



(Foto: Cesáreo Landeros)



SECCIÓN V

La biodiversidad del estado y algunas de sus amenazas

RESUMEN EJECUTIVO

Eugenia J. Olgún

Debido a las excepcionales características ecológicas del estado de Veracruz, reconocidas a nivel nacional e internacional, se le considera en su totalidad un sitio prioritario para la conservación global de la biodiversidad o foco rojo (*Hotspot*). Los cambios de cobertura de vegetación y uso del suelo dentro del paisaje veracruzano tienen un efecto negativo y directo en el entorno natural, provocando una reducción severa en la riqueza biológica, en los servicios ambientales y contribuyendo a la destrucción y fragmentación de hábitats. En el primer capítulo se describe el análisis geográfico de Focos Rojos y su complemento con el análisis GAP para el estado de Veracruz. El análisis geográfico GAP o vacíos es prácticamente una extensión de la evaluación de Focos Rojos y es aplicado para determinar la funcionalidad de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) para proteger áreas naturales y la biodiversidad en una región. En este estudio, se determinaron las áreas prioritarias de conservación, considerando criterios ecológicos y las amenazas socioeconómicas en el contexto de paisaje, mediante el uso de un Sistema de Información Geográ-

fica (SIG). En general, se presenta un panorama sobre las funciones y necesidades de las ANP del estado y se ofrecen recomendaciones sobre potenciales estrategias de conservación de la biodiversidad.

El resto de los capítulos de esta sección están relacionados a la discusión de diversos factores que contribuyen a la pérdida de la biodiversidad y, por ende, son considerados como fuertes amenazas a la biodiversidad. En el capítulo dedicado a la contaminación del agua en el estado de Veracruz, se describe en general la problemática en relación a este vital recurso. El escurrimiento promedio anual en los sistemas fluviales veracruzanos, representa el 33 % del escurrimiento nacional. Sin embargo, uno de los mayores problemas ambientales a los que se enfrenta no sólo el estado de Veracruz, sino otros estados de nuestro país y regiones del mundo, es la considerable contaminación en la que se encuentran un gran número de cuerpos de agua, derivada en gran parte por las descargas de aguas residuales municipales, agroindustriales e industriales sin tratar. Dentro de este contexto, se recomienda que las autoridades, a diferen-

tes niveles (municipal, estatal y federal) y de manera coordinada entre ellas y con el sector empresarial y el sector académico, implemente un Programa de Desarrollo Industrial Sustentable en el cual se fomenten estrategias que combinen herramientas de Producción Más Limpia y de adopción de Biotecnologías Ambientalmente Pertinentes. De esta manera, no sólo se logrará la conservación y manejo adecuado de los ecosistemas acuáticos, sino también se lograrán beneficios de tipo económico y social.

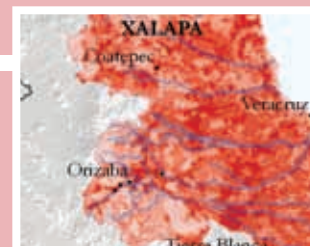
Los dos últimos capítulos de esta sección se relacionan a la problemática ambiental en torno a las dos agroindustrias más relevantes del estado, la del azúcar y la del café.

La agroindustria del azúcar representa una de las fuentes de contaminación más importantes del estado de Veracruz. Sin embargo, es una agroindustria vital para la economía del mismo. Del total de 58 ingenios azucareros que se encuentran operando en el país, 22 de ellos se ubican en Veracruz, lo que posiciona a este estado en el primer lugar, contribuyendo con el 39.5 % del total de la producción de azúcar y con aproximadamente el 75 % del total de la producción de etanol del país. De igual forma, se estima que en Veracruz, un millón de personas dependen directa e indirectamente de esta agroindustria. Desafortunadamente, el creciente desarrollo de la actividad azucarera en el estado a través de los años, ha traído consigo una serie de amenazas sobre la biodiversidad. Entre ellas, destacan las relacionadas principalmente con la transformación de zonas con alta biodiversidad en zonas de monocultivo, las prácticas no sustentables como la quema previa a la cosecha, con sus consecuentes problemas de pérdida de biodiversidad y de contaminación de la atmósfera. También destaca la alta emisión de gases invernadero por la falta de filtros en las chimeneas y de control en la operación de las calderas de los ingenios. En relación al

agua, se ha reportado un consumo exagerado de este recurso en la mayoría de los ingenios. La cuenca del Papaloapan en donde se produce la mayor cantidad de azúcar y etanol y la del Río Blanco, son las más afectadas por la descarga de grandes volúmenes de aguas residuales y en especial por la descarga de vinazas sin tratar. Las vinazas son efluentes residuales de las fábricas de alcohol, que además de contener una gran cantidad de materia orgánica, contienen compuestos tóxicos, no degradables.

Por otro lado, la producción de café en el estado de Veracruz representa el 27.4 % del total nacional, siendo el segundo productor después del estado de Chiapas. Sin embargo, la falta de prácticas sustentables en los sistemas de producción y beneficiado del café, ha traído consigo una serie de problemas que amenazan la biodiversidad en el ecosistema cafetalero. Estas amenazas están relacionadas con por lo menos cuatro factores: *a)* el abandono de fincas cafetaleras o cambio de cultivo; *b)* el desarrollo de nuevas variedades de café de alto rendimiento bajo un esquema de cultivo sin sombra con gran dependencia de productos químicos; *c)* el uso no sustentable del agua en los procesos de transformación del grano caracterizado por un elevado consumo de agua y *d)* la descarga de grandes volúmenes de aguas residuales con alta carga contaminante. Este espectro amplio de amenazas, hace necesaria la implementación de programas regionales para el cultivo y procesamiento sustentable del café con énfasis en la conservación del cultivo tradicional de café de sombra. En relación a la gestión del agua, tanto en la agroindustria del azúcar como la de café, se recomienda la implementación de estrategias de Producción Más Limpia a través de la reducción, el reciclaje y reuso del agua y la adopción de Tecnologías Ambientalmente Pertinentes para el tratamiento de las aguas residuales.

Focos rojos para la conservación de la biodiversidad



Edward Alan Ellis
Marisol Martínez Bello
Roberto Monroy Ibarra

INTRODUCCIÓN

La ubicación geográfica del estado de Veracruz, así como la variedad de características físicas, climáticas, orográficas y geológicas que presenta, han producido una de las riquezas biológicas más importantes de México. Veracruz ocupa el tercer lugar en biodiversidad del país con una flora calculada entre las 7 700 (Ramamoorthy *et al.*, 1993) y 9 136 especies (Vázquez-Torres *et al.*, 1998), y se encuentra entre los nueve estados con mayor número de endemismos (Conabio, 1998), es decir, de especies que no existen en ningún otro sitio del país y del planeta. Asimismo, se le considera el único estado mexicano donde se observa por completo la transición entre zonas tropicales y templadas (Vázquez-Torres, 1998). Debido a esta excepcionalidad ecológica de Veracruz, reconocida a nivel nacional e internacional, dentro de la región Mesoamericana, se le considera un sitio prioritario para la conservación global de la biodiversidad o foco rojo (*Hotspot*) por la organización Conservation International (CI) (Mittermeier y Mittermeier, 1992;

Hardcourt y Sayer, 1996; Mittermeier *et al.*, 1998a; 1998, 2000). En este escenario ambiental, la población veracruzana realiza una amplia gama de actividades productivas que han modificado y siguen modificando drásticamente su entorno natural en formas y magnitudes diversas. La expansión de actividades agropecuarias, la infraestructura vial y la urbanización son las causas principales de la deforestación y la pérdida de vegetación natural (Semarnat, 2005; Martínez Bello, 2008). Los cambios de cobertura de vegetación y uso del suelo dentro del paisaje veracruzano tienen un efecto negativo y directo en el entorno natural, provocando una reducción severa en la riqueza biológica y los servicios ambientales, mediante la eliminación y fragmentación de la vegetación forestal y los hábitats que comprende (Semarnat, 2005). Según el informe “El medio ambiente en México” de la Semarnat (2005), Veracruz ocupa el primer sitio nacional en la pérdida de vegetación natural, con un 19 % entre los años 1993 y 2000 y con una superficie mínima restante de 15 %. Asimismo, es el segundo estado en incrementar más

velozmente, entre el año 2000 y el 2003, su red de carreteras (12.45 % anual), lo que favorece la fragmentación del hábitat y la mortandad de animales que se desplazan cruzando por los caminos (Semarnat, 2005).

Ante las presentes amenazas sociales a la biodiversidad y los retos que conllevan, la conservación y la restauración ecológica requieren de la implementación de estrategias traducidas en acciones, en múltiples escalas espaciales y temporales que funcionen con objetivos claros en las áreas de investigación, educación ambiental y legislación. Las áreas naturales protegidas (ANP) ha sido una de las medidas más importantes implementadas para contrarrestar la desaparición y deterioro de los sistemas ecológicos, sin embargo, su funcionalidad ha sido cuestionada (Mas *et al.*, 2003; Mas, 2005; Duran *et al.*, 2005; Bray *et al.*, 2007). La visión moderna de la conservación destaca la necesidad de establecer reservas naturales integradas con áreas comunitarias o privadas de manejo y conservación, con el fin de proteger ecosistemas completos, la diversidad biológica presente, los servicios ambientales que prestan y los procesos evolutivos que en ellos ocurren (Conabio, 2000). Esto implica, adoptando un enfoque de paisaje, el reconocimiento geográfico de las regiones naturales de importancia biológica, de las amenazas sociales y económicas, así como de los sitios aptos para implementar estrategias de conservación, considerando su valor ecológico ante tales propósitos (Fortman, 1997; Salem, 2003; Conabio-Conap-TNC-Pronatura-CFF, UANL, 2007).

Los análisis geográficos de focos rojos (*Hot spots*) y GAP o vacíos es actualmente aplicado por organizaciones internacionales y nacionales, como una herramienta para la toma de decisiones e implementación de estrategias de conservación (Myers *et al.*, 2000; TNC, 2005; Conabio-CONANP-TNC-PRONATURA-FCF, UANL, 2007). Los focos rojos se denominan así por ser sitios con una presencia excepcional de ecosistemas o hábi-

tats naturales y biodiversidad con mucha relevancia para la conservación, mientras que el GAP se refiere a los vacíos que existen en cuestión de políticas y medidas de conservación para dichos sitios denominados focos rojos. El análisis GAP o vacíos es prácticamente una extensión de la evaluación de focos rojos generalmente aplicado para determinar la funcionalidad de un sistema de ANP en proteger la gama de áreas naturales o ecorregiones y su biodiversidad asociada (Brook *et al.*, 2004; Rodrigues *et al.*, 2004; Conabio-Conap-TNC-Pronatura-CFF, UANL, 2007). Conservation International inició el concepto de análisis de focos rojos para evaluar sitios prioritarios globales para la conservación de biodiversidad y The Nature Conservancy (TNC), otra importante organización internacional, también aplica este análisis con el ambicioso objetivo de asegurar la protección de al menos 10 % de los principales ecosistemas del planeta para el año 2015 (TNC, 2005). En México la Conabio y la CONANP, en colaboración con múltiples instituciones, aplicaron a nivel nacional el análisis GAP o de vacíos y omisiones en la conservación de biodiversidad terrestre (Conabio-Conap-TNC-Pronatura-CFF, UANL, 2007).

Los análisis de focos rojos y GAP por lo general requieren de la integración y evaluación de una gran cantidad de información (TNC, 2005). Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) proveen una herramienta esencial para capturar, procesar, analizar y visualizar espacialmente múltiples tipos de datos, lo que los hace una herramienta esencial (Lang, 1998; Morain, 1999). En este apartado se describe el análisis geográfico de focos rojos y su complemento con el análisis GAP para el estado de Veracruz. El análisis consiste en la determinación de las áreas prioritarias de conservación, considerando criterios ecológicos y las amenazas socioeconómicas en el contexto de paisaje, mediante el uso de un SIG. Con base en los resultados del análisis de focos rojos en Veracruz, se presenta un panorama sobre las funciones y necesidades de las ANP

del estado y se ofrecen recomendaciones sobre potenciales estrategias de conservación de la biodiversidad.

LOS ANÁLISIS GEOGRÁFICOS DE FOCOS ROJOS Y GAP

Conservation International (CI) fue la primera organización que desarrolló un análisis de focos rojos utilizando como criterios la distribución geográfica de la biodiversidad (principalmente especies de plantas) y los grados de amenaza, en términos de pérdida de vegetación natural. De esta manera, detectaron las áreas de mayor riesgo y prioridad para la conservación de la biodiversidad mundial (Mittermier *et al.*, 1998; Myers *et al.*, 2000). Otros análisis se han realizado a nivel regional, por ejemplo, en la región Mediterránea (Médail y Quézel, 1999) y en el sureste de Australia (Linke y Norris, 2003). Por otra parte, Brooks *et al.* (2004) y Rodrigues *et al.* (2004) utilizaron datos de la ubicación y superficie de las áreas protegidas en conjunto, con datos de distribución geográfica de las especies y tipos de vegetación o hábitats, para realizar un análisis GAP global. Entre los análisis GAP a escalas regionales destaca el realizado para el estado de Florida, en los Estados Unidos por Pearlstine *et al.* (2002), el realizado por Oldfield *et al.* (2004) para el Reino Unido y el de Salem (2003) para Egipto. Actualmente, los análisis de focos rojos y GAP se están mejorando a partir de la incorporación de diversos criterios socioeconómicos. Shi y Singh (2003), por ejemplo, integraron los patrones de cambio de uso de suelo, la distribución de la población humana, las áreas protegidas y las áreas de importancia para la biodiversidad, con el objeto de evaluar los problemas ambientales de las áreas costeras mundiales. Similarmen-te, Cincotta *et al.* (2000) determinaron los criterios de impactos demográficos asociados con 25 focos rojos del mundo. Veech (2003) analizó

los criterios de población, densidad de población rural y crecimiento demográfico y añadió el criterio de deuda externa para observar sus relaciones con los focos rojos del mundo. En México la Conabio y Conap, en colaboración con múltiples instituciones, determinan geográficamente los vacíos de conservación, usando los criterios de importancia biológica basado en la cobertura y tipos de vegetación natural, el número de especies de vertebrados, especies endémicas y especies con distribuciones restringidas en las diversas ecorregiones representados en el país. Más aún, se incluyen criterios de amenaza con un índice de riesgo basado principalmente en la fragmentación, cambio de uso de suelo y crecimiento de la población marginada y, para efectos del análisis de vacíos, un índice de manejo de respuesta basado en la presencia, distribución y tipo de ANP (Conabio-Conap-TNC-Pronatura-CFF, UANL, 2007).

Las investigaciones de ecología de paisaje y cambios en cobertura y uso de suelo, así como los análisis de focos rojos y GAP, se basan principalmente en el uso de técnicas de SIG y percepción remota (Menon *et al.*, 2001; Helmer *et al.*, 2002; Mass *et al.*, 2003; Salem, 2003; TNC, 2005). Numerosas investigaciones han implementado la percepción remota y los SIG en distintas partes de México para evaluar los posibles factores (sociales o naturales) que puedan explicar las dinámicas en los cambios de uso de suelo y vegetación. Entre ellos destacan los trabajos de Jong *et al.*, 2000; Turner *et al.*, 2001; Klepeis y Turner, 2001; Velásquez *et al.*, 2003; Bray *et al.*, 2004 y Ellis y Beck, 2004. Este tipo de estudios demostraron que no sólo los factores demográficos, sino también los económicos, institucionales, tecnológicos y culturales tienen fuertes impactos en la dinámica de los paisajes, reforzando la importancia de considerar variables socioeconómicas en conjunto con variables ecológicas para realizar análisis de focos rojos y GAP. La necesidad de disponer de una base de datos geográficos contenida en un SIG para evaluar

Mapa de paisaje del estado de Veracruz (con 28 tipos de paisajes) que muestra la heterogeneidad del territorio y la gran pluralidad de hábitats, tanto tropicales como templados del estado. A pesar de estos esfuerzos, aún se requiere actualizar y refinar la información existente sobre la condi-

ción de cobertura de la vegetación y uso de suelo en el estado de Veracruz y evaluar puntualmente los cambios históricos y la dinámica del paisaje. Es necesario desarrollar un SIG estatal donde se sistematicen datos de los diferentes rasgos biológicos, físicos, socioeconómicos y culturales que carac-

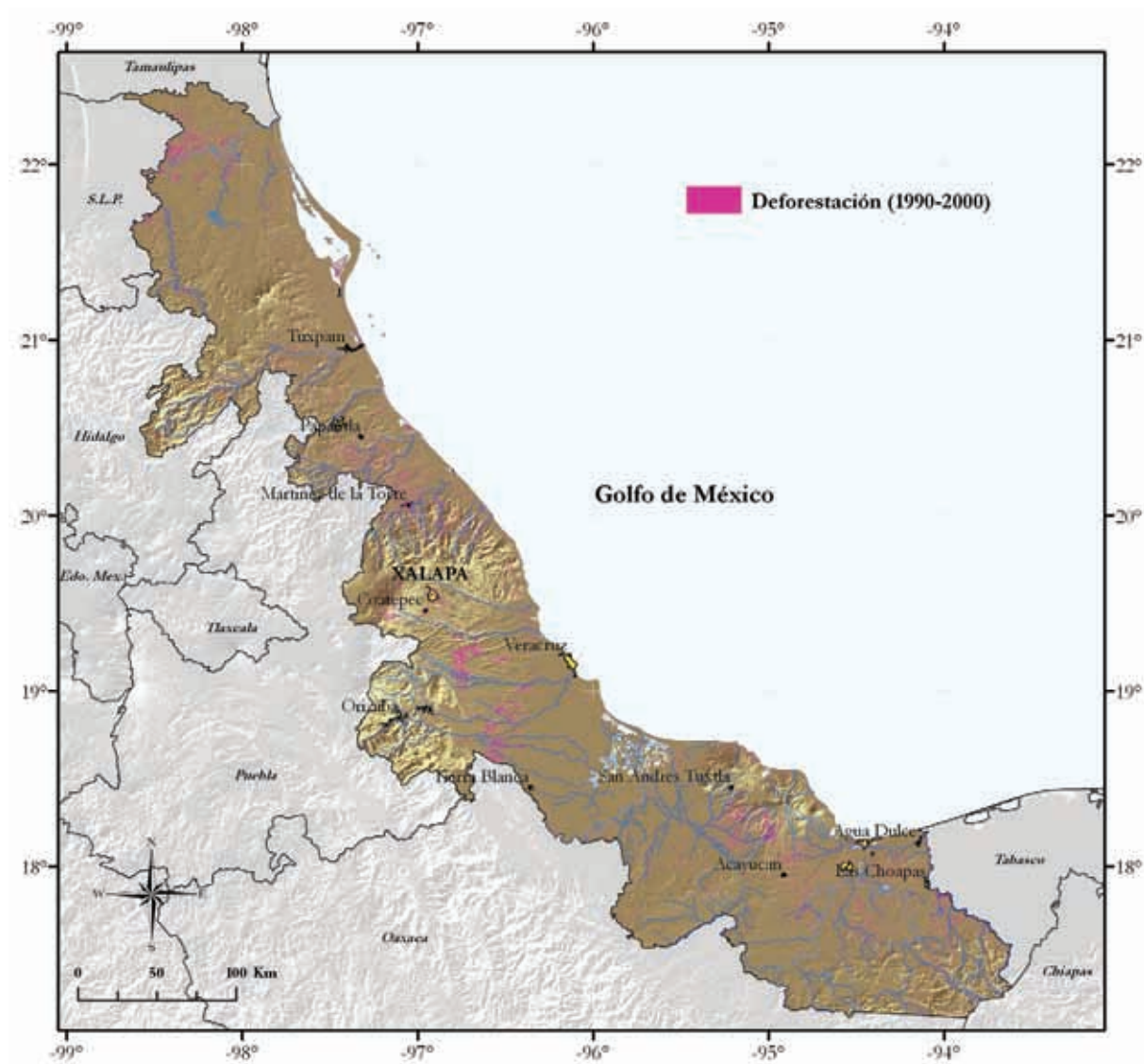


FIGURA 2. Mapa de la amenaza de deforestación o pérdida de vegetación en Veracruz durante la década de 1990 a 2000 (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008).

gráfica (geobase de datos) que incluya información de datos ambientales y socioeconómicos, tanto tabulares como geográficos, representados en capas (o “mapas”) de información en la misma proyección cartográfica e integrados en un SIG (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008). Posteriormente, con el SIG, los datos espaciales pueden ser manipulados y utilizados para generar los criterios y variables dentro del análisis geográfico. Parte de la información clave utilizada para el análisis de áreas prioritarias fue obtenida del INEGI y comprende datos geográficos de Veracruz a la escala 1:250 000 que incluye vías de comunicación, curvas de nivel, modelo de elevación, áreas urbanas e infraestructura industrial. Para los datos demográficos se integra el censo 2000 del INEGI por localidad (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008). Adicionalmente, la Conabio a través de su Sistema Nacional de Inventario de Biodiversidad (SNIB), otorgó datos de los registros de flora (gimnospermas, angiospermas y pteridofitas) y fauna (reptiles, mamíferos y anfibios), su localización geográfica y su estatus de protección, la cual se utilizó para evaluar la distribución de endemismos en el estado (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008). Por otra parte, los límites geográficos de las ANP fueron proporcionados a nivel estatal, por la Secretaría de Desarrollo Social y Medio Ambiente (Sedesma) (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008).

Otro insumo crucial para el desarrollo del análisis, fue la generación de datos de vegetación y uso de suelo, así como de la pérdida de vegetación o deforestación en el estado (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008). Estos datos fueron elaborados mediante técnicas de percepción remota usando 12 imágenes satelitales LANDSAT ETM (entre los años 1999 y 2001) para la vegetación y uso de suelo actual, más 12 imágenes de satélite LANDSAT TM (de fechas anteriores 1986-1990) para evaluar la pérdida de vegetación dentro de la década 1990-2000 (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008). Para la caracterización de la cobertura de vegetación

y uso de suelo, se empleó una metodología similar a la que utiliza la Conafor para la evaluación y monitoreo de vegetación y uso de suelo (Conafor, 2005) basado en los datos cartográficos generados por la Conafor (SARH, 1994) y verificaciones en campo mediante múltiples recorridos, tomando más de 600 puntos de GPS (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008). La información sobre deforestación o pérdida de vegetación también fue elaborada mediante la percepción remota, usando el “índice de vegetación” (NDVI) derivado de las imágenes, en la cual se detecta el grado de cobertura de vegetación (en cuanto biomasa vegetal o cantidad de vegetación) (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008). Se determinó la diferencia entre los índices de vegetación para las imágenes de 1990 (1986-1990) y las del 2000 (1999-2001), detectando así las áreas que representan una clara pérdida de vegetación (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008).

Para realizar el análisis de focos rojos e identificar las regiones prioritarias de conservación, se aplicó el modelo SPOT (Spatial Portfolio Optimization Tool) (Shoutis, 2003). SPOT consiste en un algoritmo de optimización actualmente utilizado por TNC para determinar sitios prioritarios de conservación en las ecorregiones mundiales (Shoutis, 2003; TNC, 2005). SPOT requiere de la identificación e integración de los elementos de conservación, que en nuestro análisis consistieron en los distintos tipos de vegetación natural (12 clases) y la presencia de especies endémicas de flora y fauna (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008). SPOT optimiza la distribución de los elementos de conservación con base en los “costos” de conservación. El “costo base” que SPOT necesita surge de las amenazas determinadas para los ecosistemas o especies presentes a lo largo del estado (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008). Otro de los costos que considera SPOT es la fragmentación y por último el grado de incumplimiento de las metas establecidas para los objetos de conservación (Shoutis, 2003; TNC, 2005).

SPOT selecciona como solución, la óptima localización y distribución de los elementos de conservación en donde exista el menor costo acumulado, que cumpla con las superficies mínimas de conservación y que se encuentre lo menos fragmentado posible (Shoutis, 2003; TNC, 2005). Una vez identificadas las áreas prioritarias de conservación, se utilizó el SIG para el análisis GAP, evaluando su correspondencia con el sistema de ANP en el estado de Veracruz que incluye las categorías: Reservas de la Biosfera, Parques Nacionales Federales y Reservas Estatales (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008).

AREAS PRIORITARIAS Y VACÍOS DE CONSERVACIÓN EN VERACRUZ

La caracterización de cobertura de vegetación y uso de suelo en Veracruz (figura 1), basado en la percepción remota, muestra el notable uso ganadero generalizado por todo el estado, mientras que los usos agrícolas se muestran concentrados en ciertas regiones (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008). Asimismo, los sitios mayormente conservados se remiten a terrenos muy accidentados y de grandes pendientes (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008).

CUADRO 1. Amenazas a la biodiversidad integrados en el análisis de focos rojos con el modelo SPOT (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008).

<i>Amenazas</i>	<i>Datos Geográficos</i>	<i>Detalles</i>
Explotación forestal-Extracción de especies	Vías de comunicación, modelo de elevación, mapa de disección vertical	Terracerías y brechas con un rango de 2 km por lado y con valor de amenaza categorizado por su presencia en montañas (bajo), lomeríos (mediano) o llanuras (alto)
Uso de suelo	Mapa de uso de suelo y vegetación	Superficie agropecuaria categorizada en uso agrícola o ganadero con más valor de amenaza para pastizales
Deforestación	Mapa de deforestación (cambios en índice de vegetación)	Presencia o ausencia de deforestación y con un alto valor de amenaza
Urbanización	Zonas urbanas	Presencia o ausencia de zonas urbanas con un rango de efecto a 1 km de la zona valor alto de amenaza
Contaminación por químicos	Zonas industriales	Presencia de infraestructura industrial con un rango de efecto a 1 km y valor alto de amenaza
Infraestructura para el transporte	Vías de comunicación	Caminos y carreteras pavimentadas con un rango de efecto de 250 m por cada lado valor mediano de amenaza
Infraestructura industrial y producción de energía	Conducción de fluidos y generadoras eléctricas	Generadoras eléctricas y conducción de fluidos con un rango de efecto de 200 m a cada lado y valor mediano de amenaza
Densidad poblacional	Población total por localidad	Densidad de población por unidad de análisis (250 ha)

ción e intensidad de las amenazas en Veracruz (figura 3), detallados en el cuadro 1, donde es notorio que las amenazas a la biodiversidad no son siempre coincidentes con las zonas urbanas o industriales y que las zonas rurales pueden aparecer, en algunos casos, más amenazantes. La figura 4 presenta el mapa de distribución espacial de los elementos de conservación de especies endémicas.

Se utilizaron 236 datos de 52 especies en total, de las cuales 23 son plantas, 17 reptiles, 10 anfibios y dos mamíferos.

El análisis de áreas prioritarias o focos rojos de conservación obtenido mediante la herramienta SPOT arrojó un resultado de 25 sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad (figura 5) cuya descripción y detalles se muestran en el cuadro 2

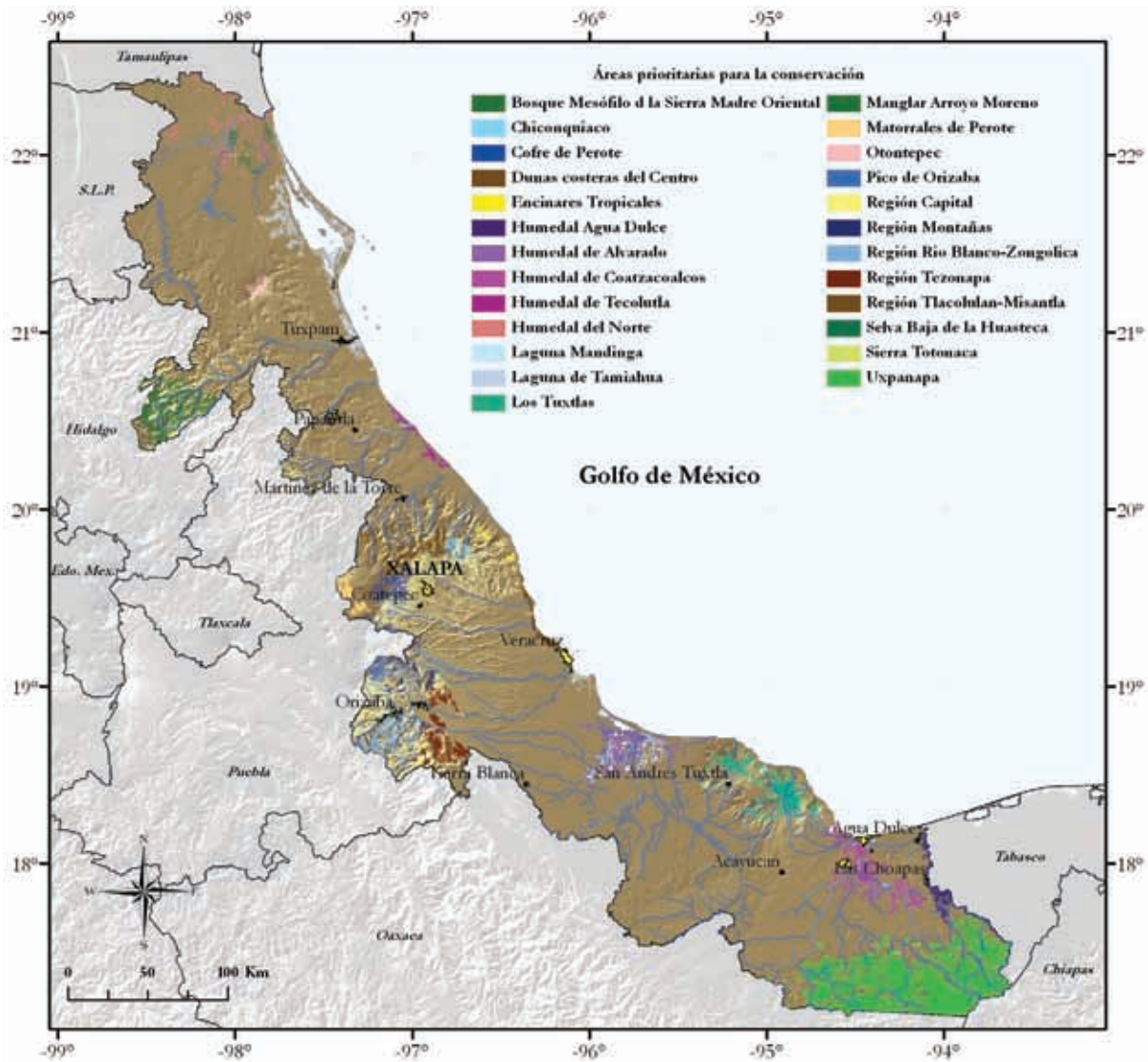


FIGURA 5. Mapa de las áreas prioritarias para la conservación (focos rojos) en Veracruz (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008).

CUADRO 2. Descripción de las áreas prioritarias para la conservación de biodiversidad (focos rojos) en Veracruz (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008).

HOTSPOT	ÁREA TOTAL (ha)	VEGETACIÓN PRESENTE	ÁREA PROTEGIDA (%)	PRINCIPAL AMENAZA
Uxpanapa	389 092.82	Selva alta y mediana	0.00	Expansión de pastizal, explotación forestal-extracción de especies
Los Tuxtlas	71 956.12	Selva alta y mediana, manglar, vegetación hidrófila	93.00	Expansión de pastizal, explotación forestal-extracción de especies
Humedal de Coatzacoalcos	62 928.33	Manglar, vegetación hidrófila, vegetación de dunas costeras, selva alta y mediana	0.00	Expansión de pastizal, urbanización, contaminación, infraestructura industrial y de transporte
Laguna de Tamiahua	60 451.67	Selva alta y mediana, manglar, vegetación hidrófila, selva baja	0.00	Expansión de pastizal, explotación forestal-extracción de especies
Bosque mesófilo de la Sierra Madre Oriental	58 557.91	Bosque mesófilo, bosque de pino, selva alta y mediana	0.00	Expansión agrícola y de pastizal, explotación forestal-extracción de especies
Humedal de Alvarado	52 264.38	Manglar, vegetación hidrófila, selva baja, vegetación de dunas costeras, sabana	0.00	Expansión de pastizal, explotación forestal-extracción de especies, urbanización, contaminación, infraestructura industrial
Región río Blanco-Zongolica	35 255.47	Bosque de pino, bosque de pino-encino	33.60	Urbanización, expansión agrícola, explotación forestal-extracción de especies
Región Tezonapa	34 368.18	Selva alta y mediana	0.00	Expansión agrícola y de pastizal, urbanización, explotación forestal-extracción de especies
Región Tlacolulan-Misantla	32 245.12	Bosque mesófilo de montaña, bosque de pino	2.70	Expansión agrícola y de pastizal
Humedal del Norte	26 219.43	Manglar, vegetación hidrófila, selva baja, selva alta y mediana	0.00	Urbanización, contaminación, expansión agrícola y de pastizal
Cofre de Perote	20 277.94	Bosque de pino, relictos de bosque mesófilo.	28.00	Explotación forestal-extracción de especies, expansión agrícola, urbanización
Humedal Agua Dulce	14 961.79	Vegetación hidrófila, manglar, selva alta y mediana	0.00	Urbanización, contaminación, expansión de pastizal
Matorrales de Perote	13 661.46	Matorral xerófilo	0.00	Expansión agrícola
Humedal de Tecolutla	12 709.20	Manglar, vegetación de dunas costeras, otro tipo de vegetación	27.00	Expansión de pastizal, urbanización
Región Montañas	12 263.65	Bosque mesófilo, bosque de pino, bosque pino-encino	0.00	Extracción de especies, expansión agrícola
Dunas Costeras del Centro	9 323.68	Manglar, selva baja, vegetación de dunas costeras	0.00	Urbanización, contaminación
Chiconquiaco	8 771.07	Selva alta y mediana, fragmentos de bosque mesófilo	0.00	Explotación forestal-extracción de especies, expansión de pastizal.
Selva Baja de la Huasteca	8 707.52	Selva baja, vegetación hidrófila, relictos de selva alta y mediana	0.00	Expansión de pastizal, explotación forestal-extracción de especies
Pico de Orizaba	8 414.55	Bosque de pino, bosque de pino-encino	0.00	Expansión agrícola, explotación forestal-extracción de especies
Otontepec	7 422.52	Selva alta y mediana	87.72	Explotación forestal-extracción de especies, urbanización
Región Capital	6 784.29	Bosque mesófilo, bosque de pino, bosque de encino	1.80	Expansión agrícola y de pastizal, urbanización, infraestructura de transporte, explotación forestal-extracción de especies
Encinares Tropicales	5 788.76	Bosque de encino, selva baja	0.00	Expansión de pastizal, explotación forestal-extracción de especies
Laguna Mandinga	3 908.65	Manglar, vegetación hidrófila, selva baja, vegetación de dunas costeras, fragmentos de Sabana	0.00	Expansión agrícola y de pastizal, urbanización
Sierra Totonaca	2 396.15	Selva alta y mediana	0.00	Explotación forestal-extracción de especies, expansión de pastizal.
Manglar Arroyo Moreno	4 23.92	Manglar	64.50	Urbanización, contaminación

(Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008). De los 25 focos rojos, nueve corresponden a humedales y zonas costeras, seis a sistemas dominados por selvas altas y medianas perennifolias y subperennifolias, cuatro a bosque mesófilo de montaña, cuatro a bosque de pino y/o encino, uno a matorral xerófilo y uno a selva baja caducifolia. Estos sitios presentan una

extensión considerable y ecológicamente funcional de vegetación natural así como amenazas bajas a su interior; sin embargo, todas ellas están rodeadas por fuertes amenazas que ponen en riesgo la permanencia de las mismas. Jerarquizando, de acuerdo a la superficie de vegetación que incluye cada *hotspot*, los cinco sitios prioritarios son: 1) Uxpanapa; 2) Hume-

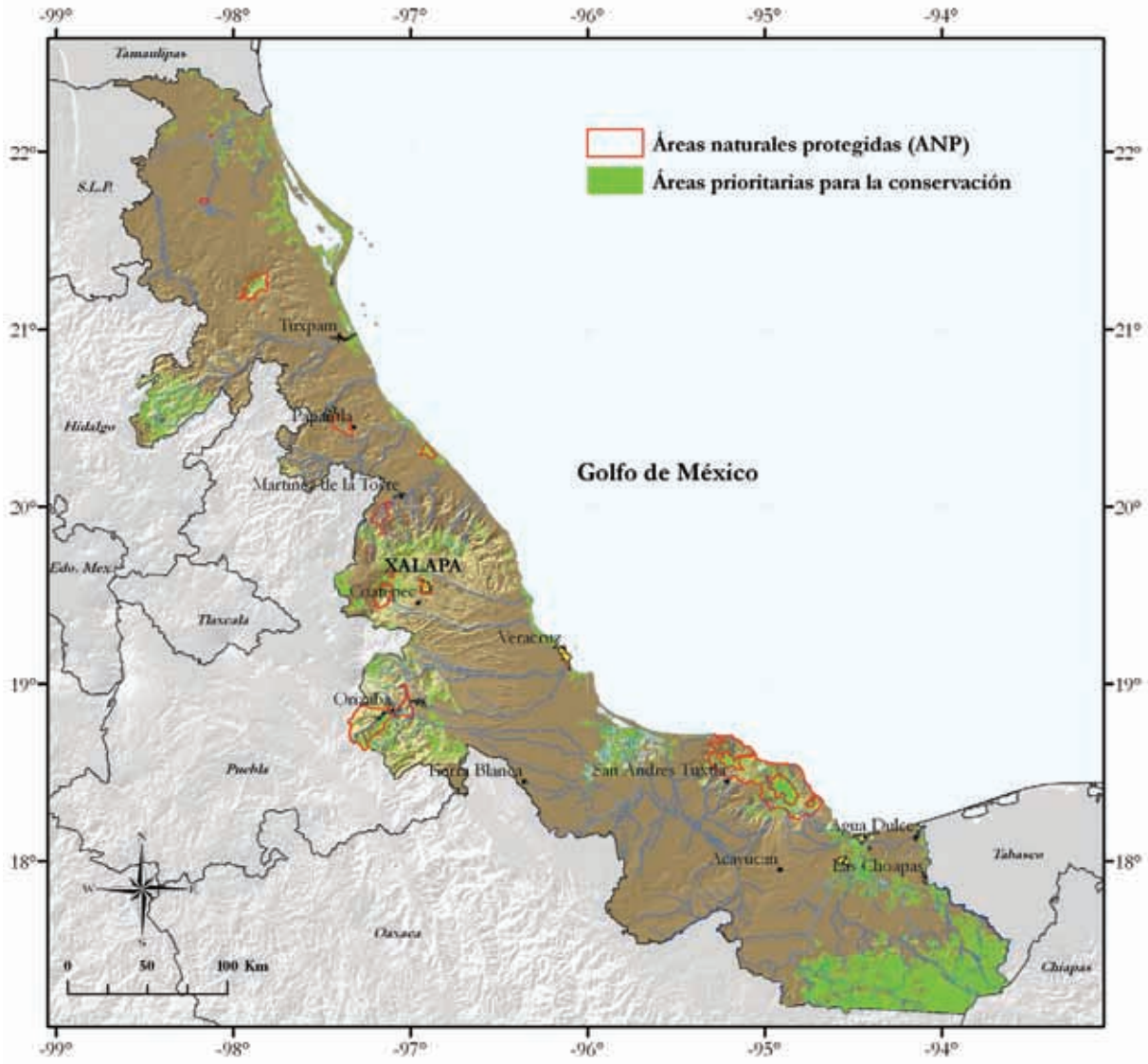


FIGURA 6. Mapa de análisis GAP, relación entre áreas naturales protegidas y áreas prioritarias para la conservación (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008).

dal de Coatzacoalcos; 3) Los Tuxtlas; 4) Laguna de Tamiahua y 5) Bosque mesófilo de la Sierra Madre Oriental. Sin embargo, esta priorización por superficie de vegetación no puede ni debe ser considerada como definitiva en la preferencia de los sistemas ecológicos veracruzanos. Lo que demuestran estos sitios es una baja fragmentación, que sin duda favorece la conservación del hábitat, pero existen otros sitios de menor área que son únicos en su tipo de vegetación en el estado, tal como los matorrales de Perote y los encinares tropicales lo que los hace igualmente prioritarios. Es decir no se puede afirmar qué sitio es mayormente prioritario que otro, ya que cada uno posee particularidades biológicas y ecológicas, así como amenazas latentes que las hacen prioritarias.

Es importante mencionar que los municipios Uxpanapa, Sotepan, San Andrés Tuxtla, Cate-

maco, Tatahuicapan de Juárez, Alvarado, La Antigua, Actopan, Perote, Acajete, Tlacolulan, Tatatila, Huayacocotla, Tuxpan, Tamiahua y Ozuluama de Mascareñas son sólo algunos de aquellos municipios que tienen una gran proporción de vegetación natural bajo su territorio. Las amenazas principales para los 25 focos rojos en el estado en general, son los cambios de uso de suelo debido a la expansión agrícola y de pastizal, así como la explotación-extracción de especies y la urbanización.

Por otra parte, el análisis GAP muestra que sólo 12 de las 22 ANP principales en el estado tienen intersección con las áreas prioritarias identificadas (figura 6). El cuadro 3 muestra los resultados en cuanto a superficie protegida por foco rojo. En este rubro destacan los focos rojos de Los Tuxtlas y Otontepec con el 93 y el 87.7 %, respectivamente

CUADRO 3. Áreas prioritarias para la conservación (focos rojos) en relación con las ANP en Veracruz (análisis GAP) (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008).

FOCO ROJO	ÁREA TOTAL (ha)	ÁREA ANP dentro de HOTSPOT (ha)	ÁREA ANP dentro de HOTSPOT (%)
Uxpanapa	389 092.82	0.00	0.00
Los Tuxtlas	71 956.12	66 928.43	93.00
Humedal de Coatzacoalcos	62 928.33	0.00	0.00
Laguna de Tamiahua	60 451.67	0.00	0.00
Bosque mesófilo de la Sierra Madre Oriental	58 557.91	0.00	0.00
Humedal de Alvarado	52 264.38	0.00	0.00
Región río Blanco-Zongolica	35 255.47	11 758.06	33.60
Región Tezonapa	34 368.18	0.00	0.00
Región Tlacolulan-Misantla	32 245.12	859.37	2.70
Humedal del Norte	26 219.43	0.00	0.00
Cofre de Perote	20 277.94	5 670.94	28.00
Humedal Agua Dulce	14 961.79	0.00	0.00
Matorrales de Perote	13 661.46	0.00	0.00
Humedal de Tecolutla	12 709.20	3 428.07	27.00
Región Montañas	12 263.65	0.00	0.00
Dunas Costeras del Centro	9 323.68	0.00	0.00
Chiconquiaco	8 771.07	0.00	0.00
Selva Baja de la Huasteca	8 707.52	0.00	0.00
Pico de Orizaba	8 414.55	0.00	0.00
Otontepec	7 422.52	6 510.99	87.72
Región Capital	6 784.29	15.89	1.80
Encinares Tropicales	5 788.76	0.00	0.00
Laguna Mandinga	3 908.65	0.00	0.00
Sierra Totonaca	2 396.15	0.00	0.00
Manglar Arroyo Moreno	423.92	273.32	64.50

de su área protegida por ANP. En un sentido inverso, el cuadro 4 muestra la superficie que cada ANP protege de algún foco rojo. Aquí destaca Arroyo Moreno, el cual posee un 93.2 % de su superficie decretada, salvaguardando 64.5 % de foco rojo con el mismo nombre. La ANP denominada Otontepec posee 44.7 % de foco rojo en 87.7 % de su área decretada, mientras que Ciénega en un 87 % de su área protege 27 % del foco rojo denominado Humedal de Tecolutla.

CONCLUSIONES

Sólo 12 de las ANP actuales coinciden con las áreas prioritarias o focos rojos para la conservación determinadas en este estudio, y sólo tres de estos focos rojos están protegidos en más del 50 % (Ellis

et al., 2006; Martínez-Bello, 2008). Esto significa que la mayoría de las ANP del estado no están protegiendo los sitios que deberían y que, por otra parte, en algunos casos, su área decretada es tan pequeña que dejan de tener una función ecológica importante a escala de paisaje. Es urgente una recategorización de las ANP existentes y el decreto de nuevas áreas a través de un diseño previo que involucre a todo el estado (conservación por diseño). Es decir, una red de ANP que cumpla los objetivos de la conservación actual: que sea ecológicamente funcional, que prevenga la formación de corredores biológicos, que represente a cada uno de los sistemas ecológicos del estado, que proteja procesos evolutivos y no sólo de especies individuales. Más aún, que detenga que el proceso de deforestación continúe y que las presiones de factores socioeconómicos aumenten.

CUADRO 4. Las ANP en relación con las áreas prioritarias para la conservación (focos rojos) en Veracruz (análisis GAP) (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008).

NOMBRE ANP	ÁREA (ha)	ÁREA DE HOTSPOT dentro de ANP (ha)	ÁREA DE HOTSPOT dentro de ANP (%)
Arroyo Moreno	293.32	273.32	93.20
Biosfera de Los Tuxtlas	151 385.27	66 928.43	44.20
Cañón de Río Blanco	51 977.78	0.00	22.60
Cerro de las Culebras	35.25	0.00	0.00
Cerro de las Galaxias	32.80	0.00	0.00
Cerro del Borrego	353.98	79.35	22.40
Cerro Macuiltépetl	28.85	0.00	0.00
Chicayán	1 278.55	0.00	0.00
Ciénega	3 939.29	3 428.07	87.00
Cofre de Perote	11 530.33	5 249.54	45.50
El Tajín	9 684.70	0.00	0.00
Filobobos	10 528.32	859.37	8.20
J. Clavijero	69.49	42.01	60.50
J. Clavijero	20.97	15.89	75.80
Loro Huasteco	68.58	0.00	0.00
Martinica	119.30	67.13	56.30
Médano del Perro	5.34	0.00	0.00
Otontepec	14 557.15	6 510.99	44.70
Pancho Poza	57.54	0.00	0.00
Predio Barragán	1.75	0.00	0.00
San Juan del Monte	606.29	421.40	69.50
San Roque	17.60	0.00	0.00
Tejar Garnica	93.07	0.00	0.00

Dado que Veracruz posee sólo el 8.6 % de su territorio cubierto de vegetación natural, debe iniciarse también un proceso de restauración y recuperación de la vegetación perturbada, dirigido a sitios estratégicos y aptos para tales propósitos y que mejoren la calidad de las ANP existentes (Ellis *et al.*, 2006; Martínez-Bello, 2008).

Dentro de este panorama dos cosas son muy necesarias. Por un lado, la creación de mecanismos que permitan la investigación y monitoreo de las ANP del estado, y la inversión de capital para infraestructura y recursos humanos. Por otra parte, el desarrollo de un SIG estatal que proporcione datos geográficos y tabulados, alimentado y compartido por diferentes dependencias gubernamentales y no gubernamentales, institutos de investigación y de educación superior, pues la información existente está muy dispersa y restringida, razón que no permite realizar y facilitar la investigación en estos temas.

AGRADECIMIENTOS. Este proyecto fue financiado por PROMEP. Se agradecen las contribuciones de la Conabio, a la bióloga Flora Zitácuaro Contreras de la Coordinación General del Medio Ambiente, a Jorge Uribe de Pronatura A.C., y a Penélope Aguilar.

LITERATURA CITADA

- BRAY, D.B., E.A. Ellis, N. Armijo-Canto, C.T. Beck, 2004, The institutional drivers of sustainable landscapes: a case study of the 'Mayan Zone' in Quintana Roo, Mexico, *Land Use Policy* 21: 333-346.
- BRAY, D.B., E. Durán Medina, L. Merino-Pérez, J.M. Torres-Rojo y A. Velásquez Montes, 2007, *Nueva evidencia: los bosques comunitarios de México protegen el ambiente, disminuyen la pobreza y promueven la paz social*, Informe de Investigaciones, Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible, A.C.
- BROOKS, T.M., M.I. Bakarr, T. Boucher, G.A.B. Da Fonseca, C. Hilton-Taylor, T. Moritz, S. Olivieri, J. Parrish, R.L. Pressey, A.S.L. Rodrigues, W. Sechrest, A. Stattersfield, W. Strahm, S.N. Stuart, 2004, Coverage Provided by the Global Protected-Area System: Is It Enough?, *Bioscience* 54: 1081-1091.
- CHIAPPY-JHONES, C.J., L. Gama, M. Soto-Esparza, D. Geissert, J. Chavez, 2002, Regionalización paisajística del estado de Veracruz, México, *Universidad y Ciencia* 18(36): 87-113.
- CINCOTTA, R.P., J. Wisniewski, R. Engelman R., 2000, Human populations in the biodiversity hotspots, *Nature* 404: 990-992.
- COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD (Conabio), 1998, *La diversidad biológica de México: estudio de país*, México.
- , 2000, *Estrategia Nacional sobre biodiversidad de México*.
- COMISIÓN NACIONAL FORESTAL (Conafor), 2005, *Especificaciones técnicas para el monitoreo de la vegetación y uso del suelo basado en imágenes de satélite*, HUSOS 11, 12 y 13, Coordinación General de Planeación e Información, Dirección de Geomática.
- DE JONG, B.H., S. Ochoa-Gaona, M.A. Castillo-Santiago, N. Ramírez-Marcial y M. A. Cairns, 2000, Carbon flux and patterns of land use/land-cover change in the Selva Lacandona, México, *Ambio* 29(8): 504-511.
- DURÁN M., E., J.F. Mass, A. Velásquez, 2005, *Land use/cover change in community-based forest management regions and protected areas*, en Bray, D.B., L. Merino-Perez, D. Barry (eds.), *The Community Forests of Mexico: Managing for sustainable landscapes*, University of Texas Press, Austin, Texas.
- ELLIS, E.A., M. Martínez-Bello y V. Rivera Jiménez, 2006, Áreas prioritarias para la conservación en Veracruz, CD-ROM Interactivo, Centro de Investigaciones Tropicales, Universidad Veracruzana, Xalapa Veracruz.
- ELLIS, E.A. y C. Beck, 2004, Land Use Dynamics in the Tropical Forests of the Zona Maya of Quintana Roo, en: N. Armijo and C. Llorens (eds.), *Uso, conserva-*

- cion y cambio en los bosques de Quintana Roo*, Universidad de Quintana Roo/CONACYT, Mexico, 285 pp.
- FORMAN, R.T.T., 1997, *Land Mosaics: The ecology of landscapes and regions*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- GIDDINGS, L., C. Chiappy, M. Soto, L. Gama, 1996, Modificaciones ecológico-paisajísticas del estado de Veracruz, Mexico, *Investigaciones Geográficas Boletín* 33: 31-47.
- HARCOURT, C.S. y J.A. Sayer (eds.), 1996, *The Conservation Atlas of Tropical Forests: The Americas*, World Conservation Monitoring Center and IUCN, Nueva York: Simon & Schuster.
- KLEPEIS P., y B.L. Turner II, 2001, Integrated land history and global change science: the example of the Southern Yucatán Peninsular Region project, *Land Use Policy* 18: 27-39.
- LANG, L., 1998, *Managing Natural Resources with GIS*, ESRI Press, Redlands, California.
- LINKE, S. y R. Norris, 2003, Biodiversity: bridging the gap between condition and conservation, *Hidrobiología* 500: 203-211.
- MARTÍNEZ BELLO, M., 2008, *Diagnóstico de Áreas Prioritarias para la Conservación de la Biodiversidad en el estado de Veracruz, México*, tesis de licenciatura, Facultad de Biología, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz.
- MAS, J.F., A. Velázquez, A. Schmitt y R. Castro, 2003, Una evaluación de los efectos del aislamiento, la topografía, los suelos y el estatus de protección sobre las tasas de deforestación en México, *Raega* núm. 6, Revista del Departamento de Geografía, Universidad Federal do Paraná, Brasil, pp. 61-73.
- MAS, J.F., 2005, Assessing protected area effectiveness using surrounding (buffer) areas environmentally similar to the target area, *Environmental Monitoring and Assessment* 105: 69-80.
- MÉDAIL, F. y P. Quézel, 1999, Biodiversity hotspots in the Mediterranean Basin: Setting Global Conservation Priorities, *Conservation Biology* 13 (6): 1510-1513.
- MENON, S., R. Gil Pontius, J. Rose, M.L. Khan, K.S., Bawa, 2001, Identifying conservation-priority areas in the tropics: a land-use change modeling approach, *Conservation Biology* 15: 501-512.
- MITTERMEIER, R.A. y C.G. Mittermeier, 1992, La importancia de la diversidad biológica en México, en J. Sarukhán y R. Dirzo (eds.), *Mexico confronts the Challenges of Biodiversity*, México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio).
- MITTERMEIER, C.G., R.A. Mittermeier, J. Nations, A. Robles, M.A. Carvajal, M.A. y P. Robles Gil, 1998, en R.A. Mittermeier, P. Robles Gil y C.G. Mittermeier. (eds.), *Megadiversity: Earth's Biologically Wealthiest Nations*. Monterrey, Mexico: CEMEX, pp. 141-177.
- MITTERMEIER, R.A., N. Myers, J.B. Thompson, G.A. da Fonseca, S. Olivieri, 1998, Biodiversity hotspots and major tropical wilderness areas: approaches to setting conservation priorities, *Conservation Biology* 12: 516-520.
- MORAIN, S. (ed.), 1999, *GIS Solutions in Natural Resource Management: Balancing the Technical-Political Equation*, Onword Press, Santa Fé, Nuevo México.
- MYERS, N., R.A. Mittermeier, C.G. Mittermeier, G.A. da Fonseca, J., Kents, 2000, Biodiversity hotspots for conservation priorities, *Nature* 403: 853-848.
- OLDFIELD, T.E.E., R.J. Smith, S.R. Harrop, N. Leader-Williams, 2004, A gap analysis of terrestrial protected areas in England and its implications for conservation policy, *Biological Conservation* 120: 303-309.
- PEARLSTINE, L.G., S.E. Smith, L.A. Brandt, C.R. Allen, W.M. Kitchens, J. Stenberg, 2002, *Assessing statewide biodiversity in the Florida Gap analysis project*, *Journal of Environmental Management* 66: 127-144.
- RAMAMOORTHY, T.P., R. Bye, A. Lot, y J. Fa, 1993, *Biological Diversity of México: origins and distribution*, Oxford University Press, Nueva York.
- RODRIGUES, A.S.L., H.R. Akcakaya, S.J. Andelman, M.I. Bakarr, L. Boitani, T.M. Brooks, J.S. Chanson, L.D.C. Fishpool, G.A.B. Da Fonseca, K.J. Gaston,

- M. Hoffmann, P.A. Marquet, J.D. Pilgrim, R.L. Pressey, J. Scipper, W. Sechrest, S.N. Stuart, L.G. Underhill, R.W. Waller, M.E.J. Watts, X. Yan, 2004, Global Gap Analysis: Priority Regions for Expanding the Global Protected-Area Network, *Bioscience* 54: 1092-1100.
- SALEM, B.B., 2003, Applications of GIS to biodiversity monitoring, *Journal of Arid Environments* 54: 91-114.
- SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRÁULICOS (SARH), 1994, Inventario Nacional Forestal Periódico 1992-1994, México, 79 pp.
- SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (Semarnat) y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), 2005, Informe de la situación del medio ambiente en México; compendio de estadísticas ambientales, México.
- SHI H., y A. Singh, 2003, Status and Interconnections of Selected Environmental Issues in the Global Coastal Zones, *Ambio* 32: 145-152.
- SHOUTIS, D., 2003, SPOT: the Sapatial Portfolio Optimization Tool, *The Nature Conservancy*, Washington D.C., 55 pp.
- THE NATURE CONSERVANCY, 2005, *GIS and the Nature Conservancy: Overview*, ArcNews vol. 27, núm. 3, ESRI, Redlands, CA.
- TURNER II, B.L., S. Cortina-Villar, D. Foster, J. Geoghegan, E. Keys, P. Klepeis, D. Lawrence, P.M. Mendoza, S. Manson, Y. Ogneva-Himmelberger, A.B. Plotkin, D. Pérez-Salicrup, R.R. Chowdhury, B. Savitsky, L. Schneider, B. Schmook, C. Vance, 2001, Deforestation in southern Yucatan peninsular region: an integrative approach, *Forest Ecology and Management* 154: 353-370.
- VÁZQUEZ-TORRES, M. (comp.), 1998, *Biodiversidad y problemática en el Humedal de Alvarado, Veracruz, México*, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz, México.
- VEECH, J.A., 2003, Incorporating socioeconomic factors into the analysis of biodiversity hotspots, *Applied Geography* 23: 73-88.
- VELÁZQUEZ, A., Durán, E., Ramírez, I. Mas, J., Bocco, G., Ramírez, G. Palacio, J.L., 2003, Land use-cover change processes in highly biodiverse areas: the case of Oaxaca, Mexico, *Global Environmental Change* 13: 175-184.

La contaminación del agua



Eugenia J. Olguín
Gabriel Mercado Vidal
María Elizabeth Hernández

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso de vital importancia para todos los sectores socio-económicos. Lamentablemente, un gran número de actividades económicas son fuente generadora de contaminación de agua, suelos y aire. En este contexto, uno de los mayores problemas ambientales a los que se enfrenta no sólo el estado de Veracruz, sino otros estados de nuestro país y regiones del mundo, es la considerable contaminación en la que se encuentran un gran número de cuerpos de agua, derivada en gran parte por las descargas sin tratar de aguas residuales municipales, agroindustriales e industriales (Olguín *et al.*, 2000)

En México se cuenta con los instrumentos jurídico-ambientales necesarios para regular, entre otros aspectos, las descargas de efluentes residuales sobre cuerpos de agua. Sin embargo, la ley no se aplica con el rigor debido para evitar que estos

importantes ecosistemas se sigan deteriorando. La gestión del agua debe responder al concepto de sustentabilidad, lo que implica, entre otros aspectos, mantener las características ecológicas de los ecosistemas acuáticos a través del tiempo, aprovecharlos con un sentido de ética social y de equidad para el bienestar humano. En este sentido, es necesaria la implementación de estrategias que conlleven a un Manejo Integrado de los Recursos Hídricos, definido éste “como un proceso que promueve el desarrollo y el manejo coordinados de los recursos hidrológicos, del suelo y otros relacionados, a fin de maximizar el bienestar económico y social resultante de manera equitativa, sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales” (GWP, 2000).

En este capítulo se revisan brevemente los recursos hidrológicos, los usos del agua, el estado actual de las principales fuentes de contaminación y su impacto en el estado de Veracruz.

LOS RECURSOS HIDROLÓGICOS EN EL ESTADO DE VERACRUZ

En la entidad existen un gran número de ríos, entre los que destacan el Pánuco, Tuxpan, Cazones, Tecolutla, Nautla, Actopan, Los Pescados-La Antigua, Jamapa-Cotaxtla, Blanco, Papaloapan y Coatzacoalcos, entre otros (figura 1). Estos ríos desembocan en el Golfo de México cuya colindancia con el estado, está constituida por un cordón litoral de aproximadamente 780 km. Es importante señalar que el escurrimiento promedio anual en los sistemas fluviales veracruzanos, es de 121 000 Mm³, representando este volumen el 33 % del escurrimiento nacional (Consejo del Sistema Veracruzano del Agua, 2005).

Veracruz cuenta también con otros importantes ecosistemas acuáticos como son las lagunas costeras de Pueblo Viejo, Tampamachoco, Tamiahua, El Llano, La Mancha, Mandinga, Alvarado, Sontecomapan y El Ostión, entre otras. Estas lagunas, al igual que otros estuarios veracruzanos, forman parte importante en la economía de las regiones en las cuales se encuentran localizadas, ya que son criaderos de especies de peces de interés comercial.

USOS DEL AGUA EN VERACRUZ

La precipitación media anual en Veracruz es del orden de los 1 484 mm. Esta precipitación se encuentra muy por arriba de la media anual nacional, de aproximadamente 772 mm (CNA, 2002). A pesar de estas condiciones, durante el periodo de estiaje, el problema de abastecimiento, sobre todo para el sector urbano-residencial, en algunas regiones del estado se ha convertido en una situación crítica.

La disponibilidad natural media de agua por habitante por año, o disponibilidad natural media, per cápita es un indicador básico para evaluar la situación de los recursos hídricos de una cuenca hidrológica (Breña y Breña, 2007). De esta manera, se

considera que existe una escasez extrema cuando la disponibilidad está por abajo de 1 000 m³ hab⁻¹ año⁻¹. Para el caso específico de las cuencas hidrológicas veracruzanas, la disponibilidad natural media de agua per cápita para el año 2004 fue por arriba del total nacional (4 094 m³ hab⁻¹ año⁻¹). La disponibilidad para la región IX Golfo Norte fue de 4 820 m³ hab⁻¹ año⁻¹ y para la región X Golfo Centro fue de 10 574 m³ hab⁻¹ año⁻¹. Estos valores señalan disponibilidades baja y alta, respectivamente (CNA, 2005).

El abastecimiento de agua para los sectores público-urbano, agrícola, industrial, termoeléctrico, así como para otros usos, proviene principalmente de fuentes superficiales. Sin embargo, también se cuenta con el abasto de agua a partir de fuentes subterráneas, principalmente para el sector industrial.

En cuanto al uso del agua por los sectores productivos en el estado, es la agricultura la que demanda el mayor porcentaje de este recurso, seguida por el sector industrial, urbano y, finalmente, el sector termoeléctrico (Consejo del Sistema Veracruzano del Agua, 2005).

Respecto a la cobertura de servicios de agua en Veracruz, se reportó que en el 2005, el suministro de agua potable fue sólo para el 63.38 % de la población. De este volumen, se destinó el 76.98 % para las zonas urbanas en donde se concentraban 4.19 millones de habitantes en ese año. En el caso de las zonas rurales en las cuales habitaban 2.88 millones de personas, el porcentaje de cobertura fue de 44.37 %. Se estima que la demanda de agua para uso público y doméstico es del orden de 742 Mm³, mientras que el suministro es de aproximadamente 528 Mm³. De igual forma, la entidad veracruzana cuenta con una capacidad instalada de potabilización de 148 Mm³, representando sólo el 40 % del agua superficial suministrada al sector público y doméstico, cuyo volumen es de 371.22 Mm³ (Consejo del Sistema Veracruzano del Agua, 2005). Por lo anterior, se concluye que en el estado de Veracruz, existe un déficit en el suministro de agua y especialmente en el suministro de agua potable.

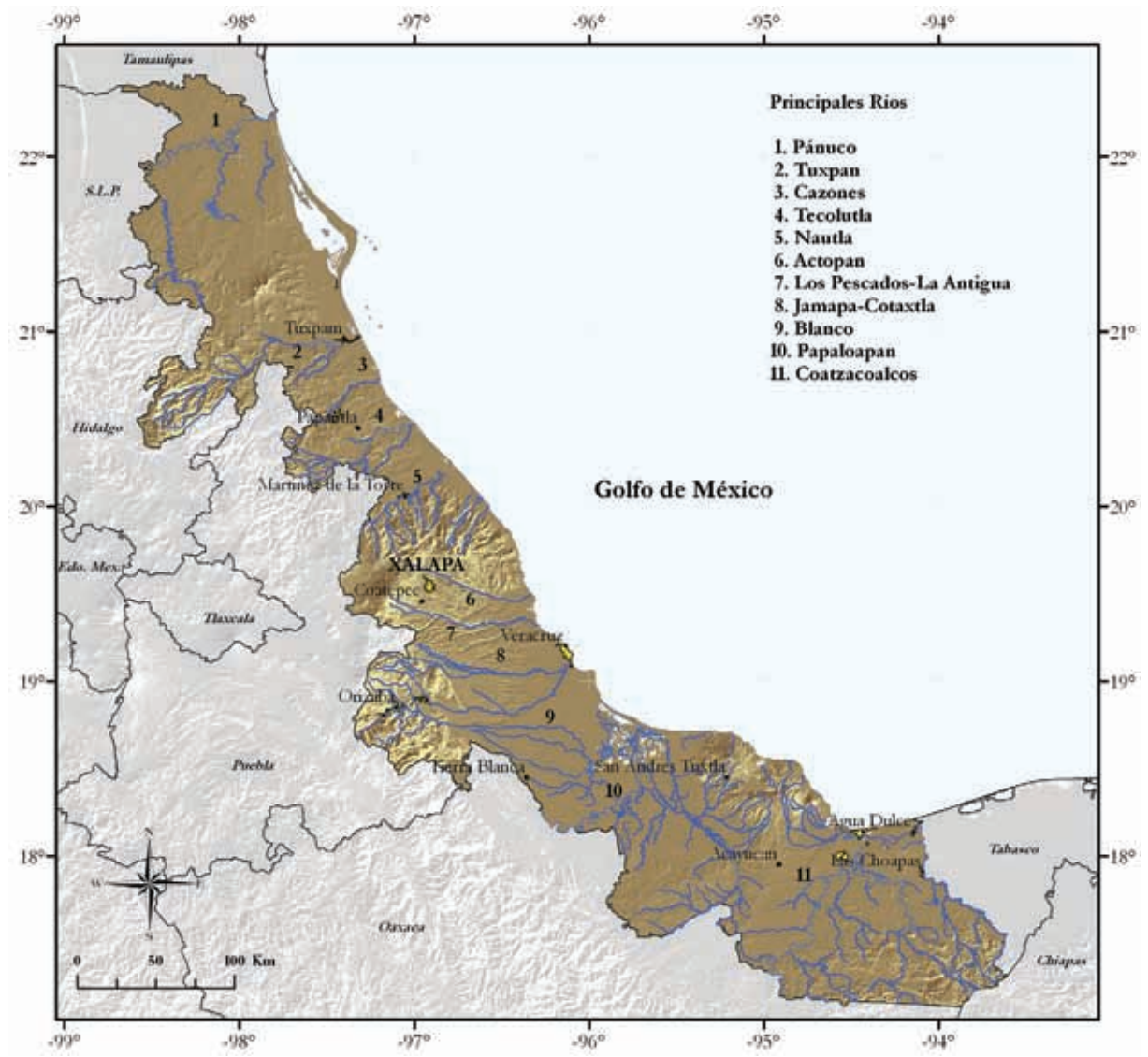


FIGURA 1. Principales ríos veracruzanos.

FUENTES POTENCIALES DE CONTAMINACIÓN

La diversidad climática del estado de Veracruz favorece la producción de diversos productos agrícolas. El campo agrícola veracruzano cuenta con 1 780 mil ha de cultivo y con más de 100 productos agrícolas diferentes. Es importante señalar que Veracruz ocupa los primeros lugares en la producción de café,

caña de azúcar, vainilla, cítricos, mango manila, papaya, arroz, hule, piña y chayote, entre otros (Gobierno del Estado de Veracruz, 2005). Respecto de la ganadería veracruzana, la superficie destinada para esta actividad es de 3 690 000 ha. La población ganadera en el estado está constituida principalmente por 4.2 millones de cabezas de ganado bovino, destinados a la producción de carne y leche.

De igual forma, el hato ganadero veracruzano cuenta con 1.2 millones de cerdos, 496 980 ovinos y 133 346 caprinos (Sedarpa, 2006).

Respecto a la contaminación del agua por agroindustrias, se ha encontrado que en algunas regiones del estado está asociada a las descargas de aguas residuales sin tratar que vierten algunos ingenios azucareros, beneficios de café y granjas porcinas (Olguín, *et al.*, 2006). Estos aspectos se describen a profundidad en otros capítulos en este libro. Existen otras fuentes de contaminación agroindustrial, como son las industrias extractoras de jugos de frutas establecidas en las regiones citrícolas veracruzanas de Martínez de la Torre y de Álamo Temapache, las cuales han propiciado graves problemas por descargas de aguas residuales sin tratar sobre algunos afluentes de los ríos Bobos-Nautla y Tuxpan. Esto ha propiciado denuncias por parte de grupos de pescadores ribereños que se han visto afectados en su actividad.

Otras fuentes que generan problemas de contaminación sobre cuerpos de agua en Veracruz son los rastros municipales. Estas empresas son de diverso tamaño y emplean grandes cantidades de agua para sus actividades de sacrificio de animales y preparación de canales. Aunado a este considerable consumo de agua, estos centros carecen de sistemas de tratamiento para sus efluentes residuales, los cuales son descargados directamente en los cuerpos de agua naturales o en los sistemas de drenaje municipal, sin ningún tratamiento previo, en la mayoría de los casos.

Finalmente, la actividad industrial se concentra en algunas regiones del estado, principalmente en las zonas de Poza Rica en el norte de la entidad, en el centro, en la región de Córdoba, Orizaba y Veracruz, y en la zona de Minatitlán, Nanchital, Cosoleacaque y Coatzacoalcos, en el sur del estado. En las regiones norte y sur mencionadas, durante muchos años ha tenido predominio la actividad petrolera, mientras que en la región central del estado, se concentra además una actividad indus-

trial diversificada, destacando la industria de alimentos. En este contexto, es importante señalar que la presencia de empresas públicas federales importantes, como es el caso de la Comisión Federal de Electricidad y de Petróleos Mexicanos, ha contribuido de manera importante en la economía de algunas regiones veracruzanas.

IMPACTOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Los ecosistemas acuáticos tienen gran importancia para el hombre, ya que le proporcionan importantes beneficios económicos y sociales, comúnmente llamados valores y servicios (Myers, 1996). Los ambientes acuáticos además de poseer una considerable productividad biológica, permiten el aporte de importantes volúmenes de nutrientes a los océanos, dando lugar a diversas cadenas tróficas (Wetzel, 2006). Tanto los ecosistemas marinos, como los ecosistemas acuáticos de agua dulce sufren de un gran número de presiones, las cuales desencadenan a su vez serios problemas ambientales. En el siglo XXI, los ecosistemas de agua dulce sufren varias presiones relacionadas principalmente con una inadecuada gestión del agua. Dichas presiones son, el crecimiento demográfico, con consecuente sobreexplotación de agua superficial y de mantos acuíferos; el desarrollo de infraestructura, como presas, canales y diques; el cambio de uso de suelo que disminuye la recarga natural y la contaminación de suelo, agua y aire con repercusiones negativas a los ecosistemas acuáticos.

Los cuerpos de agua veracruzanos, en su mayoría, reciben descargas de aguas residuales generadas por diferentes fuentes, entre las que destacan las de los centros urbanos, la industria petrolera y química, termoeléctrica, ingenios azucareros, beneficios de café, explotaciones pecuarias, etc. En este contexto, los ríos Pánuco, Papaloapan y Coatzacoalcos, junto con el río Grijalva-Usumacinta, constituyen los cuatro sistemas fluviales más importantes de

México que descargan al Golfo de México. Estos cuatro sistemas, muestran severos deterioros de sus funciones y servicios ambientales, derivados principalmente de problemas de contaminación por plaguicidas e hidrocarburos (Toledo, 2004).

En Veracruz, las fuentes superficiales que abastecen de agua a los sectores público-urbano, agrícola, industrial y termoeléctrico, principalmente, reciben a su vez descargas de aguas residuales que en la mayoría de los casos no cumplen con los parámetros de calidad establecidos en la norma NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales (*Diario Oficial de la Federación*, 2003).

En el cuadro 1 se describen las condiciones de calidad del agua que presentaron en 1998 las regiones hidrológicas IX Golfo Norte y X Golfo Centro, en las cuales se encuentran ubicados los ríos veracruzanos. Asimismo, y de acuerdo a estas condiciones, en este cuadro se presenta un comparativo con otras regiones contaminadas del país como son las del Lerma Santiago y la del Valle de México. De acuerdo con los resultados de la evaluación de la calidad del agua con base en el índice de calidad del agua (ICA)¹, se puede observar que estas cuencas se encuentran contaminadas. En los cuadros 2, 3 y 4 se describen de manera general

algunas de las presiones que sufren los principales ríos veracruzanos en las tres regiones del estado. En estos cuadros se puede observar que en todos los casos, las presiones que sufren estos cuerpos de agua están relacionadas principalmente con descargas de aguas residuales producidas por los núcleos poblacionales, derrames de hidrocarburos y descargas residuales de agroindustrias, destacando la alcoholera, la del beneficiado húmedo de café y las granjas porcinas (Olguín *et al.*, 2004). Para el caso de estos sectores se han realizado estudios que demuestran el impacto ambiental negativo que estas agroindustrias generan en algunas regiones del estado (Olguín *et al.*, 2006).

Respecto al impacto negativo hacia los cuerpos de agua generado por las descargas de aguas residuales provenientes de los núcleos poblacionales, existen aún dos problemas que requieren atención urgente por parte de las autoridades estatales y federales. Por un lado, no se cuenta con infraestructura necesaria para el tratamiento del 100 % de las aguas residuales y, por otro, los niveles de eficiencia con los que operan las plantas de tratamiento ya existentes, son bajos.

El volumen de aguas residuales que se genera en el estado de Veracruz es de 396.2 Mm³. De esta cantidad, sólo el 60.3 % es recolectado (239 Mm³). La cobertura para el tratamiento de aguas residuales

CUADRO 1. Calidad del agua en cuencas hidrológicas del estado de Veracruz con base en el Índice de Calidad del Agua (ICA)

REGIÓN HIDROLÓGICA	CONDICIÓN MÁS COMÚN	PORCENTAJE	ÍNDICE PROMEDIO (ICA)
IX. Golfo Norte	Contaminada	44.89	59.02
X. Golfo	Contaminada	77.77	61.66
VII. Lerma Santiago	Contaminada	52.56	60.34
XIII. Valle de México	Excesivamente contaminada	54.54	32.49
Nacional	Contaminada	58.44	60.75

Adaptado de CNA (2005).

¹ El índice de calidad del agua (ICA), ha sido desarrollado y aplicado por la Comisión Nacional del Agua y permite clasificar a los cuerpos de agua por sus características de calidad. Este índice es determinado con base en ciertos parámetros físico-químicos y biológicos que indican el grado de contaminación del agua.

CUADRO 2. Presiones ambientales que sufren los principales ríos de la Región Norte del Estado.

RÍO	PRESIONES AMBIENTALES
Pánuco	<p>Descargas de aguas residuales urbanas e industriales procedentes de la zona metropolitana de la Ciudad de México y de localidades de los estados de Puebla, Hidalgo, Querétaro, Guanajuato, San Luis Potosí y Tamaulipas. El estado de Veracruz, recibe descargas de aguas residuales de las localidades de El Higo, Pánuco, Pueblo Viejo y Ciudad Cuauhtémoc.</p> <p>Descargas residuales de la industria azucarera</p> <p>Agroquímicos</p>
Tuxpan	<p>Descargas de aguas residuales de las localidades de Álamo, Tuxpan, Chicontepec, Ixhuatlán de Madero, Castillo de Teayo, Tihuatlán y Santiago de la Peña.</p> <p>Descargas de aguas residuales agroindustriales y de alimentos (jugueras y productos del mar).</p> <p>Hidrocarburos</p> <p>Agroquímicos</p>
Cazones	<p>Descargas de aguas residuales de las localidades de Poza Rica, Papantla, Coatzintla, Coyutla y Cazones.</p> <p>Hidrocarburos</p> <p>Agroquímicos</p>
Tecolutla	<p>Descargas de aguas residuales de beneficios de café, así como de otras industrias de alimentos</p> <p>Descargas de aguas residuales de las localidades de Mecatlán, Filomeno Mata, Espinal, Papantla, Gutiérrez Zamora y Tecolutla</p> <p>Hidrocarburos</p> <p>Agroquímicos</p>
Nautla	<p>Descargas de aguas residuales de localidades de Altotonga, Tlapacoyan, San Rafael, Martínez de la Torre y Nautla.</p> <p>Descargas de aguas residuales de beneficios de café, así como de otras industrias de alimentos (jugueras)</p> <p>Descargas residuales de la industria azucarera</p> <p>Agroquímicos</p>

CUADRO 3. Presiones ambientales que sufren los principales ríos de la Región Centro del Estado.

RÍO	PRESIONES AMBIENTALES
Actopan	<p>Descargas de aguas residuales de las localidades de Banderilla, Xalapa, Ciudad Cardel, entre otras</p> <p>Descargas de aguas residuales de granjas porcinas, de la industria azucarera y de beneficios de café</p> <p>Agroquímicos</p>
Los Pescados-La Antigua	<p>Descargas de aguas residuales de las localidades de Xalapa y Coatepec</p> <p>Descargas de aguas residuales de beneficios de café, de la industria azucarera y de la industria de alimentos</p> <p>Agroquímicos</p>
Jamapa-Coraxtla	<p>Descargas de aguas residuales de las localidades de Huatusco, Soledad de Doblado, Medellín, Jamapa, Córdoba, Coscomatepec, entre otros</p> <p>Descargas de aguas residuales de beneficios de café, de la industria azucarera y de varias industrias (alimentos principalmente)</p> <p>Hidrocarburos</p> <p>Agroquímicos</p>

CUADRO 4. Presiones ambientales que sufren los principales ríos de la Región Sur del Estado.

RÍO	PRESIONES AMBIENTALES
Papaloapan	Descargas de aguas residuales de los centros poblacionales de Otatitlán, Chacaltianguis, Tlacotalpan, Cosamaloapan, Tlacotalpan, Ciudad Lerdo y Alvarado, entre otros Descargas residuales de la industria azucarera, industria papelera y de alimentos Agroquímicos
Coatzacoalcos	Aguas residuales de las localidades de Coatzacoalcos, Minatitlán, Cosoleacaque y Nanchital, entre otras Descargas industriales de instalaciones establecidas en los complejos petroquímicos de Cosoleacaque, Cangrejera, Pajaritos y Morelos Agroquímicos

domésticas en Veracruz, sólo se lleva a cabo para el 18.9 % del volumen recolectado. Para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, sólo se cuenta con 88 plantas de tratamiento con una capacidad instalada de 174.7 Mm³. Estas plantas operan para dar tratamiento solamente a 45.2 Mm³ (Consejo del Sistema Veracruzano del Agua, 2005). Lo anterior nos indica que sólo el 25.8 % de la capacidad instalada de estas plantas se está utilizando y en la mayoría de los casos no se logra una eficiente remoción de los contaminantes.

Otro aspecto importante de contaminación originado por los núcleos poblacionales en el estado, es el relacionado con la disposición final de los residuos sólidos urbanos. Para el 2004, la producción anual de estos residuos en el estado fue de aproximadamente 1.7 millones de toneladas y disponiéndose de 1 648 tiraderos a cielo abierto y sólo 11 rellenos sanitarios con una superficie total de 145 ha, aproximadamente (INEGI, 2005).

En el estado es muy común encontrar localidades en las cuales los sitios de disposición final, ya sea rellenos sanitarios o tiraderos a cielo abierto, se encuentran localizados en sitios inapropiados, lo que ha propiciado problemas serios de contaminación. Para el caso de rellenos sanitarios, y a pesar de que se cuenta con lagunas receptoras de los residuos líquidos generados durante la acumulación de los residuos (lixiviados), estos efluentes residuales no cuentan con un tratamiento adecuado. Es impor-

tante señalar que este tipo de residuos líquidos contienen, entre otros compuestos, metales pesados, los cuales, debido a su alta toxicidad, representan una seria amenaza para la salud de la población.

Los problemas vinculados a la calidad del agua han generado un gran número de denuncias por la degradación de estos sistemas, de los cuales uno de los sectores más afectados son los pescadores (Olguín *et al.*, 2000) y las poblaciones aledañas a estos cuerpos de agua y que hacen uso de este recurso. En Veracruz son continuas las denuncias que se presentan en materia de contaminación de cuerpos de agua por parte del sector pesquero ribereño. Estos casos de denuncia están vinculados principalmente con derrames de hidrocarburos y con descargas de la agroindustria azucarera, entre otros.

Si bien es cierto que las empresas públicas federales, como es el caso de Petróleos Mexicanos y la Comisión Federal de Electricidad han traído consigo importantes aportes económicos y la generación de empleos en algunas regiones del estado, también es ampliamente conocido que dichas empresas han propiciado serios problemas en la entidad, destacando los relacionados con los altos riesgos en materia de salud y seguridad de la población, y con el grave deterioro ambiental derivado de la contaminación que se presenta en las zonas donde se encuentran asentadas una gran parte de sus industrias. La instalación de infraestructura

petrolera y petroquímica en el estado, ha traído como consecuencia que las lagunas costeras de Veracruz y algunos de sus estuarios, sean objeto de contaminación ambiental de una considerable magnitud, sobre todo en área de Coatzacoalcos-Minatitlán (Castañeda y Contreras, 2003).

El caso de la contaminación de la cuenca baja del río Coatzacoalcos

El río Coatzacoalcos nace en la Sierra Atravesada del estado de Oaxaca y tiene una longitud aproximada de 185 km. En la primera parte de su recorrido, atraviesa una zona montañosa de topografía difícil y recibe numerosos y pequeños afluentes difíciles de cuantificar. A la altura de Santa María Chimalpa, su rumbo oeste cambia en dirección norte y a la altura de Suchilapa, Veracruz adquiere una dirección noreste que conserva hasta su desembocadura en el puerto de Coatzacoalcos. El río recibe tres principales afluentes, por su margen derecho, 5 km al norte de Minatitlán, recibe al río Coachapa que corre de sur a norte, y 3 km al sur de Minatitlán recibe al río Uxpanapa; por su margen izquierdo, 4 km antes de su desembocadura al mar, recibe al río Calzadas (Bozada y Páez, 1986).

El impacto antropogénico al río Coatzacoalcos ha ocurrido durante más de tres décadas, principalmente debido al desarrollo industrial en la cuenca baja que incluye la región de Minatitlán y Coatzacoalcos. Es importante señalar que en la región de Coatzacoalcos se localiza la industria petroquímica de Petróleos Mexicanos (Pemex) más importante del país, así como un importante número de empresas privadas como Sales del Istmo (grupo Cydsa); Cydsa-Bayer; Celanese Mexicana; Fenoquimia, (Celanese Mexicana y grupo Resistol); Alimentos Balanceados; Maseca; Sosa de Tehuantepec; Tereftalatos Mexicanos; y una nueva planta de Industrias Resistol (Morosini, 2005).

La investigación de la contaminación del río Coatzacoalcos por la actividad industrial inició

entre los años 1986 y 1988, con los trabajos de un grupo interdisciplinario bajo la coordinación del Centro de Ecodesarrollo de México (Cecodes). Este grupo evaluó los impactos ecológicos y sociales del desarrollo industrial petroquímico en Coatzacoalcos y los resultados se dieron a conocer mediante la publicación de 15 libros, de los cuales Toledo *et al.* (1988) destacaron las siguientes conclusiones:

1) Las muestras de agua, sedimento y organismos del río presentaron una alta y constante contaminación bacteriana.

2) Se detectaron altas concentraciones de elementos trazas y algunos metales pesados como hierro (Fe), níquel (Ni), zinc (Zn), cobre (Cu), manganeso (Mn), cadmio (Cd), cromo (Cr), cobalto (Co), plomo (Pb) y mercurio (Hg), en sedimentos y organismos de importancia comercial.

3) En 19 especies de organismos estuarinos (peces, crustáceos y moluscos) empleados para el consumo humano, se detectaron hidrocarburos aromáticos policíclicos. Además de que los sedimentos del área de estudio presentaron concentraciones de hidrocarburos totales que rebasan hasta 10 veces los límites marcados para áreas costeras no contaminadas.

Después del derrame de petróleo crudo, ocurrido el 22 de diciembre de 2004 en el municipio de Nanchital, por la ruptura de un oleoducto que corre de Nuevo Teapa a Poza Rica, se detectaron concentraciones de hidrocarburos totales de 12 mg l⁻¹ en muestras de agua tomadas en el río, 2 km al sur de Nanchital y hasta su desembocadura al mar (Albert *et al.*, 2005). En cuanto a la concentración de hidrocarburos en los sedimentos, desde 1982 se han detectado concentraciones altas (450-843 mg kg⁻¹), las cuales superan el criterio de UNESCO de 70 mg kg⁻¹ para sedimentos no contaminados (Botello y Páez, 1986). Después del derrame de 2004, se encontraron concentraciones de 47.17 y 89.66 mg kg⁻¹ en los puntos de muestreo aguas arriba de Nan-

chital y antes de la desembocadura del río Calzadas, respectivamente, las cuales fueron menores que el criterio de UNESCO. Sin embargo, cerca de la desembocadura del arroyo Teapa se encontraron concentraciones de hidrocarburos totales en sedimento de $1\,290\text{ mg kg}^{-1}$ que excedieron por muchos órdenes el criterio de UNESCO (Albert *et al.*, 2005). Es importante mencionar que estas últimas concentraciones tan altas de hidrocarburos se encontraron poco tiempo después del derrame de Nanchital y que es necesario volver a muestrear para conocer la situación actual en agua y sedimentos del río Coatzacoalcos.

En cuanto a la contaminación por metales pesados en el río Coatzacoalcos, en los años 90 se reportó que las concentraciones medias (mg kg^{-1}) de metales en sedimentos localizados en el flujo de la corriente, afectado por las actividades industriales fueron Cu: 36, Ni: 31.1, Cr: 53, Zn: 101 y Pb: 34, siendo estos valores más altos que los valores naturales en el área (Villanueva y Botello, 1992). Estudios relativamente más recientes han demostrado la persistencia de este tipo de compuestos en los sedimentos de la cuenca baja impactada por las actividades industriales. Rosales-Hoz y Carranza-Edwards (1998) estudiaron las características físicas y químicas de los sedimentos del río en varias zonas. Ellos encontraron las más altas concentraciones de Cu, Cr, Zn y Pb (95, 153, 163 y 54 mg kg^{-1} , respectivamente) cerca de la desembocadura del arroyo Teapa. Las concentraciones de Cd, fueron entre 2 y 3 mg kg^{-1} , siendo ligeramente más altas que las reportadas en sedimentos de ríos no contaminados ($0.04\text{-}0.8\text{ mg kg}^{-1}$), las concentraciones de Ni fueron más altas (77 mg kg^{-1}), cerca del río Uxpanapa, también por arriba de las concentraciones encontradas en suelos no contaminados ($7\text{-}50\text{ mg kg}^{-1}$). Todos los valores más altos de metales encontrados en este estudio (Cd: 2, Cr: 81, Cu: 34, Fe: 6, Ni: 77, Pb: 46 y Zn: 150 mg kg^{-1}) excedieron los valores de toxicidad ERL (Effect Range Low), que son las concentraciones de metales en sedimento que cau-

san efectos tóxicos bajos en animales y plantas (Long *et al.*, 1995).

Rosales-Hoz *et al.* (2003) investigaron la concentración de elementos traza (Zn, Cu, Cr, Ni, Pb) en zonas con mayor actividad industrial y en zonas con poca influencia antropogénica a lo largo del río Coatzacoalcos. Ellos encontraron que las concentraciones de Zn, Ni, Pb y Cu, fueron más altas en sedimentos del arroyo Teapa, el cual se encuentra en la zona industrializada y más bajas en el Júcaro, una zona con muy poco impacto antropogénico. A excepción del Pb, los niveles altos de metales en los sedimentos del arroyo Teapa, también estuvieron por arriba del ERL.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Es muy lamentable que siendo Veracruz un estado con una precipitación alta, con una gran diversidad de productos agrícolas y con una industria importante, especialmente en el caso de la industria petrolera, no se haya implementado un programa de desarrollo sustentable que permita aprovechar todo el potencial de producción agrícola-industrial sin dañar el ambiente, principalmente los cuerpos de agua superficiales. Por lo anterior, es urgente que las autoridades a diferentes niveles (municipal, estatal y federal) y de manera coordinada entre ellas y con el sector empresarial y el sector académico, implemente un Programa de Desarrollo Industrial Sustentable, en el cual se efectúen estrategias que combinen herramientas de Producción Más Limpia y de adopción de Biotecnologías Ambientalmente Pertinentes (Olguín *et al.*, 2004). De esta manera, no sólo se logrará la conservación y manejo adecuado de los ecosistemas acuáticos, sino también se lograrán beneficios de tipo económico y social. La minimización de los volúmenes de aguas residuales y su correcto tratamiento propiciarán que los cuerpos de agua aledaños a estos agro-centros se conserven sanos y que los pescadores puedan mantener sus

ingresos habituales (Olguín *et al.*, 2006). En el caso del corredor industrial de la región Córdoba-Orizaba y de la cuenca baja del Coatzacoalcos, se requiere, además de obras de infraestructura eficientes y de gran capacidad, un compromiso para que las empresas adopten de manera voluntaria y/o coercitiva, programas basados en la política de las cinco R's y, en general, de Producción Más Limpia. Además, se deben promover el desarrollo de tecnologías de biorremediación de ecosistemas impactados por derrames de hidrocarburos, implantando estrategias de bioestimulación y/o bioaumentación (Olguín *et al.*, 2007).

LITERATURA CITADA

- ALBERT, L.A., Bozada-Robles, J. Uribe-Juárez, J. López-Portillo, R. Méndez-Alonzo, Antonio-Soto, K.O de los Reyes-Trejo y C.J. Torres-Nachón, 2005, Evaluación instantánea de los efectos del derrame de petróleo en el área de Nanchital-Coatzacoalcos, Veracruz (22 de diciembre de 2004), en A.V. Botello, J. Rendón von Osten, G. Gold-Bouchot, C. Agraz-Hernández (eds.), *Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*, 2ª ed., Universidad Autónoma de Campeche/Universidad Autónoma de México/Instituto Nacional de Ecología, Campeche, México, pp. 655-660.
- BOTELLO, A.V. y O.F. Páez, 1983, *El problema crucial la contaminación*, Serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos, Centro de Ecodesarrollo/Universidad Veracruzana, México, 180 pp.
- BOZADA, L. y Páez, M., 1986, *La fauna acuática*, Serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos, Centro de Ecodesarrollo/Universidad Veracruzana, México, 55 pp.
- BREÑA, A. y Breña, J., 2007, Disponibilidad de agua en el futuro de México, *Revista Ciencia*, Academia Mexicana de Ciencias, julio-septiembre 2007: 64-71
- CASTAÑEDA L., O. y Contreras E., 2003, El Centro de Documentación 'Ecosistemas Litorales Mexicanos' como una herramienta de diagnóstico, *ContactoS UAM* 48: 5-17.
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (CNA), 2002, Compendio Básico del Agua en México.
- , 2005, *Estadísticas del Agua en México*, Sistema Unificado de Información Básica del Agua (SUIBA).
- CONSEJO DEL SISTEMA VERACRUZANO DEL AGUA, 2005, Programa Hidráulico Estatal.
- DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN, 2003, Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996.
- GOBIERNO DEL ESTADO DE VERACRUZ, 2005, Plan Veracruzano de Desarrollo 2005-2010.
- GLOBAL WATER PARTNERSHIP, GWP (Asociación Mundial para el Agua), 2000, Manejo Integrado de Recursos Hídricos, Comité de Consejo Técnico de la Asociación Mundial para el Agua (TAC), TAC Background Papers No. 4, Estocolmo, Suecia.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (INEGI), Instituto Nacional de Ecología de la Semarnat, 2000, Indicadores de Desarrollo Sustentable en México.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (INEGI), 2000, Marco Geoestadístico.
- , 2005, Anuario Estadístico Veracruz de Ignacio de la Llave.
- , 2007, Información Económica por Entidad.
- LONG, E.R., D.D. MacDonal, S.L. Smith y F.D. Calder, 1995, Incidence of biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuary sediments, *Environmental Management* 19: 81-97.
- MOROSINI, F., 2005, Medio Ambiente en Coatzacoalcos Veracruz, México, *Ideas sostenibles* 9: 1-7.
- MYERS, N., 1996, Environmental services of biodiversity, Proceeding of Natural Academy of Science, *EUA, Ecology* 93: 2764-2769.
- 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*. Sociedad,

- derecho y medio ambiente*, M. Bañuelos, (coord.), Conacyt/SEP/UAM/Semarnap/Profepa, pp. 219-258.
- 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. Gestión y Cultura del Agua*, D. Soares, V. Vázquez, A. Serrano y A. de la Rosa (coords.), Semarnat/IMTA/Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, pp. 151-168.
- OLGUÍN, E.J., M.E. Hernández y G. Sánchez-Galván, 2007, Contaminación de Manglares por Hidrocarburos y Estrategias de Biorremediación, Fitorremediación y Restauración, *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 23(3): 139-154.
- ROSALES-HOZ, L y A. Carranza-Edwards, 1998, Heavy metals in sediments from Coatzacoalcos River, Mexico, *Environmental Contamination and Technology* 60: 553-561.
- ROZALES-HOZ, L., A.B. Cundy y J.L. Bahena-Manjarez, 2003, Heavy metals in cores from a tropical estuary affected by anthropogenic discharges: Coatzacoalcos estuary, Mexico, *Estuarine Coastal and Shelf Science* 58: 117-126.
- SECRETARÍA DE DESARROLLO AGROPECUARIO, RURAL, FORESTAL Y PESCA (Sedarpa), Gobierno del Estado de Veracruz, 2006, Datos estadísticos del 2005, Subsecretaría de Ganadería, Dirección General de Ganadería.
- TOLEDO, A., 2004, Entre la Ciencia y la Política. Integrando los componentes marinos, costeros y continentales del Golfo de México, en M. Caso, I. Pisanty, E. Ezcurra, (comps.), *Diagnóstico ambiental del Golfo de México*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales/Instituto Nacional de Ecología/Instituto de Ecología/Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies, pp. 935-977.
- TOLEDO, A., V.A. Botello, M. Cházaro, M. Herzing, L. Bozada, M. Páez, M. Báez, A. y F. Contreras, 1988, *Medio Ambiente en Coatzacoalcos*, Resumen Ejecutivo, Centro de Ecodesarrollo, H. Ayuntamiento de Coatzacoalcos, Universidad Veracruzana, México.
- VILLANUEVA S. y A.V. Botello, 1992, Metales pesados en la zona costera del Golfo de México y Caribe Mexicano: una revisión, *Revista Interamericana de Contaminación Ambiental* 8: 47-61.

Amenazas a la biodiversidad asociadas a la producción de azúcar y etanol



Eugenia J. Olguín
Gabriel Mercado Vidal
Gloria Sánchez-Galván

INTRODUCCIÓN

Las condiciones climáticas, edafológicas y de alta biodiversidad que se presentan en el estado de Veracruz, han promovido desde hace siglos que la agricultura sea una de las actividades más importantes en la región. Consecuentemente, la transformación industrial de algunos productos agrícolas de alto valor comercial, es uno de los insumos más importantes de la economía del estado. De hecho, Veracruz contribuye con el 7.6 % del PIB nacional en el ramo agroindustrial, destacando la producción de caña de azúcar, de alcohol, de café y de cítricos (Cooazúcar, 2006).

Del total de 58 ingenios azucareros que se encuentran operando en el país, 22 de ellos se ubican en Veracruz, lo que posiciona a este estado en el primer lugar, contribuyendo con el 39.5 % del total de la producción de azúcar y con aproximadamente el 75 % del total de la producción de etanol del país. Para el periodo 2005-2006, la superficie cosechada de caña de azúcar en Veracruz fue de 271 349

ha, el rendimiento promedio en campo fue 70.73 ton/ha y el rendimiento promedio de azúcar en fábrica de 11.05 % (Cooazúcar, 2006). Estas actividades se desarrollan en varias regiones del estado, siendo las más importantes las de la cuenca del Papaloapan y la del río Blanco. Los ingenios azucareros veracruzanos se encuentran distribuidos en 18 municipios del estado (cuadro 1 y figura 1). De igual forma, se estima que en Veracruz, un millón de personas dependen directa e indirectamente de esta agroindustria (Colpos y FunProVer, 2003).

Esos datos señalan la importancia de la producción y transformación agroindustrial de la caña de azúcar (*Saccharum officinarium*), tanto en el aspecto social como en el económico en el estado de Veracruz. Sin embargo, diversos factores han contribuido a que esta actividad tenga un alto impacto ambiental negativo, de tal forma que se ha convertido en una amenaza a la biodiversidad y al desarrollo sustentable en esta entidad. A continuación se describen algunos impactos negativos y posteriormente, en otro capítulo, se discuten algu-

nas oportunidades que se plantean para que la producción de azúcar y de etanol se desarrollen a futuro con un mayor grado de integración armónica con el medio ambiente, dejen de ser una amenaza y se conviertan en una oportunidad para el desarrollo sustentable.

CUADRO 1. Ubicación de los ingenios azucareros del estado de Veracruz por municipio y cuenca.

CUENCA	INGENIO	MUNICIPIO
Papaloapan	San Cristóbal	Carlos A. Carrillo
	Tres Valles	Cosamaloapan
	San Gabriel	Cosamaloapan
	Motzorongo	Tezonapa
	Constancia	Tezonapa
	San Pedro	Jerdo de Tejada
	Nuevo San Francisco	Jerdo de Tejada
	Cuatotolapam	Hueyapan de Ocampo
Río Blanco	La Providencia	Cuichapa
	San Nicolás	Cuichapa
	El Carmen	Ixtaczoquitlán
	San José de Abajo	Cuicatláhuac
	San Miguelito	Córdoba
Actopan	La Gloria	Úrsulo Galván
	El Modelo	La Antigua
	La Concepción	Jilotepec
Pánuco	Zapoapita	Pánuco
	El Higo	Tempoal
Jamapa-Cotaxtla	El Potrero	Atoyac
	Central Progreso	Paso del Macho
Bobos-Nautla	Independencia	Martínez de la Torre
Los Pescados – La Antigua	Mahuixtlán	Coatepec
TOTAL	22 ingenios	18 municipios

FUENTE: Comité de la Agroindustria Azucarera (2006).

TRANSFORMACIÓN DE ZONAS DE ALTA BIODIVERSIDAD EN MONOCULTIVOS Y AGOTAMIENTO DEL SUELO

Uno de los impactos ambientales más importantes es la transformación de zonas de alta biodiversidad en zonas de monocultivos. Actualmente, la superficie cultivada con caña de azúcar en el estado de Veracruz representa, aproximadamente, el 3.5 % del total del territorio veracruzano (figura 2). Además de la pérdida de hábitats y especies, ocurren daños colaterales relacionados a la hidrología de la zona y a la erosión del suelo. El cultivo de caña se caracteriza por una alta extracción de nutrientes que pueden resultar en un agotamiento del suelo si no se fertiliza adecuadamente. Se ha reportado que una cosecha de 100 ton/ha extrae 133 kg de nitrógeno, 83 kg de fósforo y 278 kg de potasio (Colpos y Fun-ProVer, 2003).

Por otro lado, la producción de alcohol carburante se ha estado fomentando en las últimas décadas en varios países deficitarios de petróleo. Sin embargo, el caso de Brasil es muy ilustrativo con relación al alto impacto que estas políticas han tenido sobre la conservación de la biodiversidad. En el estado de Alagoas, ubicado al norte de Brasil, sólo queda un 3 % de la selva tropical original, al convertirse la mayor parte de la zona en región productora de caña para el Programa Nacional de Alcohol Carburante (World Wildlife Fund, 2004). Es muy importante evitar que en México ocurra un impacto ambiental semejante y se programe adecuadamente el uso del suelo agrícola, sin causar un mayor deterioro a las zonas ya perturbadas.

CONTAMINACIÓN POR EXCESO DE FERTILIZANTES Y PLAGUICIDAS UTILIZADOS PARA EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

El cultivo de la caña utiliza un alto insumo de fertilizantes y de plaguicidas, lo que resulta en un exceso

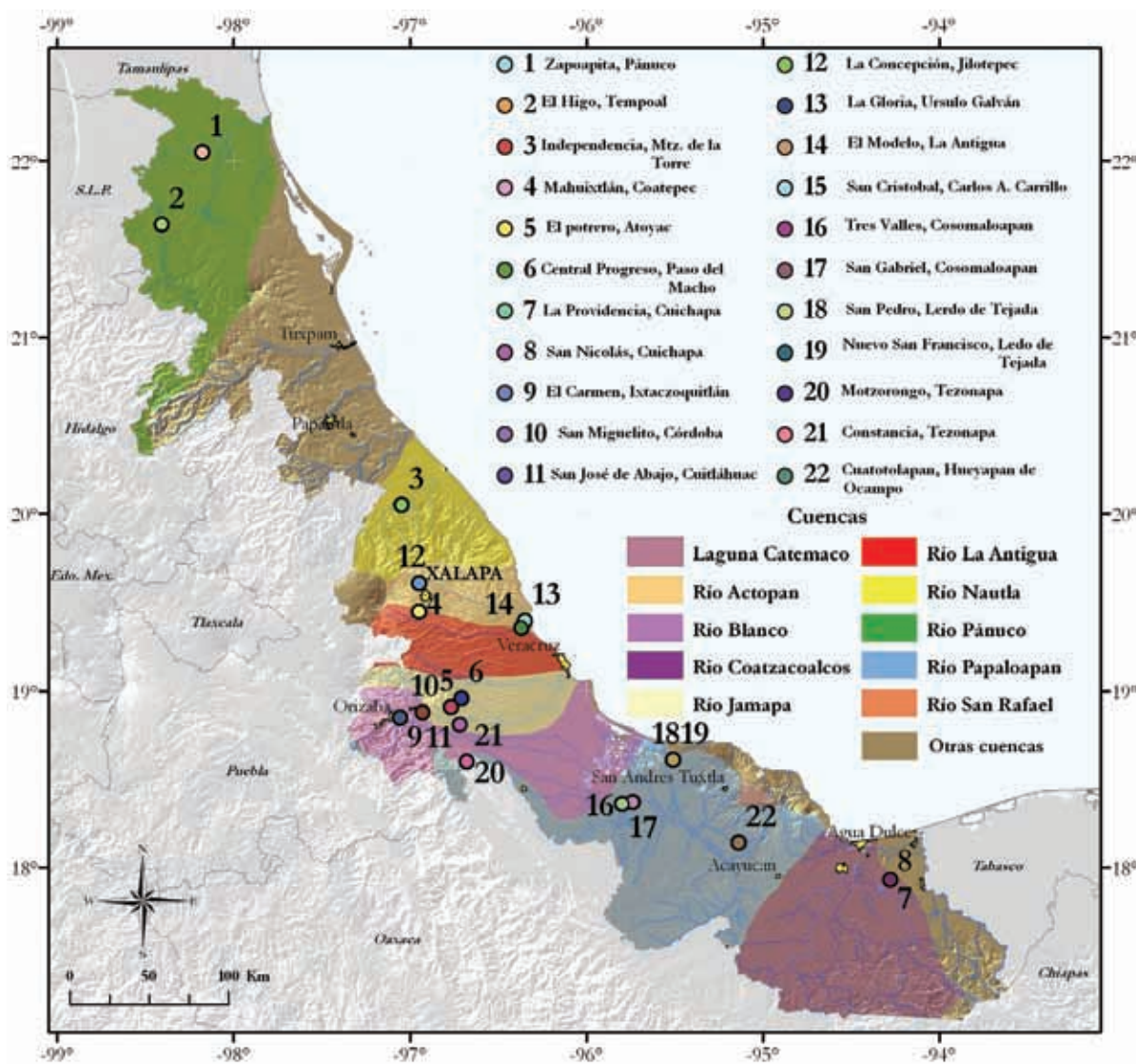


FIGURA 1. Distribución de los ingenios azucareros existentes en el estado de Veracruz (Zafra 2004-2005) (Fuente: Cooazúcar, 2006)

de nitrógeno, fósforo y residuos de plaguicidas en las escorrentías que salen de los cultivos y fluyen hacia diversas partes de las cuencas y finalmente hacia las zonas costeras y el Golfo de México (Olguín *et al.*, 2004). Con relación al exceso de plaguicidas, se ha reportado que el 90 % de la superficie sembrada con caña en Veracruz, está sujeta a

control químico de malezas y plagas (Colpos y Fun-ProVer, 2003). Desafortunadamente, el registro de DDT más alto en el país (60.7 ppb o partes por billón), se encontró en sedimentos de la cuenca baja del Papaloapan (Toledo, 2004).

El exceso de nutrientes (N y P) se debe principalmente a que los cultivos absorben sólo una frac-

ción del fertilizante aplicado que oscila entre el 10 y el 60 % (Peña-Cabriales *et al.*, 2002). Por lo anterior, es de esperarse que las escorrentías procedentes de los cañaverales, ricas en nutrientes, contribuyan de manera importante al acelerado crecimiento de algas y otras formas de vida acuática, produciendo un disturbio no deseado en el balance de organismos, lo cual ha sido observado en numerosos cuerpos de agua en el estado de Veracruz.



FIGURA 2. La superficie cultivada con caña de azúcar en el estado de Veracruz, representa aproximadamente el 3.5 % del total del territorio veracruzano (Foto: Gabriel Mercado, en la región de Córdoba, Veracruz).

LIBERACIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS TÓXICOS Y DE EFECTO INVERNADERO

El proceso de cosecha de la caña conlleva una práctica no deseable de quema del cultivo, la cual resulta en múltiples impactos negativos: disminución de la humedad del suelo, incidencia de malezas, decremento en el contenido de materia orgánica, pérdida de nitrógeno, incremento de la erosión, pérdida de variedades, deterioro de la fertilidad, disminución de la biodiversidad, reducción de la calidad de la caña (Colpos y FunProVer, 2003) y una liberación de

grandes volúmenes de gases tóxicos y cenizas a la atmósfera. Este último impacto, relacionado a emisiones tóxicas y de gases con efecto invernadero, se magnifica durante el procesamiento de la caña en los ingenios, donde la quema de bagazo o de combustible genera más emisiones y, generalmente, los ingenios no cuentan con filtros adecuados en sus chimeneas. El bagazo obtenido durante la extracción del jugo de caña de azúcar, contiene aproximadamente 50 % de celulosa, 25 % de hemicelulosa y 25 % de lignina (Haagensen y Ahring, 2005) y es utilizado tradicionalmente para la producción de energía, dentro de los mismos ingenios azucareros. De esta forma, tanto en la cosecha de la caña de azúcar en campo como en su industrialización, la combustión de la biomasa conlleva el desprendimiento de diversos gases y partículas, destacando el dióxido de carbono o CO_2 (gas invernadero), el monóxido de carbono o CO (gas tóxico por desplazar al oxígeno de la hemoglobina), los compuestos orgánicos volátiles o COV y las partículas suspendidas (PS). Se considera que el CO_2 es el principal gas invernadero por encontrarse actualmente en una concentración mucho mayor que en la etapa pre-industrial (353 mil vs 275 000 ppb), por incrementarse a una tasa anual de 0.5 % y por tener un tiempo de residencia en la atmósfera de 50 a 200 años (Goudie, 1990).

Globalmente, se estima que la quema de biomasa produce emisiones que contienen 40 % de CO_2 , 32 % de CO y 20 % de partículas suspendidas (Curtis, 2002). De acuerdo a las cifras del Inventario Nacional de Emisiones de México (INE/Semarnat, 2006), se reporta que durante la quema agrícola de caña de azúcar, por cada megagramo o tonelada de biomasa quemada, se desprenden, 4.0 kg de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV), 35.5 kg de Monóxido de Carbono (CO) y 2.9 kg de Partículas de Materia (PM) o Partículas Suspendidas (PS). Esta misma fuente reporta que el estado de Veracruz genera el 23.9 % de COV, el 21 % de CO y el 17.9 % de PS respecto al total de las emisiones por quema agrícola a nivel nacional (cuadro 2).

CUADRO 2. Emisiones anuales (Mg/año) de contaminantes derivados de la quema agrícola en el estado de Veracruz.

CONTAMINANTE	VERACRUZ	NACIONAL	% DEL NACIONAL
COV	3 212.7	14 672.2	21.89
CO	28 530.3	148 568.7	19.20
PM10	2 294.1	13 975.3	16.42
PM2.5	2 187.7	13 327.5	16.41

COV: Compuestos Orgánicos Volátiles
 CO: Monóxido de Carbono
 PM10: partículas suspendidas de diámetro aerodinámico igual o menor que 10 micras
 PM2.5: partículas suspendidas de diámetro aerodinámico igual o menor que 2,5 micras

FUENTE: Instituto Nacional de Ecología (INE), 2006.

Es importante mencionar que, aunque en Veracruz no se han documentado los daños a la salud derivados por este tipo de emisiones atmosféricas, es de esperarse que el impacto sea muy negativo, especialmente en las comunidades cercanas a los ingenios. En un estudio que se realizó recientemente en Piracicaba, una ciudad del sur de Brasil, se demostró que el aumento en la presencia de partículas en el aire ($10.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de partículas $\text{PM}_{2.5}$ y a $42.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de partículas PM_{10}), consecuencia de la quema de caña de azúcar, provocó un incremento en el número de enfermos de vías respiratorias, especialmente niños y ancianos. (Cancado *et al.*, 2006).

Aunque no están disponibles las cifras de las emisiones de los ingenios en Veracruz, es evidente que el total de emisiones por quema de caña de azúcar en campo y por su procesamiento contribuyen de una manera muy significativa a la problemática nacional de emisiones y de contaminación atmosférica. Por lo anterior, es urgente promover tecnologías más limpias que mitiguen estos dos impactos.

USO NO SUSTENTABLE DEL AGUA

Otro de los impactos ambientales más relevantes es el relacionado al uso no sustentable del recurso agua, tanto en el riego de la caña, como en su procesamiento para la producción de azúcar y alcohol. Generalmente, predominan los sistemas ineficientes de riego superficial mediante canales, en donde ocurre una gran pérdida de agua por evaporación. Los sistemas de riego mediante goteo son preferibles, pero el costo de inversión es mucho mayor y sólo pocas fincas de caña los pueden implementar (Olguín *et al.*, 2006).

En el ámbito cañero veracruzano, cuya superficie cultivada con riego asciende a las 63 071.6 ha (SEDARPA, 2005), prevalece el sistema de riego manejado bajo un esquema de conducción del agua a través de canales a cielo abierto y generalmente sin ningún tipo de revestimiento (figura 3). A pesar de que se han realizado algunas inversiones en infraestructura para riego de la caña de azúcar, en algunas zonas que abastecen a los ingenios de El Higo y Zapoapita, en la cuenca del río Pánuco, La Gloria y El Modelo en la cuenca del río Actopan, Mahuixtlán en la cuenca del río Los Pescados – La Antigua y el Potrero en la cuenca del río Jamapa – Cotaxtla, aún falta mucho por realizar.

Asimismo, con relación al uso del agua para el procesamiento de la caña de azúcar en los ingenios azucareros, se ha encontrado que en la mayoría de los casos, prevalece un uso no sustentable del agua, con un consecuente y considerable consumo de este recurso. Los resultados de un estudio realizado en tres ingenios azucareros ubicados en tres diferentes cuencas del estado de Veracruz (Olguín *et al.*, 2000), mostraron que existe una gran diferencia en los consumos de agua, que va desde los 2 300 (ingenio Mahuixtlán) a los 24 360 litros de agua por tonelada de caña de azúcar molida (ingenio Independencia). Este uso excesivo de agua en la mayoría de los ingenios, resulta en un elevado volumen de aguas residuales.



FIGURA 3. En el campo cañero veracruzano prevalece un sistema de riego ineficiente que distribuye el agua a través de canales a cielo abierto, generalmente sin ningún tipo de revestimiento (Foto: Gabriel Mercado, en la región de Córdoba, Veracruz).

CONTAMINACIÓN POR DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE AZÚCAR Y ALCOHOL

En los estados costeros del Golfo de México, como Veracruz, las fuentes de contaminación ubicadas aguas arriba de los ríos, incluyendo ingenios azucareros, beneficios húmedos de café y granjas porcinas, tienen un impacto negativo sobre las costas del Golfo de México (Olguín *et al.*, 2000). Para el caso específico de la agroindustria de la caña de azúcar, incluyendo la producción de etanol en ingenios azucareros y con base en datos de producción del año 2000, los estados costeros colindantes con el

Golfo de México contribuyeron con aproximadamente 914 829 ton de materia orgánica (cuadro 3), expresada como DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) al año (Olguín *et al.*, 2004). El impacto ambiental negativo que genera la agroindustria de la caña de azúcar sobre los cuerpos de agua es preocupante, sobre todo si se toma en cuenta que la mayoría de los ingenios descargan sus aguas residuales sin dar cumplimiento a la normatividad ambiental vigente (Olguín *et al.*, 2000).

CUADRO 3. Contribución de materia orgánica (DBO/año) por ingenios azucareros al Golfo de México.

PRODUCCIÓN	TON DBO/AÑO
Azúcar	900 000.00
Etanol	14 829.00
Total	914 829.00

FUENTE: Olguín *et al.*, 2004

Las descargas de la industria azucarera que causan el peor impacto al ambiente son las vinazas, las cuales resultan de la elaboración de alcohol. Este alto impacto negativo se debe a que contienen una alta cantidad de materia orgánica, medida como DBO y a que son producidas en gran volumen. Hace varios años se realizó un diagnóstico en el estado de Veracruz, en el cual se estableció que las vinazas se producían en un promedio de 12.3 litros por litro de alcohol producido (Olguín *et al.*, 1995) y que la DBO promedio estaba en el rango de 30 - 40 g/l. A partir de estos datos se puede establecer que se produjeron, aproximadamente, 474.4 millones de litros de vinazas durante la zafra 2004-2005 en las siete fábricas de etanol que operaron durante este ciclo (cuadro 4). A pesar de que en algunos ingenios azucareros con fábricas de alcohol, las vinazas se utilizan para ferti-riego desde hace varios años (cuadro 4), otros ingenios las descargan a los cuerpos de agua aledaños sin ningún tratamiento, dando ori-

gen a serios problemas ambientales, incluyendo muertes masivas de peces. En un estudio realizado hace algunos años (Olguín *et al.*, 2000), se estableció que el Ingenio San Cristóbal descargaba vinazas con una DBO de 1 500 mg/l, impactando negativamente a la Laguna del Salado y a gran parte del Sistema Lagunar de Alvarado. Actualmente, este ingenio ha dejado de producir etanol debido a que no contaba con un sistema adecuado para tratar las vinazas. Este cierre, a su vez, ha traído consigo la pérdida de empleos y ello da muestra de que urge establecer una estrategia de producción más limpia que permita producir etanol sin dañar al ambiente y sin ocasionar daños sociales y económicos (Olguín *et al.*, 2006).

CUADRO 4. Producción estimada de vinazas en ingenios azucareros veracruzanos durante la zafra 2004-2005.

INGENIO	PRODUCCIÓN DE ALCOHOL (LITROS)	PRODUCCIÓN DE VINAZAS (MILES DE LITROS)	USO DE VINAZAS EN FERTI-RIEGO
La Gloria	20 168 528	248 072.89	Sí
San Nicolás	6 809 642	83 758.59	Sí
El Carmen	3 129 200	38 489.16	Sí
Constancia	3 015 000	37 084.50	Sí
San Pedro	2 076 000	25 534.80	No
San José de Abajo	2 200 000*	27 060.00	Sí
La Providencia	1 171 886	14 414.19	Sí
TOTAL	38 570 256	474 414.13	

FUENTES: Cálculos a partir de información del Comité de la Agroindustria Azucarera (2006) y * Empresa. Estimándose una producción de 12.3 l de vinaza por l de etanol.

Es importante señalar que esta situación de incumplimiento de la legislación ambiental por parte de un gran número de ingenios a nivel regional ha generado otros impactos de tipo económico y social

en otros sectores productivos, tales como el sector pesquero. De esta manera, se ha reportado que en algunas regiones de Veracruz, se ha presentado una disminución en la actividad pesquera (entre 30 y 60 %) debido a la pérdida de especies de valor comercial, derivada de la contaminación de cuerpos de agua por agroindustrias. Esto ha traído consigo, a su vez, que un gran número de pescadores se hayan visto en la necesidad de emigrar a otros lugares o países en búsqueda de mejores alternativas de trabajo, o bien de cambiar de actividad o de combinarla con otras para subsistir (Olguín *et al.*, 2000).

CONCLUSIONES

La agroindustria de la caña de azúcar es una actividad de gran importancia económica y social en el estado de Veracruz debido a la gran cantidad de empleos que genera y al gran número de personas que dependen indirectamente de ella. Sin embargo, el creciente desarrollo de la actividad azucarera en el estado, a través de los años, ha traído consigo una serie de amenazas sobre la biodiversidad. Entre ellas destacan las relacionadas principalmente con la transformación de zonas con alta biodiversidad en zonas de monocultivo, las prácticas no sustentables como la quema previa a la cosecha, con sus consecuentes problemas de pérdida de biodiversidad y de contaminación de la atmósfera. También destaca la contaminación de la atmósfera por la falta de filtros en las chimeneas y de control en la operación de las calderas de los ingenios. Con relación al agua, se ha reportado un consumo exagerado de este recurso en la mayoría de los ingenios. La cuenca del Papaloapan, en donde se produce la mayor cantidad de azúcar y etanol, y la del río Blanco, son las más afectadas por la descarga de grandes volúmenes de aguas residuales y en especial por la descarga de vinazas sin tratar. Por lo anterior, es necesaria la implementación de acciones urgentes en los cañaverales y en los ingenios, que permitan mitigar los

impactos ambientales y sus consecuentes amenazas sobre la biodiversidad, mediante la adopción de estrategias de producción más limpia a través de la reducción, el reciclaje y el reuso del agua y de la adopción de tecnologías ambientalmente pertinentes para el tratamiento de aguas residuales.

LITERATURA CONSULTADA

- CANCADO, J., P. Saldiva, L. Pereira, L. Lara, P. Artaxo, L. Martinelli, M. Arbex, A. Zanobetti y A.L.F. Braga, 2006, The Impact of Sugar Cane-Burning Emissions on the Respiratory System of Children and the Elderly, *Environmental health perspectives* 114(5): 725-729.
- COLEGIO DE POSGRADUADOS (Colpos) y Fundación Produce Veracruz (FunProVer), 2003, Azúcar, (<http://www.snitt.org.mx/pdfs/demanda/cana-de-azucar.pdf>), octubre de 2006.
- COMITÉ DE LA AGROINDUSTRIA AZUCARERA (Coaazucar), 2006, Producción de azúcar por clases, miel final y alcohol por ingenios, Informe Final Preliminar, Zafra 2005-2006, (<http://www.sagarpa.gob.mx/Coaazucar/>), octubre de 2006.
- CURTIS, L., 2002, *Biomass Burning: Wood, Leaves, Grass, Forests, Crops and Trash*, Burning Issues Special Edition November 11.
- GOUDIE, A., 1990, *The Human Impact on the Natural Environment*, Basil Blackwell Ltd, Oxford, U.K. 3th Edition, 388 pp.
- HAAGENSEN, F. y B. Ahring, 2005, Enzymatic hydrolysis and glucose fermentation of wet oxidized sugarcane bagasse and rice straw for bioethanol production, en L. Sonderberg y H. Larsen (eds.), *Technologies for Sustainable Energy Development in the Long Term*, Proceedings, Riso International Energy Conference, 23-25 May 2005, Riso National Laboratory, 459 pp.
- INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2006, Inventario Nacional de Emisiones de México, 1999 INE/Semarnat, México, 317 pp.
- 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, 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. 258-319.
- 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, V. Vázquez, A. Serrano y A. de la Rosa (coords.), *Gestión y cultura del agua*, Semarnat/IMTA/Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, pp.151-168.
- PEÑA-CABRIALES, J.J., O. Grageda y J. Vera, 2002, Manejo de los fertilizantes nitrogenados en México: uso de las técnicas isotópicas, *Revista Terra* 20(1): 51-56.
- SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN (Sedarpa), 2005, Delegación en el Estado de Veracruz. Subdelegación de Planeación, Estadística y Desarrollo Rural, Año Agrícola 2003-2004.
- TOLEDO, A., 2004, Entre la Ciencia y la Política. Integrando los componentes marinos, costeros y continentales del Golfo de México, en M. Caso, I. Pisanty y E. Ezcurra, (comp.), *Diagnóstico ambiental del Golfo de México*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales/Instituto Nacional de Ecología/Instituto

de Ecología/Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies, pp. 935-977.

WORLD WILDLIFE FUND (WWF), 2004, Sugar and the Environment, Encouraging Better Management Practices in sugar production, (http://assets.panda.org/downloads/sugarandtheenvironment_fidq.pdf).

La producción de café como amenaza a la biodiversidad



Eugenia J. Olgún
Gloria Sánchez-Galván
Gabriel Mercado Vidal

INTRODUCCIÓN

México se encuentra entre los primeros 10 productores de café en el mundo. Con una extensión de 665 mil hectáreas, el café se cultiva en doce estados de la República Mexicana, situados en la parte centro-sur del país y son, en orden de importancia: Chiapas, Veracruz, Oaxaca, Puebla, Guerrero, Hidalgo, San Luis Potosí, Nayarit, Jalisco, Tabasco, Colima y Querétaro (Consejo Mexicano del Café, 2004). Aunque la crisis internacional de los precios del café ha provocado una baja en la producción del grano, de esta actividad siguen dependiendo 3 millones de personas (Senado de la República, 2005). Es una actividad de alto impacto socioeconómico para la población indígena y campesina que habita en las áreas montañosas del centro y sureste de nuestro país, dado que la producción y comercialización de este aromático ha permitido obtener históricamente ingresos económicos para la subsistencia de este sector de la sociedad (Anta, 2006).

La producción de café en el estado de Veracruz representa el 27.4 % del total nacional, siendo el segundo productor después del estado de Chiapas (Olgún *et al.*, 2004). La cafeticultura en Veracruz se desarrolla en 10 regiones, que incluyen 1 324 localidades establecidas en 95 municipios (Consejo Veracruzano del Café, 2004). Cuenta con 152 000 hectáreas fragmentadas de superficie cafetalera, manejadas por 67 227 cafeticultores de los cuales el 94.1 % cultivan menos de 5 ha (Pineda-López *et al.*, 2005). El 60 % del café producido se cultiva en superficies arriba de los 750 msnm, siendo las regiones productoras más importantes, Coatepec, Córdoba, Huatusco, Misantla y Atzalan. En estas regiones predomina el cultivo de café bajo la sombra del dosel original de bosques o selvas y es producido fundamentalmente por pequeños productores, muchos de los cuales pertenecen a alguna cultura indígena (Moguel y Toledo, 1999).

En la región central de Veracruz, el bosque mesófilo de montaña fue disminuyendo de manera gradual y paralela a la expansión del cultivo del

café, a partir de fines del siglo XIX y hasta inicios de la década de los sesenta en el siglo pasado (Williams-Linera *et al.*, 2002). Los agro-bosques tradicionales de café son un importante refugio y contribuyen de manera muy importante a la conservación de la biodiversidad de plantas, pájaros, artrópodos y mamíferos (Moguel y Toledo, 1999; Richter *et al.*, 2007). No obstante, diversos factores tales como cambios en el sistema de cultivo, abandono y cambio de cultivo, uso no sustentable del agua y la contaminación ocasionada por el procesamiento del grano, entre otros, han contribuido a que la cafecultura tenga un alto impacto ambiental negativo, de tal forma que se convierte en una amenaza a la biodiversidad y al desarrollo sustentable en esta entidad, tal como se describe más adelante.

ABANDONO DE FINCAS CAFETALERAS Y CAMBIO DE CULTIVO

Los cafetales bajo sombra proveen importantes hábitat-refugios para la conservación de la biodiversidad (figura 1). Adicionalmente, facilitan la dispersión de la fauna del bosque entre fragmentos, y la biodiversidad de plantas y animales encontrada en estos sistemas puede aumentar los servicios del ecosistema tales como el control de plagas, polinización, control de malezas, limitación de enfermedades ocasionadas por hongos, control de la erosión y captura de carbono (Philpott *et al.*, en prensa). No obstante, cuando estos agro-bosques son abandonados, su manejo se detiene, por lo que su futuro ecológico es incierto ya que la composición y abundancia relativa de sus especies pueden variar.



FIGURA 1. Fincas cafetaleras bajo sombra amenazadas por los cambios en el sistema de cultivo del grano (Foto: Gabriel Mercado, en la Finca La Esmeralda y Rancho Guadalupe de la región de Coatepec, Veracruz, noviembre del 2000 y noviembre del 2006).

La crisis mundial de los precios del café ha ocasionado desastres sociales y ambientales, ya que muchos pequeños productores en Latinoamérica han abandonado sus tierras y migrado hacia el norte (Philpott y Dietsch, 2003). En México, cerca de 300 000 productores habían abandonado sus cafetales para 2001 (Gordon *et al.*, 2007). En otros casos, los cafetales han sido sustituidos por otros cultivos (Ritcher *et al.*, 2007) como la caña de azúcar (Donald, 2004) o el cacao, o convertidos en pastizales, impactando negativamente la biodiversidad del ecosistema cafetalero ya que los beneficios ecológicos son menores (Philpott *et al.*, 2007).

Aún falta investigación para evaluar el impacto que ha causado en Veracruz el abandono de los cafetales bajo sombra, considerando que también se ha reportado que los cafetales abandonados pueden alentar poblaciones de insectos benéficos que se comportan como enemigos naturales y polinizadores, contribuyendo a servicios importantes de ecosistemas en los sistemas agrícolas adyacentes (Ritcher *et al.*, 2007).

CULTIVO INTENSIVO DE CAFÉ

A pesar de los beneficios de la producción de café bajo sombra, desde hace algunos años existe una tendencia por el cultivo intensivo, el cual se caracteriza por realizarse bajo pleno sol y de una manera más tecnificada. En buenos suelos y climas favorables, se obtienen mayores productividades (aunque no necesariamente por planta) con este tipo de cultivo (Donald, 2004). En México un 17 % de la superficie total es cultivada sin sombra alguna (Anta, 2006), mientras que en la región Xalapa-Coatepec del estado de Veracruz es únicamente un 0.3 % (Pineda-López *et al.*, 2005). A pesar de lo anterior, está bien documentado que en los sistemas de cultivo intensivo de café, la diversidad y densidad de la sombra es reducida a tal nivel que se provocan pérdidas importantes en la diversidad de mamífe-

ros, aves y artrópodos (Philpott *et al.*, 2008), así como el empobrecimiento de la biodiversidad vegetal nativa de esas regiones (Pineda-López *et al.*, 2005).

Además, esta producción intensiva de café ha agravado los problemas relacionados con las plagas y su control, ya que la mayoría de los productores ha incrementado el uso de pesticidas y sólo una minoría de ellos ha adoptado métodos sustentables para dicho control (Donald, 2004). Lo anterior trae como consecuencia afectaciones a la salud de los agricultores y los pobladores rurales, así como a la calidad del suelo y del agua. Asimismo, a pesar de que no está cuantificado el impacto de las escorrentías conteniendo agroquímicos hacia diversos ríos del estado de Veracruz y finalmente al Golfo de México, es de esperarse que éste sea considerable.

Por otro lado, el monocultivo de café puede causar un significativo deterioro de la calidad del suelo y una creciente erosión ya que la presencia de árboles de sombra conserva la humedad, reduce las pérdidas de nitrógeno, aumenta la capacidad de absorción e infiltración de agua, reduce el riesgo de erosión y estimula la actividad biológica (Ricci *et al.*, 2006).

USO NO SUSTENTABLE DEL AGUA

La mayor parte del café que se produce en Veracruz, así como en otras regiones de México, es procesado en los llamados beneficios húmedos, a través de las siguientes operaciones: *a*) despulpado, *b*) fermentación, *c*) lavado y *d*) secado (ésta es una operación común tanto para el beneficiado seco como para el húmedo) (Olguín *et al.*, 2006). El consumo del agua en cada etapa y en cada beneficio depende principalmente de la disponibilidad del recurso y del tipo de maquinaria empleada en el proceso. Se estima que por cada kg de café cereza procesado en beneficios tradicionales no modificados, se utilizan ocho litros de agua, los cuales son convertidos en

agua residual con alto contenido de materia orgánica (Sánchez *et al.*, 1993). Lo anterior es equivalente a decir que beneficiar 1 kg de café cereza produce una contaminación equivalente a 45.5 litros de aguas residuales domésticas (Zuluaga *et al.*, 1993). Este elevado consumo de agua se deriva principalmente de la remoción de la pulpa y el mucílago del grano de café, habiendo en esta última etapa un lavado del grano que genera una gran cantidad de aguas residuales que no son tratadas ni recicladas en la mayoría de los casos (figura 2). En México, al igual que en otros países de Centroamérica, no se ha mostrado un interés particular por la práctica de métodos sustentables de recursos en la producción de café, especialmente en el caso del agua (Oguín *et al.*, 2000; Adams *et al.*, 2007).

CONTAMINACIÓN DE CUERPOS DE AGUA Y SUELO POR DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES Y DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

El acceso a agua limpia es un problema crítico en muchos países, por lo que es de suma importancia entender las fuentes y vías de contaminación que afectan los recursos acuíferos y desarrollar soluciones pertinentes (Rhandir y Genger, 2005).

En el caso del procesamiento del café, las aguas residuales provenientes de los llamados “beneficios húmedos de café”, son altamente contaminantes, debido principalmente a su gran contenido de materia orgánica, sólidos suspendidos y bajo pH (cuadro 1). Estudios previos realizados en beneficios húmedos de café de las regiones de Coatepec y Huatusco

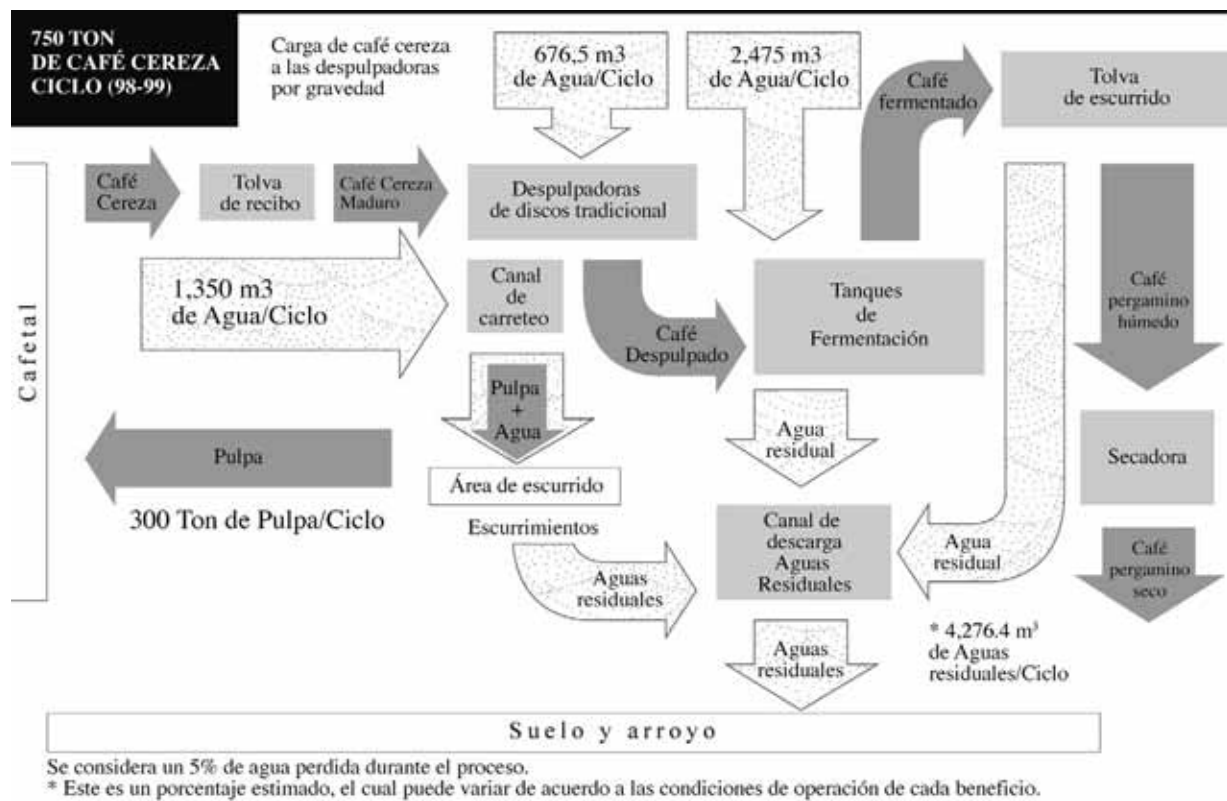


FIGURA 2. Consumo de agua excesivo (8 l/ kg café cereza) en diversas operaciones unitarias dentro del beneficio húmedo de café tradicional “Chavarrillo” en el municipio Emiliano Zapata, Veracruz (Fuente: Olgúin *et al.*, 2000).

en el estado de Veracruz, mostraron que las aguas residuales de estas agroindustrias, no son tratadas antes de ser vertidas a los cuerpos de agua (Olguín *et al.*, 2000). Este estudio permitió, además, demostrar el incumplimiento de la normatividad ambiental por parte de la mayoría de los beneficios de café asentados en las áreas cafetaleras más importantes de la entidad, ya que la calidad de sus aguas residuales no cumplió con la Norma NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

Por otro lado, la pulpa de café es uno de los principales residuos sólidos generados durante el procesamiento del grano, representando del 40 al 45 % del peso del mismo (Pandey *et al.*, 2000) (figura 3). Los métodos tradicionales de descarga consisten en arrojarla a ríos o amontonarla en las cercanías de las tierras cultivables. Este tipo de disposición inadecuada causa severos problemas de contaminación, ya que la pulpa es rica en materia orgánica y en azúcares (cuadro 2), por lo que se presenta como un sustrato ideal para fermentaciones

no controladas que atraen insectos y generan malos olores que alcanzan kilómetros a la redonda (Sánchez *et al.*, 1999).

CUADRO 1. Caracterización fisicoquímica de las aguas residuales de beneficios tradicionales de la región de Coatepec, Veracruz.

PARÁMETRO	AGUA DE DESPULPE	AGUA DE LAVADO
pH	3.96	3.84 ± 0.14
Sólidos suspendidos*	18.33	4 904.16 ± 4 833
Sólidos sedimentables*	0.30	No determinado por características propias del mucílago
DBO5*	412.50	4 923.50 ± 1 744.43
Nitrógeno total Kjeldahl*	10.58	170.22 ± 100
Fósforo*	0.90	23.50 ± 12.41
Grasas y aceites*	ND	447 ± 442
Coliformes (NMP/100 ml)	2 400 >	< 2.2

* Valores expresados en mg/l
FUENTE: Olguín *et al.*, 2000.



FIGURA 3. La pulpa de café es el principal residuo sólido generado durante el procesamiento del grano de café. Granos de café cereza y pulpa de café (Foto: Gabriel Mercado).

Un estudio realizado en Honduras mostró que debido a que la pulpa es dispuesta en las zonas riparias sin tratamiento alguno, los cuerpos de agua presentan severa contaminación ocasionando problemas gastrointestinales en la población aledaña, pérdida de la vida acuática y bajos niveles de oxígeno disuelto (Rhandir y Genger, 2005).

CUADRO 2. Caracterización fisicoquímica de pulpa de café de un beneficio húmedo de café tradicional de la región de Coatepec, Veracruz.

PARÁMETRO	VALOR
Densidad (kg/m ³)	380
Humedad (%)	87
pH	5.8
Carbono orgánico*	49
Materia orgánica*	85
Nitrógeno total Kjeldahl*	1.7
Azúcares reductores (Glucosa)	7.4
C/N	28

* Valores expresados en % de materia seca
 FUENTE: Sánchez *et al.*, 1999.

CONCLUSIONES

Uno de los sectores agroindustriales de mayor importancia desde el punto de vista económico, social y cultural en el estado de Veracruz es el sector cafetalero, especialmente en las regiones de Coatepec y Huatusco. Aunque desde hace tiempo se vive una crisis en este sector, por la baja en los precios internacionales del grano, la cafecultura sigue siendo una actividad importante por la gran cantidad de personas que dependen directa o indirectamente de ella. Sin embargo, la falta de prácticas sustentables en los sistemas de producción y beneficiado del café ha traído consigo una serie de problemas que amenazan la biodiversidad en el ecosistema cafetalero. Estas amenazas están relacionadas con, por lo menos, cuatro factores: *a)* el abandono de fincas cafetaleras o cambio de cultivo; *b)* el desarrollo de nuevas variedades

de café de alto rendimiento bajo un esquema de cultivo sin sombra con gran dependencia de productos químicos; *c)* el uso no sustentable del agua en los procesos de transformación del grano, caracterizado por un elevado consumo de agua y *d)* la descarga de grandes volúmenes de aguas residuales con alta carga contaminante. Este espectro amplio de amenazas hace necesaria la implementación de programas regionales para el cultivo y procesamiento sustentable del café con énfasis en la conservación del cultivo tradicional de café de sombra, la implementación de estrategias de Producción Más Limpia a través de la reducción, el reciclaje y reuso del agua y la adopción de Tecnologías Ambientalmente Pertinentes (Olguín *et al.*, 2006). Finalmente, cabe mencionar que urgen otros programas de apoyo a la agricultura en general, para contrarrestar la migración masiva de productores que está ocurriendo en Veracruz y en muchos otros estados del país.

LITERATURA CITADA

ADAMS, M. y A.E. Ghaly, 2007, Maximizing sustainability of the Costa Rican coffee industry, *Journal of Cleaner Production* 15(17): 1716-1729.

ANTA, S., 2006, El café de sombra: un ejemplo de pago de servicios ambientales para proteger la biodiversidad, INE/Semarnat, *Gaceta Ecológica* 80: 2006: 19-31.

CONSEJO MEXICANO DEL CAFÉ (CMC), 2004, Avances de Padrón Nacional Cafetalero (a mayo del 2004).

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.

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.

- MOGUEL, P. y Toledo, V.M., 1999, Biodiversity Conservation in Traditional Coffee Systems of Mexico, *Conservation Biology* 13 (1): 11-21.
- 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*, México, Conacyt/UAM/Semarnap/Profeqa, pp. 219-258.
- 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-Galván, 2006, Hacia una cultura agroindustrial y agropecuaria para el manejo sustentable del agua, en D. Soares, V. Vázquez, A. Serrano y A. De la Rosa, (coords.), *Gestión y Cultura del Agua*, Semarnat/IMTA/Colegio de Posgraduados, pp. 151-168.
- PANDEY, A., C.R. Soccol, P. Nigam, D. Brand, R. Mohan y S. Roussos, 2000, Biotechnological potential of coffee pulp and coffee husk for bioprocesses, *Biochemical Engineering Journal* 6: 153-162.
- PHILPOTT, S.M., P. Bichier, R. Rice y R. Greenberg, 2003, Coffee and Conservation: a Global Context and the Value of Farmer Involvement, *Conservation Biology* 17(6): 1844-1846.
- PHILPOTT, S.M., P. Bichier, R. Rice y R. Greenberg, 2007, Field-Testing Ecological and Economic Benefits of Coffee Certification Programs, *Conservation Biology* 21 (4): 975-985.
- , 2008, Biodiversity conservation, yield, and alternative products in coffee agroecosystems in Sumatra, Indonesia, *Biodiversity and Conservation* 17: 1805-1820.
- 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.
- RANDHIR, T. y C. Genge, 2005, Watershed based, institutional approach to developing clean water resources, *Journal of the American Water Resources Association* 41 (2): 413-424.
- RICCI, M.D.F., J.R. Costa, A.N. Pinto, V.L.D. Santos, 2006, Organic cultivation of coffee cultivars grown under full sun and under shading, *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 41 (4): 569-575.
- RICHTER, A., M.A. Klein, T. Tschardt y M. Jason, 2007, Abandonment of coffee agroforests increases insect abundance and diversity, *Agroforestry Systems* 69: 175-182.
- SÁNCHEZ, G., E.J. Olgún y G. Mercado, 1999, Accelerated coffee pulp composting, *Biodegradation* 10: 35-41.
- SÁNCHEZ, G., G. Mercado y E.J., Olgún, 1993, Evaluación de la eficiencia de los filtros anaerobios para el tratamiento de las aguas residuales de los beneficios húmedos de café, *Biotecnología* 3(3):105-108.
- SENADO DE LA REPÚBLICA, LIX Legislatura, 2005, Dictamen de la iniciativa con Proyecto de Ley de Desarrollo Integral y Sustentable de la Cafecultura y de la Minuta con Proyecto de Decreto de Ley de Desarrollo Integral y Sustentable de la Cafecultura. Comisiones Unidas de Agricultura y Ganadería; Desarrollo Social; Estudios Legislativos Primera; y Estudios Legislativos Segunda. Publicado en (<http://www.cafesdemexico.com/Dictamen%20minuta%20ley%20desarrollo%20cafe.doc>).
- WILLIAMS-LINERA, G. y R.H. Manson, 2002, La fragmentación del bosque mesófilo de montaña y patrones de uso del suelo en la región oeste de Xalapa, Veracruz, México, *Madera y Bosques* 8(1): 73-89.
- ZULUAGA, J., D. Zambrano, N. Rodríguez, M. Dávila, 1993, *Estrategias para el Manejo y la Valorización de los Subproductos de Proceso de Beneficiado del Café*, Seminario Sobre el Control de la Contaminación en la Agroindustria Cafetera, agosto de 1993, Chinchiná, Caldas, Colombia.