



Madera y Bosques

ISSN: 1405-0471

publicaciones@ecologia.edu.mx

Instituto de Ecología, A.C.

México

Manson, Robert H.

Los servicios hidrológicos y la conservación de los bosques de México

Madera y Bosques, vol. 10, núm. 1, 2004, pp. 3-20

Instituto de Ecología, A.C.

Xalapa, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61710101>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

ARTÍCULO DE FORUM

# Los servicios hidrológicos y la conservación de los bosques de México

Robert H. Manson<sup>1</sup>

## RESUMEN

El manejo de los recursos hídricos es uno de los retos ambientales más importantes que los seres humanos tendrán que enfrentar en este nuevo siglo. En México, una crisis severa causada por el mal manejo del agua está siendo acentuada por las altas tasas de deforestación y la pérdida de los servicios hidrológicos proporcionados por los bosques y selvas del país. En este ensayo se revisan los importantes servicios hidrológicos brindados por estos ecosistemas en México incluyendo la captación de agua y la prevención de ciclos de inundación y sequía, así como la conservación de los suelos, la regulación del clima regional y la reducción del azolve de los cauces de los ríos. Se propone el establecimiento de esquemas de pago por estos servicios ambientales (PSA) como un mecanismo promotor para aumentar la cobertura boscosa y favorecer el manejo sustentable de los recursos naturales en el país. En particular, se discute el establecimiento de mercados enfocados en la conservación del agua potable y la producción de energía hidroeléctrica, así como la prevención de los desastres naturales y se plantea una serie de recomendaciones para los tomadores de decisiones interesados en este tema. Dado que los problemas hídricos de México son muy serios, se está tomando conciencia de que estos ya no se pueden ignorar y que se deben, en gran parte, al impacto de los seres humanos sobre la relación agua y bosques y que los servicios ambientales son muy importantes para garantizar el bienestar de las futuras generaciones de mexicanos.

### PALABRAS CLAVE:

Agua potable, clima regional, desastres naturales, energía hidroeléctrica, México, pago por servicios ambientales, relación agua y bosques, servicios hidrológicos.

## ABSTRACT

The management of water resources is one of the most important environmental challenges facing mankind this century. In Mexico, the crises caused by mismanagement of water resources is severe and has been accentuated by high rates of deforestation and the subsequent loss of the hydrological services provided by forests. This essay presents a brief overview of the important hydrological services provided by forests in Mexico including water capture, regulation of flood and drought cycles, as well as soil conservation and the regulation of sedimentation rates and regional climate. The creation of markets for these ecosystem services is proposed as a promising mechanism for increasing forest cover and promoting the sustainable use of natural resources in Mexico. In particular, markets aimed at conserving drinking water and water flow for hydroelectric power, as well as the prevention of natural disasters are discussed and, recommendations provided for decision makers interested in this topic. While Mexico's hydrological problems are serious and cause for concern, they have also sparked renewed interest in the conservation of forests and their ecosystem services as a way of assuring the well being of future generations of Mexicans.

### KEYWORDS:

Drinking water, regional climate regulation, natural disasters, hydroelectric energy, Mexico, markets for ecosystem services, water-forest relationships, hydrological services of forests.

<sup>1</sup> Instituto de Ecología, A.C. Depto. de Ecología Vegetal. km 2.5 Carretera Antigua a Coatepec No. 351. Cong. El Haya. Xalapa 91070 Veracruz, México. e.e.: manson@ecologia.edu.mx.

## INTRODUCCIÓN

Desde el espacio, nuestro planeta parece una gran esfera azul, con fuentes ilimitadas de agua cubriendo casi tres cuartas partes de su superficie. Sin embargo, un análisis más detallado revela algo completamente diferente: de toda el agua del mundo sólo un 2,5 % es dulce y potencialmente aprovechable por los seres humanos, plantas y animales terrestres. Sólo un 1 % de esta agua dulce (0,01 % del total del agua de la Tierra) está disponible, ya que el resto se encuentra lejos de las grandes concentraciones de seres humanos, atrapado en el hielo permanente de los glaciares de la Antártica y Groenlandia o en acuíferos muy profundos (Gleick, 2000). La situación resulta aún más crítica por la contaminación de la poca agua que queda disponible. Mil millones de personas a nivel mundial no tienen acceso a agua potable y casi tres mil millones no cuentan con sistemas de tratamiento de aguas negras. Como resultado, entre 14 y 30 mil personas, la mayoría niños, mueren diariamente debido a enfermedades transportadas por el agua (Gleick, 2000; WHO, 2000). Además, más de la mitad del agua dulce disponible a nivel mundial ya está bajo aprovechamiento (Postel *et al.*, 1996). Sin un aumento en la eficiencia del uso de este esencial recurso natural y más cuidado de los ecosistemas que lo proporcionan, cada vez se sufrirá más escasez de este vital líquido (Postel *et al.*, 1996; De Villiers, 2000), sobre todo considerando el aumento considerable predicho de la población y economía mundial en los próximos cincuenta años (ONU, 2000; Gleick, 2003).

Estas cifras son muy preocupantes, pero a la vez presentan una gran oportunidad. La crisis del agua a nivel mundial está despertando la conciencia de que los problemas ambientales ya no se pueden ignorar y que se deben al tipo de rela-

ciones que establecen los seres humanos con la naturaleza. Un ejemplo muy claro de estas relaciones es la que existe entre los bosques, el agua que abastecen y el aprovechamiento de este importante líquido por el ser humano. Este ensayo parte de la preocupación global por el agua, para explorar su relación con los bosques y algunas oportunidades que pueden impulsar la participación activa en México en pro de la protección del medio ambiente.

Cada vez existe más información sobre las relaciones que existen entre los bosques y selvas como reguladores del agua en los trópicos, sin embargo hay poca difusión para el público en general y los responsables de la toma de decisiones en particular. La unidad física básica en la regulación del agua es la cuenca (Maas, 2003). Muchos de los patrones hídricos que se observan en una cuenca dependen de su relieve y pendiente, así como su tamaño, ubicación geográfica y tipo de suelo y litografía (Fig. 1; Wanielista *et al.*, 1997). Sin embargo, los ecosistemas boscosos en las cuencas también juegan un papel sumamente importante en la regulación de los patrones hídricos, incluyendo la cantidad y calidad del agua que emana de las mismas.

## OBJETIVOS

- 1) Revisar la relación que existe entre el agua y los bosques, su estado actual y el impacto que tiene su deterioro sobre la disponibilidad y calidad de los recursos hídricos, y
- 2) Resaltar la importancia de la creación de mercados para los servicios hidrológicos proporcionados por los bosques y selvas de México como una herramienta nueva para promover la conservación de estos ecosistemas y el uso sustentable de los recursos naturales renovables del país.

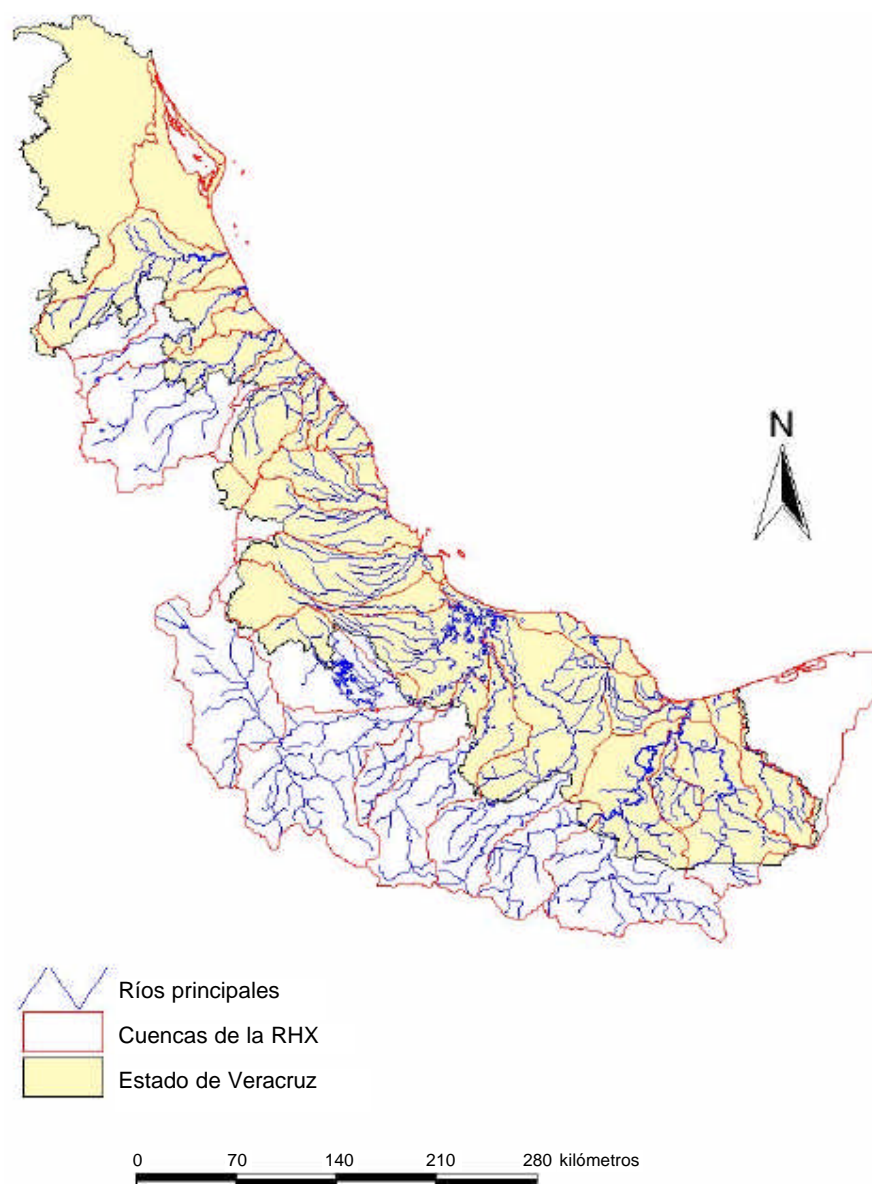


Figura 1. Región hidrológica X. Las 31 cuencas principales que comprenden la Región Hidrológica X (RHX) de la CNA cubren un 85 % del estado de Veracruz. Esta región capta un 12,5 % de la precipitación promedio anual y sus ríos canalizan un 24 % del escurrimiento pluvial promedio anual del país.

### LOS BOSQUES Y LA REGULACIÓN DE LOS PATRONES HÍDRICOS EN MÉXICO

Los bosques y selvas en su conjunto comprenden los ecosistemas dominantes, geográficamente hablando, en México (cubriendo un 32,75 % de la superficie del país; Palacio-Prieto *et al.*, 2000). El papel de los bosques y selvas tropicales en el ciclo hidrológico del mundo no se puede subestimar. Si bien cubren sólo un 6 % de la superficie del planeta, captan casi el 50 % de la lluvia terrestre del planeta (Myers, 1997). Existen pocos ecosistemas terrestres que se acerquen a los bosques y selvas en términos de la gran variedad y número de servicios ambientales que proporcionan (Daily, 1997). Según Daily (1997) los servicios ambientales son las condiciones y los procesos a través de los cuales los ecosistemas naturales y las especies que los comprenden, apoyan y sustentan a los seres humanos.

Algunos de los servicios hidrológicos más importantes proporcionados por los bosques y selvas son los siguientes:

- La regulación de la calidad y cantidad de agua
- La minimización de ciclos de inundación y sequía
- La generación, protección y mantenimiento de suelos y sus nutrientes
- La regulación del clima a escalas locales y regionales
- La estabilización del paisaje, con el fin de evitar deslaves y azolve de los ríos

Debido a su compleja estructura, los múltiples estratos de vegetación de los bosques y selvas tropicales interceptan el agua de lluvia de manera muy eficiente, canalizándola lentamente por sus hojas,

ramas y troncos hacia el suelo. De esta forma, detienen el escurrimiento pluvial y evitan la saturación del suelo (Sündborg y Rapp, 1986). Una vez llegando al suelo de estos ecosistemas, la densa hojarasca y suelos con un alto porcentaje de porosidad y materia orgánica actúan como esponjas para el agua de lluvia, permitiendo su lenta filtración hacia el subsuelo y la recarga de los mantos acuíferos (Bruijnzeel, 1990). El papel de los bosques tropicales en la captación de agua es impresionante. Por ejemplo, un estudio realizado en un bosque en el sureste de Asia mostró que los bosques no perturbados captan un 35 % del agua de lluvia, mientras que esta cifra baja a 20 % y 12 % en bosques sujetos a extracción moderada y plantaciones de palmas, respectivamente (Myers, 1997). Una revisión general del impacto de la deforestación sobre captación del agua en los trópicos muestra aumentos de hasta 220 % en el flujo anual del agua en los ríos y arroyos adyacentes a un área deforestada, agua que se escapa de la cuenca en lugar de recargar a los mantos acuíferos (Bruijnzeel, 1990). La complejidad estructural de los bosques tropicales, particularmente en el bosque de niebla cuyos árboles están cargados de bromelias y orquídeas, aumentan la superficie disponible para la condensación del agua de nubes, lo cual puede aumentar la cantidad de agua captada en zonas montañosas de 4 % a 18 % por encima de la precipitación anual (Stadtmüller y Agudelo, 1990) y más del 100 % durante la época de secas cuando hay mayor necesidad de agua (Fig. 2; Vögelmann, 1973; Stadtmüller y Agudelo, 1990).

La remoción de bosques, particularmente en las partes altas de la cuenca, interrumpe la captación del agua y detiene la recarga de los mantos acuíferos, lo que puede resultar en el aumento de ciclos de inundaciones y sequías. En cuencas deforestadas

aumenta el flujo del agua significativamente en los ríos (Bruijnzeel, 1990; Sahin y Hall, 1996), así como la rapidez a la cual se eleva el nivel de los ríos justo después de una tormenta, lo cual contribuye de manera importante al riesgo de inundaciones (Hewlett, 1982). Por ejemplo, un estudio en Asia indicó que en cuencas donde el bosque fue reemplazado por plantaciones de árboles, se registró un aumento de entre 19 % a 37 % en el volumen de los ríos después de tormentas (DID, 1989). Estos cambios podrían ser todavía más fuertes en

lugares con cambios de uso de suelo más drásticos. Asimismo, el aumento en el escurrimiento pluvial, así como la disminución de la captación de agua y la recarga de los mantos acuíferos, provoca que haya menos agua disponible durante la época de secas. En la Costa de Marfil en África, se observó de 3 a 5 veces más agua disponible a finales de la época de secas en ríos localizados en cuencas con bosque, comparadas con cuencas similares dominadas por fincas de café con baja cobertura de sombra (Dosso *et al.*, 1981).



Figura 2. Amanecer en un fragmento de bosque mesófilo de montaña (BMM) de la región de Huatusco, Veracruz. La complejidad estructural y epífitas en el BMM aumentan significativamente la captación de agua por este tipo de bosque.

Los bosques y selvas no sólo captan el agua de lluvia sino que pueden modificar los patrones de precipitación a través de la regulación del clima regional. La remoción de la cobertura boscosa (que es de color verde oscura) y su reemplazo por casi cualquier otro uso de suelo, por ejemplo por pastizales (verde claro), resulta en un aumento en el albedo o una disminución en la cantidad de energía de sol absorbida por la superficie de la Tierra, así como reducciones en la tasa de evapotranspiración, turbulencia y el movimiento vertical de las corrientes de aire. Estos cambios, a su vez, pueden afectar la tasa de la formación de nubes y la cantidad de precipitación que recibe una cuenca o región (Zeng y Neelin, 1999). Usando modelos climáticos, un grupo de científicos que trabajaron en la región del río Amazonas mostraron que entre 25 % y 50 % de la precipitación en esta región proviene de la evapotranspiración de sus mismos bosques (Salati y Nobre, 1992; Eltahir y Bras, 1994). La remoción de esta cobertura boscosa rompe este ciclo hidrológico y, debido a ciclos de retroalimentación positiva, puede resultar en cambios permanentes en el clima regional incluyendo un aumento en la temperatura (por falta de nubes) y una reducción en la cantidad de lluvia (Hunzinger, 1997; Lawton *et al.*, 2001).

Las lluvias torrenciales que caracterizan a las zonas tropicales pueden depositar hasta 40 veces más agua que una tormenta típica en zonas templadas (Myers, 1997). Por eso, las cuencas deforestadas en esta región, particularmente en sus partes elevadas, son muy vulnerables a la cantidad de escurrimiento pluvial que dichas lluvias generan (Maas y García-Oliva, 1990). La presencia de vegetación, en particular de árboles y arbustos, disminuye de manera significativa la tasa de erosión de suelos (Sundborg y Rapp, 1986; Gade, 1996).

Por ejemplo, en zonas relativamente planas, la deforestación aumenta la tasa de erosión de 0 ton/ha/año a 2 ton/ha/año hasta 15 ton/ha/año a 21 ton/ha/año (Maas y García Oliva, 1990). Sin embargo, con un aumento de la pendiente de 5 % a 25 % la tasa de erosión de suelo en milpas del estado de Veracruz se eleva de 62 ton/ha/año a 492 ton/ha/año, respectivamente (Sancholuz, 1984). La recuperación de la fertilidad de los suelos después de dicha erosión puede tardar siglos o milenios. Con sólo un 14 % de su superficie susceptible para la agricultura y muchas zonas montañosas, México es un país que debe tener particular cuidado en que no se pierdan sus suelos a través de procesos erosivos (Maas y García-Oliva, 1990; Wezel *et al.*, 2002).

La erosión de suelos no sólo afecta su productividad, sino que también causa muchos problemas adicionales. Al disminuir la retención del suelo, las lluvias ocasionan sedimentación en los ríos, es decir, su azolve. El azolve de los ríos en zonas deforestadas hace que sus cauces sean menos profundos. En combinación con el aumento del escurrimiento pluvial, el azolve aumenta significativamente el riesgo de inundaciones (Kramer *et al.*, 1997; Fitzpatrick y Knox, 2000). El azolve también causa que las represas de presas hidroeléctricas se llenen de sedimentos, disminuyendo su vida productiva. A nivel mundial el problema del azolve de las presas tiene un costo de 6 000 millones de dólares (mdd) por año (Mahmood, 1987). Los sedimentos que llegan al mar transportados por los ríos cubren los humedales y arrecifes de coral, afectando las zonas en las que se reproduce una gran parte de las especies de importancia económica para las pesquerías y amenazando una industria que significa miles de millones de dólares a nivel mundial (White *et al.*, 2000). Finalmente, la erosión de suelos en zonas deforestadas, aumenta la concen-

tración de nutrientes como los nitratos y fosfatos en los ríos adyacentes (Likens y Bormann, 1974; Hornung y Reynolds, 1995). Esta alta concentración de nutrientes puede causar problemas de eutricación y condiciones anóxicas en ríos y mares, que resultan en la muerte de muchas especies y promueven la proliferación de especies nocivas como las algas que causan la marea roja. Para reducir en gran parte esta contaminación se deben respetar pequeñas franjas de bosque en las zonas riparias de áreas productivas o de extracción forestal. Una franja de sólo 30 m de bosque puede remover entre 40 % y 78 % de los contaminantes comunes en el agua del río (Spruill, 2000; Kuusemets *et al.*, 2001).

Los bosques y selvas también ayudan a estabilizar el paisaje y proteger las zonas expuestas a tormentas. Las raíces profundas de árboles funcionan mucho mejor que otros tipos de vegetación para prevenir deslaves (Woodwell, 1993; Abe, 1997; Wilmhurst, 1997). Un estudio en Puerto Rico mostró que las zonas transformadas para la agricultura tienen hasta ocho veces más deslaves que zonas boscosas (Larsen y Torres-Sánchez, 1998). Además, estos ecosistemas, particularmente los manglares, sirven como escudos contra los vientos de huracanes y tormentas, protegiendo la infraestructura humana cerca de la costa y reduciendo la erosión considerable que estos fenómenos naturales pueden causar. Un estudio en el estado de Louisiana (EUA) mostró que la destrucción o modificación de estos ecosistemas puede resultar en un aumento significativo de los daños económicos causados por los huracanes de entre USD\$ 4 732 y USD\$ 18 653 por hectárea removida (Constanza *et al.*, 1989).

## LA DEFORESTACIÓN Y EL PROBLEMA DEL AGUA EN MÉXICO

En México el agua es considerada un recurso estratégico y su degradación un asunto de seguridad nacional (CNA, 2001; Álvarez, 2002). Los problemas relacionados con el agua en México se pueden dividir en cuatro grandes rubros: problemas de cantidad, calidad, distribución y uso. Hay 64 % menos agua disponible por cápita que hace 50 años debido principalmente al crecimiento poblacional (CNA, 2002). Además, de los 450 acuíferos que se consideran como regionales por su extensión, capacidad e importancia relativa, 96 de ellos (un 21 % del total) están sometidos a sobreexplotación con un ritmo de extracción de cerca de 8 km<sup>3</sup> por año (CNA, 2001 y 2002). Los acuíferos sobre-explotados suministran un 50 % del agua usado a nivel nacional y tendrán que ser reemplazados por otras fuentes en el futuro cercano. Sin embargo, la mayoría de los acuíferos sobre-explotados se encuentran en el norte y oeste del país, una región dominada por desiertos donde hay pocas fuentes adicionales de este líquido vital.

México está utilizando actualmente un 15 % del agua renovable disponible en el país, lo cual, según la Comisión para el Desarrollo Sustentable de la ONU, significa una presión moderada (ONU, 1997; CNA, 2001). Sin embargo, los problemas de disponibilidad del agua en nuestro país se acentúan por un fuerte sesgo en la distribución de este importante recurso natural. El sureste de México cuenta con 72 % del total nacional de agua pero concentra sólo 23 % de la población y 16 % del PIB, mientras que la región norte y centro de México cuenta con 32 % del escurrimiento natural y 77 % y 86 % de la población y el PIB del país, respectiva-



mente (CNA, 2001). En el norte de México, más del 40 % del agua disponible está siendo utilizada; la disponibilidad por cápita alcanza valores muy cercanos a los 2 000 m<sup>3</sup>/habitante/año, lo cual es considerado por la ONU como una presión alta con una necesidad alta de ser administrada cuidadosamente por la oferta, ya que los niveles de agua pueden ser peligrosamente bajos en años de escasa precipitación (ONU, 1997; CNA, 2001 y 2002).

La contaminación y mal uso agravan la situación del agua en México. Un 73 % de toda el agua del país, incluyendo el 95 % de los ríos, está contaminada y requiere de un tratamiento avanzado antes de poder consumirla (Weiner, 2001; CNA, 2002). Sin embargo, sólo un 23 % de las aguas residuales reciben un tratamiento adecuado. Finalmente, existen problemas graves en el uso del agua en México. La agricultura de riego consume un 78 % del agua del país pero más de la mitad es desperdiciada (CNA, 2002). De igual manera, 153 de las 160 ciudades en México mayores de 50 mil habitantes (un 92 %) cobran menos de \$ 5 por m<sup>3</sup> de agua potable y por eso sufren pérdidas financieras superiores al 40 % (Álvarez, 2002). Estos subsidios eliminan recursos que se requieren para el mantenimiento de redes de distribución y la limpieza del agua, así como los incentivos para el cuidado de este esencial recurso natural y por eso no ayudan al país enfrentar sus problemas hídricos.

A pesar de la gran variedad de servicios hidrológicos proporcionados por los bosques y selvas de México, así como el problema general del agua en el país, la situación de estos ecosistemas es precaria. La deforestación en México entre 1976 y 2000 alcanzó un promedio de 545 000 ha/año, lo cual es una de las tasas más altas en América Latina (SEMARNAT, 2002). En total ha habido una disminución en la cobertura boscosa de 29 % en los últimos 50 años (Fig. 3;

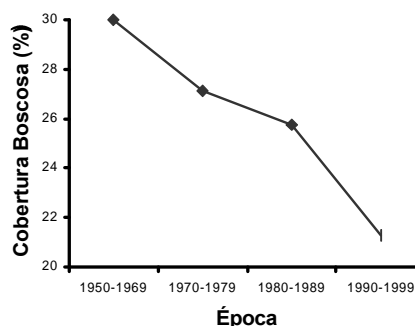


Figura 3. Cobertura boscosa durante diferentes épocas en México según datos de la SEMARNAT. La tasa de deforestación en el país se aceleró en la última década.

SEMARNAT, 2003) y mucho de lo que queda está perturbado. La deforestación en México y la consecuente reducción de los servicios hidrológicos proporcionados por los bosques y selvas están indudablemente contribuyendo al problema de la regulación de los patrones hídricos en el país. El área afectada por la erosión de suelos alcanza el 76 % del territorio nacional (SEMARNAT, 2002). Además de contribuir al deterioro en la calidad del agua, dicha erosión se traduce en una pérdida anual de entre 150 000 y 200 000 ha de tierra arable (Maas y García-Oliva, 1990). Quizás todavía más preocupante es el hecho de que los daños debido a los desastres hidro-meteorológicos en México, incluyendo las inundaciones, sequías, deslaves y tormentas, han aumentado en los últimos 20 años. Durante este periodo estos desastres han ocasionado US\$ 4 547 mdd en daños en México (SEGOB, 2001) y han ocupando un 70 % de los recursos del Fondo Nacional de Desastres desde su creación en 1996 (Diario de México, 2000). Estas cifras muestran que para el bienestar del país es esencial tomar medidas para fortalecer la relación entre los bosques y la regulación de los patrones hídricos.

### LA CREACIÓN DE MERCADOS PARA LOS SERVICIOS HIDROLÓGICOS DE LOS BOSQUES Y SELVAS

Afortunadamente, la grave situación del agua en México ha despertado una conciencia general de la población que ha permeado a diferentes programas públicos. El Programa Nacional Hidráulico de 2001-2006 identifica el manejo y la preservación del agua como temas de seguridad nacional; la Comisión Nacional del Agua (CNA) ha adoptado una visión integral de cuencas que ha sido incorporado por la SEMARNAT en la Cruzada por los Bosques y el Agua. Cambios importantes en las leyes permiten hoy en día que una parte de los recursos de la CNA hayan sido transferidos a la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) para la creación del Fondo Forestal Mexicano. Así, el concepto de servicios ambientales y la relación agua-bosque comienzan a tener eco en las políticas públicas.

La creación de mercados y el concepto de Pagos por los Servicios Ambientales (PSA) representa una nueva estrategia de valoración económica, que se traduce en un mecanismo para detener el deterioro ambiental y promover el desarrollo sustentable (Burstein *et al.*, 2002). Etapas importantes en la creación de estos mercados son la identificación de los actores involucrados y la cuantificación de los servicios ambientales. En México, el número de estudios para cuantificar los servicios ambientales proporcionados por los bosques es todavía muy bajo, lo cual dificulta la creación de mercados de PSA (Fig. 4). Sin embargo, en el caso de la regulación de los patrones hídricos, el enfoque de cuenca como la unidad básica de manejo (Maas, 2003) facilita la identificación de los actores que deben ser involucrados en la creación de estos mercados. Los productores de los servicios hidrológicos en una cuenca, como son los dueños de predios cuya cobertura boscosa ayuda a regular

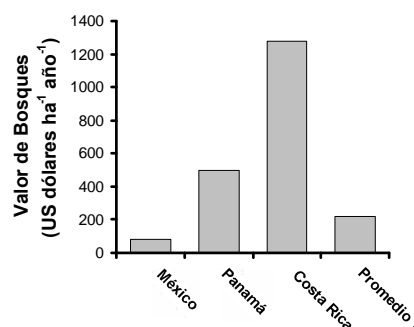


Figura 4. Comparación del valor estimado del conjunto de servicios ambientales proporcionados por los bosques de México, Panamá, Costa Rica y un promedio de otros 5 países en la misma región (Datos: Adger *et al.*, 1995).

la cantidad y la calidad del agua, están ubicados normalmente en las partes altas de la cuenca. Los usuarios son los residentes, productores y empresas del sector público y privado que utilizan el agua proveniente de estos predios para sus propios fines. Los gestores del pago por servicios ambientales son diversos. En México hay un número creciente de ejemplos de la creación de mercados para los servicios hidrológicos. Estos se pueden dividir en tres grupos de acuerdo con el servicio que proporcionan los bosques: agua potable, energía eléctrica y disminución de desastres naturales.

#### Agua Potable

Quizá el ejemplo mejor conocido de pago por los servicios hidrológicos en México es el caso del municipio de Coatepec, Veracruz. Después de un periodo de sequía severa en 1999, en el cual la ciudad sufrió de escasez de agua por casi dos semanas, el ayuntamiento de Coatepec, junto con la Comisión Municipal de Agua Potable y Sanea-

miento (CMAS) de Coatepec, la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), el Consejo Estatal de Protección al Ambiente del gobierno del estado (COEPA) y otros donantes menores crearon un fideicomiso público de administración para-municipal titulado FIDECOAGUA. Aportaciones de los fideicomitentes, así como aportaciones voluntarias de \$1/m<sup>3</sup> de parte de los ciudadanos de esta localidad permitieron el establecimiento de un fondo de un millón de pesos. A través de una primera convocatoria en 2002, el fideicomiso se comprometió a pagar \$1 000/ha/año, en las 500 hectáreas más arbo-

ladas del polígono de la zona montañosa del municipio (Fig. 5).

Con el fin de obtener este apoyo, cada uno de los beneficiarios potenciales tuvo que mostrar ser el poseedor de la tierra y no haber tenido infracciones ambientales. Asimismo, cada dueño firmó una carta en la cual se compromete a no cortar árboles y autoriza la geo-referenciación de sus predios para permitir el monitoreo en el futuro utilizando imágenes de satélite. En un inicio fueron necesarios los pagos voluntarios junto con una campaña de educación

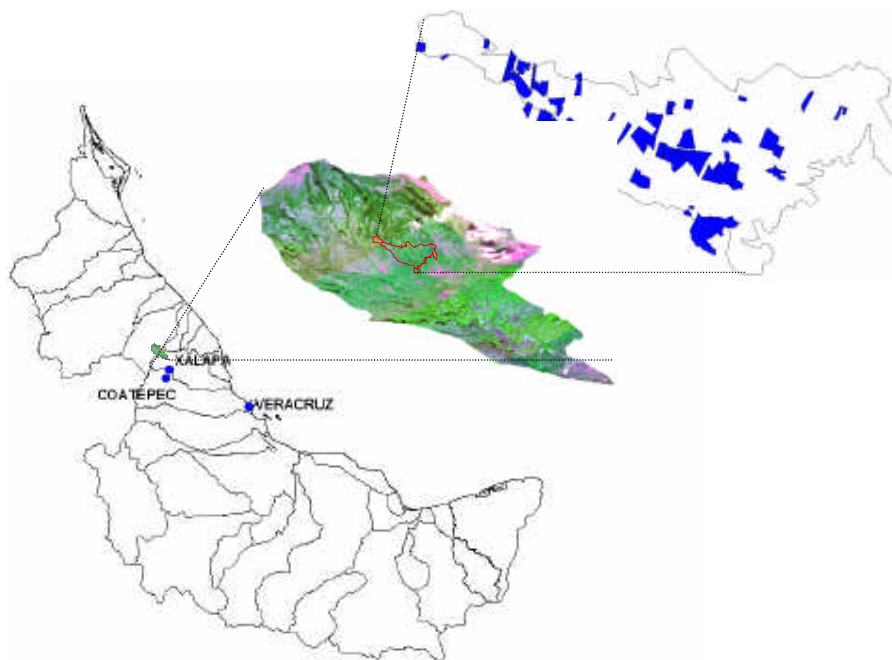


Figura 5. La micro-cuenca de la ciudad de Coatepec ubicada en la cuenca del río La Antigua del estado de Veracruz. Esta zona cubre 6 421 ha y está dominado por bosque mesófilo de montaña. Además de poder recibir pagos anuales de FIDECOAGUA por los servicios hidrológicos de sus bosques, algunos de los propietarios de predios en esta zona (indicados en negro) recibieron \$ 400,00 por hectárea arbolada en la convocatoria del Fondo Forestal Mexicano.

ambiental, para crear este fideicomiso. Sin embargo, estos pagos ya son obligatorios y se están buscando aportaciones de empresas privadas en la zona, cuyo bienestar económico depende del agua de la cuenca de este municipio. FIDECO-AGUA contempla ampliar los PSAs a predios ubicados en otras partes de la micro-cuenca que tiene una extensión de 6 000 ha en este municipio (Fig. 5). El número de programas similares en otros municipios de México está creciendo, habiendo ya en los estados de Nuevo León, Jalisco, Estado de México y Chiapas.

La revisión del caso de Coatepec y su comparación con otros programas similares indica lo siguiente:

- Este tipo de PSA es quizá el más fácil de repetirse en México debido a: 1) la preocupación nacional por el recurso agua, 2) la facilidad para identificar los productores y usuarios de estos servicios hidrológicos, 3) los diversos recursos financieros disponibles para la creación de estos esquemas de pago, incluyendo el Fondo Forestal Mexicano (más que 400 millones de pesos (mdp) en 2004), la conversión de deudas de los estados y municipios con la CNA (por concepto de uso y descarga de agua potable, 62 mdp; Millán, 2001) a esquemas de PSA. En el país actualmente hay 36 ciudades mayores de 50 mil habitantes con severas restricciones de agua que podrían beneficiarse de este tipo de PSA y este número sigue creciendo (Álvarez, 2002).
- La transparencia en el manejo de los fondos de este tipo de PSA, así como el establecimiento de programas de monitoreo del impacto de dichos pagos sobre la cantidad y calidad de agua, son sumamente importantes en el mantenimiento de la voluntad social y

política necesaria para el funcionamiento de estos programas.

- Las aportaciones deben surgir de todos los sectores de la sociedad que aprovechan el agua de una cuenca. Dicha diversidad de contribuyentes ayudará a crear una ética ambiental que promueva valores y actitudes necesarios para conformar una nueva relación sociedad-naturaleza. Además, asegurará que estos fondos sean estables y menos expuestos a posibles cambios políticos en el futuro.
- Tomando en cuenta la amplia distribución geográfica de las grandes ciudades de México, así como los recursos financieros con los que cuentan, el impacto potencial de este tipo de PSA en la conservación de los ecosistemas boscosos de México es considerable. Por ejemplo, un aumento de sólo 12,5 % (25 centavos) a la tarifa del agua para uso doméstico en el Distrito Federal, generaría 270 mdp anualmente para PSAs en las cuencas surtiendo el agua a la Valle de México (CNA, 1999) aparte de crear más incentivos para la conservación del recurso hídrico.
- Los esquemas de PSA relacionados con el agua potable deben dar prioridad a las 110 Regiones Hidrológicas Prioritarias identificados por la CONABIO (Arriaga Cabrera *et al.*, 1998). En esta forma, dichos esquemas maximizarán su impacto en la conservación del agua y la biodiversidad de México.

### Agua y energía eléctrica

Un ejemplo interesante del potencial en México de crear esquemas de pago por la producción de energía hidroeléctrica se encuentra en el estado de

Chiapas. Ubicada cerca de la Reserva de la Biosfera El Triunfo (RBET), en el río Grijalva, está el complejo de presas hidroeléctricas más importante en México. Los bosques de la RBET captan y canalizan un promedio de 171 millones de m<sup>3</sup> de agua a este río, lo cual representa aproximadamente un 10,58 % de su flujo. En 1998 este complejo de cuatro presas hidroeléctricas llegaron al 42 % de la capacidad instalada para la producción de energía hidroeléctrica del país generando un 19 % (27 000 GWh) del total de la energía hidroeléctrica producida en México (CNA, 1999). Suponiendo que la proporción de la energía actualmente producida por estas presas se acerca a la de su capacidad instalada, uno puede estimar que este complejo de presas generó 7,98 % (11 340 GWh) del total de la energía eléctrica producida en México. Usando el valor promedio cobrado por energía eléctrica en 1998 (0,53 pesos/KWh; SENER, 2000) a una tasa de cambio promedio para este año de 9,5 pesos/dólar, la energía producida por las presas hidroeléctricas del Río Grijalva alcanzó un valor total de USD\$ 632 951 052, mientras que el agua producida por El Triunfo se tradujo en USD\$ 50 509 463.

Con estas cifras, el personal de la Reserva, un grupo de municipios y organizaciones conservacionistas que trabajan en la zona se han acercado a la Comisión Federal de Electricidad (CFE) para explorar la posibilidad de que una pequeña parte de este ganancia sea reinvertida en esquemas de pago a dueños cuyos bosques están captando el agua en la cuenca del Río Grijalva. Se espera que dichos pagos por servicios ambientales promoverán la reforestación y la captación del agua de lluvia en esta cuenca, lo cual tendría un doble beneficio para las presas hidroeléctricas. Por un lado, una mejora en la captación de agua ayudaría a asegurar que las presas hidroeléctricas reciban un flujo constante de

agua para la producción eficiente de energía. Por el otro lado, la reforestación de la cuenca reduciría la erosión de suelos y el azolve de las represas, lo cual permitiría que alcancen o rebasen su vida productiva esperada.

Los programas que promuevan el crecimiento de este tipo de PSA en México deben considerar lo siguiente:

- El potencial de este tipo de pago depende de la proporción de la energía eléctrica del país generada por las presas hidroeléctricas. La diferencia entre la capacidad utilizada (16 %) y la instalada (28 % ó 9 300 MW) actualmente en la presas hidroeléctricas de México sugiere que la importancia de este sector crecerá (CNA, 2001). Sin embargo, sin un cambio drástico en la estrategia nacional de producción de energía, es probable que México no alcance los niveles de otros países de Latinoamérica, como Costa Rica y Brasil donde más de tres cuartos de la energía eléctrica es generada en presas hidroeléctricas.
- La importancia nacional de las presas hidroeléctricas como fuentes de energía en México también determinará si los esquemas de PSA relacionados con la captación de agua para estas presas, seguirán siendo a nivel local y regional o alcanzarán niveles nacionales como se observa en Costa Rica con el establecimiento de pagos a través del Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (Camacho, 2000).
- Estos tipos de PSA requieren el apoyo de estudios científicos para determinar la cantidad de agua proporcionada por cuencas en la zona de influencia de presas hidroeléctricas y predecir cambios en los patrones hídricos y tasas de sedimentación esperados debido a programas de reforestación.

- Estudios recientes del impacto neto de las presas hidroeléctricas sobre el medio ambiente a nivel mundial sugieren que estas obras tienen altos costos sociales y ambientales no cuantificados (Dorcey y Dorcey, 1997). Por eso, es importante que se escojan con cuidado las regiones para la implantación de PSAs relacionados con presas hidroeléctricas para asegurar que sólo los proyectos más sustentables sean incluidos.
- La CFE y PEMEX ya han establecido fondos para la restauración ecológica de zonas perturbadas por sus actividades, los cuales también se podrían aprovechar para el establecimiento de PSAs relacionados con la regulación de patrones hídricos en las cuencas de México.

### Desastres naturales

Debido al reconocimiento de la importancia de los bosques y selvas en la regulación de los patrones hídricos en las cuencas de los trópicos, los responsables de la toma de decisiones tienen que estar más concientes de los potenciales impactos de planes de desarrollo regional que promuevan la deforestación. En cuencas y regiones que sufren altas tasas de deforestación, es probable que el aumento en la productividad que se logra a través de dichos planes tenga un costo, que se traduciría en un aumento en la frecuencia y magnitud de desastres hidrometeorológicos.

Por ejemplo, el estado de Veracruz contribuye con 11,5 % a la producción agrícola de México, siendo el primer estado en la producción de azúcar y cítricos, el segundo en la producción de café y uno de los más importantes en la producción de carne de res para consumo doméstico. Para lograr este

nivel de productividad, Veracruz ha tenido que transformar muchos de sus bosques y selvas en pastizales y tierras de cultivo. Como una consecuencia de estas transformaciones, este estado tiene una de las tasas más altas de deforestación a nivel nacional (pérdida de 36 % de su cobertura boscosa en los últimos 16 años; Manson, en preparación) y ocupa el primer lugar en el número de especies en peligro de extinción (Flores Villela y Gerez, 1988).

Los impactos de dicha deforestación sobre los patrones hídricos son importantes, considerando que Veracruz se encuentra en una región que capta un 12,5 % de la precipitación y cuyos ríos canalizan un 28 % del escurrimiento pluvial anual del país (CNA, 2002). Más del 40 % del estado ya está afectado por altas tasas de erosión de suelo (al menos 10 toneladas/ha/año; Maas y García Oliva, 1990), que sin duda afectarán su productividad futura. Veracruz fue uno de cinco estados afectados gravemente por las inundaciones de 1998 y las sequías en años siguientes, que se estima causaron daños por más de 2 950 millones de pesos. Sólo en 2001, las inundaciones en este estado causaron daños por 450 millones de pesos y afectaron 40 municipios (Diario de Xalapa, 2001). Para prevenir con mayor exactitud este tipo de desastres, el gobierno del estado de Veracruz está apoyando estudios sobre el impacto de la deforestación en las cuencas de la entidad. Sin embargo, también se deben buscar más colaboraciones con CONAFOR y el Fondo Forestal Mexicano para aumentar la cobertura boscosa del estado y promover planes de desarrollo regional sustentables que permitan un balance entre la productividad y la conservación de los ecosistemas boscosos.

Los intentos para establecer esquemas de PSA con el fin de prevenir

los desastres hidro-meteorológicos deben considerar lo siguiente:

- En general, estos tipos de vínculos serán más fáciles de establecer a nivel de estado y municipio. Por ejemplo, la póliza anual que tiene que pagar el estado de Veracruz contra daños causados por desastres naturales es de 80 millones de pesos. Actividades que reducirían este riesgo (e.g. estudios del impacto de la deforestación sobre la hidrología de cuencas o la creación de esquemas de PSA que promuevan la reforestación) resultarían en una reducción de este pago. Adicionalmente, existen fondos considerables a nivel nacional (por ejemplo, el FONDEN y préstamos recientes del Banco Mundial) que se podrían aprovechar para el establecimiento de esquemas de PSA enfocados a la regulación de los patrones hídricos y la minimización del riesgo de desastres naturales en cuencas claves.
- Los responsables de la toma de decisiones requieren más información sobre los vínculos entre la deforestación y el riesgo de desastres hidro-meteorológicos en las cuencas bajo su control. Sin este tipo de información es difícil justificar el uso de fondos públicos para la creación de esquemas de PSA tendientes a minimizar estos riesgos. Asimismo, debido al hecho de que los efectos positivos de estos esquemas dependen en gran parte de la recuperación de bosques perturbados o de la restauración de nuevas áreas de bosques y selvas, se podrían tardar varios años en observarse.
- Muchos programas públicos siguen promoviendo la deforestación en México para fines productivos o económicos. Cualquier intento de crear esquemas de PSA relacionados con

los servicios hidrológicos proporcionados por bosques y selvas tendrá que identificar estos programas e intentar reducir sus impactos negativos en la región o cuenca de enfoque.

## CONCLUSIONES

En conclusión, mientras que la crisis del agua en México es muy preocupante, esta misma crisis ha sido clave para resaltar los vínculos que existen entre la deforestación y los patrones hídricos en las cuencas de México, así como para despertar el deseo de actuar y preservar los bosques y selvas del país. En este ambiente, existen muchas oportunidades de establecer programas de PSA enfocados a los servicios hidrológicos proporcionados por los bosques y selvas. Dichos programas pueden enfocarse en los temas de agua potable, la generación de energía hidroeléctrica y la minimización del riesgo de desastres hidro-meteorológicos, los cuales están afectando cada vez más regiones del país. Debido al enfoque nacional de cuencas, así como la facilidad de identificar los actores involucrados en la creación de esquemas de PSAs relacionados con la regulación de patrones hídricos, los servicios hidrológicos tienen el mayor potencial en México y deben ser el enfoque principal de los gestores de dichos esquemas. Sin embargo, es importante resaltar que los bosques y selvas de México proporcionan muchos otros servicios ambientales incluyendo el secuestro de carbono, la conservación de la biodiversidad y el ecoturismo. En el mediano y largo plazo, los esquemas de PSA que contemplan el conjunto de estos servicios ambientales tendrán una mejor capacidad de realizar pagos atractivos a los dueños de predios con cobertura boscosa y así promover el uso sustentable de estos recursos naturales en México.

## AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento a los valiosos comentarios de dos revisores anónimos y la Dra. Renée González Montagut que mejoraron substancialmente borradores anteriores del manuscrito. El presente estudio se llevó a cabo con apoyo de SIGOLFO (proyecto 00-06-002-V) y CONAFOR (proyecto 2002-C01-5985). Al Ing. Andrés de la Rosa Portilla quien proporcionó mucho apoyo en la elaboración de los mapas presentados.

## REFERENCIAS

- Abe, K. 1997. A method for evaluating the effect of tree roots on preventing shallow-seated landslides. *Bulletin of the Forestry and Forest Products Research Institute* 0(373): 105-181.
- Adger, W.N.; K. Brown; R. Cervigne y D. Moran. 1995. Total economic value of forests in Mexico. *Ambio* 24: 286-296.
- Álvarez, E. 2002. El agua para México es un problema de seguridad nacional. *Periódico Milenio* 17 de mayo de 2002, Sección Nacional (página web).
- Arriaga-Cabrera, L.; V. Aguilar-Sierra y J. Alcocer-Durán. (coordinadores). 1998. *Regiones Hidrológicas Prioritarias: Fichas técnicas y Mapa*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F. 142 p.
- Bruijnzeel, L.A. 1990. Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: a state of knowledge review. *International Hydrological Program (UNESCO)*. Países Bajos. 230 p.
- Burstein, J.; G. Chapela y Mendoza, J. Aguilar y E. de León. 2002. Informe sobre la propuesta de pago por servicio ambiental en México. H. Rosa y S. Kandel (Coordinadores) Proyecto de la Fundación Ford "Pago por Servicios Ambientales en Las Américas". Ejecutor: Fundación PRISMA. San Salvador. El Salvador. 103 p.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 1999. Situación del subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento a diciembre de 1999. Décima edición. Comisión Nacional del Agua, México, D.F. 123 p.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 2001. *Hidráulico: 2001-2006 Resumen Ejecutivo*. Segunda Edición. Comisión Nacional del Agua. México, D.F. 23 p.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 2002. *Compendio Básico del Agua en México: 2002*. Comisión Nacional del Agua. México, D.F. 96 p.
- Camacho, M. A. 2000. Pago por Servicios Ambientales en Costa Rica. Informe del proyecto PRISMA-Fundación Ford "Pago por Servicios Ambientales en América Latina". San José, Costa Rica. 78 p.
- Constanza, R.; S.C. Farber y J. Maxwell. 1989. Valuation and management of wetland ecosystems. *Ecological Economics* 1: 335-361
- Daily, G.C. 1997. *Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems*. Island Press, Nueva York, EUA. 392 p.
- De Villiers, M. 2000. *Water: the fate of our most precious resource*. Houghton Mifflin Company. Boston, MA. EUA. 352 p.



- Diario de México. 2000. Mejorará la ayuda por desastres naturales. Primera Plana, 26 de diciembre de 2000.
- Diario de Xalapa. 2001. Millonarios recursos a carreteras. Diario de Xalapa. 1 de septiembre de 2002. Sección A: p. 6.
- Departamento de Irrigación y Drenaje (DID). 1989. Sungai Tekam Experimental Basin. Reporte Final: julio de 1977 a julio de 1986. Water Resources Publication Number 20. Ministerio de Agricultura. Kuala Lumpur, Malasia. 107 p.
- Dorcey, A.H.J y T. Dorcey. 1997. Large Dams: Learning from the Past, Looking to the Future. Memorias del Taller. IUCN-International Union for Conservation of Nature and Natural Resources y World Bank Group. Gland, Suiza. 150 p.
- Dosso, H.; J.L. Guillaumet y M. Hadley. 1981. The Tai Project: Land-use problems in a tropical rainforest. *Ambio* 10(2-3): 120-125.
- Eltahir, E.A.B. y R.L. Bras. 1994. Precipitation recycling in the Amazon Basin. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 120(518): 861-880.
- Fitzpatrick, F.A. y J.C. Knox. 2000. Spatial and temporal sensitivity of hydrogeomorphic response and recovery to deforestation, agriculture, and floods. *Physical Geography* 21: 89-108.
- Flores Villela, O. y P. Gerez. 1988. Conservación en México: Síntesis sobre vertebrados terrestres, vegetación y uso de suelo. INIREB. México, D.F. 302 p.
- Gade, D.W. 1996. Deforestation and its effects in highland Madagascar. *Mountain Research and Development* 16: 101-116.
- Gleick, P.H. 2000. The world's water 2000-2001. Island Press. Washington, D.C. 315 p.
- Gleick, P.H. 2003. Global freshwater resources: soft-path solutions for the 21st century. *Science* 302(5650): 1524-1528.
- Hewlett, J.D. 1982. Forests and floods in the light of recent investigation. *In*: NRCC. Hydrological Processes of Forested Areas. Publicación Número 20548. National Research Council of Canada. Ottawa, Canadá. 543-559.
- Hornung, M. y B. Reynolds. 1995. The effects of natural and anthropogenic environmental changes on ecosystem processes at the catchment scale. *Trends in Ecology and Evolution* 10(11): 443-449.
- Hunzinger, H. 1997. Hydrology of montane forests in the Sierra de San Javier, Tucumán, Argentina. *Mountain Research and Development* 17: 299-308.
- Kramer, R.A.; D.D. Richter; S. Pattanayak y N.P. Sharma. 1997. Ecological and economic analysis of watershed protection in Eastern Madagascar. *Journal of Environmental Management* 49(3): 277-295.
- Kuusemets, V.; U. Mander; K. Lohmus y M. Ivask. 2001. Nitrogen and phosphorus variation in shallow groundwater and assimilation in plants in complex riparian buffer zones. *Water Science and Technology* 44: 615-622.

- Larsen, M.C. y A.J. Torres-Sánchez. 1998. The frequency and distribution of recent landslides in three montane tropical regions of Puerto Rico. *Geomorphology* 24: 309-331.
- Lawton, R.O.; S. Fair U.; S.A.R. Pielke y R. Welch. 2001 Climatic impact of tropical lowland deforestation on nearby montane cloud forests. *Science* 294: 34-58.
- Likens, G. E. y F. H. Bormann. 1974. Linkages between terrestrial and aquatic ecosystems. *Bioscience* 24(8): 447-456.
- Maas, J.M. 2003. Los ecosistemas: la complejidad gota por gota. ¿Cómo ves? *Revista de Divulgación de la Ciencia, UNAM* 5(54): 13-16.
- Maas, J.M. y F. García-Oliva. 1990. La conservación de los suelos en las zonas tropicales: el caso de México. *Ciencia y Desarrollo* 25: 21-36.
- Mahmood, K. 1987. Reservoir Sedimentation: Impact, Extent, and Mitigation. World Bank Technical Paper No. 71. Banco Mundial, Washington, D.C. 134 p.
- Millán, D. 2001. Exigen a los estados tratar aguas negras. *Periódico Reforma*. 28 de diciembre de 2001. Año 9(2936): A1.
- Myers, N. 1997. The world's forests and their ecosystem services. In: G. Daily, ed. *Natures Services: societal dependence on natural ecosystems*. Island Press. Washington, D.C. p:215-235.
- ONU. 1997. Comprehensive assessment of the freshwater resources of the world. Comisión de Desarrollo Sustentable (Organización de las Naciones Unidas). Quinta sesión, 7-25 de abril de 1997. 52 p.
- ONU. 2000. World Population Prospects: The 2000 Revision Highlights. Population Division, Department of Economic and Social Affairs, United Nations. Nueva York, 34 p.
- Palacio-Prieto, J.L.; G. Bocco y A. Velásquez. 2000. Nota Técnica: La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del Inventario Forestal Nacional 2000. *Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. México, D.F. Número 43: 183-203.
- Postel, S.L.; G. C. Daily y P.R. Ehrlich. 1996. Human appropriation of renewable fresh water. *Science* 271: 785-788.
- Sahin, V. y M.J. Hall. 1996. The effects of afforestation and deforestation on water yields. *Journal of Hydrology* 178(1-4): 293-309.
- Salati, E. y C.A. Nobre. 1992. Possible climatic impacts of tropical deforestation. *Climate Change*. 19:177-196.
- Sancholuz, L.A. 1984. Land degradation in Mexican maize fields. Tesis doctoral. Universidad de British Columbia, 212 p.
- SEGOB. 2001. Programa Especial de Prevención y Mitigación del Riesgo 2001-2006. Secretaría de Gobernación, Coordinación General de Protección Civil y CENAPRED. México, D.F. 137 p.
- SEMARNAP. 2002. Inventario Nacional de Suelos. Secretaría de Medio Ambiental, Recursos Naturales y Pesca. México, D.F. 235 p.

- SEMARNAP. 2003. Datos obtenidos en línea. Página *web* de la Secretaría de Medio Ambiental, Recursos Naturales y Pesca. México, D.F.
- SENER. 2000. Tabla de precios promedios de energía eléctrica 1980 a 2002. Página *web* de la Secretaría de Energía, México, D.F.
- Spruill, T. B. 2000. Statistical Evaluation of Effects of Riparian Buffers and Nitrate and Ground Water Quality. *Journal of Environmental Quality* 29: 1523-1538.
- Stadtmüller, T. y Agudelo, N. 1990. Amount and variability of cloud moisture input in a tropical cloud forest. *In*: H. Lang y A. Musy, ed. *Hydrology in Mountainous Regions. I-Hydrologic Measurements: the water cycle*. IAHS Press. Wallingford, Inglaterra. p:25-32.
- Sündborg, Å y A. Rapp. 1986. Erosion and sedimentation by water: problems and prospects. *Ambio* 15(4): 215-225.
- Vögelman, H.W. 1973. Fog precipitation in the cloud forest of eastern Mexico. *Bioscience* 23: 96-100.
- Wanielista, M., R. Kersten y R. Eaglin. 1997. *Hydrology: Water quantity and quality control*. Segunda Edición, John Wiley & Sons, Inc. Nueva York. 567 p.
- Weiner, T. 2001. *Mexico Grows Parched, With Pollution and Politics*. New York Times. Late Edition, 14 de abril de 2001. Sección A (Pág. 3, Columna 1).
- Wezel, A.; N. Steinmuller y J.R. Friederichsen. 2002. Slope position effects on soil fertility and crop productivity and implications for soil conservation in upland northwest Vietnam. *Agriculture Ecosystems & Environment* 91: 113-126.
- White, A.T.; H.P. Vogt y T. Arin. 2000. Philippine coral reefs under threat: The economic losses caused by reef destruction. *Marine Pollution Bulletin* 40: 598-605.
- WHO. 2000. *Global Water Supply and Sanitation Assessment 2000 Report*. World Health Organization, Naciones Unidas. [http://www.who.int/docstore/water\\_sanitation\\_health/Globassessment/GlobalTOC.htm](http://www.who.int/docstore/water_sanitation_health/Globassessment/GlobalTOC.htm).
- Wilmshurst, J.M. 1997. The impact of human settlement on vegetation and soil stability in Hawke's Bay, New Zealand. *New Zealand Journal of Botany* 35(1): 97-111.
- Woodwell, G.M. 1993. Forests: what in the world are they for? *In*: K. Ramakrishna y G.M. Woodwell, ed. *World Forests for the future: their use and conservation*, Yale University Press, New Haven, CT, EUA. p:1-20.
- Zeng, N. y J.D. Neelin. 1999. A land-atmosphere interaction theory for the tropical deforestation problem. *Journal of Climate* 12:857-872. ♦

Manuscrito recibido el 26 de enero de 2004.  
Aceptado el 9 de febrero de 2004.

Este documento se debe citar como:

Manson, R.H. 2004. Los servicios hidrológicos y la conservación de los bosques de México. *Madera y Bosques* 10(1):3-20.