



Café: Banco de imágenes, Corabio (Foto: Christian Dreckman)



SECCIÓN VI

Transformar las amenazas en oportunidades para la conservación de la biodiversidad

RESUMEN EJECUTIVO

Eugenia J. Olguín

Esta sección compila cuatro capítulos que presentan estrategias diversas para transformar las amenazas a la biodiversidad en oportunidades para un uso sustentable de la misma. Se presenta el caso de los bosques de montaña, de las agroindustrias del azúcar, alcohol y café y, finalmente, el de los hongos.

Los bosques de montaña son los que aportan el 75 % de la producción forestal de Veracruz; dentro de este porcentaje, el 50 % de la producción proviene del género *Pinus*. La gran diversidad de especies forestales sigue siendo aún un potencial no suficientemente explorado. El capítulo dedicado a este tema indica que el pago por servicios ambientales, la certificación del manejo y del proceso de industrialización forestal en Veracruz, pueden contribuir a la conservación de la biodiversidad, lo cual se reflejaría, además, en una mejora de la calidad de vida de las comunidades que dependen directamente de tales ecosistemas. En Veracruz, existen experiencias positivas en el manejo sustentable de bosques, principalmente para la producción de

madera, con un compromiso evidente de conservación de la biodiversidad. El capítulo termina recomendando que, para tener una respuesta inmediata al problema del sector forestal en Veracruz, es necesario estrechar vínculos entre varios actores: los tres niveles de gobierno, los poseedores de los recursos forestales, el sector industrial, el académico y los consumidores. También enfatiza que la organización de las comunidades forestales ha demostrado ser una opción viable para el manejo forestal sustentable, la conservación de la biodiversidad y el desarrollo social.

Por otro lado, la preocupación a nivel internacional y nacional por promover una agroindustria de la caña de azúcar sustentable y en armonía con el medio ambiente, ha resultado en la promoción de varias estrategias, las cuales se presentan en el capítulo correspondiente. Entre ellas, la adopción de prácticas sustentables para el cultivo de la caña, la diversificación y generación de nuevos productos, la adopción de cambios en los procesos de producción

de azúcar y etanol, mediante prácticas de producción más limpias y el desarrollo y transferencia de biotecnologías ambientalmente pertinentes para el tratamiento y reciclaje de las aguas residuales. En relación con la diversificación de productos, se discute el uso de procesos biotecnológicos alternativos que permitan reutilizar subproductos y convertirlos en nuevos productos de mayor valor agregado. Con relación al reuso de las aguas residuales de la industria azucarera (tanto aguas de proceso como vînzas), se discuten las ventajas del uso de una tecnología de fitorremediación, capaz de remover materia orgánica, dando como resultado un agua residual con buenas características para poder ser reutilizada en el riego de la caña de azúcar. De esta forma, se fomenta el uso sustentable del agua y el reciclaje de nutrientes, permitiendo aumento en la productividad en el sector.

Dentro de la actividad agroindustrial, uno de los sectores económicos más importantes en el estado de Veracruz es la cafecultura, que ocupa el segundo lugar a nivel nacional. En el capítulo dedicado a esta agroindustria, se presentan una serie de estrategias para lograr cambios importantes, desde el cultivo hasta el procesamiento del café, tendientes a minimizar los impactos ambientales negativos y a transformar a la cafecultura en una actividad más armónica con el medio ambiente. Se recomienda la implementación de Programas de Desarrollo Regional para la cafecultura, que incluyan una serie de alternativas, tales como: *a)* pagos por servicios ambientales; *b)* promoción de café orgánico y café de sombra amigable con las aves; *c)* adopción de estrategias de producción más limpias que promuevan cambios en el beneficiado húmedo para lograr el ahorro y uso racional de agua, y *d)* adopción de

biotecnologías ambientalmente pertinentes. Dentro de estas últimas, destacan los sistemas integrales para el tratamiento de aguas residuales, combinando la digestión anaerobia y la fitorremediación y también los procesos desarrollados para el “compostaje acelerado” o para el vermicompostaje de pulpa de café, muy útiles en la producción de café orgánico. Se propone que la implementación de dichos programas coadyuven a mitigar la contaminación generada por este sector agroindustrial y a un desarrollo regional sustentable.

Finalmente, el último capítulo de esta sección se refiere a los hongos. Estos organismos, ocupan el segundo lugar en número de especies en la Tierra, después de los insectos, por lo que representan un importante papel en la conservación de la diversidad biológica. En el capítulo se propone un aprovechamiento adecuado de los recursos fúngicos en el estado de Veracruz, no sólo mediante la consideración de las propiedades nutrimentales de las especies comestibles, sino además, de la preservación de la diversidad existente y la promoción de su uso sustentable.

Adicionalmente, se presenta al cultivo de hongos comestibles como una alternativa viable para diversas regiones de Veracruz, debido a su clima, disponibilidad de materias primas y ubicación geográfica, con grandes perspectivas de incorporación a los mercados nacional e internacional. Esta actividad representa una tecnología que busca aumentar los ingresos económicos y diversificar el sector productivo, sin efectos negativos al ambiente, por lo que se espera que el sector financiero incremente y fortalezca los programas de extensión que apoyen esta industria.

Uso sustentable de los bosques de montaña: la meta



Lázaro R. Sánchez-Velásquez
María del Rosario Pineda-López
José Luis Zúñiga-González

INTRODUCCIÓN

La aportación del sector forestal al PIB del país ha sido alrededor del 1 %, en algunos casos muy por abajo de este porcentaje (Chapela y Mendoza, 1996; Aroche y Escalante, 2000). Pero también es cierto que la inversión en este sector es una de las más bajas, por ejemplo, el crédito a la silvicultura representa sólo 0.88 % de lo destinado al sector primario, y la industria forestal recibe 1.5 % de los recursos aplicados a la industria en general (CCMMS, 2006a). Veracruz no escapa a la problemática nacional del sector forestal, ya que siendo uno de los tres estados más biodiversos del país, está entre el segundo y tercer lugar con mayor tasa de deforestación del país (cifras preliminares del Inventario Forestal Nacional 2000, en Challenger s/a). Aunque Veracruz no ha contribuido significativamente a la producción forestal nacional, el manejo y conservación de sus bosques es fundamental para mantener la calidad de los servicios ambientales, por ejemplo el agua (Manson *et al.*, 2008). Además, por

su gran biodiversidad, es y puede seguir siendo fuente potencial de recursos genéticos forestales para el país, debido a la gran cantidad de especies multiusos que habitan en el suelo veracruzano (Benítez Badillo *et al.*, 2004). Por las características de la flora, la vegetación y su medio físico, Veracruz resguarda un enorme potencial para productos maderables y no maderables para el consumo nacional y la exportación, por ejemplo: árboles de navidad, maderas preciosas, carbón, leña, forraje, comestibles, medicinales, cercos y productos industrializados, entre muchos otros (Benítez Badillo *et al.*, 2004). El Pico de Orizaba, el Cofre de Perote y Huayacocotla, el sureste veracruzano, son las regiones más importantes del estado para la producción de madera (Sánchez-Velásquez *et al.*, 1991; Ruelas Monjardín y Chávez Cortés, 1997). Afortunadamente, aunque escasas, existen experiencias de manejo sustentable de los bosques por ejidatarios organizados en algunas áreas de montaña de Veracruz. Por ejemplo, la experiencia del Ingenio El Rosario, en el Cofre de Perote, podría usarse como

punta de lanza para impulsar un manejo sustentable de los bosques de la región, donde existe una fuerte presión por la población aledaña. Recordemos que Veracruz es el estado con mayor población del país después del Estado de México y el Distrito Federal.

En el presente trabajo se hace un análisis del sector forestal en Veracruz, se discuten los principales problemas, los logros, debilidades y se proponen, aunque en algunos aspectos no de manera original, sugerencias para el fortalecimiento del sector en el estado.

SILVICULTURA

Existen diferentes definiciones de silvicultura (para algunos autores es sinónimo de manejo forestal sustentable). Nosotros definimos la silvicultura de acuerdo a la combinación de conceptos que usan Hawley y Smith (1982) y Jardel y Sánchez-Velásquez (1988), es decir, la silvicultura se define como el manejo científico de los procesos en la sucesión para la producción de bienes y servicios, por consecuencia, se fundamenta en el conocimiento de la ecología forestal. La producción de bienes derivados del bosque incluye tanto a los productos maderables como los no maderables. Sin embargo, los ecólogos han contribuido también en la parte teórica y práctica para el manejo de los ecosistemas a través del énfasis en el manejo adaptativo de los ecosistemas (Christensen *et al.*, 1996). Ellos definen el manejo de los ecosistemas como “el manejo orientado por metas explícitas, ejecutado por políticas, protocolos y prácticas que se adapta al problema mediante monitoreo e investigación basado en nuestro mejor entendimiento de las interacciones ecológicas y de los procesos necesarios para mantener la estructura y función del ecosistema” (Christensen *et al.*, 1996).

En general, el conocimiento que se tiene actualmente para el manejo sustentable de bosques de pino en México, y en el mundo, es amplio. Sin

embargo, para los bosques tropicales y bosque mesófilo de montaña el conocimiento es aún incipiente (Orians *et al.*, 1996; Dirzo, 2000; Sánchez-Velásquez *et al.*, 2008). Además del contexto ecológico, la sustentabilidad implica el contexto económico y social, donde la participación activa de los poseedores de los recursos es fundamental.

CONTEXTO NACIONAL

De acuerdo con el Inventario Nacional de Bosques de 1999, 56.5 millones de ha, 29 % del territorio nacional, está cubierto por bosques y selvas; 30.2 millones de ha (54 %) son bosques de zonas templadas y 26.3 millones de ha (46 %) son selvas y bosques tropicales secos. Otros 22.1 millones de ha tienen bosques con distintos grados de deterioro, sin una cubierta forestal importante (INEGI, 1997).

Es bien sabido que la producción forestal sólo juega un papel menor en la economía mexicana. Así, a principios de los años noventa la producción comercial de madera era poco menos de 1 % del PIB nacional; la participación de dicho sector disminuyó en casi 25 % desde 1987. Históricamente, las inversiones realizadas por el gobierno en el sector forestal han sido hasta de menos de 4 % del presupuesto total destinado para la agricultura (World Bank, 1995).

Si bien a lo largo del siglo XX el uso de los recursos forestales fue un tema de debate permanente, la polémica en torno al manejo de los bosques no ha dejado de ocupar la atención en distintos sectores de opinión y del gobierno, en sus diferentes niveles de gestión y organización. En términos de política nacional, aun cuando a principios de la anterior administración del ejecutivo federal se creó la Comisión Nacional Forestal (Conafor), como parte de una estrategia para mejorar la gestión de los recursos forestales, con la formulación de una nueva Ley General para el Desarrollo Forestal Sustentable

(aprobada en 2003), falta mucho por hacer. No habría que olvidar que históricamente la participación de los poseedores de recursos fue mermada por falta de una visión política gubernamental que privilegió intereses de compañías transnacionales a quienes se les otorgó carta abierta. Por lo tanto, la participación directa de los poseedores de los recursos forestales, los tres niveles de gobierno y la sociedad en general, no debe ser considerada como una falacia. Es necesario, entonces, considerar el fomento de una conciencia para el manejo de los recursos forestales, hasta la necesidad de implementar otro tipo de acciones, como el pago por los servicios ambientales.

A pesar del esfuerzo para revertir la deforestación, de acuerdo al informe 2005 de México frente a los Objetivos del Milenio de la ONU, la proporción de superficie cubierta por bosques y selvas, calculada con respecto a la superficie terrestre nacional, pasó de 36.6 por ciento en 1993 a 33.4 por ciento en 2002 (ONU, 2005). Sin embargo, es conveniente señalar que no existe aún un dato confiable sobre la tasa de deforestación. En México se hicieron cerca de 40 evaluaciones de la tasa de deforestación en los últimos 30 años, las cuales varían entre 1 500 000 hectáreas por año y 242 000 hectáreas por año para el 1992 (CCMSS, 2006a). Los inventarios nacionales realizados hasta la fecha no permiten tener una evaluación real de esta tasa de deforestación, debido a que a través del tiempo se han usado diferentes escalas de trabajo y clasificación de la vegetación (CCMSS, 2006b).

El principal proceso involucrado en la eliminación de la vegetación arbolada ha sido su conversión a pastizales y terrenos de cultivo, aunque en años muy específicos (*e.g.* 1998), los incendios forestales también han contribuido a la disminución del potencial forestal. Sin embargo, no sólo el cambio de uso del suelo ha contribuido a la degradación de los bosques; el forrajeo del ganado dentro de los mismos bosques tiene efectos importantes en la regeneración y consecuentemente en la diversidad y

abundancia de las especies forestales (Lazos, 1996; Hernández-Vargas *et al.*, 2000; Montero-Solís *et al.*, 2006)

Se han observado otros problemas puntuales en el manejo forestal, algunos de ellos son:

1) No se cuenta con bases de datos del pasado uso y manejo de los recursos forestales. Es decir, en términos de monitoreo y con fines de evaluación, desde la perspectiva científica, si hubiésemos registrado de manera sistemática el manejo que hemos realizado de nuestros bosques en los últimos 50 años, tendríamos una base de datos que nos permitiría tomar mejores decisiones en el presente y futuro manejo forestal.

2) Debido a la gran diversidad forestal de nuestro país, el cual es considerado como un país megadiverso, se conoce poco de la ecología y biotecnología de las especies forestales (Jardel y Sánchez-Velásquez, 1988). Este desconocimiento sobre la ecología y el crecimiento de muchas especies forestales ha promovido que los métodos de manejo forestal se hayan empleado como recetas, aplicando turnos sin fundamentos ecológicos y acelerando el proceso sucesional hacia una estructura forestal no deseable. La extracción selectiva de los bosques se ha realizado de manera indiscriminada y sin tomar en cuenta en ningún sentido la biología básica de las especies, tanto de las especies extraídas como de las acompañantes. Un ejemplo muy patente de esto lo constituye la corta selectiva de especies de pino en muchos de nuestros bosques mixtos de coníferas y encinos, que generó la modificación del paisaje de dicha mezcla de especies, a un paisaje casi monoespecífico de encinos, para los cuales su industrialización es deficiente, al igual que para muchas otras especies tropicales (Pineda-López y Sánchez-Velásquez, 1992).

3) De las perturbaciones como el fuego (Villers Ruiz y López Blanco, 2004) y la ganadería, no hay un control efectivo y poco se sabe sobre sus efectos en la regeneración y dinámica de los ecosistemas forestales, sobre todo a largo plazo

(Hernández-Vargas *et al.*, 2000; Montero-Solís *et al.*, 2006).

4) Los procesos y mecanismos de la sucesión forestal son aún desconocidos para muchas comunidades forestales (Jardel y Sánchez-Velásquez, 1989; Sánchez-Velásquez, 2003). La falta de estaciones biológicas y áreas asignadas para estudios a largo plazo, que den resultados concretos para el manejo y conservación de los bosques, subrayan más esta necesidad. La recientemente creada Red Mexicana de Investigación Ecológica a Largo Plazo (2004) tiene como uno de sus objetivos la generación de conocimiento para el aprovechamiento, conservación y restauración de los ecosistemas (www.mexlter.org.mx).

5) Los inventarios florísticos en el país son escasos y consecuentemente las unidades de manejo forestal también son incompletos, por ejemplo, en algunos casos de ecosistemas de montaña se consideran a las especies como si sólo existieran plantas consideradas como hojosas o coníferas, ignorando con esto su biología particular.

6) No se genera una evaluación sistemática del desarrollo del bosque manejado, es decir, no se determinan e identifican los logros y los inconvenientes enfrentados durante el manejo y, consecuentemente, no se pueden corregir los errores en experiencias futuras. Un manejo forestal adaptativo nos puede permitir evaluar y corregir la dirección del manejo del ecosistema forestal (Christensen *et al.*, 1996).

7) La vinculación interinstitucional e interdisciplinaria en el manejo de los bosques y la investigación es aún incipiente. Existe poca comunicación entre las instituciones de investigación dedicadas a la ecología, biología y manejo de poblaciones o comunidades de especies vegetales con algún interés y las dependencias gubernamentales encargadas de la gestión de los bosques. La participación directa de los poseedores del recurso forestal en el manejo, y en general dentro de la cadena de producción forestal es mínima. Algunas excepciones son Nuevo San Juan en Michoacán y UZACHI en Oaxaca.

8) Las vedas históricamente han provocado una mayor destrucción de los bosques (Beltrán, 1956) y un casi nulo beneficio a las comunidades que poseen estos recursos, además de constituir una de las causas más importantes del estado actual de nuestros bosques.

Una opción viable de manejo forestal sustentable es a través de la certificación de manejo forestal y de la cadena productiva. Sin embargo, es necesario profundizar en el conocimiento sobre aquellos casos en los que se ha tenido un éxito rotundo y aquellos en los que la certificación no los ha favorecido (Martínez y Colin, 2003).

VERACRUZ FORESTAL

El 35 % del territorio veracruzano tiene una aptitud forestal, pero la superficie arbolada es de sólo el 19 % (es decir, 14 974.85 km²), que equivale a 3.7 veces el territorio del estado de Tlaxcala. De esta superficie arbolada, casi el 15 % es de clima templado frío y el resto cálido húmedo (en el país, aportan más del 75 % de madera los bosques templados; el pino cerca del 50 %). El 14.3 % del arbolado está sujeto a un programa de manejo. Sólo se satisface el 25 % de la demanda de madera y de 3 a 10 mil ha se explotan al año.

Muchos son los estudios que se han realizado en los bosques veracruzanos, sus resultados se encuentran publicados en las revistas internacionales indexadas hasta revistas locales. Sin embargo, el conocimiento ecológico relevante para el manejo y conservación de los bosques veracruzanos es aún disperso y fragmentado. El conocimiento de las propiedades físico-mecánicas de la madera y su manejo es aún incipiente, no se diga de la tecnología. Pero es también muy claro que no es sólo la falta de conocimiento la causante del deterioro de nuestros bosques, se debe también a problemas sociales y económicos (falta de oportunidades económicas, corrupción, cacicazgos, políticas verticales, etc.) (Sánchez-Velásquez y Pineda-López, 1994).

Producción forestal maderable

El estado de Veracruz no se ha caracterizado por una producción forestal sobresaliente dentro del país; por ejemplo, en 1994 sólo contribuyó con un 1.05 % de la producción nacional (2.48 % del potencial, de acuerdo a los incrementos anuales), a pesar de que Veracruz ocupa el 3.2 % de la superficie arbolada del país. Las especies productoras de madera en Veracruz son, principalmente: 1) de la montaña, *Pinus* spp. (sobresalen *P. ayacahuite*, *P. montezumae*, *P. patula*, *P. pseudostrobus*, *P. rudis* y *P. teocote*), *Quercus* spp. (sobresalen *Q. germana*, *Q. rugosa* y *Q. xalapensis*), *Cupressus benthamii* Endl., *Arbutus* spp., *Liquidambar macrophylla* Oersted, *Alnus jorullensis* Kunth, *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl & Cham y *Fraxinus uhdei* Wenz, y 2) del trópico, *Cedrela odorata* L., *Roseodendron donell-smithii*, *Ceiba pentandra*, *Cordia alliodora* Ruiz & Pav. Cham., *Castilla elastica* Cerv., *Vatairea lundellii* Standl. Kilip y *Tabebuia chrysantha* Jacq. Nicholson.

Veracruz ocupa el segundo lugar en especies de encinos (*Quercus* spp.), en total se reportan 57 especies, superado apenas por Nuevo León con 60 especies (Valencia Ávalos y Mendizabal Boldú, 2001; Valencia Ávalos, 2001). Las tres regiones donde está principalmente instalada la industria maderera en Veracruz son: el Cofre de Perote, Orizaba y Huayacocotla (para mayores detalles, véase Ruelas Monjardín y Chávez Cortés, 1997). En Veracruz se producen 88 130.96 metros cúbicos de madera de coníferas (99 % de pinos), 11 358.72 de encinos, 5 758.88 de maderas preciosas, 33 520.88 de comunes tropicales y 2 302.02 de otras (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Semarnat, Delegación en el estado; Subdelegación de Gestión para la Protección Ambiental y Recursos Naturales; Unidad de Aprovechamiento y Restauración de Recursos Naturales, Departamento de Servicios Forestales y Suelos, s/a).

Producción forestal no maderable

Dentro del manejo de los bosques, la cosecha de productos forestales no maderables (PFNM) representa una vieja tradición productiva entre las comunidades forestales mexicanas. En las comunidades con Empresas Forestales Comunitarias, esta cosecha a menudo complementa la producción de madera. La variedad de productos maderables y no maderables que los habitantes de las comunidades forestales han consumido tradicionalmente es muy amplia (Barton Bray y Merino, 2004). Un estudio del Banco Mundial estima que el valor económico anual del comercio formal e informal de cerca de 296 plantas medicinales y ornamentales se acerca al 1.5 billón de dólares (World Bank, 1995). Un estudio sobre los PFNM en zonas templadas encontró que 1 300 especies forestales tienen algún uso, aun si sólo 10 % pueden ser consideradas económicamente importantes (World Bank, 1995). Sin embargo, se han reportado un número mayor de especies con al menos un uso, por ejemplo, para el bosque mesófilo de montaña 1 545 especies (Sánchez-Velásquez *et al.*, 2008), mientras que para los bosques de pino y encino, y para la selva húmeda, se reportan 866 y 567 especies, respectivamente (Challenger, 1998).

Veracruz es uno de los tres estados más biodiversos del país (Rzedowski, 1993), se estiman alrededor de 7 500 especies de plantas (angiospermas y gimnospermas) (Sosa y Gómez-Pompa, 1994, en Benítez Badillo *et al.*, 2004), y contribuye con más de 250 productos no maderables, principalmente resina, chicle, candelilla, palma camedor, hongos comestibles y otros usos no cuantificables en pesos, por ejemplo, las especies medicinales. Estos productos no maderables equivalen al 7 % del valor total de la producción forestal, con un beneficio de aproximadamente 50 mil familias. La fauna silvestre es también importante, por ejemplo, se han exportado en algunos años vertebrados por la cantidad de varios millones de pesos (Conabio, 1998). La flora

melífera de Veracruz es de suma importancia ya que Veracruz ocupa el tercer lugar en la producción de miel (Sagarpa, 2008). La cacería de subsistencia y la deportiva son también importantes, sin embargo, la cacería indiscriminada junto con la fragmentación de la vegetación original han ocasionado en algunas regiones, por ejemplo en Los Tuxtlas, la extinción local de algunos mamíferos de talla mayor como el jaguar (*Panthera onca*), el puma (*Puma concolor*), el tapir (*Tapirus bairdii*), el pécarí de labios blancos (*Tayassu pecari*), el venado (*Odocoileus virginianus*), el mono araña (*Ateles geoffroyi*) y el manatí (*Trichechus manatus*) (http://www.parkswatch.org/park-profiles/pdf/ltbr_spa.pdf).

CUADRO 1. Comunidades forestales en México, de acuerdo a diferentes fuentes.

NÚMERO DE COMUNIDADES FORESTALES	FUENTE
9 047 tienen bosques o selvas	<i>Atlas Nacional Ejidal</i> (1988); Alatorre (2000)
7 000 tienen bosques o selvas	DGF 1995 (Alatorre, 2000)
8 400 tienen bosques o selvas	INEGI 1995 (Merino <i>et al.</i> , 2000)

FUENTE: Barton y Merino (2004)

Empresas forestales comunales

Aun cuando se ha manejado que alrededor de 80 % de los bosques mexicanos están en manos de ejidos y comunidades agrarias, existen diferentes cifras y fuentes que consideran datos contrastantes (cuadro 1). Sin embargo, las empresas forestales comunales son todavía menos, y se estiman entre 290 y 479 (Barton Bray *et al.*, 2003).

Los dueños de los bosques, es decir, las comunidades locales que durante muchas décadas dependían directamente de los recursos forestales, se convirtieron en simples espectadores de las diferentes políticas que afectaron la existencia o desaparición

de su capital natural (Merino, 2004). Toda esta experiencia negativa trajo como consecuencia que en los últimos veinticinco años se haya desarrollado una alternativa de gestión comunitaria para el aprovechamiento de los recursos forestales de propiedad colectiva en México, que ha ido encontrando eco, poco a poco, entre las comunidades locales, a lo largo y ancho del territorio nacional. Este movimiento, casi silencioso y pasivo, ha ido conformando un valioso motivo para transferir la responsabilidad del manejo forestal a las comunidades locales que obtienen su sustento de los bosques (Barton Bray *et al.*, 2003; Barton Bray y Merino, 2004). Es así como, en este contexto, México representa un caso único en donde, desde las primeras décadas del siglo XX, gran parte de los bosques fueron puestos en manos de comunidades, con sucesivos niveles de control.

Los esquemas actuales de gestión de los bosques de propiedad comunal manejados por comunidades en México, tanto en áreas tropicales como templadas, presentan un nivel de madurez no logrado en ningún otro lugar del mundo, aún cuando las experiencias conocidas no sean muy numerosas. Este nuevo paradigma surge, por un lado, de que los gobiernos, sobre todo los de países en desarrollo, reconocen su falta de capacidad para asegurar la conservación y el uso sustentable de estos recursos y, por otro lado, de que comunidades indígenas y campesinas, cansadas de la marginación, reclaman sus derechos ancestrales sobre estos territorios y la oportunidad para beneficiarse directamente de sus recursos naturales como un medio de vida.

Son varias las experiencias que en nuestro país demuestran que, a pesar de los múltiples obstáculos, el desarrollo del sector de empresas forestales comunitarias representa una alternativa real de desarrollo regional que genera bienestar y estabilidad social, así como importantes beneficios económicos y ambientales (Martínez y Colin, 2003). Tal vez, lo que hoy hace falta es fortalecer estas experiencias y que sean conocidas por otras comunidades a las que sirvan de

motivación y enseñanza para un nuevo esquema de gestión de los recursos forestales en nuestro país, es decir, un nuevo paradigma del manejo forestal mexicano.

De acuerdo a la experiencia y al aprendizaje de las pocas empresas forestales comunitarias en México, se puede señalar que “la devolución de las tierras forestales públicas y privadas a comunidades con regímenes de propiedad comunitaria de recursos y estatus de tenencia claramente definidos puede lograr una serie de metas valiosas: crear equidad económica, paz social y justicia, democratización del poder y mejorar el manejo de los ecosistemas forestales” (Barton Bray y Merino, 2004). Este es un camino viable y una oportunidad para la conservación de los recursos forestales y sus servicios ambientales, fundamentales para las áreas urbanas y rurales.

Los grandes esfuerzos que actualmente se llevan a cabo en los programas de reforestación a nivel nacional (250 000 000 de árboles por año), cumplen con los compromisos que México tiene para mitigar los efectos de la deforestación y el efecto invernadero. Sin embargo, poca o nula participación hay por parte de los propietarios de las áreas forestales. Quizá un cambio en la política para la producción de la plántula, con la participación activa de los ejidatarios y comuneros, podría tener un mayor impacto por varias razones: 1) El germoplasma para la producción de plántula sería de la región y de esta manera fortalecería la conservación de los recursos genéticos forestales locales; 2) generaría mano de obra local; 3) se ejecutaría en los tiempos requeridos (época de lluvias) para llevar a cabo las plantaciones, lo cual aumentaría el porcentaje de supervivencia de las plantas sembradas, y 4) habría mayor interés si se pagara a los dueños de los terrenos reforestados para el mantenimiento y conservación de las áreas reforestadas, debido a los servicios ambientales que cumplirían dichas plantaciones.

En Veracruz existen comunidades forestales con potencial para manejar sus bosques de manera

sustentable y donde la conservación de la biodiversidad puede ser mucho más efectiva que la implantación de las vedas (Boege *et al.*, 1995). Los planes de ordenación ejidal y un plan forestal participativo a largo plazo, son un camino viable para el desarrollo comunitario y la conservación de la biodiversidad en las zonas de montaña veracruzanas (Gerez, 1995). El manejo de los bosques de Veracruz está dirigido principalmente a la producción de madera, aunque la extracción de otros productos no maderables son también usados para autoconsumo y comercio (*e.g.* fauna silvestre, leña, plantas ornamentales y medicinales, carbón, postes, musgos y frutos, entre muchos otros). En Santa Marta (Los Tuxtlas) hay un fuerte potencial de recursos no maderables (Boege *et al.*, 1995). Es decir, no sólo de madera viven las comunidades forestales en Veracruz.

Entre las comunidades forestales de Veracruz, con experiencia en el manejo del bosque podemos mencionar al Ingenio El Rosario, Huayacocotla (Unidad de Producción Forestal y Agropecuaria Adalberto Tejeda), Zongolica, El Llanillo, en Las Vigas, Veracruz (Boege y Rodríguez, 1992; Semarnap y FES, 1995).

Ejido Ingenio El Rosario, municipio de Xico, Veracruz: un ejemplo de manejo sustentable

El ejido Ingenio El Rosario (IER) posee 559.5 ha y se localiza en la vertiente oriente del Parque Nacional Cofre de Perote a una altitud entre 2 300 y 2 900 m. La diversidad de especies de árboles está formada por *Pinus patula* (80 %), *P. montezumae*, *P. ayacahuite* var. *oaxacana*, *Quercus crassifolia*, *Abies hickelii* y *A. religiosa* (Bello, 1991). Aunque el ejido ha tenido una tradición forestal, su índice de marginación es considerado como muy alta (Conapo, 1995). El IER está localizado en una de las zonas donde la tala clandestina es frecuente y donde hubo una extensiva explotación durante la

época de veda (1940-1970) (Boege *et al.*, 1995). Las presiones externas por los recursos forestales son fuertes. Los habitantes del IER tienen una cultura forestal muy abierta en comparación con otros ejidos de la región, su desarrollo se ha basado principalmente en la producción de madera. Los factores que han contribuido al manejo sustentable de sus bosques han sido la existencia de un liderazgo interno con visión, la presencia de una tradición forestal y la continuidad en el apoyo técnico de asesores interesados. Los factores que causan presiones hacia el recurso es la demanda industrial de más materia prima, la falta de asesores técnicos permanentes, la intensificación de las anualidades, la excesiva dependencia hacia el recurso madera, la falta de acceso a tecnologías de bajo impacto (Gerez, 1995). El interés más claro de la comunidad sobre el manejo forestal se ubica en el mantenimiento de las cosechas de madera, y el ejido se ha adelantado a las exigencias de las leyes, incluso las han rebasado, por ejemplo, varias especies de árboles son protegidas estrictamente, mientras que se ha restringido la extracción de otras (Barton Bray y Merino Pérez, 2004).

SERVICIOS AMBIENTALES

La valoración económica de servicios ambientales es un tema relativamente nuevo a nivel mundial. La falta de esta apreciación para los servicios ambientales es, hasta este momento, uno de los principales obstáculos para el diseño de instrumentos de política específicos, incluyendo la creación de mercados para estos servicios. En el caso de México, existe muy poca información sistematizada sobre la calidad y el valor de los servicios ambientales, no obstante, existen experiencias concretas que comienzan a hacer efectivo el pago por servicios ambientales (PSA) (Burstein *et al.*, 2002; Pineda-López *et al.*, 2006). Sin embargo, la viabilidad del PSA dependerá de la capacidad organizacional de la sociedad civil a

largo plazo (Burstein *et al.*, 2002), donde los pagos de servicios ecosistémicos justos estimularían un efecto real en la conservación de los ecosistemas forestales.

Paradójicamente, aunque los bosques representan uno de los sistemas ambientales más importantes del país, su potencial para el desarrollo de las comunidades forestales no se ha implementado y la situación de miseria y abandono se agudizan cada vez más. Los bosques están bajo seria amenaza en muchas partes del mundo y México no es la excepción. Durante la década de los noventa se perdieron en promedio casi 15 millones de hectáreas de bosque por año, sobre todo en las zonas tropicales (FAO, 2001a, 2001b). A la pérdida de la cubierta forestal, cuyas causas son muchas y complejas (Angelsen y Kaimowitz, 2001; Brown y Pearce, 1994; Contreras-Hermosilla, 2000; Kaimowitz y Angelsen, 1998), se suma la de los numerosos y valiosos servicios que proporcionan los bosques, tales como la regulación de los flujos hidrológicos y la captura de carbono, además de la biodiversidad que albergan (Myers, 1997). Si bien se reconoce que los bosques proporcionan una amplia variedad de beneficios (Myers, 1997; Roper y Park, 1999), los servicios ambientales dentro de ellos se pueden definir como el conjunto de condiciones y procesos naturales (incluyendo especies y genes) que la sociedad puede utilizar y que ofrecen tales tipos de ecosistemas por su simple existencia (http://www.ine.gob.mx/dgipea/descargas/ejido_conserv_1.pdf, acceso septiembre de 2008).

Dentro de este conglomerado de servicios se pueden señalar la biodiversidad, el mantenimiento de germoplasma con uso potencial para el beneficio humano, el mantenimiento de valores estéticos y filosóficos, la estabilidad climática, la contribución a ciclos básicos (agua, carbono y otros nutrientes) y la conservación de suelos, entre otros. Los metabolitos secundarios que producen las plantas han sido usados y aún se siguen explorando sus usos en la medicina, control de plagas y enfermedades, entre otros

(Theis y Lerda, 2003). Todo este potencial que se puede usar a través de la biotecnología (con una política nacional en beneficio de los productores), se puede perder por deforestación y degradación de los ecosistemas forestales.

Los bosques almacenan y liberan carbono como resultado de los procesos fotosintéticos, de respiración y de degradación de materia seca. El resultado de estos procesos origina una captura neta positiva cuyo monto depende del manejo que se le dé a la cobertura vegetal, así como de la edad, distribución de tamaños, estructura y composición de ésta. Este servicio ambiental que proveen los bosques como secuestradores de carbono (sumideros) permite equilibrar la concentración de este elemento, misma que se ve incrementada debido a las emisiones producto de la actividad humana. Sin embargo, el potencial de captura de carbono, considerando tanto el potencial de absorción como el depósito (inventario), dependerá de la dinámica de cambios de uso del suelo, ya sea convirtiendo el área forestal a un cultivo agrícola o bien transformándola en agostadero.

El potencial de captura de carbono está ligado al potencial de formación de biomasa (Torres y Guevara, 2002). De ahí que las regiones donde resultan factibles altos rendimientos de biomasa sean las regiones de mayor potencial de captura de carbono. Para México estas áreas están localizadas a lo largo de las llanuras costeras y en el sur y sureste del país, donde se registran los mayores rendimientos de biomasa. En este contexto, los mejores lugares para ubicar proyectos de captura de carbono son aquellos que tienen el mayor potencial para el desarrollo de plantaciones o sistema de cultivo de alto rendimiento en producción de biomasa.

En México existen alrededor de 30 millones de hectáreas de áreas arboladas con regeneración natural con posibilidades de capturar entre 1 038 y 3 090 millones de toneladas de carbono (Trexler y Haugen, 1995). Una estimación del potencial de captura de carbono por entidad señala, para el caso

del estado de Veracruz, un monto total de 1 050 082 (miles de ton de CO₂ por año) que lo sitúa entre los primeros diez lugares a escala nacional (Torres y Guevara, 2002). Este monto se distribuye de la siguiente manera: 409 643 en bosques templados, 624 964 en selvas, 15 476 en plantaciones.

El agua es indispensable para la vida en el planeta; muchas especies, incluyendo los humanos, dependen no sólo de la cantidad de agua, sino también de la calidad. Los bosques son fundamentales en el ciclo hidrológico, de ellos depende una continua producción de cantidad y calidad de agua, protección del suelo contra la erosión, evitan las inundaciones catastróficas y desastres en los poblados cercanos a las corrientes naturales, entre otros muchos beneficios. En Veracruz cae cerca del 33 % de la precipitación total del país y se incorpora al sistema hidrológico del estado, por lo tanto, para nuestro estado es de suma importancia mantener una cobertura forestal con fines tanto de conservación como de producción sostenible.

CONCLUSIONES

Veracruz es uno de los estados más biodiversos de México y posee una gran diversidad de especies forestales maderables y no maderables. La mayor contribución en la producción de madera proviene de los ecosistemas montañosos del estado (70 %) y son los pinos los que más contribuyen. A pesar de ser Veracruz uno de los estados con mayor tasa de deforestación, existen experiencias alentadoras en la forma de apropiación de los recursos forestales por parte de algunas comunidades que habitan en la montaña. Por ejemplo, el ejido Ingenio El Rosario, ha demostrado una capacidad sobresaliente en el manejo sustentable de los bosques en toda la región del Cofre de Perote y puede ser un ejemplo a seguir por parte de los demás ejidos de la región. Consideramos que el manejo forestal comunitario es el único camino viable para la conservación, a largo

plazo, de la biodiversidad, de los servicios ambientales que de ella se derivan y puede ser, además, un disparador del desarrollo local, equidad, justicia, democracia y en general de bienestar social.

Las vedas han demostrado ser una vía errónea para la conservación de zonas forestales en México y en particular en Veracruz. La participación de los tres niveles de gobierno, los poseedores de recursos, la academia, el sector privado y la sociedad civil deben estrechar vínculos para favorecer el manejo sustentable de los recursos forestales y la conservación de la biodiversidad forestal. Una cultura forestal en los medios de comunicación, y en general en la sociedad, son factores que pueden contribuir de manera positiva en la toma de decisiones para fortalecer a las comunidades forestales en el manejo y conservación de sus recursos. El pago por servicios ambientales, la participación de los ejidos y comunidades en la cadena productiva forestal, y la diversificación de la producción (usos de otros productos no maderables del bosque), pueden fortalecer un manejo forestal sustentable desde el punto de vista social, económico y ambiental.

El conocimiento científico sobre los procesos ecológicos es fundamental para el manejo de los bosques en el nuevo paradigma de la conservación, el cual consiste en la restauración y la rehabilitación de las áreas degradadas. Si bien es cierto que la reforestación ha sido principalmente llevada a cabo con especies de pinos (80 %, aproximadamente), estas plantaciones son una oportunidad para la restauración y reintroducción de especies nativas (D'Antonio y Meyerson, 2002; Ramírez-Bamonde *et al.*, 2005). Es decir, para especies de estados sucesionales intermedios y avanzados pueden ser reintroducidas a través de la reforestación sucesional, la cual consiste en sembrar especies económicamente importantes, amenazadas o en extinción, debajo de la cobertura de las abundantes plantaciones de pino en el estado de Veracruz, método utilizado con éxito para diferentes ambientes. Por ejemplo, con estas plantaciones sucesionales podremos recuperar el bosque mesófilo de montaña (Ramírez-Bamonde

et al., 2005; Sánchez-Velásquez y García-Moya, 1993). También se pueden utilizar los acahuales para la reintroducción de especies amenazadas o en peligro, utilizando como nodrizas la plántulas de estados sucesionales tempranos; por ejemplo, en los bosques tropicales se ha tenido éxito para la reintroducción de *Brosimum alicastrum* (Sánchez-Velásquez *et al.*, 2004). Las oportunidades que nos ofrecen las plantaciones y la vegetación secundaria son enormes, para los ecólogos es un laboratorio donde podremos probar las hipótesis sobre los procesos y mecanismos de sucesión forestal y para los forestales el enriquecimiento de las plantaciones con especie de interés comercial.

De manera general algunas recomendaciones para fortalecer el manejo de los bosques son: 1) Asignación de un presupuesto continuo para la realización de investigación e inventarios en el campo de la conservación y restauración ecológica; 2) fortalecer y apoyar los proyectos de investigación y productivos ecológicamente viables. Incluir estudios y programas transparentes para el pago de servicios ambientales (CO₂, agua, biodiversidad), tanto en plantaciones forestales como en sistemas agroforestales; 3) aprovechar los programas de reforestación estatal para la realización de investigaciones conjuntas (instancia correspondiente y la academia) y evaluar el éxito de las mismas. Identificar organismos promisorios para la producción forestal; 4) crear comités o comisiones que apoyen la toma de decisiones en el campo de la conservación, servicios ambientales y manejo de recursos bióticos; 5) resolver los problemas de tenencia de la tierra para que las comunidades forestales aprovechen de manera sostenible sus recursos forestales; 6) participación de las universidades locales en el manejo de las áreas naturales protegidas; 7) involucrar a los poseedores del recurso forestal en la toma de decisiones (por ejemplo, programas oficiales de reforestación, manejo, conservación y usos de los recursos forestales), y 8) explorar nuevas formas de usos y

manejo de los elementos del bosque a través de los avances de la biotecnología.

AGRADECIMIENTOS. Los autores agradecen a los revisores anónimos por sus acertadas observaciones que hicieron al manuscrito. Este trabajo fue parcialmente financiado por Conafor/Conacyt (code: 2002-C01-6163) y la Fundación Produce Veracruz (Produver) de México.

LITERATURA CITADA

- ANGELSEN, A. y D. Kaimowitz (eds.), 2001, *Agricultural Technologies and Tropical Deforestation*, Wallingford, CIFOR and CABI Publishing.
- AROCHE F. y R. Escalante, 2000, Los recursos forestales y su potencial en el desarrollo económico de México, en R. Escalante S. y F. Aroche R. (eds.), *El Sector Forestal Mexicano: Paradojas de la Explotación de un Recurso Natural*, UNAM, pp. 13-60.
- BARTON BRAY, D., L. Merino-Pérez, P. Negreros-Castillo, G. Segura-Warnholtz, J.M. Torres-Rojo y H.F.M. Vester, 2003, Mexico's community-managed forests as a global model for sustainable landscapes, *Conservation Biology* 17(3): 672-677.
- BARTON BRAY, D. y L. Merino Pérez, 2004, *La Experiencia de las Comunidades Forestales en México*, Semarnat/INE/CCMSS, 1ª edición.
- BELLO, E.L., 1991, *Diagnóstico socio-económico del ejido forestal Ingenio El Rosario, Municipio de Xico, Veracruz*, tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana, 73 pp.
- BENÍTEZ BADILLO, G., M.T.P. Pulido-Salas y M. Equihua Zamora, 2004, *Árboles multiusos nativos de Veracruz, para la reforestación, restauración y plantaciones*, Instituto de Ecología/SIGM/Conafor, 288 pp.
- BOEGE, E., H. García y P. Gerez, 1995, Las sierras de Veracruz y las opciones de manejo de sus recursos naturales, en *Alternativas al manejo de laderas en Veracruz*, Semarnat/FES/Friedrich Ebert Stiftung, México, pp. 9-31.
- BOEGE, E. y H. Rodríguez, 1992, *Desarrollo y Medio Ambiente en Veracruz*, Friedrich Ebert Stiftung, México.
- BROWN, K. y D.W. Pearce, 1994, *The Causes of Tropical Deforestation*, Londres, University College London Press.
- BURSTEIN, J., G. Chapela y Mendoza, J. Aguilar y E. de León, 2002, *Informe sobre la propuesta de pago por servicios ambientales en México*, 103 pp.
- CONSEJO CIVIL MEXICANO PARA LA SILVICULTURA SOSTENIBLE (CCMSS), 2006, Nota informativa número 5, Red de monitoreo de políticas públicas, 5 pp.
- , 2006, (http://www.ccmss.org.mx/documentos/pef_2025.doc), acceso junio de 2007.
- CHALLENGER, A., s/a, *La situación actual del medio ambiente en Veracruz: Los servicios ambientales y la conservación ecológica*, Conabio.
- , 1998, *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado, presente y futuro*, Conabio/Instituto de Biología/UNAM/ Agrupación Sierra Madre, S.C., México.
- CHAPELA y Mendoza, G., 1996, Panorama del sector forestal en México, *Gaceta Ecológica*, nueva época 38: 27-39.
- COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD (Conabio), 1998, *La Diversidad Biológica de México: Estudio de País 1998*, (http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/estrategia_nacional/doctos/estudiodepais.INICIO.pdf), acceso en septiembre del 2008.
- D'ANTONIO, C., y L.A. Meyerson, 2002, Exotic plant species as problems and solutions in ecological restoration: A synthesis, *Restoration Ecology* 10(4): 703-713.
- DIRZO, R., 2000, Deforestation of seasonally dry tropical forest - a national and local analysis in Mexico, *Biological Conservation* 94(2): 133-142.

- CONTRERAS-HERMOSILLA, A., 2000, *The Underlying Causes of Forest Decline*, Occasional Paper núm.30, Bogor, CIFOR.
- CHRISTENSEN, N., A.M. Bartuska, J.H. Brown, S. Carpenter, C. D'Antonio, R. Francis, J.F. Franklin, J.A. MacMahon, R.F. Noss, D.J. Parsons, C.H. Peterson, M.G. Turner, y R.G. Woodmansee, 1996, The report of the Ecological Society of America committee on the scientific basis for ecosystem management, *Ecological Applications* 6: 665-691.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO), 2001a, *Global Forest Resource Assessment*, Forestry Paper núm. 140, Roma.
- , 2001b, *State of the World's Forests*, Roma.
- GEREZ, P., 1995, Elementos para un manejo ecológico-social de los recursos naturales en la montaña del Cofre de Perote, en Semarnap/FES (eds.), *Alternativas al Manejo de Laderas en Veracruz*, Friedrich Ebert Stiftung, México, pp. 127-150.
- HAWLEY, R.C. y D.M. Smith, 1982, *Silvicultura Práctica*, 2ª edición, Omega, Barcelona, 544 p.
- HÉRNÁNDEZ-VARGAS, G., L.R. Sánchez-Velásquez, T. Carmona V., Ma. del R. Pineda-López y R. Cuevas-Guzmán, 2000, Efecto de la ganadería extensiva sobre la regeneración arbórea de los bosques de la Sierra de Manantlán, *Madera y Bosques* 6(2): 13-28.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (INEGI), 1997, *Conteo de Población y Vivienda, 1995*. Aguascalientes, México.
- JARDEL, P.E. y L.R. Sánchez Velásquez, 1988, La sucesión forestal, fundamento ecológico de la silvicultura, *Ciencia y Desarrollo* 14(84): 33-43.
- KAIMOWITZ, D. y A. Angelsen, 1998, *Economic Models of Tropical Deforestation: A Review*, Bogor, CIFOR.
- LAZOS, C.E., 1996, El encuentro de subjetividades en la ganadería campesina, *Ciencias* 44:36-45.
- MANSON, R.H., J.R. Gómez Sandoval y C.A. Escalante Sandoval, 2008, Una nueva metodología para identificar municipios importantes para los esquemas de pago de servicios ambientales hidrológicos en el Estado de Veracruz, en L.R. Sánchez-Velásquez, F. Díaz Fleischer y J. Galindo-González (eds.), *Ecología, Manejo y Conservación de los Ecosistemas de Montaña en México*, Mundi Prensa/Conabio/Universidad Veracruzana/Labioteca, pp. 251-271.
- MARTÍNEZ, G.A. y S. Colin S, 2003, La certificación ambiental de los bosques en México: reporte preliminar, *Gaceta Ecológica*, INE/Semarnat.
- MERINO, P.L., 2004, *Conservación o deterioro*, INE/Semarnat.
- MONTERO-SOLÍS, M.F, L.R. Sánchez-Velásquez, Ma. del R. Pineda-López, G. Hernández-Vargas, M. Carranza M., T. Moermond y F. Aragón C., 2006, Livestock impact on dynamic and structure of tropical dry forest of the Sierra de Manantlán, Mexico, *Journal of Food, Agricultura and Environment* 4(3-4): 84-88.
- MYERS, N., 1997, The World's Forests and Their Ecosystem Services, en: G. Daily (ed.), *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*, Washington, Island Press.
- ONU, 2005, Informe 2005, *México Frente a los Objetivos del Milenio*.
- ORIAN, G.H., R. Dirzo y J.H. Cushman, 1996, *Biodiversity and Ecosystem Processes in Tropical Forests*, Springer, Berlin-New York.
- PINEDA-LÓPEZ, M.R., G. Ortíz-Ceballos y L.R. Sánchez-Velásquez, 2006, Los cafetales y su papel en la captura de carbono: un servicio ambiental aún no valorado en Veracruz, *Madera y Bosques* 11: 3-14.
- PINEDA-LÓPEZ, Ma. del R. y L.R. Sánchez-Velásquez, 1992, Efecto de la corta selectiva sobre la estructura de un bosque subtropical de pino-encino (*Pinus-Quercus*), *Tiempos de Ciencia* 27: 69-77.
- RAMÍREZ-BAMONDE, E., L.R. Sánchez-Velásquez y A. Andrade-Torres, 2005, Seedling survival and growth of three species of mountain cloud forest in Mexico, under different canopy treatments, *New Forests* 30: 95-101.
- ROPER, C.S. y A. Park, 1999, International Symposium on the Non-Market Benefits of Forestry, The living forest: non-market benefits of forestry, London, Stationery Office.

- RUELAS MONJARDÍN L.C. y J.M. Chávez Cortés, 1997, Diagnóstico de la industria maderera en Veracruz, *Madera y Bosques* 3(2): 47-61.
- SÁNCHEZ-VELÁSQUEZ, L.R., 2003, A model to infer succession mechanisms in forests (bilingüe), *Agrociencia* 37(5): 533-543.
- SÁNCHEZ-VELÁSQUEZ, L.R., S. Quintero-Gradilla, F. Aragón-Cruz, Ma. del R. Pineda-López, 2004, Nurses for *Brosimum alicastrum* reintroduction in secondary tropical dry forest, *Forest Ecology and Management* 198: 401-404.
- SÁNCHEZ-VELÁSQUEZ, L.R., E. Ramírez-Bamonte, A. Andrade-Torres y P. Rodríguez-Torres, 2008, Ecología, florística y restauración del bosque mesófilo de montaña, en: L.R. Sánchez-Velásquez, F. Díaz Fleischer y J. Galindo-González (eds.), *Ecología, Manejo y Conservación de los Ecosistemas de Montaña en México*, Mundi Prensa/Conabio/Universidad Veracruzana/Labioteca. pp. 9-50.
- SÁNCHEZ-VELÁSQUEZ, L.R., Pineda-López, Ma. del R. y A. Hernández M., 1991, Distribución y estructura de la población de *Abies religiosa* (HBK) Schl. et Champ. en el Cofre de Perote, Veracruz, México, *Acta Botánica Mexicana* 16: 45-55.
- SÁNCHEZ-VELÁSQUEZ, L.R. y E. García-Moya, 1993, Sucesión Forestal en la Sierra de Manantlán Jal., México: Bosque mesófilo de montaña y bosque de *Pinus*, *Agrociencia* 3(1): 7-26.
- SÁNCHEZ-VELÁSQUEZ, L.R. y Ma. del R. Pineda-López, 1994, Conservación y desarrollo rural en zonas de montaña: el manejo forestal como un elemento potencial en Veracruz, en V. Vázquez-Torres y R. Zulueta-Rodríguez (eds.), *Problemática en el estado de Veracruz*, Universidad Veracruzana y Gobierno del Estado de Veracruz, pp. 89-106.
- SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN (Sagarpa), 2008, (<http://www.sicde.gob.mx/portal/bin/nota.php?accion= buscar¬aId= 413510548971f363e8ae>), acceso septiembre de 2008.
- SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE, RECURSOS NATURALES Y PESCA (Semarnat) y FES (eds.), 1995, *Alternativas al manejo de laderas en Veracruz*, Friedrich Ebert Stiftung, México.
- SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (Semarnat), Delegación Estatal en Veracruz, (http://www.semarnat.gob.mx/wps/portal/cmd/cs/.ce/155/.s/4613/_s.155/4609), acceso febrero de 2007.
- SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (Semarnat), Delegación en el Estado, s/a, Subdelegación de Gestión para la Protección Ambiental y Recursos Naturales, Unidad de Aprovechamiento y Restauración de Recursos Naturales, Departamento de Servicios Forestales y Suelos.
- THEIS, N. y M. Lerda, 2003, The evolution of function in plant secondary metabolites, *International Journal of Plant Sciences* 164 (3): S93-102.
- TORRES, R. J. M., Guevara, S., 2002, El potencial de México para la producción de servicios ambientales: captura de carbono y desempeño hidráulico, *Gaceta Ecológica*, INE/Semarnat, núm. 63, 84 pp.
- TREXTER, M.C. y C. Haugen, 1995, *Keeping it green: tropical Forestry opportunities for mitigating climate change*, WRI/EPA, 52 pp.
- VALENCIA ÁVALOS, S. y L. Mendizábal Boldú, 2001, *Los encinos en el estado de Hidalgo, México*, XV Congreso Mexicano de Botánica, Facultad de Ciencias, UNAM.
- VALENCIA ÁVALOS, S., 2001, El género *Quercus* (Fagaceae) en México, Herbario de la Facultad de Ciencias (FCME), UNAM, XV Congreso Mexicano de Botánica.
- VILLERS RUIZ, L. y J. López Blanco (eds.), 2004, *Incendios Forestales en México: métodos de evaluación*. UNAM, 164 pp.
- WORLD BANK, 1995, *Mexico Resource Conservation and Forest Sector Review*, Documento del World Bank, Washington, D.C.

Oportunidades para la producción sustentable de azúcar y etanol



Eugenia J. Olgún
Gabriel Mercado Vidal
Gloria Sánchez-Galván

INTRODUCCIÓN

En el capítulo “Amenazas a la biodiversidad asociadas a la producción de azúcar y etanol en el estado de Veracruz”, incluido en este libro, se señaló la importancia de la producción y transformación agroindustrial de la caña de azúcar en este estado. Asimismo, se discutió su alto impacto ambiental negativo, de tal forma que se ha convertido en una amenaza a la biodiversidad y al desarrollo sustentable en esta entidad. En este capítulo, se describen algunas oportunidades que se han planteado y/o desarrollado para que esta actividad agroindustrial tenga a futuro un mayor grado de integración armónica con el medio ambiente, dejando de ser una amenaza y se convierta en una oportunidad para el desarrollo sustentable. Entre ellas destacan la adopción de prácticas sustentables para el cultivo de la caña, la diversificación y generación de nuevos productos, la adopción de cambios en los procesos de producción de azúcar y etanol, mediante prácticas de producción más limpias y, finalmente, el de-

sarrollo y transferencia de biotecnologías ambientalmente pertinentes para el tratamiento y reciclaje de las aguas residuales (Olgún *et al.*, 1995).

PRÁCTICAS SUSTENTABLES PARA EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR

Con el objeto de revertir los impactos negativos causados por las prácticas tradicionales de cultivo de la caña de azúcar, se ha investigado en diversos centros la implementación de prácticas sustentables. De esta forma, se ha promovido que los productores de caña evalúen constantemente el valor del parámetro “uso eficiente del agua”, el cual se define como la relación entre el rendimiento obtenido (ton/ha) y el volumen de agua utilizada en el riego (m³/ha). En Mauritius y Australia, el uso de la fertirrigación por goteo ha disminuido hasta en un 25-50 % el consumo de nitrógeno (N), sin decremento en la productividad de la caña (World Wildlife Fund, 2004).

El uso de diversas variedades en el campo cañero está orientado principalmente a elevar los rendimientos de azúcar por unidad de superficie y a la resistencia a enfermedades y plagas. Esta selección de variedades, considera además su adaptabilidad a las diferentes condiciones ambientales de las regiones cañeras. A fines de la década de los ochenta COPERSUCAR, una de las empresas azucareras más grandes de Brasil, comenzó a invertir en el desarrollo de nuevas variedades, trayendo consigo un incremento en los rendimientos en campo (ton de caña/ha) y actualmente desarrolla el programa para el mejoramiento genético más grande del mundo (Moreira y Goldemberg, 1999).

DIVERSIFICACIÓN Y RECICLAJE DE SUBPRODUCTOS EN LA PRODUCCIÓN DE AZÚCAR Y ETANOL

La introducción de los jarabes ricos en fructosa derivados del maíz que se importan de Estados Unidos de Norteamérica, ha generado una baja considerable en la venta nacional y en la exportación de azúcar. La respuesta a esta crisis reside en promover la diversificación de productos generados a partir de la caña de azúcar, reciclando subproductos para recuperar los nutrientes o la energía contenida en ellos (Olguín *et al.*, 1995). Es importante considerar que la estrategia de diversificación de productos debe partir de un estudio local y regional para poder definir los nuevos productos con mayor demanda.

Hace algunos años se realizó un estudio a escala regional, y uno de sus objetivos consistió en cuantificar la generación de productos y subproductos en cinco ingenios de Veracruz ubicados en las principales cuencas. Se encontró que además de obtener azúcar (que representa entre el 8.1 y el 10.8 % del peso de los tallos molidos), los ingenios generaron un gran porcentaje de bagazo (entre el

28.9 y el 36.7 % de los tallos molidos), una cantidad importante de cachaza (entre el 3.0 y el 7.8 % de los tallos molidos), seguida de melazas (del 3.4 al 3.6 %), como los principales subproductos. En los ingenios con fábrica de alcohol, las vinazas se produjeron en una altísima proporción, dado que se generaron de 11.2 a 13 litros/litro de etanol (Olguín *et al.*, 1995).

El estudio antes mencionado propuso una estrategia de diversificación de productos de la caña de azúcar, incluyendo productos novedosos. Las opciones tecnológicas propuestas fueron múltiples, como se muestra en la figura 1, siendo algunas de ellas de mayor complejidad y de mayor nivel de inversión que otras que ya han sido adoptadas por ser relativamente más simples y menos costosas. Por ejemplo, el aprovechamiento del bagazo como fuente de energía en los propios ingenios o su venta a las fábricas de celulosa y papel ya es una práctica común en la mayoría de los ingenios. Por otro lado, los nuevos procesos de producción de alcohol con una bacteria (*Zymomonas mobilis*) en lugar del uso tradicional de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, no se han adoptado todavía en México. En relación con el principal subproducto de la producción de etanol, que son las vinazas, existe resistencia por parte de los productores para adoptar digestores anaeróbicos para su conversión en biogás, debido al alto costo de inversión inicial. En contraste, debido a que los productores prefieren las opciones menos costosas, la opción de la ferti-irrigación con vinazas diluidas con agua de proceso, ya ha sido adoptada en seis de los siete ingenios de Veracruz con fábrica de alcohol (cuadro 1), aunque esta práctica se realiza de manera empírica y se requiere un estudio profundo del efecto que causan estos efluentes en los suelos irrigados y de la forma de manejo óptima, debido a las características fisicoquímicas de las vinazas, especialmente al alto contenido de materia orgánica y potasio (cuadro 2).

CUADRO 1. Manejo del agua en los ingenios azucareros del estado de Veracruz.

CUENCA	INGENIO	PRODUCCIÓN DE VINAZAS ZAFRA 2004-2005 (miles de l)	MANEJO DEL AGUA RESIDUAL	
			DISPOSITIVOS PARA AGUAS RESIDUALES	USO EN RIEGO AGRÍCOLA
Papaloapan	San Cristóbal		TGA, LO* *(mezcladas con aguas residuales urbanas)	NO
	Tres Valles		TGA, SCS, TE	SÍ
	Motzorongo		TGA y SCS	NO
	San Pedro	26 988.0*	TGA y FSC	NO
	Constancia	39 195.0*		SÍ
	Nuevo San Francisco		TGA y FSC	NO
	Cuatotolapam		TGA y SCS	NO
	San Gabriel		TGA	NO
Río Blanco	La Providencia	15 234.5*	TGA	SÍ
	El Carmen	40 679.6*	TE, TGA y SCS	SÍ
	San José de Abajo	28 600.0*	TE y SCS	Sí*(vinazas mezcladas con agua de proceso)
	San Nicolás	88 525.3*	TE, TGA y SCS	SÍ
	San Miguelito		TE, TGA, SCS y S	NO
Actopan	La Gloria	262 190.8*	TE, TGA y LO	SÍ
	El Modelo		TE, TGA, SCS y LO	NO
	La Concepción		TE y SCS	NO
Jamada-Cotaxtla	El Potrero		TE, TGA y SCS	SÍ
	Central Progreso		TE, TGA, SCS Y LO	NO
Pánuco	Zapoapita		TGA, LO, SCS y TARS	NO
	El Higo		TGA, SCS y AEA	Parcialmente
Bobos - Nautla	Independencia		S, TGA, TE, AEA y SCS	Parcialmente
Los Pescados – La Antigua	Mahuixtlán		TGA, TE y SCS	SÍ

*Cifras calculadas considerando una producción de 13 l de vinazas por l de etanol

AEA: Alberca de Enfriamiento por Aspersión

FSC: Fosas de Secado de Cachaza

LO: Laguna de Oxidación

S: Sedimentador

SCS: Separación de Cachaza en Seco TARS: Tratamiento de Aguas Residuales de Servicio

TE: Torre de Enfriamiento

TGA: Trampa de Grasas y Aceites

FUENTES: Cooazúcar, 2006 y Gobierno del estado de Veracruz, 2005.

CUADRO 2. Caracterización de vinazas de melaza de caña de azúcar en diversos países.

DBO g/l	DQO g/l	N (total) mg/l	P (total) mg/l	K mg/l	S total como SO ₄ mg/l	pH	REFERENCIA
25	65	1 610	127	6 497	6 400	4.2 – 5.00	Costa <i>et al.</i> , 1986
30	120	1 600	61	1 920	4 600	4.1	Harada <i>et al.</i> , 1996
35.7	-	1 780	168	8 904	4 360	4.2	Sheehan <i>et al.</i> , 1980
39	100	1 030	33	7 000	9 500	3.4 – 4.5	Driessen <i>et al.</i> , 1994
60	98	1 200	1 500	1 200	5 000	3.8 – 4.4	Goyal <i>et al.</i> , 1996
22.7	91	1 540	153	10 500	3 855	3.6	Olguín <i>et al.</i> , 2006a

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno

DQO: Demanda Química de Oxígeno

N: Nitrógeno

P: Fósforo

K: Potasio

S total como SO₄: Azufre total como sulfato

Existen algunas experiencias en países como Brasil y Cuba, que señalan que la ferti-irrigación con vinazas produce efectos positivos sobre el suelo, aumentando los rendimientos en el campo cañero. Algunas de estas experiencias indican que esta práctica realizada de manera controlada respecto al volumen de vinazas aplicadas por hectárea permite, además, obtener una mejora en las características químicas y físicas de los suelos, específicamente en lo que se refiere a su estructura, capacidad de intercambio iónico, de retención de agua y minerales, además de incrementar la microflora (Moreira y Goldemberg, 1999). Asimismo, se ha señalado que el ferti-riego con vinazas contribuye al aumento del pH del suelo (Sánchez y Cardona, 2005). Sin embargo, también es importante considerar que la aplicación excesiva de vinazas, combinada con una falta de conocimiento de las características de los suelos, puede ocasionar daños a mediano o largo plazo (Olguín *et al.*, 1995).

En consideración a que en México, y específicamente en Veracruz, no se han realizado inves-

tigaciones sobre el manejo óptimo de las vinazas en ferti-irrigación, en el Inecol se realizó un estudio (Olguín *et al.*, 2006a), en el cual uno de los objetivos fue evaluar a profundidad esta opción, así como el tratamiento por fitorremediación y re-uso de las aguas residuales de dos ingenios de la Cuenca del Papaloapan. En relación al ferti-riego, se pudo concluir que esta práctica es adecuada, siempre y cuando las vinazas se adicionen muy diluidas con agua de proceso y que se realice una fertilización paralela para mantener los niveles adecuados de fósforo en el suelo. También se pudo concluir que la adición controlada de vinazas diluidas reemplaza el potasio que la caña extrae del suelo. En relación al re-uso de las aguas residuales, se generó una tecnología de fitorremediación usando humedales construidos, sembrados con *Pontederia sagittata* (Olguín *et al.*, 2008), la cual demostró ser muy efectiva para remover materia orgánica y dejar un agua residual con buenas características para poder ser reutilizada en el riego de caña de azúcar.

ESTRATEGIA DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA

Reconociendo la importancia y urgencia de la adopción de una estrategia de producción más limpia, se han realizado estudios orientados a la promoción de una cultura del agua en agroindustrias tropicales incluyendo a ingenios azucareros establecidos en diferentes cuencas del estado de Veracruz (Olguín *et al.*, 2006b). Se empleó una herramienta metodológica novedosa desarrollada por Environmental Protection Agency (EPA) para la minimización de residuos, denominada Strategic Waste Minimization Initiative (SWAMI). Los resultados de estos tra-

bajos señalaron que el manejo del agua que realizan actualmente las agroindustrias azucarera, del café y granjas porcinas, no es el adecuado, predominando un uso excesivo de este recurso en las diferentes etapas de los procesos de producción y un manejo igualmente inadecuado e insuficiente de sus aguas residuales. Sin embargo, se encontró que el ingenio Mahuixtlán, consume aproximadamente diez veces menos agua que el Independencia y el San Cristóbal. Esta diferencia en el consumo de agua se debe a la instalación, en el primero, de una torre de enfriamiento que permite el reciclaje de agua en el proceso, tal como se muestra en la figura 2.

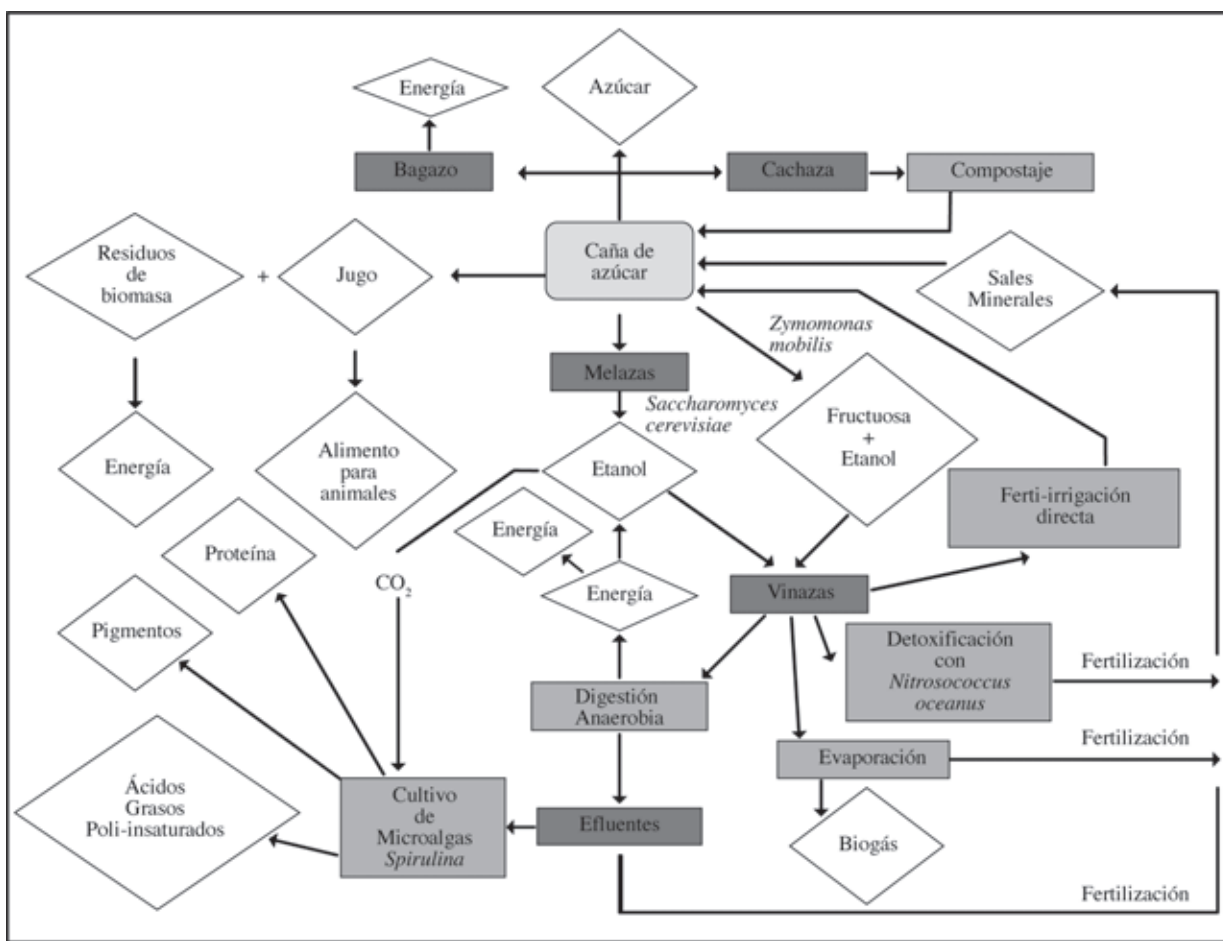


FIGURA 1. Oportunidades de diversificación y reciclaje en la agroindustria azucarera (Fuente: Adaptado de Olguín *et al.*, 1995).

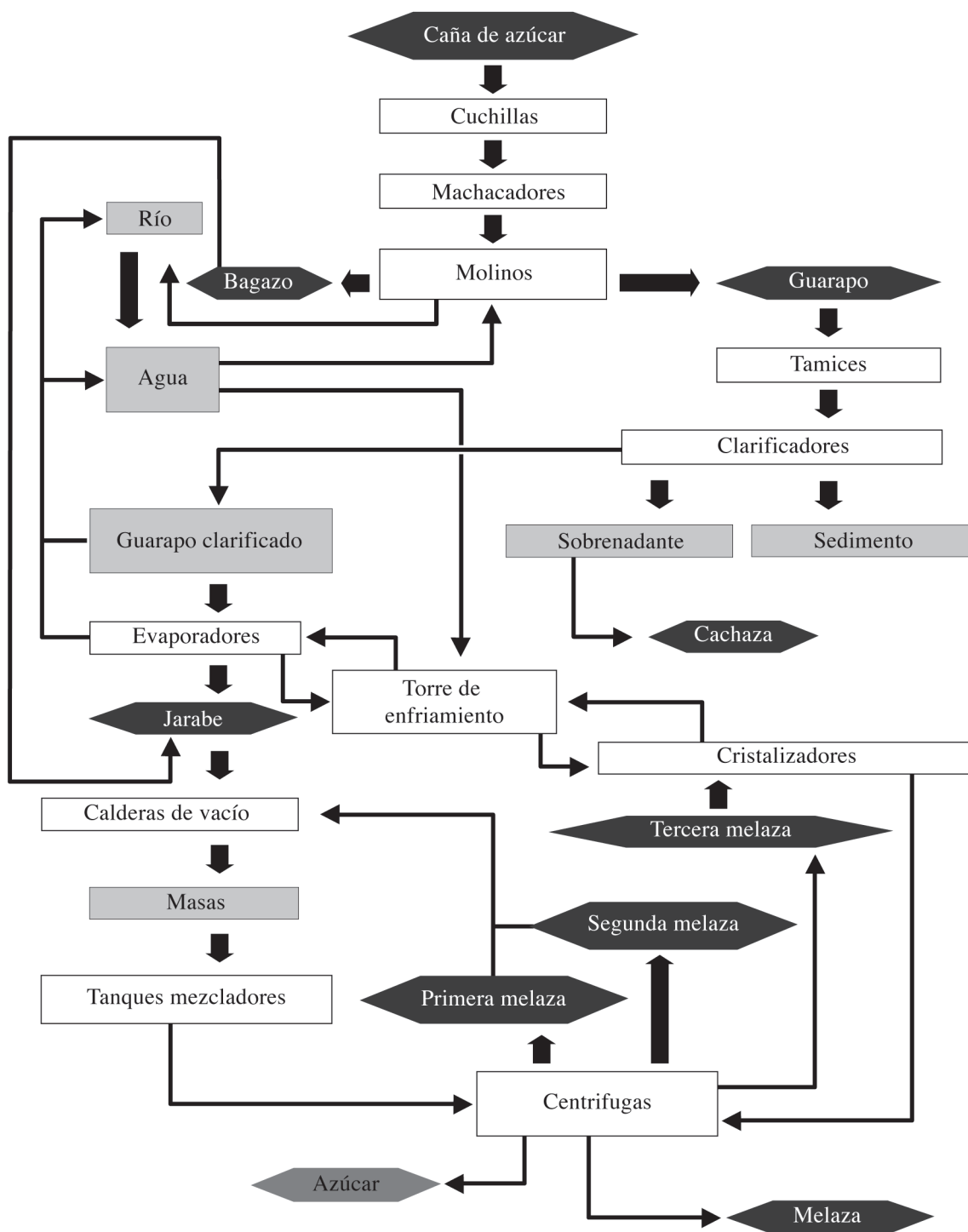


FIGURA 2. Diagrama de flujo del proceso de fabricación de azúcar en el Ingenio Mahuixtlán, con recirculación de agua. (Fuente: Olgúin *et al.*, 2000).

Esto señala que la introducción de torres de enfriamiento podría ser una práctica a seguir por otros ingenios. Desafortunadamente, la mayoría de los dueños de los ingenios argumentan que no tienen suficiente liquidez para realizar cambios de este tipo y se requieren apoyos financieros, además de soluciones técnicas.

Los trabajos anteriormente descritos incluyeron también la generación de recomendaciones a las empresas participantes, las cuales estuvieron orientadas al manejo sustentable del agua en sus procesos productivos y al ahorro significativo en el pago de las descargas de aguas residuales (Olguín *et al.*, 2005). A futuro, este es el argumento que deberá convencer a los productores para adoptar la estrategia de producción más limpia. Entre más agua ahorren, menor será el pago por derecho de descarga y más rentable será su empresa.

DESARROLLO Y TRANSFERENCIA DE BIOTECNOLOGÍAS AMBIENTALMENTE PERTINENTES (BAP)

Las biotecnologías ambientalmente pertinentes son sustentables en términos de materia y energía, ya que siguen los principios de la política de las cinco *Rs*, y de manera específica a la recuperación, reciclaje de nutrientes y re-uso de aguas residuales (Olguín *et al.*, 2004). En el caso de la agroindustria del azúcar, se ha demostrado que para el tratamiento de vinazas que tienen una alta carga orgánica (DBO y DQO), la digestión anaerobia resulta altamente eficiente para degradar la materia orgánica, requiriendo una mínima cantidad de energía y obteniendo subproductos valiosos como el metano (Winkler, 1999) (figura 1). Sin embargo, los efluentes resultantes no tienen las características necesarias de acuerdo a la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 (N, P, sólidos, etc.), para ser descargados a los cuerpos de agua y/o suelos correspondientes. Por lo tanto, otras BAP como la fitorremediación y la fico-

remediación surgen como alternativas a las tecnologías convencionales para el postratamiento de los efluentes de la digestión anaerobia o para el tratamiento de vinazas diluidas. La fitorremediación es el uso de plantas para remover, contener o degradar contaminantes (Macek *et al.*, 2000), mientras que en la ficorremediación se hace uso de las algas para propósitos semejantes (Olguín, 2003). Dichas tecnologías utilizan la luz solar como fuente de energía para la fotosíntesis en plantas y algas, respectivamente, lo que las hace competitivas respecto a las convencionales.

Recientemente se ha desarrollado una fitotecnología para el tratamiento de vinazas diluidas, la cual consiste en humedales construidos utilizando una planta emergente llamada *Pontederia sagittata*, nativa de zonas tropicales. Dicho sistema resulta tan eficiente que no es necesario el uso de un pre-tratamiento de las vinazas como serían los reactores anaerobios, sino simplemente la dilución de las vinazas con agua de proceso y el ajuste del pH a 6.0 (Olguín *et al.*, 2007, 2008). Asimismo, debido al alto contenido de nutrientes y sales presentes en los efluentes anaerobios de las vinazas, el postratamiento en lagunas con *Salvinia minima* es factible (Cervantes y Olguín, 2008)

CONCLUSIONES

Uno de los sectores económicos más importantes en el estado de Veracruz es el sector azucarero. De igual forma, esta agroindustria está considerada como una de las que más impactos negativos genera sobre el ambiente. Sin embargo, existen nichos de oportunidad tendientes a minimizar, por un lado, los impactos ambientales negativos generados por la actividad azucarera tanto en campo como en fábrica y, por otro, a la búsqueda de alternativas que permitan optimizar los procesos de producción y generar nuevos productos mediante el aprovechamiento de los subproductos, lo que a su vez permitirá ofrecer

una mayor rentabilidad a esta agroindustria. De manera particular destaca el aprovechamiento de las vinazas, las cuales actualmente son un derivado de la producción de alcohol que es vertido generalmente a los ríos sin tratamiento, causando un gran impacto negativo. Dentro del espectro de oportunidades, la implementación de estrategias que integren el empleo de herramientas de producción más limpia y la adopción de biotecnologías ambientalmente pertinentes, contribuiría en gran medida a la mitigación de los impactos que sobre el ambiente genera la agroindustria azucarera en las diferentes regiones cañeras del estado.

LITERATURA CITADA

- CERVANTES, L. y Eugenia J. Olgúin, 2008, Digestión anaerobia combinada con fitorremediación con *Salvinia minima* para el tratamiento de vinazas, en E.J. Olgúin, G. Sánchez-Galván y M.E. Hernández (eds.), *Resúmenes del I Congreso Latinoamericano de Biotecnología Ambiental, II Congreso Latinoamericano de Biotecnología Algal y V Symposium Internacional de Bioprocesos más Limpios y Desarrollo Sustentable*, Xalapa, Veracruz, México, octubre 5-10.
- COMITÉ DE LA AGROINDUSTRIA AZUCARERA (Coaazúcar), 2006, *Producción de azúcar por clases, miel final y alcohol por ingenios*, Informe Final Preliminar, Zafra 2004-2005, (<http://www.sagarpa.gob.mx/Coaazucar/>), octubre de 2006.
- COSTA, F., V. Rocha, C. Viana y A. Toledo, 1986, Utilization of vinasse effluents from an anaerobic reactor, *Water Science & Technology* 18(12): 135-41.
- DRIESSEN, W., M. Tielbaard y T. Vereijken, 1994, Experience on anaerobic treatment of distillery effluent with the UASB process, *Water Science & Technology* 30(12): 193-201.
- GOBIERNO DEL ESTADO DE VERACRUZ, 2005, *Diagnóstico Ambiental de la Industria Azucarera*, Secretaría de Desarrollo Regional, Coordinación Estatal de Medio Ambiente
- GOYAL, S., R. Seth y V. Handa, 1996, Diphasic fixed-film biomethanation of distillery spentwash, *Biore-source Technology* 56: 239-244.
- HARADA, H., S. Uemura, A.C. Chen, y J. Jayadevan, 1996, Anaerobic treatment of a recalcitrant distillery wastewater by a thermophilic UASB reactor, *Biore-source Technology* 55: 215-221.
- MACEK, T., M. Macková, y J. Kas, 2000, Exploitation of plants for the removal of contaminants in environmental remediation, *Biotechnology Advances* 18: 23-34.
- MOREIRA, J. y J. Goldemberg, 1999, The alcohol program, *Energy Policy* 27: 229-245.
- OLGUÍN, E.J., H.W. Doelle y G. Mercado, 1995, Resource recovery through recycling of sugar processing by-products and residuals, *Resource Conservation & Recycling* 15: 85-94.
- OLGUÍN, E.J., G. Sánchez-Galván, G. Mercado, D. Márquez y J. Vásquez, 2000, Evaluación de los costos sociales y económicos del incumplimiento de la legislación y normas ambientales derivados de la agroindustria en el Estado de Veracruz y una alternativa de solución, en M. Bañuelos, (coord.), *Sociedad, derecho y medio ambiente*, Conacyt/SEP/UAM/Semarnap/Profepa, pp. 319-358.
- OLGUÍN, E.J., 2003, Phycoremediation: key issues for cost-effective nutrient removal processes, *Biotechnology Advances* 22: 81-91.
- OLGUÍN, E.J., G. Sánchez y G. Mercado, 2004, Cleaner production and environmentally sound biotechnology for the prevention of upstream nutrient pollution in the Mexican coast of the Gulf of Mexico, *Ocean & Coastal Management* 47(11-12): 641-670.
- , 2005, Transferencia a Productores de Estrategias de Tecnologías Limpias para el Manejo Sostenible del Agua en Agroindustrias Tropicales, en *Memorias del Primer Congreso Internacional de Casos Exitosos de Desarrollo Sostenible del Trópico*, 2-4 de mayo de 2005, Centro de Investigaciones Tropicales de la Universidad Veracruzana (ed.), 155 pp.
- OLGUÍN, E.J., G. Sánchez, G. Mercado y E. Portela, 2006a, Informe Parcial del Proyecto

- Conacyt/Sagarpa/Inecol, *Tratamiento y Reuso del Agua Residual en Algunos Ingenios Azucareros de la Cuenca del Papaloapan y del Río Blanco para Riego de Caña de Azúcar*, febrero-agosto de 2006.
- OLGUÍN, E.J., G. Mercado y G. Sánchez, 2006b, Hacia una cultura agroindustrial y agropecuaria para el manejo sustentable del agua, en D. Soares, Vázquez, V. Serrano, A. y de la Rosa, A. (coords.), *Gestión y cultura del agua*, Semarnat/IMTA/Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, pp.151-168.
- OLGUÍN, E.J., R.E., González-Portela, M. López, G. Mercado y G. Sánchez-Galván, 2007, *Phytoremediation of Stillage from Ethanol Production with Tropical Aquatic Plants: Pontederia cordata and Pistia stratiotes*, IV Phytotechnologies Conference, EPA, Denver, EUA, septiembre 24-26.
- OLGUÍN, E.J., G. Sánchez-Galván, R.E. González-Portela y M. López-Vela, 2008, Constructed wetland mesocosms for the treatment of diluted sugarcane molasses stillage from ethanol production using *Pontederia sagittata*, *Water Research* 42: 3659-3666.
- SÁNCHEZ, O. y C. Cardona, 2005, Producción biotecnológica de alcohol carburante II: integración de procesos, *Interciencia* 30(11): 679-686.
- SHEEHAN, G. y P. Greenfield, 1980, Utilization, treatment and disposal of distillery wastewater, *Water Research* 14(3): 257-277.
- WINKER, M.A., 1999, *Tratamiento biológico de aguas de desecho*, Limusa, México, 338 pp.
- WORLD WILD FUND (WWF), 2004, Sugar and the Environment, Encouraging Better Management Practices in sugar production. (http://assets.panda.org/downloads/sugarandtheenvironment_fidq.pdf).

Estrategias para la producción sustentable de café



Eugenia J. Olguín
Gloria Sánchez-Galván
Gabriel Mercado Vidal

INTRODUCCIÓN

El café es el segundo producto de comercialización más importante en el mercado internacional, después del petróleo, con un valor anual de 100 billones de dólares. Además, es la fuente de ingresos de más de 25 millones de personas, especialmente dentro de la categoría de pequeños productores (Donald, 2004). Esta agroindustria requiere una gran demanda de mano de obra para llevar a cabo la producción, recolección, industrialización y comercialización del grano. En México se estima que más de 3 millones de personas dependen directa e indirectamente de dicha actividad (Olguín *et al.*, 2006).

México se encuentra entre los primeros 10 productores de café en el mundo, mientras el estado de Veracruz es el segundo a nivel nacional. Alrededor del 80 % de la producción nacional se exporta principalmente a los Estados Unidos de Norteamérica. Por desgracia, México exporta el producto primordialmente como café en grano, el cual es después procesado y vendido por los Estados Unidos como

café tostado y soluble en el mercado internacional (*Gaceta Parlamentaria*, 2005).

El cultivo de café en México se realiza principalmente en cafetales con sombra y sólo el 17 % de ellos no presenta algún tipo de sombra (Anta, 2006). Este agrosistema tiene gran relevancia ambiental y ecológica debido a que las regiones en que se desarrolla coinciden con 15 de las 155 Regiones Terrestres Prioritarias que ha identificado la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio) (Moguel y Toledo, 2004).

A pesar de la importancia económica y ecológica del agrosistema cafetalero, en México, y especialmente en el estado de Veracruz, la cafecultura tiene un alto impacto ambiental negativo, como se discutió en un capítulo anterior, de tal forma que se ha convertido en una amenaza a la biodiversidad y al desarrollo sustentable en esta entidad. Debido a lo anterior se han planteado y desarrollado algunas estrategias como las que se describen a continuación, las cuales tienen como objetivo que esta activi-

dad agroindustrial tenga a futuro un mayor grado de integración armónica con el medio ambiente, dejando de ser una amenaza y se convierta en una oportunidad para el desarrollo sustentable.

PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES

Por las características de los cafetales con sombra diversificada, el agrosistema cafetalero ofrece diferentes servicios ambientales, tales como la captura de agua, conservación del suelo, captura de carbono y conservación de la biodiversidad. Dichos cafetales presentan una extraordinaria variación en cuanto a la estructura y diversidad de su vegetación, lo que le confiere un gran potencial para conservar la biodiversidad y a la vez mantener la productividad económica (Gordon *et al.*, 2007). En México, los cafetales se localizan en sitios estratégicos para la captura de agua, en zonas aledañas a regiones prioritarias para la conservación de la biodiversidad y representan importantes corredores biológicos a nivel altitudinal, ya que la mayor parte de los cafetales se encuentran entre las zonas tropicales y las templadas (Anta, 2006).

En cuanto a la captura de carbono, es importante señalar que en los últimos años se ha planteado, a nivel mundial, una serie de estrategias para disminuir las emisiones de los llamados Gases de Efecto Invernadero (GEI), los cuales contribuyen de manera importante al calentamiento global del planeta. Entre estos GEI, se encuentra el CO₂, y una de las estrategias planteadas para su disminución a partir de que se aprobó el Protocolo de Kyoto, se lleva a través del régimen de “comercio de los derechos de emisión”, el cual permite a los países industrializados que sobrepasan sus cuotas de emisión, comprar y vender mutuamente “unidades de carbono” a países que emiten menos. Dentro de este contexto y ante la pérdida de rentabilidad del campo cafetalero debida a los bajos precios en el mercado internacional, el pago por servicios ambientales y en particular

para la captura y almacenamiento de CO₂ en los sistemas de producción de café con sombra diversificada, se presenta como una alternativa no sólo para dar un valor ecológico agregado y conservar la biodiversidad, sino también para contar con una fuente económica alternativa que permita una integración de este sector al desarrollo sustentable del país (Pineda-López *et al.*, 2005).

PRODUCCIÓN DE CAFÉ ORGÁNICO Y DISMINUCIÓN EN EL USO DE AGROQUÍMICOS

Una de las estrategias propuestas para combatir el impacto ambiental negativo de la cafecultura es la producción de café orgánico basado en modelos de producción sustentable. México es el primer productor de café orgánico en el mundo. En el año 2006 se cultivaron 71 000 has de café orgánico que representaron el 10 % de las plantaciones de café del país y el 33 % de la superficie nacional cultivada bajo métodos orgánicos (Anta, 2006). En nuestro país, el cultivo de café orgánico nació en gran medida a raíz de la búsqueda de soluciones a los problemas de bajos precios y a la falta de financiamiento. Sin embargo, uno de los principales beneficios al implementar esta práctica, ha sido la disminución en el uso de agroquímicos al utilizar abono orgánico, así como también lograr el control de plagas y enfermedades de una manera manual y biológica, reduciendo de esta manera la contaminación debida a dichos compuestos.

Para que la producción de café orgánico sea sustentable es esencial que se reciclen los nutrientes contenidos en los residuos sólidos derivados del procesamiento del café en los beneficios húmedos y se regresen en forma de composta de alta calidad a las fincas. Desde la década de los noventa, se desarrolló la tecnología para el “compostaje acelerado” de pulpa (Sánchez *et al.*, 1999a), la cual se discute más adelante y que puede constituir parte de la estrategia de producción de café orgánico. También se ha

difundido el uso de la vermicomposta como un fertilizante adecuado para la producción de café orgánico. Otra alternativa para combatir el impacto de los agroquímicos es la racionalización de su uso mediante la aplicación de programas de manejo integrado de los cultivos y la promoción de la reforestación y protección de las cuencas cafetaleras.

PRODUCCIÓN DE CAFÉ DE SOMBRA O CAFÉ AMIGABLE CON LAS AVES

La importante relación entre las aves migratorias y los “cafetales de sombra” en México, Centro y Sudamérica, ha generado el interés por las aves y su conservación en el agrosistema cafetalero (Dietsch *et al.*, 2007), lo que a su vez ha llevado al desarrollo de una nueva estrategia de certificación en la producción de café llamada “Café amigable con las aves”. Además, esto también forma parte de la tendencia actual de promover tipos de café especializados, como una medida para enfrentar la crisis de los precios del café por parte de los pequeños productores. El café de sombra se debe producir bajo sombra diversificada, libre de agroquímicos y permitiendo mantener una condición adecuada del hábitat que requieren algunas especies de aves cuando migran hacia las regiones cafetaleras.

Hasta 2006, en México se tenían registrados más de 1 900 productores que han sido certificados como “cafetales amigables con las aves” con una superficie de 6 814 ha. Los pequeños productores representan el 99 % y tienen el 80 % de la superficie certificada (Anta, 2006).

AHORRO Y USO RACIONAL DEL AGUA COMO UNA ESTRATEGIA DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA

Con la entrada en vigor de la NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residua-

les en aguas y bienes nacionales (*Diario Oficial de la Federación*, 2003), algunos beneficiadores de café mostraron interés en reducir el consumo de agua en su proceso. En los beneficios de café más tradicionales se utilizan, en la mayoría de los casos, una gran cantidad de agua (8 l/kg de café cereza) para el procesamiento del grano (café cereza). El agua es utilizada para transportar el grano, remover la cáscara exterior o pulpa de café (despulpe), retirar el mucílago (lavado) y para la disposición/transporte de pulpa. En virtud de la importancia de implementar una estrategia para el ahorro en el consumo de agua en los beneficios, se realizó un estudio (Olguín *et al.*, 2000) para conocer las opciones de ahorro que algunos beneficiadores de café habían implementado en las dos regiones cafetaleras más importantes del estado de Veracruz: Coatepec y Huatusco. Los resultados mostraron que las estrategias de ahorro de agua van desde las más sencillas, como son el reuso del agua en algunas etapas del proceso y el uso de transportadores del grano de café, hasta las más complejas como la reconversión del equipo que consume más agua. En este último caso, las despulpadoras y desmucilagadoras separan la pulpa de la semilla con una mínima cantidad de agua y el mucílago es desprendido del grano de café en forma mecánica, sustituyendo la fermentación. Estos equipos reducen de manera significativa el consumo de agua, requiriéndose sólo de 0.5 a 1 l/kg de café cereza dependiendo de la marca del equipo.

A pesar de que existen las opciones de ahorro de agua antes mencionadas, aún existen muchos beneficios en los cuales no se han realizado cambios importantes y son pocos los beneficiadores que están dispuestos a reconvertir su proceso comprando nueva maquinaria. Debido a esto, se consideró necesario profundizar en el estudio relativo a la evaluación de los consumos de agua y aplicar una metodología rigurosa para proponer las mejores opciones que lograran minimizar los residuos y en particular el consumo del recurso agua. Teniendo en mente este objetivo, Olguín *et al.* (2001a) utili-

zaron el programa computacional llamado “Iniciativa Estratégica para Minimización de Residuos” (SWAMI, por sus siglas en inglés), el cual fue creado por la Agencia para la Protección del Ambiente en los Estados Unidos (EPA, 2001) y demostraron que puede ser una herramienta muy útil para la optimización del recurso agua y minimización de residuos en el beneficiado húmedo de café. Dicho programa fue creado inicialmente con el objeto de proporcionar a la industria en general una herramienta para identificar las principales fuentes de contaminación y poder establecer estrategias de minimización de residuos, pero no había sido aplicado antes a la problemática del beneficiado húmedo. En la figura 1 se muestra un diagrama con las diversas etapas de la aplicación del SWAMI.

A continuación se resumen algunos aspectos metodológicos y los principales resultados del mencionado estudio (Olguín *et al.*, 2001a), con el objeto de ilustrar las ventajas de su aplicación a la problemática de Veracruz.

Etapa 1: Caracterización de los beneficios y su proceso

Se realizó trabajo de campo en tres beneficios húmedos obteniendo datos del proceso y consumo de agua (cuadro 1). Posteriormente se elaboraron los diagramas de flujo incluyendo las modificaciones realizadas para el ahorro de agua en el proceso en cada beneficio (cuadro 2).



FIGURA 1. Metodología para la aplicación del SWAMI (Fuente: Olguín *et al.*, 2001a).

CUADRO 1. Producción anual de café pergamino húmedo y consumo de agua en los beneficios de café seleccionados

NOMBRE DEL BENEFICIO	PRODUCCIÓN DE CAFÉ PERGAMINO HÚMEDO (TON/AÑO)	CONSUMO DE AGUA (M ³ /AÑO)
Santa Ana	28.71	286.4
Chavarrillo	48.65	1 098.6
Piña	232.5	3 51.5

FUENTE: Olguín *et al.*, 2001a

CUADRO 2. Datos generales de los beneficios seleccionados para la aplicación del SWAMI.

NOMBRE DEL BENEFICIO	UBICACIÓN	CUENCA QUE IMPACTA	CONSUMO DE AGUA (L/KG DE CAFÉ CEREZA PROCESADO)	MODIFICACIONES REALIZADAS PARA DISMINUIR EL CONSUMO DE AGUA	PORCENTAJE DE AHORRO DE AGUA
Santa Ana	Puentecilla, mpio. de Zentla, Ver.	Jamapa	despulpado: 1 lavado: 3	Utilización de un gusano helicoidal para transportar el café cereza a las despulpadoras Reciclaje del agua de despulpe para transportar pulpa de café al pulpero (depósito) Acondicionamiento de muros y piso en los tanques de fermentación (recubrimiento con azulejo) para un mejor escurrimiento del agua de lavado.	50*
Piña	Corazón de Jesús, mpio. de Zentla, Ver.	Jamapa	despulpado: 1.75 lavado: 5.25	Utilización de un gusano helicoidal para transportar el café cereza a las despulpadoras	12.5*
Chavarrillo	Chavarrillo mpio. de Emiliano Zapata, Ver.	Actopan	despulpado: 0.90 lavado: 3.3 transporte de pulpa: 1.8	Instalación de una tolva para la alimentación del café a las despulpadoras por gravedad, pero no ha funcionado	0

*Se considera un consumo de 8 litros de agua/kg de café cereza procesado como el 100 %.

FUENTE: Olguín *et al.*, 2001a

En el caso del beneficio Santa Ana (figura 2), las modificaciones lograron reducir el consumo hasta cuatro l/kg café cereza mientras en el beneficio Piña, la única modificación realizada sólo logró reducir dicho consumo a siete l/kg café cereza. En el caso del beneficio Chavarrillo, el consumo cuantificado fue de seis l/kg de café cereza.

El estudio encontró que la mayoría de los beneficios no trataba sus aguas residuales, aunque algu-

nos de ellos sí daban tratamiento a la pulpa de café (cuadro 2).

Los análisis fisicoquímicos realizados a las aguas residuales confirmaron lo altamente contaminantes que son debido a su gran contenido de materia orgánica medida como Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) en el rango de, aproximadamente, 3 000 a 6 000 mg/l y su bajo pH en el rango de tres a cuatro.

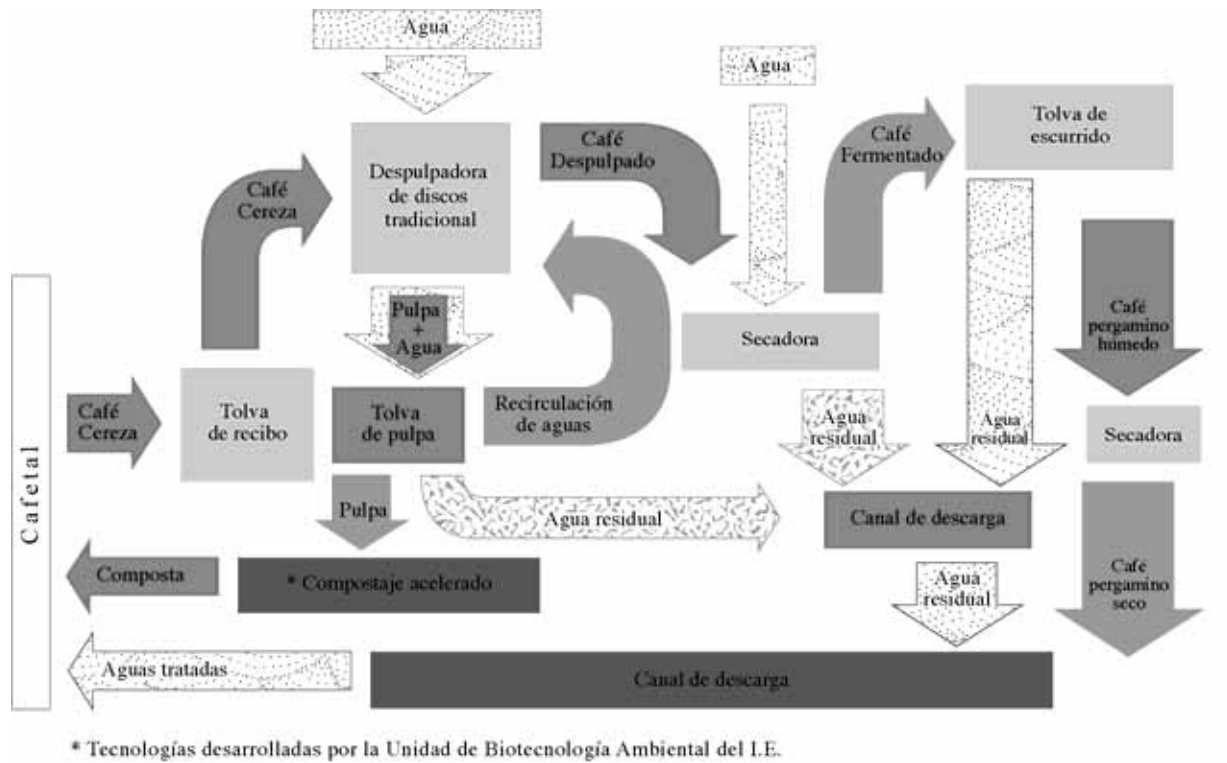


FIGURA 2. Diagrama de flujo del beneficio húmedo de café “Santa Ana” con recirculación de agua y reciclaje de pulpa (Fuente: Olgúin *et al.*, 2000).

Etapa 2: Identificación de las fuentes de residuos y oportunidades de minimización

El programa SWAMI identificó tanto los flujos de residuos en las etapas de despulpe y lavado de café, así como las oportunidades de minimización. Los balances de masa generados permitieron identificar las prioridades en función de la cantidad del contaminante descargado en mayor proporción, en este caso la cantidad de materia orgánica (DBO) para posteriormente elaborar el reporte de responsabilidades. Para el beneficio Santa Ana, a pesar de que el agua de despulpe tenía la mayor concentración de DBO (16 147 mg/l), ésta presentaba una mínima responsabilidad dado que era reciclada y el volumen a descargar era muy pequeño en comparación con el resto de las aguas de lavado.

Etapa 3 : Evaluación de la prioridad de cada oportunidad

La evaluación de la prioridad se realizó en función del pago por concepto de descarga de aguas residuales que no cumplen los límites máximos permisibles de la NOM-001-SEMARNAT-1996, siendo la DBO el parámetro prioritario a considerar.

Etapa 4: Planeación de estrategias para la minimización de residuos

Se propusieron las estrategias generales para la minimización de residuos. Éstas dependen de diversos factores, tales como el origen y tipo del residuo así como la transformación que puede

sufrir (física o química), mediante innovaciones tecnológicas adecuadas o apropiadas a cada beneficio, según su entorno económico-social y ambiental. En el beneficio “El Guayabal”, ubicado en Coatepec (figura 3) ya se utilizan despulpadoras y desmucilagadoras que consumen un mínimo de agua (0.5 l/kg de café cereza).

Etapas 5: Asesoría y transferencia de tecnologías al usuario

Finalmente se dictaminaron las estrategias más adecuadas para cada beneficio, de acuerdo a su proceso y a su situación económica, permitiéndoles lograr ahorros considerables en el pago de

descarga de aguas residuales. En el caso del beneficio Santa Ana, el principal usuario del Proyecto, se logró transferirle dos biotecnologías ambientalmente pertinentes. La primera con el objeto de tratar las aguas de despulpe, utilizando un sistema integral que combina la digestión anaerobia y el postratamiento de efluentes anaerobios en lagunas con plantas acuáticas (Olguín *et al.*, 2003). Este sistema permitió tratar el total de las aguas residuales generadas, reciclándolas en actividades agrícolas dentro del mismo beneficio. La segunda tecnología transferida fue el proceso para el “compostaje acelerado” de pulpa de café (Sánchez *et al.*, 1999a), mediante el cual se logró reciclar todos los nutrientes contenidos en la pulpa, en forma de composta de alta cali-

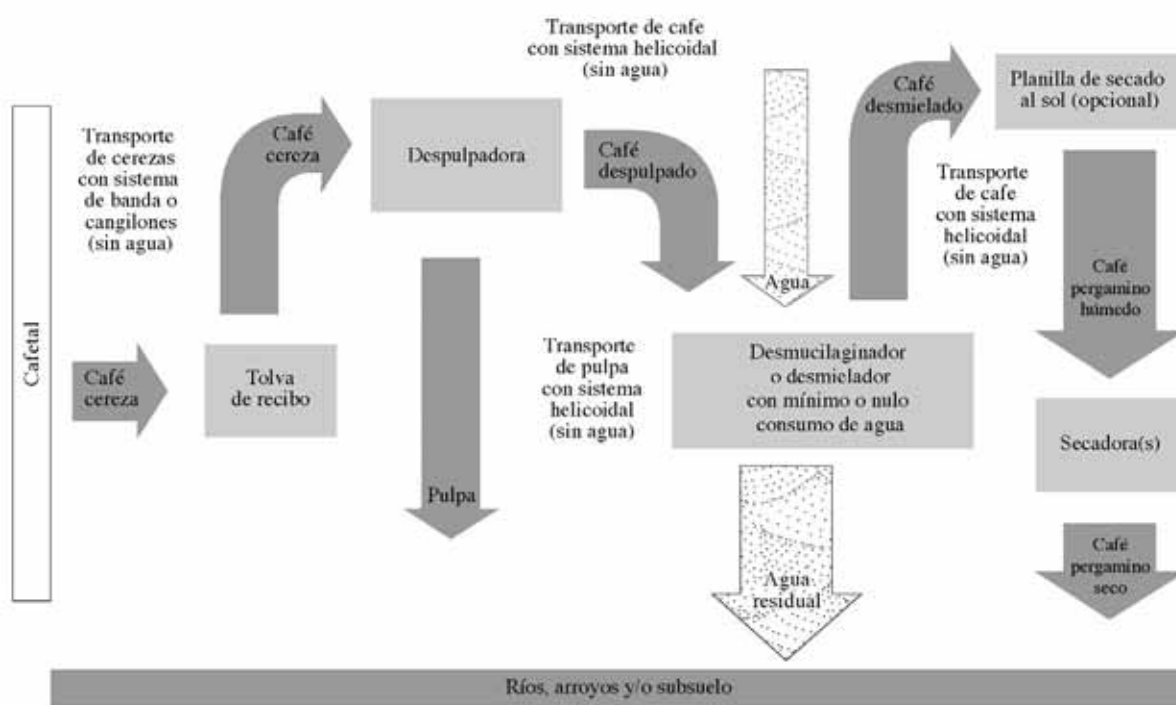


FIGURA 3. Diagrama de flujo del beneficio húmedo de café “El Guayabal”, con equipo de despulpe y desmucilagado de mínimo consumo de agua.

dad, que sustituyó el uso de fertilizantes químicos (figura 4).

Dentro de esta última etapa es importante implementar una serie de talleres participativos entre los productores, que divulguen los beneficios de los cambios y de las innovaciones tecnológicas, para contrarrestar las actitudes de resistencia al cambio.

RECICLAJE DE LAS AGUAS RESIDUALES Y DE LA PULPA, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BIOTECNOLOGÍAS AMBIENTALMENTE PERTINENTES

Existen biotecnologías que han probado ser ambientalmente pertinentes y económicamente factibles. El mayor beneficio de este tipo de tecnologías es que son sustentables en términos de materia y energía y que siguen algunos de los principios generales de la política de las cinco R's, tales como recuperación y reciclaje de nutrientes, y re-uso de agua residual (Olguín, 2000a). A continuación se describen algunas biotecnologías de este tipo, adecuadas para el tratamiento de las aguas residuales generadas durante el despulpe, la fermentación y el lavado de café que ya han sido aplicadas en el estado de Veracruz:

Digestión anaerobia

La digestión anaerobia es uno de los procesos que debe formar parte de los sistemas integrales para el tratamiento de aguas residuales de beneficios de café, dado que promueve una remoción inicial considerable de la materia orgánica. Las principales ventajas de esta tecnología, comparada con los tratamientos aeróbicos convencionales, son: *a)* su gran capacidad para tratar sustratos degradables en altas concentraciones, *b)* poca producción de lodos, *c)* bajos requerimientos energéticos y *d)* obtención de valiosos subproductos como el metano. Esta tecnología tiene un amplio potencial en países en desarrollo, ya que la mayoría de las tecnologías disponibles actualmente para el tratamiento de aguas residuales son muy costosas, además de que no permiten el re-uso de energía valiosa y nutrientes contenidos en dichas aguas (Olguín *et al.*, 2004). De acuerdo a Monroy *et al.* (1998), a la fecha de su publicación, existían siete reactores anaerobios en beneficios de café localizados en el estado de Veracruz. En el cuadro 3 se presentan datos sobre la eficiencia de algunos reactores anaerobios. Cabe destacar que los filtros anaerobios son más fáciles de implementar, de menor costo y más eficientes que los de lechos de lodos de flujo ascendente.

CUADRO 3. Eficiencia de algunos reactores anaerobios para el tratamiento de aguas residuales de beneficios de café.

TIPO DE REACTOR	PORCENTAJE DE REMOCIÓN	REFERENCIA
Filtro anaerobio	DBO: 97 %	Rivero y Fernández, 1989 Sánchez <i>et al.</i> , 1999
Filtro anaerobio	DBO: 99 % Sólidos: 80 %	Olguín <i>et al.</i> , 2001a
Lecho de lodos flujo ascendente	DQO: 80 %	Jeison <i>et al.</i> , 1999



FIGURA 4. La tecnología del “compostaje acelerado” de pulpa fue desarrollada y transferida exitosamente a beneficiadores de café de la región de Huatusco, Ver.

Los efluentes resultantes de la digestión anaerobia de las aguas residuales del beneficiado húmedo de café, contienen cantidades importantes de nitrógeno y fósforo que exceden los límites máximos permisibles de descarga establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996. De hecho, el fracaso de los programas que promovieron el uso de digestores anaerobios en Veracruz hace más de dos décadas, se debió, en parte, a que no se instalaron sistemas de postratamiento de efluentes anaerobios y que el exceso de dichos nutrientes provocó la eutrofización de los cuerpos de agua donde eran descargados. Por lo anterior, es necesario el uso de otras tecnologías, tales como la ficorremediación y la fitorremediación para el postratamiento de dichos efluente-

bios, como se plantea en los sistemas integrales que combinan ambas tecnologías (Olguín, 2000b).

Fitorremediación

La fitorremediación ha sido definida como el uso de plantas para remover, contener o degradar contaminantes de aguas, suelos, sedimentos y aire. La fitorremediación con plantas acuáticas ha sido aplicada principalmente a la remoción de nutrientes y metales pesados de aguas residuales (Olguín *et al.*, 2004). Las lagunas con plantas acuáticas son consideradas como una opción adecuada para el tratamiento terciario de las aguas residuales del

beneficiado del café. Los contaminantes presentes en el agua son removidos por la planta o por las relaciones mutuas y coordinadas de flujo de energía y nutrientes entre la planta y los microorganismos degradadores presentes en la rizósfera (Núñez *et al.*, 2004). Se han descrito sistemas integrales eficientes que combinan la digestión anaerobia y la fitorremediación con lagunas con plantas acuáticas para el postratamiento de efluentes anaerobios de aguas residuales de café (cuadro 4). En general, es más recomendable utilizar *Salvinia minima*, debido a su mayor productividad, pero en caso de que ésta no esté disponible en la zona de trabajo se puede recurrir a las lemnáceas.

Compostaje para el reciclaje de pulpa de café.

Durante el beneficiado del café, el 40 % del peso del café cereza que ingresa al inicio del proceso se descarga como pulpa de café (Sánchez *et al.*, 1999a). Debido a sus características fisicoquímicas, tales como el alto contenido de azúcares y humedad, este residuo representa un sustrato ideal para que se degrade de forma natural liberando malos olores y lixiviados altamente contaminantes del suelo y el agua. La total degradación de este residuo, de manera natural toma entre seis y ocho meses.

El compostaje es una de las biotecnologías ambientalmente pertinentes que se ha propuesto

para el tratamiento y reciclaje de la pulpa de café. Es un proceso en el que se establece un ecosistema complejo debido a la interacción de diversos factores y en el cual los residuos orgánicos biodegradables son estabilizados y convertidos por la acción de ciertos microorganismos bajo condiciones controladas de humedad, calor y aereación (Yu *et al.*, 2007). Se han desarrollado varias innovaciones tecnológicas para aplicar los fundamentos del compostaje al tratamiento de la pulpa de café, destacando el “compostaje microbiológico acelerado” y el “vermicompostaje”. Con relación al primer tipo de tecnología, ésta fue desarrollada en el Inecol (Sánchez *et al.*, 1999a, 1999b) y ha sido transferida exitosamente a beneficiadores de Zentla, Veracruz (Olguín *et al.*, 2006) (figura 4). Consiste en realizar mezclas de pulpa de café adicionando proporciones definidas de otros subproductos ricos en azúcares fácilmente degradables y en nitrógeno fácil de utilizar por los microorganismos, logrando así reducir el tiempo de su degradación. Los subproductos adicionados funcionan como “aceleradores” del proceso de degradación efectuado por la población microbiana autóctona de la pulpa, lográndose disminuir el tiempo de generación de composta madura, en comparación con la degradación natural e incrementando el contenido de nutrientes y ácidos húmicos. Este proceso de “compostaje microbiano acelerado” ha

CUADRO 4. Eficiencia de remoción de materia orgánica y nutrientes de efluentes anaerobios de aguas residuales de café en lagunas con plantas acuáticas.

PLANTA	PRODUCTIVIDAD (t/ha/año)	PORCENTAJES DE REMOCIÓN	REFERENCIA
<i>Spirodela polyrrhiza</i>	11	DBO: 51 %, NTK: 86 % N-NH ₄ : 98 %	Olguín <i>et al.</i> , 2001b
<i>Salvinia minima</i>	28	NTK: 78 % N-NH ₄ : 80 % P: 74 %	Olguín <i>et al.</i> , 2003

sido probado con pulpa proveniente de las despulpadoras tradicionales, así como aquella de las nuevas despulpadoras que no utilizan agua (cuadro 5), y la tecnología está lista para ser transferida a diversos beneficios, dado que se demostró que la composta generada contiene un alto contenido de nitrógeno y de ácidos húmicos.

Por otro lado, la tecnología del vermicompostaje utiliza lombrices para la descomposición de la materia orgánica. Los factores más estudiados en la optimización de este proceso han sido: la densidad del inóculo, la profundidad del lecho y el tiempo de degradación (Orozco *et al.*, 1996). Cabe señalar que en el caso del vermicompostaje se requiere que la pulpa de café sea previamente degradada de forma parcial, antes de la introducción de las lombrices, quienes no toleran las altas temperaturas (arriba de los 50 °C) que se generan durante la etapa de degradación microbiana. La lombriz más utilizada para el vermicompostaje, *Eisenia foetida*, muestra una temperatura óptima de 21 °C (Mendoza, 2006; Capistrán *et al.*, 1999), lo que señala la importancia de dicha degradación parcial previa a la introducción de las lombrices, etapa que puede aumentar el costo y tiempo de producción de la composta. Asimismo, la cantidad de nutrientes como N (1.8-3.04 %) y P

(0.2 %) reportados para vermicomposta de café (Siles, 1997) son menores o similares a los reportados para composta generada por el proceso de “compostaje acelerado”, cuando se utilizaron cachaza-gallinaza y mucílago-excretas (Sánchez *et al.*, 1999a, 2001).

Otras alternativas para el aprovechamiento de la pulpa de café

Algunos estudios han mostrado la factibilidad de producir biogás (metano más dióxido de carbono) a través de la digestión anaerobia a partir de pulpa de café (Houbbron *et al.*, 2003). Otros estudios señalan a la pulpa de café como una fuente potencial de ácidos fenólicos de alto valor agregado con aplicación prometedora en la industria farmacéutica y de alimentos (Benoit *et al.*, 2006). También se ha descrito el gran potencial de la pulpa de café como sustrato para la producción microbiana de aromas a través de la fermentación sólida (Medeiros *et al.*, 2003). Finalmente, la pulpa de café también ha sido utilizada como sustrato para el cultivo de hongos comestibles (Hernández *et al.*, 2003; Velázquez-Cedeño *et al.*, 2002).

CUADRO 5. Diversas experiencias de aplicación de la tecnología para el compostaje acelerado de pulpa de café en diferentes tipos de beneficios y con diversos residuos como aceleradores.

PROCEDENCIA DE LA PULPA Y TIPO DE ACELERADORES	CARACTERÍSTICAS DE LA COMPOSTA	REFERENCIA
Beneficio tradicional: cachaza y gallinaza	Nitrógeno total: 4.8% Fósforo: 3%	Sánchez <i>et al.</i> , 1999a
Beneficio modificado: cachaza y gallinaza	Ácidos húmicos: pulpa: 67.10% pulpa + aceleradores: 76.3%	Sánchez <i>et al.</i> , 1999b
Beneficios reconvertidos: mucílago de café y estiércol ovino	Nitrógeno total: 3.1% Fósforo: 0.4% Ácidos húmicos: 81.59%	Sánchez <i>et al.</i> , 2001

CONSIDERACIONES FINALES

Uno de los sectores económicos más importantes en el estado de Veracruz es la cafecultura. Sin embargo, esta actividad representa una amenaza a la biodiversidad cuando se realiza sin seguir los fundamentos básicos del desarrollo sustentable. Debido a lo anterior, se han planteado y desarrollado una serie de estrategias para lograr cambios importantes desde el cultivo hasta el procesamiento del café, tendientes a minimizar los impactos ambientales negativos y a transformar a la cafecultura en una actividad más armónica con el medio ambiente. Se recomienda la implementación de Programas de Desarrollo Regional para la cafecultura, que incluyan una serie de alternativas, tales como: *a*) pagos por servicios ambientales; *b*) promoción de café orgánico y café de sombra amigable con las aves; *c*) adopción de estrategias de Producción Más Limpia que promuevan cambios en el beneficiado húmedo para lograr el ahorro y uso racional de agua, y *d*) adopción de Biotecnologías Ambientalmente Pertinentes. Dentro de estas últimas, destacan los sistemas integrales para el tratamiento de aguas residuales, combinando la digestión anaerobia y la fitorremediación y también los procesos desarrollados para el “compostaje acelerado” o para el vermicompostaje de pulpa de café, muy útiles en la producción de café orgánico. La implementación de dichos programas coadyuvará a la mitigación de la contaminación generada por este sector agroindustrial y a un desarrollo regional sustentable.

Finalmente, es importante mencionar que los programas regionales a promover, deberán contemplar aspectos de difusión y promoción que incluyan incentivos, de tal forma que se logre revertir la actual pasividad y falta de interés entre los productores, demostrando que los cambios e innovaciones tecnológicas no sólo beneficiarán el medio ambiente, sino que también beneficiarán la rentabilidad de la producción de café.

LITERATURA CITADA

- ANTA, S., 2006, El café de sombra: un ejemplo de pago de servicios ambientales para proteger la biodiversidad, *Gaceta Ecológica INE/Semarnat*, 80: 19-31.
- BENOIT, I., D. Navarro, N. Marnet, N. Rakotomanoana, L. Lesage-Meessen, J.C. Sigoillot, y M. Asther, 2006, Feruloyl esterases as a tool for the release of phenolic compounds from agro-industrial by-products, *Carbohydrate Research* 341(11): 1820-1827.
- CAPISTRÁN, F., E. Aranda y J.C. Romero, 1999, *Manual de reciclaje, compostaje y lombricompostaje*, Instituto de Ecología, Xalapa, Veracruz, 150 pp.
- DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN, 2003, Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996.
- DIETSCH, T.V., I. Perfecto y R. Greenberg, 2007, Avian foraging behavior in two different types of coffee agroecosystem in Chiapas, Mexico, *Biotropica* 39(2): 232-240.
- DONALD, P.F., 2004, Biodiversity impacts of some agricultural commodity production systems, *Conservation Biology* 18 (1): 17-37.
- Environmental Protection Agency, 2001, *User's guide for SWAMI (Strategic Waste Minimization Initiative)*, Version 2.0 Environmental protection Agency, Center for Environment Research Information, Cincinnati, OH. EUA.
- GACETA PARLAMENTARIA, 2005, *Proyecto de Ley de Desarrollo Integral y Sustentable de la Cafecultura*, Cámara de Diputados, Comisión Especial del Café, Año IX, núm. 1911.
- GORDON, C., R. Manson, J. Sundberg y A. Cruz-Angón, 2007, Biodiversity, profitability, and vegetation structure in a Mexican coffee agroecosystem, *Agriculture Ecosystems & Environment* 118: 256-266.
- HERNÁNDEZ, D., J.E. Sánchez y K. Yamasaki, 2003, A simple procedure for preparing substrate for *Pleurotus ostreatus* cultivation, *Bioresource Technology* 90 (2): 145-150.
- HOUBRON, E., A. Larrinaga y E. Rustrián, 2003, Liquefaction and methanization of solid and liquid coffee

- wastes by two phase anaerobic digestion process, *Water Science & Technology* 48(6): 255-262.
- JEISON, D. y R. Chamy, 1999, Comparison of the behaviour of expanded granular sludge bed (EGSB) and upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors in dilute and concentrated wastewater treatment, *Water Science & Technology* 40(8): 91-97.
- MEDEIROS, A.B.P., P. Christen, S. Roussos, J.C. Gern, y C.R. Soccol, 2003, Coffee residues as substrates for aroma production by *Ceratocystis fimbriata* in solid state fermentation, *Brazilian Journal of Microbiology* 34 (3): 245-248.
- MENDOZA, L., 2006, *Manual de Lombricultura*, Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos del estado de Chiapas, CECYTECH-DG-UI-ENC-001.
- MOGUEL, P. y V.M. Toledo, 2004, Conservar produciendo: biodiversidad, café orgánico y jardines productivos, *Biodiversitas* 55: 2-7.
- MONROY, O., G. Famá, M. Meraz, L. Montoya y O. Macarie, 1998, Digestión anaerobia en México: estado de la tecnología, *Ingeniería y Ciencias Ambientales* 39: 12-23.
- NÚÑEZ-LÓPEZ, A.R., Y. Meas-Vong, R. Ortega-Borges y E.J. Olgún, 2004, Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones, *Ciencia* 55(3): 69-82.
- OLGUÍN, E.J., 2000a, Cleaner Bioprocesses and Sustainable Development, en Olgún, E.J., Sánchez, G. y Hernández, E. (eds.), *Environmental Biotechnology and Cleaner Bioprocesses*, Taylor & Francis, Londres, pp. 3-17.
- _____, E.J., 2000b, The cleaner production strategy applied to the animal production industry, en Olgún, E.J., G. Sánchez, y M.E. Hernández (eds.), *Environmental Biotechnology and Cleaner Bioprocesses*, Taylor & Francis, Londres, pp. 227-243.
- OLGUÍN, E.J., G. Sánchez, G. Mercado, D. Márquez y J. Vásquez, 2000, Evaluación de los costos sociales y económicos del incumplimiento de la legislación y normas ambientales derivados de la agroindustria en el Estado de Veracruz y una alternativa de solución, en M. Bañuelos, (coord.), *Sociedad, derecho y medio ambiente*, Conacyt/SEP/UAM/Semarnap/Profepa, México, pp. 319-258.
- OLGUÍN, E.J., G. Sánchez, G. Mercado, E. Hernández y T. Pérez, 2001a, *Contribución al rescate de tres de las principales cuencas del estado de Veracruz, mediante el desarrollo, promoción y transferencia de tecnologías limpias*, Reporte a SIGOLFO (Conacyt), 135 pp.
- OLGUÍN, E.J., G. Sánchez, E. Hernández, I. Gallardo y G. Mercado, 2001b, Digestión y fitorremediación de aguas residuales de beneficios de café, en: Memorias del IX Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería, XIII Congreso Nacional de Ingeniería Bioquímica y II Congreso Internacional de Ingeniería Bioquímica, de la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería, Veracruz, Ver., 10-14 de septiembre.
- OLGUÍN, E.J., D. Rodríguez, G. Sánchez, M.E. Ramírez y E. Hernández, 2003, Productivity, protein content and nutrient removal from anaerobic effluents of coffee wastewater in *Salvinia minima* ponds, under subtropical conditions, *Acta Biotechnologica* 23 (2-3): 259-270.
- OLGUÍN, E.J., G. Sánchez y G. Mercado, 2004, The cleaner production strategy and environmentally sound biotechnology for the prevention of upstream nutrient pollution in the Mexican coast of the Gulf of Mexico, *Ocean & Coastal Management* 47 (11-12): 641-670.
- OLGUÍN, E.J., G. Mercado y G. Sánchez, 2006, Hacia una cultura agroindustrial y agropecuaria para el manejo sustentable del agua, en D. Soares, Vázquez, V. Serrano, A. y de la Rosa, A. (coords.), *Gestión y cultura del agua*, Semarnat/IMTA/Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, pp.151-168.
- OLGUÍN, E.J., G. Sánchez-Galván y T. Pérez-Pérez, 2007, Assessment of the phytoremediation potential of *Salvinia minima* compared to *Spirodela polyrrhiza* in high-strength organic wastewater, *Water Air & Soil Pollution* 181: 135-147.
- OROZCO, H., J. Cegarra, L.M. Trujillo y A. Roig, 1996, Vermicomposting of coffee pulp using the earthworm *Eisenia foetida*: Effects on C and N contents

- and the availability of nutrients, *Biology & Fertility of Soils* 22 (1-2): 162-166.
- PINEDA-LÓPEZ, M.R., G. Ortiz-Ceballos y L. Sánchez-Velásquez, 2005, Los cafetales y su papel en la captura de carbono: un servicio ambiental aún no valorado en Veracruz, *Madera y Bosques* 11(2): 3-14.
- RIVERO, L y A. Fernández, 1989, *Diseño, construcción, operación y evolución de un filtro anaerobio piloto para el tratamiento de las aguas residuales provenientes de beneficios de café*, tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz.
- SÁNCHEZ, G., G. Mercado y E.J. Olgúin, 1993, Evaluación de la eficiencia de los filtros anaerobios para el tratamiento de las aguas residuales de los beneficios húmedos de café, *Biotechnología* 3(3): 105-108.
- SÁNCHEZ, G., E.J. Olgúin y G. Mercado, 1999a, Accelerated coffee pulp composting, *Biodegradation* 10:35-41.
- SÁNCHEZ, G., E.J. Olgúin, R. Marín y G. Mercado, 1999b, Evaluación de la madurez de la composta de pulpa de café, en *Proceedings of the III International Seminar on Biotechnology in the Coffee Agroindustry*, mayo 24-28 de 1999, Londrina, Brasil.
- SÁNCHEZ, G., S. Galán, G.. Mercado y E.J. Olgúin, 2001, Compostaje acelerado de pulpa de café proveniente de beneficios reconvertidos, en Memorias del IX Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería, XIII Congreso Nacional de Ingeniería Bioquímica y II Congreso Internacional de Ingeniería Bioquímica, de la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería, Veracruz, Ver., 10-14 de septiembre.
- SILES, C.J., 1997, *Producción de abono orgánico con pulpa de café mediante el lombricompostaje*, tesis de maestría, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 94 pp.
- VELÁZQUEZ-CEDEÑO, M.A., G. Mata y J.M. Savoie, 2002, Waste-reducing cultivation of *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus pulmonarius* on coffee pulp: changes in the production of some lignocellulolytic enzymes, *World Journal of Microbiology & Biotechnology* 18 (3): 201-207.
- YU, H., G. Zeng, H. Huang, X. Xi, R. Wang, D. Huang, G. Huang y J. Li, 2007, Microbial community succession and lignocellulose degradation during agricultural waste composting, *Biodegradation* 18(6): 793-802.

Hongos comestibles: una alternativa sustentable de aprovechamiento de los recursos genéticos y agroforestales



Dulce Salmenes Blásques
Rosario Medel Ortiz
Rigoberto Gaitán-Hernández
Gerardo Mata Montes de Oca

INTRODUCCIÓN

Los hongos son considerados como el segundo grupo más abundante de organismos vivos, después de los insectos. Según estimaciones de Hawksworth (1991), existen 1 500 000 especies de hongos en el mundo, de las cuales 200 000 podrían encontrarse en México y más de 14 000 especies de macromicetos estarían presentes en Veracruz (Guzmán, 1998).

Los hongos comestibles silvestres son consumidos en México desde tiempos prehispánicos. De acuerdo con Guzmán (2001), en nuestro país existen más de 200 especies de hongos comestibles, de las cuales 37 se distinguen por sus propiedades medicinales (Guzmán, 1994) y muchas de ellas están presentes en el estado de Veracruz. Por otro lado, a nivel mundial se ha experimentado con el cultivo y crecimiento de alrededor de 200 especies, de éstas 100 son económicamente cultivadas, pero sólo 60 lo son comercialmente y 10 han alcanzado una escala industrial de producción en varios países (Chang y Miles, 2004). Estos datos de México, y a

nivel mundial, indican el gran potencial que tienen los hongos silvestres en la industria del cultivo de hongos. Este trabajo reúne información sobre el conocimiento y conservación de las especies comestibles silvestres de Veracruz, así también, aporta datos sobre la producción estimada de hongos comestibles, con la finalidad de identificar los beneficios económicos y ecológicos que el desarrollo de esta actividad proporciona a la entidad.

HONGOS COMESTIBLES SILVESTRES EN VERACRUZ

Actualmente se recolectan hongos en la entidad no sólo para autoconsumo sino para la venta, lo que aporta un ingreso a la economía familiar en zonas rurales. La venta de hongos silvestres en los mercados se sigue realizando, especialmente en la zona centro del estado, donde la tradición del consumo de hongos comestibles silvestres se ha mantenido (figura 1).



FIGURA 1. Venta de hongos en un mercado popular (Foto: R. Medel, Coatepec, Ver., julio de 2007).



FIGURA 2. *Boletus edulis* s.l. (panza) (Foto: R. Medel, San Andrés Tlanelhuayocan Ver., septiembre de 2007).

Sin embargo, la sobreexplotación de este recurso y la reducción de los bosques en los últimos años, han impactado en la densidad de población de dichos organismos. Un ejemplo de esto es el hongo de encino *Cantharellus odoratus* (Schwein.) Fr., que Guzmán y Sampieri (1984) citaron como un hongo que se vendía abundantemente en los mercados de Huatusco, Veracruz. Esta especie crecía en los manchones de bosque mesófilo que aún se encontraban cerca de esta localidad, sin embargo, las estadísticas sobre este tipo de bosque en Veracruz apuntan a que aproximadamente el 87 % de la superficie original del mismo, en la entidad, se han eliminado, especialmente en las zonas de Córdoba y Orizaba (Challenger, 2003), de tal manera que es probable que la presencia de este hongo también se haya reducido.

El conocimiento actual de los hongos comestibles silvestres en el estado se puede sintetizar de la siguiente manera: de las 204 especies de hongos comestibles citadas de México, 131 especies están presentes en Veracruz, de éstas 79 se comercializan en los mercados y 61 son micorrícicas (asociadas a diversas especies de árboles) (Villarreal y Pérez-Moreno, 1989). Entre las especies más populares destacan el hongo blanco (*Tricholoma magnivelare* [Peck] Redhead), las morillas

(*Morchella* spp.), panza (*Boletus edulis* Bull.) (figura 2), masayel (*Boletus pinophilus* Pilát & Dermek), todas creciendo en los bosques de coníferas de Veracruz, no así el duraznillo (*Cantharellus cibarius* Fr.) que prospera en el bosque mesófilo de montaña. Otros hongos muy apreciados son los tecomates, que de acuerdo con Guzmán y Ramírez-Guillén (2001), pertenecen al complejo *Amanita caesarea* (Scop.) Pers., e incluyen al menos siete especies comestibles que crecen en bosques de coníferas y de encino (figura 3).

Es importante señalar que de estas especies, el hongo blanco (*T. magnivelare*) (figura 4) es el que alcanza un mayor precio de venta, incluso se encuentra entre los principales productos forestales no maderables con mayor derrama económica en nuestro país (Villarreal y Pérez-Moreno, 1989). *B. edulis*, *C. cibarius* y *Amanita caesarea*, también son especies apreciadas en el mercado, pero al igual que con el hongo blanco, su reproducción *in situ* es difícil ya que son especies micorrícicas. A diferencia del avance significativo de algunos países sobre el aprovechamiento de los hongos micorrícicos, en México los estudios han sido escasos, no habiéndose logrado aún evaluar el potencial de las cepas silvestres a las condiciones de suelo, vegetación y clima existentes en el país (Varela y Estrada-Torres, 1997).



FIGURA 3. *Amanita caesarea* (tecomate) (Foto: A. Julián Carlos, Chignautla, Pue., agosto de 2005).



FIGURA 4. *Tricholoma magnivelare* (hongo blanco) (Foto: A Julián Carlos, Chignautla Pue., septiembre de 2005).

La conservación de las especies de hongos comestibles silvestres en México se reduce a la NOM-059-SEMARNAT-2001 (<http://www.semarnat.gob.mx/pfnm/NOM-ECOL-059Especies>), que considera nueve familias pertenecientes principalmente a los basidiomicetos, las cuales incluyen al menos 12 especies que se sabe son comestibles en Veracruz. De las especies consideradas, *A. caesarea*, *B. edulis*, *C. cibarius*, *Morchella conica* Krombh., *M. elata* Fr., y *M. esculenta* (L.) Pers. (mazorquitas) están sujetas a protección especial, además *Agaricus augustus*, *Boletus pinophilus*, *Suillus brevipes* (Peck) Kuntze, *S. granulatus* (L.) Roussel, *Hygrophorus russula* (Fr.) Kauffman, *Morchella costata* (Vent.) Pers. y *Leccinum aurantiacum* (Bull.) Gray, están consideradas como especies amenazadas.

LA CONSERVACIÓN DE GERMOPLASMA DE HONGOS SILVESTRES

Las poblaciones silvestres de los hongos comestibles son, por excelencia, la fuente más importante de material genético para el sector productivo de los hongos cultivados, pues al estar fisiológicamente adaptados a determinados sustratos y condiciones ambientales, pueden proporcionar variación genética suficiente para realizar estudios de aislamiento de las cepas y determinación de los parámetros óptimos de germinación y desarrollo de las fructificaciones, con la finalidad de seleccionar material genético que presente características deseables para la industria del cultivo (Chang y Miles, 2004). Por ende, la producción de hongos comestibles depende en gran parte de la disponibilidad de material genético silvestre y de su adecuada preservación.

En México, a pesar de ser el líder latinoamericano en producción de hongos comestibles, pocas investigaciones se han enfocado a recuperar y preservar germoplasma silvestre de las especies de interés industrial (Mata y Salmones, 2003). En Veracruz se refleja esta situación, ya que a pesar de ser conside-

rada una de las regiones mejor conocidas micológicamente en el país (Guzmán, 1998), sólo el cepario de hongos del Instituto de Ecología (Xalapa), ha conservado por varios años material genético de especies comestibles (Mata y Salmones, 2003), por lo que es reconocido oficialmente en el World Data Centre for Microorganisms. Esta colección fue fundada en 1982 y actualmente cuenta con más de 300 cepas, adscritas a 15 géneros (cuadro 1).

El método de conservación empleado en esta colección biológica es la criogenización, por lo que el germoplasma se mantiene inmerso en nitrógeno líquido a temperaturas ultrabajas (cerca a -196 °C).

USO POTENCIAL DE LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS Y FORESTALES

México es un país productor de gran cantidad de residuos orgánicos. Tan sólo en el año 2004, se generaron más de 70 millones de toneladas de residuos lignocelulósicos como resultado de la utilización de los recursos naturales, mediante la agricultura, la ganadería y los productos forestales (FAO, 2004) (cuadro 2). De este volumen producido, se calcula que un 70 % es desperdiciado y desechado de manera incorrecta en el ambiente (FAO, 2004).

CUADRO 1. Especies de hongos representadas en el Cepario de Hongos del Instituto de Ecología, A. C. (Xalapa).

ESPECIES	NOMBRES COMUNES
<i>Agaricus bisporus</i> (Lange) Imbach, <i>A. californicus</i> Peck, <i>A. placomyces</i> Peck, <i>A. praeclavesquamosus</i> A.E. Freeman, <i>A. xanthoderma</i> Genev.	Champiñón
<i>Auricularia polytricha</i> (Mont.) Farlow, <i>Auricularia</i> sp.	Oreja gelatinosa, oreja de Judas, chole, oreja chiclosa
<i>Cookeina tricholoma</i> (Mont.) Kuntze	NC
<i>Flammulina velutipes</i> (Curt.:Fr.) Sing.	NC
<i>Ganoderma applanatum</i> (Persson)	Repisa de palo, oreja de palo
<i>Grifola frondosa</i> (Fr.) S.F. Gray	NC
<i>Hypsizyguis marmoreus</i> (Peck) Bigelow	NC
<i>Laetiporus sulphureus</i> (Bull.:Fr.) Murr.	Hongo de comalito, pechuga de pollo de la madera
<i>Lentinula boryana</i> (Berk & Mont.) Pegler, <i>L. edodes</i> (Berk.) Pegler	Hongo de encino, cuerudo NC
<i>Lepista nuda</i> (Bull.) Cooke	NC
<i>Neolentinus suffrutescens</i> (Brot.: Fr.) May & Wood	Hongo de pino, hongo de ocote, iarín
<i>Oudemansiella canarii</i> (Jungh.) Höhn	NC
<i>Pholiota nameko</i> (Ito) Ito & Imai	NC
<i>Pleurotus citrinopileatus</i> Singer, <i>P. cornucopiae</i> (Paul.) Roll., <i>P. cystidiosus</i> O.K. Miller, <i>P. djamor</i> (Fr.) Boedijn vars. <i>djamor</i> y <i>salmonestramineus</i> , <i>P. eryngii</i> (DC. : Fr.) Quél., <i>P. ostreatus</i> (Jacq.: Fr.) Kumm., <i>P. pulmonarius</i> (Quél.) Sing.	Oreja blanca, oreja de izote, oreja de patancán, oreja de cazahuate, seta
<i>Volvariella volvacea</i> (Bull.:Fr.) Sing.	Hongo del bagazo, hongo rosado de la pulpa de café, pecho de gavilán

NC: no conocido

CUADRO 2. Cantidad anual de algunos de los principales residuos agrícolas que se generan en México y que pueden ser utilizados en el cultivo de hongos (FAO, 2004).

RESIDUO O SUBPRODUCTO	MILLONES DE TONELADAS POR AÑO
Paja de trigo	2.7
Paja de cebada	0.7
Paja de frijol	0.8
Rastrojo de maíz	48.1
Rastrojo de sorgo	6.5
Puntas de caña de azúcar	14.9

Los residuos lignocelulósicos, como su nombre lo indica, contienen altos porcentajes de lignocelulosa, una molécula compleja de difícil degradación microbiana (Reid, 1995). El mayor beneficio ecológico de los hongos comestibles es que son degradadores naturales de la lignocelulosa y otros compuestos recalcitrantes, proceso que logran mediante la secreción de diversas enzimas hidrolíticas y oxidativas durante sus ciclos de cultivo (Leonowicz *et al.*, 1999). Por lo tanto, con el cultivo de hongos comestibles no sólo se obtienen fructificaciones para consumo directo, sino además, se genera un material residual que puede ser aplicado como fertilizante. La actual producción rural y comercial de hongos comestibles utiliza más de 670 mil toneladas de residuos, con lo que se generan aproximadamente 300 mil toneladas de abono orgánico (Chang y Miles, 2004).

La mayoría de los residuos orgánicos son potencialmente adecuados como sustratos para el cultivo de hongos. Entre estos desechos cabe destacar, por los volúmenes anualmente producidos, el bagazo de caña de azúcar, la pulpa de café, el rastrojo de maíz, las pajas de gramíneas, entre otros. De estos residuos, el estado de Veracruz,

con un 44 % de su superficie dedicada a la agricultura, produce gran cantidad de ellos. Además, el aserrío de la madera y su comercialización en la entidad (180 mil m³/año) (Semarnat, 2006), proporciona volúmenes de residuos forestales ideales para su aprovechamiento en el cultivo de especies de hongos comestibles con mayor demanda de lignina en el sustrato.

CULTIVO DE HONGOS COMESTIBLES

En los últimos años, la tendencia en el cultivo de hongos comestibles se ha orientado al desarrollo tecnológico con el propósito de elevar los rendimientos en la producción (Sánchez Vázquez *et al.*, 2007; Oei, 2003), esto ha posibilitado su incremento a nivel mundial. En México, el cultivo de hongos se ha realizado durante más de 70 años (Martínez-Carrera y Larqué-Saavedra, 1990; Martínez-Carrera, 2000) y, actualmente, la producción comercial se estima en más de 38 mil toneladas anuales (Martínez-Carrera *et al.*, 2005). Las principales especies cultivadas son *Agaricus bisporus* (champiñón) (figura 5), *Pleurotus* spp. (seta) (figura 6) y *Lentinula edodes* (shiitake) (figura 7). De éstas, el champiñón representa el 94 % del total de hongos producidos a nivel nacional. Las setas, el segundo hongo producido y consumido, han tenido un desarrollo muy rápido, con una amplia aceptación en el mercado y un crecimiento de su industria. Este hongo ha tenido una atención especial, entre otras cosas, debido a sus propiedades nutrimentales y la amplia variedad de residuos orgánicos en los que es capaz de crecer. A diferencia del champiñón, el cultivo de las setas se adapta con relativa facilidad a condiciones rústicas, utilizando un sistema poco tecnificado, por lo que el proceso de producción es mucho más económico.

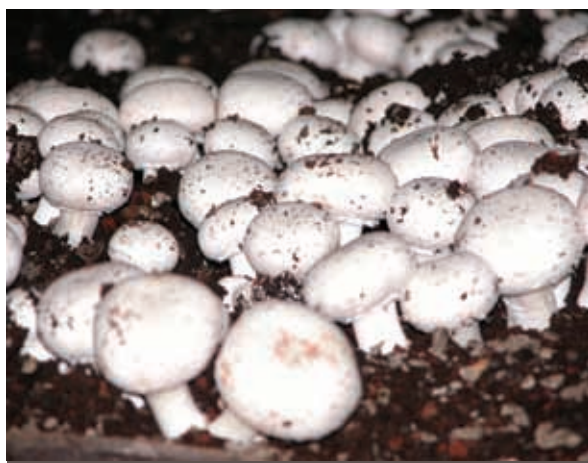


FIGURA 5. Cultivo comercial de champiñón (Foto: R. Gaitán Hernández, Planta Experimental de Cultivo de Hongos del Inecol en Xalapa, Ver., junio 2004).



FIGURA 6. *Pleurotus* (seta) cultivado en paja (Foto: R. Gaitán-Hernández, Planta Experimental de Cultivo de Hongos del Inecol en Xalapa, Ver., febrero de 2005).

La producción de hongos en México se distribuye en la parte centro y, en menor escala en el sur, favorecido, principalmente, por condiciones climáticas y por la presencia de grupos académicos especialistas en el tema que promueven y difunden la información disponible. Veracruz es una de las entidades donde se lleva a cabo el cultivo de hongos, junto

con Chiapas, Estado de México, Distrito Federal, Hidalgo, Jalisco, Puebla, Querétaro y Tlaxcala, entre otros (Gaitán-Hernández, 2007). En 2005, en Veracruz se comercializaron aprox. 2 800 toneladas de hongos cultivados, lo que representaría el 5.8 % de lo generado en el país (datos no publicados). De este volumen, aprox. 1 500 toneladas correspondieron a *Agaricus bisporus* (champiñón) y las restantes, aprox. 1 300 toneladas, a *Pleurotus* spp. (seta) (Gaitán-Hernández, 2007).

Los primeros estudios sobre cultivo de hongos en Veracruz fueron desarrollados en la Universidad Veracruzana y el extinto Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos (López Ramírez, 1984; Martínez *et al.*, 1984), en este último centro de investigación se construyó la primera planta experimental para cultivo de *Pleurotus*, instalaciones que posteriormente se asignaron al Instituto de Ecología. Durante estos primeros años de experimentación, destacó el interés de la comunidad académica en implementar la tecnología para el aprovechamiento de los residuos lignocelulósicos más abundantes en la región central de la entidad, como es la pulpa de café (Guzmán y Martínez-Carrera, 1985). Como resultado de la capacitación a diversos sectores de la población, en los siguientes años se establecieron algunas plantas comerciales, convirtiendo a la región central de Veracruz en un semillero de productores de hongos, esfuerzo reconocido a nivel nacional (Villegas de Gante, 1996).

EXPERIENCIAS EN LA PRODUCCIÓN DE HONGOS EN EL ESTADO DE VERACRUZ

En los años recientes el cultivo de hongos comestibles en la entidad ha tenido dos vertientes principales, la industria privada y la producción rural. La primera ha sido desarrollada por una empresa dedicada al cultivo del champiñón en el municipio de Las Vigas de Ramírez (Rioxal, S. A. de C. V.) y la segunda, conformada por el sector social, a la producción de setas. La



FIGURA 7. *Lentinula edodes*, comercialmente conocido como shiitake (Foto: R. Gaitán Hernández, Planta Experimental de Cultivo de Hongos del Inecol en Xalapa, Ver., septiembre de 2003).

producción rural se ha llevado a cabo por pequeños productores que, al no contar con condiciones para una producción rentable y exitosa, tienen una presencia inconstante en el mercado regional. Existen además otras especies potenciales de cultivarse en la entidad, pero sus técnicas de propagación aún están en experimentación (cuadro 3).

Por otra parte, y como se ha descrito en párrafos anteriores, los estudios con especies micorrícicas han sido escasos, por lo que deberán desarrollarse iniciativas que incidan sobre la conservación de especies, recuperación de ambientes perturbados, dinámicas de la propagación e interacción de las

especies fúngicas en diversos tipos de vegetación presentes en Veracruz (bosques tropicales, caducifolios, dunas, etcétera).

Además de sus cualidades organolépticas, algunas especies de hongos tienen gran demanda de consumo por sus propiedades medicinales. En Veracruz encontramos géneros de especies silvestres de *Agaricus*, *Auricularia*, *Ganoderma* y *Pleurotus*, entre otros, que probablemente contengan metabolitos secundarios de interés en la industria farmacológica. Esta área del conocimiento representa una gran oportunidad para aprovechar la abundancia fúngica de la entidad para diversificar los beneficios provenientes de los hongos.

CUADRO 3. Avances en el cultivo de hongos comestibles en Veracruz.

ESPECIE	NOMBRE COMERCIAL Y/O POPULAR	HÁBITAT NATURAL EN VERACRUZ Y/O ESTADOS ALEDAÑOS	SISTEMA DE CULTIVO	ETAPA DE DESARROLLO ALCANZADO	SUSTRATOS EMPLEADOS EN LA ENTIDAD
<i>Agaricus bisporus</i>	Champiñón	Bosque de <i>Capresus</i> , pero sólo se comercializan cepas extranjeras	Mecanizado, en bolsas o camas de cultivo. Requiere un sustrato parcialmente degradado y enriquecido con fuentes nitrogenadas.	Comercial	Pajas de gramíneas fermentadas y enriquecidas con fuentes nitrogenadas (Guzmán <i>et al.</i> , 1993)
<i>Auricularia</i> sp.	Oreja de Judas	Bosque tropical. Al menos existen dos especies potencialmente cultivables. Crecen en madera en descomposición	Artesanal a poco tecnificado, empleando bolsas en forma de troncos artificiales preparados con residuos vegetales estériles, suplementados con salvado y otras fuentes nitrogenadas.	Experimental	Viruta de <i>Inga jinicuil</i> (jinicuil) y pulpa de café (Pérez Merlo, 1998)
<i>Lentinula edodes</i>	Shiitake	Es una especie asiática que no crece silvestre en México.	Parcialmente mecanizado. Se emplean troncos y/o viruta de encino estéril suplementadas con fuentes nitrogenadas. Recientemente se evalúan sustratos pasteurizados.	Experimental	Bagazo de caña de azúcar, pajas de gramíneas, viruta de encino, pulpa de café (Mata y Gaitán Hernández, 1994; Gaitán-Hernández y Mata, 2004)
<i>L. boryana</i>	Cuerudo, hongo de encino	Bosques caducifolios y de encino, sobre madera en descomposición	Tecnología similar a la del shiitake	Experimental	Bagazo de caña de azúcar, viruta de encino y pulpa de café (Salmones y Gutiérrez Lecuona, 2008)
<i>Neolentinus suffrutescens</i>	Cuameño, hongo de pino, hongo de ocote	Bosques templados, sobre madera de pino, en troncos o tocones.	Tecnología similar a la del shiitake	Experimental	Viruta de coníferas estéril (Gaitán Hernández y Mata, 2000)
<i>Vohovriella voluacea</i>	Hongo de la paja, hongo rosado de la pulpa de café	Bosque tropical, sobre troncos de patancán, pulpa de café, bagazo de caña y otros materiales vegetales en descomposición	Poco tecnificada, empleando camas o contenedores con sustrato parcialmente degradado y pasteurizado	Experimental	Pajas de gramíneas, bagazo de henequén, pulpa de café, pseudotallo de plátano (Salmones <i>et al.</i> , 1996; Julián Carlos y Salmones, 2006)
<i>Pleurotus</i> spp.	Seta, oreja blanca, oreja de patancán	Las especies comerciales de <i>P. ostreatus</i> y <i>P. pulmonarius</i> no crecen silvestres en la región. Una especie similar, <i>P. djajamar</i> , es muy común en bosques tropicales y templados, sobre madera y/o bagazos en descomposición	Tecnología adaptable a condiciones rústicas a mecanizada. Bolsas con sustrato pasteurizado	Comercial	Pajas de gramíneas, pulpa de café, diversos desechos agroindustriales (Guzmán <i>et al.</i> , 1993; Gaitán-Hernández <i>et al.</i> , 2002)

CONCLUSIONES

Los hongos, ocupan el segundo lugar en número de especies en la Tierra, después de los insectos, por lo que juegan un papel importante en la conservación de la diversidad biológica. La gran destrucción que se está efectuando de la vegetación en el país repercute enormemente sobre las poblaciones de las especies fúngicas, con el grave peligro de la extinción de muchas de ellas, antes, incluso, de poder ser estudiadas o catalogadas, por lo que el manejo sustentable de los hongos debe considerarse una actividad prioritaria para lograr preservar la integridad del entorno natural. Los hongos proveen múltiples beneficios en nuestra vida cotidiana, desde su importante papel como descomponedores de materia orgánica, hasta constituir la fuente de productos farmacológicos esenciales para la salud humana y animal, por lo que un aprovechamiento adecuado de los recursos fúngicos de la entidad permitirían no sólo considerar las propiedades nutrimentales de las especies comestibles, sino además, preservar la diversidad existente y promover su uso sustentable.

Por otra parte, el cultivo de hongos comestibles es una alternativa viable para diversas regiones de Veracruz, debido a su clima, disponibilidad de materias primas y ubicación geográfica, con grandes perspectivas de incorporación a los mercados nacional e internacional. Esta actividad representa una tecnología que busca aumentar los ingresos económicos y diversificar el sector productivo, sin efectos negativos al ambiente, por lo que se espera que el sector financiero incremente y fortalezca los programas de extensión que apoyen a esta industria.

LITERATURA CITADA

- CHALLENGER, A., 2003, *La situación actual del medio ambiente en Veracruz. Los servicios ambientales y la conservación ecológica*, Conferencia en la Reunión sobre Medio Ambiente, Huatusco Veracruz, Semarnap.
- CHANG, S.T. & P.G. Miles, 2004, *Mushrooms: cultivation, nutritional value, medicinal effect and environmental impact*, CRC Press, 2ª ed., Boca Ratón, 451 pp.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION of the United Nations (FAO), 2004, URL: (http://www.fao.org/index_es.htm).
- GAITÁN-HERNÁNDEZ, R., 2000, Obtención de cepas de *Neolentinus suffrutescens* por entrecruzamiento, su caracterización *in vitro* y producción de cuerpos fructíferos a nivel de planta piloto, *Revista Iberoamericana de Micología* 17: 20-24.
- GAITÁN-HERNÁNDEZ, R., D. Salmones, R. Pérez-Merlo y G. Mata, 2002, *Manual práctico del cultivo de setas: aislamiento, siembra y producción*, Instituto de Ecología, Xalapa, 56 pp.
- GAITÁN-HERNÁNDEZ y G. Mata, 2004, Cultivation of edible mushroom *Lentinula edodes* (shiitake) in pasteurized wheat straw, alternative use of geothermal energy in Mexico, *Engineering Life Science* 4(4): 363-367.
- GAITÁN-HERNÁNDEZ, R., 2007, Transferencia de tecnología de cultivo de *Pleurotus* spp, como alternativa de beneficio social y económico en el estado de Veracruz, en J.E. Sánchez Vázquez, D. Martínez-Carrera, H. Leal y G. Mata (eds.), *El cultivo de setas Pleurotus spp. en México*, El Colegio de la Frontera Sur, Tapachula, Chiapas, pp. 101-112.
- GUZMÁN, G., 1994, Los hongos en la medicina tradicional de Mesoamérica y de México, *Revista Iberoamericana de Micología* 11: 81-85.
- , 1997, *Los nombres de los hongos y lo relacionado con ellos en América Latina*, Conabio/Instituto de Ecología, Xalapa.
- , 1998, Inventoring the fungi of Mexico, *Biodiversity and Conservation* 7: 369-384.
- , 2001, Hallucinogenic, medicinal, and edible mushroom in Mexico and Guatemala: traditions, myths, and knowledge, *International Journal of Medicinal Mushroom* 3: 309-408.

- GUZMÁN, G., G. Mata, D. Salmenes, C. Soto y L. Guzmán-Dávalos, 1993, *El cultivo de los hongos comestibles, con especial atención a especies tropicales y subtropicales en esquilmos y residuos agro-industriales*, IPN, México, 245 pp.
- GUZMÁN, G. y A. Sampieri, 1984, Nuevos datos sobre el hongo comestible *Cantharellus odoratus* en México, *Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología* 19: 201-205.
- GUZMÁN, G. y D. Martínez-Carrera, 1985, Planta productora de hongos comestibles sobre pulpa de café, *Ciencia y Desarrollo* 11(65): 41-48.
- GUZMÁN, G. y F. Ramírez-Guillén, 2001, *The Amanita caesarea complex*, Biblioteca Mycologica 187, J. Cramer, Berlin, 66 pp.
- HAWKSWORTH, D.L., 1991, The fungal dimension of biodiversity: magnitude, significance, and conservation, *Mycological Research* 95(6): 641-655.
- JULIÁN CARLOS, A. y D. Salmenes, 2006, Cultivo de *Volvariella volvacea* en residuos de la cosecha de plátano y paja de cebada, *Revista Mexicana de Micología* 23: 87-92.
- LEONOWICZ, A., A. Matuszewska, J. Luterek, D. Ziegenhagen, M. Wojtas-Wasilewska, M., N.-S. Cho, M. Hofrichter, J. Rogalski, 1999, Biodegradation of lignin by white rot fungi, *Fungal Genetics and Biology* 27: 175-183.
- LÓPEZ RAMÍREZ, A., 1984, *Cultivo doméstico de hongos comestibles*, Universidad Veracruzana, Xalapa.
- MARTÍNEZ, D., M. Quirarte, C. Soto, D. Salmenes y G. Guzmán, 1984, Perspectivas sobre el cultivo de hongos comestibles en residuos agro-industriales en México, *Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología* 19: 207-219.
- MARTÍNEZ-CARRERA, D., 2000, Mushroom biotechnology in tropical America, *International Journal of Mushroom Sciences* 3: 9-20.
- MARTÍNEZ-CARRERA, D., y A. Larqué-Saavedra, 1990, Biotecnología en la producción de hongos comestibles, *Ciencia y Desarrollo* 95: 53-64.
- MARTÍNEZ-CARRERA, D., D. Nava, M. Sandoval, M. Bonilla y Y. Mayett, 2005, Marketing channels for wild and cultivated edible mushrooms in developing countries: the case of Mexico, *Micologia Aplicada Internacional* 17: 9-20.
- MATA, G. y D. Salmenes, 2003, Edible mushroom cultivation at the Institute of Ecology in Mexico, *Micologia Aplicada Internacional* 15(1): 23-29.
- MATA, G. y R. Gaitán-Hernández, 1994, Avances en el cultivo del shiitake en la pulpa de café, *Revista Iberoamericana de Micología* 11:90-91.
- OEI, P., 2003, *Mushroom cultivation*, 3ª ed., Backhuys Pu., 429 pp.
- PÉREZ MERLO, R., 1998, *Determinación del patrón de sexualidad de cepas mexicanas de Auricularia fuscosuccinea y su cultivo sobre pulpa de café y aserrín*, tesis de licenciatura, Facultad de Biología, Universidad Veracruzana, Xalapa.
- REID, I.D., 1995, Biodegradation of lignin, *Canadian Journal of Botany* 37: 1011-1018.
- SALMONES, D. y M.T. Gutiérrez Lecuona, 2008, Cultivation of Mexican *Lentinus boryanus* (Berk. et Mont.) Sing. (Agaricomycetidae) strains on alternative substrates, *International Journal of Medicinal Mushrooms* 10 (1): 73-78.
- SALMONES, D., K.N. Waliszewski y G. Guzmán, 1996, Use of some agro-industrial lignocellulose by-products for edible mushroom *Volvariella volvacea* cultivation, *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 12(2): 69-74.
- SÁNCHEZ VÁZQUEZ, J.E., D. Martínez-Carrera, G. Mata y H. Leal Lara (eds.), 2007, *El cultivo de setas Pleurotus spp. en México*, El Colegio de la Frontera Sur, Tapachula, Chiapas, 236 pp.
- SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (Semarnat), 2006, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, URL: (<http://portal.semarnat.gob.mx/>).
- VARELA, L., A. Estrada-Torres, 1997, Diversity and potential use of mycorrhizae for sustainable development in Mexico, en M.E. Palm y I.H. Chapela, (eds.), *Mycology in sustainable development, expanding concepts, vanishing borders*. Parkway Pub., Boone, pp. 160-182.

VILLARREAL, L., y J. Pérez-Moreno, 1989, Los hongos comestibles silvestres de México. Un enfoque integral, *Micología Neotropical Aplicada* 2: 72-114.

VILLEGAS DE GANTE, A., 1996, *Biotecnología intermedia en México: la producción de hongos comestibles*, CIES-TAAM/Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, 107 pp.