaptación. Sin embargo, el éxito de la conservación ambiental y de programas, tanto de mitigación como de adaptación al cambio climático, dependen del diálogo que existe entre los diferentes actores de la región, para que se desarrollen acciones colectivas en las comunidades que permitan la aplicación de las normas del APRN, conciliando los intereses y necesidades de las familias campesinas (Dietz *et al.*, 2003). Involucrar a las comunidades en el proceso de conservación ambiental parece particularmente importante, considerando el efecto positivo de las comunidades sobre el medioambiente cuando tienen más poder de decisión en el proceso de gobernanza de los recursos naturales (Cortina *et al.*, 2004; Chhatre y Agrawal, 2009; Ostrom, 2010). Por su parte, el éxito de los pagos por servicios ambientales depende íntimamente de su diseño institucional (Ostrom, 2002; Ostrom, 2007; Chhatre y Agrawal, 2009; Kosoy y Corbera, 2010).

CONCLUSIONES

Los sistemas agroforestales de maíz con árboles maderables de alto valor de uso y comercial establecidos por comunidades, en acompañamiento con el proyecto *Scolel'té* mostraron, durante los tres primeros años estudiados, un desempeño positivo por el incremento en la complejidad, di-

versidad, biomasa, riqueza de especies, volumen de madera y valor económico, y por mantener los rendimientos de maíz y frijol asociado a los árboles maderables. En las comunidades estudiadas de la Sierra Madre de Chiapas este tipo de sistemas ya contribuye a la mitigación al cambio climático por medio de la captura de carbono, y pueden contribuir a la adaptación, ya que son sistemas que producen alimentos, conservan el suelo, pueden generar valor económico por la madera, ingresos y empleo. Sin embargo, hay *tradeoffs* para las familias que cuentan con escasa tierra. La decisión de un cambio de uso del suelo puede poner en riesgo la suficiencia alimentaria y, por otro lado, la reconversión a sistemas agroforestales de café con sombra en zonas bajas y secas es marginal por los efectos de posibles sequías y aumento de la temperatura, así como por la calidad del grano.

Es necesario poner más atención a las dinámicas del uso del suelo de los productores. La diversificación de la producción será uno de los elementos clave de la adaptación de los productores al cambio climático en el futuro, teniendo en cuenta las necesidades e intereses de las familias campesinas.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a las comunidades de Bonanza, La Unión y Nuevo Refugio. Martin Laurenceau agradece particularmente a los participantes sus cálidas acogidas y las numerosas cosas que le enseñaron. Agradecemos a Sotero Quechulpa Montalvo, Israel Cárdenas Mayorga, Luis Mendoza Velásquez, Marcela Delgadillo y demás miembros de la Cooperativa AMBIO por su apoyo en la realización del estudio en las comunidades. A Manuel Anzueto por su ayuda en la metodología del inventario, y a Emmanuel Valencia de Laige ECOSUR por el mapa. También a Claire Aubron, en Francia, por su acompañamiento durante este rico año de descubrimientos y de aprendizaje, al "Proyecto Multidisciplinario y

Transversal Agricultura Familiar”, de El Colegio de la Frontera Sur y al proyecto “Innovación socioambiental en zonas cafetaleras para la reducción de la vulnerabilidad”, FOMIX 11063 por el financiamiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Alix, J. *et al.*, 2012, “Forest conservation and slippage: evidence from Mexico’s National Payments for Ecosystem Services”, en *Land Economics*, 88(4): 613-638.
- AMBIO, s.f. Scolel’te, en <http://www.ambio.org.mx/scolelte/bonos-de-carbono/>, consultado el 15/11/2015.
- Andam, S., 2008, “Measuring the effectiveness of protected area networks in reducing”, en *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(42): 16089–16094.
- Arriagada, A., 2008, *Private Provision of Public Goods: Applying Matching Methods to Evaluate Payments for Ecosystem Services in Costa Rica*, tesis de doctorado, Faculty of North Carolina University, EEUU.
- Rodrigo, A. *et al.*, 2012, “Do Payments for Environmental Services Affect Forest Cover? A Farm-Level Evaluation from Costa Rica”, en *Land Economics*, 88(2): 382-399.
- Cairns, A. *et al.*, 1997, “Root biomass allocation in the world’s upland forests”, en *Oecologia*, 111: 1-11.
- Cairns, M. y D. Garrity, 1999, “Improving shifting cultivation in Southeast Asia by building on indigenous fallow management strategies”, en *Agroforestry Systems*, 47: 37-48.
- CAMBIO, 2014, Ordenamiento Territorial Comunitario, Ejido Bonanza (comunicación personal con Sotero Quechulpa).
- CAMBIO, 2014, Ordenamiento Territorial Comunitario, Ejido La Unión, (comunicación personal con Sotero Quechulpa).
- Chappell, J. *et al.*, 2013, *Food sovereignty: an alternative paradigm for poverty reduction and biodiversity conservation in America Latina*, en *F 1000 Research*, 2(235).

- Chave, J. *et al.*, 2005, "Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests", en *Oecologia*, 145(1): 87-99.
- Chatre, A. y A. Agrawal, 2009, "Trade-offs and synergies between carbon storage and livelihood benefits from forest commons", en *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(42): 17667-17670.
- Coase, H., 1960, "The Problem of Social Costs", en *The Journal of Law and Economics*, 3: 1-44.
- CONANP, 2011, Programa de adaptación al cambio climático en áreas naturales protegidas del complejo de Sierra y Costa de Chiapas. México. Tuxtla Gutiérrez Chiapas, en http://cambioclimatico.conanp.gob.mx/documentos/re_sierra_y_costa_de_chiapas.pdf, consultado el 10/12/2015.
- Corbera, E. *et al.*, 2007, "The Equity and Legitimacy of Markets for Ecosystem Services", en *Development and Change*, 38(4): 587-613.
- Corbera, E., *et al.*, 2007, Equity implications of marketing ecosystem services in protected areas and rural communities: Case studies from Meso-America, en *Global Environmental Change*, 17(3): 365-380.
- Corlett, T. y A. Westcott, 2013, "Will plant movements keep up with Climate Change?", en *Trends in Ecology and Evolution*, 28(8): 482-488.
- Cortina, S. *et al.*, 2004, *La deforestación en ejidos de Los Altos de Chiapas, México y las áreas de uso común, Oaxaca, México*.
- Cortina, S. *et al.*, 2012, "Resolving the Conflict Between Ecosystem Protection and Land Use in Protected Areas of the Sierra Madre de Chiapas, Mexico", en *Environmental Management*, 49(3): 649-662.
- Dietz, T. *et al.*, 2003, "The Struggle to Govern the Commons", en *Science*, 302(5662): 1907-1912.
- Ducourtieux, O. *et al.*, 2006, "Introducing Cash Crops in Shifting Cultivation Regions – The Experience with Cardamom in Laos" en *Agroforestry Systems*, 66(1): 65-76.
- Engel, S. *et al.*, 2008, "Designing payments for environmental services in theory and practice: An overview of the issues", en *Ecological Economics*, 65(4): 663-674.

- FAO, 2014, Family Farming, en <http://www.fao.org/family-farming-2014/home/what-is-family-farming/es/>, consultado el 22/02/2016.
- Ferraro, J. y R. Simpson, 2002, "The Cost Effectiveness of Conservation Payments", en *Land Economics*, 78(3): 339-353.
- Hecken, V. y J. Bastiaensen, 2010, "Payments for ecosystem services: justified or not?", en *Environmental Science and Policy*, 13(8): 785-792.
- Hendrickson, Y. y E. Corbera, 2015, "Participation dynamics and institutional change in the Scolel Té carbon forestry project, Chiapas, Mexico", en *Geoforum*, 59: 63-72.
- INEGI, 1999a, *Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera El Triunfo*, en http://eltriunfo.conanp.gob.mx/docs/Revision_periodica_MAB_Triunfo_2003.pdf, consultado el 13/09/2015.
- INEGI, 1999b, *Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera La Sepultura*, México, p. 247, en http://lasepultura.conanp.gob.mx/docs/Revision_periodica_MAB_Sepultura_2003.pdf, consultado el 09/09/2015.
- INEGI, 2002, *Recursos naturales*, en www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/.../EdafIII.pdf, consultado el 03/09/2015.
- IPCC, 2014, *Fifth Assesment Report*, en <http://www.ipcc.ch/report/ar5/index.shtml>, consultado el 14/10/2015.
- Jong, H. *et al.*, 2000a, "An economic analysis of the potential for carbon sequestration by forests: evidence from southern Mexico", en *Ecological Economics*, 33(2): 313-327.
- Jong, H. *et al.*, 2000b, "Carbon Flux and Patterns of Land-Use Land-Cover Change in the Selva Lacandona, Mexico", en *Ambio*, 29(8): 504-511.
- Kalacska, G. *et al.*, "Species composition, similarity and diversity in three successional stages of a seasonally dry tropical forest", en *Forest Ecology and Management*, 200(1-3): 227-247.
- Kiss, J., 2002, "Direct Payments to Conserve Biodiversity", en *Science*, 298(5599): 1718-1719.
- Kosoy, N. y E. Corbera, 2010, "Payments for ecosystem services as commodity fetishism", en *Ecological Economics*, 69(6): 1228-1236.

- Morales, G. *et al.*, 2011, "Estrategia del Sector Cafetalero para la Adaptación, Mitigación y Reducción de la vulnerabilidad ante el cambio climático en la Sierra Madre de Chiapas, en http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/11554/1717/1/Estrategia_del_sector_cafetalero.pdf, consultado el 24/11/2015.
- Muradian, R. *et al.*, 2010, "Reconciling theory and practice: An alternative conceptual framework for understanding payments for environmental services", en *Ecological Economics*, 69(6): 1202-1208.
- Nepstad, D. *et al.*, 2006, "Inhibition of Amazon Deforestation and Fire by Parks and Indigenous Lands", en *Conservation Biology*, 20(1): 65-73.
- Nestel, D., 1995, "Coffee in Mexico: international market, agricultural landscape and ecology", en *Ecological Economics*, 15(2): 165-178.
- Norgaard, B., 2010, "Ecosystem services: From eye-opening metaphor to complexity blinder", en *Ecological Economics*, 69(6): 1219-1227.
- Osborne, M., 2011, "Carbon forestry and agrarian change: access and land control in a Mexican rainforest", en *The Journal of Peasant Studies*, 38(4): 859-883.
- Ostrom, E., 2002, *Governing the Commons, the evolution of institutions for collective action*, Cambridge University Press, EEUU.
- Ostrom, E., 2007, "Diagnostic approach for going beyond panaceas. Proceedings of the National", en *Academy of Sciences*, 104(39): 15176-15178.
- Ostrom, E., 2010, "Beyond Markets and States: Polycentric Governance of Complex Economic Systems", en *American Economic Review*, 2(2): 1-12.
- PACCCH, 2010, *Programa de Acción ante el Cambio Climático del Estado de Chiapas*, en http://www.academia.edu/4631307/Programa_de_acci%C3%B3n_ante_el_cambio_clim%C3%A1tico_del_estado_de_Chiapas, consultado el 10/10/2015.
- Paladino, S., 2011, "Tracking the Fault Lines of Pro-Poor Carbon Project", en *Culture, Agriculture, Food and Environment (CAFE)*, 33(2): 117-132.
- Parry, L. *et al.*, 2007, *Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the fourth assessment report of*

the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, EEUU.

- Pattanayak, K. *et al.*, 2010, "Show Me the Money: Do Payments Supply Environmental Services in Developing Countries?", en *Review of Environmental Economics and Policy*, 4(2): 254-274.
- Portillo, L., 20 marzo 1979, "Decreto por el que las causas de interés público se establece zona de protección forestal en los municipios de La Concordia, Ángel Albino Corzo, Villaflores, Jiquipilas, Chiapas", Diario Oficial de la Federación .
- Quesada, R., 27 de noviembre 2007, "Decreto por el que se recategoriza como área protegida con la categoría de área de protección de recursos naturales a zona de protección forestal en los municipios de La Concordia, Ángel Albino Corzo, Villaflores, Jiquipilas, Chiapas", Diario Oficial de la Federación.
- Ramos, E., 2008, "Los nuevos ejidos en Chiapas", en *Estudios Agrarios, Revista de la Procuraduría Agraria*, 37: 45-66.
- Rendón, N. y L. Soto, 2007, *Manual de metodología rápida para la estimación y monitoreo de captura de carbono*, El Colegio de la Frontera Sur, San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México.
- Roncal, S. *et al.*, 2008, "Sistemas Agroforestales y Almacenamiento de Carbono en Comunidades Indígenas de Chiapas, Mexico", en *Interciencia*, 33(3): 200-206.
- Schroth, G. *et al.*, 2009, "Towards a climate change adaptation strategy for coffee communities and ecosystems in the Sierra Madre de Chiapas, Mexico", en *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 14: 605-625.
- Segura, M., 2005, "Allometric models for Tree Volume and Total Above-ground Biomass in a Tropical Humid Forest in Costa Rica", en *Biotropica*, 37(1): 2-8.
- Sierra, R. y E. Russman, 2006, "On the efficiency of environmental service payments: A forest conservation assessment in the Osa Peninsula, Costa Rica", en *Ecological Economics*, 59(1): 131-141.

- Soto, L. y C. Armijo, 2014, "Changes in Agroecosystem Structure and Function Along a Chronosequence of Taungya System in Chiapas, Mexico", en *Journal of Agricultural Science*, 6(11): 43-57.
- Soto, L. et al., 2012, "Agroforestry Systems and Local Institutional Development for Preventing Deforestation in Chiapas, Mexico", en *Deforestation Around the World*, Moutinho, P. (Ed.), en <http://www.intechopen.com/books/deforestation-around-the-world/agroforestry-systems-and-local-institutionaldevelopment-for-preventing-deforestation-in-chiapas-mex>.
- Soto, L. et al., 2013, *La Milpa con árboles Ixim'te o Taungya, un prototipo agroforestal*, El Colegio de La Frontera Sur, Unidad San Cristóbal, San Cristóbal de Las Casas.
- Vertti, M. et al., 2010, La recategorización de Áreas Naturales Protegidas como mecanismos de protección y manejo de macizos forestales en el Corredor Biológico Mesoamericano, III Congreso Mesoamericano de Áreas Protegidas. Naturaleza viva, pueblos vivos: asumiendo nuestros retos globales.
- Wilson, A., 2008, "From 'weak' to 'strong' multifunctionality: Conceptualising farm-level multifunctional transitional pathways", en *Journal of Rural Studies*, 24(3): 367-383.
- Wunder, S., 2007, "The Efficiency of Payments for Environmental Services in Tropical Conservation", en *Conservation Biology*, 21(1): 48-58.
- Tscharntke, T. et al., 2011, "Multifunctional shade-tree management in tropical agroforestry landscapes- a review", en *Journal of Applied Ecology*, 48: 619-629.

Ganadería y cambio climático: Avances y retos de la mitigación y la adaptación en la frontera sur de México

Guillermo Jiménez Ferrer,¹ Lorena Soto Pinto, Esaú Pérez Luna, Juan Carlos Kú Vera, Armin Ayala Burgos, Gilberto Villanueva López, Armando Alayon Gamboa

Resumen. *El sureste de México (SM) no está exento de los efectos del cambio climático (CC), de aquí deriva la importancia de buscar alternativas de mitigación y promover estrategias participativas de adopción y adaptación. El presente trabajo tiene como objetivo revisar los avances en mitigación y adaptación al CC en el sector ganadero en el SM, y resaltar las contribuciones de los sistemas agroforestales-silvopastoriles (SS) y las buenas prácticas ganaderas (BPG). En las últimas décadas, en el SM el principal sector emisor de gases de efecto invernadero (GEI) ha sido el cambio de uso de suelo y la silvicultura (USCUISS), con más de 50% de emisiones ocasionadas por la deforestación y transformación en áreas de agricultura para granos básicos, cultivos comerciales y pastizales para ganadería bovina. El segundo sector, en el rango de emisiones, ha sido el agrícola (incluyendo al ganadero), emitiendo entre 18-20%. De este sector, la ganadería bovina ha contribuido con más de 80% de las emisiones de GEI, las cuales son ocasionadas por la fermentación entérica. En este contexto, los SS y las BPG son una estratégica opción para mitigar y adaptarse al CC. En una revisión de investigaciones previas y proyectos de desarrollo en el sureste de México, se ha encontrado que los sistemas agroforestales, las BPG y el uso de prácticas*

¹ El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), DASA-Proy. Ganadería y Cambio Climático, email: gjimenez@ecosur.mx

silvopastoriles tienen alto potencial para capturar carbono y mitigar los GEI, dependiendo de la complejidad de determinado sistema. Respecto al metano entérico, se observa que las estrategias de mitigación más viables son aquellas que consideran la manipulación de la dieta animal con recursos arbóreos forrajeros locales y sistemas silvopastoriles, ya que son más accesibles al productor ganadero y son de bajo costo. Respecto a estudios de mitigación de óxido nitroso, en el SM, no hay estudios realizados. Se requiere fomentar la construcción de alianzas sociales y estrategias técnico-sociales que fortalezcan las capacidades locales de la población y permitan la masificación de SS y adaptarse al CC, en el contexto de la agenda global, y por una ganadería sustentable.

Palabras clave: *Agroforestería, gases de efecto invernadero, rumiantes, empoderamiento, política pública.*

Summary. *Southeastern Mexico (SM) is not exempt from the effects of climate change (CC), for this the importance of seeking alternatives of mitigation and promote the adoption of participative adaptation strategies. This paper has the objective to review progress on mitigation and adaptation to climate change in the livestock sector in the SM and highlight the contributions of agro-silvopastoral systems (SS) and good farming practices (BPG). In recent decades, in the SM the main emitter of greenhouse gases (GHG) has been the change in land use and forestry (USCUSS), with over 50% of emissions from deforestation and transformation of agriculture areas of basic grains, cash crops and pastures for cattle. The second sector in the range of emissions was agriculture (including livestock), emitting between 18-20%. In this sector, the livestock production has contributed more than 80% of GHG emissions, which are caused by enteric fermentation. In this context, the SS and BPG are a strategic option to mitigate and adapt the CC. In a review of previous research and development projects in southeastern of Mexico has been found that agroforestry systems, BPG and use of silvopastoral practices have high potential to sequester carbon and mitigate greenhouse gas emissions, depending on the complexity of certain system. Regarding the enteric methane, it shows that strategies more viable mitigation are those who*

consider the handling of animal diet with local forage tree resources and / or silvopastoral systems because they are more accessible to the livestock producer and are inexpensive. Don't exist studies of nitrous oxide in the SM. It requires promoting the construction of social alliances and technical and social strategies that strengthen local capacities of the population and allow the massification of SS and adapt to CC in the context of the global agenda for sustainable farming.

Keywords: *Agroforestry, greenhouse gases, ruminants, empowerment, public policy.*

INTRODUCCIÓN

Actualmente, se reconoce a escala mundial la importancia que está teniendo la ganadería en el fenómeno del cambio climático (CC), principalmente por su contribución en las emisiones de metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), potentes gases que dan origen al efecto invernadero (FAO, 2006; O'Mara, 2011). Asimismo, los sistemas de producción agropecuarios están siendo afectados por el CC con graves consecuencias en las condiciones económicas y calidad de vida de la población campesina, especialmente los más pobres (BSAS, 2008; Harmeling, 2011). Ejemplo de esto es que las áreas costeras de Tabasco y Chiapas (México), han sido afectadas por desastres en los últimos años, incluyendo huracanes, inundaciones y sequías, además hay estudios que indican que la intensidad y frecuencia de estos eventos podrá incrementarse en el sureste de México y Centroamérica (CEPAL, 2010). Así, los efectos de los últimos huracanes en el sureste de México (Cancún-Tapachula), incluyendo el huracán Patricia (2015) en el Pacífico, podrían ser considerados resultado del cambio climático.

Se sabe que el CC está impactando no solamente en la sociedades urbana y rural, sino que existen evidencias, en varias áreas del mundo, sobre sus efectos en ecosistemas, en la biodiversidad y en áreas agrope-

cuarias (BSAS, 2008). Problemas de deforestación, cambios de uso del suelo y sistemas de producción no sostenibles son sólo parte de este complejo fenómeno (Angelesen y Kaimowitz, 2001; Soto *et al.*, 2013). También se estima que el CC disminuirá la productividad agrícola en las regiones tropicales, reducirá la cantidad y la calidad del agua en la mayoría de las regiones áridas y semiáridas, y aumentará la incidencia de enfermedades en humanos como el paludismo y el dengue (IPCC, 2014). En México, el aumento del nivel del mar podría provocar el desplazamiento de decenas de millones de personas que viven en zonas bajas, como las que de Tabasco y Campeche, poniendo en peligro grandes áreas productivas de las que dependen miles de productores. En este contexto, la población requiere conocimiento y tomar conciencia de este fenómeno, además de comprender la necesidad de contribuir con acciones de mitigación y buscar estrategias para adaptarse al CC.

Cambio climático, seguridad alimentaria y ganadería

En América Latina (AL) se han observado importantes cambios en la precipitación y aumentos en la temperatura. Además, los cambios en el uso del suelo han intensificado la explotación de los recursos naturales y promovido los procesos de degradación de áreas agropecuarias (Schroth *et al.*, 2009). En este contexto, el alto nivel de vulnerabilidad de la mayoría de los países de la región, frente a eventos climáticos extremos, puede comprometer su proceso de desarrollo, y afectar principalmente a la población que vive bajo el umbral de la pobreza (Magrin *et al.*, 2007). En el sureste de México, la existencia de ecosistemas frágiles, sistemas de producción insostenibles, altos niveles de pobreza y estrategias de desarrollo no acordes con las condiciones locales, entre otros factores, han convertido, en la actualidad, a esta región en una de las más propensas de México a sufrir los efectos adversos del CC. Proyecciones para las próximas dos o tres décadas en la región de México y

Centroamérica resaltan la vulnerabilidad de los sistemas productivos, particularmente de los cultivos tradicionales (PCCCH, 2011) Se espera que la producción de maíz pueda disminuir de manera significativa por el aumento en la temperatura y la disminución de las precipitaciones. La mayor amenaza para la agricultura de la región del sur de México y Centroamérica será la disminución de la humedad de los suelos, pudiendo convertirse en sequía agrícola y agravándose por la ocurrencia de eventos meteorológicos extremos. Durante 2015, aunque todavía no hay datos robustos, se estima que la producción de granos básicos en el estado de Chiapas se redujo en 40% debido a la escasez de lluvias.

A escala global, la producción animal está pasando por cambios estructurales debido al crecimiento de la población humana, al incremento de los ingresos en las sociedades urbana y rural, y a una creciente demanda en el consumo de productos de origen animal. En general, la producción animal mundial está creciendo con más dinamismo que otros subsectores agrícolas, y se prevé que para el año 2020 la ganadería producirá más de la mitad del valor de la producción agrícola mundial (Delgado *et al.*, 1999). Este proceso ha sido nombrado como la “Revolución Ganadera”, y puede tener serias consecuencias tales como: a) un rápido y dinámico incremento en el consumo de productos de origen animal en los países en desarrollo, b) una re-localización de las actividades productivas ganaderas, c) un cambio en los sistemas de producción diversificados a sistemas verticales, ligados a procesos de mercado global, e) presión sobre los recursos locales y de propiedad comunal, especialmente en las áreas de pastoreo, y d) efectos negativos sobre los recursos naturales (agua, suelo, vegetación y biodiversidad) y la salud de la población. Este proceso global no es ajeno a la dinámica de la población rural en el sureste de México, en donde la ganadería contribuye de manera significativa en la economía regional y cultural, especialmente en las zonas campesinas e indígenas.

Hoy día, el conflicto entre la ganadería, la producción de alimentos básicos y la conservación de los recursos naturales preocupa a diversas

instancias nacionales e internacionales, quienes dedican esfuerzos y recursos para revertir las actuales tendencias negativas de la ganadería extensiva. Existe un consenso científico que indica que el cambio climático afectará las actividades pecuarias (Thornton y Herrero, 2008). Los cambios esperados tendrán efectos en las áreas de pastoreo, afectando la productividad de los pastos, la salud de los animales y, en general, obligará a modificar el manejo de los sistemas pecuarios, afectando a una gran población humana dedicada a esta actividad.

Hay muchas formas en las cuales el cambio climático puede afectar a la ganadería. En general, es necesario considerar cuatro factores importantes, uno de ellos es el agua, la cual es determinante, principalmente en épocas críticas. Se prevé que el agua tendrá una variación en su disponibilidad en muchas regiones mundiales, pudiendo afectar a 2 billones de pequeños productores ganaderos en el mundo. Otro factor son los forrajes, de los cuales existen evidencias de que el cambio climático puede afectar la disponibilidad, composición y valor nutritivo de los pastizales (Pollack, 2008). Este aspecto puede modificar la dieta de los animales y poner en riesgo las estrategias de los ganaderos para mantener sus rebaños y su economía; por ejemplo, en ciertas áreas del centro de Chiapas, México, el maíz ha sido sustituido por otros cultivos, como el sorgo forrajero, el cual es apto para zonas con sequía y zonas áridas. El tercer factor es el de la biodiversidad en los sistemas ganaderos, un aspecto amenazado y poco estudiado, ya que una acelerada desertificación puede ocasionar una pérdida de la diversidad vegetal y animal (Ehrenfeld, 2005). Finalmente, la salud humana y animal son de los factores más sensibles. Ya existe información sobre el aumento de enfermedades y plagas, tanto en la población animal como humana; sin ir más lejos, enfermedades como la malaria, la "Lengua azul" y las causadas por garrapatas están teniendo presencia en zonas donde antes no había incidencia de ellas (Paz *et al.*, 2005).

En el sureste de México, la actividad pecuaria ya ha sido afectada intensamente por efectos de sequías e inundaciones. Aunque no hay suficientes estudios, se estima que grandes áreas de pastoreo en los es-

tados de Tabasco, Campeche y Chiapas han sido degradadas debido a una combinación de efectos climatológicos y de sistemas obsoletos en la producción. Sin embargo, el patrón de crecimiento del hato ganadero en muchos estados del sureste de México ha ido en aumento (Jiménez, 2010), lo cual contribuye directamente al CC mediante las emisiones de metano por fermentación entérica. En este contexto, el IPCC (2006) reportó que las emisiones mundiales, en el año 2000, correspondieron en 55% al dióxido de carbono (CO_2) proveniente del sector industrial y energético; 19% al CO_2 proveniente del sector, cambio en el uso de la tierra y silvicultura; 16% al CH_4 , y 9% al N_2O provenientes del sector agrícola.

La actividad agrícola en el sureste de México, en especial la ganadería bovina, representa una importante actividad social y productiva en familias rurales y campesinas; esto explica que la actividad agropecuaria en el sureste de México contribuya con un alto porcentaje del total de las emisiones de GEI en esta región. Por ejemplo, en el estado de Chiapas, los principales GEI emitidos por la actividad agropecuaria son el CH_4 entérico, producido por rumiantes, y el N_2O emitido desde el suelo. Si bien, ambos gases son emitidos en forma directa o indirecta, principalmente por la actividad ganadera, la adición de fertilizantes nitrogenados al suelo también es una fuente importante de emisión de N_2O (Jiménez *et al.*, 2010).

Dinámica de GEI en el sureste de México: caso Chiapas

En el sureste de México, el cambio de uso de suelo (CUS), de bosques a potreros, ha sumado grandes superficies de tierras dedicadas a la ganadería bovina. Covalada *et al.* (2012) reportaron en Chiapas un CUS de tierras forestales a áreas de pastoreo de 43 283 ha/año durante los años 2003-2008, de las cuales entre 50 y 70% se encuentran degradadas o en un proceso de degradación. Respecto a la población bovina en Chiapas, es la tercera más grande en el país, superada por los estados de Veracruz

y Tabasco. Chiapas reportó en el 2013 que existían alrededor de cerca de 2700 000 cabezas de bovinos (SIAP, 2015).

De acuerdo al PCCCH (2011), en el año 2005 Chiapas emitió 27776.15 Gg de CO₂eq. El principal sector emisor fue el cambio de uso de suelo y silvicultura (USCUSS) con 57%, que fueron emitidas principalmente por la deforestación y degradación forestal para la transformación en áreas de agricultura para granos básicos, cultivos comerciales y pastizales para ganadería bovina. El segundo sector en el rango de emisiones fue el agrícola (incluyendo al ganadero), emitiendo 19%. Es importante destacar que de este sector, la ganadería bovina contribuyó con más de 80% de las emisiones de GEI, la cuales fueron debido a las emisiones de metano provenientes de la fermentación entérica del ganado. Las emisiones de óxido nitroso significaron una baja proporción en el sector agrícola, y provinieron esencialmente de los desechos del estiércol y la fertilización (Cuadro 1). Cabe destacar que la participación del sector ganadero de Chiapas concuerda con las tendencias mundiales de emisiones provenientes del sector ganadero citadas por la FAO (2006).

Cuadro 1. Distribución de las emisiones de gases de efecto invernadero por sector en Chiapas (2010).

Sector	%
USCUSyS	57
Agricultura	19
Energía	15
Residuos	8
Procesos Industriales	1

Fuente: PCCCH, 2011

Avances en la mitigación en sistemas ganaderos

Dentro de la búsqueda de estrategias para la mitigación al CC, hay un amplio abanico de oportunidades tecnológicas basadas en la agroforestería, la agroecología, y opciones de buenas prácticas ganaderas (BPG), reconocidas mundialmente como alternativas viables y al alcance de las poblaciones locales; por ejemplo, en el contexto de reconversión de la ganadería extensiva, el aprovechamiento de la diversidad arbórea y arbustiva local es una oportunidad de fácil acceso a los productores debido a los múltiples usos y servicios ambientales que ofrece este recurso. El potencial de árboles para el diseño de sistemas silvopastoriles (SS) ha sido también mundialmente reconocido, por su importancia productiva y de servicios ambientales (Murgueitio, 2014; Palmer, 2014).

En el sureste de México existen especies arbóreas nativas que cumplen funciones múltiples como: producción de madera, leña, forraje, alimento, medicinas, además proporcionan servicios como sombra, mejoran el suelo, sirven de corredores biológicos que pueden ser utilizados en sistemas agroforestales, mejoran las prácticas de producción ganadera y mitigan los efectos del CC. En Chiapas, actualmente, se tiene conocimiento de más de 50 especies arbóreas con potencial forrajero y de uso múltiple que pueden mejorar los sistemas convencionales (Jiménez *et al.*, 2008a; Marinidou *et al.*, 2013). En este mismo sentido, los SS y diversas BPG pueden representar una opción que permite hacer un uso sostenido de la tierra con beneficios directos sobre el productor y el medio ambiente. Así, el silvopastoreo, las BPG y la gestión del paisaje pueden disminuir las emisiones de GEI mediante la reducción de la deforestación o la degradación de los bosques, evitando fugas y la mejora de las reservas de carbono. Así mismo, los SS existentes en las diferentes regiones agroecológicas del sureste de México pueden proveer de servicios eco-sistémicos múltiples para promover la sustentabilidad y reducir las emisiones de GEI, a través de la menor presión por la tierra y mejor uso del forraje por los bovinos. De igual manera, pueden ser parte de las estrategias para la

mitigación y promover la adaptación al cambio climático en el sureste de México, mejorando la resiliencia de los sistemas productivos.

En investigaciones previas en el sureste de México, se ha encontrado que los sistemas agroforestales, las BPG y el uso de prácticas silvopastoriles, mediante cercos vivos (SCV) y árboles en potreros (SAP), permiten un aporte importante de carbono (C) en la biomasa viva, y en el suelo tienen alto potencial para mitigar los GEI, dependiendo de la complejidad de determinado sistema, además de tener múltiples beneficios ambientales en la restauración de ecosistemas y la conectividad entre ellos para la conservación de la biodiversidad, y otros beneficios sociales y culturales, aportando a la seguridad alimentaria (Jiménez *et al.*, 2008; PCCCH, 2011; Marinidou *et al.*, 2013; Nahed *et al.*, 2013; Ferguson *et al.*, 2013). Por ejemplo, con respecto a la mitigación del CC, estudios de línea base sobre el potencial de captura de carbono en paisajes ganaderos con trópico húmedo (Selva Lacandona, Chiapas México), indican que el valor más alto se obtuvo en SS con SAP con 88.89 Mg C ha¹, seguido por SCV con 87.5 Mg C ha¹. El valor más bajo correspondió a pasturas en monocultivo con 60.62 Mg C ha¹. La materia orgánica del suelo fue el mayor reservorio, y no fue diferente bajo ninguno de los sistemas y no hubo diferencia por profundidad de suelo (Jiménez *et al.*, 2008). Por otro lado, Villanueva-López y colaboradores (2015) encontraron en Tabasco (México) que la presencia de árboles (*G. sepium*), como cercos vivos en áreas de pastoreo, permitió un almacenamiento anual de carbono atmosférico en el suelo de 20.44 Mg C ha⁻¹ año⁻¹, mientras en áreas de pasturas en monocultivo fue de 19.22 Mg C ha⁻¹ año⁻¹. Estos mismos autores, en otro estudio, resaltan la importancia de cercos vivos con *G. sepium* en las tasas de respiración del suelo de áreas en pastoreo, permitiendo temperaturas más bajas y humedad ambiental más estable, que impactaron en los flujos de CO₂ de suelo (Villanueva-López *et al.*, 2014). Comparando estos resultados con estimaciones de almacenamiento de carbono en paisajes ganaderos en Centroamérica (Muhammad *et al.*, 2007), se evaluaron pasturas degradadas, pasturas naturales y mejoradas con árboles, bancos forrajeros y bosques secundarios, encontrando 72.5, 97.3, 115.13, 130.6 y 162.17

Mg C ha¹, respectivamente. Comparando con otros sistemas agrícolas en Chiapas, México, Roncal (2007) encontró valores de almacenamiento de C en sistema Taungya, milpa tradicional, acahuales mejorados y barbecho natural de 109.4, 127.9, 150.1 y 177.6 Mg C ha⁻¹, respectivamente.

Con respecto al metano entérico, hay suficientes evidencias, de tipo mundial, que demuestran el importante papel que tienen los rumiantes como emisores de GEI (O'Mara, 2011). Se considera que los sistemas ganaderos aportan mundialmente 15% de las emisiones globales de este potente gas, por lo que se deben buscar estrategias de mitigación para su reducción. En los estados que comprenden la frontera sur de México, recientemente se ha empezado a investigar para encontrar alternativas que contribuyan a la mitigación de CH₄ entérico. En el estado de Yucatán, México, los estudios de CH₄ entérico se han centrado en usar la técnica de cámaras de respiración de circuito abierto en el Laboratorio de CC y Ganadería (LACCLIGA) de la Universidad Autónoma de Yucatán (SIIDETEY, 2014). En Yucatán, Ayala *et al.* (2014) demostraron, en un ensayo con ovinos Pelibuey alimentados con pasto Taiwán (*Pennisetum purpureum*), que la incorporación de la harina de los frutos molidos de la parota (*Enterolobium cyclocarpum*) en la ración, resulta en una reducción significativa en las emisiones de metano entérico. De igual forma, Piñeiro-Vázquez y colaboradores (en prensa), en otro estudio con bovinos alojados en cámaras de respiración de circuito-abierto, encontraron que disminuía alrededor de 25% en las emisiones de metano entérico, usando taninos condensados provenientes del follaje del "Guashin" (*Leucaena leucocephala*). En el estado de Chiapas, Jiménez *et al.* (en preparación) analizaron la pertinencia técnica y social de diversas estrategias de mitigación de GEI con productores ganaderos del sureste de México, sugiriendo que las mejores estrategias de mitigación para el metano entérico son aquellas que consideran la manipulación de la dieta animal con recursos locales, buenas prácticas y sistemas silvopastoriles, ya que son más accesibles al productor ganadero y son de bajo costo. Los usos de técnicas más complejas para la mitigación de metano entérico, mediante inhibidores, antibióticos o biotecnología

genética, son una posibilidad ya confirmada en otros países y en el centro de México, sin embargo, está fuera del alcance de la mayoría de los productores con ganado en el sureste de México (Cuadro 2).

Respecto a estudios de mitigación de metano entérico y óxido nítrico en sistemas ganaderos en pastoreo en el sureste de México, no hay estudios realizados, sin embargo, hay amplia información en otras regiones de América Latina que permite sugerir la necesidad de buscar estrategias en el manejo y fuentes alternativas de fertilización en las áreas ganaderas, así como evaluar las emisiones de metano entérico bajo condiciones de pastoreo usando la técnica de Sf₆, y generar factores de emisión locales (Jiménez *et al.*, 2014; Alfaro *et al.*, 2014).

Cuadro 2. Perspectivas de mitigación de emisiones de metano entérico en ganadería en el sureste de México

	Compuestos/ Estrategias	Complejidad de Implementación	Viabilidad en Sistemas ganaderos del sureste
Inhibidores directos	Cloroformo, Amicloral, Ácidos	XXX	X
Aditivos	Ácidos grasos orgánicos, Fumarato, Malato, Ionóforos	XXX	XX con restricciones económicas y de manejo
Manipulación de la dieta	Forrajes de buena digestibilidad, Defaunadores naturales, Agroforestería (silvopastoreo con árboles forrajeros), leguminosas, ensilados, blocks de melaza, fuentes energéticas (Melaza, banano verde, caña)	X	XXX Alta viabilidad para sistemas de leche y carne y/o doble propósito. Fácil adopción en productores de bajos ingresos
Otros; Antibióticos Biotecnología Ing. genética	Vacunas	XX	XX Restricciones económicas Requiere investigación

XXX = Alta XX = Intermedia X = Baja

Estrategias de adopción-adaptación en Ganadería, ¿qué hacer?

En áreas tropicales se han identificado múltiples barreras culturales, sociales y tecnológicas que impiden la adopción de sistemas agroforestales; entre ellos, los sistemas silvopastoriles (Alyson *et al.*, 2003; Mercer, 2004). Asimismo, también existen experiencias, a diferente escala, que muestran el papel estratégico que han tenido la agroforestería, la reforestación, la venta de servicios ambientales y las BP, donde han interactuado y colaborado productores, investigadores y agentes del desarrollo. Ejemplos como los proyectos silvopastoriles multinacionales implementados por CATIE-CIPAV, en Centro y Sudamérica (Muhammad, 2007; Palmer, 2014); el Proyecto *Scolel'te* ("Árbol que crece", en tzeltal), en el sureste de México (Soto Pinto *et al.*, 2013), y la Red de Ganadería Sustentable y Cambio Climático, en el estado de Chiapas, muestran la posibilidad de la "masificación" a diferente escala, y su aporte con respecto a diversas alternativas para combatir la pobreza, conservar los recursos forestales, diversificar la agricultura y adaptarse a los efectos del cambio climático (Cuadro 3).

La adaptación al CC requiere que técnicos, funcionarios, campesinos y productores realicen cambios o ajustes en la forma de producir, y logren una mejor habilidad para manejar el riesgo, ya sea por sequía o inundaciones debidas al CC. Aspectos como cambios en el uso del suelo, infraestructura y nuevas estrategias de manejo de sistemas, diseño de nuevos escenarios, nuevos sistemas de producción, incorporación del conocimiento local y estrategias participativas, adicional a los avances científicos, permitirán la adaptación al CC. El desarrollo de una ganadería "amigable", en la que el término amigable sea empleado para integrar el aprovechamiento racional, la seguridad alimentaria y la conservación de los recursos naturales, requiere de estrategias que incorporen los avances de las ciencias y el conocimiento local de los productores. La ganadería bovina en el sureste de México, comúnmente, es realizada bajo prácticas extensivas, sin embargo, incorpora la experiencia de los

productores, con una fuerte carencia en servicios técnicos y financieros. Existen muchas opciones para adaptarse al cambio climático; por ejemplo, cambios tecnológicos son necesarios para mantener o incrementar la productividad animal en un contexto de conservación y buen manejo de los recursos naturales. En este sentido, como ya hemos indicado, la agroecológica, la cultura orgánica, las BPG y el enfoque agroforestal-silvopastoril son estrategias que ya han sido validadas en múltiples escenarios agroecológicos y sociales, y han mostrado sus bondades en la conservación y en la oferta de servicios ambientales. En el contexto de estas opciones, también existe una fuerte necesidad de implementar nuevos métodos y herramientas que sean adecuadas para cada tipo de productor, y que incorporen la experiencia y el conocimiento local de los ganaderos. Al respecto, los campesinos y productores agropecuarios de muchas partes de México tienen una inmensa riqueza de “conocimientos tradicionales” sobre cómo enfrentar la variación y los riesgos del clima, lo cual es necesario para poder generar procesos de vinculación y transferencia de experiencias exitosas.

Cuadro 3. Experiencias donde la Agroforestería se ha masificado y contribuye a disminuir la pobreza, conservar recursos y adaptarse al cambio climático

	Proyecto Scolel 'te (Árbol que crece) México	Red de ganadería sustentable y cambio climático de Chiapas, México	Proyecto Ganadería y Manejo de medio Ambiente. Costa Rica, Nicaragua y Colombia
Escala (Localidad)	<u>Regional</u> . Chiapas (Regiones: Selva, Norte y Valles Centrales) y Oaxaca	<u>Local</u> . Estado de Chiapas (Villa Flores, Villa Corzo, Pijijiapan, Marqués de Comillas, Ocosingo)	Multi-Nacional. Costa Rica, Nicaragua, Colombia
Implementadores	AMBIO, ECOSUR (Mex.), Edinburgh University (UK)	CATIE-ECOSUR-PRONATURA-TNC-AMBIO-UNACH	CATIE (Gamma)-CIPAV-FAO (Lead)

Actividades	Reforestación, Agroforestería, Conservación y Restauración.	Agroforestería pecuaria, Agroecología, Reforestación.	Agroforestería Pecuaria, Reforestación.
Áreas bajo manejo	➤ 7606.75 ha	➤ 2500 ha	➤ 10 000.00 ha
Participantes	1207 productores indígenas de varias regiones de Chiapas y Oaxaca.	335 productores ganaderos medianos (< 50 ha) y pequeños. (< 20 ha).	➤ 2000 productores
Acciones	Pago por Servicios Ambientales, Planes vivos para Sistemas Agroforestales (Taungya, Silvopastoreo, Café, Mejoramiento Acahuales).	Implementación de sistemas silvopastoriles y buenas prácticas ganaderas.	Pago por Servicios Ambientales en Sistemas Silvopastoriles (Bancos forrajeros, cercos vivos, árboles en potreros).

Fuente: www.planvivo.org; <http://gamma.catie.ac.cr/redchiapas/>; FAO, 2010; Palmer, 2014; CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Turrialba, costa Rica); CIPAV (Centro para la investigación en sistema sostenible de producción agropecuaria, Cali, Colombia); FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura); ECOSUR (El Colegio de la Frontera Sur); TNC (Nature Conservation); AMBIO (Ong local); CONABIO (Mex.); PRONATURA (Mex.).

CONCLUSIONES

Cabe destacar que en la última década, dos aspectos han sobresalido en la investigación en ganadería y medio ambiente: a) el desarrollo de métodos cada vez más sofisticados para evaluar las interacciones entre

los componentes en sistemas ganaderos y sus impactos ambientales y b) el potencial técnico para la reducción de la huella ambiental (p.e. GEI) de diversas estrategias tecnológicas (Herrero *et al.*, 2015). Sin embargo, la viabilidad cultural y socioeconómica de muchas de estas alternativas no se han explorado. Además, se necesita de un empoderamiento de las organizaciones locales y regionales de productores, y de una política pública más agresiva y comprometida socialmente para generar y ofrecer condiciones de adaptación, y con ello contribuir a un desarrollo rural en este contexto global.

Entonces ¿cuáles son las estrategias necesarias para “masificar” o “escalar” los avances encontrados?, ¿cuál es el enfoque de investigación y desarrollo que debe seguirse para contribuir a resolver los “viejos” problemas de la ganadería en México?, ¿cuáles deben ser los incentivos sociales que permitan la adopción y motivación de nuevas prácticas en lo técnico y social?, y ¿cómo vincular los avances encontrados en estudios de mitigación con las estrategias de adopción y adaptación al CC? Estos retos y las respuestas a estas inquietudes se tendrán que ir construyendo en un proceso participativo e incluyente de todos los involucrados.

AGRADECIMIENTOS

Este documento ha sido posible por el financiamiento del Proyecto: CONACYT-SEP CB-2014 No. 242541 *“Cuantificación de emisiones de metano entérico y óxido nitroso en ganadería bovina en pastoreo y diseño de estrategias para la mitigación en el sureste de México”*.

BIBLIOGRAFÍA

- Alfaro, M. *et al.*, 2014, "Emisiones de óxido nitroso en una pradera permanente fertilizada con distintas fuentes de nitrógeno en el suelo volcánico del sur de Chile", en *1ª Conferencia de Gases de Efecto Invernadero en Sistemas Agropecuarios de América Latina (GALA)*, Serie Actas INIA-Chile, 54: 65-66.
- Alyson, B. *et al.*, 2003, "Silvopastoral research and adoption in Central America: recent findings and recommendations for future directions", en *Agroforestry Systems*, Septiembre, 59: 2, 149-155.
- Angelsen, A. y D. Kaimowitz, 2001, "The Role of Agricultural Technologies in Tropical Deforestation", en Angelesen, A. y D. Kaimowitz, (Eds.), *Agricultural Technologies and Tropical Deforestation*, CIFOR, Cabi Pub, UK.
- Ayala, A. *et al.*, 2014, "Efecto del fruto molido de *Enterolobium cyclocarpum* sobre la población de protozoarios y producción de metano en el rumen de ovinos de pelo", en *1ª Conferencia de Gases de Efecto Invernadero en Sistemas Agropecuarios de América Latina (GALA)*, Serie Actas INIA-Chile, 54: 105-106.
- BSAS, 2008, *Livestock and Global Climate Change*, Cambridge Press, UK.
- CEPAL, 2010., *Balance preliminar de las economías de América Latina y el Caribe: efectos del cambio climático sobre la agricultura*, Santiago de Chile, Chile.
- Covaleda, S. *et al.*, 2012, "Anexo A. Diagnóstico del estado actual de REDD+ en Chiapas, Programa Mexicano del Carbono, en [http:// pmcarbono.org/pmc/descargas/proyectos/CI_Factibilidad_REDD+/Informe_Fase_B/Informe_Final.pdf](http://pmcarbono.org/pmc/descargas/proyectos/CI_Factibilidad_REDD+/Informe_Fase_B/Informe_Final.pdf), consultado 10/03/15.
- Delgado, C. *et al.*, 1999, "Livestock to 2020: the next food revolution", en *Agriculture and the Environment Discussion Paper 28*, International Food Policy Research Institute, Washington, DC.
- Erhenfeld, D., 2005, "The Environmental Limits to Globalization", en *Conservation Biology*, 19: 318-326.

- FAO, 2006, *Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options*, Food and Agriculture Organization, Roma, Italia.
- Ferguson, B., 2013, "Sustainability of holistic and conventional cattle ranching in the seasonally dry tropics of Chiapas, Mexico", en *Agricultural Systems*, (120): 38-48.
- Herrero, M. *et al.*, 2015, "Livestock and the Environment: What Have We Learned in the Past Decade?", en *Annu. Rev. Environ. Resour.*, 40: 177-202.
- Harmeling, S., 2011, *Global climate risk index 2012. Who suffers most from extreme weather events?*, Briefing paper, Berlin, Germanwatch.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) 2006, "Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero", IPCC-NGGIP, en <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/>
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 2014, Summary for policymakers, en Field, B. *et al.*, *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University, UK.
- Jiménez, G. *et al.*, 2008, "Livestock and carbon sequestration in the Lacandon rainforest, Chiapas, Mexico", en Rowlinson, P. *et al.* (Eds.), *Proceedings of the International Conference Livestock and Global Climate Change*, Cambridge University Press, Hammamet, Tunisia.
- Jiménez, G. *et al.*, "Ganadería y conocimiento local de árboles y arbustos forrajeros de la selva Lacandona, Chiapas, México", en *Zootecnia Tropical*, 26(3).
- Jiménez, G. *et al.*, 2010, "Sector Agricultura del Inventario Estatal de Gases de Efecto Invernadero del Estado de Chiapas", *Informe técnico, Anexo B. PCCCH*.
- Kass, D., 1995, "Sistemas silvopastoriles en las Américas: Una enseñanza del pasado", en *Agroforestería de las Américas*, 2(7): 4-5.

- O'Mara, F., 2011, "The significance of livestock as a contributor to global greenhouse gas emissions today and in the near future", en *Animal Feed Science and Technology*, 166-167: 7-15.
- Marinidou, E. et al., 2013, "Concepts and a methodology for evaluating environmental services from trees of small farms in Chiapas, México", en *Journal of Environmental Management*, 114, 115-124.
- Magrin, G. et al., 2007, "Latin America. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability", en Parry, M. et al. (Eds.), *Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Mercer, D., 2004, "Adoption of agroforestry innovations in the tropics: A review", en *Agroforestry Systems*, 61:1, 311-328.
- Muhammad, I. et al., 2007, "Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa aérea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua", en *Agroforestería de las Américas*, 45: 27-35.
- Murgueitio, R. et al., 2014, "Los sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi), herramienta de mitigación y adaptación al cambio climático", en *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17: 501-507.
- Nahed, T. et al., 2013, "Feasibility of converting agrosilvopastoral systems of dairy cattle to the organic production model in southeastern Mexico", en *Journal of Cleaner Production*, 43: 136-145.
- Palmer, L., 2014, "A new climate for grazing livestock", en *Nature Climate Change*, 4: 321-323.
- Pollock, J., 2008, "Impacts on livestock agriculture of competition for resources", en Rowlinson P. et al. (Eds.), *Proceedings of the International Conference Livestock and Global Climate Change*, Cambridge University Press, Hammamet, Tunisia.
- Paz, J. et al., 2005, "Impact of regional climate change on human health", en *Nature*, 438: 310-317.

- PCCCCH, 2011, *Plan de acción ante el cambio climático en Chiapas*, Gob. de Chiapas, CI/ECOSUR/CP/INE/Semarnat, Gobierno del Estado de Chiapas.
- Roncal, S., 2007, *Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de Chiapas, México*, tesis de maestría, El Colegio de la Frontera Sur México.
- Schroth, G. y P. Laderach, 2009, "Towards a climate change adaptation strategy for coffee communities and ecosystems in the Sierra Madre de Chiapas, Mexico", en *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 14(7): 605-625.
- SIAP (Sistema de Información Agrícola y Pesquera), 2015, "Bovinos de carne y leche, población ganadera 2005-2014", en <http://www.siap.gob.mx/opt/poblagand/bovino.pdf>, consultado el 3/09/15.
- SIIDETHEY, 2014, "Cambio Climático y ganadería", en *Órgano oficial de Ciencia y la Tecnología en Yucatán, Gaceta*, 6: 47, 5-19.
- Soto, L. et al., 2013, "Agroforestry Systems and Local Institutional Development for Preventing Deforestation in Chiapas, Mexico", en *Deforestation in Around the World*, Tech Open.
- Thornton, P. y M. Herrero, 2008, "Climate change, vulnerability and livestock keepers. Challenges for poverty alleviation", en Rowlinson P. et al. (Eds.), *Proceedings of the International Conference Livestock and Global Climate Change*, Cambridge University Press, Hammamet, Tunisia.
- Villanueva, G. et al., 2014, "Influencia del sistema silvopastoril 'Cercas Vivas' de *Gliricidia sepium* en la respiración del suelo en Tacotalpa, Tabasco, México", en *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17: 261-266.
- Villanueva, G. et al., 2015, "Carbon storage in livestock systems with and without live fences of *Gliricidia sepium* in the humid tropics of Mexico", en *Agroforestry Systems*, 23: 123-132.

Componentes de un sistema efectivo de adaptación al cambio climático: lecciones de las comunidades forestales de México

Francisco Chapela Mendoza y Fernando Ruiz Noriega¹

Resumen. México enfrenta la necesidad y el compromiso de establecer programas nacionales de adaptación al cambio climático que incluyan provisiones para asegurar los recursos hídricos y la agricultura, así como proteger las zonas afectadas por la sequía y la desertificación.

Por ello, hoy la ciencia y la técnica agronómicas enfrentan un nuevo reto que obliga a replantear los paradigmas que se han seguido en el pasado: ¿Cómo prepararse para lo imprevisto?, ¿Cómo prever lo que nunca ha pasado?

México cuenta con expertos de muy alto nivel en adaptación a los cambios: las comunidades indígenas y campesinas que han desarrollado mecanismos de adaptación a situaciones inéditas.

La experiencia de la comunidad de Comaltepec, junto con las de otras comunidades de México y otros países, arroja luz sobre cómo pueden establecerse programas nacionales de adaptación al cambio climático que incluyan provisiones para asegurar los recursos hídricos y la agricultura, así como proteger las zonas afectadas por la sequía y la desertificación.

Los sistemas y mecanismos usados por las comunidades indígenas para adaptarse a varios tipos de cambios deberían ser un componente central de cualquier Estrategia Nacional de adaptación, si se pretende tener éxito.

¹ Estudios Rurales y Asesoría, e-mail: fchapela@era-mx.org

Palabras clave: *silvicultura comunitaria; adaptación al cambio climático; cultura chinanteca; manejo adaptativo.*

Abstract. *Mexico faces the need and commitment to establish national programs for adaptation to climate change, including provisions to ensure water resources and agriculture, and protect areas affected by drought and desertification. Because of this, today agronomic science and technology face a new challenge that forces us to rethink the paradigms followed in the past: How to prepare for the unexpected? How to anticipate what never ever happened?. Mexico has very high-level experts in adapting to change: Indigenous and peasant communities that have developed mechanisms to adapt to new situations. The experience of the Comaltepec Chinantec community, along with other communities in Mexico and other countries, sheds light on how climate change national programs for adaptation can be designed, including provisions to ensure water resources and agriculture, and protect areas affected by drought and desertification. The systems and mechanisms used by indigenous communities for adapting to several types of change should be a central component of any National adaptation strategy, if it seeks to be successful.*

Keywords: *community forestry; adaptation to climate change; chinanteca culture; adaptive management.*

INTRODUCCIÓN

Aunque en el pasado el planeta Tierra ha experimentado cambios climáticos fuertes y recurrentes, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (<http://www.ipcc.ch/>) ha considerado que el calentamiento global que actualmente se registra es debido, en buena medida, a causas antropogénicas, por ello, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) pretende:

La estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático. Ese nivel debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible (CMNUCC,1992, Art. 2).

La Convención mencionada reconoce, sin embargo, que el calentamiento global seguirá, en el mejor de los casos, mitigado por las medidas que se tomen, pero será necesario prever medidas de adaptación al cambio climático. A partir del 21 de marzo de 1994, los 195 países que la han ratificado están comprometidos a:

Formular, aplicar, publicar y actualizar regularmente programas nacionales y, según proceda, regionales, que contengan medidas orientadas a mitigar el cambio climático, teniendo en cuenta las emisiones antropógenas por las fuentes y la absorción por los sumideros de todos los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal, y medidas para facilitar la adaptación adecuada al cambio climático (CMNUCC,1992, Art. 4. 1b).

Los países adheridos a la convención, también se han comprometido a

cooperar en los preparativos para la adaptación a los impactos del cambio climático; desarrollar y elaborar planes apropiados e integrados para la ordenación de las zonas costeras, los recursos hídricos y la agricultura, y para la protección y rehabilitación de las zonas, particularmente de África, afectadas por la sequía y la desertificación, así como por las inundaciones (CMNUCC,1992, Art. 4. 1e).

En este contexto, México enfrenta la necesidad y el compromiso de establecer programas nacionales de adaptación al cambio climático que incluyan previsiones para asegurar los recursos hídricos y la agricultura, así como proteger las zonas afectadas por la sequía y la desertifi-

cación. En el presente documento presentaremos algunos componentes que consideramos deberían incluirse en un sistema efectivo de adaptación al cambio climático, derivados de las lecciones que hemos aprendido de comunidades forestales de México, en especial de comunidades indígenas.

El problema de la adaptación

La práctica de la agronomía en México, igual que en buena parte del mundo, ha seguido de cerca el enfoque convencional de la medicina: caracterizar cuadros clínicos “tipo” que puedan ser identificados o “diagnosticados” con facilidad por los trabajadores de salud, e identificar los mejores tratamientos o “terapias” para atender dichos cuadros clínicos. La versión agronómica de este paradigma consiste en diagnosticar la situación de un productor y recomendar el tratamiento, usualmente variedades mejoradas, plaguicidas y fertilizantes, de acuerdo con lo indicado en los manuales. El objetivo de este enfoque es lograr, en el mejor de los casos, que la persona o la parcela agrícola funcionen sin problemas inmediatos, pues cuando se presenten éstos, el médico o el agrónomo estarán ahí con su manual para diagnosticar y prescribir un tratamiento.²

Este paradigma parece eficaz, siempre y cuando se cumplan algunos requisitos. El primero, es que el paciente o la parcela se comporten de una manera predecible; el segundo, es que la comunidad científica tenga el tiempo y recursos materiales e intelectuales suficientes para establecer los síndromes o cuadros tipo, para después encontrar los tratamientos adecuados y compilar oportunamente los manuales que usarán los técnicos en campo para prescribir tratamientos.

² Sobre el paradigma científico de las ciencias agrarias, véase por ejemplo: Vargas, D. y L. Darío (2004).

Durante buena parte del siglo pasado, el trabajo agronómico se centró en este paradigma, y los que tomaban las decisiones fueron aportando recursos para lograr que el sistema funcionara; sin embargo, hoy la ciencia y la técnica agronómicas enfrentan un nuevo reto que obliga a replantear dichos paradigmas. La intensificación de los cambios económicos, sociales y ambientales hace que el enfoque basado en producir paquetes tecnológicos genere propuestas que van sistemáticamente atrasadas; por ejemplo, el esquema de producción tecnificada de alimentos básicos propuesto para la zona de los ríos Yaqui y Mayo, que se consideró como la salida a la pobreza y la entrada al desarrollo (Oswald, 1986), ha sido rebasada por la práctica de producir hortalizas para exportación, aprovechando las ventajas del Tratado de Libre Comercio para América del Norte que entró en vigor en 1994. Más aún, los aumentos en la productividad de trigo obtenidos en la zona parecen estar más vinculados a cambios en los patrones climáticos a lo largo del día, que a los trabajos de mejoramiento genético, dosificación de fertilizantes y plaguicidas (Lobell *et al.*, 2005), mismos que fueron el orgullo de la llamada Revolución Verde. Éste y muchos otros casos en los que factores no previstos, como los tratados comerciales o los cambios microclimáticos lo fueron en el caso del Yaqui y el Mayo, demandan revisar el paradigma de la asistencia técnica agrícola y dedicar más atención a los sistemas socioculturales de adaptación a cambios impredecibles, que pueden ser fuertes y repentinos. En un contexto de cambio continuo y de incertidumbre, más que buscar respuestas generales a situaciones específicas, resulta más razonable buscar procedimientos eficaces para adaptarse a situaciones inéditas, lo cual implica establecer mecanismos de gestión del conocimiento, de adaptación social y de generación continua de respuestas tecnológicas ante los cambios continuos.

Los pueblos indígenas que han sobrevivido a cambios económicos, sociales, ambientales o de otro tipo, tienen mecanismos de adaptación que han sido eficaces. Su análisis contribuirá a entender los componentes que deben tener los mecanismos sociales y tecnológicos de adapta-

ción a los cambios, para que sean efectivos en asegurar la continuidad en las formas de vida de las comunidades rurales.

Una larga historia de adaptación: el caso de Santiago Comaltepec

La Comunidad Chinanteca de Santiago Comaltepec se ubica en la Sierra Madre Oriental oaxaqueña. La Chinantla es una zona en donde los vientos húmedos del Golfo de México chocan con la Sierra, produciendo abundantes lluvias. La precipitación en el Municipio de Comaltepec fluctúa entre 800 y 4,000 mm (INEGI, 2008), que se registran en la zona de “tierra caliente”, que es baja y está protegida de los vientos húmedos del norte, y en el poblado de La Esperanza, que está dentro de Comaltepec, expuesto directamente a los vientos húmedos. En esta zona se registran 340 días nublados al año, y la mayoría de éstos presentan además niebla. La humedad constante ha hecho de la Chinantla una zona en la que se reproducen enfermedades como la oncocercosis, que durante siglos azotaron la región, esto generó un mecanismo de adaptación que consistió en que los asentamientos humanos afectados por enfermedades fueran abandonados, la población se reubicó en lugares no afectados, generando un patrón de asentamientos dispersos que, en muchos casos, no permanecían por muchas generaciones.

El patrón de reubicación desarrollado por los chinantecos permitió mantener actividades agrícolas en un ambiente difícil, pues se establecieron cultivos antes de que las enfermedades, fácilmente transmisibles, adquirieran dimensiones epidémicas y dejaran despoblados esos sitios. La capacidad de los chinantecos para adaptarse a situaciones tan difíciles es resultado de mecanismos socioculturales de adaptación a un medio ambiente cambiante que podrían ser utilizados para adaptarse a otro tipo de cambios.

Si para los humanos la Chinantla es un ambiente al que es difícil adaptarse, para las plantas cultivadas lo es aún más. La humedad siem-

pre presente hace muy frecuentes las fungosis, mientras que el lavado continuo de los suelos los hace poco fértiles. Frente a esto, los chinantecos desarrollaron una estrategia de adaptación de tres vertientes: primero, desarrollaron técnicas de roza, tumba y quema que les permiten establecer cultivos anuales en pequeñas áreas con suelos relativamente más profundos que el promedio, y más ventiladas y asoleadas por efecto de la tumba de árboles grandes, en las que los nutrientes se concentran mediante la roza y quema de la vegetación arbustiva y árboles chicos; en segundo, desarrollaron un muy extenso conocimiento de las plantas y animales silvestres de los bosques, lo que les permite complementar su dieta mediante la recolección. El conocimiento de la ecología y usos de muchas plantas, animales y hongos, no sólo convirtió a los chinantecos en uno de los grupos más conocedores de plantas medicinales, sino también les permitió inducir la presencia de algunas plantas de uso alimenticio como el tepejilote (*Chamaedorea oreophila*), o utilitario como la fibra de la bromelia conocida como “pita” (*Aechmea magdalenae*), con la que se producen fibras y cordeles de la más alta calidad (Ticktin, 2000). La tercera vertiente de adaptación de los chinantecos a su difícil ambiente ha sido la identificación de algunos productos de alto valor comercial, que pueden vender y generar así ingresos para comprar bienes que no pueden producir directamente.

Siguiendo la estrategia chinanteca de adaptación, brevemente descrita, en la zona que ocupa actualmente la comunidad de Comaltepec se formaron, hacia el año 1420, pequeños asentamientos aislados que eventualmente desaparecían y se reagrupaban. En 1602, los chinantecos sufrieron un enorme cambio que los obligó a adaptarse: las autoridades españolas los obligaron a congregarse en lo que hoy es el pueblo de Santiago Comaltepec, rompiendo la estrategia de asentamiento disperso que había funcionado por cerca de dos siglos. En 1735, Santiago Comaltepec fue formalmente reconocido como pueblo (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, 2015), y los chinantecos tuvieron que adaptar sus sistemas productivos a este enorme cambio.

En la década de los cuarenta del siglo xx, estudios científicos descubrieron que la raíz de una liana de la selva chinanteca, el Barbasco (*Dioscorea composita*), podía usarse para producir hormonas esteroides sintéticas (Soto, 2009), lo cual estableció una demanda creciente de un producto que podía recolectarse en las selvas chinantecas. En 1944, se estableció la empresa Syntex para producir esteroides a partir de harina de barbasco (Huerta, 1998). En 1956, Syntex era el proveedor de esteroides más importante de todo el mundo (Hinke, 2008), sin embargo, la intervención del mercado con la creación de la empresa paraestatal Proquivemex hizo que los costos administrativos se elevaran y que esto repercutiera en los precios. Los altos precios de los esteroides sintéticos mexicanos incentivó la búsqueda de sustitutos, lo cual produjo finalmente la caída de la industria mexicana derivada del barbasco (Hinke, 2008), y que para los setenta los comuneros de Comaltepec perdieran su fuente principal de ingresos en efectivo.

En las décadas de los 1950, 1960 y 1970, Comaltepec vivió otro cambio profundo: su territorio fue atravesado de sur a norte por la nueva carretera Oaxaca-Tuxtepec. Una de las razones principales por las que fue construida esta vía de comunicación fue para abastecer de materia prima forestal a la Fábrica de Papel Tuxtepec. A la construcción del camino Oaxaca-Tuxtepec y a la explotación forestal desmedida, se sumó la llegada del Instituto Mexicano del Café (Centro de estudios de las finanzas públicas, 2001)³ que promovió el establecimiento de cafetales y se hizo cargo del acopio, beneficio y comercialización.

Todos estos proyectos se realizaron en el marco de la Comisión del Papaloapan (Diario Oficial de la federación, 1986)⁴, la cual buscaba

³ A partir de 1956 y hasta 1989 el Instituto Mexicano del Café fue la instancia gubernamental encargada de atender al sector cafetalero, y a partir de 1993 esa función le fue asignada al Consejo Mexicano del Café.

⁴ La Comisión del Papaloapan fue creada por Acuerdo Presidencial del 26 de febrero de 1947, sancionado por la Cámara de Diputados mediante decreto publicado en el Diario Oficial de la Federación el 27 de diciembre de 1951 y liquidada por decreto del 24 de diciembre de 1986.

lograr en toda la región una modernidad al “estilo americano” (Gobierno del Estado de Veracruz, 2010),⁵ que veía a las prácticas comunitarias como una manifestación del atraso.

A diferencia de los cambios epidemiológicos a los que los chinantecos se habían adaptado, los cambios introducidos por la Comisión del Papaloapan eran de tipo institucional, y se orientaron a modificar o “modernizar” las formas que empleaban los chinantecos para producir, sin embargo, estas técnicas “modernas” de manejo de los recursos naturales, implantadas por la Comisión, no lograron un aprovechamiento sostenible. De acuerdo con una evaluación económica (Chapela y Lara, 1993), luego de 19 años de actividades de la industria papelera en los bosques de Santiago Comaltepec, la masa arbolada perdió 68% de su valor debido al manejo deficiente de la empresa papelera. La pérdida de valor de los bosques comunales ponía en riesgo, en lo inmediato, la viabilidad económica de la comunidad y, a largo plazo, estaba poniendo también en riesgo la existencia del bosque. La comunidad tenía que encontrar maneras de adaptarse institucional y tecnológicamente, por ello, encabezó un movimiento que derivó en la transformación de las instituciones a cargo de la gestión forestal en la sierra de Oaxaca. Esta transformación permitió que, con el apoyo de profesionistas comprometidos, se recuperara el control del manejo forestal, contratara a sus propios ingenieros forestales y se establecieran los programas de manejo forestal, de tal manera que se generaran beneficios económicos a la comunidad y se evitaran los impactos ambientales negativos (Chapela, 2009).

Durante la década de los noventa del siglo xx, Comaltepec volvió a sufrir otro gran cambio. En el contexto de los esfuerzos de México por

⁵ En 1947, el entonces presidente de México, Miguel Alemán, viajó a los Estados Unidos para conocer la forma de organización y funcionamiento de la Autoridad del Valle del Tennessee.

establecer un esquema de libre comercio, los apoyos para la producción y comercialización de café, que era el principal cultivo comercial de Comaltepec, se retiraron. También se cerró el servicio de extensión agrícola, con lo que la comunidad dejó de recibir apoyo técnico por parte de las agencias del gobierno y perdió acceso a los mercados de café; estos nuevos cambios hicieron que de nuevo la comunidad se adaptara. En esta ocasión la comunidad siguió adelante mediante dos mecanismos: en primer lugar, desarrolló su capacidad de producción comercial de madera, lo cual le permitió tener una nueva fuente de ingresos de dinero; en segundo lugar, promovió que sus jóvenes salieran a prepararse como ingenieros agrónomos con la idea de poder, de esta manera, proveerse en los servicios de apoyo técnico que ya no estaban recibiendo de parte de gobierno.

Desde el siglo xv, Santiago Comaltepec ha sido parte de cambios sociales, económicos y ambientales intensos, algunos de ellos orientados explícitamente a sustituir sus prácticas y formas de organización tradicionales, sin embargo, aunque la comunidad ha ido cambiando con el tiempo, conforme se adapta, ha mantenido una columna vertebral de organización y prácticas culturales que le han permitido, por más de cinco siglos, mantener una agricultura que no genera muchos productos exportables, pero que ha permitido mantener a la comunidad por todo el tiempo mencionado.

Si se analiza la superficie que ha aprovechado Comaltepec a lo largo del tiempo, con las estimaciones que hace el INEGI de la superficie aprovechable con fines agrícolas, encontramos que las áreas que producen alimentos para la comunidad son 30 veces más extensas que lo que las técnicas “modernas” consideran posible. Esto lo ha hecho la comunidad sin deteriorar la base de recursos naturales, puesto que se considera una de las zonas de selvas altas mejor conservadas de México.

En efecto, el Instituto Nacional de Geografía e Informática estima que debido a lo montañoso del paisaje y las lluvias continuas dentro del territorio de Comaltepec, sólo 0.91% de la superficie es aprove-

chable mediante agricultura mecanizada continua, y 0.01% mediante agricultura manual continua, es decir, poco menos de 1% de las tierras de Comaltepec se consideran aptas para la agricultura usando técnicas “modernas” (INEGI, 2008). La comunidad de Comaltepec ha mantenido los sistemas de agricultura tradicional, basados en la práctica de la roza, tumba y quema, y en la siembra por espeque de cultivos múltiples. El INEGI encuentra que 30% de las tierras de la comunidad están bajo uso agrícola (tabla 1).

Tabla 1. Uso del suelo en Santiago Comaltepec, Oaxaca

Uso actual	%	Uso potencial Agrícola	%	Uso potencial Ganadero	%
Agricultura	30.02	Agricultura mecanizada continua	0.91	Para el establecimiento de praderas cultivadas con maquinaria agrícola	0.91
Zona urbana	0.21	Para la agricultura manual continua	0.01	Para el aprovechamiento de la vegetación natural diferente del pastizal	0.01
Selva	38.21		99.08	Para el aprovechamiento de la vegetación natural únicamente por el ganado caprino	6.54
Bosque	31.20			No aptas para uso pecuario	92.54
Pastizal inducido	0.36				
Total	100.00		100.00		100.00

Fuente: INEGI (2008).

Se podría argumentar que el hecho de que la superficie agrícola de Comaltepec sea 30 veces mayor que lo que INEGI estima factible, considerando las técnicas “modernas”, en realidad refleja que se está haciendo un uso inadecuado del suelo, y que eso traerá deterioro ambiental y pérdida de vegetación, suelo, agua y biodiversidad; sin embargo, es muy improbable que sea así, pues con cinco siglos de práctica continua de la agricultura de roza, no se observa deforestación en Comaltepec (World Resources Institute, 2014),⁶ ni evidencias de erosión severa. Además, su territorio se considera una de las áreas con mayor diversidad biológica de México.

Para explicar las diferencias entre las estimaciones del INEGI y lo que se observa sobre el terreno, sería más plausible quizás el argumento de que INEGI empleó criterios generales de la agronomía para establecer los parámetros que definen las áreas cultivables. En este sentido, las diferencias que se observan nos remiten de nuevo a la cuestión de si el modelo de desarrollar paquetes tecnológicos para tratar de aplicarlos en una variedad de situaciones, realmente ayuda a adaptar los sistemas productivos a los cambios climáticos o de otro tipo. El ejemplo de Comaltepec nos muestra cómo puede desarrollarse una variedad de estrategias de adaptación a situaciones y cambios, tanto de tipo climático como económico o institucional, y sugiere que en lugar del enfoque de paquetes tecnológicos “prefabricados” que se ha usado para dar asistencia técnica a los productores agropecuarios, un enfoque basado en la aplicación de la experiencia local y el desarrollo de estrategias diversas puede ser mucho más efectivo en la adaptación a los cambios.

⁶ El portal Global Forest Watch no muestra deforestación neta en Santiago Comaltepec, ni en su agencia La Esperanza.

Componentes de un sistema efectivo de adaptación al cambio climático

La experiencia de la comunidad de Comaltepec, junto con la de otra comunidades, arroja luz sobre cómo puede México *establecer programas nacionales de adaptación al cambio climático que incluyan provisiones para asegurar los recursos hídricos y la agricultura, así como proteger las zonas afectadas por la sequía y la desertificación.*

En el ejemplo revisado, la adaptación a los cambios es resultado de al menos lo siguiente:

- 1) La existencia de mecanismos de *percepción* de los resultados del manejo de los recursos. Cuando la comunidad de Comaltepec percibió que los aprovechamientos forestales no estaban generando suficientes beneficios económicos, la comunidad empezó a debatir sobre la posibilidad de cambiar el modelo de explotación forestal.
- 2) La existencia de mecanismos de *percepción* de las condiciones de vida de la gente que forma parte de la comunidad. En Comaltepec, la incidencia de oncocercosis motivó la búsqueda de mecanismos de respuesta a este padecimiento.

A este nivel, una comunidad indígena tiene muy poca diferencia con cualquier otro asentamiento humano, en el que la gente percibe si sus ingresos o sus condiciones de vida son adecuados, o no. Lo que hace distinta a una comunidad indígena son los elementos que le permiten actuar, como son:

- 3) La existencia de sistemas sociales de *procesamiento* de la información que permitan identificar de manera oportuna los problemas relevantes relacionados con el manejo de su base de recursos naturales o con sus condiciones de vida. Estos sistemas pueden estar incorporados a sistemas mayores de creencias en el contexto de

una matriz cultural, la Chinanteca en nuestro ejemplo, que facilita la valoración social de las situaciones.

- 4) La existencia de sistemas sociales efectivos de toma de decisiones. En el caso de Comaltepec, las decisiones se toman mediante un esquema híbrido, en el cual las opiniones de los que tienen el historial más largo de servicio a la comunidad, el llamado “Consejo de Caracterizados”, sirven como base para el debate más amplio y formal en la Asamblea General. El peso que tiene el Consejo de Caracterizados, que proviene de su experiencia, además de el compromiso probado de sus integrantes con la comunidad y la autoridad moral derivada de ello, permite que sea un grupo relativamente reducido el que pondera los escenarios posibles a los que llevarían ciertos cursos de acción o inacción en un tiempo relativamente corto. La Asamblea cuenta con una propuesta razonada sobre las decisiones que deben tomarse.
- 5) La solidaridad intergeneracional como un elemento de gran peso en la toma de decisiones. En el caso de Comaltepec, en los 30 años que llevan manejando sus bosques, el enriquecimiento personal en el corto plazo ha tenido un peso relativamente menor que el mantener un patrimonio para las generaciones venideras. En este sentido, la generación actual sacrifica posibles beneficios actuales en aras de asegurar que las siguientes generaciones cuenten con sus propios medios de vida.

La existencia de los factores mencionados, y en especial de los tres últimos, explica en buena medida por qué comunidades como Comaltepec han podido manejar sus recursos naturales por unos 600 años, manteniendo la cubierta forestal, la diversidad biológica y las fuentes de agua que requiere. Dichos factores posiblemente se relacionen también con la sorprendente rentabilidad que tiene la inversión en asegurar la tenencia comunal de los bosques en Brasil o en Guatemala, descrita por el World Resources Institute (Gray *et al.*, 2015).

Si los paquetes tecnológicos de uso general para cualquier situación agronómica no pudieron aumentar y mantener de una forma consistente la producción de alimentos en México, no hay razón para pensar que las prescripciones de aplicación general para mitigar los cambios climáticos o para adaptación al cambio climático podrán ser efectivas. En contraste, las comunidades indígenas como la de Comaltepec, que han podido adaptarse durante muchos años a cambios económicos, políticos, epidemiológicos, climáticos y otros, deben su éxito a que han diseñado respuestas locales específicas a cada cambio, empleando para ello sistemas y mecanismos en los que el contexto cultural y la solidaridad intergeneracional han sido elementos clave. Cualquier estrategia nacional de adaptación al cambio climático debería basarse en dichos sistemas y mecanismos para asegurar su éxito.

Implicaciones de política

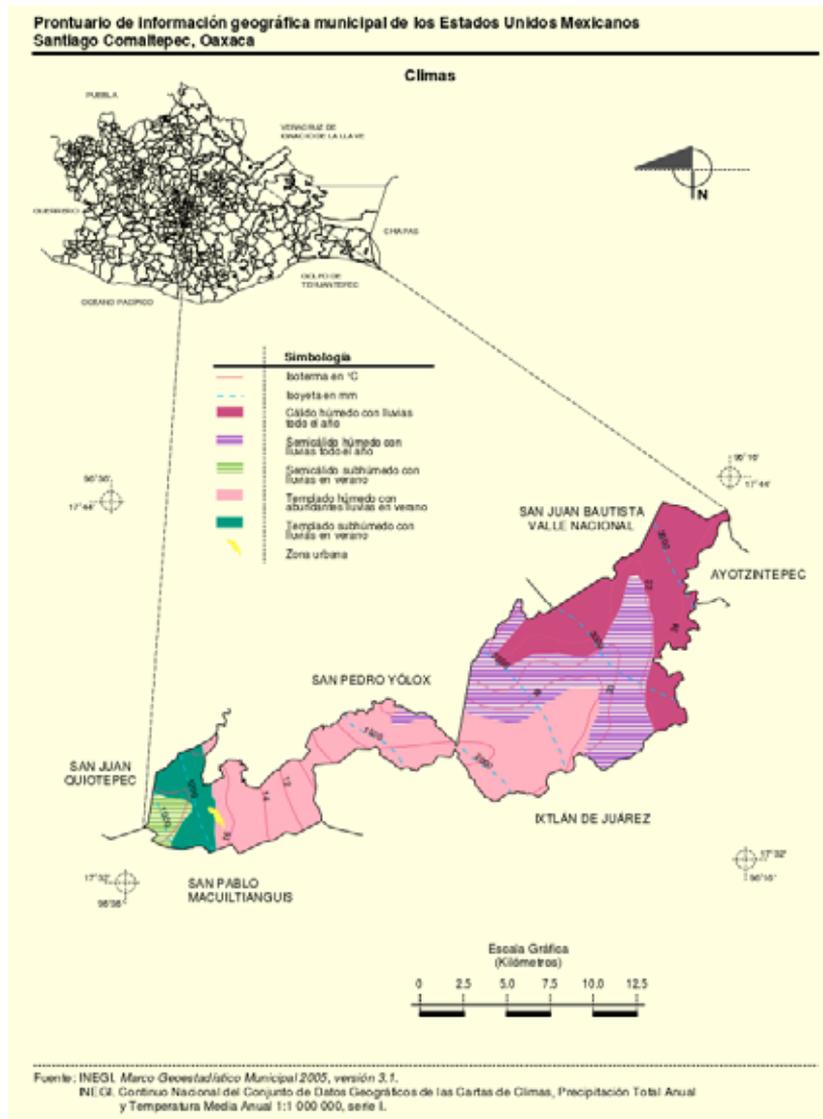
México cuenta con expertos de muy alto nivel en adaptación a los cambios: las comunidades indígenas y campesinas que, al igual que Comaltepec, han desarrollado mecanismos de adaptación a situaciones inéditas. No es pertinente entonces que apostemos solamente a que prestigiados consultores, dentro y fuera del país, nos propongan qué hacer cuando existen cientos de años de experiencia acumulada de adaptación a cambios climáticos y de otro tipo.

Robson y Berkes (2010) argumentan que las formas de uso del suelo desarrolladas por las comunidades indígenas en general, y por la comunidad de Comaltepec en particular, las convierten en agentes de renovación del paisaje que permiten que florezcan la diversidad cultural y biológica. En consecuencia, dichos autores sugieren que el deterioro de la economía y los mecanismos sociales de comunidades como Comaltepec puede llevar a una pérdida de diversidad biológica (Robson y Berkes, 2011).

La importancia de los mecanismos de adaptación a los cambios de base comunitaria han hecho que instituciones como el World Resources Institute subrayen la relevancia de incluir los bosques comunitarios como componentes principales de las estrategias nacionales de adaptación al cambio climático (WRI, 2015).

Aunque nos hemos referido con mayor detalle a la comunidad Chinanteca de Santiago Comaltepec, la importancia de los sistemas indígenas de gestión de los recursos naturales para lograr una adaptación de gran escala a los cambios puede verse en muchos lugares. En un estudio reciente, el World Resources Institute ha estimado que si bien a la sociedad brasileña le puede costar US\$ 1.57 por hectárea el asegurar a comunidades el acceso a tierras forestales, los beneficios que dicha sociedad puede obtener, derivados de la mitigación del efecto de las emisiones de carbono a la atmósfera, están entre US\$ 230/ha y US\$ 38/ha. De manera semejante, para el caso de Guatemala, el costo anual de asegurar la tierra forestal para comunidades indígenas es más alto: US\$ 16.85/ha. Aun así los beneficios de mitigación de las emisiones de carbono son mucho mayores, pues se ubican entre US\$ 187/ha y US\$ 120/ha (Gray *et al.*, 2015).

Figura 1. Santiago Comaltepec. Ubicación y climas



Fuente: INEGI, Marco Geoestadístico Municipal, 2005, versión 3.1.

BIBLIOGRAFÍA

- Bray, D. *et al.*, (Eds.), 2009, *The community forests of Mexico: Managing for sustainable landscapes*, University of Texas Press, EEUU.
- Centro de estudios de las finanzas públicas, 2001, *El mercado del café en México*, Cámara de Diputados, México.
- Chapela, F., 2009, "Indigenous Community Forest Management in the Sierra Juárez, Oaxaca", en Bray, D. *et al.* (Eds.).
- Chapela, F. y Y. Lara, 1993, *Impacto de la política forestal sobre el valor de los bosques; el caso de la Sierra Norte de Oaxaca*, Estudios Rurales y Asesoría/World Wildlife Fund, México.
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), 1992, Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, Naciones Unidas, en <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>.
- Diario Oficial de la Federación, 1986, DECRETO por el que se abroga la Comisión del Papaloapan, México.
- Gobierno del Estado de Veracruz, 2010, La Comisión del Papaloapan, en <http://web.archive.org/web/20100213150819/http://www.codepap.gob.mx/codepap/actividad/actividad.htm>.
- Gray, E. *et al.*, 2015, "The Economic Costs and Benefits of Securing Community Forest Tenure: Evidence from Brazil and Guatemala", World Resources Institute, Washington, DC, en <http://www.wri.org/forestcostsandbenefits>.
- Hinke, N., 2008, "El barbasco", en *Ciencias Forestales*, 89: 54-57
- Huerta, C., 1998, "El barbasco: paradigma y paradoja de la riqueza vegetal en México", CONABIO, en *Biodiversitas*, 18: 8-13
- Instituto Nacional de Geografía e Informática, 2008, *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos*, Santiago Comaltepec, Oaxaca.
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, *Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México*, Santiago Comaltepec, Oaxaca.

- pec, Oaxaca, en <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM20oaxaca/municipios/20458a.html>, consultado el 09/11/15.
- Lobell, D. *et al.*, 2005, "Analysis of wheat yield and climatic trends in Mexico", en *Field crops research*, 94(2): 250-256.
- Oswald, U., 1986, *Campesinos protagonistas de su historia: la coalición de los ejidos colectivos de los valles del Yaqui y Mayo: una salida a la cultura de la pobreza* (núm. 301.444 O8), Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, México.
- Panel Intergubernamental de Cambio Climático, en <http://www.ipcc.ch/>.
- Robson, J. y F. Berkes, 2010, *Sacred nature and community conserved areas, Nature and Culture: Rebuilding Lost Connections*. Earthscan, Washington, DC.
- Robson, J. y F. Berkes, 2011, "Exploring some of the myths of land use change: Can rural to urban migration drive declines in biodiversity?", en *Global environmental change*, 21, núm. 3: 844-54.
- Soto, G., 2009, *Jungle Laboratories: Mexican Peasants, National Projects, and the Making of the Pill*, Duke University Press, EEUU.
- The economic costs and benefits of Securing community forest tenure: Evidence from Brazil and Guatemala, en www.wri.org/forestcostsandbenefits.
- Ticktin, T., 2000, *Ethnoecology of Aechmea magdalenae (Bromeliaceae) A Participatory investigation into the sustainable harvest and conservation of a non timber rainforest product*, Ph.D. dissertation, McGill University, Montreal, Canada.
- Vargas, L. y L. Darío, 2004, "El paradigma científico de las ciencias agrarias: una reflexión", en *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, vol. 57, núm. 1, 2145-2159, 2248-7026, 0304-2847.
- World Resources Institute, 2014, La Esperanza. Global Forest Watch, en <http://bit.ly/1HCXhQF>, consultado el 09/11/15.
- World Resources Institute, 2015, To Achieve New Climate Targets, Countries Should Look to Community Forests, WRI blog 2015/11 URL, en <http://goo.gl/6dbwCu>, consultado el 09/11/15.
- World Resources Institute, 2014, Global Forest Watch, en <http://bit.ly/1HCXhQF>, consultado el 11/15.

Efectos potenciales del cambio climático en los recursos forestales. La sabanización de las regiones continentales de México

Cuauhtémoc Sáenz Romero¹

Resumen. El cambio climático creará un desacoplamiento entre las comunidades vegetales o biomas y el clima para el cual están adaptados. El hábitat climático propicio para biomas de clima templado se contraerá y los de clima seco se expandirán. La lenta velocidad de migración natural de especies de plantas impedirá que los biomas se mantengan acoplados al clima que les es propicio. Este desfase adaptativo inducirá un decaimiento forestal, que ya está ocurriendo, particularmente en el límite xérico de cada especie. Habrá una simplificación de la vegetación, probablemente en un tipo semejante a una sabana. Las tierras interiores de México serán las más afectadas, como la vertiente interior de la Sierra Madre Occidental. Ello será una amenaza para la biodiversidad, los servicios ambientales y la agricultura; tal vez sólo la ganadería extensiva será beneficiada por la apertura de nuevos pastizales. Se requiere realinear las poblaciones de especies forestales a los climas para los cuales están adaptadas, mediante migración asistida.

Palabras clave. Cambio climático, hábitat climático propicio, desfase adaptativo, declinación forestal, límite xérico, migración asistida.

¹ Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (IIAF-UMSNH), e-mail: csaenzromero@gmail.com.

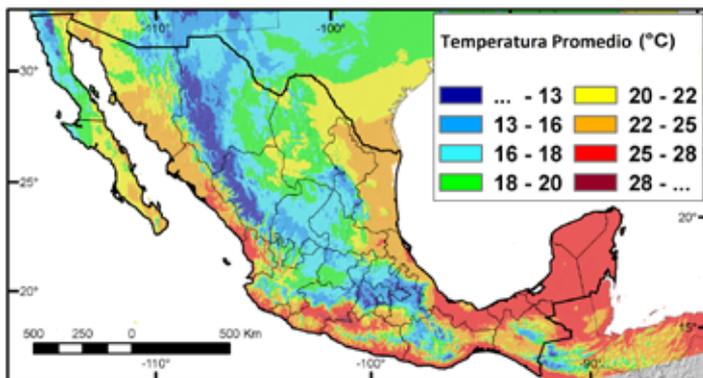
Abstract. *Climate change will create a decoupling between plant communities or biomes and climate to which they are adapted. The suitable climate habitat of temperate biomes will decrease and those of dry climates will expand. The slow rate of natural migration of plant biomes will prevent them to remain coupled with their suitable climate habitat. This adaptive lag will induce a forest decay, which is already happening, particularly in the xeric limit of each species. There will be a simplification of vegetation, probably in a type similar to a savannah. The interior lands of Mexico will be most affected, as the inner slope of the Sierra Madre Occidental. This will be a threat to biodiversity, environmental services and agriculture; maybe only cattle under extensive grazing will be benefited by the opening of new pastures. It requires realign populations of forest species to the climates to which they are adapted, through assisted migration.*

Keywords: *climate change, suitable climate habitat, adaptive lag, forest decline, xeric limit, assisted migration.*

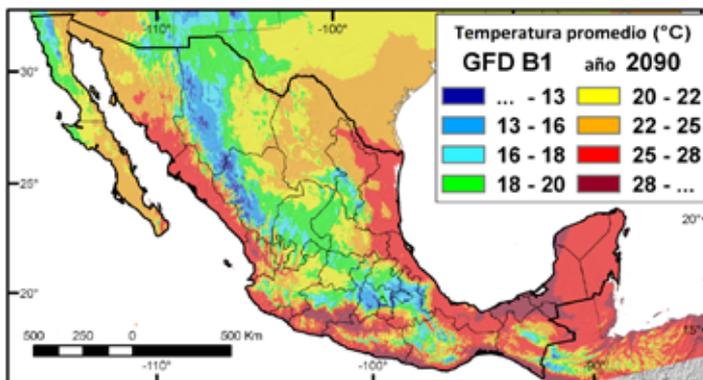
Proyecciones de cambio climático para México

Estimaciones de cambio climático para México proyectan un incremento de la temperatura promedio anual de 1.5 °C para la década del año 2030, de 2.3 °C para el 2060, y de 3.7 °C para el 2090, y una disminución de la precipitación de -6.7 % para el 2030, -9.0% para 2060 y -18.2% para 2090. Estas proyecciones surgen haciendo una comparación con la temperatura y precipitación del clima “contemporáneo” (definido como el promedio del período 1961-1990), y promediando seis modelos-escenarios de emisiones: Modelos de Circulación Global Canadiense, Hadley y Geofísica de Fluídos, y cada Modelo combinado con un escenario de bajas emisiones de gases de efecto invernadero (B) y otro de elevadas emisiones (A) (Sáenz-Romero *et al.*, 2010). Existe gran variación en las proyecciones para fin de siglo entre modelos-escenarios, resultando el más optimista el de Geofísica de Fluídos, escenario de emisiones B, y el más pesimista el Modelo Canadiense, escenario de emisiones A2 (Figura 1).

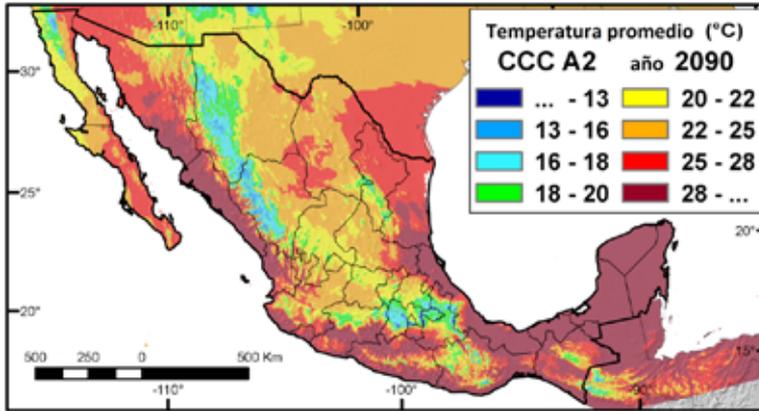
Figura 1. Media anual de temperatura



Para (A) clima contemporáneo (promedio 1961-1990);



Para (B) Década del año 2090 bajo el modelo-escenario Geofísica de Fluidos, emisiones B1 (optimista).



Para (C) Modelo Canadiense, emisiones A2 (pesimista).

* Figuras derivadas del modelaje de Sáenz-Romero *et al.* (2010).

Efectos esperados en la vegetación

El incremento de temperatura y la disminución de la precipitación tendrá como efecto un incremento de la aridez del clima en el país (Sáenz-Romero *et al.* 2010). El cambio climático creará un desacoplamiento (desfasamiento) entre las comunidades vegetales o biomas (bosques, selvas húmedas y secas) y el clima para el cual están adaptados. Es decir, el clima, al cual se han adaptado a través de un largo proceso evolutivo los biomas (conocido como hábitat climático propicio o nicho climático) ocurrirá en un lugar diferente a los sitios en los que actualmente se distribuyen. En algunos casos, el clima propicio simplemente desaparecerá; es decir, aparecerán climas que actualmente no existen, llamados climas sin análogo contemporáneo (Rehfeldt *et al.*, 2012) (debido a la ocurrencia de olas de calor y ocasionalmente de frío en magnitudes y frecuencias nunca antes vistas).

Este desacoplamiento entre biomas y el clima que les es propicio creará un estrés fisiológico en las plantas, principalmente un estrés por sequía durante la época de secas. El estrés, en general, afectará más a las plantas que a la fauna, ya que las primeras, por crecer fijas a un sitio, tendrán serias limitaciones para migrar por medios naturales y ocupar las nuevas áreas en donde ocurrirá el clima que les es propicio (Peterson *et al.*, 2002). Es decir, la única manera que tienen las poblaciones de plantas para cambiar de lugar es dispersar sus semillas, lograr establecerse, crecer y competir con éxito hasta alcanzar la edad reproductiva y de nuevo repetir ese ciclo. Este desplazamiento ya está ocurriendo, tal como se ha documentado en la Sierra Norte de Oaxaca (Zacarías y del Castillo, 2010), en Cataluña, España (Peñuelas *et al.*, 2007), o en Los Alpes franceses (Lenoir *et al.*, 2008). Sin embargo, tal migración a mayor altitud o hacia el norte en el Hemisferio Norte no está ocurriendo a la velocidad necesaria para mantener las poblaciones de plantas acopladas al clima que les es propicio, ya que el desplazamiento del clima sucede a una velocidad muy superior a la velocidad natural de migración de las poblaciones de plantas (Delzon *et al.*, 2013).

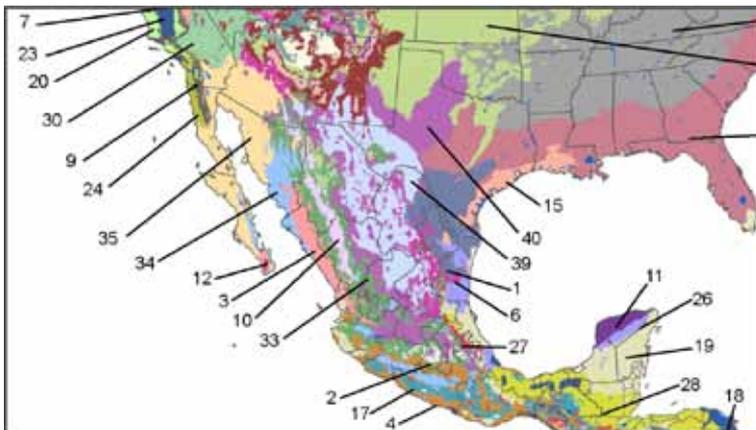
Magnitud del desfase adaptativo entre biomas y clima propicio

La distribución del espacio geográfico ocupado por el hábitat climático propicio puede ser modelado con base en un análisis del clima de sitios ocupados por una especie o bioma, y compararlo con el clima contemporáneo que ocurre en sitios con la ausencia de tal especie o bioma. Una vez modelada tal relación, es posible reemplazar como datos de entrada del modelo, estimaciones del clima futuro, y con ello predecir en dónde ocurrirá el hábitat climático propicio para la especie o bioma determinado. Con base en tal modelaje, Rehfeldt *et al.* (2012), usando la clasificación de biomas de Brown *et al.* (1998), analizó la distribución contemporánea y

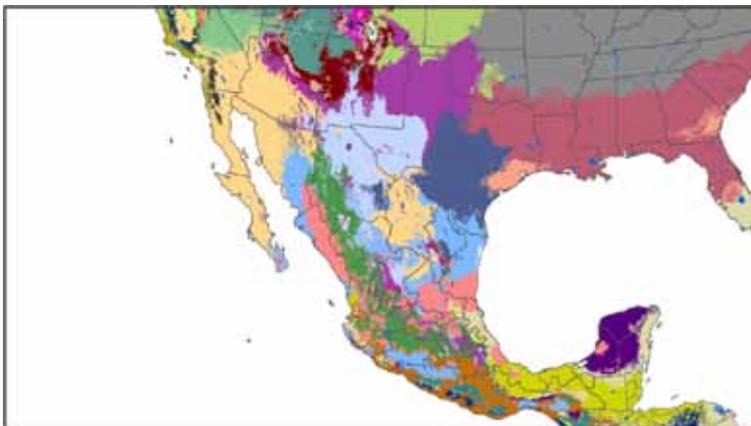
futura de los hábitats climáticos de Norteamérica (Figura 2 y Cuadro 1). Sus resultados indican que, por ejemplo, para el año 2090, el hábitat climático propicio para el bosque de coníferas de la Sierra Madre Occidental se reducirá 85% (bioma 10 en Figura 2), para el del Eje Neovolcánico será en 92% (bioma 2 en Figura 2), y el bosque de niebla en 96% (bioma 27 en Figura 2); en contraste, el hábitat climático de tipos de vegetación característicos de regiones cálidas y secas se expandirá; por ejemplo, el hábitat del matorral espinoso de Sonora se expandirá 105% (bioma 35 en Figura 2), el del matorral xerófito de Sinaloa y Guerrero en 176 % (bioma 34 en Figura 2), y el del bosque seco caducifolio de Yucatán en 293 % (bioma 11 en Figura 2).

El hábitat climático propicio para otros biomas aparentemente se comportan de manera intermedia respecto a los ejemplos mencionados, como el del bosque de pino-encino del Eje Neovolcánico, que se reduce únicamente 8% (bioma 33 en Figura 2). Sin embargo, tal cifra en sí misma no refleja un hecho grave: del total de la superficie ocupada por el hábitat climático de ese bosque de pino-encino, para el año 2090, únicamente 47% permanece en las mismas áreas que ocupa actualmente (Rehfeldt *et al.*, 2012); es decir, 53% del hábitat climático ocurrirá en un sitio diferente al actual; en general, ocupando sitios a mayor altitud, que actualmente le son propicios al bosque (más frío) de coníferas. Entonces, no solamente es importante la magnitud del cambio del área ocupada por el hábitat climático propicio para un bioma, sino en dónde ocurrirá, porque evidentemente ello implica que las poblaciones de especies vegetales tendrían que desplazarse a los nuevos sitios climáticamente propicios.

Figura 2. Distribución del hábitat propicio para biomas de México bajo clima contemporáneo



(A) Para la década centrada del año 2090.



(B) Modificado de Rehfeldt *et al.* (2012), en donde se usó la clasificación de biomas de Brown *et al.* (1998).

*Los códigos de biomas como se indican en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Clasificación de biomas

Código	Bioma
1	Matorral espinoso de Tamaulipas
2	Bosque de coníferas del Eje Neovolcánico
3	Bosque deciduo seco de Sinaloa
4	Bosque deciduo seco de Guerrero-Guatemala
6	Chaparral interior
7	Matorral montano de las Grandes Planicies
9	Chaparral de California
10	Bosque de coníferas de la Sierra Madre Occidental
11	Bosque seco caducifolio de Yucatán
12	Bosque de pino-encino de San Lucas
15	Pastizal Costero del Golfo
17	Bosque de encino perennifolio de Guerrero-Guatemala
18	Pastizales de sabana
19	Bosque semi-perennifolio
20	Bosque perennifolio de California
23	Pastizal del Valle de California
24	California Coastalscrub
26	Bosque semi-deciduo de Yucatán-Tamaulipas
27	Bosque de niebla
28	Selva tropical lluviosa
30	Matorral desértico de Mohave
33	Bosque de pino-encino del Eje Neovolcánico
34	Matorral xerófito de Sinaloa y Guerrero
35	Matorral espinoso de Sonora
39	Matorral desértico de Chihuahua
40	Pastizal semidesértico

Clasificación según Rehfeldt *et al.* (2012), basándose en la clasificación de Brown *et al.* (1998), representados en la figura 2, y que ocurren primariamente (excepto 7, 15, 20 y 23) en México. Traducción libre de la nominación de los biomas.

En síntesis: a) El hábitat climático propicio para los biomas que corresponden a clima templado se contraen y los de clima seco se expanden, y b) La expansión del hábitat climático propicio para biomas de vegetación seca no significa necesariamente que se expandirá el bioma correspondiente.

Esto último requeriría que las nuevas áreas ocupadas por el hábitat climático propicio sean colonizadas por semillas y plántulas de las especies del bioma que les es propicio; esto desde luego es poco probable que suceda, ya que la velocidad natural de migración de especies vegetales es mucho más lenta que la velocidad a la que está ocurriendo el cambio climático (Delzon *et al.*, 2013).

Consecuencias del desacoplamiento población-clima: decaimiento forestal

Cuando un bioma o población natural de especies forestales habita un sitio en donde el clima deja de ser el propicio, ocurre un decaimiento, esto es un debilitamiento y muerte progresiva, o bien súbita y masiva de árboles, atribuible al estrés producido por el cambio climático, en particular debido al estrés por sequía (Allen *et al.*, 2015), seguido por ataques de plagas y enfermedades (Sturrock *et al.*, 2011; Alfaro *et al.*, 2014). Esos casos frecuentemente ocurren en el límite inferior del rango natural de distribución altitudinal de una especie, o bien, en el caso del Hemisferio Norte, en el límite sur de su distribución latitudinal (Allen *et al.*, 2010). Tal límite ha sido definido por Mátyás (2010) como "límite xérico"; es decir, el límite de la distribución natural de una especie definido por estrés debido a la sequía, donde los individuos de tal especie no podrían habitar sitios aún más cálidos y secos porque sus mecanismos fisiológicos de resistencia a la variabilidad ambiental ya no se los permite (Mátyás *et al.*, 2010). Como el hábitat climático propicio ya se está desplazando, altitudinalmente, a mayores altitudes y hacia el norte, las poblaciones naturales quedan expuestas a un clima que no les es propicio, más allá de sus límites de resistencia adaptativa. Entonces sobreviene la declinación (Figura 3).

Figura 3.

(A) Población de *Cedrus atlantica* en declinación en Bou Ikhitane, Marruecos, ubicada en (B).



(B) El límite xérico (límite inferior de la distribución altitudinal) de la especie en las Montañas Atlas; notar los árboles defoliados en el límite altitudinal inferior del arbolado.

*Fotos cortesía de Csaba Mátyás, Institute of Environment and Earth Sciences, NEESPI Focus Research Center for Nonboreal Eastern Europe, University of West Hungary, Sopron, Hungría.

(A) publicada originalmente en Mátyas (2010).

En la Meseta Purépecha de Michoacán hemos observado defoliación de ramas durante la época de sequía en el límite xérico de *Pinus pseudostrobus*, que se distribuye de entre 2100 hasta los 2900 m de altitud. Esas ramas con frecuencia ya no se recuperan durante la siguiente temporada de lluvias; aparentemente, los árboles acumulan ramas muertas hasta un umbral en el que se debilitan seriamente, y éstos son muertos por el ataque de escarabajos descortezadores, o aun sin él (Figura 4).

Un proceso similar, lo hemos observado en *Abies religiosa* en la Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca (Figura 5). La defoliación de *A. religiosa* aparentemente ligada al cambio climático ha sido documentada por Flores-Nieves *et al.* (2011).

Figura 4. Árboles de *Pinus pseudostrobus* con declinación (defoliación aparentemente debida a estrés por sequía ligada al cambio climático) cercano al límite altitudinal inferior de la especie (2300 m de altitud) en la Meseta Purépecha, Michoacán



(A) Muerte de la parte superior de la copa. Septiembre, 2010.



(B) Defoliación general. Septiembre, 2010.



(C) Árbol muerto por defoliación generalizada, seguida de ataque de escarabajo descortezador. Diciembre, 2013.

Figura 5.



(A) Árbol de *Abies religiosa* con la parte superior de la copa muerta.



(B) Árboles de *A. religiosa* defoliados (notar la transparencia de las copas, en vez de la habitual copia muy densa que caracteriza a la especie).

* Santuario El Rosario, Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca, Michoacán. Marzo, 2011.

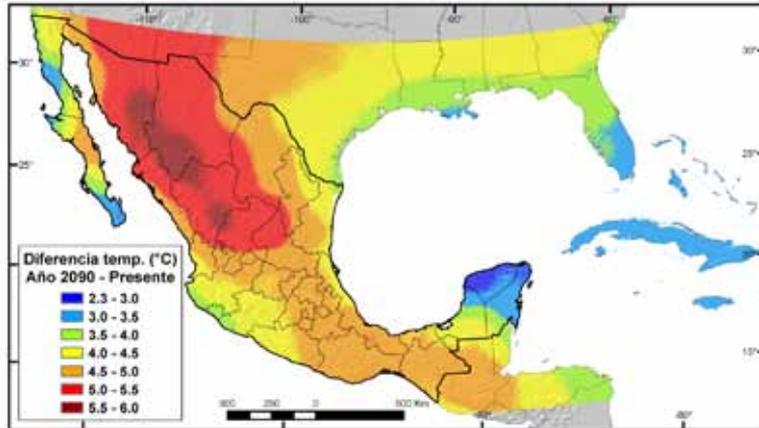
La sabanización de México

La declinación forestal disminuirá la densidad del arbolado por la muerte de árboles adultos (Figuras 3 a 5), con limitadas posibilidades de reclutamiento de nuevos individuos de las especies en declinación (Zacarías-Eslava y del Castillo, 2010), muy probablemente creando un tipo de vegetación caracterizado por espacios abiertos y pocos individuos arbóreos pertenecientes a las especies y/o genotipos más resistentes al estrés por sequía. El aspecto de la vegetación sería semejante a una sabana, en donde los espacios abiertos serían ocupados por especies probablemente no endémicas, con capacidades de invasoras, como son los pastos exóticos. La simplificación de la vegetación ya está ocurriendo en sitios con masiva declinación forestal, como es el caso de los bosques de pino piñonero (*Pinus edulis*) y enebro (*Juniperus osteoperma*) del sureste de EEUU (Colorado, Uta, Nuevo México y Arizona), en donde la conjunción de dos años contiguos (2000-2003) generó un estrés por sequía tal que mató masivamente al *P. edulis*, pero no al *J. osteoperma*, éste último mucho más resistente a la sequía que el primero (Breshears *et al.*, 2005). El resultado es un bosque con una densidad de arbolado mucho menor a la existente antes de tal evento (Allen *et al.*, 2015).

Es posible que un evento como el descrito ocurrirá en México si se presentan dos años contiguos de sequía, aparentemente las especies arbóreas están adaptadas para resistir un año de sequía extrema, pero no dos (Breshears *et al.*, 2005). Tal evento probablemente ocurrirá en la vertiente interior de la Sierra Madre Occidental donde se producirá el mayor calentamiento para México (Figura 6), lo cual ha sido confirmado con datos recientes de estaciones meteorológicas (Pavia *et al.*, 2009).

Modelos muy diversos coinciden en que los mayores efectos del cambio climático ocurrirán en tierras interiores con climas continentales, no en las costas con clima marítimo, ya que para México en las tierras interiores es donde habrá la mayor disminución de precipitación (Christensen *et al.*, 2007). Tal es el caso justamente de la vertiente interior de la Sierra Madre Occidental (Figura 6).

Figura 6. Diferencia en media anual de temperatura entre el clima contemporáneo (promedio 1961-1990) y el proyectado para la década del año 2090, bajo el modelo-escenario Canadiense-A2



Modificado de Sáenz-Romero *et al.*, 2012a.

Un futuro difícil. Opciones de manejo

Un cambio tan radical en la vegetación natural evidentemente será una amenaza para la biodiversidad, al poner en riesgo la viabilidad de poblaciones de especies que ya están en peligro de extinción, aun sin cambio climático (Ledig *et al.*, 2010; Ledig, 2012), así como para los servicios ambientales por la disminución de la captura de carbono y de agua, y para la agricultura por la disminución de las cosechas en México, hasta 30% para fin de siglo (Parry *et al.*, 2004). Tal vez sólo la ganadería extensiva sería la única beneficiada por la apertura de nuevos pastizales.

Para promover la existencia de poblaciones forestales sanas en el futuro, se requiere de la intervención humana para reacoplarlas (realinear) a los climas para los cuales están adaptadas, mismos que en ge-

neral ocurrirán a mayor altitud, y en algunos casos más al norte. Este realineamiento, que se ha llamado migración asistida (Rehfeldt *et al.*, 2002; Tchebakova *et al.*, 2005), consistiría en coleccionar semilla de la especie de interés en un sitio (preferentemente coleccionada del mayor número posible de individuos, para incluir la mayor cantidad posible de diversidad genética), producir la planta en vivero, y plantar en otro sitio donde se haya predicho que ocurrirá el clima que le es propicio. En el caso del movimiento altitudinal, se sugiere como lineamiento general moverse altitudinalmente hacia arriba 300 m, ya que ello compensaría el calentamiento esperado para el año 2030, que es de 1.5 °C, y considerando que por cada 100 m de altitud, la temperatura en general cambia 0.5 °C (Sáenz-Romero *et al.*, 2010).

Un ejemplo concreto de migración asistida sería mover, altitudinalmente hacia arriba de 300 m, las poblaciones de *Pinus pseudostrabus* en la Meseta Purépecha de Michoacán (la especie maderable de pino más importante en la región), a fin de compensar los efectos esperados del cambio climático proyectados para la década el año 2030 (Sáenz-Romero *et al.* 2012b). En consecuencia, las poblaciones que actualmente se encuentran en el límite inferior altitudinal de *P. pseudostrabus* (en la región es de aproximadamente 2200 m) tendrían que ser reemplazadas por una especie distinta que se encuentre actualmente distribuida a menor altitud. El candidato natural sería *P. devoniana* (también conocido como *P. michoacana*). Entonces, las poblaciones de elevada altitud de *P. devoniana* reemplazarían a las de baja altitud de *P. pseudostrabus*; éstas últimas, a su vez, reemplazarían a las de la parte media de la distribución de *P. pseudostrabus*, y éstas a las de la parte alta. Finalmente, las de la parte alta tendrían que desplazarse y ocupar los sitios en donde actualmente se distribuye la siguiente especie a mayor altitud, que en la región sería *P. montezumae*. Este movimiento altitudinal se ha ensayado con éxito para *P. devoniana* y *P. pseudostrabus* en la Meseta Purépecha de manera experimental (Castellanos-Acuña *et al.*, 2015).

El realineamiento de la vegetación implica abandonar un concepto central de la restauración ecológica clásica, que asume que la semilla local en general es la mejor porque está adaptada al sitio a reforestar (Ledig y Kitzmiller 1992). Evidentemente, esto era válido hasta antes de que el cambio climático fuera una realidad.

Desde luego, la mejor opción es disminuir drásticamente la emisión de gases de efecto invernadero (Hansen, 2004), cosa que, simplemente, no está sucediendo (Hansen, 2009; Hansen *et al.*, 2012).

AGRADECIMIENTOS

A Fernando de León; a la UAM-X por la invitación a colaborar en este número temático; a Gerald E. Rehfeldt; USDA-Forest Service y Juan Felipe Charre-Medellín; a UMSNH por su ayuda en la figura 2.

BIBLIOGRAFÍA

- Alfaro, R. *et al.*, 2014, "The role of forest genetic resources in responding to biotic and abiotic factors in the context of anthropogenic climate change", en *Forest Ecology and Management*, 333(1): 76-87.
- Allen, C. *et al.*, 2010, "A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests", en *Forest Ecology and Management*, 259(4): 660-684.
- Allen, C. *et al.*, 2015, "On underestimation of global vulnerability to tree mortality and forest die-off from hotter drought in the Anthropocene", en *Ecosphere*, 6(8), art. 129: 1-55.
- Breshears, D. *et al.*, 2005, "Regional vegetation die-off in response to global-change-type drought", en *Proceedings of National Academy of Sciences*, 102: 15144-15148.

- Brown, D. *et al.*, 1998, *A classification of North American biotic communities*, University of Utah, Salt Lake City, EEUU.
- Castellanos, A. *et al.*, 2015, "Altitudinal assisted migration of Mexican pines as an adaptation to climate change", en *Ecosphere*, 6(1): Art. 2: 1-16.
- Christensen, J. *et al.*, 2007, "Regional Climate Projections", en Solomon, S. *et al.* (eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK y EEUU.
- Delzon S. *et al.*, 2013, "Field evidence of colonisation by Holm oak, at the northern margin of its distribution range, during the Anthropocene Period", en *PlosOne*, 8(11): e80443.
- Flores, N. *et al.*, 2011, "Modelos para la estimación y distribución de biomasa de *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et. Cham. en proceso de declinación", en *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8: 9-20.
- Hansen, J., 2004, "Defusing the global warming time bomb", en *Scientific American*, 290: 68-77.
- Hansen, J., 2009, *Storms of my grandchildren*, Bloomsbury, Nueva York, EEUU.
- Hansen, J. *et al.*, 2012, "Perception of climate change", en *PNAS*, 109 (37): E2415-E2423.
- Ledig, F. y J. Kitzmiller, 1992, "Genetic strategies for reforestation in the face of global climate change", en *Forest Ecology and Management*, 50: 153-169.
- Ledig, F., 2010, "Projections of suitable habitat for rare species under global warming scenarios", en *American Journal of Botany*, 97(6): 970-987.
- Ledig, F., 2012, "Climate change and conservation", en *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 8: 57-74.
- Lenoir, J. *et al.*, 2008, "A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th Century", en *Science*, 320: 1768-1770.

- Mátyás, C., 2010, "Forecasts needed for retreating forests", en *Nature*, 464: 1271.
- Mátyás, C. et al., 2010, "Future of beech in Southern Europe from the perspective of evolutionary ecology", en *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 6: 91-110.
- Parry, M. et al., 2004, "Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios", en *Global Environmental Change*, 14: 53-67.
- Pavia, E. et al., 2009, "Annual and seasonal surface air temperature trends in México", en *International Journal of Climatology*, 29: 1324-1329.
- Peñuelas, J. et al., 2007, "Migration, invasion and decline: changes in recruitment and forest structure in a warming-linked shift of European beech forest in Catalonia (NE Spain)", en *Ecography*, 30: 830-838.
- Peterson, T. et al., 2002, "Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios", en *Nature*, 416: 626-629.
- Rehfeldt, G. et al., 2002, "Intraspecific responses to climate in *Pinus sylvestris*", en *Global Change Biology*, 8: 912-929
- Rehfeldt, G. et al., 2012, "North American vegetation model for land-use planning in a changing climate: a solution to large classification problems", en *Ecological Applications*, 22(1): 119-141.
- Sáenz, R., 2010, "Spline models of contemporary, 2030, 2060 and 2090 climates for Mexico and their use in understanding climate-change impacts on the vegetation", en *Climatic Change*, 102(3-4): 595-623.
- Sáenz, R. et al., 2012a, "Spline models of contemporary, 2030, 2060 and 2090 climates for Michoacán state, México; impacts on the vegetation", en *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(4): 333-345.
- Sáenz, R. et al., 2012b, "Altitudinal genetic variation among *Pinus pseudostrobus* populations from Michoacán, México; two location shadehouse test results", en *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(2): 111-120.
- Sturrock, R. et al., 2011, "Climate change and forest diseases", en *Plant Pathology*, 60: 133-149.

- Tchebakova, N. *et al.*, 2005, "Impacts of climate change on the distribution of *Larix* spp. and *Pinus sylvestris* and their climatypes in Siberia", en *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11: 861-882.
- Zacarías, E. y R. del Castillo, 2010, "Comunidades vegetales templadas de la Sierra Juárez, Oaxaca: Pisos altitudinales y sus posibles implicaciones ante el cambio climático", en *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 87: 13-28.

Hongos entomopatógenos y sus metabolitos, una alternativa sustentable para el control de plagas en viveros forestales y agricultura protegida: caso *Bradysia impatiens* (Johannsen)

Victor Hugo Marín Cruz,¹ Silvia Rodríguez Navarro, Juan Esteban Barranco Florido, David Cibrián Tovar

Resumen. Los viveros forestales tienen pérdidas de 40% debido a plagas y enfermedades, una de estas plagas es *Bradysia impatiens* (Diptera: Sciaridae). Las larvas de *B. impatiens* se alimentan del xilema y floema de la raíz; cuando los síntomas son evidentes es inevitable la muerte de la planta. Además, transmiten hongos fitopatógenos como *Fusarium circinatum*. El control de este insecto se realiza con insecticidas químicos, ocasionando contaminación ambiental, por lo que, el manejo de esta especie debe realizarse sustentablemente. En el Manejo Integrado de Plagas (MIP), el control biológico se da por medio de la aplicación de hongos entomopatógenos (HE) como *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* que producen proteasas, lipasas, quitinasas y metabolitos secundarios como parte de su mecanismo de patogenicidad, con potencial como agentes insecticidas para el control de *B. impatiens*. En este trabajo se realizó una revisión de literatura sobre el manejo sustentable de plagas en viveros forestales, en el marco del MIP y el uso HE (conidios, enzimas y metabolitos secundarios) como bioplaguicidas; ya que representan una alternativa para el control de *B. impatiens* en viveros de México.

¹ Programa del Doctorado en Ciencias Agropecuarias, e-mail: dcibrian48@gmail.com

Palabras clave: *Bradysia impatiens*, *Beauveria bassiana*, *metarhizium anisopliae*, *metabolitos secundarios*, *manejo integrado de plagas*.

Abstract. Forest nurseries, has 40% losses due to pests and diseases, one of these pests is *Bradysia impatiens* (Diptera: Sciaridae). The larvae of *B. impatiens* feed from the xylem and phloem of the root and when symptoms are evident, is inevitable the death of the plant. In addition, introduce phytopathogenic fungi as *Fusarium circinatum*. The control of this insect is done with chemistry insecticides causing environmental pollution. The management of this specie should be performed from the sustainability. In the Integrated Pest Management (IPM); the biological control is by entomopathogenic fungi (EF) as *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae*, which produce proteases, lipases, chitinases and secondary metabolites as part of its mechanism of pathogenicity, with potential as insecticidal agents for the control of *B. impatiens*. In this work we carried out a literature review on the sustainable management of pests in forest nurseries, in the framework of the MIP and the use of EF (conidia, enzymes and secondary metabolites) as biopesticides; and are an alternative for the control of *B. impatiens* in nurseries of Mexico.

Key words: *bradysia impatiens*, *beauveria bassiana*, *metarhizium anisopliae*, *secondary metabolites*, *integrated pest management*.

INTRODUCCIÓN

Para satisfacer la demanda de alimentos y materias primas de los más de nueve mil millones de personas que habitarán en el año 2050, la agricultura tiene que producir 60% más de alimentos a nivel mundial y 100% más en los países en desarrollo (FAO, 2015). Sin embargo, la producción adicional no debe basarse en el incremento de la superficie arable, lo que debe mejorar es la productividad agrícola (Dimetry, 2014). Esto puede lograrse al reducir las pérdidas de producción agrícola y forestal por

plagas, enfermedades y malezas. Las pérdidas antes de la cosecha por factores bióticos se estiman entre 38 y 42% de la producción potencial (Bailey *et al.*, 2010). La producción de alimentos y materias primas es severamente afectada por los insectos plaga durante el crecimiento del cultivo, post-cosecha y almacenamiento (Kulkarni *et al.*, 2009); para reducir estas pérdidas, el control de plagas se realiza principalmente aplicando insecticidas químicos (Bailey *et al.*, 2010). México realizó importaciones para cubrir la gran demanda de productos forestales, por lo que la balanza comercial tuvo un déficit de 5919.4 millones de dólares en el año 2013 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2014).

En los viveros forestales los insectos y las enfermedades generan los problemas más serios (Cibrián *et al.*, 2008). Aun aplicando las medidas preventivas para reducir la densidad de plagas y patógenos se siguen utilizando productos químicos en exceso para su control (Velázquez *et al.*, 2011), con lo cual se desea asegurar la producción en viveros y proveer de árboles de calidad para la restauración y las plantaciones comerciales, sin embargo, el uso de éstos ocasionan deterioro del ambiente y también provocan disminución de organismos benéficos y especies silvestres, además de intoxicaciones, efectos negativos en aplicadores y el desarrollo de resistencia en especies plaga, así como altos costos económicos (Gutiérrez *et al.*, 2012); es por ello que el manejo de insectos en los viveros forestales se debe realizar desde una visión sustentable para reducir todos estos efectos negativos. Una alternativa son los hongos entomopatógenos (HE) como agentes de control biológico y sus metabolitos secundarios (Sánchez *et al.*, 2014).

Los HE han sido estudiados y aplicados por su eficiencia para controlar insectos, tienen ventajas como la permanencia en el ambiente, así como establecen una interacción específica con el insecto plaga y son relativamente seguros al ambiente (Franco *et al.*, 2011). Además, sintetizan metabolitos secundarios que tienen propiedades insecticidas o antialimentarias (Rohlfis y Churchill, 2010; Quesada *et al.*, 2006).

El objetivo de este trabajo es describir el potencial de los metabolitos secundarios de los HE en el control de plagas en viveros forestales. Así mismo se presenta un estudio de caso de manejo integrado de *Bradyzia impatiens* (Johannsen) (Diptera: Sciaridae) o “mosco fungoso negro”, proponiendo el empleo de conidios y metabolitos de los HE *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin y *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin.

Sector forestal sustentable y el control de plagas

Una agricultura sustentable debe satisfacer las necesidades de la generación presente sin sacrificar la capacidad de futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades de productos y servicios, garantizando al mismo tiempo la rentabilidad, salud ambiental y social, así como equidad económica (FAO, 2015). Para Sarandón *et al.* (2006), una agricultura sustentable mantiene en el tiempo un flujo de bienes y servicios que satisfacen las necesidades alimenticias, socioeconómicas y culturales de la población dentro de los límites biofísicos que establece el correcto funcionamiento de los sistemas naturales que lo soportan; por tanto, para lograr un desarrollo sustentable el gobierno de México elaboró el Plan de Desarrollo 2013-2018, en el cual se inscribe el Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) 2013-2018, en él se otorga prioridad al fortalecimiento de la producción y productividad forestal y el aprovechamiento sustentable del patrimonio natural (Semarnat, 2014). Una de las metas plantea reforestar un millón de ha en el periodo 2013-2018. En el año 2015, se tenía como meta 170 000 ha, para lo cual se requirió producir en los viveros 180 millones de plantas. El principal reto era lograr que la reforestación alcanzara entre 60-70% de sobrevivencia, actualmente se ha trabajado para elevar la calidad de la planta (Comisión Nacional Forestal, 2015).

De acuerdo con Sarandón y Flores (2014), para alcanzar la sustentabilidad, el sector forestal, agrícola y la agricultura protegida deben ser: 1) Suficientemente productiva; 2) Económicamente viable (a largo plazo), 3) Ecológicamente adecuada (que conserve los recursos naturales y preserve la integridad del ambiente en el ámbito local, regional y global), y 4) Cultural y socialmente aceptable.

En cumplimiento a las propuestas anteriores, en los viveros forestales el Manejo integrado de plagas (MIP) es una alternativa para el control de insectos, y así garantizar el suministro y sobrevivencia de plantas en la restauración y reforestación al reducir las pérdidas de plantas.

Manejo integrado de plagas (MIP)

El MIP es considerado por Robson y Hamilton (2010) como un enfoque que utiliza diversas técnicas de control para mantener o administrar la población de las plagas en niveles inferiores a los que provocan un daño económico, al tiempo que se mantiene la calidad ambiental. Fischbein (2012) define el manejo integrado de plagas como un método ecológico que busca sostener las poblaciones de plagas por debajo del nivel de daño económico, basándose en los factores de mortalidad natural, ocasionada por el clima y los enemigos naturales y, en caso de ser necesario, utilizar otras acciones como la aplicación de plaguicidas y la manipulación del ambiente, buscando que éstas interfieran lo menos posible con los factores naturales. En el caso de los viveros forestales, Cibrián *et al.* (2008) definen el MIP como la utilización de varias tácticas, las cuales conforman una estrategia óptima que logra reducir la densidad poblacional de organismos plaga a niveles tolerables de acuerdo al daño económico, ecológico y social. Este conjunto de tácticas debe formar parte del manejo de la planta en el vivero. De acuerdo con Cibrián *et al.* (2008), para implementar el MIP se requiere de: 1) conocimiento de la identidad y ciclo biológico de las especies plaga; 2) conocimiento de los factores que

regulan las poblaciones de plagas; 3) conocimiento de los hospedantes, especialmente sobre cultivo, susceptibilidad, tolerancia y resistencia; 4) conocimiento sobre métodos de monitoreo y evaluación; 5) conocimiento de la importancia de las especies plaga; 6) análisis costo-beneficio de aplicación de tratamientos y 7) conocimiento de tácticas y estrategias de prevención y control.

El MIP no descarta el uso de plaguicidas químicos, los cuales son utilizados selectivamente; además de que asume una gama amplia de métodos de control disponibles y compatibles que incluyen: control biológico, cultural y físico, resistencia de la planta huésped, y otros sobre una base de monitoreo y umbrales de decisión. El MIP tiene como objetivo, a largo plazo, mejorar el funcionamiento de los sistemas ecológicos, autorregulándose y limitando el desarrollo de plagas, por lo que la intervención humana se aplica sólo cuando las poblaciones de plagas llegan a poner en riesgos los umbrales económicos (Bailey *et al.*, 2010).

Control biológico de plagas

Van Driesche *et al.* (2007) definen el control biológico como el uso de enemigos naturales para disminuir la población de organismos plaga, ya sea de forma temporal o permanente. Para Nicholls (2008), es la liberación de organismos benéficos contra aquellos que causa daño. Por su parte, Fischbein (2012) lo clasifica como:

- **Control biológico clásico.** Se basa en la introducción de un enemigo natural en un nuevo ambiente con el fin de que se establezca de forma permanente y regule a la plaga de manera sostenida en el tiempo.
- **Control biológico aumentativo.** Aumenta la abundancia de los enemigos naturales cuando están presentes en un área afectada, en un número tan bajo que no alcanzan un control efectivo. Otro objeti-

vo es la liberación periódica de enemigos naturales ausentes en la zona afectada. El aumento de las poblaciones se puede hacer con liberaciones inundativas o inoculativas.

- **Control biológico conservativo.** Implementa medidas para proteger, aumentar la abundancia y mejorar las actividades de los enemigos naturales ya presentes en el área.

Los organismos utilizados como agentes de control biológico incluyen insectos depredadores, ácaros, parasitoides, parásitos y patógenos microbianos y antagonistas (Bale *et al.*, 2008). Los enemigos naturales se clasifican en: parasitoides, depredadores y patógenos; entre estos últimos se incluyen los hongos, bacterias, virus, nematodos y protozoarios, y se denominan entomopatógenos (Bahena, 2008; Nicholls, 2008).

Bioplaguicidas y sustentabilidad

Bailey *et al.* (2010) definen al bioplaguicida como un metabolito producido a partir de un microorganismo vivo o un producto natural, y que se usa como agente de control de plagas. Los agentes utilizados como bioplaguicidas se dividen en: i) microorganismos (bacterias, hongos, virus y protozoos); ii) productos bioquímicos (productos vegetales como aceites esenciales y metabolitos sintetizados por microorganismos) y iii) semioquímicos (feromonas de insectos utilizadas en trampas para los adultos) (Bailey *et al.*, 2010). Los HE producen metabolitos secundarios con actividad insecticida; estos metabolitos pueden ser de estructura simple, como el ácido oxálico, 2,6- piridindicarboxílico (ácido dipicolínico), ácido 4-hidroximetilazoxibenceno-4-carboxílico; así como más complejos, de naturaleza peptídica cíclica y lineal, denominados depsipéptidos, como la beauvericina, efrapeptinas, destruxinas, basiacridina y basianólidos, los cuales tienen efecto tóxico, ya que alteran la permeabilidad de las membranas, induciendo pérdida de líquido en las células, además modifican

el proceso de muda y metamorfosis, cambios en la fecundidad, e interfiere en las interacciones ligando-receptor que ocurren en la membrana plasmática, deformaciones en las alas y, finalmente, provocan la muerte del insecto (Borges *et al.*, 2010). Son eficaces en el manejo de plagas sin causar daños graves al medio ambiente (Nava *et al.*, 2012). De acuerdo con Simberloff (2012), algunos de los riesgos del uso de bioplaguicidas son: 1) Ataque directo a plagas no objetivos; 2) Los efectos indirectos a organismos no blancos; 3) La dispersión de un agente de control biológico a una nueva área, ya sea de forma autónoma o deliberada o accidentalmente, y 4) Cambios de relaciones entre un agente de control y una especie nativa. Para la utilización de un bioplaguicida se debe tener la información necesaria de su impacto en el agroecosistema.

Hongos entomopatógenos (HE) y sus metabolitos

Los HE son empleados como agentes de control biológico, pues tienen ventajas como la permanencia prolongada en el campo después de su aplicación, interacción específica con el insecto; son seguros respecto al medio ambiente y no causa resistencia en las plagas (Franco *et al.*, 2011). Los HE infectan por contacto atravesando la cutícula o la pared del tracto digestivo de los insectos, esta característica es muy deseable para un bioinsecticida (Charnley y Collins, 2007). La mayoría de los insectos son susceptibles a alguna enfermedad causada por HE, incluyendo a los dípteros (Lozano *et al.*, 2013; Ortiz *et al.*, 2009). A nivel mundial, en el control biológico de Diptera, los HE más utilizados son *Metarhizium anisopliae* y *Beauveria bassiana* (Hypocreales: Clavicipitaceae). Así mismo *M. anisopliae* ha sido probado en laboratorio y campo en *Ceratitis capitata* (Tephritidae) (Ortiz *et al.*, 2009; Garrido *et al.*, 2011); *Drosophila melanogaster* (Drosophilidae) (Pal *et al.*, 2007); *Aedes aegypti* L. (Culicidae) (Santos *et al.*, 2009). Por otro lado, *B. bassiana* ha sido usado en el control de *D. melanogaster* (Vallejos *et al.*, 2014); *Musca domestica* (Muscidae) (Acharya *et al.*, 2015); *C. capitata* (Lozano *et al.*, 2013).

Los HE penetran la cutícula de los insectos a través de la presión mecánica y de la acción de enzimas tales como proteasas, lipasas y quitinasas que la degradan, suministrando nutrientes al hongo (Lubeck *et al.*, 2008). La hidrólisis del tegumento sigue la secuencia de lipasa-proteasa-quitinasa. Las lipasas hidrolizan los enlaces éster de las lipoproteínas, grasas y ceras en la superficie del tegumento del insecto (Ali *et al.*, 2009). Además de que también mejoran la adherencia de las esporas a la epicutícula; una vez que ésta se rompe, el hongo produce grandes cantidades de proteasa (Pr1) que degradan el material proteínico de la procutícula. La patogenicidad y virulencia de los HE están estrechamente relacionadas con la producción de proteasas (Mustafa y Kaur, 2009). Las proteínas solubilizadas son degradadas por amino-peptidasas y exopetididasas hasta aminoácidos que quedan disponibles para el HE (Wang *et al.*, 2002). Se ha demostrado que la proteasa Pr1 inicia la penetración de la cutícula, y sin esta enzima el proceso infeccioso no se puede lograr (Mustafa y Kaur, 2009). Además, esta proteasa es un indicador de la virulencia para el HE (Castellanos *et al.*, 2007). Michelle *et al.* (2013) obtuvieron una correlación positiva de la degradación de la cutícula de *Diatraea saccharalis* F. (Lepidoptera: Crambidae) y la virulencia con respecto a las proteasas Pr1 y Pr2. Con relación a las quitinasas, se ha demostrado que actúan de forma sinérgica con las proteasas para degradar la cutícula; hidrolizan el enlace α y β del polímero N-acetilglucosamina, componente esencial en la cutícula de los insectos. Fang *et al.* (2009) encontraron que al evaluar, *in vitro*, la combinación de conidios *B. bassiana* Pr1 y quitinasas, se degrada la cutícula de *Myzus persicae* Sulzer (Heteroptera: Aphididae), más eficientemente que por separado. Vallejos *et al.* (2014) reportaron que *B. bassiana* posee capacidad insecticida en *D. melanogaster* cuando la actividad quitinolítica es elevada.

Metabolitos secundarios como agentes de control biológico

Los metabolitos secundarios son compuestos sintetizados que no tienen un rol directo en el crecimiento o reproducción del hongo; tienen su origen como derivados de diversos compuestos intermedios en el metabolismo primario. Los HE secretan una amplia gama de metabolitos secundarios que pueden ser usados en el control biológico (Rohlf's y Churchill, 2010). Los metabolitos fúngicos tienen funciones dependiendo del nicho ecológico del hongo; algunos metabolitos pueden ser antibióticos que protegen al HE contra microorganismos antagonistas, o impiden el crecimiento de saprófitos en el hospedero y mantienen la supervivencia del HE. Por otro lado, algunos metabolitos son determinantes de la patogenicidad del hongo (Strasser *et al.*, 2000). Los metabolitos sintetizados por HE que son tóxicos contra insectos, cuando el hongo ha penetrado el exoesqueleto (Téllez *et al.*, 2009) y ha alcanzado el hemocele, se consideran que tienen propiedades insecticidas (Vey *et al.*, 2001); además existen metabolitos con actividad antialimentaria (Ortiz *et al.*, 2009). Muchas de estas toxinas fúngicas son metabolitos secundarios de bajo peso molecular (Cuadro 1); poseen un amplio rango de efectos nocivos en los insectos que incluyen: a) La inducción de la despolarización de la membrana debido a la apertura de los canales de Ca^{2+} , causando la parálisis tetánica y muerte (Samuels *et al.*, 2001); b) Producen cambios morfológicos y del citoesqueleto de los plasmocitos del insecto *in vitro*, al afectar parte de la respuesta inmune como la encapsulación y la fagocitosis (Vey *et al.*, 2002); c) Reducen la expresión de péptidos antimicrobianos que tienen un papel importante en la respuesta inmune humoral de los insectos (Pal *et al.*, 2007), d) inducen cambios estructurales en las células epiteliales que ocasionan la disrupción de la membrana, y e) Un estrés oxidativo en las células (Sowjanya *et al.*, 2008). Ruiz-Sánchez *et al.* (2010) demostraron que la toxina destruxina A tiene efectos excitatorios en contracciones de vísceras de los músculos de *Locusta migratoria* (Orthoptera: Acrididae).

Cuadro 1. Metabolitos secundarios del HE *M. anisopliae* como control biológico

Insecto	Metabolito secundario	Autor
<i>Locusta migratoria</i> (L.) (Orthoptera: Acrididae). <i>Bombix mori</i> (L.) (Lepidoptera: Bombycidae); <i>Exolantha serrulata</i> (Gyllenhal) (Coleoptera: Melolonthidae); <i>Spodoptera litura</i> (Fabricius) (Lepidoptera: Noctuidae)	Destruxina A	Ruiz-Sánchez, 2010; Fan <i>et al.</i> , 2014; Xiu <i>et al.</i> , 2014
<i>B. mori</i> ; <i>L. migratoria</i> ; <i>E. serrulata</i> ; <i>S. litura</i> (Fabricius) (Lepidoptera: Noctuidae)	Destruxina B	Wang <i>et al.</i> , 2012
<i>Galleria mellonella</i> (L.) (Lepidoptera: Pyralidae); <i>Helicoverpa zea</i> (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae); <i>Spodoptera exigua</i> (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae)	Bassianolido	Xu <i>et al.</i> , 2009
<i>G. mellonella</i>	Beauvericina	Abd <i>et al.</i> , 2012

Manejo integrado de *Bradysia impatiens* en el marco de la agricultura sustentable

Impacto de *B. impatiens* en viveros forestales y agricultura protegida

El mosco fungoso negro *B. impatiens* (Diptera: Sciaridae) es una plaga de importancia en viveros forestales e invernaderos de: plantas ornamentales, hortalizas, leguminosas forrajeras, coníferas y en la producción de hongos (García, 2008; Mohrig y Menzel, 2009; Marín *et al.*, 2015a). Es transmisor de hongos fitopatógenos como *Botrytis cinerea*, *Pythium* sp., *Fusarium oxysporum*, *Verticillium albo-atrum*, *V. fungicola*, *F. circinatum* (Hurley *et al.*, 2007, 2010; Shamshad *et al.*, 2009; Marín *et al.*, 2015b); su distribución es mundial (Menzel *et al.*, 2003; Mohring *et al.*, 2012; Shin *et al.*, 2012). En Italia causa daños en viveros de *Eucalyptus* (Mansilla *et al.*, 2001); en Sudáfrica ataca plántulas de pino en vivero (Hurley *et al.*, 2007, 2010); en México, *B. impatiens* es una plaga en los invernaderos de nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzch) (García, 2008). Cibrián *et al.* (2008) la reportaron en Jalisco y en el Estado de México en viveros forestales, dañando a *Pinus montezumae*. *B. impatiens* se dispersa por medio de las plantas y también a través de sustratos como la turba (Marín *et al.*, 2015b).

Ciclo de vida y ecología de *B. impatiens*

El ciclo de vida de *B. impatiens* es determinado por la temperatura. Marín *et al.* (2015b) reportaron que el ciclo de vida completo fue de 25-30 días en laboratorio a una temperatura de $21^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. La duración en cada estadio de desarrollo fue: huevo 4-5 días; estadios larvarios de 11-13 días, prepupa 1 día, pupa 4 días y adulto 5-7 días. Wilkinson y Daugherty (1970) mencionan un ciclo de 27.5 días para *B. impatiens* a 24°C . Además, Mansilla *et al.* (2001) citan un ciclo de 21-28 días a $23^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, y la dura-

ción de estadios larvarios es de 9-13 días. La diferencia entre la duración de los ciclos de vida se debe al uso de diferentes temperaturas en la cría en laboratorio.

Las hembras se aparean al emerger, los huevos son depositados en el suelo, los contenedores y en las algas (Marín *et al.*, 2015b). Las hembras ovipositan entre 12-156 huevos, en grupos de 5-30 (Wilkinson y Daugherty, 1970). *B. impatiens* presenta en todo momento huevos, larvas, pupas y adultos (Marín *et al.*, 2015b). Las larvas se alimentan de materia orgánica en descomposición, algas, hongos y raíces (Cibrián *et al.*, 2008).

Daños de *B. impatiens* en plántulas de *Pinus montezumae* Lamb (*Pinaceae*)

P. montezumae se utiliza con éxito en programas de reforestación para la protección de cuencas hidrográficas y restauración de suelos degradados (Calderón *et al.*, 2006). En el ciclo de producción 2014-2015 en el vivero forestal de Temamatla, Edo. de México, se tuvo una producción de 700 mil árboles de este pino (Cartel informativo vivero forestal militar Temamatla, 2015). El primer síntoma de infestación *B. impatiens* en *P. montezumae* es la presencia de adultos volando alrededor de las plantas y en las zonas oscuras y húmedas del vivero. Las larvas se alimentan de las raíces, dejando el tejido vascular deteriorado. Cuando los síntomas son visibles, el daño es tan severo que la planta muere (Marín *et al.*, 2015a; Cibrián *et al.*, 2008). La sintomatología es: pérdida de vigor repentino, amarillamiento, pudrición en raíz, escaso crecimiento, caída de hojas, marchitez y la muerte de la planta. Estos síntomas pueden ser confundidos con los de *F. circinatum* (Marín *et al.*, 2015a). Los adultos y larvas de *B. impatiens* pueden ser vectores de hongos (Hurley *et al.*, 2010; Shamshad *et al.*, 2009). Los adultos favorecen la diseminación de hongos; las larvas son vectores de *Botrytis cinerea*, *Fusarium* y *Phoma* (Mansilla *et al.*, 2001). Marín *et al.*, (2015b) aislaron de *B. impatiens* los géneros: *Verticillium*, *Peni-*

cillium, *Alternaria*, *Fusarium*, *Paecilomyces*, *Aspergillus* y *Mucor*. La especie del género *Fusarium* fue *F. circinatum*, Nirenberg et O'Donnell, el cual es un fitopatógeno importante para el género *Pinus* (Wingfield *et al.*, 2008).

Respuesta de *B. impatiens* al control químico

El control de diferentes especies de ciaridos se lleva a cabo con insecticidas químicos, reguladores de crecimiento y bioplaguicidas. Erler *et al.* (2011) obtuvieron buenos resultados de control de *L. ingenua* en la producción de *A. bisporus* al aplicar diferentes reguladores de crecimiento en el riego. Mansilla *et al.* (2001) consignan que, en condiciones de laboratorio en cajas de Petri, los insecticidas flufenoxuron, diflubenzuron, deltametrina y azadiractina controlan las larvas de *Bradysia difformis*. En los viveros e invernaderos los insecticidas continúan siendo la principal opción para el manejo de insectos, sin embargo, la dependencia continúa sobre estos productos, y al no aplicar insecticidas con diferente modo de acción generan problemas de desarrollo de resistencia.

Esta resistencia se presenta a nivel de la población y es de carácter hereditario, por lo que cualquier insecto sobreviviente puede pasar estos rasgos a su progenie (Cloyd y Anderson, 2013). La magnitud de la "presión de selección" (frecuencia de aplicación de insecticidas) es el principal factor que influye sobre la capacidad de una población de insectos para desarrollar y sostener resistencia a los insecticidas, además, el desarrollo rápido y uniforme de la resistencia se asocia con un ciclo de vida corto y con la frecuencia de las aplicaciones de insecticidas (Cloyd y Anderson, 2013).

B. impatiens presenta tres características que favorecen la resistencia a los insecticidas organosintéticos: 1) Ciclo de vida corto (más de diez generaciones por año); 2) Especie muy prolífica, y 3) Traslapo de poblaciones y estados (durante todo el año). Aunado a lo anterior, se hacen aplicaciones frecuentes de insecticidas en periodos cortos (cada 30 días), lo cual somete a la especie a una presión de selección fuerte (Marín *et al.*, 2015).

En los ciariados (moscos fungos) existe evidencia de que algunas especies pueden desarrollar resistencia si son expuestas a una “presión de selección” continua (Cloyd y Anderson, 2013); esto se ha demostrado en especies de ciaridos que atacan champiñones: *Lycoriella castanescens* y *L. mali*, dichas especies muestran resistencia al diazinon (Knox OUT), la permetrina (Astro) y el dichlorvos (Vapona). Los adultos desarrollan resistencia a la permetrina por la exposición continua al mismo producto (Cloyd y Anderson, 2013).

Alternativas de manejo de *B. impatiens* en viveros forestales e invernaderos

Dentro del marco de la agricultura sustentable, en invernaderos y viveros forestales, y para no generar resistencia a los insecticidas, el manejo de *B. impatiens* se debe hacer a través del MIP, para lo cual es indispensable conocer su biología, comportamiento y hábitos, así como las condiciones que favorecen el aumento de la población. De acuerdo con Marín *et al.* (2015a), Cibrián *et al.* (2008) y García (2008) algunas alternativas son:

- 1) El control de la humedad y la sanidad.
- 2) Monitoreo: La colocación de trampas amarillas con pegamento (monitoreo del adulto y control mecánico).
- 3) Riegos adecuados, evitando excesos y encharcamientos; mantener un buen drenaje en las instalaciones.
- 4) Tener limpio el invernadero o vivero, eliminar las malezas y todo el sustrato que se encuentre por debajo y a los alrededores de las plantabandas del vivero.
- 5) Usar sólo sustratos esterilizados.
- 6) Retirar las plantas o contenedores que presenten daño por el mosco fungoso. Incinerar las plantas, esterilizar el sustrato y contenedores.

- 7) Realizar fertilizaciones balanceadas para mantener vigorosa a la planta.
- 8) Los sustratos que no se utilicen deben mantenerse sellados y almacenados en bodegas frescas y secas, lejos de donde crecen las plantas del invernadero o vivero forestal.
- 9) Control biológico clásico y aumentativo, en el sustrato aplicar HE: *B. bassiana*, *M. anisopliae*; bacterias: *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* y nematodos: *Steinernema feltiae* y *Carpocapsea* sp.
- 10) Aplicar una capa de cal o vermiculita en la superficie del sustrato, ya que se refleja la luz y evita la oviposición.
- 11) Como última opción, al existir un crecimiento explosivo de la población de *B. impatiens* aplicar insecticidas autorizados como spirotriamad, imidacloprid; de ser necesario nuevas aplicaciones de insecticidas, tomando en cuenta el grupo toxicológico.

CONCLUSIONES

En México, la producción de árboles en los viveros se debe realizar dentro del concepto de manejo sustentable para reducir las pérdidas de árboles por plagas y enfermedades.

Los HE producen enzimas y metabolitos secundarios, los cuales han tenido resultados prometedores para el control biológico de diversos insectos. En este sentido, los metabolitos secundarios tienen un gran potencial, debido a que, por ingestión, pueden causar la muerte del insecto, lo cual hace que sólo sea dañino para el insecto objetivo.

B. impatiens es una plaga de primer orden en viveros e invernaderos, la cual causa severas pérdidas en plántulas. Este insecto presenta tres cualidades que la hacen susceptible de desarrollar resistencia a los insecticidas: 1) es una especie prolífica; 2) traslape de poblaciones, y 3) tiene un ciclo biológico corto; por ello, no se debe abusar del uso de los insecticidas organosintéticos.

Para lograr la sustentabilidad en los viveros donde se presenta *B. impatiens* es necesario establecer un MIP, considerando diversas estrategias de manejo de poblaciones de este insecto. Las enzimas y metabolitos secundarios que producen los HE *B. bassiana* y *M. anisopliae* han demostrado ser eficientes en causar la muerte por ingestión y contacto de larvas de *B. impatiens*, además de su efecto insectistático (actividad antialimentaria, reducción de la fecundidad y aumento en la duración del ciclo biológico), por lo que se debe considerar como una estrategia más dentro del control biológico de MIP.

BIBLIOGRAFÍA

- Abd, T. *et al.*, 2012, "Biodiversity of entomopatogeic fungi new cultivated soil with their using to control of *Galleria mellonella*", en *Int. J. Cur. Res. Rev.* 4(24): 17-31.
- Acharya, N. *et al.*, 2015, "Persistence and efficacy of a *Beauveria bassiana* biopesticide against the house fly, *Musca domestica*, on typical structural substrates of poultry houses", en *Biocontrol Sci. Techn.*, 25(6): 697-715.
- Ali, S. *et al.*, 2009, "Production and Extraction of Extracellular Lipase from the Entomopathogenic Fungus *Isaria fumosoroseus* (Cordycipitaceae: Hypocreales)", en *Biocontrol Sci. Techn.* 19: 81-89.
- Bahena, J., 2008, *Enemigos naturales de las plagas agrícolas del maíz y otros cultivos*, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Texcoco.
- Bailey, A. *et al.*, 2010, *Biopesticides: Pest managements and regulation*, CABI. Cambridge, EEUU.
- Bale, J. *et al.*, 2008, "Biological control and sustainable food production", en *Philos. T. Roy. Soc. B.* 363: 761-776.
- Borges, D. *et al.*, 2010, *Metabolitos secundarios producidos por hongos entomopatógenos*, Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), 44(3): 49-55.

- Calderón, P. *et al.*, 2006, "Estimulación temprana del crecimiento del epicotilo en plántulas de *Pinus montezumae* Lamb.", en *Rev. Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable*, 2(3): 847-864.
- Castellanos, M. *et al.*, 2007, "Virulence Testing and Extracellular Subtilisin-Like (*Pr1*) and Tripsina-Like (*Pr2*) Activity during Propagule Production of *Paecilomyces fumosoroseus* Isolates from Whiteflies (*Homoptera: Aleyrodidae*)", en *Rev. Iberoam. Micol.* 24: 62-68.
- Charnley, K. y A., Collins, 2007, "Entomopathogenic fungi and their role in pest control", en Kubicek, P. y Druzhinina (Eds.), *Environmental and microbial relationship, The Mycota IV*, Springer-Verlag, Belin Heidelberg.
- Cibrián, T. *et al.*, 2008, *Manual de identificación y manejo de plagas y enfermedades en germoplasma y planta producida en viveros*, Comisión Nacional Forestal, Guadalajara, Jal., México.
- Cloyd, A. y T. Anderson, 2013, Fungus gnats & insecticide resistance, en <http://ballpublishing.com/GrowerTalks/ViewArticle.aspx?articleid=19841>, consultado el 20/08/15.
- Conafor (Comisión Nacional Forestal), 2015, "CONAFOR incrementa la calidad de la producción de planta", en *Boletín 154*, Jalisco, México.
- Dymetry, N., 2014, "Different plant families as bioresource for pesticides", en Dwijendra, S. (Eds.), *Advances in Plant Biopesticides*, Nueva Delhi, India.
- Erlor, F. *et al.*, 2011, "Control of mushroom sciarid fly *Lycoriella ingenua* populations with insect growth regulators applied by soil drench", en *J. Econ. Entomol.*, 104(3): 839-844.
- Fan, J. *et al.*, 2014, "Comparative proteomic analysis of *Bombyx mori* hemocytes treated with destruxin A. Arch", en *Insect. Biochem*, 86(1): 33-45.
- Fang, W. *et al.*, 2009, "Expressing a fusion protein with protease and chitinase activities increases the virulence of the insect pathogen *Beauveria bassiana*", en *J. Invertebr. Pathol.*, 102: 155-159.

- Fischbein, D., 2012, "Introducción a la teoría del control biológico de plagas", en Villacide, M. y C. Corley (Eds.), *Serie Técnica, Manejo integrado de plagas forestales*, Cuadernillo núm. 15, Cambio Rural, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Bariloche, Argentina.
- Franco, K. *et al.*, 2011, "Enzimas y toxinas de hongos entomopatógenos su aplicación potencial como insecticidas y fungicidas", en *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, 11: 143-160.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), 2015, Agricultura sostenible. La agenda de desarrollo post-2015 y los objetivos del desarrollo del milenio, en <http://www.fao.org/post-2015-mdg/14-themes/sustainable-agriculture/es/>, consultado 20/08/2015.
- García, F., 2008, *Fungus Gnast. Insecto plaga en ornamentales*, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México, D.F.
- Garrido, I. *et al.*, 2011, "Soil properties affect the availability, movement, and virulence of entomopathogenic fungi conidia against puparia of *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae)", en *Biol. Control*, 58: 277-285.
- Gutiérrez, A. *et al.*, 2012, "Control biológico como herramienta sustentable en el manejo de plagas y su uso en el Estado de Nayarit, México", en *Rev. Bio Ciencias*, 2(3): 102-112.
- Hurley, P. *et al.*, 2007, "Molecular detection of fungi carried by *Bradysia difformis* (Sciaridae: Diptera) in South African forestry nurseries, en *Southern Hemisphere Forestry J.*, 69(2): 103-109.
- Hurley, P. *et al.*, 2010, "Genetic diversity of *Bradysia difformis* (Sciaridae: Diptera) populations reflects movement of an invasive insect between forestry nurseries", en *Biol. Invasions*, 12: 729-733.
- Kulkarni, J. *et al.*, 2009, "Plant based pesticides for control of *Helicoverpa armigera* on *cucumis sativus*", en *Asian Agri-History*, 13(4): 327-332.

- Lozano, M. *et al.*, 2013, "Assessment of entomopathogenic fungi and their extracts against a soil-dwelling pest and soil-borne pathogens of olive", en *Biol. control*, 7: 409-420.
- Lubeck, I. *et al.*, 2008, "Evaluation of *Metarhizium anisopliae* Strains as Potential Biocontrol Agents of the Tick *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* and the Cotton Stainer *Dysdercus peruvianus*", en *Fungal Ecology*, 1: 78-88.
- Mansilla, P. *et al.*, 2001, "Estudio sobre la biología y control de *Bradysia paupera* Tuomikoski (*Bradysia difformis* Frey) (Diptera: Sciaridae)", en *Bol. Sanidad Vegetal-Plagas*, 27: 411-417.
- Marín, V. *et al.*, 2015a, "Control del mosquito fungoso negro *Lycoriella ingenua* (Dufour, 1839) y *Bradysia impatiens* (Johannsen, 1912) (Diptera: Sciaridae) en *Pinus montezumea* Lamb", en *Rev. Mex. Ciencias Forestales*, 6(27): 90-100.
- Marín, V. *et al.*, 2015b, "Biología de *Lycoriella ingenua* y *Bradysia impatiens* (Diptera: Sciaridae)", en *Madera y Bosques*, 21(1): 113-128.
- Menzel, J. *et al.*, 2003, "*Bradysia difformis* Frey and *Bradysia ocellaris* (Comstock): two additional neotropical species of black fungus gnats (Diptera: Sciaridae) of economic importance: a redescription and review", en *Ann. Entomol. So. Am.*, 96(4): 448-457.
- Michelle, V. *et al.*, 2013, "Pathogenicity of *Beauveria bassiana* and production of cuticle-degrading enzymes in the presence of *Diatraea saccharalis* cuticle", en *Afr. J. Biotechnology*, 12(46): 6491-6497.
- Mohrig, W. *et al.*, 2012, "Revision of black fungus gnats (Diptera: Sciaridae) of North America", en *Stud. Dipterologica*, 19: 141-286.
- Mohrig, W. y F. Menzel, 2009, "Sciaridae (Black fungus gnats)", en Brown, V. *et al.* (Eds.), *Manual of Central American Diptera*, vol. 1, National Research Council of Canada Monograph Publishing Program, Canada.
- Mustafa, U. y G. Kaur, 2009, "Extracellular Enzyme Production in *Metarhizium anisopliae* Isolates", en *Fol. Microbiologica*, 54: 499-504.

- Nava, E. *et al.*, 2012, "Bioplaguicidas: Una opción para el control biológico de plagas", en *Rev. Sociedad y Desarrollo Sustentable*, 8(3): 17-29.
- Nicholls, C., 2008, Control biológico de insectos: un enfoque agroecológico. Universidad de Antioquía. Colombia, en <https://www.socla.co/wp-content/uploads/2014/ClaraNicholls.pdf?iv=29>, consultado el 20/08/2015.
- Ortiz, A. *et al.*, 2009, "Purification and characterization of proteins secreted by the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* with insecticidal activity against adults of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitidis capitata* (Diptera: tephritidae)", en *Pest Manag. Sci.* 65: 1130-1139.
- Pal, R. *et al.*, 2007, "Fungal peptide destruxin: A plays a specific role in suppressing the innate immune response in *Drosophila melanogaster*", en *J. Biol. Chem.*, 282: 8969-8977.
- Quesada, E. *et al.*, 2006, "Insecticidal and antifeedant activities *S. littoralis* of proteins secreted by entomopathogenic fungi against *Spodoptera littoralis* (Lep., Noctuidae)", en *J. Appl. Entomol.*, 130(8): 442-452.
- Robson, G. y G. Hamilton, 2010, "Control de plagas y pesticidas, en Frumkin, H. (Ed.), *Salud ambiental de lo global a lo local. Cuarta parte: Salud ambiental en la escala local*, Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud, México.
- Rholfs, M. y C. Churchill, 2010, "Fungal secondary metabolites as modulators of interactions with insects and other arthropods", en *Fungal Genetics and Biology*, 48: 23-34.
- Ruiz, E. *et al.*, 2010, "Effects of the mycotoxin destruxin A on *Locusta migratoria* visceral muscles", en *Toxicon*, 56: 1043-1051.
- Samuels, I. *et al.*, 2001, "Infection of *Blissus antillus* (Hemiptera: Lygaeidae) eggs by the entomopathogenic fungi *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana*", en *Biol. Control*, 23(3): 269-273.
- Sánchez, LL. *et al.*, 2014, "Nuevas alternativas biotecnológicas con hongos entomopatógenos para el control biológico de plagas de importancia agronómica. Sección II Buenas prácticas en la producción

- agrícola”, en Ruiz, Z. (Ed.), *Buenas prácticas en la producción agropecuaria y de alimentos de calidad*.
- Santos, H. *et al.*, 2009, “Dependence of *Metarhizium anisopliae* on high humidity for ovicidal activity on *Aedes aegypti*”, en *Biol. Control*, 50: 37-42
- Sarandón, J. *et al.*, 2006, “Evaluación de la sustentabilidad de sistemas agrícolas de fincas en Misiones, Argentina, mediante el uso de indicadores”, en *Rev. Agroecología*, 1: 19-28.
- Sarandón, J. y C. Flores, 2014, “El enfoque necesario para una agricultura sustentable”, en Sarandón, S. y C. Flores (Eds.), *Agroecología: Bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables*, Parte 1. *Bases conceptuales de la agroecología y agricultura sustentable*, Editorial de la Universidad de la Plata, Buenos Aires, Argentina.
- Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales), 2014, *Anuario estadístico de la producción forestal, 2013*, México.
- Shamshad, A. *et al.*, 2009, “The effect of tibia morphology on vector competency of mushroom sciarid flies”, en *J. Appl. Entomol*, 133(6): 484-490.
- Shin, G. *et al.*, 2012, “Dark winged fungus gnats (*Diptera: Sciaridae*) collected from shiitake mushroom in Korea”, en *J. Asia-Pacific Entomol*, 15: 174-181.
- Simberloff, D., 2012, “Risks of biological control for conservation purposes”, en *BioControl*, 57: 263-276.
- Sowjanya, K. *et al.*, 2008, “Insecticidal activity of destruxin a mycotoxin from *Metarhizium anisopliae* (*Hypocreales*), against *Spodoptera litura* (*Lepidoptera: Noctuidae*) larval stages”, en *Pest Manag. Sci.*, 64: 119-125.
- Strasser, H. *et al.*, 2000, “Are there any risks in using entomopathogenic fungi for pest control, with particular reference to the bioactive metabolites of *Metarhizium*, *Tolypocladium* and *Beauveria* species”, en *Biocontrol Sci. Techn.*, 10: 717-735.

- Téllez, A. *et al.*, 2009, "Mecanismos de acción y respuesta en la relación de hongos entomopatógenos e insectos", en *Rev. Mex. Micología*, 30: 73-80.
- Vallejos, J. *et al.*, 2014, "Evaluación de actividad insecticida y quitinolítica de *Trichoderma inhamatum* y *Beauveria bassiana* en la mosca de la fruta *Drosophila melanogaster*", en *Revista Boliviana de Química*, 31(1): 5-9.
- Van Driesche, G. *et al.*, 2007, *Control de plagas y malezas por enemigos naturales*, Washington.
- Velázquez, A. *et al.*, 2011, *Evaluación de costos de producción de planta en viveros forestales que abastecen proyectos de plantaciones forestales comerciales*, Comisión Nacional Forestal (Conafor), Colegio de Postgraduados, Edo. de México.
- Vey, A. *et al.*, 2001, "Toxic Metabolites of Fungal Biocontrol Agents", en Butt, M. *et al.* (Eds.), *Fungi as Biocontrol Agents, Progresses, Problems and Potential*, CABI Publishing, Oxford, UK.
- Vey, A. *et al.*, 2002, "Effects of the peptide mycotoxin destruxin E on insect haemocytes and on dynamics and efficiency of the multicellular immune reaction", en *J. Invertebr. Pathol.*, 80: 177-187.
- Wang, B. *et al.*, 2012, "Unveiling the biosynthetic puzzle of destruxins in *Metarhizium* species", en *Microbiology*, 109(4): 1287-1292.
- Wang, C. *et al.*, 2002, "Detection and characterization of Pr1 virulent gene deficiencies in the insect pathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*", en *Microbiology*, 213: 251-255.
- Wilkinson, D. y M. Daugherty, 1970, "The biology and immature stages of *Bradysia impatiens* (Diptera: Sciaridae)", en *Ann. Entomol. Society Am.*, 63(3): 656-660.
- Wingfield, J. *et al.*, 2008, "Pitch canker by *Fusarium circinatum* a growing threat to pine plantations and forest worldwide. Australas", en *Plant Path.*, 37: 319-334.
- Xiu, C. *et al.*, 2014, "Effects of destruxins on free calcium and hydrogen ions in insect hemocytes", en *Insect Sci.*, 21: 31-38.

Xu, Y. *et al.*, 2009, "Biosynthesis of the cyclooligomer depsipeptide bassianolide, and insecticidal virulence factor of *Beauveria bassiana*", en *Fungal Genet. Biol.*, 46: 353-364.

Intensificación agrícola, prácticas sociotécnicas e impactos ecológicos y sociales en El Bajío

Hermilio Navarro Garza,¹ Diego Flores Sánchez,
Ma. Antonia Pérez Olvera y Luz María Pérez Hernández

***Resumen.** La intensificación agrícola en El Bajío es considerada como un reflejo del modelo de desarrollo agroindustrial empleado en varias regiones de México, promovido a su vez por políticas públicas y privadas desde la mitad del siglo xx. Un tipo de agricultura convencional de aparente éxito, basada en insumos de última generación, suelos fértiles y sistemas de riego; inserto en una dinámica red comercial nacional e internacional. Sin embargo, dicho modelo ha puesto en evidencia una serie de impactos que fragilizan el agroecosistema. El objetivo de esta investigación es caracterizar la intensificación agrícola, sus limitantes e identificar sus impactos sociales y ecológicos. La preponderancia de intereses privados demerita las responsabilidades públicas, esto se ejemplifica en la matriz funcional de semillas, pesticidas, fertilizantes, maquinaria, granos y su mercado. Los impactos sociales y ecológicos se hacen presentes en el déficit de recarga anual de acuíferos, la mala calidad del agua por el uso de plaguicidas y la dependencia tecno-ecológica; son todos ellos algunos de los elementos que sirven para cuestionar la viabilidad del modelo de intensificación agrícola.*

¹ Colegio de Postgraduados, Estudios del Desarrollo Rural, Grupo Gestión Socioecológica de Recursos, Montecillo, Edo. de México, e-mail: hermnava@colpos.mx.

Palabras clave. *Modernización agrícola, agricultura convencional, impactos agroecosistemicos.*

Abstract. *Agricultural intensification in El Bajío is considered a form of agro-industrial development model in several regions of Mexico, promoted by public and private policies since the mid-twentieth century. One type of conventional agriculture with apparent success is based on agricultural supplies, fertile soils, irrigation systems, embedded in a dynamic national and international commercial network. However, this model has demonstrated the generation of impacts that weaken the agricultural ecosystem. The objective of this research is to characterize agricultural intensification, its limitations and identify social and ecological impacts. The preponderance of private interests, in demerit of public responsibilities, exemplified in the functional matrix of seeds, pesticides, fertilizers, machinery, grains and its market. Social and ecological impacts on the deficit annual groundwater recharge, poor water quality by the use of pesticides, eco-techno-dependency, are some of the elements elements that serve to question the viability of the model of agricultural intensification.*

Keywords. *Agricultural modernization, conventional agriculture, agro-ecosystem impacts*

INTRODUCCIÓN

La intensificación de la agricultura ha coevolucionado con la modernización de la sociedad, en particular a partir de la revolución industrial de finales del siglo XVIII. Según IAASTD (2009), los modelos de desarrollo de ciencia y tecnologías agropecuarias de los últimos 60 años han privilegiado al sistema convencional-productivista, mismo que no prioriza ni asigna suficientes recursos para temas vinculados con el medio ambiente, la inclusión social, reducción del hambre y la pobreza, la equidad, la diversidad y afirmación cultural. Modelo bajo el cual los sistemas indígenas/

tradicionales y agroecológicos han permanecido fuera de la agenda del desarrollo.²

Por lo que respecta al sistema agrícola convencional, también conocido como modelo agrícola industrial, se caracteriza por monocultivos a gran escala, utilización de prácticas de producción intensivas que recurre fuertemente al uso de capital, tecnología e insumos agroindustriales y químicos externos, además de que se orienta al mercado nacional, y cada vez más al global, debido a la liberalización del comercio agrícola y las políticas de seguridad alimentaria basadas en el comercio internacional (Emanuelli *et al.*, 2009).

En la década de los ochenta, en México y América Latina se documentó la existencia de una agricultura empresarial y, en el extremo opuesto, otras de infrasubsistencia y subsistencia. Dado este contexto cabe preguntarse qué ocurre en la actualidad y, en particular, cómo ubicamos nuestro estudio de caso en Bajío.

En cuanto a las definiciones sobre las tipologías de las agriculturas son cambiantes y diversas; así tenemos que King (2007) propuso una clasificación de los productores en México tomando en cuenta sus rendimientos de maíz: los “deficitarios”, con rendimiento promedio a 1.5 t ha^{-1} , tipificados por su baja capacidad de adaptación al cambio económico, falta de recursos para la inversión y bajo nivel de organización; estos productores recurren a emplearse fuera de la explotación y a la emigración. En contraparte, están los productores comerciales que poseen atributos de un rendimiento promedio mayor a 10 t ha^{-1} , con alta capacidad de adaptación al cambio económico, acceso a recursos físicos y financieros,

² En América Latina y el Caribe hay alrededor de 209 millones de pobres y 54 millones de desnutridos que representan, respectivamente, 37% y 10% de la población total, a pesar de que se produce tres veces la cantidad de alimentos que se consume. Además, la región tiene los mayores índices de desigualdad en el mundo (IAASTD, 2009)

capacidad de experimentar o cambiar de estrategia de comercialización y con contactos políticos. Quedan, entre esos dos tipos, los productores excedentarios y en equilibrio. Cabe señalar que, de acuerdo al criterio de rendimiento superior a 10 t ha^{-1} , la gran mayoría de productores maiceros ejidatarios de nuestros estudios de caso de Valle de Santiago y Salvatierra se pueden clasificar como productores comerciales. Nuestra investigación contribuirá a documentar los alcances y limitaciones de la intensificación de la agricultura, su naturaleza y el sentido de “lo comercial”; se caracterizarán para ello algunas prácticas sociotécnicas, ciertas características de su funcionamiento y, en su caso, el diagnóstico o alternativa para su viabilidad.

Por su parte, la Sagarpa (2012) clasificó las unidades agropecuarias del país, a las cuales denominó como Unidades Económicas Rurales (UER), de acuerdo con el valor de las ventas anuales realizadas al mercado, empleando entonces un indicador del “tamaño económico de las UER”. Los estratos obtenidos con dicho criterio fueron seis, entre ellos: E1: *familiar de subsistencia sin vinculación al mercado*, o sea sin ingresos por ventas, con un total de 1.192 millones de UER, que representan 22.4% del total nacional; E2: *familiar de subsistencia con vinculación al mercado*, con 2.697 millones de UER (50.6%) y un promedio de \$17.2 miles de ventas anuales. En el otro extremo, E5: *Empresarial pujante*, con 448.1 mil UER (8.4%), y un promedio de ventas de \$562.4 miles de pesos, y finalmente E6: *empresarial dinámico*, con 17 633 UER (0.3%), con promedio de ventas de \$11.7 millones de pesos anuales. Es notoria la existencia de lo que también se ha llamado recientemente como “agricultura bipolar”. Dada la presencia de una gran mayoría de unidades de producción agropecuarias (3 de cada 4) sin ventas al mercado o con ventas muy exiguas, quienes emplean la mayoría de su producción para el autoconsumo familiar, aunado a que utiliza una gran diversidad de recursos bióticos asociados y disponibles, conocida como multifuncionalidad de la economía en el uso de recursos, tales como forrajeros, medicinales, de construcción, como fuente de energía y colorantes (Navarro *et al.*, 2012; Flores *et al.*,

2012). No obstante, el grupo exitoso económicamente es el *Empresarial dinámico*, que representa una reducida población dentro de las unidades de producción agropecuarias del país, orientada básicamente hacia la exportación o el gran mercado nacional.

En este marco, una mayoría de las UER del Bajío de Guanajuato, en donde son predominantes las cerealeras, se podrían clasificar en el E5: *Empresarial pujante*, quienes registran, a nivel nacional, ventas anuales promedio de \$562.4, sin embargo, dichas ventas no representan las ganancias o ingresos netos, pues se debe tomar en cuenta que hay que deducir los costos de producción directos, tales como la preparación del suelo, semillas, fertilizantes, plaguicidas, cosecha, gestión del agua, aunado al pago de maquila (preparación del suelo y cosecha) y la amortización de máquinas, motores y herramientas. Se debe incluir en la contabilidad los intereses del capital anticipado para la producción y de créditos utilizados, así como un equivalente al costo de renta de la tierra; bajo tales circunstancias, y frente a un aparente éxito económico y social, se contempla analizar la fragilidad del funcionamiento económico, social y ecológico de este tipo de UER.

Como marco de referencia de esta investigación, se hace referencia a la configuración de regiones con sistemas agrícolas de alta productividad en el estado de Guanajuato. Los sistemas agroalimentarios de cereales (maíz, sorgo, trigo, cebada) cubren una superficie de 760,921.0 ha, lo que representa más de 70% del área agrícola del estado (SIAP, 2015). Estos sistemas han sido configurados bajo la lógica de un modelo altamente productivo en términos de rendimiento, subordinado a un gran y creciente consumo de insumos agroindustriales para mantener sus niveles de producción, sin embargo, el manejo intensivo del suelo ha promovido su degradación. Al respecto, se anota que en los últimos 50 años el nivel de materia orgánica se ha reducido alrededor de 1% (Grageda *et al.*, 2004), esto ilustra la pérdida de este importante componente, primordial para la fertilidad del suelo, además de un negativo efecto en la estabilidad estructural y, por tanto, la presencia de un mayor riesgo de

erosión hídrica, entre otros indicadores sobre la fragilización agroecosistémica local y regional. De acuerdo con Guzmán *et al.* (2014), para la producción de maíz, los gastos en fertilización representan 71% para temporal y 59% para riego. La adquisición de la semilla bajo el sistema de riego suma un valor de 18%, con y sin actividad pecuaria. Otro factor de producción que ha desempeñado un rol importante es el agua. En el Distrito de riego 011 se tiene una superficie aproximada a las 112 mil ha, de las cuales 78 mil se riegan por gravedad y el resto con aprovechamientos de aguas subterráneas mediante pozos profundos. El agua se ha convertido en un factor de producción esencial y polémico para el desarrollo de la agricultura cerealera y de hortalizas, esto se debe a que es el de menor costo, además de ser determinante en cantidad y calidad para la intensificación de cualquier tipo de sistema agrícola, lo cual ha provocado una elevada afluencia de los actores regionales y los sectores económicos para su apropiación y uso.

En El Bajío, la modernización de la agricultura basada en el uso intensivo de los factores de producción ha sido asociada a la emergencia de diversos actores, nacionales e internacionales, que contemplan su integración a una agricultura convencional orientada a la producción de bienes agropecuarios para el mercado, entre los que destacan los cereales y las hortalizas. Lo anterior, en el marco de un sistema de relaciones que se ha transformado, posibilitando también la recomposición de las interacciones de los actores regionales con la emergencia y preponderancia de nuevos actores, y sus intereses privados en demérito de los intereses públicos.

En esta dinámica espacial y temporal compleja, cabe considerar que la intensificación ecológica de cereales es fundamental para lograr la seguridad alimentaria bajo el escenario de las crecientes cuestiones que se plantean a futuro, requiriendo para ello mejorar la calidad del suelo y la precisión en la gestión de todos los factores de producción. Esta intensificación involucra el mejoramiento en el uso eficiente de nutrientes, especialmente de N, del agua y la energía (Cassman, 1999; 2003).

En el marco del contexto histórico-espacial, descrito previamente, el objetivo de la investigación fue analizar y evaluar las principales prácticas productivas en los agroecosistemas regionales de maíz, seleccionados, como estudios de caso, en El Bajío a fin de visualizar sus posibles impactos ecológicos y sociales.

METODOLOGÍA

La investigación se realizó en comunidades de los municipios de Valle de Santiago (20°23' N, 101°11' O) y Salvatierra (20°00' N, 100°47' O), durante 2012 y 2014, respectivamente. Se utilizó un enfoque descriptivo, no experimental, cuali-cuantitativo y analítico, segmentado con datos históricos recientes, con apoyo en la búsqueda y revisión bibliográfica en diversas fuentes, entre ellas las del INEGI, SIAP, INIFAP y Conagua Colpos. El enfoque metodológico consideró los siguientes componentes:

1. *Uso de los recursos e insumos.* A través del enfoque regional socio-agroecosistémico se llevaron a cabo talleres de autodiagnóstico en Valle de Santiago, durante los meses de octubre y noviembre de 2012, y en Salvatierra, entre septiembre a noviembre de 2014. Se identificó y analizó: a) modalidades de prácticas sociotécnicas decisorias de los principales factores de producción (semillas, fertilizantes y pesticidas), b) análisis del balance de extracciones y recargas de acuíferos, principalmente del Bajío; mismos que fueron seleccionados para abordar algunas características de manejo de los agroecosistemas locales como sustento para analizar la especificidad o diferenciación de los espacios locales y, en su caso, las características de la dinámica de integración funcional regional.

2. *Análisis de sistemas de cultivo locales* (estudios de caso). En Valle de Santiago se trabajó con 63 sistemas de cultivo de maíz y 13 en Salvatierra. Con base en la diversidad de sistemas y procesos de gestión sociotécnica identificados, se realizó una encuesta semide-tallada, enfatizando el manejo fitosanitario de los principales productos utilizados en el control de plagas y malezas; se privilegió el cultivo del maíz, considerando que es el más importante en el patrón regional de uso de suelo en primavera-verano en El Bajío.

En los sistemas de cultivo seleccionados se llevó a cabo muestreo de suelos y de biomasa. Para el muestreo de suelo en cada sistema se tomaron submuestras de suelo a una profundidad de 0-20 cm; se realizó una muestra compuesta para analizarla en el laboratorio de Fertilidad de Suelos de GISENA S.A. de C. V. Las propiedades del suelo analizadas fueron pH (1:2 suelo: agua), materia orgánica (Walkley-Black), Nitrógeno total (Kjeldahl-N), P (Olsen), Ca, Mg y K (intercambiable a través de acetato de amonio, pH 7.0). En el presente artículo se reportan sólo nitrógeno total y fósforo. El contenido de estos nutrientes se midió a una profundidad de 20 cm, y con una densidad aparente de 1.2 Mg ha⁻¹. Al contenido de nutrientes presente en el suelo, se sumó la cantidad de nutrientes que se aplicaron vía fertilizantes para determinar el total de disponible en los sistemas de cultivo. Para la determinación de biomasa, en cada sistema de cultivo se seleccionaron al azar tres áreas de muestreo (3 metros lineales cada una), en las cuales se midió la densidad poblacional. Todas las plantas de la unidad de muestreo se cortaron a ras de suelo y se pesaron en campo. Posteriormente, se separaron las mazorcas de todas las plantas y se obtuvo el peso fresco del total de mazorcas. Se seleccionaron al azar tres plantas, mismas que se pesaron en el campo y se secaron en una estufa a 70° C durante 48 horas para la determinación del contenido de humedad y del peso seco. En las tres plantas se separaron la materia vegetativa (hojas, tallos) y granos, mismos que se enviaron al laboratorio de calidad de granos y semillas de GISENA para su análisis en conteni-

do de N, P y K. El Nitrógeno total se analizó con la técnica semi-micro-Kjeldahl (Bremner, 1965). P y K fueron analizados con espectrometría de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES Varian Liberty Series II, Varian Palo Alto, CA, USA) (Alcántar y Sandoval, 1999). El contenido de N, P y K en la biomasa vegetativa y de grano se multiplicó por su respectiva biomasa producida (kg MS ha^{-1}), posteriormente, se sumó para obtener la extracción total de nutrientes. En este artículo sólo se reportan las determinaciones de N y P.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Procesos y hechos asociados a la intensificación de la agricultura

En años recientes, los agricultores cerealeros del Bajío de Guanajuato, y otras importantes regiones agrícolas del país, han manifestado de diversas formas su descontento hacia los programas agrícolas federales y estatales, principalmente por su incapacidad para solucionar los problemas ocasionados por la caída continua de los precios del maíz, trigo, sorgo y cebada, así como por el incremento de precios de los principales insumos. Este problema se ejemplifica localmente con los resultados obtenidos en un taller de diagnóstico participativo realizado con agricultores de diferentes localidades y asociaciones del municipio de Salvatierra, teniendo en cuenta la identificación y calificación de problemas que requieren solución, así como la capacitación de los productores. Dichos problemas, en orden de importancia decreciente y según opinión de los propios agricultores, fueron: conocimientos y asesoría para la comercialización (13 puntos), manejo de plagas (9), conocimiento sobre nutrición de suelo (7), manejo de rastrojo (7), conocimientos de fertilización (6), qué cultivos son convenientes (4), asesoría para el manejo de malezas (3) y conocimiento sobre organización (2), entre los principales. Los productores han manifestado en forma consistente su inconformidad, para lo

cual han recurrido al cierre de carreteras, manifestaciones en las sedes estatales y en la federal de la Sagarpa, argumentando las carencias del apoyo institucional necesario.

Un factor de producción clave en la lógica de las prácticas sociotécnicas generalizadas para la producción regional han sido las semillas, las cuales, en el caso de cereales y hortalizas, son producidas y comercializadas por importantes empresas transnacionales y nacionales. En el cuadro 1 se muestra el caso del principal cereal del Bajío: el maíz, las modalidades principales de híbridos y las empresas productoras de los mismos; también se observa la preponderancia de una diversidad de híbridos de Monsanto, el registro de un híbrido de Pioneer solamente en 3 sistemas de cultivo locales, y la utilización de semillas nativas de maíz o criollos, en dos casos.

Cuadro 1. Híbridos de maíz y empresas productoras, Salvatierra, Gto. 2014

Híbrido	Empresa	Frecuencia	Observaciones
Puma	Monsanto	7	Híbridos con recomendaciones de sembrar 90 a 100 mil/ granos ha; bajo condiciones de riego y altas dosis de fertilización.
Dekalb-2031	Monsanto	6	
Cimarrón	Monsanto	5	
NV-11	Nacional	4	
Dekalb-2034	Monsanto	3	
P-3368W	Pionner-Dupont	3	
Caimán	Monsanto	2	
Lince	Monsanto	2	
Dekalb-2020	Monsanto	2	
Dekalb-2039	Monsanto	1	
Poblaciones "criollas"	No	2	
10	2	37	

En la región de Valle de Santiago se reportan cambios tecnológicos específicos en el modelo de agricultura convencional preponderante, los cuales muestran las características de la tendencia seguida para su intensificación. Así, por ejemplo, al analizar los costos de producción del maíz por grupos de actividades, se identificaron como puntos críticos del proceso productivo, es decir, donde se requiere mayor inversión para poder realizar adecuadamente las labores culturales de acuerdo con los rendimientos esperados, al siguiente conjunto de prácticas sociotécnicas: las actividades de semilla y siembra; la primera y segunda fertilización requieren 53% de la inversión total (\$12,800 pesos). Los costos indirectos como el seguro agrícola y costos financieros equivalen al cuarto rubro de importancia económica, esto se da debido a la necesidad de solicitar un crédito de avío y el seguro correspondiente (el cual es requisito indispensable), con el objetivo de financiar aquellas actividades de mayor importancia económica, considerando la limitada disponibilidad de capital por los productores.

De acuerdo con Frías-Figueroa (2011), la agricultura de Valle de Santiago se encuentra inmersa en un proceso de crisis socioeconómica, el cual se manifiesta en la pérdida de rentabilidad y competitividad, deterioro de los recursos naturales y su contaminación, problemas de supervivencia de los productores en general, y de los campesinos en particular. Algunas de las causas se atribuyen al proceso registrado con las principales innovaciones tecnológicas que se impulsaron y realizaron por parte de las organizaciones de productores: 1) la labranza en surcos, acompañada del uso de maquinaria especial para ello, como lo es la sembradora de precisión; 2) la introducción de sistemas de riego y capacitación *ad hoc* para su manejo (riego por aspersión, compuertas y goteo); 3) prácticas de fertirriego; 4) control y manejo químico de plagas; 5) introducción continua de nuevas variedades mejoradas de granos (maíz, trigo, cebada, sorgo, y frijol), en fresa, hortalizas y nuevos forrajes, y 6) la reconversión de cultivos, algunos productores pasan de la producción de granos a las hortalizas.

Lo anterior, nos permite analizar cómo es que en Bajío, a causa de los bajos precios persistentes de los cereales y frente a los costos crecien-

tes para la producción, se configura una matriz de problemas mayores, asociados a procesos severos que repercuten en la dependencia creciente y la descapitalización, así como impactan en su viabilidad como productores agropecuarios.

Otra práctica sociotécnica fundamental en la intensificación agropecuaria en curso, es la utilización de los plaguicidas y herbicidas, ambos claves en la gestión de la agricultura industrial. En el cuadro 2 se presentan los nombres comerciales de los 32 plaguicidas (agrotóxicos para otros), mismos que fueron identificados como de uso frecuente en los sistemas de cultivo encuestados. Se detallan las sinonimias comunes, el grupo químico de pertenencia y, en particular, un comparativo de la clasificación de la Organización Mundial de la Salud (2010) y la de *Pesticide Action Network* (PAN), en 2009. Los resultados muestran que, de acuerdo a la OMS, 12.5% de los pesticidas son extremadamente peligrosos y 21.9% corresponden a la clase de altamente peligrosos, es decir, uno de cada tres pesticidas son clasificados como extremada y altamente peligrosos. Sin embargo, la clasificación de PAN, en su clase de altamente peligrosos identifica 81.3% de los pesticidas utilizados cotidianamente en la producción de este cereal de mayor cobertura en superficie en El Bajío.

La importancia de conocer y evaluar los riesgos por plaguicidas radica en que se genera información de referencia para la toma de decisiones entre los actores involucrados, como sustento para planes de desarrollo alternativo en la gestión sanitaria de los cultivos y de la agricultura, que permitan, a su vez, generar procesos para mejorar la calidad de los productos para el consumidor y no impliquen contaminación o deterioro de los agroecosistemas.

Estructura espacial funcional que posibilita el acceso a los diversos factores de producción, tales como semillas, plaguicidas, herbicidas y fertilizantes

En Guanajuato se encuentran 495 negocios especializados en ventas de insumos agrícolas para la siembra de una amplia gama de cultivos de intereses económicos y sociales; localizados de manera prioritaria en los municipios del Bajío Guanajuatense (Cuadro 3).

Cuadro 2. Nombres comerciales, grupo químico y grado de toxicidad y peligro, según PAN y OMS, en pesticidas de uso generalizado en Bajío, Guanajuato

Nombre comercial	Sinónimos	Grupo Químico	PAN ⁵	OMS ⁶	Fuente
Lorsban	Clorpirifos	Organofosforado y piretroide	SI	IV Azul	1
Poncho	Cloronicotinilos	Neonicotinoides	NO	III Amarillo	1
Paratión metílico	Tiofosfatos	Organofosforado	SI	IV Azul	1
Denim	Benzoato de emamectrina	Avermectina	SI	V Verde	1
Palgus	Spinetorm	Sinosines	SI	V Verde	1
Disparo	Clorpirifos y permetrina	Organofosforado y piretroide	SI	III Amarillo	1, 4
Karate	Lambda cialotrina	Piretroide	SI	III Amarillo	1
Dimetoato/Dimetil	Dimetil	Organofosforado	SI	IV Azul	1
Matador	Metamidofos	Organofosforado	SI	V Verde	1
Force	Teflutrina	Piretroide	SI	IV Azul	2
Seiser	Bifentrina carboxilato	Piretroide	SI	III Amarillo	2
Cipermetrina	Cipermetrina	Piretroide	NO	IV Azul	2
Lucaphos 50	Diclorvos	Organofosforado	SI	V Verde	3
Lucamina 4	2, 4 D Herbicida	Clorfenoxi	SI	IV Azul	3
Start 36	Glifosato	Fosfonometil-glicina	SI	I Azul	3
Lucamet	Metamidofos	Organofosforado	SI	I Rojo	3

Lucafol/Lucaflow	Azufre elemental		NO	IV Azul	3
Jornal	Glofosato	Clorofenoxi	SI	IV Azul	3
Clorpirifos	Clorpirifos	Organofosforado y piretroide	SI	IV Azul	4
Forato	Cianamida americana	Organofosforado	NO	III Amarillo	4
Paratión metílico	Tiofosfato	Organofosforado	SI	IV Azul	4
Terbufos	Ácido fosforoditioico	Organofosforado	SI	I Rojo	
Carbofuran	Furodan; Kenofuran; Pillarfuran	Carbamato	SI	I Rojo	4
Diazinon	Ácido fosforotioico	Organofosforado	SI	IV Azul	4
Metamidofos		Organofosforado	SI	I Rojo	4
Teflutrin	Teflutrina	Piretroide	SI		4
Bifentrina		Piretroide	SI	III Azul	4
Cipermetrina	Alfa cipermetrina	Piretroide	NO	IV Azul	4
Endosulfan	Cyclodan, Endosulphan, Thiodan	Organoclorado	SI	III Amarillo	4
Profenofos	O-etil S-propil fosforotioato	Organofosforado	NO	III Amarillo	4
Dimetoato	Dimetil	Organofosforado	SI	IV Azul	4
Malatión	Cianamida americana	Organofosforado	SI	IV Azul	4

1. Encuesta directa entre agricultores
2. Comité Estatal de Sanidad Vegetal, 2015
(Campaña contra pulgón amarillo del sorgo)
3. Datos propios trabajo de campo en Salvatierra
4. Bernal *et al.*, 2012
5. http://www.rap-al.org/articulos_files/ListaPAN_HHP.pdf
6. http://www2.inecc.gob.mx/sistemas/plaguicidas/info_gral.html

Cuadro 3. Comercios de semillas, plaguicidas y fertilizantes según número de personas ocupadas, estado de Guanajuato

Estrato según personal ocupado	Total de negocios	Municipios en los que se encuentran
0 a 5	419	Abasolo, Acámbaro, Apaseo el Alto, Apaseo el Grande, Celaya, Comonfort, Cortázar, Cuerámbaro, Doctor Mora, Dolores Hidalgo, Guanajuato, Huanímaro, Irapuato, Jaral del Progreso, Jerécuaro, León, Manuel Doblado, Moroleón, Ocampo, Pénjamo, Pueblo Nuevo, Purísima del Rincón, Romita, Salamanca, Salvatierra, San Diego de la Unión, San Felipe, San Francisco del Rincón, San José Iturbide, San Luis de la Paz, San Miguel de Allende, Santa Cruz de Juventino Rosas, Santiago Maravatío, Silao de la Victoria, Tarandacuao, Tarimoro, Uriangato, Valle de Santiago, Villagrán, Yuriria
6 a 10	39	Celaya, Cortázar, Huanímaro, Irapuato, Jaral del Progreso, León, Pénjamo, Pueblo Nuevo, Salamanca, Salvatierra, San Francisco del Rincón, Silao de la Victoria, Valle de Santiago, Villagrán
11 a 30	31	Abasolo, Celaya, Cortázar, Huanímaro, Irapuato, Jaral del Progreso, León, Pénjamo, Pueblo Nuevo, Salamanca, Valle de Santiago, Yuriria
31 a 50	3	Cortázar, Irapuato, Pénjamo
51 a 100	2	Celaya
101 a 250	1	Cortázar

Fuente: Elaboración propia con datos del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas, 2014. <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mapa/denue>.

Desde principios de los años ochenta, en El Bajío la participación en la producción y comercio de empresas multinacionales ha crecido significativamente. Lo anterior tiene importantes efectos en las empresas locales que se encuentran limitadas para competir con aquellas que manejan todo la cadena de valor, y pueden ofrecer mayores ventajas por su escala de negocios basada en grandes volúmenes.

Para el caso particular de Salvatierra, se registran 33 comercios dedicados a la venta al por mayor de insumos agrícolas, de éstos, sólo dos de ellos tienen empleados entre 6 y 10 personas, el resto son pequeños por su número de empleadas (entre 0 y 5). Estos negocios se encuentran ubicados principalmente en la cabecera municipal y en otras 3 comunidades, consideradas entre las más grandes del municipio; su ubicación geográfica estratégica facilita la adquisición y utilización de estos productos por los agricultores. Entre las empresas identificadas como dedicadas a la producción y comercialización de semillas se encuentran Monsanto (Cortázar, Irapuato, Villagrán), Dupont-Pioneer (Irapuato y Cortázar), Syngenta (Celaya) y Bayer (Guanajuato y Salamanca), las cuales tienen influencia en los municipios de Valle de Santiago y Salvatierra. También se encuentran en la región algunas de las empresas trasnacionales más importantes en la producción y distribución de fertilizantes, tales como Yara Internacional y Cargill, entre otras, mismas que comercializan a través de distribuidores, representantes locales y de manera directa a los clientes. Tienen importancia regional también las empresas con reconocimiento a nivel nacional, entre los cuales destacan Mezfer, Berentsen, Kasavi y Tepeyac, quienes, al igual que las grandes empresas, integran una diversidad de productos y servicios dirigidos a satisfacer necesidades de los productores, entre ellos: la asesoría técnica, el análisis de suelos y el financiamiento para la compra de insumos.

Contexto regional y algunos indicadores sobre los impactos entrópicos en el sistema hidrológico

El problema de la sobreexplotación de acuíferos en México se agudiza debido a la baja eficiencia en su uso y a la contaminación de las fuentes de abastecimiento. En el estado de Guanajuato la situación es grave y requiere alternativas inmediatas, las cuales pueden generarse mediante políticas que contribuyan a hacer más eficiente y racional el uso del agua (Guzmán *et al.*, 2009).

El aprovechamiento excesivo y no sustentable de numerosos acuíferos del estado de Guanajuato ha sido documentado por numerosos estudios. De acuerdo con Ortega, (2009) se han registrado diversas evidencias de contaminación en los 7000 km² del área de la cuenca de la Independencia (CI), tributaria de la cuenca Lerma-Chapala. En un área aproximada de 500 km² se detectó la presencia de altas concentraciones de arsénico (0.025-0.12 mg L⁻¹) y fluoruro (1.5-16 mg L⁻¹).

El estudio hidrológico del acuífero del Valle de Salvatierra-Acámbaro, realizado en 1998, registró un total de 386 aprovechamientos, de los cuales 338 corresponden a pozos, 27 a norias y 21 a manantiales. De estos aprovechamientos, 217 se utilizan en la agricultura, 99 se destina al agua potable de las comunidades, 32 son de uso doméstico, 16 tienen otros usos y 22 se encuentran fuera de uso. El estudio estimó que la recarga por flujo lateral al acuífero ascendió a 88.3 Mm³ año⁻¹; la extracción por bombeo dentro del área de balance fue de 161.87 mm³ año⁻¹; registrando, por tanto, un cambio de almacenamiento negativo, de 42 mm³ año⁻¹ (Comisión Estatal del Agua de Guanajuato, 2000). Entre la diversidad de aprovechamientos de aguas subterráneas, es frecuente el balance negativo originado por las elevadas extracciones de los acuíferos y las recargas de los mismos en términos insuficientes. Lo anterior demuestra la existencia de una amplia diversidad regional de prácticas sociotécnicas generalizadas, caracterizadas por su interés extractivo y utilitario para el uso de los acuíferos de manera no sustentable. Esta situación compromete el sistema geológico, teniendo

en cuenta que se registran: subsidencia, aparición de fallas, contaminación de acuíferos, con los consecuentes riesgos en la salud de los usuarios. De esta forma, se hace patente la competencia futura entre los diferentes tipos de uso de un recurso cada vez más escaso.

En general, los acuíferos del estado de Guanajuato se caracterizan por su sobreexplotación, lo cual es un indicador sintético de una modalidad de entropía social, la cual por su persistencia, su magnitud e inercia, es reflejo del proceso en curso de una forma de fractura del agroecosistema regional, poniendo en riesgo la viabilidad de un proyecto regional a mediano plazo (Cuadro 4).

Cuadro 4. Extracción y déficit anual de acuíferos, estado de Guanajuato

Acuífero	Extracción	Déficit
Valle de Celaya	579	292
Irapuato-Valle Sgo.	430	40
Cuenca Alta del Río Laja	412	272
Silao-Romita	408	136
Laguna Seca	398	269
Pénjamo-Abasolo	333	108
Valle de León	204	48
Valle de Acámbaro	190	30
Río Turbio	183	73
Salvatierra-Acámbaro	109	34
Valle de la Cuevita	47	41
San Miguel de Allende	28	11
Balance	3321	1354

Balance en: mm³ año⁻¹

Elaborado con base en datos de recarga y déficit de Semarnat, 2001.

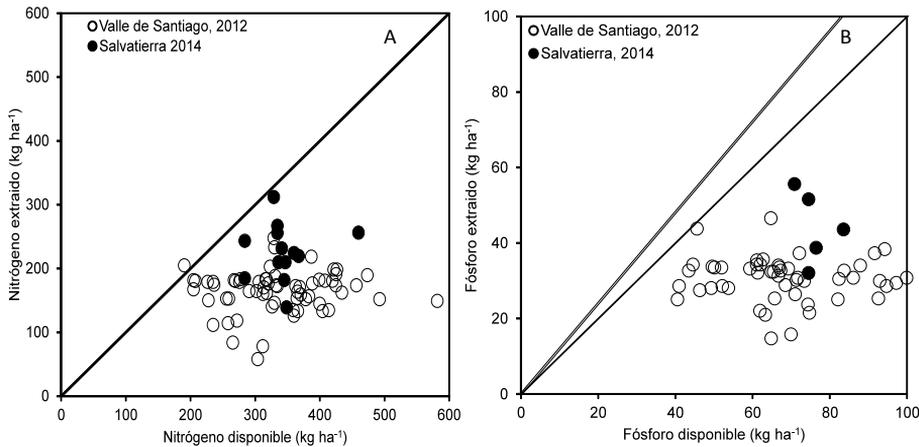
Fuente: http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/estadisticas_2000/compendio_2000/03dim_ambiental/03_02_Agua/data_agua/CuadroIII.2.1.11_b.htm

El resultado de los balances muestra, en forma específica, que los acuíferos de Valle de Celaya, Cuenca Alta del río La Laja, Silao-Romita, Laguna Seca y Pénjamo-Abasolo, en global, contribuyen con un déficit de $1077 \text{ mm}^3 \text{ año}^{-1}$, equivalentes a 79.5% del total del déficit estatal de los 12 acuíferos. Cabe subrayar que el déficit representa 40.8% del total de las extracciones anuales. Es notoria la magnitud de la externalización de costos, pasivo ambiental y fragilización socioecológica, año con año.

Indicadores sobre la gestión de la fertilidad y cuestionamiento sobre su eficiencia

Los municipios de Salvatierra y Valle de Santiago contribuyen con 13.4% de la producción de maíz a nivel estatal (SIAP, 2015). En los sistemas de cultivo de maíz en Valle de Santiago y en Salvatierra se encontró una gran variación en el rendimiento de grano, este osciló entre 3 y 17 t ha⁻¹, con una media alrededor de 12 t. No se encontró una clara asociación entre la disponibilidad de nutrientes (incluyendo suelo y fertilizantes) y las cantidades extraídas para la producción de biomasa. Se encontró una amplia variación en el nitrógeno disponible en el suelo (191-582 kg ha⁻¹) (Figura 1A).

Figura 1. Nitrógeno disponible y nitrógeno extraído (A), y fósforo disponible y fósforo extraído (B) en sistemas de cultivo de maíz, de agricultores de Valle de Santiago y Salvatierra, Guanajuato



El N es aplicado en grandes cantidades, situación que fue más notoria en Valle de Santiago. Las amplias variaciones están asociadas a la disponibilidad de agua, calidad de suelo, densidad de población, material genético y recursos financieros. En las últimas décadas se han incrementado las dosis de fertilización, de 150 a 320 kg N ha⁻¹ (Fregoso *et al.*, 2002). La extracción varió entre 58 y 329 kg N ha⁻¹ (Figura 1A); se aprecia que el N disponible es superior al extraído. El balance indicó que en promedio 165 kg N ha⁻¹ no se están utilizando por los cultivos, lo que implica importantes pérdidas.

De acuerdo con Grageda-Cabrera *et al.* (2011), se estima que en El Bajío, importantes impactos ambientales están ocurriendo, asociados al manejo del nitrógeno debido a su susceptibilidad de pérdidas por volatilización, inmovilización y lixiviación (Liu *et al.*, 2006). La eficiencia de recuperación de fertilizantes nitrogenados es entre 20 y 40%; aproximadamente 260 mil toneladas de N no se recuperan por los cultivos; de las

cuales entre 20 y 30% se desnitrifica como óxido nitroso y N molecular; de 20 a 30% se lixivia como nitratos, y de 10 a 18% se volatiliza como amoníaco. Del dióxido de nitrógeno, 60% es proveniente del uso de fertilizantes (Reddy, 2015; Montzka *et al.*, 2011). Estas emisiones globales tienden a promover cambios en los regímenes climáticos con riesgos de graves consecuencias de retorno en la agricultura, considerando que sus ciclos ecológicos y económicos son determinados por las condiciones climáticas. Aunado a esta situación, la economía de los agricultores se ve seriamente afectada. Los fertilizantes representan alrededor de 30% de los costos de producción y su uso es ineficiente y desbalanceado. Son insuficientes los elementos técnicos para definir las dosis de fertilización estratificadas regionalmente y la oportunidad de su aplicación, así como promover y proporcionar asesoría técnica en el uso eficiente de nutrientes. Esta situación exige promover una estrategia en el manejo de fertilizantes que permita su uso eficiente, minimizar las pérdidas y sus consecuentes impactos ambientales.

En el caso del fósforo, su disponibilidad varió de 41 a 100 kg ha⁻¹, con una extracción de 15 a 56 kg P ha⁻¹ (Figura 1B). Las extracciones tendieron a ser inferiores a su disponibilidad. El balance indicó que hay un superávit promedio de 51 kg ha⁻¹. La aplicación de fósforo es una práctica común en la región, este elemento se caracteriza por su poca movilidad y baja eficiencia de recuperación por las plantas. Esto promueve su acumulación en el suelo, y puede estar disponible para los cultivos muchos años después de su aplicación (van Reuler y Janssen, 1996; Sanchez *et al.*, 1997; Janssen, 1998). El fósforo puede ser considerado como un factor no limitante, los suelos tienen cantidades altas y sus extracciones son relativamente bajas. En este contexto, es necesario valorar las reservas de este nutriente en el suelo y proponer, de igual forma que para el nitrógeno, prácticas de manejo eficientes, ambiental y económicamente.

CONCLUSIONES

La producción de cereales, y en particular del maíz, se encuentra inserta y asociada a una amplia red regional que ofrece soporte comercial para la venta y servicios de aprovisionamiento de una gran diversidad de insumos para la producción.

La gran mayoría de semillas utilizadas por los agricultores para la producción de cereales y maíz provienen de empresas transnacionales, lo cual evidencia la desaparición de variedades locales.

El manejo fitosanitario del principal cultivo regional es mayormente basado en el uso de plaguicidas altamente peligrosos (>80%), por lo cual son relevantes los riesgos de contaminación del suelo y el agua, así como de granos y diversos productos regionales.

La gestión de la fertilidad de los suelos es muy diversa entre los productores locales, y es frecuente el desconocimiento de información básica y competencias técnicas respecto a las necesidades nutrimentales de los cultivos, así como de las cantidades y oportunidades para aplicar nutrientes de manera eficaz.

Los cambios y procesos que ocurren durante la intensificación actual que tipifica el funcionamiento de la agricultura local, en los estudios de caso del Bajío Guanajuatense, son evidencias empíricas e indicadores de la fragilización agroecosistémica, misma que limita su viabilidad a mediano plazo. Dicha fragilización está asociada a la dependencia de productos e insumos y a otros factores de diversa naturaleza. Un modelo alternativo podría estar asociado a un manejo racional del agua, sin balance negativo; mejora de la eficiencia de las prácticas sociotécnicas, y la sustitución de factores de producción que limitan la calidad de los bienes agropecuarios y gestión durable de los recursos productivos.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcántar, G. y M. Sandoval, 1999, *Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal*, Publicación Especial, núm. 10, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. A. C., Chapingo, México.
- Bremner, M., 1965, "Inorganic forms of nitrogen", en Black, A. (Eds.), "Methods of soil analysis", part 2, , *Agronomy*, 9: 1179-1237.
- Bernal, M. *et al.*, 2012, "Contaminación por plaguicidas", en Pérez, R. (coord.), *Agricultura y contaminación del agua*, Instituto de Investigaciones Económicas, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Cassman, G., 1999, "Ecological intensification of cereal production systems: yield potential, soil quality, and precision agriculture", en *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 96: 5952-5959.
- Cassman, G., 2003, *Ecological intensification of agriculture and implicacions for improved water and nutrient management*, Dep. of Agronomy and Horticulture. Univ. of Nebraska-Lincoln, EEUU.
- Comisión Estatal de Aguas de Guanajuato, 2000, *Seguimiento del estudio hidrogeológico y modelo matemático del acuífero del Valle de Acámbaro*, Gto., México.
- Emanuelli, S. *et al.*, (comp. y Ed.), 2009, *Azúcar Roja desiertos verdes*, FIAN Internacional, FIAN Suecia, HIC-AL, SAL.
- Flores, D. *et al.*, 2012, "Sistemas de cultivo y biodiversidad periurbana. Estudio de caso en la Cuenca del Río Texcoco", en *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 9(2).
- Fregoso, L., 2007, "Cambios en las características químicas y microbiológicas de un vertisol inducidos por sistemas de labranza de conservación", en *Terra Latinoamericana*, 26: 161-170.
- Fregoso, L. *et al.*, 2002, *Efecto de sistemas de labranza sobre la calidad de vertisoles en El Bajío*, Publicación Técnica 1, Cenapros-INIFAP-Sagarpa, Morelia, Michoacán, México.

- Frías, J., 2011, "El proceso de innovación entre los campesinos de Valle de Santiago en el periodo 1998-2008", en *Economía y Sociedad*, 14 (28): 95-124.
- Grageda, O. *et al.*, 2004, "Pérdidas de nitrógeno por emisión de N₂ y N₂O: diferentes sistemas de manejo y tres fuentes nitrogenadas", en *Agrociencia*, 38: 625-633.
- Grageda, O. *et al.*, 2011, "Fertilizer dynamics in different tillage and crop rotation systems in a vertisol in Central Mexico", en *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 89: 125-134.
- Guzmán, E. *et al.*, 2014, "Análisis de los costos de producción de maíz en la Región Bajío de Guanajuato", en *Análisis Económico* 29(70): 145-156.
- Guzmán, E. *et al.*, 2009, "Consumo de agua subterránea en Guanajuato, México", en *Agrociencia*, 43 (7): 749-761.
- IAASTD, 2009, *Evaluación internacional del conocimiento, ciencia y tecnología en el desarrollo agrícola en América Latina y el Caribe*, México.
- Janssen, H., 1998, "Efficient use of nutrients: an art of balancing", en *Field Crops Research*, 56: 197-201.
- King, A., 2007, Diez años con el TLCAN: revisión de la literatura y análisis de las respuestas de los agricultores de Sonora y Veracruz, México, Congressional Hunger Center, Centro Internacional Mejoramiento de Maíz y Trigo, Informe especial 07-01.
- Liu, X. *et al.*, 2006, "Effects of agricultural management on soil organic matter and carbon transformation – a review", en *Plant soil Environment*, 52 (12): 531-543.
- Montzka, A. *et al.*, 2011, 2011, "Non-CO₂ greenhouse gases and climate change", en *Nature*, 476: 43-50.
- Navarro, H. *et al.*, 2012, "La diversidad de especies útiles y sistemas agroforestales", en *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 18(1): 71-86.
- Organización mundial de la salud (OMS), 2010, *The WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification* 2009, WA 240.

- Ortega, M., 2009, "Presencia, distribución, hidrogeoquímica y origen de arsénico, fluoruro y otros elementos traza disueltos en agua subterránea, a escala de cuenca hidrológica tributaria de Lerma-Chapala, México", en *Rev. Mex. Cienc. Geol.* 2009, 26 (1): 143-161.
- Pesticides Action Network, 2009, Lista de plaguicidas altamente peligrosos, Hamburgo, Alemania, en http://www.rap-al.org/articulos_files/ListaPAN_HHP.pdf
- Reddy, P., 2015, *Climate Resilient Agriculture for Ensuring Food Security*, Springer India.
- Sagarpa, 2012, *Diagnóstico del sector rural y pesquero de México. Estratificación, caracterización y problemática de las Unidades Económicas Rurales*, México.
- Sanchez, A. et al., 1997, "Soil fertility replenishment in Africa: an investment in natural resource capital, en Buresh, J. et al., (Eds.), *Replenishing Soil Fertility in Africa. SSSA Special Publication*, vol. 51, Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Van, H. y H. Janssen, 1996, "Optimum NPK management over extended cropping periods in south-west Côte d'Ivoire", en *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 44: 263-277.
- SIAP, 2015, en <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>
- http://www2.inecc.gob.mx/sistemas/plaguicidas/info_gral.html.

Capacidad adaptativa de actores locales al cambio climático en geografías periurbanas en Latinoamérica. Notas conceptuales-metodológicas para su estudio¹

Pablo Torres Lima,² Kristen Conway Gómez
y Octavio Ahuítz Reyes Rivera

Resumen. Se discuten nociones conceptuales-metodológicas respecto a la capacidad adaptativa en sistemas socioecológicos periurbanos frente a procesos e impactos del cambio climático, a partir de considerar un amplio intervalo de contextos. Particularmente, tres tipos de aproximaciones metodológicas para su aplicación son descritos, con relación a diferentes escalas geográficas, criterios e indicadores. El primero corresponde al estudio del propio sistema periurbano que incluye tres momentos de evaluación: 1) Inicial (estado y exposición); 2) Impacto (sensibilidad, procesos y efectos), y 3) Adaptación (acciones, lineamientos,

¹ Se agradece el apoyo financiero del Instituto de la Ciudad de Quito, Ecuador, para el desarrollo de la investigación, en conjunto con la Dra. Andrea Muñoz Barriga, intitulada "Sistemas socioecológicos urbanos (periurbanos) y capacidad adaptativa al cambio climático. Estudio comparativo de procesos de gobernanza ambiental en Quito, Ecuador y Ciudad de México, México". Asimismo, se agradece el financiamiento a Pablo Torres Lima por parte de Fulbright NEXUS Regional Scholars Program y de la Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco, para llevar a cabo una estancia de investigación en California State Polytechnic University, Pomona..

² Profesor-investigador, Departamento de Producción Agrícola y Animal, UAM-X, Mexico, e-mail: ptorres@correo.xoc.uam.mx

opciones). Una segunda aproximación metodológica corresponde a la revisión de capacidades genéricas y específicas por escalas geográficas que intervienen en los ámbitos perirurbanos. Finalmente, una tercera incluye la elección de los determinantes e indicadores de la capacidad adaptativa (genérica y específica) en cada escala geográfica y sector de interés de estudio, las cuales son distribuidas a través de tres niveles organizacionales: unidades familiares, municipios y región. Se presentan consideraciones generales para la posible comparación respecto a los procesos de cambio que se dirigen hacia la sustentabilidad urbana frente a los impactos del cambio climático, incluyendo criterios de definición y selección de geografías periurbanas que refieren al desempeño de los propios sistemas socioecológicos de manera integrada, por ejemplo de la agricultura periurbana.

Palabras clave: Capacidad adaptativa, geografías periurbanas, metodología, agricultura periurbana.

Abstract. Conceptual and methodological concepts are discussed regarding adaptive capacity in periurban socioecological systems facing processes and impacts of climate change, after considering a wide range of contexts. Particularly, three types of methodological approaches for implementation are described in relation to different geographic scales, criteria and indicators. The first is the study of peri-urban system itself which includes three stages of evaluation: 1) Initial (state and exposure); 2) Impact (sensitivity, processes and effects), and 3) Adaptation (actions, guidelines, options). A second methodological approach corresponds to the revision of generic and specific geographical scales involved in periruban areas. Finally, a third includes the choice of the determinants and indicators of adaptive capacity (generic and specific) in each geographical scale and study sector, which are distributed through three organizational levels: households, municipalities and region. Considerations for possible comparison are presented regarding the processes of change that are directed towards urban sustainability against the impacts of climate change, including criteria for the definition and selection of periurban geographies that relate to the performance of social-ecological systems in an integrated manner themselves, for example periurban agriculture.

Keywords. *Adaptive capacity, periurban geographies, methodology, periurban agriculture.*

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha documentado en la literatura científica, así como en los informes y reportes mundiales, nacionales y regionales por organismos multilaterales, diferentes e importantes contribuciones al conocimiento socioambiental respecto a las bases científicas del cambio climático (SBC-EI, 2015) y los retos del desarrollo sustentable de las sociedades regionales de Latinoamérica frente a éste (vulnerabilidad, capacidad adaptativa y resiliencia). Asimismo, los países y sus instituciones han mejorado sus capacidades de contención, mitigación y adaptación a los procesos del cambio climático mediante el desarrollo de políticas, estrategias y acciones bajo el marco del avance de la gobernanza ambiental y el aprendizaje social, particularmente de sistemas socioecológicos urbanos.

Sin embargo, se identifica cada vez una mayor necesidad de ampliar los enfoques conceptuales y metodológicos para valorar el conocimiento local de las poblaciones y actores en sus procesos de adaptación al cambio climático. En este sentido, estudios e investigaciones son requeridos para abordar la exposición y la vulnerabilidad de estas poblaciones que garantice la valoración de la capacidad adaptativa en cada uno de los niveles y escalas, sobre todo a partir de que este tipo de capacidad es, por definición, específica en términos de un espacio y tiempo. Mucha de la literatura se remonta desde los enfoques de estudio de los modos de vida, “livelihoods” (Scoones, 1998), hasta los recientes en torno a las capacidades específicas y genéricas (Eakin *et al.*, 2014). De esta forma, estudios especializados pueden dar cuenta de los subyacentes factores de la vulnerabilidad y capacidad adaptativa, tales como la débil gobernanza, el cambio demográfico, las consecuencias de

la pobreza y la desigualdad socioeconómica, las inadecuadas políticas desligadas de la consideración de riesgos, la capacidad de intervención limitada de las instituciones, especialmente a nivel local, la limitada concepción del desarrollo urbano y rural en las políticas, el declive de la calidad ambiental de los ecosistemas, el cambio climático y la variabilidad, los sistemas de salud y la seguridad alimentaria. Tales factores de riesgo y la vulnerabilidad condicionan la capacidad de resiliencia de las unidades familiares, las comunidades, las regiones, las empresas y el sector público.

Los procesos concurrentes del desarrollo sustentable y la gobernanza multinivel que se requieren para enfrentar el cambio climático, por el compromiso y la participación de todas las partes interesadas (las mujeres, los pueblos indígenas, la comunidad de profesionales y los sectores público y privado), proporcionan a las fases de toma de decisiones y planeación de espacios geográficos la oportunidad única de garantizar la coherencia y direccionalidad de políticas, planes, estrategias y prácticas de gestión, así como de inversiones, transparencia y la integración o asociación de sistemas y recursos para el diseño e implementación de esquemas de adaptación al propio cambio climático. En este sentido, a fin de reducir la vulnerabilidad local en el contexto del cambio climático, abordando los desafíos existentes y la preparación para los futuros, existe la necesidad de entender la diversidad de sistemas de coproducción de conocimiento local (Klenk *et al.*, 2015), en geografías y sectores diversos, así como analizar la contribución de éstos para fortalecer los mecanismos de gobernanza en todos los niveles y escalas, incluyendo la promoción de la capacidad adaptativa y la resiliencia económica, social, cultural y ambiental.

La geografía del urbanismo de Latinoamérica incluye una diversidad de “ciudades fracturadas” bajo el marco de diversas expresiones del desarrollo urbano. En la actualidad, esta región transcurre por la desconcentración de funciones y población en diferentes formas policéntricas

urbanas. La ciudad latinoamericana se ha desplazado desde una noción de sistemas urbanos unitarios, hacia una percepción de fragmentación con desigualdades contrastantes y espacios dispersos (Rodgers *et al.*, 2011). Estas circunstancias, unidas al impacto de las propias ciudades sobre el ambiente, conducen a reflexiones acerca del desarrollo urbano, resiliencia y sustentabilidad, al mismo tiempo que se redefinen diferentes funciones e intervenciones del Estado (IISD, 2011). Se refiere que la aceleración del crecimiento urbano en esta región ha creado diversos retos de los campos teóricos y prácticos del fenómeno urbano, los cuales han de resolverse para asegurar la sustentabilidad en los próximos años, por ejemplo: 1) manejo de riesgos de desastres y vulnerabilidad al cambio climático, 2) desarrollo urbano integral, y 3) manejo fiscal, gobernanza y transparencia (IDB, 2011).

En Latinoamérica, los sistemas socioecológicos regionales tienen nuevos retos, además de urbanizaciones extensas y no planificadas, la degradación de los ecosistemas, la reducción de la biodiversidad, la creciente contaminación de los recursos hídricos y de los suelos, entre otros, se observa claramente el impacto y la vulnerabilidad de cada país ante el cambio climático (CC). El avance en el estudio de los cambios socioecológicos ante las perturbaciones bioclimáticas, en diferentes escalas territoriales (local, municipal, regional y estatal), aún permanece impreciso, sobre todo con lo relacionado a la cuantificación regional de los costos del CC, y la construcción de estrategias de desarrollo eficientes respecto a la mitigación y adaptación de sus efectos (CEPAL, 2009). Los conceptos de capacidad adaptativa y de resiliencia ofrecen oportunidades para incorporar los efectos interescalas, incertidumbres y la no linealidad con relación a la dinámica de la complejidad de los sistemas socioecológicos urbanos y periurbanos (Minuccie, 2012).

En este escrito se establece una pregunta básica: ¿qué enfoques conceptuales y metodológicos pueden ser utilizados para analizar

estudios de caso de sistemas socioecológicos periurbanos,³ que permitan distinguir criterios genéricos aplicables a sistemas de conocimiento diferentes respecto a la capacidad adaptativa y las escalas de desarrollo regional en el contexto de cambio climático? Para ello, se consideran enfoques de una investigación⁴ respecto al estudio de sistemas socioecológicos periurbanos. Estas geografías regionales contienen singularidades en términos espaciales y sistemas socioecológicos particularmente vulnerables a riesgos climáticos en función de las propiedades y elementos rural-urbanos que contienen, por ejemplo, la agricultura perirubana.

En virtud de que estos tipos de geografías son complejos y las evaluaciones de ellos a largo plazo requieren de la obtención de datos extensos sobre riesgos, impactos y medidas de adaptación, la escala de estudio de caso ofrece mayor detalle y precisión para enriquecer los marcos conceptuales y metodológicos, los cuales son raramente transferibles entre sí. De esta forma, en la literatura se encuentran pocos estudios que utilicen enfoques generalizados bajo marcos de integración multiescalas (Romero-Lankao *et al.*, 2014), en vez de ello se orientan hacia la comprensión de qué tienen en común los espacios geográficos, y no qué los distingue, lo cual nos permite preguntarnos ¿qué tipo de análisis, caso de estudio o escala puede proveer un aprendizaje común?, o bien ¿cuáles son los enfoques conceptuales metodológicos que pueden ser usados para integrar análisis detallados y contar con la posibilidad de transferir explicaciones de procesos de la capacidad adaptativa en

³ Zonas periurbanas se definen como la regiones en la que el núcleo urbano (zona 'intra-urbana') se entremezcla con los sistemas adyacentes no urbanos propiamente (McGregor-Fors, 2013).

⁴ Corresponde al proyecto de investigación "Sistemas socioecológicos urbanos (periurbanos) y capacidad adaptativa al cambio climático. Estudio comparativo de procesos de gobernanza ambiental en Quito, Ecuador y Ciudad de México, México", financiado por el Instituto de la Ciudad de Quito, Ecuador.

diferentes niveles de estudio? El presente trabajo pretende proveer de elementos conceptuales para tal fin desde una experiencia sobre lo periurbano.

Enfoque conceptual de la capacidad adaptativa periurbana al cambio climático

El término de capacidad adaptativa posee ámbitos de intervención paralelos a fechas anteriores al abordaje de la adaptación al cambio climático, tales como el desarrollo rural, la reducción de riesgo a desastres, la seguridad alimentaria y la conservación ambiental. Recientemente, a partir de los esfuerzos de sistematización de marcos de referencia, enfoques conceptuales y metodológicos, experiencias específicas en proyectos, así como de lecciones aprendidas sobre adaptación y desarrollo en casos de estudio, se ha reconocido a la resiliencia como el concepto más cercano, complementario y en un amplio grado de sobreposición al de capacidad adaptativa (Hills *et al.*, 2015). Sin embargo, se reconoce que aún existen diferentes oportunidades para enriquecer la definición, los enfoques y la aplicación de ambos conceptos. Particularmente, para la capacidad adaptativa se identifica que debe atenderse lo siguiente: 1) es una característica latente que se manifiesta durante y después de un cambio, stress o shock, y que no puede ser evaluada en la ausencia de éstos; 2) es altamente dependiente de lo específico-local; 3) incorpora conocimiento acerca de la transformación de sistemas, ya sea socioeconómicos o ambientales, y 4) está centrada alrededor de vínculos entre naturaleza-sociedad dentro de sistemas adaptativos complejos (Berman *et al.*, 2012).

Bajo el marco de un análisis de jerarquías espaciales y temporales, las áreas periurbanas tienden a pasar por tres momentos de complejidad: el primero se vincula a su propia tendencia de ampliar su capacidad adaptativa frente a los impactos directos e indirectos del cambio climático y las

crisis socioambientales generadas por éstos; el segundo corresponde a sus condiciones permanentes de transición y deterioro urbano que restringen esta capacidad debido a los sistemas políticos que imponen modelos de desigualdad socioeconómica, incluyendo la falta de instituciones, recursos y competencia técnica y financiera para reconstruir y reestructurar las sociedades regionales y, finalmente, el tercero consiste en el impacto de los patrones dinámicos de consumo urbano y la transformación de los sistemas de producción (emisión de gases de efecto invernadero, uso irracional de energía, contaminación de fuentes de agua, erosión de suelos) para satisfacer precisamente estas tendencias de cambio en el consumo. De esta forma, en las zonas periurbanas, los sistemas construidos así como los naturales, incluyendo los sistemas ecológicos, productivos, los servicios ecosistémicos, la infraestructura y el equipamiento urbano son mutuamente dependientes. Bajo este marco, es preciso entender qué o quiénes necesitan ser parte del fortalecimiento de la capacidad adaptativa con respecto a las sinergías y resultantes, a nivel regional y local, de la relación entre el medio ambiente y las características socioeconómicas de la multifuncionalidad de los propios paisajes periurbanos.

En este sentido, los arreglos institucionales de la gobernanza periurbana contribuyen a lo anterior, pero necesitan ser flexibles, sensibles y provistos de recursos financieros y capacidades técnicas para asegurar la operación y fortalecimiento de los componentes que determinan la capacidad adaptativa. Particularmente, se debe identificar qué capacidades deben ser mantenidas y recuperadas de los impactos directos e indirectos del cambio climático que contribuyan a la transformación de los sistemas socioecológicos periurbanos; por ejemplo, las tendencias de urbanización, de provisión de infraestructura, uso del suelo, patrones de producción y consumo, incluyendo los propios sistemas agroproductivos presentes en las áreas periurbanas.

Las áreas periurbanas tienden a tener diferentes niveles de emisiones de gases de efecto invernadero por persona debido a la heterogeneidad de la localización de la industria y a los niveles de consumo urbanos; asimismo, se cuenta con diversos patrones de urbanización

en estos espacios que exacerban desigualdades en la infraestructura de equipamiento (salud, educación y transporte) que regule o rehabilite la mezcla de espacios socioecológicos para potencializar los procesos de innovación y planeación, con estrategias e iniciativas orientados hacia la ampliación de la capacidad adaptativa regional y la reducción de riesgos de desastre.

Cabe mencionar que también las áreas periurbanas son ambientes politizados, en las cuales la validez de abordar la capacidad adaptativa frente a los impactos del cambio climático depende de procesos de aprendizaje social, que refieren la complejidad e incertidumbre entre los actores locales para debatir la propia vulnerabilidad y resiliencia regional, así como las opciones para la mitigación y adaptación dentro de contextos locales particulares bajo dinámicas de cambio demográficos, socioeconómicos y ecológico-productivos.

En este sentido, existe un problema de escala, el cual consiste en trasladar los temas del cambio climático y la capacidad adaptativa de las áreas periurbanas a niveles de gobernanza del territorio metropolitano integral. Lo anterior significa que se deben llevar a cabo procesos de evaluación de: 1) las contribuciones de los servicios ecosistémicos que contienen, y las medidas necesarias para su protección y promoción; 2) las posibilidades de empleo e ingreso mediante el desarrollo de una economía sana y sustentable compatible con los recursos regionales; 3) las iniciativas innovadoras locales para la oferta de servicios y equipamiento que mejore la calidad de vida de la población, incluyendo el acceso a la información y a mejores niveles educativos, y 4) el fortalecimiento de la resiliencia institucional de gobiernos locales para responder a cambios macroeconómicos y políticos que pretendan reducir las capacidades de los sistemas de transformación del entorno socioecológico, la mayoría de las veces productivo-agrícola.

La discusión de la capacidad adaptativa en áreas periurbanas implica también, como cualquier sistema socioecológico, un amplio intervalo de contextos (individuos, unidades familiares, comunidades,

así como la evaluación de sus activos o capitales y modos de vida), escalas y paisajes. Asimismo, incluye una diversidad de riesgos y amenazas bajo el marco de las interconexiones o interdependencias entre un intervalo de sistemas construidos, así como los naturales. Sin embargo, es necesario identificar que la capacidad adaptativa, promovida por la aplicación de recursos financieros, instituciones e instalación de infraestructura en sectores específicos, puede haber sido impulsada independientemente de los impactos del cambio climático (fuego en bosques o inundaciones). Esta capacidad adaptativa generada debe ser la base sobre la cual se sustente la innovadora promoción y aumento de otras capacidades frente a los riesgos que el cambio climático puede traer.

Las áreas periurbanas, como espacios de mediación de conflictos, por ejemplo el uso del suelo urbano y la deforestación rural vs. la producción agrícola y conservación de recursos naturales, pueden dirigirse hacia dos ámbitos de desarrollo de las capacidades adaptativas: primero, mediante la formulación e implementación de políticas activas de adaptación al cambio climático, identificando riesgos actuales y potenciales con estructuras institucionales que promuevan y apoyen las acciones estratégicas necesarias a través de diferentes escalas, jerarquías y niveles de intervención en diferentes agencias, sectores y actores involucrados. Ejemplo de esto son los programas, estrategias y acciones para detener la erosión del suelo mediante la reforestación y con el pago por servicios ambientales a los pobladores locales. Segundo, pasar del fortalecimiento de la capacidad adaptativa hacia la transformación que implique contar con políticas y definición de requerimientos de inversión, integrados en procesos de desarrollo regional que satisfagan las necesidades del conjunto de los sectores de la población, al mismo tiempo que se abordan tanto las estrategias de mitigación, como los cambios y transformaciones en los servicios ecosistémicos e impactos diferenciales de la huella ecológica de los procesos de producción y consumo, la mayoría con alto uso de energía y producción de residuos. Podría hacerse, mediante progra-

mas de educación ambiental dirigidos hacia prácticas de reciclamiento y reutilización de residuos sólidos en microcuencas de alta relevancia socioecológica.

En ambos casos, se deben reconocer los procesos de transformación de las áreas periurbanas, particularmente a las tendencias de rápida urbanización, y la importancia que tienen éstas en la provisión de diversas fuentes de satisfactores para las economías urbanas y los sistemas socioecológicos asociados a éstas, tales como: la reserva de territorio con potencial de uso habitacional, industrial, servicios y de equipamiento y movilidad urbana; la provisión de alimentos y otros productos de origen vegetal que contribuyen a la seguridad alimentaria; el resguardo de paisajes y recursos naturales asociados a la recreación y al turismo; la provisión de servicios ecosistémicos; la reserva de mano de obra, de opciones potenciales de mercado e inversión en infraestructura.

En particular, los sistemas socioecológicos periurbanos son fiel reflejo de la complejidad intrínseca, no sólo de la hidrología, climatología o ecología, sino de la importante relación entre los habitantes, el ambiente, el uso de la tierra, los sistemas económicos de producción, circulación y distribución de fuerza de trabajo, materiales y mercancías, y los impactos sociales. Es decir, los cambios en estos sistemas, al igual que otros ámbitos geográficos amplios, ofrecen una diversidad de escenarios en la construcción de la resiliencia social y la capacidad de adaptación de los sistemas naturales bajo proceso de gobernanza. Asimismo, los sistemas socioecológicos en contextos periurbanos, por su naturaleza de entremezclar sistemas adyacentes urbanos y no urbanos (McGregor-Fors, 2013), se pueden reconocer por sus posibilidades geográficas e institucionales de posicionarse en diversas escalas y niveles de gobernanza debido a su complejidad institucional, el manejo adaptativo de los recursos naturales y procesos ecológicos implicados, así como por los ámbitos socioculturales y políticos involucrados. Por ejemplo, en contextos típicamente urbanos, la gobernanza de la resi-

liencia se encuadra bajo la interacción entre actores, sistemas de infraestructura física y ecosistemas, e instituciones formales e informales (Archer *et al.*, 2014). Así, la geografía de los sistemas socioecológicos periurbanos implica diversos tipos de recursos naturales, funciones ecosistémicas, paisajes, territorios, estructuras de co-gestión, dinámicas sociales, normatividades e instituciones formales, procesos de toma de decisión complejos, entre otros elementos. Por tanto, las opciones de un tipo de gobernanza adaptativa se deben requerir bajo interdependencia de escalas espaciales, temporales y jurisdiccionales amplias. Las estructuras de gobernanza deben contar con la capacidad de crear un contexto de formas y procesos más creativos y participativos en donde se lleven a cabo la creación de instituciones, sostenidas en términos de cultura y normas de gobernanza, donde se incluyan el conocimiento de co-producción, mediación, traducción y negociación entre los actores locales que permita facilitar la toma de decisiones (Cash *et al.*, 2006). Sin embargo, en los países latinoamericanos el dilema principal consiste en reestructurar las rutas democráticas para la definición de sistemas políticos que atiendan la desigualdad socioeconómica y las capacidades adaptativas frente a los impactos del cambio climático.

Particularmente, con relación a los actores locales, en la investigación de los sistemas socioecológicos, a la gobernanza adaptativa, que implica la auto-organización de redes sociales capaces de hacer frente a la complejidad, la incertidumbre y el cambio, se le debe considerar una estrategia fundamental en la definición de las prioridades del desarrollo y uso de los recursos, así como para la mejora de la resiliencia (Ernstson *et al.*, 2010), es decir, como la pieza clave del desarrollo sustentable, (Adger y Jordania, 2009). En este sentido, los sistemas socioecológicos periurbanos en Latinoamérica representan un reto tanto para los sistemas institucionales y sus metas del desarrollo sustentable, como para la mejor integración de comunidades locales en éstas. Por ejemplo, la complejidad y dinámicas de los sistemas socioecológicos periurbanos

ofrecen una oportunidad para abordar los factores sociales, ecológicos, económicos y políticos de la vulnerabilidad y capacidad de resiliencia, así como las estrategias de adaptación al cambio climático por parte de actores, instituciones, comunidades y la sociedad civil en diferentes escalas y niveles de la gobernanza (Archer *et al.*, 2014).

Notas metodológicas de aplicación

Las oportunidades de aplicar el concepto de capacidad adaptativa bajo el marco de diferentes nociones, tales como efectos de inter-escalas, incertidumbre y no-linealidad, son amplias en estudio de las áreas periurbanas. En este sentido, con relación a la dinámica entre escalas de un sistema complejo urbano, los efectos de un evento que se producen en un lugar determinado se pueden propagar a través de áreas distantes al lugar de la incidencia (Walker *et al.*, 2004; Ginnetti, 2015). Por ejemplo, la rápida expansión urbana a gran escala, los cambios de uso del suelo asociados y el aumento de la demanda de agua por los usuarios urbanos locales dan lugar a impactos regionales sobre los recursos hídricos distribuidos a lo largo del tiempo o con cierto nivel de evolución en diferentes periodos, incluyendo la disponibilidad de agua, patrones de escorrentía, la infiltración y la extensión de las zonas con riesgo de inundación en ciertos espacios geográficos (Romero-Lankao *et al.*, 2014). En consecuencia, tenemos que pensar en términos de interacciones dentro de los sistemas, en este caso periurbanos, tanto a escalas espaciales y temporales diferentes (Minuccie, 2012).

A fin de orientar algunas posibilidades metodológicas para aplicar el concepto de capacidad adaptativa, una pregunta esencial sería ¿cómo se pueden rediseñar procesos de planeación para la adaptación al cambio climático en sistemas socioecológicos periurbanos, a partir de la diversidad de la capacidad adaptativa y su fortalecimiento y transformación? Ante esta interrogante, se toma en cuenta como hipótesis de trabajo que

los sistemas socioecológicos periurbanos (la agricultura perirubana) contienen una multifuncionalidad de capacidades adaptativas bajo el marco de estructuras locales frente o ante procesos de cambio climático. Por ejemplo, a partir del trabajo de campo en el segundo semestre de 2015, el perfil ambiental (capital natural) del área perirubana del sur de la Ciudad de México (Milpa Alta) incluye una diversidad biológica que va de amplia (45%) a regular (42%), conforme a la percepción de productores agrícolas, los cuales también identifican, en 90% de los casos, que el clima ha cambiado y ha causado variaciones en su producción agropecuaria. Dentro de las principales causas que se perciben se señalan una menor fertilidad en el suelo de sus parcelas, así como la deforestación, contaminación y el abandono de la agricultura.

En virtud de que uno de los campos más influyentes para la caracterización de la capacidad adaptativa ha sido la investigación de modos de vida (Moser *et al.*, 2010), mediante la cual se aborda la relación entre la base de recursos de las unidades familiares (los activos o capitales), sus derechos (el contexto institucional que afecta al ejercicio de sus derechos y el acceso a los recursos) y el logro alcanzado para su bienestar (resultados o respuestas), la propia capacidad adaptativa se basa en la capacidad de movilización de estos elementos a fin de poner en marcha la adaptación reactiva o proactiva (Nelson *et al.*, 2007).

Los atributos de capacidad que poseen las unidades familiares se han clasificado en cinco: capital humano (educación, salud, actitudes, sistemas de creencias); capital natural (calidad del suelo, la dotación de agua); capital físico (equipos, transporte); capital social (la conectividad en las redes sociales o políticos), y el capital financiero (ahorros monetarios, la composición de los ingresos) (Ellis, 2000). Estos tipos de capitales (o también llamados base de activos), a nivel individual o colectivo, interactúan para constituir estrategias o respuestas de adaptación que se habilitan o frustran por el papel que desempeñan los factores del nivel de sistema, tales como: las instituciones y los derechos; el conocimiento y

la información; la toma de decisiones flexibles, y la gobernanza y la innovación (Thulstrup, 2015). Por ejemplo, en el contexto de los asentamientos informales periurbanos, las unidades familiares con reconocimiento legal de su propiedad (con derecho a recursos clave, como los derivados de la posesión de tierra y la vivienda) tienden a invertir más en mejoras para el hogar que aumentar su capacidad de resistir los riesgos, y también están en mejor posición para negociar mejoras de infraestructura urbana (Romero-Lankao *et al.*, 2014).

La anterior caracterización pone énfasis en los activos objetivos o atributos del sistema predeterminados, mecanismos o indicadores, los cuales se describen en la literatura como la propia capacidad de adaptación (Engle, 2011). La capacidad de adaptación puede ser entendida a partir de dos dimensiones: las capacidades genéricas, que abordan las deficiencias en el desarrollo humano básico (salud, educación, seguridad alimentaria, movilidad), y las capacidades específicas, que se definen como aquellas capacidades de dirección y habilidades necesarias para anticipar y responder con eficacia a las amenazas climáticas (i.e. sistemas de alerta temprana, planificación de desastres, adopción de tecnologías, uso de conocimientos sobre el clima tradicional) (Eakin *et al.*, 2014). Estas dos capacidades existen, en cierta medida, en todas las poblaciones, pero se manifiestan en los diferentes niveles de toma de decisiones (hogar, comunidad, ciudad, región, nacional y supranacional) y no se distribuyen de manera uniforme a través de todas las poblaciones, particularmente, donde existe la yuxtaposición de espacios urbanos y no urbanos.

Conforme a lo anterior, otro ejemplo del área perirubana del sur de la Ciudad de México (Milpa Alta), consistiría en distinguir que sus poblados tienen una trayectoria de desarrollo como espacios periurbanos similares, pero con rasgos diferentes. Esto significa que los rasgos humanos, sociales, financieros, así como los ambientales, en general, se encuentran por debajo de intervalos aceptables de bienestar social, que pueda ser dirigido hacia la construcción de estrategias de gober-

nanza socioambiental periurbana, particularmente, el fortalecimiento de la capacidad adaptativa al cambio climático. Sin embargo, estos cuatro rasgos mencionados en los poblados no reflejan una capacidad de respuesta idéntica hacia los diferentes procesos de presión a los que se ven sometidos los habitantes que se dedican a las actividades agrícolas, tales como la disminución de la calidad ambiental de los recursos naturales, las restricciones de apoyo financiero para el crecimiento y desarrollo de la agricultura periurbana, entre otros. De cualquier forma, se observa la existencia de una tendencia común en los poblados que consiste en que los aspectos físicos son de nivel satisfactorio, en general debido a precisamente la provisión de equipamiento y servicios urbanos para los habitantes del lugar, en términos de cubrir las necesidades básicas como agua, electricidad, y servicios para las unidades familiares, o bien, en función de la cobertura de servicios y equipamiento para los procesos productivos agrícolas, tales como el equipo y maquinaria, y caminos para desplazar y comercializar los productos de la agricultura.

Por otro lado, se identifican dos tipos de resiliencia: general y específica que, con fines metodológicos, necesitan también ser abordados con objeto de aproximarse a la delimitación de procesos y variables de cambio que pudieran ocurrir en los sistemas perirurbanos. La resiliencia general consiste en la capacidad del sistema para hacer frente a todo tipo de choques y disturbios, y así poder evitar cruzar los umbrales, conocidos o desconocidos, a un régimen alternativo o sistema. Mientras, la resiliencia específica refiere a la que se manifiesta en sólo una parte de un sistema con respecto a las perturbaciones identificadas, es decir, la posible aparición futura que se sabe o se sospecha, aunque su momento y la magnitud pueden ser una sorpresa (O'Connell *et al.*, 2015).

Bajo este marco de análisis, es preciso identificar los diferentes momentos de la evaluación del propio sistema perirurbano. Para tal efecto, se distinguen tres momentos de evaluación de sistemas

socioecológicos: 1) Inicial (estado y exposición), que se relaciona al grado mediante el cual los recursos base del capital natural, los procesos ecosistémicos y el flujo de servicios ecosistémicos son expuestos al cambio climático; los que en su conjunto pueden ser estudiados a través de registros o modelos predictivos; 2) Impacto (sensibilidad, procesos y efectos), que refiere que para entender la sensibilidad de los ecosistemas y de las poblaciones humanas a los efectos combinados del cambio climático es necesario conocer el alcance de tales cambios (aire, suelos, precipitación, temperatura) con relación a sus efectos en procesos de degradación, tales como erosión del suelo y la forma en que comprometen la provisión de servicios ecosistémicos, así como los modos de vida y el bienestar de las poblaciones humanas que dependen de ellos, y 3) Adaptación (acciones, lineamientos, opciones), que considera el potencial y factibilidad de la capacidad adaptativa para reducir la sensibilidad del sistema periurbano a los cambios a los que probablemente sea expuesto, y para proveer recomendaciones específicas a los planificadores y tomadores de decisiones respecto a cómo las comunidades locales se pueden adaptar a tales cambios (Reed y Stringer, 2015). En conjunto, en el cuadro 1 se presentan las categorías de estudio aplicadas en la investigación en zonas periurbanas.

Cuadro 1. Categorías de estudio para la investigación en zonas periurbanas

Tipo de evaluación (Reed y Stringer, 2015)	Tipo de resiliencia (O'Connell <i>et al.</i> , 2015)	Tipo de capacidad adaptativa (ejemplos) (Eakin <i>et al.</i> , 2014)	
		Sistema	Individual
1. Inicial (estado y exposición)	General	Recursos naturales, cobertura vegetal, índices de diversidad biológica. Servicios ecosistémicos regionales. Degradación ambiental.	Capacidad local de manejo de agua, calidad y cantidad de agua. Manejo del riesgo.
	Específica	Tendencias de seguridad alimentaria. Infraestructura urbana. Capacidad de irrigación. Tendencias de emisiones de GHG. Tendencias de urbanización	Uso de energía fósil. Uso de agroquímicos. Uso de infraestructura urbana. Ahorros. Niveles de salud, educación. Movilidad de la población.
2. Impacto (sensibilidad, procesos y efectos)	General	Procesos de contaminación, degradación. Alteración de ciclos y servicios ecosistémicos. Modificación de patrones climáticos.	Índices de pobreza. Diversificación paisajística. Inseguridad alimentaria.
	Específica	Tendencias de deterioro de salud humana.	Intensificación de recursos. Acceso a: alimentos/ agua/oportunidades institucionales/salud/empleo.
3. Adaptación (acciones, lineamientos, opciones)	General	Reducción de la vulnerabilidad (inversión en infraestructura). Apoyos e incentivos institucionales. Acceso a información (sistemas de monitoreo y prevención). Fortalecimiento institucional (descentralización de la gobernanza).	Niveles de organización social. Diversificación productiva/ empleo/ ingreso. Mayor nivel de educación. Estrategias de adaptación al cambio climático.
	Específica	Rediseño de sistemas (urbanos, rurales). Planeación para mitigación de riesgos. Programas educativos. Integración de conocimiento local y científico.	Adopción de tecnologías. Mayor acceso a salud/ infraestructura.

Por otro lado, al reconocer que los sistemas socioecológicos periurbanos contienen diferentes niveles de capacidades relativas dentro de una sociedad regional, con diferentes grados de organización frente a los ámbitos de la vulnerabilidad y de la capacidad de adaptarse a los cambios futuros, es necesario identificar y revisar críticamente éstas, incluyendo las sinergias y compensaciones entre las propias capacidades y los niveles. En este sentido, repensar las trayectorias de las capacidades a través de diversas escalas ayuda a proveer de una luz crítica al posible oscurecimiento de la llamada “trampa de lo local”, en donde la investigación *a priori* identifica que el nivel adecuado para hacer frente a la sustentabilidad ambiental, la justicia y la democracia es la local (Born y Purcell, 2006). Por tanto, aún a pesar de reconocer el papel crucial de los actores locales, si se llega hacer caso omiso de las interrelaciones de las capacidades de adaptación al cambio climático bajo diferentes niveles, se daría una perspectiva parcial de la realidad. En este sentido, una segunda aproximación metodológica general de estudio corresponde a la revisión de capacidades genéricas y específicas por escalas geográficas que intervienen en los ámbitos perirurbanos, bajo un esquema de interescalas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Capacidades genéricas y específicas por escalas geográficas

	Individual / Hogares	Organización Comunitaria	Municipalidad	Estado (Región)
Capacidades Genéricas (<i>Desarrollo Humano, Políticas de Salud</i>)	-Disponibilidad, acceso y control de recursos (salud, educación, empleo/ingreso, infraestructura). -Gestión de la eficiencia económica.	-Desigualdad económica y social. -Liderazgo sociopolítico. -Capacidad y compromiso a la autorganización. -Consulta pública y uso de la información. -Procesos de movilización.	-Distribución de bienestar (índices). - Seguridad alimenticia, y social. - Infraestructura y equipamiento. -Fiscalización y transparencia institucional.	-Sistemas de poder, programas, normas, protocolos para la buena gobernanza socioambiental. -Capacidad y límites institucionales para el diseño, planeación y operación de procesos de adaptación.
Capacidades Específicas	-Nivel de acceso y uso de conocimiento para el fortalecimiento de la resiliencia local relevante. -Prácticas y estrategias diferenciales (género, edad, estatus económico) frente al cambio climático.	-Estrategias de diversificación de creación y fortalecimiento de redes. -Creación de sistemas de conocimiento y prácticas para la resiliencia local relevante. -Nivel de participación.	-Sistemas de prevención, alerta y monitoreo frente a cambios climáticos diferenciales. -Participación en el diseño, implementación y evaluación de medidas de adaptación.	-Estrategias de instituciones, organizaciones y actores para reducir la vulnerabilidad de diferentes sectores e incrementar la capacidad adaptativa. -Sistemas de planeación institucional (participativa, estratégica, etc) y requerimientos de inversión que provean de recursos a comunidades vulnerables en procesos de capacidad adaptativa.

Fuente: Elaboración original.

Finalmente, una tercera aproximación metodológica que puede aplicarse para áreas periurbanas corresponde a la elección de los determinantes⁵ e indicadores de la capacidad adaptativa (genérica y específica) en cada escala geográfica y sector de interés de estudio. Las determinantes son distribuidas a través de tres niveles organizacionales: unidades familiares, municipios y región. La elección de determinantes de la capacidad adaptativa en cada escala fue guiada por los elementos que se presentan en el marco metodológico desarrollado por Jones *et al.* (2010). De tal forma, los indicadores seleccionados son relevantes para los criterios siguientes: 1) los modos de vida; 2) las instituciones y los derechos, y 3) la innovación, la información y el conocimiento. Éstos deben ser considerados de manera flexible y con visión de futuro para la toma de decisiones. Los indicadores se dividen en las capacidades genéricas y específicas, y dentro de cada una de éstas, cuatro categorías de indicadores se reconocen: socioeconómicos, ecológicos, política y gobernanza, e información y conocimiento, que son descritos enseguida:

- Socioeconómicos (SE): son los indicadores que miden la capacidad de los diferentes grupos sociales para acceder, principalmente, a las oportunidades de subsistencia (en los hogares), incluyendo, pero no limitado, a los servicios básicos, los ingresos, los sistemas productivos, las redes comunitarias. A nivel municipal y regional, se refiere a las condiciones macro socioeconómicas (por ejemplo, las de desarrollo económico).

⁵ Un determinante implica un elemento o factor político, económico, social, cultural, físico o psicológico que decisivamente afecta o deriva a un espectro de resultados posibles o potenciales de eventos físicos, incluyendo los pertenecientes al concepto de impactos extremos, en este caso los derivados del cambio climático (Cardona *et al.*, 2012).

- Ecológicos (E): indicadores que miden la gestión sustentable del agua, los residuos y la transición hacia los entornos urbanos saludables. A nivel de los hogares, por ejemplo, se investiga la presencia de prácticas sustentables. En los indicadores de nivel municipal, se puede referir a la escasez de agua y las prácticas adecuadas en el mantenimiento de los sumideros.
- Política y Gobernanza (P/G): indicadores que miden el nivel de políticas de apoyo y la capacidad para un buen gobierno de las diferentes instituciones en diversos ámbitos, por ejemplo, salud, agua, planeación, educación y el ambiente (a nivel municipal y regional); y el nivel de la participación de los actores locales en términos de la manifestación y acción política para el acceso al agua, la protección del medio ambiente y cambio climático.
- Información y Conocimiento (I/C): son los indicadores que miden las capacidades genéricas en términos de acceso general a los medios de información (por ejemplo, acceso a radio, televisión e internet); con respecto a las capacidades específicas, en términos de los niveles de conocimiento sobre el cambio climático a nivel del hogar. A nivel municipal, las capacidades genéricas se refieren a la disponibilidad de información gratuita entre las instituciones, públicas y privadas; mientras que las capacidades específicas se refieren, entre otros, a la integración de las consideraciones relativas al cambio climático, los programas y los recursos en los planes de desarrollo urbano y los planes territoriales.

Cuadro 3. Capacidades genéricas y específicas por escalas geográficas y categorías de indicadores, con énfasis en agricultura periurbana

	Capacidades Genéricas			Capacidades Específicas		
	Unidad Familiar	Municipio	Región	Unidad Familiar	Municipio	Región
Socioeconómico (SE):	-Disponibilidad, acceso y control de recursos (salud, educación, empleo/ ingreso, infraestructura). -Gestión de la eficiencia económica.	-Nivel de infraestructura. -Nivel de pobreza. -Organizaciones sociales. - Productividad Regional. - Equidad Económica.	-Programas de atención a: infraestructura, pobreza y servicios de educación y salud. -Desigualdad económica y social.	-Prácticas y estrategias diferenciales (género, edad, estatus económico) frente al CC y agricultura. -Percepción de calidad de vida.	-Inversión en infraestructura y equipamiento. -Sistemas de planeación del desarrollo local.	-Distribución de bienestar (índices). - Seguridad alimentaria y social. -Fiscalización y transparencia institucional.
Ecológico (E):	-Salud agroecológica.	-Niveles de bienestar ambiental.	Programas de atención a la agricultura y cambio climático.	-Estrategias de diversificación económica productiva. -Adopción de tecnologías para reducir impacto climático. -Estrategias de reducción de riesgos.	-Sistemas de evaluación y monitoreo de la agricultura y cambio climático. -Sistemas de alerta temprana de riesgos.	-Sistemas de planeación institucional (participativa, estratégica, etc.) y requerimientos de inversión que provean de recursos a comunidades vulnerables en procesos de capacidad adaptativa.

Política y Gobernanza (P/G):	<ul style="list-style-type: none"> -Participación social en organizaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> -Liderazgo sociopolítico. -Capacidad y compromiso a la autorganización. -Procesos de movilización. 	<ul style="list-style-type: none"> -Niveles de transparencia. -Consulta pública y uso de la información. 	<p>Participación de actores en demandas de protección del medio ambiente y desarrollo agrícola.</p> <ul style="list-style-type: none"> -Estrategias de instituciones, organizaciones y actores para reducir la vulnerabilidad de diferentes sectores e incrementar la capacidad adaptativa. 	<p>Políticas, programas y estrategias de respuesta a problemas ambientales y desarrollo agrícola.</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Sistemas de poder, programas, normas, protocolos para la buena gobernanza socioambiental. -Capacidad y límites institucionales para el diseño, planeación y operación de procesos de adaptación.
Información y Conocimiento (I/C):	<ul style="list-style-type: none"> -Acceso a internet, radio y TV. -Estrategias de diversificación de creación y fortalecimiento de redes. -Nivel de participación. 	<ul style="list-style-type: none"> -Integración de enfoques, recursos y acciones sobre cambio climático y agricultura en planes de desarrollo periurbano. 	<ul style="list-style-type: none"> -Campañas de educación ambiental -Campañas sobre cambio climático y agricultura periurbana. 	<ul style="list-style-type: none"> - Conocimiento sobre cambio climático y agricultura periurbana. 	<ul style="list-style-type: none"> -Creación de sistemas de conocimiento y prácticas para la resiliencia local relevante. 	<ul style="list-style-type: none"> -Integración de enfoques, recursos y acciones sobre cambio climático y agricultura en planes de desarrollo periurbano.

Fuente: Elaboración original.

Consideraciones metodológicas finales

Los sistemas socioecológicos periurbanos contienen diversas geografías de adaptación frente a los procesos e impactos del cambio climático, los cuales se expresan y repercuten en poblaciones regionales y comunidades locales. La investigación de las diferentes expresiones de lo anterior conlleva a definir, enfocar y orientar el estudio de las principales consideraciones, conceptuales y metodológicas, de la capacidad adaptativa de estos sistemas a los riesgos climáticos, entendida como una función de variables ambientales, socioeconómicas y de gobernanza que componen los procesos de urbanización, la cual ocurre dentro de una espacialidad geográfica determinada por diferentes tipologías de modos de vida, por diversos grupos de familias y perfiles socioinstitucionales a lo largo del tiempo. La definición de los sistemas socioecológicos periurbanos se lleva a cabo mediante criterios de selección que refieren al desempeño de los mismos, y que implican los siguientes pasos: 1) definir y evaluar el contexto histórico y actual de los casos de estudio, a manera de líneas base de sistemas socioecológicos; 2) desarrollo y prueba de indicadores cuantitativos y cualitativos posibles de comparación, y 3) comprensión espacio-temporal de los principales procesos de cambio, objetivos, resultados esperados y metas de gobernanza logradas que se dirigen hacia el logro del desarrollo periurbano sustentable.

En este sentido, diferentes modelos conceptuales y metodológicos, para abordar tanto el estudio de las acciones locales en coordinación con los esfuerzos regionales, nacionales y mundiales a fin de resolver las barreras hacia el desarrollo sustentable de los territorios urbanos, han intentado armonizar indicadores de desempeño socioambiental con el estudio y la investigación respecto a la gobernanza, el diseño ambiental urbano y planeación, y el manejo de sistemas socioecológicos, incluyendo consideraciones sobre capacidad adaptativa y fortalecimiento de la resiliencia periurbana (Torres y Cedeño, 2013).

En términos de procedimientos de investigación, son relevantes las técnicas e instrumentos de recolección, tratamiento, análisis, síntesis e interpretación de datos cuantitativos (indicadores) y cualitativos (provenientes de encuestas, entrevistas, grupos focales, análisis del discurso) a fin de contar con criterios de pertinencia, oportunidad, congruencia y calidad. Ante la imposibilidad de medir todos los aspectos deseados con una misma unidad de medida (tipo valor monetario), y en virtud de que la capacidad adaptativa es un concepto el cual no es fácilmente medible o cuantificable debido a que los conceptos dinámicos en los cuales se basa no son expresados o interpretados con simples tipos de indicadores métricos, en la misma forma como las tasas de crecimiento poblacional o cobertura del suelo (O'Connell *et al.*, 2015), es necesario entonces el diseño analítico de indicadores parciales. Estos indicadores deben referir atributos o propiedades que se pueden integrar en un índice y que ofrezcan una comprensión sintética, especialmente en materia de logros y avances como parte de una trayectoria específica de la gobernanza socioambiental, principalmente desde lo local que se articule a los objetivos y metas de programas y políticas regionales, bajo enfoques multidisciplinarios y multicriterios. Por tanto, aunque es deseable contar con un sistema de referencia o con ejemplos comparativos donde se lleguen a utilizar los indicadores de la capacidad adaptativa, al igual que para la sustentabilidad (López-Ridaura *et al.*, 2002), el mejor uso de éstos radica en reportar el estatus que guarda la capacidad adaptativa en el tiempo (longitudinal), es decir, la evolución del sistema socioecológico perirubano frente a los impactos del cambio climático.

Esencialmente, el enfoque metodológico que se basa en una filosofía de participación promueve la inclusión de indicadores cualitativos en la evaluación. Esta corriente enfatiza la importancia de entender el contexto de evaluación con el objeto de hacer un análisis en función de los objetivos y prioridades de los actores, argumentando que la sustentabilidad es un prerrequisito de la política ambiental y, por ende, su diseño e implementación debe ser un proceso continuo de aprendizaje

entre ellos (Reed *et al.*, 2006). Especialmente, es importante el método Participativo y Basado en Actores (Pahl-Wostl, 2002), con énfasis en la coproducción de conocimiento con los actores locales, que ayuda a descubrir nuevas perspectivas en relación a las situaciones particulares y asegura que todos los valores de los diferentes actores sean considerados en el monitoreo del progreso de la ejecución de la gobernanza ambiental (Stagl, 2006).

En términos de una comparación respecto a los procesos de cambio que se dirigen hacia la sustentabilidad urbana frente a los impactos del cambio climático, la definición de geografías periurbanas se lleva a cabo mediante criterios de selección que refieren al desempeño de los propios sistemas socioecológicos de manera integrada, por ejemplo, de la agricultura periurbana. Lo anterior implica los siguientes pasos: 1) definir y evaluar el contexto histórico y actual de los casos de estudio, a manera de líneas base de sistemas socioecológicos; 2) desarrollo y prueba de indicadores cuantitativos y cualitativos posibles de comparación, incluyendo estrategias de monitoreo y seguimiento, y 3) comprensión espacio-temporal de los principales procesos de cambio, objetivos, resultados esperados y metas de gobernanza alcanzadas que se dirigen hacia el logro del desarrollo urbano sustentable ante el cambio climático. Para ello, se debe recuperar el diseño y desarrollo de cada región periurbana en función de su evolución reciente, así como incorporar la perspectiva local de sustentabilidad de cada espacio geográfico (demografía, características biogeofísicas, aspectos político-administrativos, nivel de desarrollo, entre otros). Por ello, se sugiere que los proyectos de investigación deben identificar tres grandes áreas temáticas y etapas metodológicas transversales bajo un enfoque integrado multiescala y multitemporal de objetivos y procesos hacia la sustentabilidad periurbana. Las áreas incluyen: 1) Diagnóstico y evaluación del impacto de los cambios bioclimáticos y socioterritoriales, así como de tendencias y escenarios que afectan las trayectorias hacia la sustentabilidad de los sistemas socioecológicos periurbanos; 2) Gobernanza/capacidad insti-

tucional, y 3) Gestión ambiental, en términos de la eficiencia del uso de recursos naturales-periurbanos y el desacoplamiento con las actividades económicas propiamente urbanas (el estudio de los nexos entre energía, uso y manejo de agua, manejo de desperdicios, seguridad alimentaria y agricultura periurbana). Estas tres categorías permiten examinar la diversidad urbana de manera sistemática comparativamente en las áreas periurbanas bajo estudio, así como involucra el análisis de las oportunidades de sustentabilidad, ya sea en función de sus posibles impactos y las acciones preventivas, específicamente frente a los procesos relacionados al cambio climático.

Finalmente, se puede resumir que, con respecto al estudio de la capacidad adaptativa de actores locales al cambio climático en geografías periurbanas en Latinoamérica, los procesos que conducen a este tipo de capacidad ocurren en diferentes escalas y paisajes, con sus determinantes de cambio locales en los sistemas socioecológicos periurbanos. A fin de abordarse desde la perspectiva de una gobernanza socioambiental adaptativa, se puede proponer: 1) incluir a todos los actores y tomadores de decisiones; 2) crear procesos para el seguimiento y el aprendizaje social a través de fuentes locales, científicas y políticas de producción de conocimiento, y 3) mantener redes de colaboración de los diferentes actores de la gobernanza y el fortalecimiento de la capacidad adaptativa a través de escalas geográficas. Por todo esto, es relevante estudiar el cambio dinámico de estos paisajes geográficos y la importancia de los marcos de gobierno en la gestión de los espacios periurbanos, así como la estructura de la autoridad y la responsabilidad bajo diferentes escalas.

BIBLIOGRAFÍA

- Adger, W. y A. Jordania (Eds.), 2009, *Governing sustainability*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Archer, D. *et al.*, 2014, "Moving towards inclusive urban adaptation: approaches to integrating community-based adaptation to climate change at city and national scale", en *Climate and Development*, 6(4): 345-356.
- Berman, R. *et al.*, 2012, "The role of institutions in the transformation of coping capacity to sustainable adaptive capacity", en *Environmental Development*, 2: 86-100.
- Born, B. y M. Purcell, 2006, "Avoiding the local trap. Scale and food systems in planning research", en *Journal of Planning Education and Research*, 26: 195-207.
- Cardona, D. *et al.*, 2012, "Determinants of risk: exposure and vulnerability", en Field, B. *et al.* (Eds.), *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, y NY, EEUU.
- Cash, D. *et al.*, 2006, "Scale and cross-scale dynamics: Governance and information in a multilevel world", en *Ecology and Society*, 11(2).
- CEPAL, 2009, *La economía del cambio climático para América Latina y el Caribe*, CEPAL, Santiago de Chile.
- Eakin, H. *et al.*, 2014, "Differentiating capacities as a means to sustainable climate change", en *Global Environmental Change*, 27: 1-8.
- Ellis, F., 2000, *Rural livelihoods and diversity in developing countries*, Oxford University Press.
- Engle, N., 2011, "Adaptive capacity and its assessment", en *Global Environ. Change*, 21: 647-656.
- Ernstson, H. *et al.*, 2010, "Urban transitions: On urban resilience and human-dominated ecosystems", en *Ambio*, 39(8): 531-545.

- Ginnetti, J., 2015, *Disaster-related displacement risk: measuring the risk and addressing its drivers*, IDMC (Internal Displacement Monitoring Centre), Suiza.
- Hills, T. *et al.*, 2015, *A monitoring instrument for resilience*, CCAFS Working Paper núm. 96, CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS), Dinamarca.
- Inter-American Development Bank (IDB), 2011, *Urban sustainability in Latin America and the Caribbean*, Washington, EEUU.
- International Institute for Sustainable Development (IISD), "Summary of the UNCSO (Rio+20) Regional Preparatory Meeting for Latin America and the Caribbean: 7-9 September 2011", en *Earth Negotiations Bulletin* 2011, núm. 27(7).
- Jones, L. *et al.*, 2010, *Towards a characterization of adaptive capacity: a framework for analyzing adaptive capacity at the local level*, Overseas Development Institute, UK.
- Klenk, N. *et al.*, 2015, "Stakeholders in climate science: Beyond lip service", en *Science*, 350(6262): 743-744.
- López, S. *et al.*, 2010, "Evaluating the sustainability of complex socio-environmental systems. The MESMIS framework", en *Ecological Indicators*, 2: 135-148.
- McGregor, I., 2013, "Misconceptions or misunderstandings? On the standardization of basic terms and definitions in urban ecology", en *Landscape and Urban Planning*, 100(4): 347-349.
- Minuccie, G., 2012, "Urban-rural resilience: insights from the Southern Bolivian Altiplano", en Chelleri, L. y M. Olazabal, *Multidisciplinary perspectives on urban resilience*, BC3, Basque Centre for Climate Change, Bilbao.
- Moser, C. *et al.*, 2010, *Pro-Poor adaptation to climate change in urban centers: Case studies of vulnerability and resilience in Kenya and Nicaragua*, The World Bank, Washington.
- Nelson, D. *et al.*, 2007, "Adaptation to environmental change: contributions of a resilience framework", en *Annual Review of Environment and Resources*, 32: 395-419.

- O'Connell, D. *et al.*, 2015, *The resilience, adaptation and transformation assessment framework: from theory to application*, CSIRO, Australia.
- Pahl, C., 2002, "Participative and stakeholder-based policy design, evaluation and modeling processes", en *Integrated assessment*, 3(1): 3-14.
- Reed, M. *et al.*, 2006, "An adaptive learning process for developing and applying sustainability indicators with local communities", en *Ecol. Econ.*, 59: 406-418.
- Reed, M. y L. Stringer, 2015, *Climate change and desertification: Anticipating, assessing and adapting to future change in drylands*, Impulse report to the 3rd UNCCD Scientific Conference, 9-12 marzo, Cancún, México.
- Rodgers, D. *et al.*, 2011, *Latin American urban development into the 21st century. Towards a renewed perspective on the city*, Working Paper Núm. 2011/05, World Institute for Development Economics Research. (UNU-WIDER), United Nations University, Finlandia.
- Romero, P. *et al.*, 2014, "Scale, urban risk and adaptation capacity in neighborhoods of Latin American cities", en *Habitat International*, 42: 224-235.
- SBC-EI, 2015, *Climate change factbook*, SBC Energy Institute, The Netherlands.
- Scoones, I., 1998, *Sustainable rural livelihoods: A framework for analysis*, IDS Working Paper Núm. 72, Inglaterra.
- Stagl, S., 2006, "Multicriteria evaluation and public participation: the case of UK energy policy", en *Land Use Pol.*, 23(1): 53-62.
- Thulstrup, A., 2015, "Livelihood resilience and adaptive capacity: Tracking changes in household access to capital in central Vietnam", en *World Development*, 74: 352-362.
- Torres, P. y A. Cedeño, 2013, "Habitabilidad regional y resiliencia urbana bajo el marco de la planeación", en Villasís, R. (coord.), *Morfologías urbanas, habitabilidad y violencia en las ciudades. Casos de México y Colombia*, UNESCO-Universidad Autónoma de San Luis Potosí-RNIU, México.
- Walker, B. *et al.*, 2004, "Resilience, adaptability, and transformability in social-ecological systems", en *Ecology and Society*, 9 (2), en www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5/.

El hombre de hierro. Límites sociales y naturales del capital en la perspectiva de la gran crisis¹

Tamara Perelmuter²

En 2008, cuando Armando Bartra concluyó la primera versión de este libro, denominada en aquel entonces *El hombre de hierro. Los límites sociales y naturales del capital*, una nueva crisis del capitalismo global asomaba, pero, como ya ha sido ampliamente discutido, no se trataba solamente de una crisis económica coyuntural. Será por este motivo, que cinco años después decidió actualizarlo. En esta segunda edición se añaden tres nuevos capítulos, en los que el autor precisa su perspectiva teórica y actualiza su caracterización de la crisis actual y de las alternativas políticas que ésta exige.

El autor –sociólogo e investigador; doctor Honoris Causa por la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina y director del Instituto de Estudios para el Desarrollo Rural Maya– es especialista en temas como la historia de México, la cultura y el campo, y autor de una gran cantidad de textos que dan cuenta no sólo del profundo conocimiento que tiene por la temática, sino, sobre todo, de la pasión que lo guía a estudiarla; entre los que se encuentran: *Cosechas de ira: economía política de la contrarreforma agraria* (2003); *El capital en su laberinto. De la renta de la tierra a la*

¹ Armando Bartra, Editorial Ítaca/UACM/UAM, México, 2014, segunda edición aumentada.

² Licenciada en Ciencia Política, Becaria Conicet, Instituto de Investigaciones Gino Germani (IIGG)-UBA, e-mail: tamiperelmuter@gmail.com

renta de la vida (2006); *Tomarse la libertad. La dialéctica en cuestión* (2009); *La utopía posible. México en vilo: de la crisis del autoritarismo a la crisis de la democracia* (2000-2008) (2010), y *Tiempo de mitos y carnaval. Indios, campesinos, revoluciones. De Felipe Carrillo Puerto a Evo Morales* (2011).

Con relación al libro en cuestión, si bien no lo hace explícito, no dudaríamos en afirmar que se enmarca dentro de la Ecología Política, un novedoso paradigma epistemológico y metodológico en los estudios rurales, crítico con los paradigmas de la modernidad y la fe puesta en el progreso; un campo teórico-práctico en conformación, que se interroga sobre las luchas y relaciones de poder que se juegan en la definición de los territorios y en la distribución de los bienes comunes naturales (Alimonda, 2006; Leff, 2006; Escobar, 2011).

Es importante destacar que, no sólo por las citas textuales, sino por la metodología y las categorías empleadas, se nota una cuidadosa lectura de Marx y sus seguidores antiguos y contemporáneos. Es por esto que en “Tiempo de carnaval”, su primer capítulo, Bartra realiza un agudo recuento de los que considera los “pendientes del pensamiento marxista”, y lo hace posicionándose dentro de esta corriente, “con el ánimo carnavalesco de quien sepulta muertos para abrirle cancha a los vivos” (Bartra, 2014: 22). Otro aspecto que se evidencia, es que no sólo ha leído a Marx, sino que bien podemos decir que se trata de un hombre que visita con frecuencia tanto los campos de la sociología, como los de la filosofía, la ciencia política, la economía, hasta la literatura o la cultura popular. Y lo hace con un estilo poco solemne, con toques de humor en su escritura, que no significan, sin embargo, que le falte rigor, ni que esté ausente de planteamientos, más bien todo lo contrario.

En el segundo capítulo, “Del luddismo utópico al luddismo científico”, nos presenta al protagonista, quien le da nombre al libro, el hombre de hierro, “(...) el monstruo frío, el autómatas animado que en los tiempos del gran dinero se cierne sobre la producción y el consumo, sobre la vida pública y la privada, sobre la vigilia y el sueño” (Bartra, 2014: 22). En esto, retoma al propio Marx, quien utiliza esta metáfora

para referirse a la dominación del trabajador por la máquina y, por extensión, a la configuración material que adopta la opresión capitalista.

Marx en "La tecnología del capital. Subsunción formal y subsunción real del proceso de trabajo al proceso de valorización" (extracto del manuscrito 1861-63) (2005) describe el luddismo –aquel movimiento contra los despidos y los bajos salarios ocasionados por la introducción de las máquinas– como una lucha precursora contra la "fuerza productiva" específica del capitalismo, "la primera declaración de guerra contra el medio de producción y el modo de producción desarrollados por la producción capitalista" (Marx, 2005: 50). De esta manera, el capitalismo confina una bomba de tiempo en sus entrañas: el trabajo muerto en oposición al trabajo vivo; que no es otra cosa, que el hombre de hierro en oposición al hombre de carne y hueso, o sea el proletariado.

De esta manera, Bartra realiza una aguda crítica a la ciencia y la tecnología, repitiendo una y otra vez que nos son neutrales:

Las máquinas tal como nosotros las conocemos, son el fruto de una tecnología (y seguramente también de una ciencia) que ha sido pensada toda ella sobre la base del presupuesto del trabajo enajenado. En una situación diferente, la transformación debería interesar al mismo proceso de conocimiento y de realización tecnológica en cuyo término se encuentra la máquina.

(Napoleoni, 1976: 117, en Bartra, 2014).

Será por eso, que el cierre de este capítulo es contundente al expresar que para cambiar el sistema, para acabar con el conflicto entre hombre de hierro y hombre de carne y hueso, no es suficiente que la tecnología cambie de manos y de propósitos ("expropiar los expropiadores"), sino que es imprescindible transformar el proceso de trabajo mismo y producir otras máquinas a partir de otros conocimientos y para otra producción (Bartra, 2014: 112).

En el capítulo que sigue, "El reino de la uniformidad", Bartra profundiza sobre la discusión en torno a la relación entre la ciencia moderna

y el capitalismo (o el “sistema del mercantilismo absoluto”, en términos del autor). En esta oportunidad, el eje está puesto en la obsesión del sistema por la uniformidad. En sus propias palabras: “(...) el emparejamiento del hombre y la naturaleza por obra de la libre competencia más desmecatada nos tiene al borde de la extinción como especie. Sin exculpar a las relaciones de propiedad y de producción, enfatizo aquí la responsabilidad del modo material de producir y de consumir, y también de una ciencia y una tecnología que, lejos de ser neutrales, desde fines del siglo XVIII interiorizaron la racionalidad capitalista” (Bartra, 2014: 22).

De esta manera, profundiza en lo que James O’Connor (2001) había denominado una exacerbación de la “segunda contradicción del capitalismo”, materializada entre el capital y la naturaleza, en la medida en que el primero tiende a autodestruir sus condiciones de producción (entre ellas el entorno natural). En términos de otro autor marxista, la auto-valorización del capital, en una escala de producción y reproducción cada vez más amplia, no reconoce límites externos, de modo que “la contradicción entre una naturaleza limitada conviviendo con necesidades ilimitadas y la ilimitada acumulación de capital es intrínseca al capitalismo” (Altwater, 2009: 8). Se trata entonces, de la apropiación y uso destructivo que hace el capitalismo de la fuerza de trabajo, del espacio y de la naturaleza externa o del ambiente. Vale aclarar, que no es que antes esta contradicción no existiera, existe, nos va a remarcar Bartra, desde el origen mismo del capitalismo, sin embargo, aparece con más intensidad debido al carácter global, internacional y complejo con que se manifiesta hoy la destrucción ambiental.

“Perversiones rústicas” es, desde mi punto de vista, el capítulo nodal del libro. Centrado en analizar qué ocurre en los mundos rurales con el avance de “(...) el mar de mercancías que es el reino del gran dinero (...)”, enfatizando también en qué ocurre con el “(...) hombre y la naturaleza, dos entidades rebeldes a las que se puede poner precio pero cuya reproducción escapa al círculo vicioso de la valorización del valor” (Bartra, 2014: 22).

Tal como remarca el autor (2014)

...el capitalismo es industrial por antonomasia, pues la fábrica es propicia a la uniformidad tecnológica y la serialidad humana. La agricultura, en cambio, es el reino de la diversidad: heterogeneidad de climas, altitudes, relieves, hidrografías, suelos, especies biológicas, ecosistemas y paisajes, que históricamente se ha expresado en diversidad de frutos y prácticas productivas..." (2014: 119).

Es por esta razón que la agricultura siempre fue considerada "... una producción incómoda para el gran dinero" (Bartra, 2014: 130). La heterogeneidad agraria es perversa para la economía capitalista, razón por la cual, desde sus orígenes, el capitalismo hizo todos los intentos posibles por subordinarla a los procesos industriales, una forma de hacerla más controlable.

Ese gran sueño tuvo su inicio de consumación a principio del siglo xx cuando, a partir de la llegada de las semillas híbridas, comenzó a revertirse el proceso de manejo de la propia semilla por parte del agricultor.³ Si bien, históricamente los productores realizaban la selección de los mejores individuos de cada especie para cruzar o promover adelantos paulatinos en su producción, ahora las semillas compradas ya incorporaban el material genético para su óptimo crecimiento. Se trató de un eslabón fundamental en el incipiente nacimiento de las grandes compañías de semillas. Este proceso que se consolidó a mediados de dicho siglo con la implementación de la Revolución Verde en los países del

³ Se trata de un proceso de cruzamiento entre dos individuos de diferentes especies, técnica que rompe la identidad esencial de tipo genético entre la semilla –medio de producción– y el grano de consumo final, de forma tal que el rendimiento decae sustancialmente en la segunda generación de la planta obtenida a partir de semillas híbridas. De esta manera, el grano producido a partir de un material híbrido no conserva sus características productivas y, por tanto, no puede ser utilizado como semilla en la campaña siguiente.

sur, fue la implementación de nuevas relaciones de producción agrarias como correlato de las formas de producción fordistas desarrolladas en las fábricas (Brand, 2005). Significó, entre otras cosas, un cambio cualitativo y cuantitativo en el uso de insumos externos, donde el agro comenzó a ser invadido por nuevas tecnologías de mecanización, agroquímicos, semillas mejoradas y renovadas técnicas de irrigación, conformando el “paquete tecnológico”. En ese sentido, Bartra (2014: 136) será categórico:

La tecnología se impone por completo sobre el agricultor y el campesino deja de usar el ‘paquete tecnológico’ para ser usado por él. Con ello se invierte también su relación con la ciencia impresa en la tecnología pues la química y la genética en que se basan los nuevos recursos no son conocimiento sobre los ecosistemas –como el de los agricultores– sino sobre sus componentes simples. Y cuando el labrador es un campesino el resultado de esta inversión es que ya no sólo trabaja para el capital, sino que es obligado a trabajar como el capital, en un comportamiento contra natura que con frecuencia lo lleva a la ruina.

Ahora bien, este modelo productivo sólo logró consolidarse con la aparición de la biotecnología, que cobró en las regiones agrarias gran relevancia con la aparición de las semillas transgénicas, que comenzaron a ser comercializadas junto con productos químicos, a los que son inmunes, y maquinarias para la siembra directa, conformando un nuevo paquete, ahora biotecnológico, cuya potencia está justamente en la utilización conjunta. De esta manera, el mercado de semillas se ha conformado como un espacio sumamente atrayente para los grandes capitales, ya que “(...)las semillas son el primer eslabón de la cadena alimentaria. Quien controle las semillas, controlará la disponibilidad de alimentos” (Ribeiro, 2002:114).⁴

⁴ En la actualidad, 10 empresas manejan 73% del mercado mundial de semillas. Las principales empresas que concentran este mercado son Monsanto, EEUU; Du Pont / Pioneer, EEUU; Syngenta, Suiza; y Limagrain, Francia (ETC, 2011). Estas mismas empresas controlan 100% de las semillas transgénicas (Shiva, 2003).

A partir del uso de las tecnologías biológicas el ser humano ha modificado de manera radical su relación con la reproducción de las especies, creando mecanismos legales para consolidar la naturaleza como una mercancía, un ente cosificado, convertido enteramente en materia prima con el fin de ser explotada y revalorizada (Leff, 2002). En el ámbito jurídico, esta expansión sin precedentes de las relaciones económicas ha llevado, necesariamente, a una ampliación de la esfera de los bienes apropiables. Tanto las semillas como los saberes de las comunidades y pueblos ancestrales son también transformados en mercancías. Mediante un esfuerzo teórico y legislativo de adaptación, el sistema jurídico es reconfigurado para que esas mercancías se conviertan en bienes jurídicos susceptibles de regulación según el sistema de propiedad.

Tal como ya remarcaba Bartra en un texto que publicó en el año 2001:

Si en los siglos XVIII, XIX y XX un gran conflicto fue el destino de la renta capitalista de la tierra y de los bienes del subsuelo, a fines del siglo pasado y en el presente, la rebatiga es por la renta de vida. Y en las dos épocas los grandes perdedores son las comunidades campesinas e indígenas (...) Si el monopolio sobre la tierra y sus cosechas dio lugar a rentas colosales generadas especulando con el hambre, la usurpación de la clave genética de la vida en una fuente aún más grande de poder económico, pues pone en manos privadas la alimentación, la salud y cerca de la mitad de los procesos productivos" (Bartra, 2001: 20-2. El subrayado es nuestro).

Con mucha claridad, el argumento continúa en el capítulo siguiente, donde el autor cuestiona, en nombre de la "economía moral", el mito de la regulación automática de la producción por el mercado. Aquí retoma a otro gran analista de nuestro tiempo, el húngaro-estadounidense Karl Polanyi, quien utilizó la noción de "mercancías ficticias" para explicar qué ocurre con la tierra, el trabajo y el dinero en la "sociedad de mercado". De acuerdo con este autor, ninguno de estos elementos son estrictamente mercancías, ya que no son producto del trabajo humano ni

fueron producidos originariamente para la venta en el mercado. Es obvio que la tierra, como parte del planeta, no ha sido producida por los seres humanos, y mucho menos para su venta; la llamada fuerza de trabajo, enfatiza el autor, es sólo otro nombre para referirse a los seres humanos, y de hecho constituye una parte de su existencia. Sin embargo ningún ser humano ha salido de una fábrica para ser vendido en el mercado. No obstante, es con ayuda de esta ficción que los mercados reales de trabajo, tierra y dinero han sido organizados en la economía mercantil.

Ahora bien (...), si se permitiese que el mercado fuese el único director del destino de los seres humanos y de su entorno natural (...) se demolería la sociedad (...), la naturaleza quedaría reducida a sus elementos (...), los paisajes se ensuciarían, los ríos se contaminarían (...), se destruiría el poder de producción de alimentos y materias primas” (Polanyi, 2007: 122-124).

Para Bartra, fiel a su estilo optimista, “La saga del capitalismo es la saga del mercantilismo y de la resistencia al mercantilismo. El veneno produce su antídoto” (Bartra, 2014: 156), por esto, los dos capítulos que siguen, “Dentro y fuera” y “La conspiración de los diferentes”, están dedicados a las grietas del sistema, a las resistencias de “los hombres de carne y hueso”. En ellos, elabora la idea de la necesidad de construir una “(...) izquierda de izquierdas; zurda ecuménica dotada de un incluyente proyecto alternativo que trascienda los particularismos sin avasallarlos” (Bartra, 2014: 23), integrada por la tradicional clase subalterna (el proletariado fabril), pero, sobre todo, incorporando a indígenas y campesinos, sujeto social al que Bartra presta particular atención a lo largo de toda su producción teórica y, en especial, en su práctica política.

Los capítulos finales fueron incorporados en la segunda edición, y están orientados a desentrañar lo que varios autores han denominado *crisis civilizatoria*, y que Bartra denomina *Gran Crisis*. “El hilo conductor es aquí la convicción de que la crisis es una y, directa o indirectamente,

sus múltiples facetas apuntan todas a la erosión de las condiciones naturales y sociales que hacen posible la vida humana" (Bartra, 2014: 23).

Para analizar este proceso es necesario remontarse hacia fines de los años sesenta cuando comenzaron a tornarse evidentes los límites que planteaba la forma fordista de producción, basada en la producción en masa, el uso indiscriminado del espacio, la infraestructura urbana y la naturaleza (O Connor, 2001), y la exacerbación del consumo. Para ese mismo momento, y como reflejo de la irracionalidad ecológica de los patrones dominantes de producción y consumo, sustentados por la industrialización y otras formas de producción de los tiempos modernos, comenzó a hacerse visible lo que luego se denominará crisis ambiental o crisis ecológica. Tal como la entiende Leff (2002), no se trata meramente de una catástrofe ecológica ni de caprichos de la naturaleza (inundaciones, sismos, huracanes), sino que refiere a una verdadera *crisis de civilización*, efecto de cómo fue construido el mundo tras la modernidad bajo el dominio tecnológico por sobre la naturaleza. De alguna manera, esta crisis puso de "(...) manifiesto los desajustes entre la conformación ecosistémica del planeta y el modo de apropiación capitalista de la naturaleza" (Leff, 2002: 313).

Recuperando la histórica consigna del Mayo Francés: "Seamos realistas, pidamos lo imposible", el libro termina destacando la importancia de los estudiantes como sujetos dinámicos y contestatarios, protagonistas de las movilizaciones de los últimos tiempos. Y para el caso mexicano, el ejemplo es el movimiento estudiantil #YoSoy132, que tomó forma de multitudinarias movilizaciones, una acción no partidista, pero claramente política en repudio a Enrique Peña Nieto, entonces candidato del PRI a la Presidencia de la República.

Entre sus propuestas, hay una que llama la atención: "carnavalizar la política", y en este punto sus palabras son elocuentes:

Quizá porque la historia de nuestros pueblos está tachonada de matanzas, quizá porque aquí los movimientos contestatarios suelen terminar en cruentas represiones, quizá porque muchos de nuestros líderes sociales terminaron

mueritos o encarcelados, en los países orilleros tenemos una visión necrológica y panteonera de la rebeldía social, y con frecuencia olvidamos su lado jubiloso, festivo, lúdico, carnavalesco. Por suerte los jóvenes del mundo que están saliendo a las calles a bailar y cantar su indignación nos recuerdan que, (...) como escribió Alexander Ivánovich Herzen en el siglo XIX: 'la risa es revolucionaria'".

A lo largo del recorrido que realiza Armando Bartra y que aquí intentamos reflejar, surge la pregunta acerca de si estamos derrotados, sin embargo, nuevamente aparece con énfasis su optimismo: "(...) el hombre y la naturaleza serán el muro insalvable con que en definitiva se tope el hombre de hierro, un límite que no puede trascender sin destruirnos a todos y a sí mismo, una cota que no le dejaremos cruzar simplemente porque en ello nos va la vida" (Bartra, 2014: xx).

BIBLIOGRAFÍA

- Alimonda, H., 2006, "Una nueva herencia en Comala (apuntes sobre la ecología política latinoamericana y la tradición marxista)", en Alimonda, H. (comp.), *Los Tormentos de la Materia, Apuntes para una Ecología Política Latinoamericana*, CLACSO, Buenos Aires.
- Altvater, E., 2009, "La Ecología desde una óptica marxista", en el curso *Ecología política en el capitalismo contemporáneo*, Programa Latinoamericano de Educación a Distancia, Centro Cultural de la Cooperación Floreal Gorini, Buenos Aires.
- Bartra, A., 2001, "La renta de la vida", en *Biopiratería y Bioprospección en Cuadernos Agrarios*, Nueva época, Núm. 21, CECCAM, México.
- Bartra, A., 2008, *El hombre de hierro. Los límites sociales y naturales del capital*, Editorial Itaca, México, DF.
- Brand, U., 2005, "El orden agrícola mundial y la sustentabilidad tecnológica", en *¿Un mundo patentado? La privatización de la vida y del conocimiento*, Fundación Henrich Boll, Buenos Aires.

- Escobar, A., 2011, "Ecología Política de la globalidad y la diferencia", en Alimonda, H. (comp.), *La colonización de la naturaleza*, Colección Grupos de Trabajo, CLACSO, Buenos Aires.
- ETC grupo, 2011, "¿Quién controlará la economía verde? Nuevo reporte sobre la concentración corporativa en las industrias de la vida" en *Communique*.
- Leff, E., 2002, *Saber Ambiental. Sustentabilidad, racionalidad, complejidad, poder*, Siglo XXI, México.
- Leff, E., 2006, "La ecología política en América Latina: un campo en construcción", en Alimonda, H. (comp.), *Los Tormentos de la Materia, Aportes para una Ecología Política Latinoamericana*, CLACSO, Buenos Aires.
- Marx, K., 2005, "La tecnología del capital. Subsunción formal y subsunción real del proceso de trabajo al proceso de valorización", (extracto del manuscrito 1861-63), selección y traducción de Bolívar Echeverría, Ítaca, México.
- O' Connor, J., 2001, "¿Es posible el capitalismo sostenible?", en Alimonda, H. (comp.), *Ecología Política. Naturaleza, Sociedad y Utopía*, CLACSO, Buenos Aires.
- Polanyi, C., 2007 [1957], *La gran transformación. Los orígenes políticos y económicos de nuestro tiempo*, Fondo de Cultura Económica, Buenos Aires.
- Ribeiro, S., 2002, "El poder corporativo y las nuevas generaciones de transgénicos", en Heineke, C. (comp.), *La vida en venta: transgénicos, patentes y biodiversidad*, Ediciones Boll, México.
- Shiva, V., 2003 [2000], *Cosecha robada. El secuestro del suministro mundial de alimentos*, Paidós, Buenos Aires.

Guía para autores ¹

Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente

Tipo de contribución

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

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

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

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

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

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

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

Presentación de textos

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

Los trabajos para consideración pueden ser enviados de dos formas:

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

Adolfo Álvarez Macías

Director Editorial

Revista *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*

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

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

Tel: 5483-7230 y 31

Archivo electrónico

Se enviará el trabajo en dos archivos adjuntos. El primero incluirá el texto completo; el segundo, en caso de existir, las gráficas, tablas o figuras. El documento deberá tener los cuatro márgenes de 2.5 centímetros y nume-

rarse de manera continua todos los renglones. El tipo de letra será Arial, tamaño 12 puntos a espacio de 1.5 de interlínea. Las cuartillas deberán estar numeradas.

Documento impreso

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

Preparación y consideraciones generales para el manuscrito

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

- Resultados.
- Discusión.
- Conclusión.
- Agradecimientos y reconocimientos.
- Referencias.
- Cuadros.
- Mapas o anexos diversos.

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

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

Resumen

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

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

Cuadros

1. El autor deberá tener en cuenta las limitaciones en tamaño y presentación de la revista. Deberán evitarse cuadros largos, y exceder las dimensiones de una cuartilla (21 x 27,9 centímetros). El cambiar columnas y renglones puede reducir la dimensión del cuadro.
2. Los cuadros se enumeran de acuerdo a su secuencia en el texto y en números arábigos. El texto debe incluir la fuente de todos los cuadros.
3. Cada cuadro estará impreso en una cuartilla separada del texto.
4. Cada cuadro debe tener un título corto y autoexplicativo. El tipo de

- letra deberá ser el mismo que el utilizado en el texto (arial, 12 pts.) y colocarse al centro y arriba.
5. Los cuadros elaborados deberán ser propios con base en la información generada por los (as) autores (as). Si llegasen a utilizar información secundaria, deberá darse el crédito correspondiente a la fuente utilizada.

Ilustraciones

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

Referencias

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

2. Dentro del texto, al referirse a un autor (as, es) deberá hacerse sin inicial seguido del año de publicación y, de ser necesario, por una referencia corta sobre las páginas. Ejemplo: “Desde que Martínez (2007) demostró que...”, “Esto coincide con resultados posteriores (Sánchez, 2009: 20-21)”.
3. Si la referencia que se indica en el texto es escrita por más de dos autores, el nombre del primer autor será seguido por “et al.” o “y colaboradores”. Esta indicación, sin embargo, no deberá ser usada en la lista de referencias ni en itálicas.
4. La lista de referencias deberá indicarse en orden de acuerdo al apellido de el (as, os) autor (as, es), y cronológicamente por autor.
5. Usar el siguiente sistema para indicar las referencias:

a. De publicación periódica

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

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

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

c. De libros

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

d. De un capítulo en libro

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

e. De tesis

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

f. De referencias de sitios

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

g. De artículos de publicaciones periódicas en bases de datos

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

Para otros ver detalles en página web de la revista.

Fórmulas

1. Las fórmulas deberán ser escritas de acuerdo a los estándares de la revista. Dejar un espacio amplio alrededor de las fórmulas.
2. Los subíndices y superíndices deberán ser claros.
3. Los caracteres griegos y otros no latinos o símbolos escritos a mano deberán ser explicados e indicar su significado al margen de la página en donde aparecen por primera vez. Tener especial cuidado para mostrar claramente la diferencia entre un cero (0) y el caracter O y entre el 1 y el caracter I.
4. Para indicar fracciones simples, utilizar la diagonal (/) en lugar de una línea horizontal.

5. Enumerar, en paréntesis, las ecuaciones a la derecha. En general, sólo las ecuaciones explícitamente referidas en el texto, necesitan ser numeradas.
6. Se recomienda el uso de fracciones en lugar de signos de raíz.
7. Los niveles de significancia estadística que son mencionados sin más explicación son $P < 0.05 = *$, $P < 0.01 = **$ y $P < 0.001 = ***$
8. En las fórmulas químicas, las valencias de los iones deberán indicarse, por ejemplo, como Ca^{2+} y no como Ca^{++} .

Pie de página

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

Nomenclatura

1. Los autores y editores aceptarán las normas de nomenclatura biológica vigente.
2. Todos los seres vivos (cultivos, plantas, insectos, aves, mamíferos, etc.) deberán ser identificados por sus nombres científicos, con excepción del nombre común de animales domésticos.
3. Todos los seres vivos y otros compuestos orgánicos deberán ser identificados por sus nombres genéricos cuando son mencionados por primera vez en el texto. Los ingredientes activos de todas las formulaciones deberán ser igualmente identificadas.

Derechos de autor

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

Criterios de ditaminación y pruebas del formato del trabajo

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

Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente.

Revista electrónica

Se terminó de formar en junio de 2015