

## Utilización y ordenación sostenibles de los recursos de agua dulce: papel de los bosques

El suministro fiable de agua dulce y la capacidad de hacer frente a las situaciones extremas de abundancia o escasez de agua son requisitos fundamentales para el desarrollo humano sostenible. Las alertas sobre la escasez de agua dulce difundidas al final del siglo XX (Falkenmark, 1989; Kundzewicz, 1997; Vorosmarty *et al.*, 2000) han demostrado ser acertadas, hasta el punto de que la falta de agua parece representar ahora una amenaza para la seguridad alimentaria, los medios de subsistencia y la salud humana (Naciones Unidas, 1992; IFPRI, 2001). En todo el mundo, el agua dulce sustenta aproximadamente el 40 por ciento de toda la producción de cultivos alimenticios, gracias al riego, aporta el 12 por ciento de todo el consumo humano de pescado y genera el 20 por ciento de toda la energía eléctrica (Johnson, Revenga y Echeverría, 2001). Además de las repercusiones directas de la escasez de agua, existe el problema del deterioro de su calidad, que representa un obstáculo a sus posibilidades de aprovechamiento.

Más de 3 000 millones de personas de todo el mundo carecen de acceso a agua potable, y el problema es particularmente agudo en los países en desarrollo, donde el 90 por ciento de las aguas de desecho se descargan en cursos de agua sin tratamiento previo (Johnson, Revenga y Echeverría, 2001). De los más de 3 000 millones de muertes anuales que se atribuyen al agua contaminada y a la falta de saneamiento, más de 2 millones son niños de países en desarrollo (van Damme, 2001). Además, todos los años se producen numerosas pérdidas de vidas humanas y de productividad económica como consecuencia de avalanchas, inundaciones y torres provocados por las precipitaciones tanto en los países en desarrollo como en los desarrollados. Por ello, el agua y la gestión de los recursos hídricos revisten una importancia estratégica para las economías y para el bienestar de la población, y se han convertido en uno de los grandes desafíos del presente siglo. A medida que

el agua se haga más escasa, se intensificarán los conflictos sobre su utilización, lo que hará ineludible la intervención en numerosos frentes.

Existen actualmente tecnologías para abordar los problemas provocados por la escasez de agua y, en cierta medida, los debidos a situaciones extremas hidrometeorológicas (Brooks *et al.*, 1997). Para poder llegar a verdaderas soluciones, será preciso superar varios obstáculos, en particular la escasez de tierras y unas políticas e instituciones inadecuadas que impiden una respuesta eficaz (Kundzewicz, 1997; Rosegrant, 1997; Scherr y Yadav, 1996). Aunque el aprovechamiento de la tierra y el agua dulce están inextricablemente vinculados, pocas veces se gestionan en forma concertada. La utilización de la tierra y de los recursos hídricos aguas arriba puede repercutir en las comunidades que se encuentran aguas abajo y en su utilización de este recurso, y viceversa. Estas vinculaciones se observan fácilmente desde una perspectiva basada en las cuencas hidrográficas, pero no siempre se tienen plenamente en cuenta cuando se formulan las respuestas a los problemas locales, nacionales e internacionales.

El Año Internacional de las Montañas 2002 (véase [www.mountains2002.org](http://www.mountains2002.org)) consiguió centrar la atención mundial en la utilización de la tierra y el agua en las cuencas hidrográficas de las zonas montañosas. En cuanto cabeceras de los grandes ríos del mundo, muchas de las cuales están o estuvieron en su tiempo ocupadas por bosques, son una pieza clave para la ordenación de los recursos de agua dulce. Es preciso comprender la relación entre los bosques y los recursos de agua dulce en las regiones tanto tropicales como templadas para poder administrarlas mejor y sostener la productividad de las tierras altas sin resultados nocivos para los seres humanos ni para el suelo y al agua que les permiten sobrevivir. Para aumentar las posibilidades de lograr esos objetivos habrá que adop-

*Las cuencas hidrográficas de montaña son esenciales para el abastecimiento fiable de agua dulce (Suiza).*

tar una perspectiva de ordenación por cuencas hidrográficas en la planificación, seguimiento y ejecución de los programas de desarrollo de los bosques, recursos hídricos y zonas agrícolas y urbanas.

La pérdida de cubierta forestal y la dedicación de la tierra a otros usos pueden repercutir negativamente en los suministros de agua dulce y agravar las catástrofes humanas resultantes de las situaciones extremas hidrometeorológicas. La situación de las cuencas hidrográficas se puede mejorar y es posible facilitar la ordenación global de los recursos hídricos si los bosques se ordenan teniendo en cuenta los objetivos hidrológicos. Por ello, aunque no sean la panacea universal para la resolución de los problemas relacionadas con el agua, los bosques pueden ofrecer beneficios económicos y ambientales tangibles. Una perspectiva basada en las cuencas hidrográficas ayuda a descubrir esos beneficios tanto aguas arriba como aguas abajo.

Los bosques se concentran en zonas con gran cantidad de agua, normalmente donde las precipitaciones son abundantes o en las zonas ribereñas donde la humedad del suelo es elevada. La comprensión de la influencia de los bosques en el agua dio lugar al establecimiento del sistema forestal nacional en los Estados Unidos, ya que la cubierta forestal se consideraba necesaria para mantener el caudal de los ríos (Lee, 1980). Posteriormente se comprobó que la mayor parte de los bosques utilizaban gran cantidad de agua, en contra de lo que se pensaba hasta entonces. En este capítulo se resumen los efectos de los bosques en los recursos de agua dulce y se señalan algunas de las maneras en que los bosques y la ordenación forestal pueden ayudar a conseguir los objetivos de ordenación de los recursos hídricos.

Las cuencas hidrográficas cubiertas de bosques son sistemas hidrológicos excepcionalmente estables. A diferencia de otras formas de aprovechamiento de la tierra, los bosques que gozan de buen estado de salud:



DEPARTAMENTO DE MONTES DE LA FAO/FO-0339/T. HOJER

- influyen considerablemente en el volumen de agua obtenida de las cuencas hidrográficas;
- descargan agua de la máxima calidad;
- permiten reducir el volumen máximo y total del caudal de agua resultante de las precipitaciones;
- moderan la variación entre los caudales máximos y mínimos a lo largo del año;
- garantizan la mayor estabilidad del suelo y frenan su desplazamiento y la erosión en cárcavas y superficial;
- exportan el menor volumen de sedimentos aguas abajo.

## **BOSQUES, AGUA ATMOSFÉRICA Y RENDIMIENTO HÍDRICO**

Desde hace tiempo, la relación entre bosques, humedad atmosférica y rendimiento hídrico es objeto de controversia. Lee (1980) observó que la coincidencia natural entre cubierta forestal y mayor abundancia de precipitaciones explica al menos en parte el concepto popular de que los bosques aumentan o atraen las precipitaciones, lo que lleva a suponer que su eliminación las reduciría de forma significativa. En cifras globales, no ocurre así; la eliminación de toda la cubierta forestal sólo reduciría la precipitación mundial

entre un 1 y un 2 por ciento, como mucho (Lee, 1980). Calder (1999a) indicó además que la deforestación tiene pocas repercusiones en la precipitación regional, aunque podrían darse excepciones en las cuencas donde las precipitaciones dependen en buena manera de pautas de circulación basadas en factores internos, como en la cuenca del Amazonas. Aun así, se ha estimado que la deforestación total y la sustitución por vegetación no forestal reducirían las precipitaciones en las cuencas hidrográficas menos del 20 por ciento (Brooks *et al.*, 1997).

No obstante, hay circunstancias en que los bosques interceptan la niebla o las nubes bajas (bosques nublados), lo que permite concentrar parte de la humedad que de otra manera se dispersaría en la atmósfera. La relación entre bosques y rendimiento hídrico difiere según que se trate de bosques nublados o no nublados.

### Bosques nublados y rendimiento hídrico

Los bosques nublados se encuentran a lo largo de las zonas costeras de los climas templados y también en las regiones de montaña tropicales, donde la niebla o las nubes bajas son frecuentes. Los bosques interceptan la humedad atmosférica (precipitación horizontal), que se condensa y cae de las ramas y hojas, con lo que se humedece el suelo. No aumentan las precipitaciones, pero los bosques retienen una humedad que se dispersaría con una cubierta vegetal baja. A continuación se representan algunos ejemplos de aumento de la producción de agua dulce gracias a la acción de los bosques nublados.

- Los bosques costeros de la franja de niebla del oeste de Oregón (Estados Unidos) aumentan el rendimiento hídrico (Harr, 1982; Ingwersen, 1985). La eliminación de los bosques de coníferas antiguos en la cuenca hidrográfica municipal de Portly, en ese estado, redujo la escorrentía de aguaceros de verano, pero la regeneración de la vegetación hizo que el volumen de dicha escorrentía volviera a la normalidad en el plazo de cinco a seis años.
- El aumento del volumen de agua por la acción de los bosques nublados de montaña varía de acuerdo con la altitud, el lugar y la estación (Bruijnzeel y Proctor, 1993). El coeficiente entre precipitación horizontal y lluvias anuales varía entre el 4 y el 85 por ciento, correspondiendo los mayores valores a la estación seca, mientras que la precipitación horizontal media variaba entre 0,2 y 4 mm al día. La escorrentía de aguacero anual procedente de los bosques nublados de montañas tropicales con

un determinado volumen de precipitaciones era mayor que en el caso de otros bosques tropicales. La respuesta de la escorrentía a la conversión de los bosques nublados de montaña tropicales a otras formas de aprovechamiento de la tierra no se ha documentado ampliamente, aunque se han emprendido investigaciones en América Central (Calder, 1999b, citado por Kaimowitz, 2000).

### Bosques no nublados y rendimiento hídrico

Al margen de las regiones de bosques cubiertos de niebla o de nubes en las montañas tropicales, los bosques en general consumen gran cantidad de agua. Más de cien experimentos realizados en cuencas hidrográficas de todo el mundo han demostrado que la eliminación de los bosques aumenta el caudal de agua, en cifras cuya magnitud varía según el clima y tipo de bosque y disminuye a medida que se regeneran los bosques (Bari *et al.*, 1996; Bosch y Hewlett, 1982; Lesch y Scott, 1997; Verry, Hornbeck y Todd, 2000; Whitehead y Robinson, 1993). Cuando los bosques se sustituyen por otras formas de aprovechamiento de la tierra, el aumento del caudal se mantiene. Con pocas excepciones, los resultados revelan lo siguiente:

- La eliminación de la cubierta forestal aumenta el rendimiento hídrico anual entre 60 y 650 mm. La magnitud del aumento es en general proporcional al volumen de la biomasa eliminada y es mayor en las zonas más húmedas. Son pocos los efectos observados en las zonas secas, con precipitación anual inferior a 400 mm.
- El caudal durante las estaciones secas en general aumenta después del aclareo o eliminación de los bosques.
- Los bosques con altas tasas de intercepción (por ejemplo, los de coníferas) o de transpiración (por ejemplo, los de eucaliptos) aportan menos agua que los que presentan niveles de intercepción y transpiración más bajos. Por ello, sería de prever que el rendimiento hídrico aumente si los bosques de coníferas se sustituyen por bosques de frondosas y que disminuya si las coníferas sustituyen a las frondosas, arbustos o gramíneas (véase el recuadro, pág. 77).

### BOSQUES, INUNDACIONES Y FLUJOS DE DETRITOS

En comparación con cualquier tipo de vegetación, los bosques reducen los flujos de detritos y aumentan la estabilidad de los suelos, debido a sus altas tasas de infiltración, a la cubierta protectora del suelo, al

### Una enseñanza aprendida en Fiji

La repoblación forestal redujo el aporte hídrico a un embalse para abastecimiento de agua en Fiji (Drysdale, 1981). En la parte de sotavento de dos de las mayores islas de Fiji, se sustituyó la vegetación arbustiva por 60 000 ha de *Pinus caribaea*, plantadas para establecer una actividad basada en la explotación de la madera. Seis años después de la plantación del bosque, el volumen de agua recibido por un embalse situado aguas abajo había descendido entre un 50 y un 60 por ciento. Las superficies repobladas no se encontraban en un entorno semejante al de los bosques nublados. Si en el plan de repoblación forestal se hubieran tenido en cuenta los recursos de agua dulce,

se habrían elegido no coníferas sino especies con tasas más bajas de interceptación y transpiración.

La experiencia de Fiji convenció a la Oficina de Conservación del Agua de Beijing de la necesidad de modificar sus planes de sustituir acacias chinas y arbustos por pinos en la zona de captación del embalse de Miyun, importante fuente de abastecimiento hídrico para Beijing. Los responsables de la planificación habían pensado, erróneamente, que la introducción del pino aumentaría la aportación hídrica al embalse, mientras que el resultado habría sido exactamente el contrario.

*La tala de árboles (arriba) y la construcción de carreteras (abajo) en las zonas de montaña pueden provocar una intensa erosión del suelo y corrimientos de tierra (Nepal).*

elevado consumo de agua del suelo y a la fuerte resistencia de las raíces a la tracción. Estos atributos son especialmente beneficiosos en los terrenos montañosos expuestos a precipitaciones torrenciales. La eliminación de bosques y construcción de carreteras son problemáticas en esos lugares, y dan lugar a un aumento de la frecuencia y magnitud de las avalanchas y flujos de detritos (Sidle, 2000). No obstante, la protección ofrecida por los bosques tiene un límite, como se comprobó en Taiwán, Provincia de China (véase el recuadro, pág. 78), donde casi todas las cuencas hidrográficas montañosas están cubiertas de bosques, lo que se aprovecha para estabilizar las laderas y controlar los torrentes (Lu, Cheng y Brooks, 2001). En los casos de precipitaciones extremas, disminuye la protección que los bosques pueden ofrecer para evitar avalanchas, flujos de detritos e inundaciones.

Muchas veces se pregunta hasta qué punto influye la cubierta forestal en las inundaciones. En el norte de Minnesota (Estados Unidos), los caudales máximos



### Tifones, avalanchas y flujos de detritos en Taiwán, Provincia de China

Las inundaciones, avalanchas y flujos de detritos resultantes de un promedio de tres a cuatro tifones al año provocan grandes daños personales y materiales en la isla montañosa de Taiwán, Provincia de China. Aproximadamente el 53 por ciento de la isla tiene pendientes con inclinación superior a 21°, y más de 100 picos superan los 3 000 m por encima del nivel del mar (Lee, 1981). Los suelos poco profundos que recubren formaciones geológicas débiles, fracturadas y erosionadas, hacen que las avalanchas llenen de desechos los empinados canales, lo que representa un grave peligro debido a que se producen flujos de detritos.

En 1996, durante el tifón Herb, particularmente destructivo, en las zonas elevadas se registraron precipitaciones de más de 1 985 mm en 42 horas (Lu, Cheng y Brooks, 2001). Se produjeron avalanchas y flujos de detritos en toda la isla, en muchos casos en las proximidades de los caminos y en los canales de drenaje donde el bosque tradicional había dejado paso al cultivo de té, hortalizas y areca, pero también en las zonas cubiertas de bosques. Dado el volumen e intensidad de las precipitaciones, se registraron flujos de detritos e inundaciones en lugares muy diversos, independientemente de la forma de aprovechamiento de la tierra.

generados por precipitaciones con período de recurrencia de 25 a 30 años aumentó cuando se taló el 70 por ciento de la cubierta forestal en una pequeña cuenca hidrográfica (Lu, 1994; Verry, 2000). Las grandes inundaciones (período de recurrencia > 100 años) no se vieron afectadas por la eliminación de la cubierta forestal, lo que confirma la opinión de Hewlett (1982) de que los cambios en la cubierta forestal tienen pocas repercusiones en las grandes inundaciones de las mayores corrientes de agua. Otra consideración importante es que los flujos máximos del período de recurrencia de 1,5 a 2 años se duplicaron con creces cuando se duplicó la cubierta forestal.

Los acontecimientos hidrológicos extremos son consecuencia de procesos naturales de erosión y transporte de sedimentos que se interrelacionan con sistemas humanos (Davies, 1997). Cuando la escasez de tierra hace que la población y sus viviendas se concentren en zonas peligrosas, se producirán catástrofes independientemente de que las tierras altas estén cubiertas de bosques o no. Esta es la situación de Taiwán, Provincia de China, con una densidad de población próxima a 600 habitantes por kilómetro

cuadrado. Las personas que viven en las pendientes pronunciadas, en las desembocaduras de las pequeñas cuencas de drenaje y en las llanuras aluviales son necesariamente vulnerables. Se ha propuesto un plan coordinado de ordenación de cuencas hidrográficas entre distintos organismos gubernamentales con el fin de conjurar esta amenaza para las comunidades que se encuentran tanto en las zonas altas como en las más bajas (Lu, Cheng y Brooks, 2001).

Es preciso localizar las zonas peligrosas, y establecer políticas e instituciones que ofrezcan incentivos para alejarse de ellas. Los análisis del terreno basados en sistemas de información geográfica representan un medio de detectar los terrenos peligrosos en las cuencas hidrográficas de montaña (Gupta y Joshi, 1990; Sidle, 2000), y se conocen muy bien los métodos para delinear las cuencas hidrográficas y definir las zonas de acuerdo con el tipo y grado de riesgo (Bedient y Huber, 1988). Un ejemplo de incentivo para cambiar el comportamiento de la población es el Plan Federal de Seguro frente a las inundaciones establecido en los Estados Unidos, en virtud del cual las primas de seguro de las zonas adyacentes a los ríos están vinculadas al grado de riesgo.

### BOSQUES Y SEDIMENTACIÓN

Como las cuencas hidrográficas con bosques sanos son las que exportan los niveles más bajos de sedimentos (Brooks *et al.*, 1997), no es sorprendente que, en los embalses de suministro de agua, se utilicen con frecuencia los bosques como medio de reducir los niveles de sedimentos aguas abajo.

Larson y Albertin (1984) recomendaron la reforestación como medio de invertir un aumento tres veces mayor de la sedimentación en el embalse de Alhajueta en Panamá, después de la tala del 18,2 por ciento de la cuenca hidrográfica. Son pocos los estudios realizados, y por ello algunos consideran que los beneficios de la cubierta forestal para la protección de embalses se han exagerado (Kaimowitz, 2000). Las razones de este escepticismo son, entre otras, las siguientes:

- insuficiente seguimiento y, por lo tanto, limitadas pruebas empíricas que vinculen los cambios forestales con los niveles de sedimentación en los embalses;
- pequeña superficie de las cuencas hidrográficas donde se han producido cambios en la cubierta forestal, por lo que son pocos los efectos observados;

- gran distancia entre los proyectos de cuencas hidrográficas situadas aguas arriba y los embalses que se encuentran aguas abajo, que enmascara los efectos;
- reconocimiento de que otros factores, como la explotación de la tierra con fines no forestales, puede aumentar los picos de escorrentía y afectar a la sedimentación.

El depósito de sedimentos aguas abajo se ve afectado tanto por los cambios en volumen de escorrentía procedente de las cuencas hidrográficas situadas aguas arriba como por las modificaciones que se producen a orillas de la corriente de agua (Rosgen, 1994; Tabacchi *et al.*, 2000). El nivel de sedimentos de los ríos está determinado tanto por la disponibilidad de sedimentos como por el volumen de la escorrentía. La descarga más eficaz para el transporte de sedimentos es la que coincide con la capacidad máxima (cuando el cauce del río está lleno pero sin desbordarse), que suele corresponder aproximadamente al flujo máximo medio anual. Cuando la explotación de la tierra hace aumentar el volumen de estos caudales, el cauce se inestabiliza y aumenta el nivel de sedimentos, independientemente de que se hayan reducido o no las tasas de erosión. Los bosques ribereños sanos pueden reducir también los niveles de sedimentos filtrando las aportaciones de la erosión del suelo a los canales y manteniendo estables los márgenes. Por ello, la degradación de tierras forestales elevadas puede combinarse con la de los bosques ribereños y aumentar la aportación de sedimentos a los embalses.

## BOSQUES Y CALIDAD DEL AGUA

La contaminación del agua dificulta su utilización por los usuarios que se encuentran aguas abajo y perjudica gravemente la salud humana. La calidad excepcionalmente elevada del agua procedente de las cuencas hidrográficas cubiertas de bosques es la principal razón de la preferencia por los bosques protegidos para las cuencas hidrográficas municipales. Los bosques establecen eficientemente un ciclo de nutrientes y productos químicos y disminuyen los sedimentos exportados, reduciendo así las sustancias contaminantes, como el fósforo y algunos metales pesados. La tasa inferior de escorrentía de precipitaciones reduce también la carga de todos los nutrientes y contaminantes que penetran en las masas de agua.

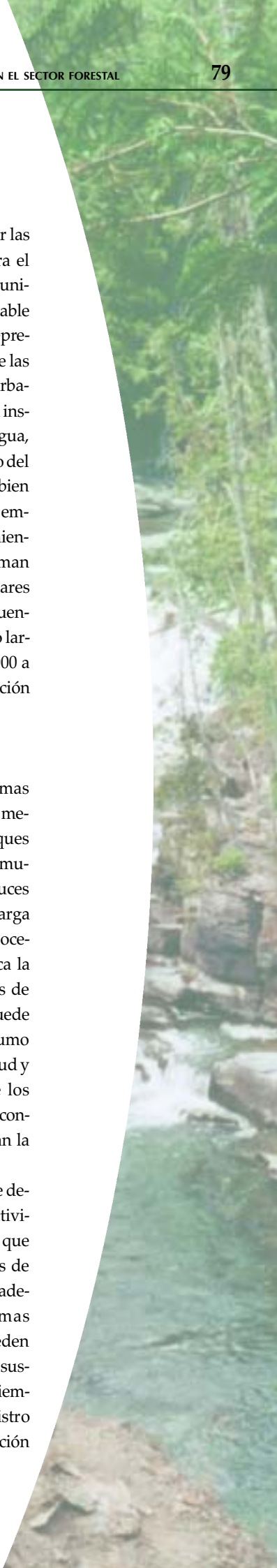
En muchos países en desarrollo, las necesidades de alimentos y recursos de la población rural pobre, junto con la escasez de tierra y las limitaciones institu-

cionales, obstaculizan los esfuerzos para proteger las cuencas hidrográficas cubiertas de bosques para el suministro de agua con destino a los servicios municipales. No obstante, los problemas del agua potable contaminada y las consiguientes enfermedades representan un fuerte peligro para el bienestar tanto de las poblaciones rurales como de las comunidades urbanas. En muchos lugares se necesitan con urgencia instalaciones de almacenamiento y transporte de agua, junto con mejoras en el saneamiento y tratamiento del agua. Las zonas de captación cubiertas de bosque bien gestionado que se encuentran por encima de los embalses pueden hacer que las necesidades de tratamiento del agua sean mínimas. Echavarría y Lochman (1999) señalaron que los 1 000 millones de dólares EE.UU. gastados en mejorar la ordenación de las cuencas hidrográficas de la ciudad de Nueva York a lo largo de 10 años podrían permitir un ahorro de 4 000 a 6 000 millones de dólares EE.UU. para la construcción de nuevas instalaciones de tratamiento de agua.

## Bosques ribereños

Las zonas forestales de transición y los sistemas agrosilvícolas situados junto a las masas de agua mejoran todavía más la calidad de ésta. Los bosques ribereños, olvidados durante mucho tiempo y en muchos casos explotados, ayudan a estabilizar los cauces de los arroyos, reducir la pérdida de agua y la descarga de productos químicos en las masas de agua procedentes de las tierras altas y mantener más fresca la temperatura del agua, mejorando así los niveles de oxígeno disuelto en ella (Brooks *et al.*, 1997). Se puede lograr una mayor calidad del agua para el consumo humano, lo que representa una mejora para la salud y la productividad y una mayor diversidad de los ecosistemas acuáticos, incluidos los manglares. En consecuencia, los bosques ribereños sanos aumentan la producción de pescado.

Los sistemas ribereños se explotan fuertemente debido a su proximidad al agua y a su gran productividad para pastoreo y actividades agrícolas, por lo que no es realista tratar de impedir todas las formas de explotación. No obstante, con una ordenación adecuada, los bosques ribereños y los sistemas agrosilvícolas próximos a las masas de agua pueden mitigar los efectos de la descarga de nutrientes, sustancias químicas y desechos humanos. Al mismo tiempo, estos sistemas pueden ser una fuente de suministro de leña, forraje y otros productos para la población rural pobre.



## **CUENCAS HIDROGRÁFICAS: RECONOCIMIENTO DE LA VINCULACIÓN ENTRE LAS ZONAS QUE SE ENCUENTRAN AGUAS ARRIBA Y AGUAS ABAJO**

### **Escala y efectos acumulativos**

Los beneficios del agua dulce para las zonas que se encuentran aguas abajo son consecuencia natural de una ordenación acertada de los bosques de tierras altas y ribereñas, pero la ordenación puede orientarse también a objetivos relacionados específicamente con el agua dulce. En uno y otro caso, los beneficios pueden quedar enmascarados por aspectos espaciales, por ejemplo, la ubicación y carácter difuso de las prácticas de explotación de la tierra y sus efectos; la escala de las actividades en proporción con el tamaño de la cuenca hidrográfica, y el tiempo necesario para que los beneficios se hagan realidad. Los cambios ocurridos en la tierra pueden tener efectos incrementales que quizá no se hagan patentes de forma individual pero que pueden ser considerables en toda una cuenca hidrográfica y a lo largo del tiempo. Esta complejidad ha impedido a las autoridades de muchos lugares del mundo ver con claridad la situación y ha debilitado su compromiso con la ordenación de las cuencas hidrográficas. No obstante, estos efectos acumulativos deben tenerse en cuenta en las evaluaciones ambientales y económicas.

Los efectos acumulativos de la explotación de la tierra en el caudal del agua, la carga de sedimentos y los contaminantes aguas abajo pueden apreciarse con especial claridad en las islas, cuando la extensión es no de centenares sino de unos pocos kilómetros. Por ejemplo, la deforestación y las prácticas de cultivo utilizadas en las islas del Caribe y del Pacífico parecen estar vinculadas con la degradación de los estuarios, los arrecifes de coral y las correspondientes pesquerías. En Jamaica oriental, la sustitución de los bosques por el cultivo de café de montaña ha aumentado la erosión de los suelos y la exportación de productos químicos, lo que ha contribuido a la degradación de los arrecifes de coral (K. Eckman, comunicación personal, 2002). Estas vinculaciones son claras en las cuencas fluviales, pero en los sistemas de mayor amplitud los efectos a veces tardan decenios en hacerse patentes y pueden quedar enmascarados por otras prácticas de aprovechamiento de la tierra. Un ejemplo de estos efectos es el agotamiento del oxígeno en el Golfo de México, que se ha atribuido en parte a la contaminación agrícola difusa de la cuenca del río Misisipi, en los Estados Unidos. Los estados del oeste medio están tratando de restablecer

los bosques ribereños y las tierras húmedas y de mejorar el aprovechamiento de las tierras agrícolas con el fin de reducir la carga diaria máxima total del río Misisipi, de conformidad con la legislación federal en la que se pide a todos los estados que mejoren las masas de agua deterioradas. Se están formulando y promoviendo programas de plantación de árboles y bosques urbanos y periurbanos para resolver los problemas de la pobreza y de la seguridad alimentaria así como para contribuir a la protección y aprovechamiento sostenible de los recursos de tierras.

### **Consideraciones económicas**

La ordenación forestal y otras mejoras en las cuencas hidrográficas con el fin de proteger y ordenar los recursos de agua dulce requieren una justificación económica. La perspectiva basada en las cuencas hidrográficas ofrece mayor claridad para determinar el valor económico de los bosques con tales fines. Johnson, White y Perrot-Maître (2001) han destacado la importancia económica de los servicios de los ecosistemas relacionados con el agua ofrecidos por los bosques. No obstante, no se ha llevado a cabo hasta ahora ningún análisis económico completo que tenga en cuenta toda la diversidad de esos beneficios, debido a una serie de dificultades. Entre ellas figuran la falta de seguimiento y evaluación de los servicios de las cuencas hidrográficas como consecuencia de los proyectos forestales; las dificultades para atribuir un valor exacto a muchos servicios, en particular los que no son objeto de comercio y, finalmente, las subvenciones vinculadas al agua. En muchos lugares del mundo, el agua está fuertemente subvencionada y en muchos casos se considera como un bien gratuito. Su escasez está obligando ahora a determinar el valor del agua dulce de forma más realista. Por el contrario, no se han tenido plenamente en cuenta los beneficios económicos de los bosques bien ordenados o protegidos, por ejemplo, en forma de reducción de las pérdidas provocadas por la erosión de los suelos, los flujos de detritos, la sedimentación y las inundaciones.

Un resultado positivo de la escasez de agua puede ser una mejor valoración económica de las cuencas hidrográficas. Está surgiendo lo que algunos llaman la nueva economía mundial del agua, en que el agua dulce se considera más como un producto económico que como un recurso regulado por las autoridades públicas (Anderson, 2002). Por ejemplo, en el sur de California (Estados Unidos) los agricultores pagan 8,11 dólares EE.UU. por 1 000 l de agua en comparación con los

1 622 dólares pagados por la ciudad de Santa Bárbara. En esta última el agua es más valiosa que los cultivos que se riegan, lo que significa que algunos agricultores venden sus suministros a los municipios. En tales casos, quizá haya una justificación económica para la ordenación de las cuencas hidrográficas cubiertas de bosques en función del suministro de agua.

La nueva economía del agua debe superar algunos obstáculos en los países en desarrollo, donde ésta se ha considerado muchas veces como un bien gratuito debido a prácticas tradicionales y creencias religiosas (Rosegrant y Cline, 2002). Una asignación más eficiente del agua y políticas innovadoras de fijación de precios pueden representar incentivos en favor de la ordenación forestal orientada a mejorar el suministro de agua. Las políticas que continúan tratando el agua como un bien gratuito o fuertemente subvencionado seguirán promoviendo el despilfarro tanto en los países en desarrollo como en los desarrollados. Johnson, White y Perrot-Maître (2001) han propuesto mecanismos financieros que puedan mejorar el restablecimiento, mantenimiento y mejora de los servicios relacionados con el agua gracias a las cuencas hidrográficas cubiertas de bosques.

En la mayor parte de los casos, existen ya métodos para realizar los necesarios análisis financieros y económicos. Los datos relativos a la situación aguas arriba y aguas abajo, algunas veces muy incompletos, se traducen en beneficios y costos que permitirían comparar la situación con y sin esas medidas (FAO, 1987). Este planteamiento se ha utilizado para evaluar los proyectos de cuencas hidrográficas en Marruecos y China, que comprenden, entre otras cosas, cambios en la cubierta forestal y medidas de ordenación (Brooks *et al.*, 1981; Shuhuai *et al.*, 2001). En ambos casos, la mejora de las cuencas hidrográficas, con inclusión de los bosques y de la agrosilvicultura, resultaba económicamente viable (con tasas de rentabilidad económica del 10 al 16 por ciento) cuando se combinaban los beneficios relativos a la producción y a los recursos hídricos.

Pueden utilizarse modelos hidrológicos informatizados para examinar los efectos inducidos por el hombre en las cuencas hidrográficas. Los cambios en el rendimiento hídrico, inundaciones y transporte de sedimentos, por ejemplo, pueden simularse y relacionarse con lugares específicos donde presentan interés los beneficios y costos económicos. Los efectos acumulados del desarrollo agrícola, la pérdida de bosques ribereños en las llanuras de inundación y el drenaje de las tierras húmedas se simularon en el caso de una

cuenca hidrográfica del río Minnesota en los Estados Unidos, utilizando el modelo Hydrocomp Simulation Program – Fortran (Miller, 1999). Estos cambios del aprovechamiento de la tierra aumentaron el caudal y las descargas máximas anuales, lo que podría estar relacionado con la «pérdida de almacenamiento» en la cuenca. Hey (2001) determinó que los daños producidos aguas abajo como consecuencia de una gran inundación reciente se podrían haber reducido de forma significativa restableciendo en la cuenca extensiones suficientes de cubierta forestal ribereña, llanuras de inundación y tierras húmedas. Llegó a la conclusión de que había razones para indemnizar a los agricultores por estas actividades de conversión de la tierra, habida cuenta de la reducción de pérdidas económicas como consecuencia de futuras inundaciones. Estos planteamientos innovadores deben examinarse en el contexto de las cuencas hidrográficas tropicales y de los países en desarrollo, con hincapié en la elaboración de modelos de simulación informatizados.

### Consideraciones institucionales y normativas

Para ordenar mejor los bosques y los recursos hídricos con el fin de contribuir al bienestar humano no bastan simplemente los conocimientos técnicos. Si bien la información técnica puede servir de base para evaluar la vinculación entre las distintas zonas de una cuenca hidrográfica y para realizar análisis económicos, la transformación de esta información en prácticas de gestión supone la participación eficaz de las partes interesadas con el fin de llegar a un consenso y ofrecer incentivos para la aplicación (Eckman, Gregersen y Lundgren, 2000). Debe crearse un entorno normativo que no entorpezca sino, más bien, favorezca la integración de la ordenación de tierras y aguas.

Como los límites políticos y los de las cuencas hidrográficas no suelen coincidir, la coordinación de la ordenación de tierras y aguas exige la existencia de organizaciones capaces de resolver los conflictos sobre la utilización del agua y las cuestiones transfronterizas. La ausencia de organizaciones eficaces con competencia en cuencas hidrográficas enteras dio lugar a la formación de más de 1 500 distritos hidrográficos en los Estados Unidos durante el decenio de 1990 para tener en cuenta la relación entre las tierras altas y bajas de una misma cuenca (Lant, 1999). Los países de la cuenca del Nilo establecieron una asociación de nueve países ribereños para resolver los problemas transfronterizos y avanzar hacia una forma de desarrollo más sostenible (Baecher *et al.*, 2000). Las desigualdades en la distribu-



ción del agua en esta región resultan todavía mayores debido a que más del 80 por ciento del caudal del bajo Nilo, del que dependen el Sudán y Egipto, se origina en las zonas montañosas de Etiopía. Sin cooperación ni coordinación, podrían surgir claramente conflictos sobre la ordenación y aprovechamiento del agua.

Se necesita una mejor comprensión de los procesos y planteamientos para las grandes cuencas fluviales, y el Año Internacional del Agua Dulce, en 2003, representa una oportunidad para que los interesados compartan experiencias a fin de prepararse mejor para el futuro.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La escasez de agua dulce es un problema mundial que requiere una ordenación más eficiente de los recursos hídricos, desde las pequeñas cuencas locales hasta las grandes cuencas fluviales. El Año Internacional del Agua Dulce, en 2003, puede ayudar a centrar la atención mundial en los problemas y soluciones y en la necesidad de un planteamiento integrado para hacer frente a la escasez, por un lado, y al exceso, por el otro. Los bosques pueden contribuir de forma importante al suministro de agua dulce, pero su ordenación debe ser complementaria de la ordenación de los recursos hídricos. Se cuenta ya con tecnologías adecuadas, pero para su puesta en práctica se necesitan políticas e instituciones que promuevan el diálogo y la cooperación intersectorial. A continuación se indican algunos posibles medios para conseguir que la ordenación de los bosques y del agua se apoyen mutuamente.

Debe prestarse gran atención a las cuencas hidrográficas situadas en bosques de montaña, ya que son la principal fuente de agua dulce del mundo, pero también en cuanto posible origen de avalanchas, torrentes e inundaciones. Las personas que habitan en las cabeceras de las cuencas hidrográficas y las que se encuentran en las tierras bajas dependen del agua dulce procedente de las zonas montañosas y sienten también los efectos de las situaciones hidrometeorológicas extremas. Entre las medidas adoptadas para evitar o mitigar las catástrofes en las tierras montañosas deberían figurar:

- el mantenimiento de una cubierta forestal adecuada en las cuencas montañosas que están sujetas a precipitaciones torrenciales; y
- la formulación de programas que combinen la protección forestal con el establecimiento de zonas, la gestión de las llanuras de inundación y las obras de ingeniería necesarias para proteger a las perso-

nas frente a las avalanchas, los flujos de detritos y las inundaciones.

Los bosques se pueden ordenar de tal manera que aumenten el suministro de agua dulce, pero siempre en el contexto de programas integrados y multi-sectoriales de ordenación de los recursos hídricos. Es preciso reconocer el valor económico del agua y de las zonas de donde procede. Si se reducen las subvenciones y se trata el agua como un producto en vez de como un bien libre, los incentivos económicos pueden contribuir a una mejor ordenación de las siguientes maneras:

- El rendimiento hídrico de las cuencas municipales en los bosques no nublados puede aumentar cuando se introducen especies arbóreas con bajo uso consuntivo o cuando en las zonas boscosas se practican periódicamente actividades de aclareo y extracción de madera.
- En las zonas cubiertas de nubes, los bosques maduros deben protegerse y ordenarse de manera que se pueda mantener el caudal de agua durante los períodos de sequía.
- Los bosques ribereños deberían ordenarse con el fin de proteger la calidad del agua, lo que a su vez puede aumentar la capacidad productiva de los ecosistemas acuáticos y mejorar la salud y bienestar de las poblaciones humanas locales. Además, deberían utilizarse lo más posible los sistemas de protección agroforestal, que pueden conseguir esas metas y además ofrecer alimentos, forrajes y productos madereros.
- Es preciso establecer sistemas agroforestales para las cuencas altas con el fin de aprovechar los beneficios hidrológicos de los bosques, al mismo tiempo que aumenta la producción de alimentos y recursos naturales para la población rural pobre.

Existen posibilidades de mitigar los daños económicos causados por las inundaciones y las aportaciones de sedimentos mediante la ordenación forestal de las tierras altas, las zonas ribereñas y las llanuras de inundación. Aunque las inundaciones más extensas y más nocivas de los grandes ríos no se ven afectadas por el alcance de la cubierta forestal, las inundaciones moderadas y localizadas pueden aumentar cuando se suprimen los bosques. La degradación forestal trae consigo numerosos efectos perjudiciales para el volumen y calidad de los recursos hídricos. Los bosques de tierras altas y ribereños, debidamente ordenados, pueden mantener bajos niveles de aportación de sedimentos a los ríos, lagos y embalses.

En la planificación y gestión del aprovechamiento de los bosques, aguas y tierras urbanas y agrícolas debería incorporarse la perspectiva de las cuencas hidrográficas. Ésta es necesaria en el plano local así como en las más altas instancias de gobierno, con el fin de promover soluciones sostenibles.

Deben establecerse los incentivos y los medios necesarios para conseguir los objetivos relacionados con el agua dulce mediante instituciones y políticas de ordenación de los bosques y otros usos de la tierra, desde las cuencas locales hasta las grandes cuencas fluviales. La cooperación y el diálogo intersectorial son necesarios para conseguir los objetivos de ordenación y resolver los desequilibrios entre quienes pagan y se benefician de los cambios ocurridos en la utilización de los recursos tanto en las zonas altas como aguas abajo. Es preciso realizar más análisis económicos para comprender mejor estas desigualdades y resolverlas. La nueva economía del agua facilitará la justificación de los cambios en el aprovechamiento de la tierra como medio de mejorar el suministro de agua. Debería tenerse en cuenta la posibilidad de compensar a los habitantes que mejoran los bosques y otras formas de aprovechamiento de la tierra que reducen las pérdidas aguas abajo. El entorno normativo y el apoyo institucional pueden mejorar con los siguientes medios:

- mayor comprensión de los procesos y planteamientos necesarios para los sistemas de ordenación aguas arriba y aguas abajo, en el contexto de una mejor ordenación de los recursos hídricos y del desarrollo sostenible;
- ampliación de los programas de educación y capacitación orientados a los habitantes de las cuencas locales y a instancias superiores hasta llegar a los máximos responsables de la formulación de políticas;
- mejor comprensión y armonización del papel de los bosques en la ordenación de los recursos de agua dulce, con especial insistencia en los programas de demostración y extensión destinados a los usuarios locales de la tierra y el agua;
- intensificación de las actividades de seguimiento y evaluación de los proyectos, así como de las investigaciones sobre cuencas hidrográficas situadas en bosques tropicales de países en desarrollo, dado que muchas de las preguntas que se plantearon en los decenios de 1970 y 1980 acerca de la función hidrológica de los bosques tropicales no han recibido todavía respuesta, o al menos ésta no se ha documentado suficientemente.

Es preciso insistir en los aspectos tanto socio-económicos como técnicos para que la información resultante pueda servir de base a la elaboración de nuevas tecnologías y políticas que permitan mejorar el bienestar de las personas gracias a una más eficaz ordenación de los bosques y de los recursos de agua dulce. ♦

## BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, T.L.** 2002. Water: from a public resource to a market commodity. *Water Resources Impact*, 4(1): 4-5.
- Baecher, G.B., Anderson, R., Britton, B., Brooks, K. y Gaudet, J.** 2000. *The Nile Basin: environmental transboundary opportunities and constraints analysis*. Borrador. Washington, DC, International Resources Group, para la Agencia para el Desarrollo Internacional (USAID).
- Bari, M.A., Smith, N., Ruprecht, J.K. y Boyd, B.W.** 1996. Changes in streamflow components following logging and regeneration in the southern forest of western Australia. *Hydrological Processes*, 10: 447-461.
- Bedient, P.B. y Huber, W.C.** 1988. *Hydrology and flood plain analysis*. Reading, Massachusetts, Estados Unidos, Addison-Wesley.
- Bosch, J.M. y Hewlett, J.D.** 1982. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology*, 55: 3-23.
- Brooks, K.N., Ffolliott, P.F., Gregersen, H.M. y DeBano, L.F.** 1997. *Hydrology and the management of watersheds*. 2ª edición. Ames, Iowa, Estados Unidos, Iowa State University Press.
- Brooks, K.N., Gregersen, H.M., Berglund, E.R. y Tayaa, M.** 1981. Economic evaluation of watershed projects: an overview of methodology and application. *Water Resources Bulletin*, 18: 245-250.
- Bruijnzeel, L.A. y Proctor, J.** 1993. Hydrology and biogeochemistry of tropical montane cloud forests: what do we really know? En L.S. Hamilton, J.O. Juvik y N. Scatena, eds. *Tropical montane cloud forests*, p. 38-78. Nueva York, NY, Estados Unidos, Springer-Verlag.
- Calder, I.R.** 1999a. *The blue revolution, land use and integrated water resource management*. Londres, Earthscan.
- Calder, I. R.** 1999b. *Panama Canal watershed: hydrological study preparation*. (Multicopiado.)

- Davies, T.R.H.** 1997. Using hydroscience and hydrotechnical engineering to reduce debris flow hazards. En C. Chen, ed. *Debris-flow hazards mitigation: mechanics, prediction, and assessment*, p. 787-810. Proceedings of the 1st International Conference of the American Society of Civil Engineers. Nueva York, NY, Estados Unidos, American Society of Civil Engineers.
- Drysdale, P.J.** 1981. Status of general and forest hydrology research in Fiji. Working paper. En *Country papers on the status of watershed forest influence research in Southeast Asia and the Pacific*. Honolulu, Hawaii, Estados Unidos, East-West Center.
- Echavarría, M. y Lochman, L.** 1999. *Policy mechanisms for watershed conservation: case studies*. Arlington, Virginia, Estados Unidos, Nature Conservancy.
- Eckman, K., Gregersen, H.M. y Lundgren, A.L.** 2000. Watershed management and sustainable development: lessons learned and future directions. En *Land stewardship in the 21<sup>st</sup> century: the contributions of watershed management*, p. 37-43. Proceedings, Rocky Mountain Research Station, RMRS-P-13. Fort Collins, Colorado, Estados Unidos, USDA Forest Service.
- Falkenmark, M.** 1989. The massive water scarcity now threatening Africa – why isn't it being addressed? *Ambio*, 18(2): 112-118.
- FAO.** 1987. *Guidelines for economic appraisal of watershed management projects*, por H.M. Gregersen, K.N. Brooks, J.A. Dixon y L.S. Hamilton. FAO Conservation Guide, No. 16. Roma.
- Gupta, R.P. y Joshi, B.C.** 1990. Landslide hazard zoning using the GIS approach – a case study from the Ramganga Catchment, Himalayas. *Engineering Geology*, 28: 119-131.
- Harr, R.D.** 1982. Fog drip in the Bull Run municipal watershed, Oregon. *Water Resources Bulletin*, 18(5): 785-789.
- Hewlett, J.D.** 1982. Forests and floods in the light of recent investigations. En *Proceedings of the Canadian Hydrology Symposium '82 on hydrological processes of forested areas*, p. 543-559. Ottawa, National Research Council of Canada.
- Hey, D.L.** 2001. *Modern drainage design: the pros, the cons, and the future*. Presentation at Annual Meeting of the American Institute of Hydrology. Bloomington, Minnesota, Estados Unidos, 14-17 de octubre de 2001.
- IIPA.** 2001. *Overcoming water scarcity and quality constraints*. 2020 Focus, Vol. 9. Disponible en Internet: [www.ifpri.org/2020/focus/focus09.htm](http://www.ifpri.org/2020/focus/focus09.htm)
- Ingwersen, J.B.** 1985. Fog drip, water yield, and timber harvesting in the Bull Run municipal watershed, Oregon. *Water Resources Bulletin*, 21(3): 469-473.
- Johnson, N., Revenga, C. y Echeverría, J.** 2001. Managing water for people and nature. *Science*, 292: 1071-1072.
- Johnson, N., White, A. y Perrot-Maitre, D.** 2001. *Developing markets for water services from forests – issues and lessons for innovators*. Washington, DC, Forest Trends/World Resources Institute/Katoomba Group.
- Kaimowitz, D.** 2000. *Useful myths and intractable truths: the politics of the link between forests and water in Central America*. San José, Costa Rica, Centro de Investigación Forestal Internacional (CIFOR).
- Kundzewicz, Z.W.** 1997. Water resources for sustainable development. *Hydrological Sciences – Journal des Sciences Hydrologiques*, 42(4): 467-480.
- Lant, C.L.** 1999. Introduction, human dimensions of watershed management. *Journal of American Water Resources Association*, 35: 483-486.
- Larson, C.L. y Albertin, W.** 1984. Controlling erosion and sedimentation in the Panama Canal watershed. *Water International*, 9: 161-164.
- Lee, R.** 1980. *Forest hydrology*. Nueva York, NY, Estados Unidos, Columbia University Press.
- Lee, S.W.** 1981. Landslides in Taiwan. En *Problems of soil erosion and sedimentation*, p. 195-206. Proceedings of the South-East Asian Regional Symposium. Bangkok, 27-29 de enero de 1981. Bangkok, Asian Institute of Technology.
- Lesch, W. y Scott, D.F.** 1997. The response in water yield to the thinning of *Pinus radiata*, *Pinus patula* and *Eucalyptus grandis* plantations. *Forest Ecology and Management*, 99: 295-307.
- Lu, S.** 1994. *Forest harvesting effects on streamflow and flood frequency in the northern lake states*. Tesis doctoral. St Paul, Minnesota, Estados Unidos, University of Minnesota.
- Lu, S.Y., Cheng, J.D. y Brooks, K.N.** 2001. Managing forests for watershed protection in Taiwan. *Forest Ecology and Management*, 143: 77-85.
- Miller, R.C.** 1999. *Hydrologic effects of wetland drainage and land use change in a tributary watershed of the Minnesota River basin: a modeling approach*. Tesis doctoral. St Paul, Minnesota, Estados Unidos, University of Minnesota.
- Naciones Unidas.** 1992. Protection of the quality and supply of freshwater resources: application of

- integrated approaches to the development, management and use of water resources. *Agenda 21*, Chapter 18. Disponible en Internet: [www.un.org/esa/sustdev/agenda21chapter18.htm](http://www.un.org/esa/sustdev/agenda21chapter18.htm)
- Rosegrant, M.W.** 1997. *Water resources in the twenty-first century: challenges and implications for action*. Food, Agriculture and the Environment Discussion Paper No. 20. Washington, DC, Instituto Internacional de Investigaciones sobre Política Alimentaria (IIPA).
- Rosegrant, M.W. y Cline, S.** 2002. The politics and economics of water pricing in developing countries. *Water Resources Impact*, 4(1): 6-8.
- Rosgen, D.L.** 1994. A classification of natural rivers. *Catena*, 22: 169-199.
- Scherr, S.J. y Yadav, S.** 1996. *Land degradation in the developing world: implications for food, agriculture, and the environment in 2020*. Food, Agriculture and the Environment Discussion Paper No. 14. Washington, DC, Instituto Internacional de Investigaciones sobre Política Alimentaria (IIPA).
- Shuhuai, D., Zhihui, G., Gregersen, H.M., Brooks, K.N. y Ffolliott, P.F.** 2001. Protecting Beijing's municipal water supply through watershed management: an economic assessment. *Journal of American Water Resources Association*, 37(3): 585-594.
- Sidle, R.C.** 2000. Watershed challenges for the 21<sup>st</sup> century: a global perspective for mountainous terrain. En *Land stewardship in the 21<sup>st</sup> century: the contributions of watershed management*, p. 45-56. Proceedings, Rocky Mountain Research Station, RMRS-P-13. Fort Collins, Colorado, Estados Unidos, USDA Forest Service.
- Tabacchi, E., Lambs, L., Guillo, H., Planty-Tabacchi, A.M., Muller, E. y Decamps, H.** 2000. Impacts of riparian vegetation on hydrologic processes. *Hydrological Processes*, 14: 2959-2976.
- van Damme, H.** 2001. Domestic water supply, hygiene, and sanitation. *2020 Focus*, Vol. 9, Brief 3. Disponible en Internet: [www.ifpri.cgiar.org/2020/focus/focus09/focus09\\_03.htm](http://www.ifpri.cgiar.org/2020/focus/focus09/focus09_03.htm)
- Verry, E.S.** 2000. Water flow in soils and streams: sustaining hydrologic function. En E.S. Verry, J.W. Hornbeck y C.A. Dolloff, eds. *Riparian management in forests*, p. 99-124. Boca Raton, Florida, Estados Unidos, Lewis.
- Verry, E.S., Hornbeck, J.W. y Todd, A.H.** 2000. *Watershed research and management in the Lake States and northeastern United States*, p. 81-92. Proceedings, Rocky Mountain Research Station, RMRS-P-13. Fort Collins, Colorado, Estados Unidos, USDA Forest Service.
- Vorosmarty, C.J., Green, P., Salisbury, J. y Lammers, R.B.** 2000. Global water resources: vulnerability from climate change and population growth. *Science*, 238: 284-288.
- Whitehead, P.G. y Robinson, M.** 1993. Experimental basin studies – an international and historical perspective of forest impacts. *Journal of Hydrology*, 145: 217-230. ♦