

Los bosques y el agua



Fotos de la cubierta:

Rápidos de Kiutaköngäs, Parque nacional de Oulanka (Finlandia) (FAO/FO 6885/P.Ceci)

Las denominaciones empleadas en este producto informativo y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, de parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), juicio alguno sobre la condición jurídica o nivel de desarrollo de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites. La mención de empresas o productos de fabricantes en particular, estén o no patentados, no implica que la FAO los apruebe o recomiende de preferencia a otros de naturaleza similar que no se mencionan.

Las opiniones expresadas en este producto informativo son las de su(s) autor(es), y no reflejan necesariamente los puntos de vista de la FAO.

ISBN 978-92-5-306090-0

Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción y difusión de material contenido en este producto informativo para fines educativos u otros fines no comerciales sin previa autorización escrita de los titulares de los derechos de autor, siempre que se especifique claramente la fuente. Se prohíbe la reproducción del material contenido en este producto informativo para reventa u otros fines comerciales sin previa autorización escrita de los titulares de los derechos de autor. Las peticiones para obtener tal autorización deberán dirigirse al:

Jefe de la Subdivisión de Políticas y Apoyo en Materia de Publicación Electrónica de la
División de Comunicación de la FAO

Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Roma, Italia

o por correo electrónico a:

copyright@fao.org

Los bosques y el agua

ESTUDIO
FAO:
MONTES

155

Estudio temático elaborado en el ámbito de la
Evaluación de los recursos forestales mundiales 2005

L.S. Hamilton

con la colaboración de:

N. Dudley

G. Greninger

N. Hassan

D. Lamb

S. Stolton

S. Tognetti

Índice

Prólogo	v
Agradecimientos	vii
Siglas	viii
Resumen de orientación	ix
1. Introducción	1
2. Los bosques y la cantidad del agua	7
¿Demasiada agua?	7
¿Agua insuficiente?	9
Niveles freáticos	12
3. Los bosques y la calidad del agua	15
Erosión y sedimentos	15
Otros contaminantes del agua	17
4. Alertas forestales	21
Bosques higrofíticos de montaña nubosos o brumosos	21
Bosques palustres	25
Bosques en suelos susceptibles a la salinidad	32
Bosques en sitios de alto riesgo de deslizamientos	37
Zonas de protección ribereña	42
Bosques proveedores de agua para los municipios	46
Estanques vernaes	51
Bosques de protección contra aludes	53
5. El caso especial de las islas pequeñas montañosas	59
6. Pagos por servicios ambientales	63
Servicios ambientales proporcionados por las cuencas hidrográficas	64
Tipos de iniciativas de pagos	64
Los pagos por servicios ambientales en la práctica: definición de los servicios de las cuencas hidrográficas	68
Desafíos institucionales	69
Conclusiones: principales desafíos de la concepción y el desarrollo	70
7. Recomendaciones	73
Bibliografía	77

Cuadros

- 1 Efectos de los cambios en el uso de las tierras en los parámetros del agua, según la magnitud de la cuenca 4
- 2 Ejemplos de cantidades de precipitación horizontal en bosques nubosos tropicales de montaña cuantificadas por captadores de niebla 23

Figuras

- 1 El ciclo hidrológico 3
- 2 Los procesos de erosión y sedimentación en una cuenca hidrográfica 16
- 3 La *ahupua'a*: distribución típica de la tierra en Hawai 62

Recuadros

- 1 Bosques con función protectora 2
- 2 Crecidas e inundaciones por actividades del uso de las tierras 10
- 3 Efectos de la manipulación forestal en el rendimiento hidrológico 11
- 4 Ejemplos de bosques nubosos y el suministro de agua 24
- 5 Código de Papua Nueva Guinea para la tala forestal 45
- 6 Experiencias internacionales: el invierno de aludes de 1999 en la región alpina de Europa 55

Estudios de caso

- 1 Plantaciones forestales en el territorio semiárido de Sudáfrica 13
- 2 Reducción de los sedimentos en los embalses de Taiwan
Provincia de China 18
- 3 El canal de Panamá y la calidad del agua 20
- 4 Peligro de fragmentación del bosque nuboso de Xalapa, Veracruz
(México) 26
- 5 Conservación y utilización sostenible del bosque palustre de turba
de Pahang sudoriental 28
- 6 Deforestación y salinidad en Australia Occidental 35
- 7 Deforestación y salinidad en el noreste de Tailandia 36
- 8 Inundaciones y deslizamientos en el sur de Tailandia 40
- 9 Protección forestal contra los aludes en Suiza 57
- 10 Ordenación de la cuenca entre el gobierno y la comunidad en Pohnpei 60
- 11 La *ahupua'a* hawaiana 61
- 12 Acuerdo de la cuenca de la ciudad de Nueva York 66
- 13 El Fondo Nacional de Financiamiento Forestal de Costa Rica 67

Prólogo

En muchas regiones del mundo la explotación excesiva, el mal uso y la contaminación representan una amenaza cada vez mayor para la disponibilidad y la calidad del agua potable. En este contexto, la relación entre los bosques y el agua es una cuestión crítica a la que se debe otorgar una gran prioridad.

Las cuencas de captación boscosas suministran una gran parte del agua que se destina a satisfacer las necesidades domésticas, agrícolas, industriales y ecológicas de las zonas de río arriba tanto como las de río abajo. Los responsables de la ordenación de las tierras, los bosques y el agua afrontan un importante desafío que consiste en elevar al máximo esta gran variedad de beneficios multisectoriales de los bosques sin detrimento de los recursos hídricos ni de la función del ecosistema. Para afrontar este reto es urgente entender mejor la interacción de los bosques y los árboles con el agua, a fin de crear conciencia y capacidad en materia de hidrología forestal, e incorporar este conocimiento y resultados de investigación en las políticas. También es necesario crear mecanismos institucionales para coordinar mejor el tratamiento de las cuestiones forestales e hidrológicas, y aplicar y hacer que se cumplan los programas nacionales y regionales de acción.

Hasta hace pocos años las políticas forestales e hidrológicas se basaban en la idea de que en todas las circunstancias hidrológicas y ecológicas los bosques representaban la mejor cubierta vegetal para optimizar el rendimiento hidrológico, regular los caudales estacionales y garantizar una elevada calidad del agua. Según este supuesto, conservar (o ampliar) la cubierta forestal en las cuencas de río arriba era la medida más eficaz para incrementar la disponibilidad de agua para la agricultura, la industria y el hogar, así como para prevenir las inundaciones en las zonas bajas. Sin embargo, la investigación de la hidrología forestal realizada en los decenios de 1980 y 1990 propone un panorama distinto. Si bien se confirmó la importancia de la cubierta forestal de río arriba para garantizar el suministro de agua de buena calidad, las generalizaciones sobre los efectos de esa cubierta en el caudal anual y estacional de río abajo resultaron erróneas y engañosas. En cambio, la investigación mostró que, especialmente en las zonas áridas y semiáridas, los bosques no son la mejor cubierta vegetal para incrementar el rendimiento hidrológico río abajo. Además, se demostró que muchas veces se han subestimado los efectos de protección de la cubierta forestal de río arriba contra las inundaciones estacionales en las zonas bajas, especialmente respecto a los grandes fenómenos que se producen en las cuencas fluviales de mayor dimensión.

El Año Internacional del Agua Dulce (AIAD 2003) y el Tercer Foro Mundial del Agua (Kyoto, Japón, 2003) contribuyeron a incorporar en las políticas esta nueva perspectiva de las interacciones biofísicas entre los bosques y el agua. En particular, la Reunión Internacional de Expertos sobre los Bosques y el Agua, celebrada en

Shiga (Japón) en noviembre de 2002, durante la preparación del AIAD y el Tercer Foro del Agua (Oficina de Cooperación Forestal Internacional, 2002), pusieron de relieve la necesidad de adoptar un enfoque más integral para comprender la interacción entre el agua, los bosques y otros usos de la tierra y los factores socioeconómicos en los complejos ecosistemas de las cuencas hidrográficas. Desde entonces, la Declaración de Shiga se ha convertido en una referencia primordial para la elaboración de una nueva generación de políticas forestales e hidrológicas.

La relación entre los bosques y el agua cada vez recibe más atención en los últimos años en las actividades del Departamento Forestal de la FAO. El capítulo titulado “Utilización y ordenación sostenibles de los recursos de agua dulce: papel de los bosques”, de *Situación de los bosques del mundo, 2003* (FAO, 2003), señala un hito en el carácter de los programas forestales e hidrológicos del Departamento Forestal. La relación entre los bosques y el agua fue un componente primordial del estudio mundial sobre programas y proyectos de cuenca dirigido por la FAO (FAO, 2006b).

El presente estudio temático sobre los bosques y el agua se elaboró en el contexto del programa de Evaluación de los recursos forestales mundiales. Está dirigido a una amplia variedad de expertos técnicos, científicos y responsables de tomar las decisiones, en particular a las autoridades nacionales, y recomienda dar mayor atención a la función de los bosques y los árboles en la protección y ordenación del agua en el ámbito nacional. También pide una mayor colaboración entre los grupos que se ocupan de las cuestiones del agua y los bosques.



José Antonio Prado

Director

División de Ordenación Forestal
Departamento Forestal de la FAO

Agradecimientos

La Evaluación de los recursos forestales mundiales (FRA 2005) representa un gran esfuerzo del Departamento Forestal de la FAO, los países miembros de la Organización, los donantes, los asociados y una variedad de expertos. Participaron en su elaboración más de 800 personas, con la contribución de corresponsales nacionales y sus grupos de trabajo que aportaron informes nacionales detallados, y se elaboraron otros estudios temáticos además del informe principal (FAO, 2006a). *Los bosques y el agua* es el informe de un estudio realizado en respuesta a la atención creciente a este tema en todo el mundo.

El principal autor de esta publicación es L.S. Hamilton, experto en hidrología forestal mundialmente conocido. Además de escribir la mayor parte del trabajo, el profesor Hamilton coordinó un pequeño grupo de autores que colaboraron con secciones específicas del estudio: N. Hassan (bosques palustres), D. Lamb (bosques en suelos susceptibles a la salinidad), N. Dudley y S. Stolton (bosques proveedores de agua para los municipios), P. Greminger (bosques de protección contra los aludes) y S. Tognetti (pago por los servicios ambientales).

El estudio se preparó bajo la supervisión general de T. Hofer, oficial responsable del programa de bosques y agua del Departamento Forestal de la FAO. M. Achouri, M. Wilkie, P. Warren, D. McGuire y P. Ceci suministraron asesoramiento técnico y apoyo. W. Fleming, P.-C. Zingari, A. Whiteman y T. Facon aportaron valiosas observaciones. L. Ball editó el informe y A. Perlis, oficial responsable de las publicaciones del Departamento Forestal, supervisó la terminación del libro.

Siglas

AIAD	Año Internacional del Agua Dulce
CIFOR	Centro de Investigación Forestal Nacional
CMVC	Centro Mundial de Vigilancia de la Conservación (PNUMA)
FEMAT	Grupo de Evaluación de la Ordenación del Ecosistema Forestal (Estados Unidos de América)
FMAM	Fondo para el Medio Ambiente Mundial
FONAFIFO	Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (Costa Rica)
FRA	Evaluación de los recursos forestales mundiales
FRIM	Instituto de Investigación Forestal de Malasia
ICL	Consortio Internacional sobre Deslaves
IIMAD	Instituto Internacional de Medio Ambiente y Desarrollo
ONG	Organización no gubernamental
PFNM	Producto forestal no maderero
PIB	Producto interno bruto
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PSA	Pago por servicios ambientales
UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
USGS	Servicio Geológico de los Estados Unidos
WWF	Fondo Mundial para la Naturaleza

Resumen de orientación

En general, la investigación de hidrología forestal de hoy señala que la idea de que más árboles es igual a más agua (que inspiró la mayor parte de la política forestal e hidrológica) se basa en una concepción incorrecta del ciclo hidrológico en los ecosistemas forestales que, en realidad, consumen una gran cantidad de agua. La cubierta de las copas de los árboles reduce el volumen del agua subterránea y del caudal porque intercepta la precipitación y por la evaporación y transpiración del follaje. Dado que tanto los bosques naturales como los plantados utilizan más agua que casi todas las cubiertas de sustitución (incluidas la agricultura y el pastoreo), no cabe duda de que la eliminación incluso parcial de un bosque aumenta el rendimiento hidrológico aguas abajo. De esta manera, en ocasiones se ha propuesto eliminar zonas de sedienta cubierta forestal para prevenir o mitigar las sequías, especialmente en zonas semiáridas. Sin embargo, esta política debe ponderarse respecto a la pérdida consiguiente de muchos otros servicios y bienes que proporcionan los bosques, como el control de la erosión, una mayor calidad del agua, fijación de carbono, disminución de la salinización, esparcimiento y atractivo estético, madera, leña, otros productos forestales y biodiversidad.

Está demostrado que la eliminación parcial o completa de la cubierta arbórea acelera la descarga de agua e incrementa el riesgo de que se produzcan inundaciones durante la temporada de lluvias, y sequía en la estación seca. Con todo, muchas veces se ha sobreestimado la importancia de la cubierta forestal en la regulación del flujo hidrológico, y los efectos de su eliminación sólo se perciben en el nivel micro y asociados a lluvias de corta duración y poca intensidad (que tienden a ser los fenómenos más frecuentes). Conforme aumentan la duración o la intensidad de las lluvias y es más grande la distancia de las tierras bajas desde la cuenca, otros factores comienzan a preponderar o distorsionar los efectos que se perciben en proximidad de la zona deforestada.

A escala macro, las inundaciones obedecen a procesos naturales más que a la ordenación de las tierras en la cuenca situada río arriba. De esta manera, si bien hay muy buenas razones para reforestar las cuencas fluviales (como reducir la pérdida de suelo, evitar que se sedimenten los cursos de agua, mantener la producción agrícola y el hábitat natural), disminuir el peligro de que se produzcan inundaciones sin duda no es una de ellas. La reforestación para prevenir o reducir las inundaciones es eficaz sólo a escala local de pocos cientos de hectáreas.

La contribución principal de los bosques al equilibrio hidrológico de los ecosistemas de las cuencas es mantener la buena calidad del agua, debido a que se minimiza la erosión local del suelo, se reducen los sedimentos en las masas de agua (humedales, estanques y lagos, arroyos y ríos) y se detienen o filtran otros contaminantes del agua en la hojarasca y el sotobosque. Una buena cubierta forestal

es la más eficaz para el suelo a fin de lograr que el agua tenga la menor cantidad posible de sedimentos; es la mejor para las cuencas hidrográficas que suministran agua potable, porque las actividades forestales no utilizan fertilizantes, plaguicidas ni combustibles fósiles, ni residuos de aguas negras o industriales.

Para los recursos hídricos y su ordenación hay una serie de situaciones forestales especiales de gran importancia:

- Deben mantenerse los bosques nubosos porque son importantes para la producción de agua, control de la erosión y mantenimiento de la biodiversidad, y en general son tierras que no sirven para otros usos sostenibles. Es necesario especificarlos en los inventarios locales, regionales y nacionales. La pérdida de bosques nubosos es irreversible debido a las complejas relaciones que hay entre su flora, su fauna y el suelo. La conservación de estos bosques y su designación como zonas protegidas debería ser una prioridad nacional.
- Los bosques palustres desempeñan una función única en el equilibrio hidrológico local y en la ecología mundial. Deberían designarse como zonas delicadas donde el mantenimiento de la integridad hidrológica sea una prioridad de ordenación. Debería otorgarse a estos bosques protección jurídica, y evaluar las repercusiones ambientales de los efectos potenciales a largo plazo e inmediatos de todo plan de conversión de uso de las tierras a gran escala.
- La salinización es un problema generalizado, en particular en las regiones de estiaje prolongado. Informes recientes indican que en todo el mundo hay 77 millones de hectáreas salinizadas por actividades humanas, sobre todo por cambios realizados a la cubierta vegetal y por exceso de irrigación. Se debería evitar la deforestación de zonas boscosas donde el subsuelo o las aguas subterráneas son salinas. Todo cambio en el ciclo hidrológico de estos paisajes puede movilizar las sales depositadas.
- Debido al sotobosque, la hojarasca, desechos y suelos no compactos, los bosques son casi seguramente la mejor y más segura cubierta para reducir al mínimo todo tipo de erosión del suelo. Las zonas propensas a deslizamientos, que puede ser la forma más grave de erosión, deben mantenerse con cubierta forestal, bosques claros o sistemas agrosilvícolas o silvopastorales con una cubierta arbórea relativamente densa.
- Las franjas de vegetación a lo largo de los arroyos o los ríos y en torno a los lagos y estanques son una importante protección para el agua. Las zonas de protección boscosas desempeñan particularmente bien esta función gracias a sus sistemas de raíces profundas y firmes. Los bosques ribereños de protección pueden estabilizar las orillas de las masas de agua corriente y de esta manera reducir al mínimo los sedimentos que llegan al agua. El suelo del bosque también puede atrapar los sedimentos que van hacia las corrientes de agua desde las zonas más altas, situadas fuera del bosque de protección. Deberían identificarse las zonas boscosas de protección en las riberas de los ríos que defienden de daños a la calidad los cursos de agua perennes y otras masas de agua y designarse oficialmente para recibir un trato especial en materia de uso del suelo.

- La falta de agua potable y de sanidad adecuada reduce la calidad de la vida de aproximadamente un millardo de habitantes urbanos de todo el mundo, y de muchas personas de las zonas rurales, principalmente en África, Asia y América Latina. Las limitaciones del presupuesto obligan a numerosos municipios a adoptar enfoques innovadores para mantener los suministros de agua potable. Esto requiere, cada vez más, examinar el potencial de las cuencas de captación para proporcionar agua potable a las ciudades. Si bien ya se considera que los bosques suministran agua, queda mucho por conocer y aplicar para aprovechar al máximo estos beneficios.
- La protección contra los aludes es un desafío real para la población de las regiones montañosas de todo el mundo, cuya vida y actividades además afrontan muchos otros riesgos considerables. Los bosques desempeñan una importante función en la reducción de los aludes. La cartografía de los peligros de las montañas debería hacer referencia específicamente a los bosques de protección y asignarles un tratamiento especial.

En las islas montañosas pequeñas prevalece la influencia clásica de los bosques en la cantidad y calidad del agua. La brevedad relativa de los ríos aproxima los nexos entre las zonas altas y las bajas. Lo que ocurre río arriba suele modificar la cantidad y calidad del agua, a través de las inundaciones, por la escasez del caudal, la sedimentación y los contaminantes de origen acuático. Los recursos de agua dulce en las islas pequeñas muchas veces son escasos y, por lo tanto, muy valiosos. En consecuencia, los responsables de tomar las decisiones en materia de ordenación forestal deben tener especial cautela con las modificaciones o eliminaciones nocivas para los recursos hídricos.

La degradación de las cuencas hidrográficas ha permitido reconocer la variedad de contribuciones de los servicios ambientales al bienestar humano y, de esta manera, valorarlos más. Los servicios ambientales pueden consistir en: suministro de agua dulce, regulación del caudal del agua y los sedimentos y mantenimiento de los regímenes hidrológicos naturales, que sustentan ecosistemas completos y formas de vida. Sin embargo, la complejidad y variabilidad natural de los procesos de las cuencas, dominados por acontecimientos azarosos y extremos, hacen difícil, si no es que imposible, establecer inequívocamente todas las relaciones de causa y efecto. El pago por servicios ambientales no resolverá los problemas de degradación de las cuencas, pero puede ser un elemento importante de una estrategia más amplia de ordenación.

1. Introducción

La falta de acceso al agua para satisfacer necesidades básicas como la salud, la higiene y la seguridad alimentaria, debilita el desarrollo e impone enormes dificultades a más de mil millones de miembros de la familia humana, y la calidad de la misma revela todo, acertado o erróneo, lo que hacemos para salvaguardar el medio ambiente mundial.

Kofi Annan, ex Secretario General de las Naciones Unidas (UNESCO, 2003)

En la Cumbre del Milenio de las Naciones Unidas, celebrada en 2000, 147 dirigentes mundiales adoptaron el objetivo de reducir a la mitad, para 2015, la proporción de personas que no tienen a su alcance o no se pueden permitir el agua potable. Si bien más de la mitad de la superficie de la Tierra está cubierta de agua, parece no haber suficiente agua dulce para satisfacer las necesidades de su población humana en constante aumento, o de sus plantas y animales, domésticos y silvestres. El Año Internacional del Agua Dulce, de las Naciones Unidas (AIAD), celebrado en 2003, destacó la necesidad urgente de disponer de agua en el lugar correcto, en cantidades adecuadas, de calidad suficiente y en el momento debido. Los bosques desempeñan una función decisiva en esta disponibilidad, pero la Comisión Económica para Europa (2004) advierte:

La atención que reciben hoy las cuestiones del agua dulce no hace énfasis suficiente en la función de los ecosistemas relacionados con el agua en el suministro de soluciones, posiblemente por falta de conciencia. Es esencial crear conciencia, por ejemplo mediante campañas de información y otras actividades específicas, de la función de los humedales y los bosques como proveedores de agua, entre las diferentes partes interesadas de toda la cuenca (autoridades nacionales, los sectores público y privado). Deberá darse publicidad al beneficio para la población de río arriba y río abajo.

Por eso es muy apropiado que se haya elegido el tema de “Los bosques y el agua” para uno de los estudios temáticos de la Evaluación de los recursos forestales mundiales 2005 (FRA 2005) (véase el Recuadro 1).

Este estudio trata la medida en que los bosques cubren la superficie del planeta y su importancia en el ciclo hidrológico (Figura 1). Ofrece información para las actividades indispensables a fin de mantener y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, señalados por la Comisión de las Naciones Unidas para Europa como prioridad mundial. Los bosques influyen en la cantidad de agua disponible de las aguas subterráneas, las corrientes y las masas de agua superficiales al interceptar la lluvia, mediante la evaporación de la humedad superficial de la vegetación, la transpiración de la humedad del suelo, la captación del agua de la bruma y el mantenimiento de la infiltración del suelo. Los bosques influyen en los

RECUADRO 1

Bosques con función protectora

Las primeras evaluaciones de los recursos forestales se concentraban en las funciones productivas de los bosques, en particular el suministro de madera, que para los encargados de elaborar las políticas era lo principal. En muchos países hoy se tiene mayor conciencia de la importancia de los bosques en el suministro de servicios ambientales a través de sus funciones de protección. La Evaluación de los recursos forestales mundiales 2005 contiene, por lo tanto, una primera evaluación de la superficie forestal que desempeña una función de protección.

Se recogió información sobre las dos variables siguientes:

Superficie forestal designada para fines de protección

Esta variable indica la extensión de las superficies forestales destinadas a cumplir funciones de protección, sea por prescripción jurídica o por decisión del propietario o responsable de la ordenación.

Los bosques del mundo desempeñan numerosas funciones protectoras, unas locales y otras mundiales, tales como influir en el clima, proteger de la erosión eólica, proteger las costas, proteger de los aludes, filtrar la contaminación atmosférica y proteger los recursos hídricos.

La designación del bosque se consigna como "función primaria" y "total de la superficie con función". Las superficies forestales cuya función protectora designada se considera significativamente más importante que sus otras funciones se documentan como con función primaria de protección. Todas las superficies forestales con una función de protección designada (no necesariamente la principal) se documentan en el total de la superficie con esta función.

Superficie de plantaciones forestales protectoras

Las plantaciones forestales protectoras son bosques de especies introducidas y, en ocasiones, autóctonas, establecidas mediante plantación o siembra, con pocas especies, distribución uniforme y masas de árboles de la misma edad. Tienen como finalidad predominante ofrecer servicios tales como protección del suelo y el agua, restablecimiento de tierras degradadas y lucha contra la desertificación.

No todos los países pudieron proporcionar información cuantitativa de estas variables para FRA 2005, pero se hizo una evaluación inicial de la importancia de las funciones protectoras de los bosques en todo el mundo.

Resultados principales

En 2005 se calculó que la superficie forestal designada con función primaria de protección ocupaba 348 millones de hectáreas, o 9% del total de la superficie forestal. Alrededor de 1 190 millones de hectáreas –o un 65% del total– se señalaron como bosques con función protectora designada (no necesariamente primaria).

Los resultados de FRA 2005 indican una tendencia hacia el aumento del reconocimiento y designación de zonas de protección forestal. En todo el mundo, el porcentaje de bosques con función primaria de protección aumentó del 8% en 1990 al 9% en 2005, lo que significa un incremento de más de 50 millones de hectáreas. La proporción de bosques mundiales que están designados con función protectora también aumentó, del 61% en 1990 al 65% en 2005, un aumento de casi 60 millones de hectáreas.

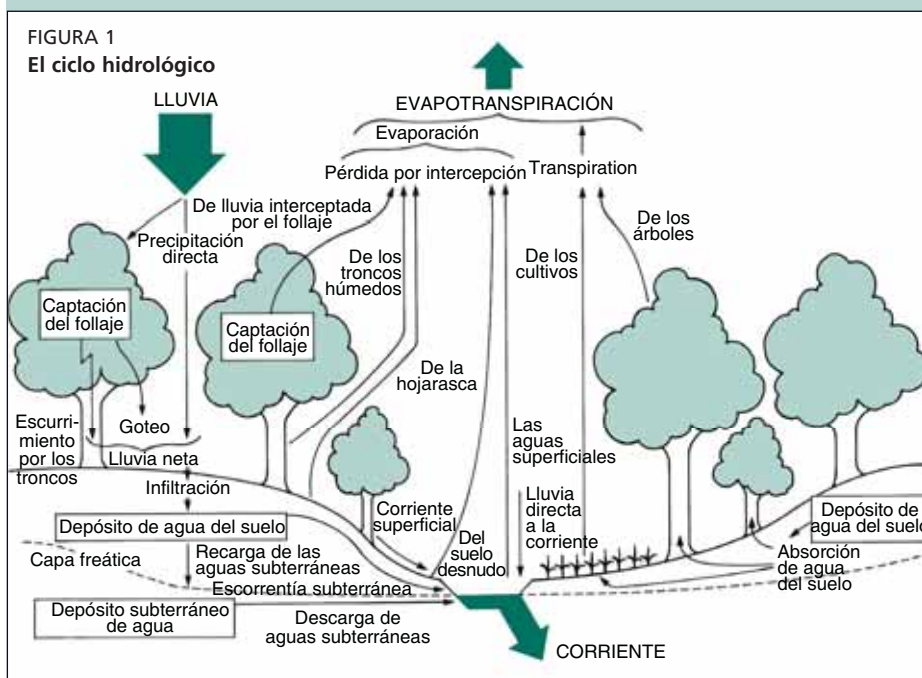
Parece probable que prosiga la tendencia de clasificar una parte cada vez mayor de los bosques del mundo con función primaria de protección, y FRA 2010 mostrará que esta categoría ocupa más del 9%.

El total de la superficie de plantación forestal protectora se estimó en 30 millones de hectáreas en 2005, o un 0,8% del total de la superficie forestal mundial. Esta superficie creció 405 000 hectáreas al año de 1990 a 2000, y 330 000 hectáreas anuales de 2000 a 2005, pero las distintas regiones y subregiones documentaron variaciones acentuadas.

Las numerosas funciones protectoras de los bosques y su importancia creciente hacen cada vez más necesario que los países se reúnan, analicen y presenten información sobre la extensión y condición de sus bosques de protección.

FRA 2005 fue un primer intento de evaluar la importancia mundial de las funciones protectoras de los bosques y se basó en un número limitado de variables cuantitativas. No obstante, todas estas variables muestran una tendencia positiva que indica un reconocimiento cada vez mayor de estas importantes funciones, incluidas las que se relacionan con la conservación de los recursos hídricos.

Fuente: FAO, 2006a.



CUADRO 1
Efectos de los cambios en el uso de las tierras en los parámetros del agua, según la magnitud de la cuenca

Parámetro	Dimensión de la cuenca (km ²)						
	0,1	1	10	100	1 000	10 000	100 000
Caudal medio	x	x	x	x	o	o	o
Caudal máximo	x	x	x	x	o	o	o
Caudal básico	x	x	x	x	o	o	o
Recarga de aguas subterráneas	x	x	x	x	o	o	o
Carga sólida	x	x	x	x	o	o	o
Nutrientes	x	x	x	x	x	o	o
Materia orgánica	x	x	x	x	o	o	o
Patógenos	x	x	x	o	o	o	o
Salinidad	x	x	x	x	x	x	x
Plaguicidas	x	x	x	x	x	x	x
Metales pesados	x	x	x	x	x	x	x
Régimen térmico	x	x	o	o	o	o	o

x = efecto observable; o = x efecto no observable.

Fuente: FAO, 2001.

tiempos del suministro del agua mediante el mantenimiento o mejoramiento de la filtración del suelo y de la capacidad de éste de almacenar agua. Al reducir la erosión al mínimo, reducen también al mínimo los daños a la calidad del agua debidos a la sedimentación. Los bosques también pueden proteger las masas de agua y las corrientes porque atrapan los sedimentos y los contaminantes producidos por las actividades y los usos de las zonas altas. A lo largo de los ríos, los bosques ofrecen sombra y así disminuyen la temperatura del agua.

Como cubierta de cuenca, los bosques protegidos o sujetos a una buena ordenación son lo mejor para el ciclo hidrológico, contra la erosión y para la calidad del agua, la cual bien podría ser el producto más útil e importante del bosque. Los siguientes capítulos observan con mayor detenimiento algunos de estos aspectos.

Además de proteger los recursos hídricos, los bosques también conservan la biodiversidad. Los compromisos adquiridos por los países a través del Convenio de las Naciones Unidas sobre la Diversidad Biológica se están cumpliendo con medidas para salvaguardar el agua y establecer bosques “protegidos” y “protectores”, así como muchos tipos de bosques certificados para la sostenibilidad. Los bosques también fijan el carbono y ofrecen varios otros servicios ambientales.

El cambio climático producirá un impacto considerable en la hidrología y los recursos hídricos (Bergkamp, Orlando y Burton, 2003). Esto puede manifestarse en un mayor número de catástrofes, como inundaciones, sequía y deslaves, en todos los cuales puede influir la cubierta forestal. Las situaciones que afectan a los grupos más vulnerables de la sociedad exigen una atención particular. Restablecer los ecosistemas forestales dañados o degradados puede ayudar a que los bosques “amortigüen” los efectos del cambio climático.

Después de un comentario breve sobre la función de los bosques respecto a la

cantidad del agua (Capítulo 2) y a su calidad (Capítulo 3), se expone la variedad de bosques o situaciones donde la relación entre éstos y el agua tiene especial importancia (Capítulo 4). Estas pueden considerarse situaciones de “alerta” en las que son muy elevados los valores de protección. El caso especial de las islas pequeñas montañosas se trata en el Capítulo 5. El Capítulo 6 analiza la justificación y ejemplos de programas de pago por servicios ambientales (PSA). Estos capítulos explican y amplifican la información presentada en el Cuadro 1, que muestra los efectos del cambio en el uso de las tierras, por ejemplo entre bosques, agricultura y pastizales sometidos a ordenación, en diversos parámetros de agua, a diferentes escalas. Al final de cada sección se ofrecen directrices, y el estudio concluye con un breve conjunto de recomendaciones, en el Capítulo 7.

2. Los bosques y la cantidad del agua

La intercepción de los bosques y la evaporación del follaje de los árboles reducen la conversión de la precipitación en aguas subterráneas y caudal (véase la Figura 1). La transpiración de la humedad del suelo a través del follaje incrementa esta reducción. Esto puede definirse como pérdidas para el sistema de aguas útiles, pero a través de esta utilización del agua y la fotosíntesis los árboles producen madera, hojas, flores, frutos y semillas. El ecosistema forestal, con su flora y su fauna, es un usuario importante de agua, pero también proporciona beneficios enormes a la humanidad: desde aves y madera hasta osos, desde leña hasta medicinas, desde fijación del carbono hasta orquídeas y castañas, hay todo un tesoro de productos de la biodiversidad forestal. Se pueden sumar el esparcimiento y la estética del paisaje, así como un alto grado de control de la erosión y –en las circunstancias apropiadas– reducción del peligro de aludes.

La sociedad humana se preocupa por los efectos benéficos y dañinos de los bosques en la cantidad del agua, porque a veces sobra (inundaciones) y en ocasiones no es suficiente. Esta preocupación surge de muchos mitos, ideas, interpretaciones e información erróneas, “los cuatro errores” (Hamilton, 1985). Se ha dicho, por ejemplo, que la tala y el desmonte en los Himalaya del Nepal son responsables de las inundaciones devastadoras del Ganges, más abajo, en la India, y que restablecer los bosques puede restituir el caudal de los ríos y disminuir la sequía (*World Water*, 1981). Estas interpretaciones erróneas de la ciencia hidrológica persisten.

¿DEMASIADA AGUA?

Está confirmado que la eliminación parcial o completa de la cubierta arbórea aumenta el total del caudal fluvial que llega de la zona de captación, debido en gran medida a la disminución de la evapotranspiración de los árboles, que funcionan como “bombas de agua” profundamente arraigadas (Hamilton y King, 1983; Bruijnzeel, 1990). El aumento del rendimiento hídrico prosigue durante el año, con el aumento porcentual más alto (que muchas veces duplica el caudal previo a la tala) en la estación seca. Una explotación o eliminación de productos forestales no madereros (PFNM) ligera y selectiva no afecta o repercute poco en el caudal, pero los efectos aumentan con la cantidad de árboles eliminados, hasta el desmonte (Bruijnzeel, 1990). El aumento del rendimiento parece conveniente cuando el caudal es escaso, durante el estiaje, pero puede presentar problemas en la estación húmeda, cuando el aumento del caudal amenaza con posibles inundaciones. Cerca de la zona forestal que se está talando el caudal percibe los efectos, pero sólo cuando hay lluvias breves, de baja intensidad (que también suelen ser las más frecuentes).

Conforme la duración o intensidad de las lluvias aumenta y crece la distancia desde la cuenca hidrográfica y la cuenca fluvial hacia abajo, otros factores predominan o distorsionan los efectos percibidos cerca de la zona tratada. Estos factores son el tamaño y la morfometría de la cuenca, lo que sucede en otros afluentes, la dirección del curso de la tormenta y su intensidad y duración. Ives y Messerli (1989) describieron este fenómeno desde el punto de vista de cuencas hidrográficas de escala micro (<50 km²), media (de 50 a 20 000 km²) y macro (>20 000 km²). En la escala micro, las prácticas de utilización de las tierras pueden repercutir en el caudal y en la descarga de sedimentos, de acuerdo con la profundidad del suelo y la variabilidad de la precipitación. En la escala media, la densidad y variabilidad mayores de los fenómenos naturales y la descarga de otras cuencas hidrográficas probablemente cancelan aguas abajo los efectos de las operaciones forestales y otros usos de las tierras. En la escala macro, los procesos naturales –más que las intervenciones humanas en la cuenca de arriba– son responsables de las inundaciones y las elevadas tasas de sedimentación. Hewlett (1982) examinó los datos de investigación sobre cuencas de todo el mundo e informó que no se demuestra una relación de causa y efecto entre la tala forestal en el tramo superior y los caudales en la cuenca baja. Desde entonces no se ha publicado información que lo contradiga, desde hace más de 20 años.

Incluso en la escala local, mucho depende de la profundidad del suelo y del carácter del fenómeno pluvial. Los suelos profundos pueden almacenar mucha más agua antes de saturarse, y los árboles de raíces profundas hacen más receptiva la capa de suelo para almacenar agua de un fenómeno nuevo. La lluvia y el almacenamiento de agua del suelo influyen más en la generación de escorrentías. De esta manera, para los fenómenos pluviales frecuentes de corta duración o poca intensidad, los suelos boscosos pueden reducir o prevenir localmente las inundaciones repentinas. Sin embargo, en el caso de las tormentas prolongadas o de gran intensidad, menos frecuentes, una vez saturado el suelo, el agua escurre, aun cuando haya una cubierta forestal plena, intacta. En los suelos de poca profundidad, sobre todo si el terreno está en pendiente, el almacenamiento es muy inferior y la cuenca es más propicia a las inundaciones repentinas; los árboles u otros tipos de vegetación o el uso de las tierras pueden hacer poco para contener los caudales subterráneos o superficiales acelerados.

Con todo, persisten los cuatro errores citados. Las catastróficas inundaciones de noviembre de 1988 en el sur de Tailandia se atribuyeron equivocadamente a la tala y el gobierno promulgó una veda nacional de desmonte (Rao, 1988). En ese mismo año, una catástrofe por inundación en Bangladesh se atribuyó erróneamente a la deforestación de las montañas de la India y el Nepal, donde nacen los imponentes ríos Ganges y Brahmaputra. Se trató de un chivo expiatorio internacional para no tener que tomar decisiones difíciles sobre la ocupación de las llanuras de aluvión y de ordenación fluvial en la cuenca baja (Hamilton, 1988). Podrían citarse muchos otros ejemplos de esta información errónea tan difundida. Una publicación importante reciente relacionada con los procesos hidrológicos en las cuencas fluviales grandes (Hofer y Messerli, 2006) presenta firme información científica

para abandonar el mito de que la deforestación en los Himalaya es la causa de las grandes inundaciones que se producen abajo, en las tierras del Ganges y el Brahmaputra. Una publicación de la FAO y el Centro de Investigación Forestal Internacional (FAO y CIFOR, 2005) señala:

Si bien los bosques pueden contribuir a retrasar y reducir localmente los caudales máximos de las inundaciones, hay datos científicos que indican con claridad que los bosques no pueden impedir las grandes inundaciones catastróficas, comúnmente causadas por fenómenos meteorológicos intensos... Esto no disminuye en modo alguno la necesidad de una ordenación y conservación adecuadas de los bosques de las tierras altas. Pero señala la necesidad crítica de enfoques integrados en la ordenación de cuencas que vean más allá de las “soluciones” forestales simplistas.

Sin embargo, los sedimentos y los detritos que llegan a los cauces de las corrientes, procedentes de los deslizamientos y deslaves que muchas veces acompañan a los fenómenos pluviales que producen las inundaciones, pueden agravar mucho las riadas y los daños que producen. Scatena, Planos Gutiérrez y Schellekens (2005) indican que los fenómenos intensos y de breve duración crean deslizamientos superficiales y corrientes de detritos, mientras que los fenómenos prolongados y de poca intensidad producen aludes más grandes y profundos de derrubios y cárcavas. La investigación ha revelado que las raíces de los árboles fortalecen los suelos considerablemente y ofrecen más seguridad contra los deslizamientos superficiales y las corrientes de derrubios (O’Loughlin, 1974). De esta manera, si bien la cubierta vegetal tal vez no reduzca sensiblemente la cantidad de agua que avanza hacia las corrientes de agua desde una gran tempestad, puede influir en la gravedad de la inundación y los daños que causa.

Persiste la idea errónea de que reforestar las cuencas sirve para reducir y prevenir las inundaciones. De nuevo, no está esto demostrado, salvo en el ámbito muy local de unos cientos de hectáreas. Hay muy buenos motivos para restablecer las cuencas hidrográficas, como reducir la pérdida de suelo, impedir que se sedimenten las corrientes, mantener la producción agrícola e incrementar el hábitat silvestre del bosque, pero lograr una reducción sustancial de las crecidas no es una de esas razones (Hamilton y Pearce, 1987).

El Recuadro 2 presenta un resumen de los efectos habituales que los usos de las tierras en los que participan los bosques producen localmente en la respuesta del caudal de las crecidas y las inundaciones.

¿AGUA INSUFICIENTE?

No cabe duda de que el desmonte, aun parcial, incrementa en general el rendimiento hidrológico. Tanto los bosques naturales como los plantados utilizan más agua que casi todas las cubiertas de sustitución, incluidas la agricultura y los pastos. Los aumentos del primer año del rendimiento hidrológico que se han documentado después de un desmonte en las regiones tropicales húmedas, por ejemplo, oscilan de 110 a 825 mm, de acuerdo con la lluvia local (Recuadro 3). Las pérdidas por evaporación y transpiración son mayores en los bosques perennes que en los de

RECUADRO 2

Crecidas e inundaciones por actividades del uso de las tierras

Las actividades de uso de las tierras repercuten localmente en la respuesta de las crecidas y las inundaciones de la siguiente manera:

- La eliminación de la vegetación o la conversión de plantas con una transpiración anual elevada a otras de transpiración baja y las pérdidas por intercepción pueden hacer aumentar el volumen de las crecidas y la magnitud del caudal máximo. Estas prácticas también pueden extender las zonas de origen del caudal. Después de un fenómeno pluvial, la humedad del suelo y los niveles freáticos tienden a subir, por lo cual hay menos espacio para contener la precipitación siguiente, y las zonas de manantiales se extienden.
- Las actividades que reducen la capacidad de infiltración del suelo, como el pastoreo intensivo, la construcción de carreteras y la tala de árboles, pueden incrementar las escorrentías superficiales. Conforme aumenta la proporción de precipitación convertida en escorrentía superficial, el caudal responde con mayor rapidez ante los fenómenos pluviales, lo que se traduce en descargas máximas más elevadas. Cabe pensar que las actividades que promueven la infiltración producen el efecto opuesto.
- La construcción de carreteras, zanjas de drenaje y caminos de arrastre, así como la modificación del cauce de la corriente, todo ello puede cambiar el sistema general de conducción en una cuenca. El efecto por lo general es un aumento de la descarga máxima causado porque es más breve el tiempo que toma el caudal para llegar a la desembocadura de la cuenca.
- El aumento de la erosión y la sedimentación puede reducir la capacidad de los cauces tanto río arriba como río abajo. Los caudales que se hubieran mantenido previamente en su cauce se pueden desbordar.

Cuando los fenómenos pluviales no son extremos en cantidad ni en duración, estos efectos pueden repercutir notablemente en el volumen de la crecida y en la magnitud máxima y los tiempos. Conforme aumentan la cantidad y la duración de la precipitación, disminuye la influencia del sistema suelo/plantas en la crecida. La influencia de la cubierta vegetal, por lo tanto, es mínima en los fenómenos pluviales extremos, que suelen asociarse a las grandes inundaciones.

Fuente: Brooks et al., 1991.

frondosas, y mientras más seco sea el clima y con menos viento, menor es la pérdida por evaporación, porque en los climas secos las hojas por lo general son más estrechas y pequeñas (Nisbet y McKay, 2002).

Un análisis de hace años pero todavía válido, de casi 100 experimentos emparejados de cuencas de captación en todo el mundo (Bosch y Hewlett, 1982) reveló que en todos en los casos en que hubo desmonte se registró un total más elevado

RECUADRO 3

Efectos de la manipulación forestal en el rendimiento hidrológico

- Una explotación forestal cuidadosa, ligera y selectiva repercutirá poco, cuando mucho, en el caudal, que aumenta de acuerdo con la madera que se extrae.
- Los datos de las zonas tropicales húmedas confirman el resultado general de Bosch y Hewlett (1982) respecto a que la eliminación de la cubierta de bosques naturales puede traducirse en un incremento inicial considerable del rendimiento hidrológico (hasta 800 mm anuales); posiblemente más en las regiones muy lluviosas, de acuerdo sobre todo con la cantidad de lluvia recibida después del tratamiento.
- De acuerdo con las pautas pluviales, se obtiene una disminución más bien irregular del caudal, con el paso del tiempo, asociada al establecimiento de la nueva cubierta. No se han publicado datos sobre el número necesario de años para que se recuperen los totales del caudal previos a la tala en el caso de reposición forestal natural, pero es posible que tarde más de ocho años.
- El rendimiento hidrológico una vez que ha madurado la vegetación nueva puede: permanecer por encima de los totales originales del caudal en el caso de conversión a cultivos anuales, pastizales o plantaciones de té; volver a los niveles originales (plantación de *Pinus* después del cierre completo de los follajes); o mantenerse por debajo de los valores previos (reforestación de pastizales con *Pinus* o *Eucalyptus*). El rebrote de los *Eucalyptus* después de 10 años causó reducciones todavía mayores durante dos años.

Fuente: Tomado de Bruijnzeel, 1990.

del caudal. Otros análisis más recientes (por ej., Grip, Fritsch y Bruijnzeel, 2005) no han modificado esta información. Sin embargo, esto no se sostiene en el caso de tala o desmonte de bosques higrofiticos de montaña (véase el Capítulo 4). En los bosques de coníferas, donde llega mucha agua en forma de nieve, un follaje cerrado, o poco abierto de las copas de los árboles puede demorar el derretimiento de la nieve y dar más tiempo a que la descarga de las tierras más bajas y abiertas desaloje los canales, lo que puede ser positivo en las inundaciones y prolongar el período durante el cual el derretimiento de la nieve proporciona agua para usos río abajo. Una tala ligera puede hacer que llegue más nieve al suelo al reducir la que permanece en las copas de los árboles y después se evapora.

¿Quiere decir esto que se deberían eliminar los árboles o los bosques debido a que utilizan tanta agua? Esto se ha señalado en ocasiones durante las sequías, pero disminuirían o se eliminarían los numerosos beneficios que proporcionan los bosques, incluida su flora y fauna silvestres, la disminución de la erosión y el mejoramiento de la calidad del agua (Capítulo 3), la fijación del carbono, la posibilidad de esparcimiento y la belleza de los bosques, así como el suministro continuo

de productos forestales. En las zonas propensas a la salinidad, se aproximarían las sales a la superficie del suelo (tercera sección del Capítulo 4). Un dilema importante estriba en que si bien la cantidad de agua se puede aumentar deforestando, los usos de las tierras que sustituyen a los bosques tienen una actividad humana o animal más intensa.

Para el rendimiento hidrológico, los pastizales son una buena cubierta para las cuencas, pero presentan dos desventajas importantes: en las tierras propensas a deslizamientos, no hay raíces de árboles que den a las pendientes más estabilidad, y hay una tendencia a permitir un pastoreo excesivo en los pastizales, lo que se traduce en compactación del terreno y en la posible erosión del suelo, con el consiguiente aumento del caudal máximo, una posible descarga de sedimentos en los cursos de agua e incluso se puede reducir tanto la infiltración que disminuye el caudal de base (Hamilton y King, 1983). La explotación de árboles mediante cortes parciales o la regeneración forestal mantienen la cubierta arbórea en su lugar (en vez de convertirla) y hacen aumentar temporalmente el rendimiento hidrológico durante el año, pero el uso de lanzaderos de troncos, caminos de arrastre, canales de carga y descarga y las zonas de carga para retirar la madera tienden a dañar la calidad del agua, debido a la erosión acelerada hasta que concluya la recuperación. Los aumentos más grandes del rendimiento se producirán en los suelos más profundos, donde los sistemas de raíces profundas explotan más la humedad del suelo. Thang y Chappell (2005) presentan directrices al día para reducir al mínimo el impacto hidrológico de la explotación de árboles en Malasia.

Los efectos de la reforestación o forestación en el rendimiento hidrológico suelen ser contrarios a los que produce la deforestación (Hamilton y Pearce, 1987). Varían de acuerdo con si la tierra mantiene condiciones hidrológicas razonables o si está gravemente degradada por un uso prolongado sin medidas de conservación. Localmente, cuando hay tormentas frecuentes y breves, de poca intensidad, las inundaciones repentinas deberían disminuir donde los suelos son profundos. Por otra parte, los caudales bajos por lo general también disminuyen, especialmente donde se utilizan especies de crecimiento acelerado, que utilizan mucha agua (estudio de caso 1). Por ejemplo, la plantación de *Pinus* del Caribe por la Comisión de Pinos de Fiji en sus pastizales de zonas áridas hizo disminuir el caudal un 65% durante la estación seca (Kammer y Raj, 1979). Hay muchos casos documentados de reducción del caudal después de plantarse *Eucalyptus*, lo que impulsó a la FAO a publicar *The eucalypt dilemma* (FAO, 1988b). Scott, Bruijnzeel y Mackensen (2005) analizaron la experiencia y la investigación sobre este tema. El caso especial de la reforestación en zonas montañosas donde hay una bruma persistente impulsada por el viento o nubes, debería traducirse en más agua en los caudales de la estación seca, pero todavía no está documentado científicamente para corroborarlo (véase el Capítulo 4).

NIVELES FREÁTICOS

La cubierta forestal influye en los niveles freáticos, los pozos y los manantiales, además de proteger la calidad del agua. Como señalan Foster y Chilton, (1993):

ESTUDIO DE CASO 1

Plantaciones forestales en el territorio semiárido de Sudáfrica

Sudáfrica es un país donde escasea el agua, con un promedio anual de lluvia, distribuida desigualmente, de unos 500 mm. Con alrededor de 1 400 m³ de agua por persona al año, es uno de los países con una disponibilidad menor de agua. Si bien apenas poco más del 1% de Sudáfrica está cubierto de bosques de copas densas (principalmente plantaciones de especies exóticas para obtener madera, de *Pinus*, *Eucalyptus* y *Acacia*), todos están en las zonas más elevadas de las cuencas de captación que suministran el 60% de su agua dulce. Casi todas las plantaciones del país están donde había pastizales autóctonos. En algunos casos disminuye el agua dos años después de plantar. La disminución máxima del caudal se presenta relativamente pronto en estas masas de crecimiento veloz, y después disminuye. La preocupación por la utilización del agua de las plantaciones forestales no es exclusiva de Sudáfrica, pero es el primer país que ha impuesto cargos a las plantaciones por el uso del agua.

La Ley nacional de aguas de 1998 clasifica la plantación forestal como una actividad que reduce el caudal, único uso de la tierra con esta clasificación. Un motivo de que no estén clasificados así otros cultivos de tierras áridas (maíz, trigo, sorgo y caña de azúcar) es que se conoce menos sobre su uso del agua. Los permisos para establecer plantaciones a fin de obtener madera comenzaron a otorgarse en 1999. Los precios se basan en el presupuesto de la cuenca, que incluye los costos de supervisión y gestión del agua, mejoramiento de la disponibilidad de agua, operación de planes hidrológicos y financiación de actividades para la conservación del agua. El presupuesto de cada cuenca se divide de acuerdo con los volúmenes utilizados por cada sector económico. El volumen para la silvicultura se calculó por el promedio de la precipitación pluvial en la cuenca por especies, utilizando un volumen de lluvia de 60 mm anuales. En 2002, los cargos forestales oscilaban de 2 a 6 rands sudafricanos por hectárea al año. Se están afinando los usos de los volúmenes en los diversos sectores. Un problema de este programa es que no hay pagos de compensación o reducción de cargos por los beneficios que los árboles proporcionan a la calidad del agua. Los árboles interceptan los nutrientes de la lluvia y los reciclan; al reducir la erosión de la superficie, los árboles también reducen las cantidades de sedimentos nocivos para el agua.

Fuente: Jacobsen, 2003.

Las aguas subterráneas deben considerarse un recurso valioso, pero potencialmente frágil en las zonas tropicales húmedas que, en algunos casos, son muy vulnerables a la contaminación por la eliminación sin control de efluentes líquidos y desechos sólidos urbanos e industriales, así como de la agricultura intensiva, y la intrusión salina en las zonas costeras debido a la sobreexplotación local.

Esto es así no sólo en las zonas tropicales húmedas. La protección más segura

para las aguas subterráneas es la cubierta forestal en sus fuentes. La explotación forestal o deforestación eleva los niveles freáticos (Grupo de trabajo sobre la influencia del hombre en el ciclo hidrológico, 1972). Todas las sales que están en las capas superiores del suelo se podrían trasladar a la zona donde están las raíces de las plantas, con efectos nocivos (por ej., la experiencia australiana descrita en la sección sobre Bosques en suelos susceptibles a la salinidad, en el Capítulo 4). Por el contrario, plantar bosques en terrenos abiertos donde las capas freáticas están cerca de la superficie bajará los niveles freáticos y mejorará el drenaje.

Directrices

La deforestación, parcial o total, se traduce en un incremento del caudal y la elevación de los niveles freáticos. Estos efectos se producen principalmente en el ámbito local de las cuencas pequeñas y no se pueden extrapolar a las cuencas fluviales grandes donde hay problemas de inundación o de insuficiencia del caudal en la temporada seca. Inclusive localmente, estos efectos pueden ser convenientes o inconvenientes. Los suelos que almacenan el agua y no los árboles, y las raíces de los árboles funcionan más como bombas que como esponjas. La profundidad del suelo y las características de la precipitación causan grandes variaciones en la pauta general. Las tormentas prolongadas o de gran intensidad suelen superar la influencia que los bosques y la manipulación forestal ejercen en el rendimiento hidrológico, con excepción de los que están muy cerca de la zona tratada. Las manipulaciones para mejorar el rendimiento hidrológico deben tener en cuenta los posibles daños a la calidad del agua (véase el Capítulo 3) y otros valores, como la protección contra deslizamientos y aludes, el hábitat natural y el mantenimiento de la biodiversidad.

La reforestación o forestación de terrenos abiertos por lo general produce los efectos contrarios en la cantidad del agua que la deforestación. La descarga de sedimentos se puede reducir considerablemente, lo que puede traducirse en inundaciones menos graves.

3. Los bosques y la calidad del agua

La contribución más significativa de los bosques al agua para todos los seres vivos consiste en mantener una elevada calidad de la misma. Esto se logra reduciendo al mínimo la erosión del suelo localmente, lo que disminuye los sedimentos en las masas de agua (humedales, estanques y lagos, arroyos y ríos), y atrapando o filtrando otros contaminantes del agua.

EROSIÓN Y SEDIMENTOS

La erosión que se transporta y deposita se denomina sedimentos. Esta sección describe la forma en que los bosques, y su modificación, influyen en los sedimentos desde el traslado y el depósito, reduciendo la erosión al mínimo. Aunque una de las consecuencias más serias de la erosión es la pérdida de productividad del suelo, esta sección se ocupa principalmente de los efectos en los recursos hídricos. La erosión hace disminuir la capacidad del suelo de almacenar agua y por lo general reduce la infiltración en los sitios erosionados, lo que acelera el caudal subterráneo y superficial.

El depósito de sedimentos puede ser positivo si se produce en el lugar adecuado, pero por lo general produce una serie de efectos inconvenientes. Puede reducir la capacidad de los embalses, perjudicar el agua potable para el hogar y la industria, obstruir los canales de navegación, elevar el fondo de los ríos, en detrimento de la capacidad de manejar el agua con seguridad; puede modificar negativamente el hábitat acuático de las corrientes, invadir los criaderos de peces, desgastar las hojas de las turbinas en las centrales hidroeléctricas y causar deslizamientos, nocivos para la población y sus construcciones, así como obstruir los canales, con las consiguientes inundaciones.

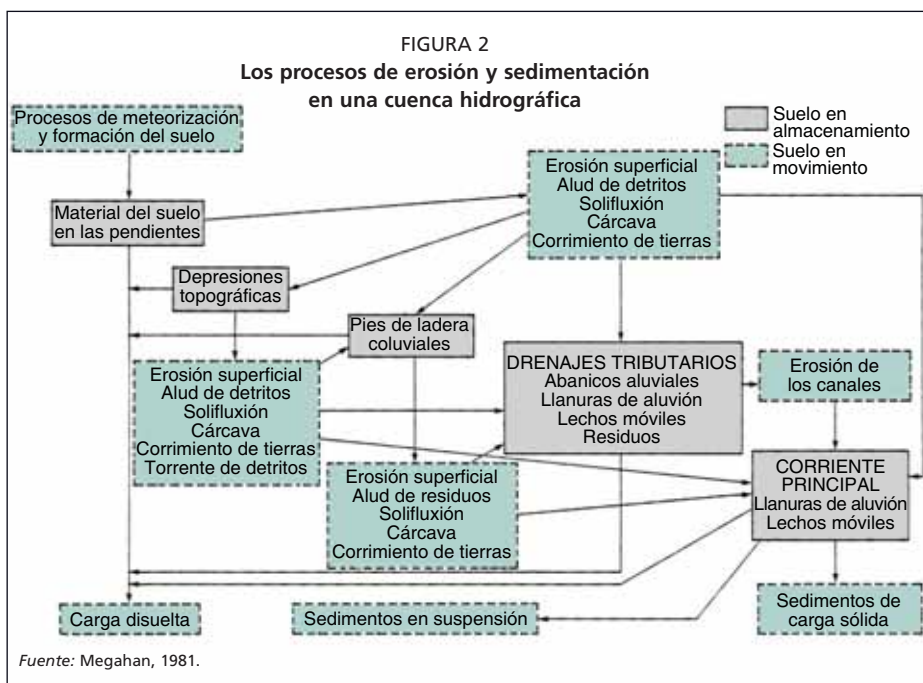
En las zonas ribereñas y a lo largo de las orillas de las masas de agua, donde hay oleaje, las raíces de los arbustos que están debajo de los árboles y en el sotobosque estabilizan los bordes contra la erosión. Esto sucede en los manglares costeros, en las riberas de las corrientes y en los estanques grandes y los lagos. En el caso de los ríos de curso sinuoso, la cubierta forestal sólo puede retrasar la erosión natural incontenible que lleva una gran cantidad de sedimentos a los cauces de agua, pero el retraso muchas veces es importante para los usuarios de las tierras que están en las curvas externas de esos cursos de agua. La estabilización de las riberas con plantaciones de árboles (muchas veces con cortes de sauces y esterillas de fibra) puede desacelerar el proceso, pero si sólo se realiza en un tramo corto, es posible que el problema simplemente se traslade a otra parte.

En terrenos en pendiente, el suelo se desliza hacia abajo debido a la gravedad y

su desplazamiento por el impacto de las gotas de lluvia. La cubierta forestal ofrece la barrera más eficaz contra la erosión natural, y la pérdida de cubierta forestal, debida a otros usos de la tierra, siempre incrementa la erosión acelerada por el hombre, a menos que se apliquen medidas de conservación del suelo.

La erosión abarca una serie de fenómenos, desde el desgaste de la superficie (lavamiento laminar y surcos), formación de cárcavas (erosión avanzada de la superficie) hasta los movimientos masivos del suelo (deslizamientos, formación de depresiones, aludes de detritos y deslaves). Todos estos son procesos naturales y pueden ocurrir en el terreno debajo del bosque. Los movimientos telúricos masivos son generalmente causados por sismos o por tormentas de gran intensidad o prolongadas que saturan los suelos y ejercen una elevada presión en los poros y producen flotamiento. Los procesos de erosión y sedimentación en las tierras en pendiente de la cuenca se muestran en la Figura 2, que ilustra el suelo en almacenamiento y en movimiento.

El uso de la tierra más eficaz para mantener el agua lo más libre que sea posible de sedimentos es una buena cubierta forestal, con su piso inferior, hojarasca de la superficie, detritos y suelo orgánicamente enriquecido. Por ejemplo, en las tierras altas de Etiopía, la pérdida de suelo forestal promedió una tonelada por hectárea, la más baja de las siete categorías de usos de la tierra (Hurni, 1988). No es la elevada cubierta del follaje lo que protege el suelo del impacto de la lluvia, sino lo que reduce la fuerza de la erosión pluvial son las hojas que están entre la superficie del suelo y 10 m de altura, y la hojarasca que está sobre el suelo (Wiersum, 1984), las mismas que, con las raíces de los árboles que están en la superficie, también reducen la erosión laminar superficial y la formación de surcos.



La extracción de madera que deja al desnudo la superficie de la tierra o los canales de agua –a consecuencia de las actividades extractivas, como los arrastraderos y las zonas de carga– incrementa el peligro de erosión (Hamilton y King, 1983). En las zonas de suministro de agua, toda actividad extractiva debe acatar las mejores prácticas de tala de conservación a fin de mantener la calidad del agua. En Megahan y Schweithelm (1983) y en Gilmour (1977) se presentan buenas directrices básicas para reducir al mínimo las consecuencias negativas de la tala de árboles en cuanto a la erosión del suelo y los sedimentos. Desde su publicación, se han formulado directrices de los países y locales para situaciones locales, y muchos países han establecido reglamentos para las prácticas aceptables de ordenación que previenen la sedimentación de las corrientes de agua.

Los bosques también son la cubierta más segura para prevenir los desplazamientos masivos del suelo. Las raíces profundas de los árboles que penetran a través de varias capas del suelo ofrecen cierta protección contra los deslizamientos superficiales al incrementar la tensión de corte (O’Loughlin, 1974). El desmonte elimina esta tensión de corte de las raíces, lo que en algún momento conduce a la catástrofe en los lugares propensos a los deslizamientos, mientras que la tala de bosques lo reduce, de acuerdo con el volumen de la tala y a la velocidad con que el bosque que se regenera reestablece los sistemas de raíces profundas (este tema se trata más ampliamente en el Capítulo 4).

Las zonas adecuadas de protección forestal en las riberas pueden atrapar los materiales de erosión que llegan de cuesta arriba como lavamiento laminar o erosión en surcos. La formación de cárcavas y la erosión masiva se pueden prevenir sólo a través de extensas protecciones ribereñas (también tratadas en el Capítulo 4).

El restablecimiento de los bosques es una de las mejores formas de restaurar la productividad y reducir la sedimentación en zonas degradadas de tierras desmontadas que sufran cualquier tipo de erosión acelerada. Se puede utilizar conjuntamente con otros usos de tierras de conservación o construcciones, y es un tema aparte. Por lo general se requiere un programa de rehabilitación integrado y multifacético, en el cual la reforestación es el componente principal. Por ejemplo, el programa de cuenca Green Hills instituido en los trechos degradados del monte Chitagong, de Bangladesh, incluye plantación de árboles, formación de organizaciones de autoayuda de la comunidad para el suministro de agua, lucha contra los incendios, salud y prácticas agrícolas mejoradas (Moung Thowai Ching, comunicación personal, 2003). El estudio de caso 2 expone la forma en que un proyecto de restablecimiento de cuenca en Taiwan Provincia de China ayudó a reducir en un 45% la sedimentación de los embalses.

OTROS CONTAMINANTES DEL AGUA

El suelo no es el único material que puede perjudicar la calidad del agua. De acuerdo con el tipo de uso de la tierra, diversas concentraciones de otros contaminantes también pueden drenarse a la corriente. La cubierta forestal en la cuenca situada más arriba del sitio de interés (por ej., un depósito del suministro de agua potable) es la mejor opción para limitar esta contaminación. En la mayor parte de los usos

ESTUDIO DE CASO 2

Reducción de los sedimentos en los embalses de Taiwan Provincia de China

La cuenca de Wuseh, con una superficie de 20 480 hectáreas, de la Cordillera Central de Taiwan, se descarga en el embalse de Wushah (terminado en 1958). El terreno es empinado, con una pendiente media del 57%. La precipitación anual promedio es de 2 235 mm, principalmente de mayo a octubre, con un período seco de octubre a enero. Dos tercios de la cuenca estaban cubiertos de bosque natural (14 099 hectáreas), había 4 205 hectáreas de pastizales, 856 de tierras cultivadas, 1 046 de tierras denudadas debido a una agricultura insostenible de quema y roza, y 276 hectáreas dedicadas a otros usos. La población aborigen era de 1 900 personas.

Se estableció un programa de cambios del uso de la tierra y de instrucción. Para 1988, con un gasto anual promedio de 200 000 USD, se obtuvieron los siguientes resultados:

- 2 660 hectáreas de reforestación;
- 490 hectáreas de conservación del suelo en tierras cultivadas;
- torres de vigilancia para incendios y una red para combatirlos;
- 33 kilómetros de una carretera forestal nueva y protección de los bordes en 38 kilómetros de una autopista grande (en respuesta a los daños causados por un tifón en 1982);
- ocho diques de consolidación y obras de reparación de cárcavas;
- introducción de frutales y agrosilvicultura, agricultura de conservación, nuevas variedades de cultivos y comercialización;
- cursos de capacitación para siembra de árboles, protección contra incendios, conservación del suelo, economía doméstica y artesanías para mujeres.

Desde 1957 se recogen datos sobre la sedimentación en el embalse y se estableció una tasa básica. De 1965 a 1985 la sedimentación se redujo un 55% de esa tasa de base, lo que se atribuyó al programa de rehabilitación. El costo por unidad de reducir un metro cúbico fue de 0,20 USD.

Fuente: Tomado de Sheng, 1986.

forestales no hay escurrimientos de fertilizantes, plaguicidas o combustibles fósiles, ni desagüe de aguas residuales o procesos industriales. Donde hay tala se debe tener cuidado con los combustibles y lubricantes de la maquinaria, ya que la acumulación de pequeños derrames durante la manipulación habitual, u otros derrames más grandes, accidentales, pueden contaminar seriamente los suelos y el agua de drenaje. Todos los aceites, en particular el diésel, atraviesan rápidamente el suelo y aun pequeñas cantidades pueden contaminar el suministro de agua potable y perturbar los procesos de tratamiento de las aguas (Nisbet y McKay, 2002). Otros tipos de uso de las tierras que utilizan combustibles y lubricantes para maquinaria, como la agricultura y las vías de transporte, son todavía más peligrosos debido a

la frecuencia con que se producen derrames y la intensidad de uso en comparación con la explotación forestal.

Los bosques en las cuencas de suministro de agua son la mejor solución para reducir los riesgos de contaminación. Si se talan con equipo mecánico y desde carreteras, se deben utilizar buenos regímenes de tala de conservación. Muchas cuencas de agua potable –como una parte de la zona de suministro de agua de Melbourne (Australia)– se han talado con cuidado desde hace décadas, sin que se perciban problemas en la calidad del agua (Dudley y Stolton, 2003), si bien en torno a la mitad de las tierras de la cuenca están en parques nacionales sin explotar.

Los efectos del cambio del uso de las tierras cuando las zonas forestales se hacen suburbanas están bien ilustrados en el caso de la cuenca de la ciudad de Nueva York, el sistema Croton. En este caso, un paisaje forestal en parte protegido en parte y “activo” está cambiando gradualmente de ordenación forestal a propiedad rural residencial unifamiliar con grandes terrenos de 0,5 a 2 hectáreas, lo que está dando lugar a un incremento de la carga de nutrientes de las fosas sépticas, fertilizantes de los prados, desechos animales (muchas veces caballos) y sales de las carreteras; el crecimiento de zonas de superficies impermeables acelera el traslado de nutrientes (Heisig, 2000). Las sustancias químicas estudiadas son el amonio, el fósforo total y los ortofosfatos, pero también pueden aumentar el nitrógeno y otras sustancias. Toda contaminación de origen difuso se puede reducir considerablemente o incluso eliminar mediante zonas forestales de protección adecuadas a lo largo de las corrientes de agua (véanse más detalles en el Capítulo 4).

Sin embargo, esas zonas no previenen la contaminación de las aguas subterráneas, lo que se debe afrontar mediante prácticas modificadas locales.

Los siguientes casos son los únicos en los cuales los bosques no son la cubierta más eficaz para que las cuencas suministren el agua de mayor calidad:

- en algunos monocultivos plantados y densos con poco o sin piso inferior y cubierta del terreno, que sufren altos índices de erosión superficial (véase el análisis anterior);
- donde los árboles “atrapan” los contaminantes atmosféricos más que la demás vegetación (debido a la altura y resistencia aerodinámica de los árboles) y se incorporan en el suelo y el agua. Esto sucede predominantemente en los bosques de montaña o en el hemisferio norte industrializado (Hamilton, Gilmour y Cassells, 1997).

Directrices

Cuando la calidad del agua es una prioridad elevada, los bosques son la mejor cubierta del suelo o uso de la tierra (estudio de caso 3). Una cubierta forestal inalterada ofrece una gran protección contra la erosión, la sedimentación y los daños por otros contaminantes. El mejor uso son los bosques designados con regímenes de ordenación, como las zonas núcleo de los parques nacionales o las reservas protegidas de las cuencas. Las pérdidas comerciales se pueden compensar con creces conforme el agua se vuelve más escasa y más valiosa. Muchos municipios en todo

ESTUDIO DE CASO 3

El Canal de Panamá y la calidad del agua

La sedimentación y la proliferación de maleza acuática crea problemas a la navegación en el Canal de Panamá e impone costosas obras de dragado. También es necesario un suministro de agua dulce adecuado y regulado. La función de los bosques en estas dos cuestiones está reconocida por el Instituto Smithsonian de Investigación Tropical, de Panamá, que recomendó la reforestación de partes denudadas de la cuenca. Esto no sólo reduciría la sedimentación, sino también la llegada al canal de nutrientes que estimulan el crecimiento de la vegetación acuática. La reforestación haría disminuir el total de la afluencia de agua, pero el efecto regulado de reducir el caudal máximo se traduciría en un agua más útil y menor necesidad de almacenamiento de agua. Se ha propuesto que las empresas que dependen del canal compren bonos para financiar la reforestación.

Mientras tanto, un canje de 10 millones de USD de deuda por protección ambiental en un período de 14 años a través de The Nature Conservancy (que prometió aportar 1,6 millones de USD) fortalece la protección de las tierras de la cuenca. Esto comprende 129 000 hectáreas del parque nacional de Chagres, con su rica biodiversidad. La cuenca también proporciona agua potable a las ciudades de Colón y Panamá.

Fuente: Adaptado de *Plant Talk*, 2003.

el mundo, como Caracas, Freetown, Harare, la ciudad de Nueva York, Quito y Singapur, han tratado de establecer zonas de suministro de agua en bosques protegidos (véase el Capítulo 4), que no tienen un uso intenso del hombre, animales domésticos o maquinaria.

Donde hay extracción forestal, se deberá reducir al mínimo la producción de sedimentos y la contaminación con sustancias químicas. Es necesario tratar las carreteras, zonas de descarga, caminos de arrastre y compactación del suelo como las fuentes principales de sedimentos. Las zonas propensas a deslizamientos pueden ser importantes fuentes de sedimentos e inundaciones. Es necesario señalarlas y darles una atención especial, y sólo se deben explotar ligeramente con medios no mecánicos. La infraestructura recreativa también se debe situar y administrar con cuidado. Las zonas de protección de las riberas de bosques o vegetación densa y apropiada tienen una importancia extrema.

4. Alertas forestales

BOSQUES HIGROFÍTICOS DE MONTAÑA NUBOSOS O BRUMOSOS

De todas las situaciones forestales, los bosques higrofíticos nubosos o brumosos son los que mantienen una relación más cercana con el agua dulce. Estos bosques están en zonas montañosas o en tierras altas envueltas por una bruma frecuente y persistente, en particular en la intersección directa de las nubes impulsadas por el viento con la superficie. Presentes sobre todo en las zonas tropicales, los bosques higrofíticos son comunes en las grandes montañas del interior, a alturas de 2 000 a 3 000 metros. En las sierras costeras pueden estar a 1 200 metros, y en las islas pequeñas aun a 500 metros (Hamilton, Juvik y Scatena, 1994). Además de la precipitación vertical normal, estos bosques tienen otra fuente de agua: la interceptación y caída de agua de la niebla que se desplaza horizontalmente, la cual puede añadir cientos de milímetros de agua al año al ecosistema y a su cuenca (Bruijnzeel y Hamilton, 2000).

Las estimaciones recientes de la superficie de los bosques higrofíticos de las zonas tropicales varían considerablemente. La estimación oficial del Centro Mundial de Vigilancia de la Conservación (CMVC), del Programa de las Naciones Unidas para

Los bosques brumosos son importantes para la producción de agua, el control de la erosión y la biodiversidad (Malasia)



el Medio Ambiente (PNUMA) se basa en la cubierta forestal y el margen de altitud, y ofrece una superficie mundial potencial. En 2004, se calculó una superficie de 380 000 km², menos del 2,5% del total de los bosques tropicales (Bubb *et al.*, 2004). Una estimación basada en un modelo de bosques nubosos ofrece una cifra mucho más grande, de 2,2 millones de km² (14,2% del total de los bosques tropicales) (Mulligan y Burke, 2005). Esta diferencia refleja la dificultad para definir y ubicar estos ecosistemas. Una base de datos del CMVC-PUMA señala más de 560 puntos que se sabe que son bosques higrofiticos (Aldrich *et al.*, 1997).

Los árboles de los bosques higrofiticos por lo general son más cortos que los de otros bosques de montaña más bajos, mucho más musgosos y están mucho más cargados de bromelias, orquídeas, helechos, líquenes y hepáticas (epifitas). Los troncos de los árboles se vuelven cada vez más retorcidos y nudosos con la altura, son frecuentes los helechos de árbol y el bambú, y el musgo cubre las rocas y los troncos caídos. Sin embargo, en algunas situaciones llegan a crecer árboles finos, rectos y más altos, como en los bosques nubosos de *Podocarpus* de los Andes y en los de *Quercus* de la Cordillera de Talamanca, en Costa Rica. Todas las superficies epifíticas, y el follaje de los árboles, las ramas, los tallos y los arbustos, forman una “red” que captura la precipitación horizontal de la niebla o las nubes, y se suma al caudal de la cuenca como goteo de la bruma o escurrimiento en los troncos. En los bosques envueltos de bruma la transpiración es relativamente poca, por las hojas pequeñas y los suelos muchas veces húmedos y encharcados, lo que hace mínima esta pérdida.

La cantidad de agua “adicional” que obtienen los bosques brumosos varía mucho de acuerdo con las pautas pluviales, la posición topográfica, la frecuencia o persistencia de la niebla y la medida en que el viento impulsa las nubes (Cuadro 2). El aumento puede ser del 15% al 20% en el caso de las lluvias de 2 000 a 3 000 mm al año, y hasta del 50% al 60% en las cumbres de las cordilleras con menos lluvia (Bruijnzeel y Hamilton, 2000). El agua capturada en situaciones de niebla o nubes en zonas de menos lluvia y lluvia estacional puede ser del 100% o más que en los bosques situados más abajo. En zonas de menos lluvia, pero niebla frecuente impulsada por el viento, incluso los árboles solos pueden funcionar como importantes recolectores de agua para la fauna silvestre y las reservas domésticas de la población. Se encontró un ejemplo famoso en El Hierro, una de las Islas Canarias, donde uno de varios “árboles manantiales” (un laurel) se utilizó durante siglos como principal fuente de agua para las personas y sus animales, hasta que lo desarraigó una tormenta (Gioda *et al.*, 1992). Este árbol era tan importante que está representado en el escudo municipal de la isla. En 1945 se plantó otro árbol para sustituirlo, que sigue atrapando cantidades valiosas de agua de niebla hasta hoy en día.

Se pueden plantar árboles en lugares estratégicos de niebla para que capturen la precipitación horizontal a fin de utilizarla. Donde es difícil plantar árboles por falta de lluvia, como en las montañas costeras de Chile y el Perú, se han instalado mallas, como bosque brumoso artificial que proporciona agua potable a comunidades donde ésta escasea.

CUADRO 2

Ejemplos de cantidades de precipitación horizontal en bosques nubosos tropicales de montaña cuantificadas por captadores de niebla

Lugar	Elevación en metros	Precipitación horizontal en % de lluvia	Período
Colombia, Serranía de Maquira	865	63	temporada seca
Costa Rica, Cerro Buenavista	3 500	18	anual
Costa Rica, Balalaica	1 300	33	anual
Costa Rica, Balalaica	1 300	15	temporada húmeda
Hawái, Mauna Loa	1 580	30	anual
Hawái, Mauna Loa	2 530	68	anual
Malasia, Gunung Silam	884	9	anual
México, Sierra Madre	1 330	15	temporada húmeda
México, Sierra Madre	1 330	85	temporada seca
Puerto Rico, Pico del Oeste	1 050	7	anual
Venezuela, Cerro Santa Ana	815	32	anual
Venezuela, Cerro Santa Ana	815	66	temporada seca
Venezuela, Cerro Copey	987	11	anual
Venezuela, Cerro Copey	987	9	temporada seca
Venezuela, Zumbador	3 100	4	anual
Venezuela, Zumbador	3 100	19	temporada seca

Fuente: Nik, 1996.

Si se eliminan los bosques higrofiticos nubosos se pierde gran parte de esta captación adicional. Aunque no se han cuantificado adecuadamente las reducciones producidas después de desmontar terrenos, debería prevalecer el principio de precaución (Bruijnzeel, 2005). Se recomienda determinar las zonas de bosques brumosos o nubosos, hacer su cartografía y protegerlos por los servicios hidrológicos que proporcionan. En Costa Rica y en otras partes se han establecido pagos a los propietarios de tierras por mantener los bosques nubosos (Capítulo 6). Otra respuesta conveniente consiste en darles la condición jurídica de bosques protectores de cuenca, parques nacionales o reservas naturales. Los bosques nubosos tienen un valor en extremo elevado por su biodiversidad, ya que el endemismo que hay en estas franjas forestales de las montañas es extraordinario. Allí viven animales como el gorila de las montañas africano, el oso andino, el tapir de las montañas, el quetzal resplandeciente y numerosos anfibios que están en peligro de extinción (Bruijnzeel y Hamilton, 2000). Estudios realizados por BirdLife International revelan la importancia de los bosques higrofiticos tropicales de montaña en todo el mundo para especies de aves que están amenazadas y viven en zonas restringidas (Long, 1994).

Como se dijo, se estima que estos bosques pueden abarcar menos del 2,5% de la superficie mundial de bosques húmedos (Bubb *et al.*, 2004). Se trata de una estimación generosa, basada en la exclusión en los mapas de los bosques más bajos de montaña, pero incluidos 605 sitios conocidos de bosques higrofiticos. No se incluyen los bosques nubosos de montaña subtropicales. Es interesante señalar

RECUADRO 4

Ejemplos de bosques nubosos y el suministro de agua

Millones de personas dependen del caudal de agua dulce de buena calidad que llega de los bosques nubosos y otros análogos. Los bosques higrofiticos nubosos del parque nacional de La Tigra, en Honduras, mantienen un caudal de agua de buena calidad, bien regulado durante todo el año, que aporta más del 40% del suministro de agua a los 850 000 habitantes de Tegucigalpa, la capital. Los 2,5 millones de habitantes de Dar es Salaam (República Unida de Tanzania) dependen del agua potable de las montañas de Uluguru, y del suministro hidroeléctrico de los bosques nubosos de las montañas de Udzungwa, que hoy son objeto de modestas intervenciones de conservación. Otras poblaciones urbanas que reciben agua de bosques nubosos son 1,3 millones de personas de Quito y 20 millones de personas de la Ciudad de México.

El monte Celaque, del norte de Honduras, es denominado "Caja de Agua" en la lengua lenca, y desde hace milenios la población lenca le rinde culto como montaña divina que suministra agua vital a las tierras y a la gente. Esta montaña, cubierta de un denso bosque nuboso, da origen a nueve ríos importantes e innumerables arroyos, que suministran agua limpia a las ciudades y comunidades próximas. En Guatemala, la Reserva de la Biosfera de Sierra de las Minas contiene el 60% del hábitat de los bosques higrofiticos que quedan en el país. Más del 60% de los ríos permanentes drenan la reserva y la convierten en el recurso hídrico más grande de Guatemala. Esto tiene especial significado en el valle de Motagua, situado al sureste de la sierra, que es un desierto de sombra pluviométrica que depende mucho de la irrigación. En zonas áridas y semiáridas, los terrenos de bosque nuboso son todavía más decisivos para el suministro de agua para las comunidades circundantes, sobre todo en la estación seca, como en el monte Kenya.

Sin el río Chagres, la construcción del Canal de Panamá hubiera sido casi imposible. Su manantial está en la cuenca alta, en una serie de montañas cubiertas de bosques nubosos tropicales. Este ecosistema garantiza el suministro de agua para los lagos Madden y Gatún, que proporciona el calado necesario para los barcos en tránsito.

Fuente: UICN y WWF, 2000.

que la superficie de bosques nubosos potenciales en Asia se estima en 14,6% de la superficie forestal tropical del continente, proporción más elevada que la de los otros continentes.

Si bien los sitios de los bosques nubosos muchas veces no son aptos para conversión a otros usos sostenibles, debido a limitaciones del suelo, al clima y a problemas de acceso, los amenaza la producción de hortalizas, el cultivo de opio o coca, el pastoreo, el cultivo de café e incluso la creación de campos de golf y sitios de esparcimiento. La tala excesiva para producir carbón o leña también es



P. CECI

Los bosques palustres desempeñan una función singular en el equilibrio hidrológico. Son entornos delicados en los que el mantenimiento de la integridad hidrológica es una prioridad de ordenación (Polonia)

un peligro en estas frescas localidades de montaña (estudio de caso 4). El calentamiento del planeta parece estar elevando la capa de nubes en algunos lugares, con posibles graves efectos negativos tanto para el suministro de agua como para la biodiversidad.

Directrices

En vista de su importancia para la producción de agua, el control de la erosión y la biodiversidad, así como por su idoneidad para otros usos sostenibles, los bosques nubosos se deberían mantener como bosques. Es necesario señalarlos en los inventarios locales, regionales y nacionales. Su pérdida es irreversible debido a las complejas relaciones que hay entre su flora, su fauna y sus suelos (Hamilton, 1995). La conservación de los bosques higrofiticos y su designación como zonas protegidas deberían ser prioridades nacionales.

BOSQUES PALUSTRES

Los bosques palustres son un tipo importante de bosque que desempeña una función exclusiva en el equilibrio hidrológico local y en la ecología mundial. Cualquier humedal con vegetación leñosa es un bosque palustre, independientemente del tamaño de las plantas, que pueden tener desde un metro de altura, como el mangle *Rhizophora mangle*, hasta los cipreses de 50 metros de altura *Taxodium distichum* (Lugo, Brinson y Brown, 1990). Los bosques palustres de agua dulce

ESTUDIO DE CASO 4

Peligro de fragmentación del bosque nuboso de Xalapa, Veracruz (México)

En los últimos decenios se ha acelerado considerablemente la destrucción del bosque nuboso tropical de montaña de la región occidental de Xalapa, Veracruz. Para determinar el grado y la pauta de la fragmentación del bosque de esta región se digitalizaron e interpretaron 33 fotografías aéreas (escala 1:20 000) a fin de generar mapas de la vegetación y el uso del suelo. Se incorporó información adicional sobre la pendiente, el aspecto de la misma y los asentamientos humanos en un sistema de información geográfica. En la zona de estudio de 12 843 hectáreas quedan 19 fragmentos de bosque inalterado, que ocupan apenas un 10% de la región. Los usos predominantes de las tierras son pastizales (37%), zonas urbanas (1%), vegetación secundaria (17%) y bosques modificados (17%).

Las pocas superficies planas de la región (3,2%) están ocupadas por zonas urbanas y pastos, mientras que el bosque inalterado está principalmente en laderas empinadas, expuestas al norte y alejadas de la actividad humana. Fragmentos del bosque están rodeados de pastos, bosques modificados y vegetación secundaria, que pueden producir fuertes efectos de bordes y reducir otro 15% a 54% la cubierta forestal inalterada, de acuerdo con la superficie del fragmento de bosque. Los resultados indican que ya se destruyó el 90% del bosque de la región y el resto corre peligro de desaparecer. Es necesario un plan de desarrollo regional que tenga en cuenta la importancia de los bosques higrofiticos nubosos como reservas de biodiversidad y proveedores de servicios ambientales decisivos, que proteja los fragmentos forestales subsistentes y promueva el restablecimiento ecológico del bosque alterado y la creación de corredores que conecten lo que queda del bosque.

Fuente: Tomado de Williams-Linera, Manson e Isunza Vera, 2000.

son una fuente importante de pescado y otros alimentos acuáticos, así como de madera y leña. Interactúan con los ciclos biogeoquímicos y la cadena alimentaria, desempeñan un papel fundamental en la dinámica de la cantidad y calidad del agua local (Maltby, 1997; Maltby y Proctor, 1996) y ofrecen un hábitat distintivo a la biodiversidad. Los bosques palustres continentales protegen las cuencas hidrográficas, mientras que los pantanos costeros protegen las costas de las mareas, la elevación del nivel del mar y los peligros naturales.

En cualquier zona climática la hidrología es el factor determinante primordial para el establecimiento y el mantenimiento de los tipos específicos de pantanos (Lugo, Brinson y Brown, 1990; Mitsch y Gosselink, 1993). También es un factor determinante clave en la distribución de las especies, la productividad de las tierras húmedas (la biomasa producida por unidad de tiempo) y la circulación y disponibilidad de los nutrientes. La hidrología de las tierras húmedas de las cuencas (como las que se encuentran en las depresiones topográficas) es diferente de la de los

pantanos ribereños o marginales. La topografía local también repercute en el agua corriente. Un humedal de una cuenca grande puede contener una mezcla de tipos de humedales de comportamiento diverso (de cuenca o fluvial), de acuerdo con su ubicación y con la temporada. Las cantidades de nutrientes que llegan o salen de un pantano también son importantes para determinar su tipo.

Un modelo mejor de estructura y función potencial del bosque palustre se obtiene cuando se considera la hidrología junto con el contenido de nutrientes y su circulación (eutrófico a diferencia de oligotrófico, o minerotrófico a diferencia de ombrotrofico) (Brown, 1981; Odum, 1984, ambos citados en Lugo, Brinson y Brown, 1990). Estos últimos autores hacen hincapié en la necesidad de considerar los aspectos químicos de los humedales boscosos más integralmente. También mencionan la confusión de la nomenclatura utilizada para designar los humedales boscosos, debido al énfasis en la composición de las especies y el tipo de vegetación, que varía geográficamente, en vez de basarse en la hidrología y la geomorfología, para las cuales la variación geográfica es mucho menor. Por ejemplo, Swain y Kearsley (2001) señalaron 11 clases distintas de bosques palustres templados con base en las especies de árboles predominantes (coníferas, frondosas y vegetación arbustiva).

En los pantanos boscosos se desarrolla una estructura mayor y son más productivos en condiciones fluviales (Lugo, Brinson y Brown, 1990). La modificación de la cubierta vegetal palustre, mediante la explotación de la madera, por ejemplo, repercute en la calidad y cantidad del agua (Immirzi, Maltby y Vijnansorn, 1996; Ensign y Mallin, 2001). Las modificaciones hidrológicas que afectan a la calidad y cantidad del agua en los bosques palustres repercuten en la estructura de la comunidad y las especies constitutivas. El aporte de nutrientes de los usos de las tierras circundantes también repercute en la estructura de la comunidad y permite que especies menos tolerantes desplacen a las especies especialistas que utilizan pocos nutrientes (Swain y Kearsley, 2001; van Andel, 2003). Por ejemplo, en un pantano costero después de talado, el agua muestra una cantidad considerablemente mayor de sólidos en suspensión, total de nitrógeno, total de fósforo, total Kjeldahl de nitrógeno y bacterias fecales coliformes, y una cantidad muy inferior de oxígeno disuelto. Los efectos nocivos de largo plazo incluyen la proliferación recurrente de algas. Incluso una zona de protección sin talar de 10 metros es insuficiente para prevenir estos efectos en la calidad del agua (Ensign y Mallin, 2001).

La hidrología de las turberas es muy compleja y es decisiva para el funcionamiento de sus ecosistemas (estudio de caso 5). Algunos de estos pantanos están sobre una capa impermeable de roca o de suelo que impide el paso del agua entre el acuífero y el pantano. Otros pantanos se han formado por el agua subterránea que aflora a la superficie a través de manantiales, mientras que otros más se forman en suelos permeables situados sobre acuíferos, lo que permite al agua recargar el acuífero directamente. Debido a su gran extensión, las turberas son muy importantes para mantener el equilibrio hidrológico en todo el paisaje. Las zonas centrales de estos pantanos pueden estar saturadas de agua permanentemente, mientras que las zonas marginales tienen regímenes hidrológicos variables y pueden recibir la crecida de los

ESTUDIO DE CASO 5

Conservación y utilización sostenible del bosque palustre de turba de Pahang sudoriental

La cubierta de bosques palustres de turba en Malasia hoy se limita a zonas reducidas en el norte y sureste de Selangor, Tasek Bera (Pahan meridional), un gran complejo en Pahang sudoriental, la península de Klias en Sabah, el territorio continental del río Baram y la periferia de Loagan Bunut en Sarawak. El bosque palustre de turba de Pahang sudoriental está considerado el último inalterado del continente en Asia que permanece como un complejo forestal único, casi contiguo.

Como uno de los tipos de hábitat de humedales más amenazados del mundo, este bosque es objeto de interés mundial de conservación. Contiene un conjunto singular de biodiversidad de bosque tropical bajo, aporta importantes beneficios y servicios y sustenta los medios de subsistencia de numerosas comunidades locales. A escala nacional ha sido designado como zonas muy amenazadas y ecológicamente delicadas en el proyecto de plan nacional recientemente preparado por el Departamento Federal de Planificación Urbana y Rural. BirdLife International designó esta zona como importante para las aves y es sitio de un programa quinquenal de Conservación y uso sostenible de bosques palustres tropicales de turba y ecosistemas afines de humedales, proyecto conjunto del Instituto de Investigación Forestal de Malasia (FRIM), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM).

El espectro de los hábitats encontrados en el bosque palustre de turba de Pahang sudoriental va desde los acuáticos superficiales próximos a la costa hasta el rico mosaico de hábitats húmedos y de tierras áridas que están más tierra adentro. Los tipos de bosques de este complejo pertenecen a formaciones de clímax climático (como los bosques de dipterocarpáceas de las tierras bajas) y formaciones de clímax edáfico como los manglares, turberas, bosques de playa, bosques palustres de agua dulce, brezales, bosques ribereños y formaciones forestales inestables (como los de vegetación padang).

Los principales ríos que hay en el complejo forestal son el Bebar y el Merchong, que corren hacia occidente desde las montañas orientales. Son ríos negros que drenan la zona palustre de turba y tienen un pH muy bajo y muy poco oxígeno disuelto. También hay una amplia red de canales donde se ha drenado el pantano para extraer madera y cultivar las tierras. La influencia de las mareas en los ríos es muy marcada, sobre todo cuando hay una descarga baja del río, y se extiende a una distancia considerable hacia arriba desde el gradiente bajo, con resaca en las mareas altas. La penetración salina por los cauces fluviales hacia arriba produce una zonificación característica de la vegetación ribereña a lo largo de las partes bajas de los ríos.

La vegetación del fondo de macrofitas es limitada y la más común es de *Utricularia aurea*, presente en las partes donde la corriente fluye con mayor lentitud y en algunos canales fabricados por el hombre. Un hallazgo significativo en el río Bebar es el fondo

de *Cryptocoryne cordata* en algunas de sus zonas más altas. Son una zona importante de desove, alimentación y cría de peces jóvenes. Los *Euryhaline* y otros peces de agua dulce y los camarones se desplazan río arriba y río abajo, por lo general todos los días con las mareas, a fin de alimentarse y en temporada para desovar.

De los 238 taxones de turba registrados en la Malasia peninsular, por lo menos 221 están documentados en el bosque de Pahang sudoriental. Los más significativos son: *Gonostylus bancanus* (ramín), una importante especie maderera de distribución limitada en Malasia y en todas partes; *Durio carinatus*, fuente de alimento para los bucerótidos y otros animales silvestres; *Tetra glabra*, importante especie comercial; *Astonia angustiloba*, donde el marabú menor prefiere hacer su nido; *Leptoptilus javanicus* y *Nageia motlei*, gimnosperma relativamente rara. También hay 17 especies endémicas de árboles de la Malasia peninsular, 62 especies de mamíferos (tres en peligro de extinción, cinco vulnerables y nueve casi amenazadas) (UICN, 2002), 233 especies de aves (ocho endémicas de Sundaland), ocho especies de tortugas, 17 especies de anfibios y 56 especies de peces. De las especies de peces consideradas estenotópicas (tolerantes sólo a una breve variedad de factores ambientales) de los ríos negros en Malasia peninsular, está documentada la presencia del 70% en este bosque; dos de las 17 especies de anfibios (*Pseudobufo subasper* y *Rana baramica*) parecen ser especies exclusivamente de turbera.

Los jakun, principal población autóctona del bosque de Pahang sudoriental, depende de los recursos naturales del complejo para satisfacer el grueso de sus necesidades básicas: alimentos, vivienda y medicamentos. El pescado de la turbera es una fuente importante de proteínas para las comunidades que viven alrededor y a lo largo de las corrientes de agua. Las casas se construyen por completo con productos del bosque palustre. Se utiliza ratán para fabricar herramientas, utensilios domésticos y trampas para pescar, y con las hojas del *Pandanus* spp. se elaboran artesanías.

Los compartimientos forestales de este bosque seguían intactos en 2000, aunque se han talado las zonas circundantes o se han convertido en terrenos agrícolas, lo que amenaza la integridad ecológica. El drenaje de los bosques palustres para destinar el terreno a la agricultura modifica la hidrología local mediante la creación de embalses, presas y válvulas de retención para irrigación. El uso de fuego para abrir tierras en proximidad del bosque también amenaza la integridad ecológica del complejo. El drenaje puede secar la capa superficial de turba y plantear un peligro serio de incendios. Los incendios de turba son difíciles de apagar y arden durante períodos prolongados.

La ordenación de las turberas deberá adoptar un enfoque integrado de ecosistema que tenga en consideración los beneficios económicos, sociales y ambientales que se pueden derivar del bosque palustre. Este enfoque administra el uso de los recursos en forma adaptable a fin de satisfacer el doble objetivo de sostenibilidad y mantenimiento del potencial productivo del complejo. Este es el objetivo general del proyecto FRIM-PNUMA/FMAM.

Fuente: Tomado de FRIM, PNUMA y FMAM, 2004.

ríos, sobre todo en las temporadas húmedas (Rieley, Ahmad-Shah y Brady, 1996).

El agua se almacena en la capa inerte o inactiva (catotelmo) de las turberas, en volúmenes que se han observado relativamente constantes durante períodos largos si el pantano está inalterado. Casi todos los cambios en el almacenamiento de agua se producen por cambios en el nivel freático. Estos cambios de almacenamiento no representan más del 3% al 10% de la capacidad de almacenamiento (Ingram, 1983). El agua se drena libremente en la capa superior, activa (acrotelmo), en la cual es decisivo el almacenamiento para el equilibrio hidrológico de los pantanos y las zonas circundantes, y los efectos de la deforestación, el drenaje o la extracción de turba (y la consiguiente oxidación y degradación de las zonas drenadas de los pantanos) producen fuertes efectos en la hidrología local.

Las turberas constituyen más de la mitad de la superficie mundial de humedales (Maltby e Immirzi, 1996). En las zonas tropicales, se pueden encontrar turberas en superficies anteriormente cubiertas de manglares. Conforme se acumula la materia orgánica en condiciones anaeróbicas de encharcamiento, se forman diques que reducen la intrusión de agua salada y las especies continentales comienzan a sustituir a los mangles. El suelo es tan anaeróbico que las bacterias no pueden convertir la materia vegetal caída en humus. Estos residuos vegetales se convierten así en turba, que sigue acumulándose con el paso del tiempo, se modifica la capa freática y diferentes especies forestales ganan terreno. En un sitio de Sarawak, en Malasia, en un cúmulo de turba de unos 20 kilómetros de longitud en el pantano se observaron seis diferentes tipos de bosque, formados en círculos concéntricos. Las muestras de perforación del suelo del bosque más antiguo situado en el centro del cúmulo indicaron que los seis tipos se habían seguido sucesivamente. El tipo interior era bosque abierto limitado, mientras que el bosque exterior comprendía especies comerciales de 50 metros de altura. De esta manera, el bosque palustre de turba representa una etapa evolutiva de un bosque palustre de agua dulce caracterizado por suelos con un pH muy bajo, pocos minerales y una descomposición natural muy lenta de los residuos (Jacobs, 1988).

Los bosques palustres naturales de turba funcionan como acuíferos porque absorben y almacenan agua durante los períodos húmedos, liberándola lentamente en los períodos de poca lluvia. Contribuyen de esta manera a un caudal más uniforme de los ríos entre las temporadas seca y húmeda (Rieley, Ahmad-Shah y Brady, 1996; Urapeepatananpong y Pitayakajornwute, 1996), por lo cual pueden ser fuente de agua para irrigación —por ejemplo, la turbera de Selangor del Norte proporciona irrigación a los arrozales durante la estación seca (Prentice y Parish, 1992). En Sarawak, las turberas son fuente de agua potable (Lee y Chai, 1996). Las turberas situadas en las costas sirven de protección entre los sistemas marinos y de aguas dulces, y mantienen el equilibrio entre ambos evitando la intrusión salina a las tierras costeras, a la vez que protegen las pesquerías cercanas a la costa de las fuentes de contaminación procedente de la tierra (FAO, 1988a; Rieley, Ahmad-Shah y Brady, 1996).

En las turberas funcionan varios otros procesos de descarga de aguas además de la evapotranspiración, como la filtración (transporte de líquido en masa a través

de medios porosos), el flujo entubado de erosión subterránea, los escurrimientos y las corrientes en canal abierto (por zanjas, arroyos o ríos). En estos procesos repercuten con fuerza las actividades que reducen los niveles de agua de las turberas, como la construcción de obras de drenaje para conversión en uso agrícola, la canalización para la extracción de madera, la extracción de aguas subterráneas y la construcción de carreteras grandes. Todo esto degrada el ecosistema y se refleja en la descarga irregular de caudales variables del agua fluvial, subsidencia de la superficie de la turbera e incremento de la frecuencia de inundaciones.

El bosque palustre de turba de Selangor Norte es un ejemplo de opciones contrastantes de uso de las tierras en un sistema de humedal (Yusop, Krogh y Kasran, 1999). Allí se excavó extensamente la turbera durante la construcción de canales a fin de facilitar la extracción de troncos. Ha habido una competencia palpable por los recursos hídricos: el agua de la zona se requiere tanto para irrigación como para que el bosque mantenga sus funciones ecológicas. El caudal del río Bernam, que antes proporcionaba la recarga principal al ecosistema, especialmente en la parte noroccidental del bosque, se ha desviado para incrementar el suministro de agua para irrigación. Se calcula que esta turbera aporta el 11% del agua para las 20 000 hectáreas del Plan de irrigación de Tanjung Karang. Ya se percibe el deterioro ecológico, el pH del agua de los canales de extracción se mantiene entre 3,7 y 3,8, en comparación con los promedios de 6,0 y 5,9 de los principales canales de irrigación.

En Asia sudoriental, además de los bosques palustres salobres de turba de las costas también hay bosques palustres de agua dulce periódicamente inundados. Uno de los bosques palustres estacionales más grandes del continente en Asia sudoriental colinda con el lago Tonle Sap de Camboya central. Durante la temporada de los monzones (de mayo a octubre) una leve inclinación de la depresión camboyana central obliga al río Mekong a invertir su corriente hacia arriba por el canal de 80 kilómetros de longitud de Tonle Sap, impulsando el agua hacia los bosques que rodean el lago, que es el más grande de agua dulce de Asia sudoriental. El nivel del lago sube de 10 a 15 metros durante la temporada de lluvias y cubre una circunferencia de 20 a 25 kilómetros de bosques circundantes, o unos 10 500 km² de superficie. Más de 200 especies de peces emigran hacia el bosque inundado para desovar durante las lluvias, y se alimentan de las plantas e insectos que viven en los árboles sumergidos.

Directrices

Los bosques palustres deberían designarse zonas ambientalmente delicadas donde el mantenimiento de la integridad hidrológica es una prioridad de ordenación. Se les debería otorgar protección jurídica y evaluar con gran atención las repercusiones ambientales de los efectos potenciales a largo plazo e inmediatos de toda conversión prevista a gran escala en otro uso de la tierra. La composición y la función del ecosistema se deberían mantener lo más intactas posible y deberían favorecerse las actividades de conservación de la integridad y belleza de los bosques palustres. La ordenación debería tener en cuenta las interrelaciones entre los bosques palustres y los ecosistemas adyacentes, y la situación social y económica



T. LOOSL

Los bosques costeros mantienen el equilibrio entre los sistemas marino y de agua dulce, y previenen la intrusión salina en las tierras de las costas (Bangladesh)

en que están encuadrados los pantanos. La ordenación de los bosques palustres deberá basarse en:

- apreciación del principio de precaución, de acuerdo con el cual los encargados de tomar las decisiones deben tener cuidado de que las intervenciones forestales propuestas no incurran en costos futuros altos e imprevistos;
- comprensión de la capacidad de carga y el uso sostenible del bosque;
- mantenimiento de los bienes y servicios ambientales de los bosques;
- evitar daños irreversibles imprevistos y pérdida de la capacidad de recuperación de los ecosistemas;
- conciencia de la probabilidad de efectos imprevistos fuera del sitio.

BOSQUES EN SUELOS SUSCEPTIBLES A LA SALINIDAD

La salinización es un problema común, particularmente en paisajes más áridos o en regiones que tienen un estiaje prolongado. Informes recientes indican que en todo el mundo, 77 millones de hectáreas sufren salinización producida por actividades humanas. Esto se denomina salinización secundaria, para distinguirla de la primaria o natural. Una gran parte de la salinización secundaria (el 41%) obedece a modificaciones de la cubierta vegetal, y el resto a un exceso de irrigación. En ambos casos, las modificaciones del ciclo hidrológico que movilizan las sales almacenadas en el suelo inducen la salinización (Ghassemi, Jakeman y Nix, 1995).

Las sales presentes en los suelos tienen dos orígenes principales: las lluvias, que en las zonas costeras tienden a tener concentraciones más elevadas de sal que tierra

adentro; y la intemperización de sedimentos marinos anteriores que están debajo de muchos suelos. La sal puede descargarse del perfil del suelo si las lluvias son abundantes y el suelo tiene una textura arenosa, pero se puede acumular en los suelos si llueve menos o la textura de los suelos es más pesada y se descarga con menos facilidad.

Los cambios de la cubierta vegetal, como la deforestación, modifican el ciclo hidrológico reduciendo la interceptación de la lluvia y la transpiración de las plantas. Esto permite que más agua llegue a las capas subterráneas y se eleve el nivel freático, acarreado las sales presentes en el perfil del suelo. Una vez que el manto freático llega a uno o dos metros de la superficie del suelo, la evaporación hace concentrarse las sales en la zona de las raíces, lo que puede afectar al crecimiento de las plantas (O'Loughlin y Sandanandan Nambiar, 2001).

En condiciones normales se puede formar en los suelos que contienen cantidades sustanciales de sal almacenada una variedad de comunidades de plantas, inclusive bosques. Esto se debe por lo general a que la mayor parte de la sal está en las capas más bajas del perfil del suelo, y la evapotranspiración de las plantas asegura que la recarga de las aguas subterráneas sea lenta y que el nivel freático se mantenga relativamente muy por debajo de la superficie del suelo. Sin embargo, en algunas situaciones los suelos de la superficie pueden tener un contenido de sal mayor y las comunidades forestales contendrán especies adaptadas a estas concentraciones más fuertes.

Consecuencias de la tala o desmonte

Toda forma de perturbación del bosque repercutirá en la tasa de transpiración y, por lo tanto, en el ciclo hidrológico. La pregunta es ¿cuánta perturbación puede haber antes de que se movilicen las sales almacenadas en el perfil del suelo? Las siguientes son tres posibilidades distintas:

Tala selectiva: La información de campo indica que cuando un bosque se tala selectivamente (tala policíclica) y se permite que se regenere de inmediato, el efecto en el ciclo hidrológico será breve. En la tala selectiva por lo general sólo se retiran pocos árboles por hectárea. Las clases de tamaño menor por lo general permanecen en la capa que está por debajo de las copas altas y crecen para llenar el hueco que quedó, utilizando los recursos del suelo que han quedado disponibles (incluida el agua).

Tala rasa: El impacto de la tala rasa (tala monocíclica) es menos claro ya que depende del alcance del hueco creado en la cubierta de copas. Es poco probable que movilicen las sales almacenadas las superficies de corta reducidas, de una o dos hectáreas, que se llenan pronto de árboles jóvenes de crecimiento acelerado. En realidad, mientras más grande es la zona de follaje general la tasa de evapotranspiración puede ser mayor en esos espacios de crecimiento de árboles jóvenes que en el bosque original inalterado. Las superficies de tala más grandes pueden ser más problemáticas, si bien una reposición rápida de todas formas puede minimizar todo posible problema de salinidad.

Desmante y sustitución con otra cubierta vegetal: Cuando es extenso, este tipo de modificación produce repercusiones muy duraderas en los ciclos hidrológicos y es una causa común de salinidad de las tierras áridas. Donde se desmanta para cultivar las tierras o crear pastizales se suele cambiar de plantas de raíces profundas a otras de raíces superficiales. En el caso de los cultivos también puede variar la duración del crecimiento de las plantas del sitio y la cantidad de lluvia interceptada por los follajes. Esto reduce la tasa de evapotranspiración e incrementa la cantidad de agua que se cuela por el suelo y recarga las aguas subterráneas. En los estudios de caso 6 y 7 se presentan ejemplos de este proceso en una región templada y en otra tropical.

Consecuencias del cambio del ciclo hidrológico

Estos cambios en el ciclo hidrológico hacen subir los niveles freáticos. En algunos casos, las aguas subterráneas salinas llegan a la superficie y aumentan directamente la salinidad de las corrientes. Esto suele suceder en las zonas bajas de las pendientes y puede ser a cierta distancia de donde se produjo el desmante. El aumento de la infiltración de agua también puede aumentar la presión en los acuíferos confinados o no confinados, causando fugas ascendentes de aguas salinas desde éstos. El agua salina llega después a la superficie del suelo y lo saliniza (Ghassemi, Jakeman y Nix, 1995).

La velocidad con que se producen estos cambios depende de las circunstancias. Datos de pequeños estudios experimentales de cuenca realizados en Australia Occidental revelan que las aguas subterráneas por lo general comienzan a subir a un año, aproximadamente, del desmante. Sin embargo, puede tomar más tiempo antes de que se hagan evidentes en el paisaje más amplio los efectos negativos de un desmante extenso. Esto depende de la profundidad de la capa freática original y del alcance del desmante.

Estos cambios hacen los suelos menos aptos para nuevos usos (no forestales), como la agricultura, y reducen la calidad del drenaje del agua desde las cuencas hacia los usuarios río abajo. En ambos casos, los efectos de la deforestación pueden manifestarse a cierta distancia (ladera abajo o aguas abajo) de la zona deforestada.

Reforestación para superar la salinización

Hay un margen considerable para reducir la extensión de la salinidad e incrementar la productividad de los suelos salinos mediante alguna forma de reforestación o agrosilvicultura para restablecer el ciclo hidrológico e incrementar la evapotranspiración.

Sin embargo, para ello es necesario resolver varias cuestiones. Primero, hay que definir qué lugar de la cuenca se debe reforestar (Farrington y Salama, 1996; Stirzaker, Cook y Knight, 1999). La experiencia indica que muchas veces es mejor reforestar las zonas de recarga no salinas, donde la lluvia penetra en el suelo, e incrementar allí la evapotranspiración, en vez de tratar de reforestar zonas muy salinas de los valles. Éstas a menudo requieren especies más tolerantes y tratamientos especiales, como sembrar en montículos para favorecer el establecimiento de los árboles.

ESTUDIO DE CASO 6

Deforestación y salinidad en Australia Occidental

La parte sudoccidental de Australia Occidental tiene un clima mediterráneo, con inviernos húmedos y largos veranos secos. Tierra adentro, gran parte de esta región tiene un volumen pluvial anual inferior a 800 mm. Grandes zonas del suroeste tienen problemas de salinización debido al desmonte y sustitución por la agricultura. Estas sales proceden en su mayor parte de la lluvia. Antes de la tala, la evapotranspiración utilizaba gran parte de la precipitación, pero el desmonte ha permitido que aumente la recarga de las aguas subterráneas y que suba el nivel freático. La deforestación ha sido amplia y quedan pocos bosques en muchas de las zonas agrícolas más productivas. Este problema llamó la atención inicialmente en el decenio de 1920, pero la tala prosiguió hasta el decenio de 1980, antes de que fuera demasiado grande para no tenerla en cuenta.

Aparte de la proporción de la cuenca deforestada, los factores que repercuten en el grado de salinización son: la lluvia anual, la cantidad de almacenamiento de sal en el perfil del suelo, la hidrología subterránea y la historia del desmonte. Las previsiones actuales son que la salinidad llegará a afectar a más del 7% de la superficie agrícola de la región. Además, hasta un 50% de los recursos hídricos que se pueden desviar ya no son potables o son de calidad escasa. Se están experimentando respuestas a este problema, incluida la reforestación con diversas plantas leñosas, y soluciones de ingeniería como el bombeo y drenaje de aguas subterráneas para retirar las aguas salinas. Las opciones de reforestación incluyen cultivar *Eucalyptus globulus* en rotaciones cortas para incrementar la evapotranspiración. La madera se puede utilizar para obtener pasta, lo que representa una ganancia de efectivo para los propietarios de las tierras. Este enfoque no es adecuado en todos los casos (como donde hay poca lluvia), y por lo general se necesita una variedad de enfoques. Mientras tanto, los niveles freáticos de las cuencas que siguen teniendo bosques están disminuyendo debido a un período prolongado de lluvias inferiores al promedio.

Fuente: Ghassemi, Jakeman y Nix, 1995.

Otra cuestión es las especies que se van a plantar. Las mejores harán un gran uso del agua, serán tolerantes a las condiciones locales (como la cantidad de lluvia) y tendrán un valor comercial suficiente para que los propietarios de las tierras se puedan permitir plantarlas. Ghassemi, Jakeman y Nix (1995) enumeran especies utilizadas en diversos lugares del mundo. La tercera cuestión es la cantidad de reforestación necesaria en una cuenca salinizada para restablecer lo suficiente el ciclo hidrológico a fin de resolver el problema. Los conocimientos actuales indican que se logra limitar la recarga y reducir los niveles freáticos con mayor rapidez plantando grandes masas de árboles (que cubran más del 50% de la cuenca), en vez de establecer árboles aislados y dispersos o plantar franjas estrechas (Ghassemi,

ESTUDIO DE CASO 7

Deforestación y salinidad en el noreste de Tailandia

En el noreste de Tailandia la lluvia es superior a 1 400 mm, pero hay una prolongada estación seca de octubre a abril. La salinidad es un gran problema que afecta a más de 2,9 millones de hectáreas, o el 17% del total de la superficie. Gran parte de la salinidad procede de la sal mineral que está en el subsuelo de esta región; una gran parte de los pozos de las llanuras dan agua salada. El problema no es nuevo, pero en los últimos años se ha acentuado por la aceleración del desmonte. La cubierta forestal de esta región disminuyó del 42% de 1961 a sólo el 13% en 1985. La mayor parte de las tierras deforestadas se ha utilizado para cultivar plantas de raíces superficiales y no cabe duda de que la sustitución de bosques por cultivos ha aumentado la recarga de los acuíferos, así como la filtración salina en las pendientes bajas y en el fondo de los valles. El nivel freático ha subido de tres a ocho metros en algunos lugares. La erosión de los sedimentos del subsuelo también produce sales que la escorrentía subsuperficial lleva hacia las zonas bajas.

Los programas actuales de tratamiento incluyen reforestación de las zonas de recarga a fin de hacer bajar el nivel freático y reducir la presión en los acuíferos artesianos. También se está probando la reforestación en las zonas de descarga, más abajo en los valles, pero puede ser difícil que los agricultores pobres que tienen parcelas limitadas para cultivar acepten la reforestación. Sólo se puede llevar a cabo una reforestación extensa donde hay grandes superficies de tierras públicas desocupadas. En otras zonas será necesaria alguna forma de agrosilvicultura.

Fuente: Ghassemi, Jakeman y Nix, 1995.

Jakeman y Nix, 1995). En los sistemas agrosilvícolas, el componente de los árboles necesita, por lo tanto, ser sustancial para que sea eficaz. Parece existir una fuerte relación lineal entre la cubierta del follaje de los árboles (la cubierta forestal multiplicada por la densidad de las copas) y la disminución de las capas freáticas.

Una de las razones por las cuales se adopta menos la reforestación de lo que cabría esperar es que muchos propietarios de las tierras consideran demasiado elevado su costo de oportunidad. Resolver el problema requiere que los propietarios reforesten (es decir, dejen la producción agrícola) en una parte de sus tierras aparentemente no salinas, a fin de resolver la salinidad en otra parte, o incluso en las tierras de otro propietario. A corto plazo, puede parecer más racional que los propietarios no reforesten, especialmente cuando los beneficiarios de la reforestación están lejos y no participan en los costos.

Directrices

Debería evitarse la deforestación en zonas forestales con subsuelos o aguas subterráneas salinas. Toda modificación del ciclo hidrológico en esos paisajes puede

movilizar las sales almacenadas. Para las zonas salinizadas, la reforestación con árboles de desarrollo rápido puede contribuir a reducir los niveles freáticos y reducir de esta manera la salinización. Esto se deberá llevar a cabo en las zonas de recarga de las aguas subterráneas (por lo general en la parte superior de las laderas), si bien la siembra de árboles de especies tolerantes a la sal en las partes bajas del paisaje también es posible cuando la salinización no es demasiado grave.

BOSQUES EN SITIOS DE ALTO RIESGO DE DESLIZAMIENTOS

Los bosques –con su sotobosque, hojarasca, residuos forestales y tierras sin compactar– son casi sin duda la cubierta vegetal mejor y más segura para reducir al mínimo todo tipo de erosión de la superficie (Wiersum, 1985; Kellman, 1969). En terrenos con pendiente en cualquier régimen climático, las clasificaciones anteriores de la FAO de la idoneidad de los terrenos para determinar la posibilidad de desmontarlos en forma segura y utilizarlos para agricultura o pastizales se referían a esta función de reducir la erosión al mínimo bajo diversos usos (FAO, 1976). Con sus sistemas de raíces más fuertes y profundas, los bosques también son la mejor cubierta del suelo para reducir al mínimo el peligro de deslizamientos superficiales (Rapp, 1997; O’Loughlin, 1974; Ziemer, 1981). Esos deslizamientos muchas veces son catastróficos y esta sección argumenta las ventajas de mantener la cubierta forestal en los terrenos propensos a los deslizamientos. Las tormentas intensas y de corta duración por lo general producen deslizamientos superficiales, mientras las que son prolongadas y de baja intensidad producen deslizamientos más profundos y grandes, contra los cuales pueden ser ineficaces los bosques, como en el caso de los 20 000 deslizamientos y deslaves aproximadamente que se produjeron en un único día en la zona de Sikkim-Darjeeling en una tormenta de 1968 (Ives, 1970).

Lo que posiblemente fuera, por las bajas humanas, la peor catástrofe del hemisferio occidental en 500 años, se produjo los días 16 y 17 de diciembre de 1999 (el tsunami de diciembre de 2004 de Asia meridional y sudoriental la superó). Cientos de deslizamientos y deslaves costaron la vida de 50 000 personas de los 500 000 habitantes de las faldas costeras y la base de la Cordillera de la Costa de Venezuela (Myers, 2000); se destruyeron 40 000 casas y casi todas las carreteras. El año anterior, el huracán Mitch causó miles de deslizamientos y deslaves en América Central, la peor catástrofe natural de la región en 200 años. Deslizamientos superficiales, deslaves profundos e inundaciones dejaron 6,4 millones de personas damnificadas, murieron 9 976 personas y hubo 11 140 desaparecidos, además de 13 143 heridos y 500 000 personas sin techo (Federación Internacional de la Cruz Roja, 2000).

A fines del decenio de 1980 hubo un gran número de fenómenos de erosión masiva que hicieron noticia internacionalmente: el sur de Tailandia en 1988 después de unas lluvias torrenciales; el ciclón Bola en Nueva Zelandia en ese mismo año; Puerto Rico durante el huracán Hugo en 1989; y Filipinas en 1990. Casi todos los daños obedecieron a problemas en laderas causados por cientos o miles de deslizamientos superficiales, con algunos deslaves grandes. Es intere-



P. CECI

La cubierta forestal estabiliza las laderas frágiles trastornadas por un sismo en la región himalaya del Hindu Kush (Pakistán)

sante señalar que la devastación producida en el sur de Tailandia y Filipinas se atribuyó a la tala, si bien casi todos los problemas se produjeron en tierras desmontadas para la agricultura (Rao, 1988; Hamilton, 1992). Ocurrió lo mismo en la catástrofe de Venezuela de 1999, casi todos los deslizamientos se produjeron en tierras desmontadas. Periódicamente ocurren problemas en las laderas y se producen grandes daños, lo que da lugar a un gran debate e investigación sobre la función de la cubierta forestal en la disminución de la frecuencia o gravedad de estos movimientos masivos. El estudio de caso 8 ofrece un análisis posterior a la catástrofe, de las verdaderas causas de las inundaciones de Tailandia de 1988.

Es difícil distinguir los problemas de laderas causados por el hombre de los de origen natural (Bruijnzeel y Bremmer, 1989). Existe una idea errónea muy difundida de que en los bosques intactos no se producen problemas de laderas, y hay confusión sobre los tipos de movimientos de masas en los que puede influir la vegetación. La siguiente clasificación se elaboró a partir de estudios realizados en la República Unida de Tanzania, y parece susceptible de aplicarse a muchos otros lugares (Rapp, Berry y Temple, 1972):

- Clase 1: numerosos deslizamientos y corrientes de fango, pequeños, de uno a dos metros de profundidad y de cinco a 20 metros de extensión, causados por grandes tormentas, que se producen a intervalos de 10 a 20 años.
- Clase 2: grandes deslizamientos ocasionales de gran profundidad en el basamento erosionado, por debajo del efecto de anclaje de las raíces de los árboles, que se producen a intervalos mucho más grandes.

La ciencia ha estudiado mucho la función de la cubierta forestal de reducir la frecuencia y gravedad de los deslizamientos superficiales (clase 1). Se acepta que una buena cubierta forestal los puede reducir e incluso eliminar. Los movimientos de masas grandes y penetrantes (clase 2) parecen estar fuera del control de la vegetación, pero casi toda la investigación se ha realizado en países templados, especialmente en Japón (bosques de protección), Nueva Zelandia (pastizales y explotación maderera), Taiwan Provincia de China (bosques de protección) y en el occidente de los Estados Unidos de América (asociada a la explotación maderera).

En un estudio sobre la degradación de la tierra en las montañas de Uluguru, en la República Unida de Tanzania, Rapp (1997) examinó numerosos deslizamientos pequeños y corrientes de fango (de uno a dos metros de profundidad y de cinco a 20 metros de extensión) en una superficie de 75 km², ocurridos después de caer más de 100 mm de lluvia en menos de tres horas. Descubrió que de 840 deslizamientos, sólo tres se habían iniciado en laderas cubiertas de bosque, el resto se produjo en zonas cultivadas o de pastoreo en pendientes igualmente empinadas. La importancia de las raíces de los árboles por la resistencia al corte que ofrecen a los suelos propensos a los deslizamientos está demostrada en los estudios de O'Loughlin (1974) y Ziemer (1981). Este trabajo y su confirmación posterior ofrecen las bases de las directrices para este tema.

La cubierta forestal beneficia a todas las tierras muy empinadas, especialmente en las zonas sísmicas. Las presiones para desmontar se producen donde las laderas son intermedias pero propensas a sufrir deslizamientos, y es aquí donde se debe dar la señal de alerta. Un uso prudente de las tierras hubiera podido evitar muchas de las consecuencias catastróficas observadas en Tailandia durante la tormenta de 1988, cuando las tierras forestales desmontadas para establecer plantaciones de caucho cedieron en miles de deslizamientos. Posteriormente se prohibió la tala pero no el desmonte (Hamilton, 1991). En muchas regiones de Nueva Zelandia en las que hubo un desmonte extensivo de bosques autóctonos para abrir las tierras al pastoreo en el decenio de 1870, los terrenos propensos a sufrir deslizamientos se han erosionado seriamente debido a las grandes tormentas. La velocidad de la erosión medida en la región de Wairarapa fue del 2,8% por década en el período de 1938 a 1977, y se tradujo en un 56% de cicatrices de tierras erosionadas en las laderas en 1984 (Trustrum, Thomas y Douglas, 1984). Este material aparece como sedimentación excesiva en las corrientes de agua.

En septiembre de 2004, el huracán Jeanne pasó por la República Dominicana, Puerto Rico y Haití, causando deslizamientos e inundaciones. Aide y Grau (2005) documentan que si bien estos países recibieron volúmenes parecidos de precipitación, en Puerto Rico hubo siete muertes por inundaciones, 24 en la República Dominicana y más de 3 000 en Haití. Hay factores que complican la situación, pero los autores atribuyen la diferencia de los daños producidos por los deslizamientos y las inundaciones a las diferencias de la cubierta vegetal, porque los agentes erosivos produjeron menos daños en las zonas forestales y en las tierras abandonas cubiertas de arbustos.

La dificultad está en determinar con anticipación estas zonas de alerta y mante-

ESTUDIO DE CASO 8

Inundaciones y deslizamientos en el sur de Tailandia

En noviembre de 1988, después de una tormenta sin precedentes e inundaciones repentinas, bajaron de las montañas que rodean la provincia de Nakhon Si Thammarat, del sur de Tailandia, deslizamientos de lodo. Cientos de deslizamientos cubrieron las laderas casi de la noche a la mañana, cobrándose 200 vidas, enterrando 300 casas bajo la arena y derribando cientos de frutales.

Las inundaciones desarraigaron los árboles a su paso, y los residuos obstruyeron y contuvieron el agua en algunos lugares. Conforme seguía lloviendo, estos obstáculos se reventaron y liberaron el agua contenida para avanzar, arrastrando arena, árboles desgajados y otros detritos. Este caudal sin precedentes erosionó los bordes de las corrientes, inundó las casas y los terrenos y modificó el curso de los ríos. Los damnificados fueron pequeños agricultores productores de caucho, de fruta y personas sin tierras.

Esta superficie originalmente estaba cubierta por un bosque tropical húmedo característico, con una vegetación compleja formada sobre todo por árboles, una cubierta de copas dominante, otras capas de árboles, arbustos, trepadoras y el sotobosque. Algunas zonas se talaron hasta hace algunos años, cuando se desmontaron y convirtieron en plantaciones de caucho, establecidas incluso en laderas empinadas. En general no había cubierta de cultivos y había muy poca vegetación para proteger el terreno, sólo los árboles de caucho, muchos de ellos plantados recientemente.

Diversas noticias atribuyeron los daños causados por las inundaciones a las operaciones de explotación maderera. La protesta se tradujo en un decreto del gobierno para prohibir la tala de árboles. Una explicación menos sensacional pero más realista de los daños causados por las inundaciones es la suma de los diversos factores que unidos resultaron catastróficos:

- Las pendientes donde se produjeron los deslizamientos eran empinadas, muchas veces con ángulos mayores de 25°.
- El substrato geológico de base de la capa superior del suelo eran formaciones de granito muy desgastadas y en extremo fracturadas, que se erosionan con facilidad.
- La capa de suelo no estaba suficientemente anclada por las raíces de los árboles jóvenes de caucho, la vegetación más común en la zona de los deslizamientos.
- La vegetación era escasa, sin cubierta vegetal entre las hileras de árboles de caucho.
- Los registros indican que del 20 al 23 de noviembre de 1988, las zonas montañosas de la provincia recibieron 1 022 mm de lluvias, que saturaron el suelo.
- No fue posible absorber la lluvia intensa, en particular en las laderas empinadas superiores, y el manto de agua resultante fluyó hacia abajo.

- La escorrentía y las fallas de las laderas produjeron deslizamientos en las faldas en general empinadas de las montañas.

Las numerosas cicatrices y cárcavas profundas que hoy marcan el paisaje de la provincia de Nakhon Si Thammarat presentan una oportunidad incomparable de demostrar la forma en que se pueden recuperar los deslizamientos y aprovecharlos productivamente. En respuesta a la petición del Gobierno de Tailandia, la FAO aprobó un proyecto del Programa de Cooperación Técnica que trabajará con silvicultores y agrónomos en Tailandia para restablecer algunos de los deslizamientos.

Fuente: Tomado de Rao, 1988.

nerlas cubiertas de bosques o arboladas. Los factores generales que influyen en los movimientos de masas son consabidos: presencia de agua, tipo de roca o mineral y estado de la erosión, número y densidad de los planos de fractura natural y estructura e inclinación de la ladera. Se necesitan guías prácticas de campo para reconocer las zonas propensas a deslizamientos donde conviene la retención forestal. Las directrices de Megahan y King de 1985 son en particular aptas para esto. Señalan que en las zonas muy propensas a la erosión los peligros más grandes están en las laderas de más del 45% al 55%, con una frecuencia máxima de alrededor del 70%; las pendientes cóncavas, que concentran agua; y los suelos con poca cohesión. Los suelos superficiales que están encima de un basamento de piedra o tienen una discontinuidad pronunciada de textura o estructura pueden saturarse, flotar y ser propensos a los deslizamientos. Megahan y King comentan la capacidad de erosión de la lluvia y la dificultad de obtener datos buenos en las regiones tropicales.

Blaschke, Trustrum y Hicks (2000), con base en investigación documentada de todo el mundo, produjeron un mapa que revela el alcance aproximado de las zonas donde la erosión de movimientos de masas repercute en la productividad de las tierras, así como un cuadro que muestra el uso de la tierra, la lluvia, la forma de las tierras, la superficie interesada, la duración del fenómeno y la tasa de pérdida de suelo, por país o región. Los datos buenos son pocos y están dispersos. Estudios como el de Humphreys y Brookfield (1991) en Papua Nueva Guinea indican que las fallas superficiales de pendientes son, con mucho, la forma de erosión más frecuente en tierras cultivadas en pendiente. El resultado es no sólo la disminución de la productividad, sino también la carga de sedimentos en las corrientes de agua, que dañan la calidad de ésta, repercuten en la vida acuática y propician las inundaciones.

Los sistemas agroforestales y silvopastorales bien organizados, con porcentajes elevados de árboles de raíces profundas, darían más seguridad que los cultivos o los pastos solos, debido a la resistencia de las raíces al esfuerzo cortante. Ninguna investigación indica la densidad de árboles necesaria en los sitios propensos a los deslizamientos, pero a mayor número de árboles, mayor el margen de seguridad.

Las carreteras asociadas a la explotación maderera y a otros usos muchas veces

funcionan como detonador porque el corte y relleno en las laderas desestabiliza todavía más estos sitios problemáticos.

En resumen, los árboles son la cubierta vegetal más segura donde la lluvia de gran intensidad o prolongada es característica de las laderas de un 70% –pero también de apenas 45%–, y que tienen una concavidad a manera de cuchara o superficies de poca profundidad, planas. Cuando no hay raíces de árboles existe un gran riesgo de falla de las laderas. No es aconsejable el desmonte y sólo se debería autorizar si existe la seguridad de:

- restablecimiento rápido de los cultivos de árboles, como las plantaciones de caucho o de otros árboles (aunque hay un largo período vulnerable hasta que las nuevas raíces de los árboles adquieren eficacia);
- construcción inmediata de terrazas para producción agrícola y árboles, en un sistema de agrosilvicultura; garantía de mantenimiento adecuado de las terrazas y capacidad de reparar rápidamente los daños menores causados por deslizamientos; o
- un sistema silvopastoral con abundantes árboles de raíces profundas y gestión de conservación del pastoreo.

La explotación forestal reduce la capacidad de estabilización de las raíces cuando mueren los árboles cortados, y hay un período de vulnerabilidad de varios años, antes de que las nuevas raíces sean eficaces. Si durante este período tiene lugar una tormenta grave se pueden registrar desprendimientos de tierras. Las vías forestales representan otra fuerza desestabilizadora en estos lugares inestables.

Establecido en 2002 con sede en Kyoto (Japón), el Consorcio Internacional sobre Deslaves (ICL) promueve las investigaciones sobre los deslaves en beneficio de la sociedad y el medio ambiente. Elementos importantes de las actividades del ICL son la interfaz entre los bosques y el agua y la función de los bosques en la mitigación de los riesgos de desprendimientos de tierras.

Directrices

Las zonas propensas a deslizamientos probablemente son la forma de erosión más grave que se puede reducir al mínimo mediante políticas y una ordenación firme para el uso de las tierras. Las raíces de los árboles dan un margen de seguridad al mejorar la resistencia de arraigo del suelo. Para reducir la producción y gravedad de los deslizamientos superficiales, es necesario mantener las zonas propensas a éstos bajo cubierta forestal, arboledas o sistemas de agrosilvicultura o silvopastorales, con una cubierta arbórea suficientemente densa. Estas zonas se pueden determinar antes de que se tomen decisiones sobre el uso de la tierra, con base en la erosividad, la pendiente, la forma de la pendiente y la superficialidad y cohesión del suelo. Las carreteras constituyen un problema en particular.

ZONAS DE PROTECCIÓN RIBEREÑA

Las franjas cubiertas de vegetación a lo largo de las orillas de los ríos y de los lagos o estanques desempeñan importantes funciones de protección del agua. Las zonas de protección forestadas desempeñan estas funciones particularmente bien debido



G. SONOINI

Las zonas forestales de protección ribereña estabilizan los bordes de los ríos, reducen la erosión y filtran el aflujo lateral de sedimentos y contaminantes (Sierra Leona)

a sus sistemas de raíces profundas y fuertes. Los bosques sin tala, inalterados, son los mejores, pero la explotación maderera con buena gestión no parece perjudicar estos servicios naturales de protección de la calidad del agua. Las zonas de protección ribereña forman el nexo vital entre los usos de las tierras de la cuenca y el sistema de corrientes de agua o la masa de agua.

Las zonas forestales de protección ribereña pueden estabilizar los bordes de las masas de agua circulante, reducir la erosión y la cantidad de sedimentos que llega al agua. El piso y el suelo del bosque también pueden atrapar los sedimentos que avanzan hacia la corriente de agua desde las zonas altas externas a la zona de protección. Los bosques que tienen una buena estructura de sotobosque y densidad, a lo largo de los bordes más pequeños de los ríos y durante la elevación de los caudales, pueden dispersar las crestas de la inundación, reducir la velocidad del agua y asimismo la erosión; pueden atrapar los nutrientes nocivos que llegan de río arriba en las escorrentías o en el caudal subterráneo, como los de la aplicación excesiva de fertilizantes y plaguicidas, para prevenir así la contaminación del agua, muchas veces perjudicial para la población y la vida acuática (O'Laughlin y Belt, 1995). También desempeñan esta función de contención las zonas de protección de lagos y estanques. Se piensa que la absorción de las plantas y los árboles, la actividad microbiana y la inmovilización del suelo participan asimismo en el proceso de reducción de los contaminantes. Los hongos micorrizógenos de los árboles absorben nutrientes (sobre todo el nitrógeno y los fosfatos), de los cuales liberan a las aguas adyacentes. Los ríos y las riberas boscosas contienen una población mayor de insectos acuáti-

cos, que transforman más materia orgánica, nitrógeno y fósforo que en los ríos con bordes denudados, lo que eleva la calidad del agua (Margolis, 2004).

Los árboles y ramas que caen en las franjas forestales ribereñas forman abundantes residuos leñosos que incrementan la variedad del hábitat fluvial para los peces y otros organismos acuáticos. Se acumula toda una serie de beneficios adicionales, como la sombra que influye en la temperatura del agua, la hojarasca y residuos de fruta para la cadena alimenticia de los peces, hábitats para la fauna silvestre aviar y terrestre (una cubierta con acceso al agua y corredores para desplazamiento) y la conservación general de la biodiversidad.

Estos beneficios y su función de conservación de la calidad del agua significan que estas zonas deberían recibir protección jurídica o asignarse como protectoras (Hamilton, 1997). Muchos países ya cuentan con directrices o legislación para las zonas protectoras de diversa extensión, donde no se permite o se limita el uso de las tierras y los bosques. Gregory *et al.* (1991) examinaron las ideas recientes sobre los servicios proporcionados por el ecosistema. Casi todas las directrices oficiales para la explotación forestal incluyen el mantenimiento de franjas en las que no está permitida la tala, de por lo menos 20 metros en cada orilla del río (mayores conforme aumenta la pendiente), como las de Malasia (Mok, 1986) o la zona tropical de Queensland (Australia) (Cassells y Bonell, 1986). En los bosques nacionales de los Estados Unidos de América, el Grupo de Evaluación de la Ordenación del Ecosistema Forestal (FEMAT) consideró posible la gestión del caudal superficial portador de sedimentos de las vías forestales mediante zonas de protección de 65 metros (FEMAT, 1993). Muchos estados de este país tienen reglamentos para reducir la contaminación de origen difuso (sobre todo sedimentos) mediante mejores prácticas de ordenación, centradas en zonas de protección ribereña sin talas. En 1996, el Servicio de Conservación de los Recursos Naturales de los Estados Unidos estableció la Iniciativa Nacional de Zonas de Conservación, en el que participan más de 100 organismos de conservación, agroempresas y organizaciones agrícolas y ambientales, y promueve el uso de zonas de conservación (Randolph, 2004).

El Recuadro 5 ofrece un ejemplo de código de prácticas para la tala de árboles de Papua Nueva Guinea.

¿Qué extensión debe tener una zona forestal de protección? Esto depende en parte de los objetivos del propietario de la tierra o del que elabora el reglamento. La extensión recomendada para las franjas de protección ribereña se reevalúa científicamente en continuación, y por lo general aumenta conforme se adquiere información sobre su influencia en la calidad del agua: de 20 a 30 metros (Bosch y Hewlett, 1982), hasta un mínimo de 25 metros (Megahan y Schweithelm, 1983) y hasta 50 metros (O'Laughlin y Belt, 1995). La extensión también debe tener en cuenta la pendiente y el uso previsto, como se indica en el código de Papua Nueva Guinea y en el informe del FEMAT. En vista de los numerosos valores adicionales de las zonas de protección ribereña, es prudente pecar por exceso de extensión, no obstante la pérdida económica de corto plazo por los productos forestales a los que se renunciaría (por lo general no madereros).

RECUADRO 5

Código de Papua Nueva Guinea para la tala forestal¹

Este código exige que se determinen las zonas de protección, se delimiten y que las respeten las partes interesadas, en particular la industria de la madera, a fin de garantizar que la extracción de madera se lleve a cabo en consonancia con la conservación de los recursos hídricos:

- Para los lagos, lagunas, las costas marinas y los pantanos, la zona de protección mínima es de 100 metros, a partir de la masa de agua, marca de la marea alta o borde de los manglares.
- La zona de protección para los ríos permanentes, grandes, considerados de la clase 1, es de 50 metros de cada lado de la corriente de agua.
- La zona de protección para los arroyos o riachuelos pequeños permanentes, considerados de la clase 2, es de 10 metros de cada lado de la corriente de agua.
- La zona de protección para las corrientes (permanentes o no permanentes) de cualquier dimensión, utilizados por la comunidad, es de 50 metros de cada lado de la corriente de agua. Las zonas de protección para manantiales de importancia cultural requieren una consideración atenta, incluida la exclusión de la tala a fin de proteger la zona de captación del manantial.
- Los aguaderos y desembarcaderos no necesitan zonas de protección, sino un espacio máximo de costa de 100 metros.

Todas las zonas de protección se señalan en el terreno antes de que se aprueben las actividades de explotación maderera. La zona de protección y los puentes de las vías forestales también figuran en los planes aprobados sobre el terreno por los oficiales forestales.

¹ El 97% de la superficie de Papua Nueva Guinea está bajo régimen de propiedad tradicional. La explotación sostenible de los bosques requiere acuerdos de ordenación forestal entre los propietarios y el Estado. En estos acuerdos, que contienen directrices para las zonas de protección ribereña, las zonas boscosas con pendientes de más del 30% se consideran zonas de captación de aguas y no está permitida la tala en las mismas.

Fuente: Kaip, 2002.

Para la otra categoría de tierras forestadas, incluidos casi todos los sistemas de agrosilvicultura, se informa que una zona de protección de árboles, arbustos, hierbas y pastos, de 25 metros, puede eliminar del 80% al 90% del nitrógeno, del 85% al 95% de los sedimentos y más del 90% de los herbicidas que escurren desde los terrenos agrícolas (Schultz, 1996). En esta mezcla tienen especial importancia los árboles porque su rizosfera por lo general sustenta a numerosos microorganismos que pueden degradar los herbicidas, insecticidas y algunos otros compuestos tóxicos (Haselwander y Bowen, 1996). Para los ríos y arroyos de sinuosidad natural, la zona de protección debe seguir el cauce. Las zonas de protección no deberán limitar los principales meandros, de modo que la extensión inicial de la zona de

protección en ese tipo de corrientes de agua tiene que ser sustancialmente más ancha de lo indicado. Estudios recientes realizados en Canadá revelaron que el fósforo y el potasio de los fertilizantes aplicados hasta de dos a cuatro kilómetros de distancia pueden repercutir en los humedales que no estén debidamente protegidos (Houlahan y Findlay, 2004), lo que conduce la recomendación de zonas de protección mucho más extensas en los paisajes no forestales.

Directrices

Establecer vegetación (una mezcla de árboles, arbustos y pastos) a lo largo de las corrientes de agua es uno de los métodos menos costos y más eficaces para proteger la calidad del agua, en particular del aflujo de sedimentos y nutrientes. Las zonas boscosas de protección ribereña que protegen las corrientes de agua perennes y otras masas de agua de daños a la calidad, deberían identificarse y designarse oficialmente para recibir un tratamiento especial en materia de uso del suelo. La política debería ser de mantener la zona lo más intacta que sea posible, a fin de que pueda cumplir su función de reducir al mínimo los sedimentos y la contaminación. Esto muchas veces acarreará una prohibición total de deforestación y explotación maderera. Los productos forestales no madereros por lo general se pueden obtener sin causar daños. La zona de protección deberá tener por lo menos unos 30 metros de extensión y ser más ancha en las pendientes empinadas propensas a la erosión superficial o a deslizamientos, o donde predomina el uso agrícola. Las zonas de protección cumplen muchos otros propósitos, relacionados con los hábitats acuáticos y terrestres buenos para la fauna silvestre, la biodiversidad, valores estéticos y el esparcimiento. Para la mejor calidad del agua es aconsejable restablecer los bosques degradados o ausentes en las zonas de protección ribereña.

BOSQUES PROVEEDORES DE AGUA PARA LOS MUNICIPIOS

La falta de agua potable y sanidad adecuada reduce la calidad de la vida de alrededor de un millardo de habitantes urbanos de todo el mundo, así como de muchas personas de las zonas rurales, principalmente en África, Asia y América Latina. Todos los años se atribuyen 2,2 millones de muertes –el 4% de las bajas mundiales– a enfermedades contraídas por falta de agua pura (Programa de las Naciones para los Asentamientos Humanos, 2003). Suministrar agua potable en forma estable es uno de los objetivos más apremiantes en las estrategias de desarrollo y reducción de la pobreza. Sin embargo, los sistemas de purificación del agua requieren una gran intensidad de capital y su mantenimiento es costoso, lo que convierte al agua potable en un producto de valor elevado que está fuera del alcance de muchas autoridades locales y consumidores. Los ricos compran agua embotellada y los pobres se enferman.

La necesidad de proporcionar agua limpia con un presupuesto limitado está obligando a muchos municipios a estudiar enfoques innovadores a fin de mantener suministros de agua pura. Esto comprende cada vez más examinar la función potencial de las cuencas forestadas en el suministro de agua potable a los asentamientos urbanos.



C. CARLINO

Alrededor del 85 % del agua potable de San Francisco procede de la cuenca hidrográfica de Hetch Hetchy, del parque nacional de Yosemite (Estados Unidos de América)

Cómo pueden contribuir los bosques

La relación entre los bosques y el agua es compleja y es objeto de fantasías e interpretaciones erróneas. Contrariamente a una opinión popular, la mayoría de los bosques no incrementa el caudal en las cuencas. En realidad, es más bien al contrario ya que un bosque joven y vigoroso por lo general devuelve más agua a la atmósfera a través de la evapotranspiración que los pastizales o los matorrales, lo cual reduce el caudal que llega a las corrientes de agua y los ríos (Calder, 2000). Reducir la densidad de la cubierta de copas mediante una extracción cuidadosa puede rendir más agua, pero su calidad puede reducirse en cierta medida (Hamilton y King, 1983; Bruijnzeel, 1990) (véase el Capítulo 2). Una excepción importante es el bosque nuboso tropical de montaña, donde los árboles y sus epifitas pueden “cosechar” horizontalmente la niebla en movimiento, lo que se suma a la precipitación vertical (Hamilton, Juvik y Scatena, 1994).

También está poco demostrado que los bosques puedan prevenir las inundaciones catastróficas, si bien reducen con efectos positivos el caudal máximo y retrasan los caudales máximos localmente (Hamilton y King, 1983). No obstante esto, muchos gobiernos han introducido prohibiciones de tala después de fenómenos extremos de inundación en las principales ramas de los grandes sistemas fluviales.

Si bien casi todos los bosques suministran menos del total de la cantidad de agua, casi siempre incrementan la calidad del agua, en comparación con casi todos los demás usos de la tierra (Capítulo 3). El agua que se drena de los bosques naturales muchas veces es de una pureza excepcional, lo que reduce radicalmente

los costos de purificación para el uso doméstico. En gran medida esto se debe a que muchas de las actividades que contaminan no están en los bosques naturales. La hojarasca, la vegetación del suelo, las capas de arbustos y los residuos que hay en el piso del bosque mantienen al mínimo la erosión de la superficie (y por tanto los sedimentos), y la densa capa de humus de los bosques también puede participar en la filtración del agua.

La relación positiva entre los bosques y la calidad del agua ya se está explotando para ayudar a suministrar agua potable a millones de personas en todo el mundo. Un estudio de las 105 ciudades más grandes del mundo, realizado en 2003 para el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) y el Banco Mundial, reveló que una tercera parte de las mismas obtiene una cantidad sustancial de su agua potable de cuencas de captación forestales protegidas (Dudley y Stolton, 2003). Incontables ciudades y pueblos más pequeños hacen lo mismo, y las industrias que necesitan agua limpia muchas veces están deliberadamente situadas en las zonas de captación de los bosques naturales.

¿Qué tipo de bosques protegidos?

Muchos de los bosques que suministran agua potable a las ciudades y que figuran en la investigación del WWF y el Banco Mundial son zonas protegidas jurídicamente establecidas, reconocidas por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) y el Convenio sobre la Diversidad Biológica: parques nacionales, reservas naturales y zonas silvestres. La UICN divide las zonas protegidas en seis categorías, de acuerdo con los objetivos de ordenación y desde las reservas estrictamente protegidas, donde están muy controladas las visitas, hasta los paisajes culturales, donde la protección se lleva a cabo con las comunidades residentes. En muchos casos la protección jurídica se concedió por motivos estéticos o para conservar las características naturales de la biodiversidad, y los beneficios del suministro de agua fueron secundarios o se reconocieron posteriormente. Otros bosques se administran con planes múltiples o para obtener madera, pero haciendo énfasis en la protección de sus servicios hídricos. Algunos bosques siguen existiendo en gran medida por accidente, o porque los usuarios del agua hacen pagos oficiales o no oficiales.

Algunos ejemplos

Los siguientes ejemplos exponen una variedad de formas en que los bosques protegen (o no) el suministro municipal de agua.

Quito (Ecuador): Alrededor del 80% de la población de 1,5 millones de personas recibe agua potable de las reservas ecológicas Antisana (120 000 hectáreas) y Cayambe Coca (403 103 hectáreas). Las empresas locales de agua contribuyen al pago de la gestión de estas reservas a cambio del agua potable. El gobierno municipal y una organización no gubernamental (ONG) local están elaborando planes de ordenación para proteger las cuencas hidrográficas, que incluyen una protección más estricta de la cuenca alta, prevención de la erosión y estabilización de las riberas y las pendientes (Echeverría, 2001).

São Paulo (Brasil): El agua potable para los 18 millones de habitantes de la ciudad procede de los bosques de seis zonas protegidas. La más importante es el parque estatal de Cantareira (categoría II de la UICN, 7 900 hectáreas), que suministra la mitad del agua para la zona metropolitana y está en lo que queda del bosque atlántico, en gran peligro de extinción (Dudley y Stolton, 2003).

Singapur: La mitad del agua de la isla procede del parque nacional Bukit Timah (que es el 3% que queda de la cubierta forestal original) y de las zonas de captación centrales, restablecidas como bosque natural (ambas son de la categoría IV de la UICN y cubren un total de 2 796 hectáreas). Originalmente los bosques estaban protegidos para mantener el agua, pero hoy también están reconocidos como depósitos de extrema importancia de biodiversidad (Bugna, 2002).

Tokio (Japón): La ciudad toma casi toda su agua de dos paisajes protegidos: el parque nacional de Nikko (categoría V de la UICN, 140 698 hectáreas) y el parque nacional de Chichibu-Tama (Titibu Tama) (categoría V, 121 600 hectáreas). En estas zonas, la conservación y el esparcimiento están equilibrados en la ordenación forestal que compete al Despacho de Obras Hidráulicas del Gobierno Metropolitano de Tokio, que tiene el objetivo específico de mantener la calidad del agua (Dudley y Stolton, 2003).

Nairobi (Kenya): Gran parte del agua de la ciudad procede de ríos que nacen en los Aberdares (incluido el parque nacional de Aberdares, categoría II de la UICN, 76 619 hectáreas) y la cuenca de captación del parque nacional del monte Kenya. Desafortunadamente, si bien existe una protección nominal, la invasión ilegal y la tala siguen degradando esta zona, con repercusiones negativas en el suministro de agua para la ciudad. Se estima que todos los bosques de la zona protegida del monte Kenya se han talado por lo menos una vez (Nakagawa *et al.*, 1994).

Ciudad de Nueva York (Estados Unidos de América) (Estudio de caso 12 del Capítulo 6): En vez de financiar, a través de impuestos, la construcción de una nueva central de purificación del agua, los ciudadanos de Nueva York votaron por subsidiar la protección forestal como la forma más económica y aceptable para mantener un suministro de agua potable. La ordenación aplica un conjunto de enfoques diversos, como la protección completa, facilidades para los propietarios y tala selectiva, de bajo impacto, en algunas tierras. El parque estatal Catskill (categoría V de la UICN, 99 788 hectáreas) protege gran parte de las cuencas hidrográficas de Catskill y Delaware y Croton, principales fuentes de abastecimiento de agua de la ciudad (Perrot-Maître y Davis, 2001).

Estocolmo (Suecia): Los lagos Mälaren y Bornsjön suministran el agua potable para Estocolmo. La empresa del agua, la Stockholm Vatten, controla la mayor parte de la cuenca hidrográfica de 5 543 hectáreas del lago Bornsjön, de cuya superficie,

unas 2 323 hectáreas, en torno al 40%, son un bosque productivo certificado por el Consejo de Manejo Forestal. Si bien se extrae madera y se comercializa, la ordenación se concentra principalmente en la protección de la calidad del agua, y se designan zonas de conservación y restablecimiento (Soil Association, 1998).

Potencial económico

En todos los casos expuestos, los bosques desempeñan numerosas funciones. La protección del suelo y el agua por lo general también brinda conservación de la biodiversidad, y viceversa. En casos como los de Nueva York y Estocolmo (y la situación es análoga en Beijing), un conjunto de usos diferentes suministra agua potable de buena calidad y a la vez sustenta actividades comerciales en las zonas protegidas, así como el turismo. Es evidente que el valor añadido que proporciona el agua potable puede contribuir a las actividades de ordenación de la tierra que de otra forma no serían económicas, incluidas las de muchas zonas protegidas.

Un grupo de investigadores de Argentina, los Países Bajos y los Estados Unidos de América puso una etiqueta de precio promedio de 33 billones de USD al año a los servicios fundamentales del ecosistema, casi el doble del valor del producto interno bruto (PIB) de 18 billones de USD, con un cálculo del valor de la regulación y suministro del agua de 2,3 billones de USD (Costanza *et al.*, 1997). La experiencia de los planes de pago por servicios ambientales (PSA) ha crecido, como en el caso de Quito, antes mencionado. Los PSA se refieren a cualquier sistema para garantizar que quienes se benefician de los servicios ambientales, como el agua limpia y la fijación de carbono, paguen a los que hacen sacrificios económicos o sociales para mantener los ecosistemas naturales.

Los PSA funcionan mejor cuando hay pocos receptores (por ejemplo, una empresa de agua, una fábrica o una autoridad municipal) y un grupo claramente identificado de proveedores (como los titulares de los derechos a las tierras que mantienen un bosque de alta calidad) (Pagiola, Bishop y Landell-Mills, 2002). Muchos países latinoamericanos han creado estos sistemas, como los usuarios de hidroelectricidad en pequeña escala en Costa Rica que pagan a los propietarios de las tierras para que mantengan los bosques en sus cuencas de captación. Este tema se desarrolla en el Capítulo 6.

Falta de conciencia sobre los beneficios de los bosques

Unos cuantos estudios de casos de éxito no constituyen un reconocimiento general de que los bosques protegidos o sujetos a una ordenación cuidadosa pueden ayudar a financiarse mediante el suministro de agua potable. Los planes de PSA tienen una trayectoria irregular y no siempre tienen éxito. El estudio del WWF y el Banco Mundial reveló que muchas empresas de agua y autoridades de las ciudades entienden poco de las ventajas y desventajas de utilizar los bosques para proteger el agua. Algunos proveedores de agua tienen ideas por completo no realistas sobre la escala de los beneficios que se suman de tener bosques en buenas condiciones, mientras que otros ni siquiera reconocen que habría beneficios. Las decisiones muchas veces se basan en información de segunda mano o parcial. Sin embargo,

hay excepciones en las que las estrategias de ordenación forestal se elaboraron con la mejor información disponible, como las empresas de agua de la ciudad de Nueva York y Melbourne (Australia).

Directrices

Si bien cada vez se considera más a los bosques como proveedores de agua, queda mucho por aprender y aplicar para sacar el provecho máximo de estos beneficios. Diversos grupos de intereses, como las empresas de agua, los propietarios de los bosques, los responsables de las zonas protegidas y todos los que participan en los planes de PSA, requieren orientación técnica que explique las cuestiones y garantice las opciones mejores que sea posible en materia de uso de la tierra. Además, deberá haber buenos materiales de instrucción y divulgación sobre los beneficios, en los que se destaque la conexión entre la protección forestal, una buena ordenación y el agua potable. Es preciso disponer de incentivos financieros y normativos racionales (y, cuando fuera necesario, eliminar los incentivos perniciosos) para alentar la buena ordenación con la que se persigue obtener un agua de calidad.

ESTANQUES VERNALES

Cada vez se reconoce más la importancia de los estanques vernaless en las zonas forestales, debido a su contribución al restablecimiento y conservación de la biodiversidad de los anfibios. Los estanques vernaless de los bosques son una depresión relativamente pequeña y de poca profundidad que contiene una masa de agua aislada que se llena anualmente en una zona boscosa. El período hídrico dura por lo menos hasta terminar la primavera antes de secarse (Thompson y Sorenson, 2000). Estos estanques no tienen entrada ni salida que permita la llegada de peces. Los humedales efímeros por lo general tienen una superficie no mayor de 0,2 hectáreas y menos de un metro de profundidad. Estos atributos impiden que vivan peces en ellos y que se alimenten de los huevos y larvas de los anfibios, las dos etapas en que éstos son más vulnerables.

Los anfibios de los hábitats vernaless son salamandras, ranas y sapos. Muchos de ellos están amenazados o en peligro de extinción y en todo el mundo sus poblaciones han disminuido en el último decenio. Esta disminución repercute en los anfibios que viven en todos los medios y no sólo en los estanques vernaless. De las 5 743 especies conocidas, 1 856 (casi una tercera parte) corre peligro de extinción (Stolzenburg, 2005). Las causas señaladas son: pérdida de hábitats, los plaguicidas y otros contaminantes del agua, la lluvia ácida y otros contaminantes atmosféricos, el incremento de la radiación ultravioleta, el calentamiento del planeta, patógenos fúngicos y de otros tipos y la combinación de varios de éstos. El calentamiento del planeta, por ejemplo, parece repercutir en la desaparición de varias especies de ranas y sapos, como el sapo dorado endémico de los bosques de Costa Rica (Pounds, Fogden y Campbell, 1999). Se piensa que los anfibios son uno de los indicadores más sensibles del ecosistema e incluso de la salud humana, como antes lo fueron los canarios en las minas.



VERNAL POOL ASSOCIATION/L. P. KENNEY

La importancia de los estanques vernales en las zonas forestales cada vez es más reconocida, especialmente por su contribución al restablecimiento y conservación de los anfibios (Estados Unidos de América)

Los estanques vernales han sido poco estudiados y están poco reglamentados debido a su carácter efímero. Además, su escasa extensión hace difícil detectarlos en las fotografías aéreas, incluso cuando se toman en el momento culminante de la temporada húmeda.

Los países desarrollados industrializados son los más interesados en la conservación de los estanques vernales, pero aun allí hay pocos reglamentos para protegerlos, a menos que alguna especie figure en la lista oficial de especies en peligro de extinción. Algunos estanques vernales más grandes pueden estar clasificados como humedales y contar con protección reglamentaria. Massachusetts, en los Estados Unidos de América, tiene una disposición para designar y certificar los estanques vernales, que los protege de sufrir modificaciones e incluye una franja de protección forestal (Westing, 2003). Dado que en todo el mundo la ordenación forestal contempla diversos bienes y servicios, los relacionados con los recursos hídricos y la biodiversidad adquirirán más importancia. Por ello convendría que los gobiernos y los responsables de la ordenación forestal tengan en cuenta los estanques vernales.

Las principales medidas de ordenación necesarias son evitar la destrucción o daños a los estanques vernales y suministro de zonas de protección de dos niveles. Puede ser difícil identificar estos estanques efímeros una vez que han retrocedido los niveles del agua, pero la cuenca cóncava, la falta general de vegetación y la capa más gruesa de materia orgánica pueden indicar su ubicación. Es necesario identificar estas zonas, marcarlas y señalarlas en los mapas en la primavera. Los sistemas mundiales de ubicación son útiles para la cartografía. Los estanques vernales aparecen con mayor frecuencia y tienen mayor capacidad de carga para los anfibios

en los bosques de frondosas que en los de coníferas (Westing, 2003). A partir de 16 estudios de campo recopilados por Westing, se recomienda una zona central de protección que contenga la superficie inundada más 15 metros, a fin de proteger las 0,5 hectáreas aproximadamente de los estanques más grandes. En esta zona no deberá haber tala, arrastre ni construcción de carreteras. Los árboles de la zona de protección ofrecen sombra y defienden del viento para impedir que se seque el estanque. Si bien un estanque vernal sin árboles podría parecer ideal como patio para la acumulación de troncos durante los períodos secos, también esto deberá evitarse. También es conveniente tener otra zona de protección forestal secundaria de unos 15 metros de extensión que se explote o modifique poco, para proteger de la sequía y ampliar el hábitat de alimentación.

Directrices

Las prácticas de ordenación mejores y aceptables y los sistemas de certificación forestal deberán reconocer estos importantes elementos efímeros de humedal de las tierras forestales y establecer los criterios para la zona eficaz de protección.

BOSQUES DE PROTECCIÓN CONTRA ALUDES

La protección contra aludes representa un desafío existencial para la población de las regiones montañosas altas de todo el mundo (Recuadro 6). Es uno de los muchos y considerables riesgos de vivir y realizar actividades en estas zonas. En el período de 1953 a 1988, tres de los principales diarios (el *New York Times*, el *Toronto Globe and Mail* y *The Times* de Londres) informaron sobre 18 aludes grandes, cada uno con por lo menos 10 muertes, 50 heridos y más de un millón de USD de daños y ayuda de emergencia de fuera de la zona damnificada (Hewitt, 1997). Esos aludes se produjeron en muchas partes: siete en América Central y América del sur, dos en Asia oriental, dos en Asia sudoccidental y meridional y uno en Asia sudoriental. Muchos otros sucesos de gran impacto local, que no registraron los rotativos mencionados, afectaron a aldeas pequeñas, algunos esquiadores o alpinistas y a carreteras rurales de las montañas o vías férreas. A pesar de esto, los aludes recibieron poca atención en el Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales (de 1990 a 2000), y la significativa contribución de los bosques de cierta protección contra las catástrofes se pasó por alto en gran medida. La cartografía de los peligros que hay en las zonas montañosas, por lo tanto, debería incluir los desplazamientos de masas de nieve, que son específicos de los lugares, y todos los bosques protectores designados para recibir tratamiento especial.

Formación de los aludes

Las laderas cubiertas de nieve están compuestas de capas de nieve que tienen límites reconocibles. De acuerdo con las propiedades de las capas limítrofes, se pueden producir movimientos de deslizamiento, que también pueden obedecer a las propiedades de la superficie del suelo y la cubierta de nieve. Cuando hay una carga excesiva, toda la cubierta de nieve se puede deslizar. Estos movimientos dependen de los siguientes factores locales:



Una franja forestal protege una central hidroeléctrica y las vías férreas transalpinas de posibles aludes (Suiza)

- el gradiente de la ladera;
- la densidad de la nieve;
- el tipo de nieve;
- las propiedades de las capas limítrofes.

Los aludes en placas se asocian a:

- gradientes de la ladera de más del 85%;
- capas débiles y zonas de deslizamiento;
- una cubierta de nieve con capas homogéneas;
- nieve compacta (cohesiva).

Se pueden producir aludes de nieve suelta en:

- laderas con gradientes del 85% al 170%;
- nieve con poca cohesión.

Los aludes forestales son aquellos cuya zona de liberación está en un bosque. Se producen cuando hay grandes claros en el bosque, cuya dimensión es decisiva en la escala de los desplazamientos de nieve. En las zonas subalpinas y de alta montaña, en particular, los claros grandes y pequeños de los bosques forman parte de la estructura forestal casi natural, esencial para la regeneración. Por lo tanto, es imposible controlar del todo el movimiento de la nieve en los bosques.

Reducción integrada de riesgos de aludes

Los planes de protección contra aludes deberían aunar una serie de medidas complementarias:

- evitar las zonas de riesgo de aludes, teniendo en cuenta los peligros naturales

RECUADRO 6

Experiencias internacionales: el invierno de aludes de 1999 en la región alpina de Europa

El invierno de 1999 se cobró un total de 70 vidas en Austria, Francia, Italia y Suiza, principalmente en zonas residenciales y, en menor grado, en las carreteras. Evolène, una aldea de las montañas del cantón suizo de Valais, sufrió daños particularmente, con la pérdida de 12 vidas; en Chamonix, en los Alpes de Saboya en Francia, hubo otras 12 víctimas; en las aldeas de Ischgl/Valzur y Galtür en el valle de Paznau, en el Tirol austriaco, se perdió un total de 38 vidas; en Morgex, en el valle de Aosta italiano, murió una persona. Sólo en Suiza hubo cerca de 1 000 aludes devastadores (Nothiger y Elsasser, 2004).

Los problemas para retirar la nieve y el riesgo de aludes dieron lugar a cierres temporales de los ejes internacionales de tránsito que atraviesan los Alpes, como la carretera y las vías férreas de San Gotardo, la carretera y las vías férreas de Tauern, el túnel de Arlberg y los pasos de San Bernardino y el Gran San Bernardo.

En los cientos de zonas de la región alpina afectadas por los aludes, muchas localidades y valles enteros quedaron completamente aislados durante varios días. En algunos lugares hubo que evacuar a la población local y los turistas, lo que hizo que algunos de éstos, que no corrían riesgo directo de estar expuestos a aludes pero se vieron aislados en los lugares donde transcurrían sus vacaciones, percibieran el paisaje de montaña como peligroso, anteriormente considerado un paraíso para el esparcimiento. Algunos turistas no pudieron afrontar la situación, que duró un tiempo considerable. Querían ser rescatados y, en muchos casos, los pocos helicópteros que había disponibles representaban su única esperanza de escape.

Además de las vidas perdidas, hubo alrededor de un millardo de francos suizos de daños en construcciones residenciales e industriales, graneros alpinos y establos, estructuras de protección contra aludes, cableado eléctrico, infraestructura de comunicaciones y transporte (incluidos los teleféricos) y bosques de montaña. Las pérdidas económicas indirectas debidas al trastorno del transporte y los suministros se estimaron en 500 millones de francos suizos, la mitad del costo de los daños materiales.

Exacerbó esta emergencia la presencia de cientos de miles de turistas que pasaban las vacaciones en los Alpes en febrero, lo que suscitó una solidaridad espontánea entre los turistas aislados en la zona y la población local, ya que ambos se hicieron cada vez más dependientes unos de otros conforme avanzaba la situación de emergencia.

Fuente: Greminger, 2005.

en la planificación de los espacios (para esto son una ayuda indispensable los registros y mapas de los peligros);

- medidas de bioingeniería para prevenir la formación de aludes, como la reforestación o forestación y el mantenimiento de los bosques protectores;
- medidas técnicas y de organización para dar la alerta precoz cuando hay fenómenos de aludes, que incluya previsión de aludes y alerta precoz sobre la acumulación de grandes volúmenes de nieve, como base para organizar la evacuación y el cierre de las rutas de transporte;
- verificación periódica, mantenimiento y reparación de las estructuras presentes, incluidas las de protección de objetos y las barreras de liberación de aludes.

El centro de esquí de Vail, Colorado, en los Estados Unidos de América, tiene una estrategia bien planificada de prevención que incluye la señalación y cartografía de zonas de peligro de aludes y la elaboración y aplicación de reglamentos de zonificación para el uso de las tierras (Oaks y Dexter, 1987).

Bosques protectores

Los bosques también influyen en la formación de la cubierta de nieve, y de aludes por lo tanto, en virtud de la interceptación, los climas más frescos de las masas de árboles y la rugosidad del terreno causada por los árboles en pie y los troncos y ramas que hay sobre el terreno.

Los árboles reducen significativamente la probabilidad de que se produzcan aludes (estudio de caso 9). En las laderas boscosas se pueden producir aludes sólo en gradientes de por lo menos 70%, en comparación con el 58% de las laderas expuestas o con masas de alerces. Se pueden producir menos aludes en las zonas con abundantes masas de árboles que en las zonas abiertas, pero si un alud comienza en una zona de ese tipo será mayor de lo que hubiera sido en una zona sin bosque.

Los árboles de una altura por lo menos del doble que la profundidad de la nieve contribuyen a prevenir los aludes de nieve. Los árboles bajos completamente cubiertos de nieve (como el pino suizo de montaña y el aliso verde) en realidad pueden promover la formación de aludes mediante el movimiento elástico de las ramas. Las especies de árboles caducifolios, que en el invierno están desnudos, sólo son eficaces cuando el nivel de la nieve es bajo; su efecto es limitado cuando las nevadas son grandes. En los límites de los cursos de los aludes muchas veces se plantan especies caducifolias porque aquéllos se llevan las especies de árboles perennes debido a que tienen una mayor resistencia al aire.

Cuando la nieve tiene de uno a dos metros de profundidad, que afecta sólo a los troncos de los árboles, un bosque puede desacelerar la precipitación del alud. Cuando la profundidad del caudal es mayor y la velocidad más elevada, como en los aludes de nieve suelta, se destruye el bosque, pero se puede producir un efecto de freno en la zona de desprendimiento si la velocidad de la nieve que se desplaza no es demasiado elevada, lo que reduce el alcance del alud.

En muchos países desarrollados, la recolección de madera en zonas donde sopla mucho viento ya no resulta viable económicamente, por lo cual se deja sobre el suelo. Esta práctica no se recomienda por muchas razones, incluido el riesgo de

ESTUDIO DE CASO 9

Protección forestal contra los aludes en Suiza

La vida y las actividades humanas en la región alpina de Suiza no serían posibles si las montañas no estuvieran cubiertas de bosque, que protegen de los peligros naturales más de 7 000 hectáreas de zonas residenciales e industriales ubicadas más abajo, así como numerosas rutas de transporte. Unos 130 000 edificios aproximadamente y varios cientos de kilómetros de vías férreas y carreteras también se benefician. Los bosques protectores tienen particular importancia en las laderas que corren riesgo de sufrir aludes, en las zonas directas de cuenca de los torrentes de las montañas y en las laderas empinadas vulnerables a la erosión del suelo. Un 30% de las 700 000 hectáreas aproximadamente de bosques de montaña ofrecen una protección directa contra los aludes y desprendimientos de rocas.

Alrededor de una tercera parte de la región alpina de Suiza tiene cubierta forestal. A alturas elevadas, hasta la línea natural de árboles de 2 000 metros sobre el nivel del mar, el bosque perenne de coníferas ofrece la protección mayor contra aludes, desde el punto de vista de la superficie. En los últimos 120 años se han reforestado muchas laderas en las que hay riesgo de aludes. Millones de árboles recientemente plantados ya están arraigados en las laderas empinadas de entre 28% y 45%, que serían zonas desde las cuales podrían desprenderse aludes si no hubiera estos bosques. Un bosque de montaña que no tenga claros grandes entre los árboles previene la formación de una placa uniforme de nieve, y de esta manera estabiliza el manto de nieve. En esta región, los bosques de montaña protegen contra la precipitación de aludes en varios cientos de kilómetros cuadrados.

Después de los inviernos de aludes extremos de principios del decenio de 1950, las regiones alpinas de Alemania, Austria, Francia, Italia y Suiza han realizado actividades intensivas de protección contra aludes, en las que desempeña una función importante el mantenimiento de eficaces bosques protectores. Se aplican estrategias análogas de protección en Austria, Baviera, Liechtenstein y Suiza. El devastador invierno de 1950-1951 se cobró 98 víctimas de los aludes en la región alpina suiza y destruyó casi 1 500 edificios. La mayoría de estas personas fueron tomadas por sorpresa y aplastadas hasta morir cuando sus casas quedaron sumergidas por la nieve.

Debido al auge del turismo de invierno y al enorme crecimiento del transporte de personas y bienes a través de los Alpes, la zona de peligro potencial hoy se utiliza mucho más intensamente que en el decenio de 1950. De esta manera, con un nivel comparable de frecuencia de aludes, en 1998/1999 había cinco veces más personas que en el invierno de 1950/1951 en zonas particularmente riesgosas de montaña. Sin embargo, la pérdida de vidas y los daños causados por los aludes de esa temporada fueron significativamente menores que en 1950/1951. La suerte no basta para explicar que este invierno de aludes extremos no cobrara más vidas y causara más daños a las propiedades, sino que cabe pensar que la intensificación de las medidas de prevención establecidas desde el decenio de 1950 ofreció una protección excelente, que dio buenos resultados.

Fuente: Greminger, 2005.

infestación de gorgojos de la madera, pero el viento que sopla ofrece una protección muy eficaz contra los movimientos de la nieve. La madera muerta, los tocones de árbol, las masas de raíces y los troncos caídos crean una estructura de la superficie que ejerce una influencia positiva en los depósitos de nieve, anclándola con eficacia al suelo. Esta madera ofrece una buena protección en las situaciones comunes de inicio de un alud, es decir, en gradientes del 58% al 84% de las laderas. En los lugares muy empinados y cuando hay volúmenes de nieve excepcionalmente grandes, la madera puede no resistir la carga y la nieve se desplazará arrastrándola. El riesgo aumenta gradualmente debido a la descomposición biológica de la madera y se debe tener en cuenta en las situaciones donde hay un gran riesgo de que se produzcan daños.

Directrices

La cartografía de los peligros naturales en los entornos montañosos se está convirtiendo gradualmente en una política y procedimiento comunes en muchos países. Las zonas con riesgo de aludes deben incorporarse en este esfuerzo.

Los bosques situados a alturas elevadas de más del 58% de pendiente, en zonas donde cae suficiente nieve para dar lugar a aludes de placa o de nieve suelta, pueden ser bosques de protección contra aludes. Éstas son zonas de alerta, pero proteger estos bosques sólo es una parte de la tarea necesaria. Establecer una cubierta de árboles en zonas abiertas donde se originan aludes por encima de la línea de los árboles también puede contribuir a la protección. Con el cambio climático, la línea de los árboles está ascendiendo naturalmente, haciendo esto cada vez más factible. La explotación maderera se debe realizar con el máximo cuidado. La ordenación de estos bosques es compleja y es recomendable consultar bibliografía especializada y a expertos antes de hacer cualquier modificación a los bosques. Una utilización de los bosques no informada e inadecuada puede incrementar los riesgos en las zonas propensas que están por debajo de los bosques, los que es necesario regenerar conforme envejecen y se hacen más propensos a degradarse y pierden funciones. La fauna silvestre repercute en la regeneración porque muchas de sus formas encuentran una parte de sus necesidades de hábitat en las zonas de caída de los aludes. Supervisar y mantener no sólo los bosques sino también las zonas cambiantes de interés (nuevas zonas propensas a los aludes) ha cobrado una mayor urgencia debido al cambio climático.

Los programas integrados de protección contra aludes deberán dar prioridad a las medidas biológicas para la función protectora y opciones técnicas para los sistemas de alerta precoz.

5. El caso especial de las islas pequeñas montañosas

Los Capítulos 2 y 3 expusieron la forma en que los efectos de los bosques en la cantidad y calidad del agua se manifiestan sobre todo localmente. Este capítulo expone cómo las islas pequeñas ejemplifican el fenómeno de “tubería corta”, en el cual los bosques influyen considerablemente en la hidrología y la erosión.

En las islas pequeñas muchas veces son escasos los recursos de agua dulce y, por lo tanto, preciosos. Los responsables de la toma de decisiones en materia de ordenación forestal deben, por ende, tener especial cautela respecto a las modificaciones o eliminaciones que perjudican los recursos hídricos. Las islas pequeñas y montañosas del océano pueden experimentar lluvias abundantes en las tierras altas debido a efectos orográficos, así como gradientes con lluvias rápidas, especialmente a sotavento. Puede haber bosques higrofiticos en las laderas y cordilleras situadas a barlovento en elevaciones relativamente escasas de 300 a 400 metros, que añaden el agua que capturan (Hamilton, Juvik y Scatena, 1994). (La primera sección del Capítulo 4 trata de la importante función de los bosques higrofiticos en el ciclo hidrológico y como cubierta para reducir la erosión al mínimo). En las laderas empinadas, si los suelos son delgados (es decir, no son volcánicos profundos), las cuencas pueden responder con rapidez a las lluvias y producirse inundaciones repentinas incluso cuando las tormentas son breves. Los huracanes o tormentas intensas pueden producir una gran erosión e incluso movimientos de masas del suelo en forma de deslizamientos superficiales o deslaves. Los sedimentos producidos no sólo perjudican la calidad del agua y agravan las inundaciones en la isla, sino que también se depositan en los arrecifes coralinos, que son un activo de gran importancia en muchas islas tropicales.

Las cuencas de las islas pequeñas montañosas son del tamaño y tipo mencionado en el Capítulo 2 como microescala (menos de 50 km²), donde los bosques de las tierras altas y las prácticas de uso del suelo influyen en el caudal y en la descarga de los sedimentos (Ives y Messerli, 1989) (Recuadros 2 y 3 del Capítulo 2).

El tamaño de las islas pequeñas y la condición de autosuficiencia se traducen en la necesidad de desmontar los bosques para producir alimentos. Las islas pequeñas montañosas son aptas, por lo tanto, para los sistemas agroforestales, que proporcionan cierta protección al suelo y el agua a través de los árboles. Una escala adecuada que evite la agricultura industrializada en gran escala es más favorable para la calidad del agua, porque requiere menos insumos químicos si se utiliza el manejo integrado de plagas (en vez de plaguicidas). La tala debe observar las normas más elevadas de conservación del suelo y el agua. En estos pequeños sistemas fluviales cortos (y muchas veces en terrenos empinados) tiene una importancia extrema que

haya zonas forestales adecuadas de protección ribereña (sección sobre las zonas de protección ribereña, Capítulo 4) para impedir que lleguen sedimentos a las corrientes de agua y a los sistemas coralinos. Las islas están sujetas a marejadas producidas por las tormentas en el océano y a los tsunamis; deberá asignarse a los bosques costeros, como los manglares, una condición de conservación en reconocimiento de su función protectora.

Las islas pequeñas montañosas, especialmente en las que predomina una única o pocas cumbres, son aptas para un sistema de ordenación integrada de la cuenca hidrográfica (estudio de caso 10). La unidad hidrológica ofrece una buena base

ESTUDIO DE CASO 10

Ordenación de la cuenca entre el gobierno y la comunidad en Pohnpei

En 1987 el estado de Pohnpei, en los Estados Federados de Micronesia, promulgó la Ley de la reserva forestal de la cuenca de Pohnpei y de protección de los manglares. Así, se designaron como zonas protegidas 5 200 hectáreas de la zona forestal de las tierras altas centrales (que tienen un bosque higrofitico) y 5 525 hectáreas de manglares costeros. El bosque de las montañas, situado de 450 a 780 metros sobre el nivel del mar, se protegió por decreto gubernamental. Se invitó a participar a los clanes tradicionales y se imprimió un enfoque comunitario.

El programa de ordenación producido une a la comunidad local y las instituciones tradicionales con el gobierno municipal y el del estado. La División de Bosques es el organismo principal al que compete la elaboración y ejecución del programa de ordenación y la regulación del uso en la reserva forestal de la cuenca. El jefe de la División de Bosques preside el Comité Directivo de la cuenca, que funciona como junta consultiva de la división y su organización superior, el Departamento de Conservación y Vigilancia de los Recursos. Los funcionarios municipales de protección de la cuenca se comunican con la División de Bosques y el Comité Directivo de la Cuenca sobre las cuestiones correspondientes a ésta, en particular para la construcción de infraestructura. Cada una de las cerca de 10 unidades de ordenación de la cuenca tiene un comité de administración local y autónoma para la zona interesada, formado por los jefes de la aldea local o sus delegados, que gestionan la cuenca conjuntamente con la División de Bosques.

Después de un programa de información para la comunidad en cada unidad, el Comité Directivo de la Cuenca trabaja con los comités de gestión de la zona de la cuenca para elaborar y ejecutar planes unitarios para la misma, que comprenden todo su conjunto, desde el bosque higrofitico hasta los arrecifes. Fuera de las zonas designadas, los planes sólo pueden recomendar medidas. El cumplimiento es mayormente voluntario, pero se prevé que la participación de las comunidades y sus dirigentes genere apoyo.

Fuente: Tomado de Raynor, 1994.

ESTUDIO DE CASO 11 La *ahupua'a* hawaiana

Donde fue posible se extendió la *ahupu'a* desde las cimas más altas de las montañas hacia las costas y más allá, por lo general hasta el límite exterior del arrecife coralino, opuesto a la costa. Cada una fue concebida como unidad económica y ambiental autocontenida, para los *ali'i* (los jefes) y los *maka'āinana* (la gente). Los bosques de las montañas proporcionaban madera, plumas de aves para los mantos y diversas plantas comestibles, medicinales y rituales. Las laderas moderadas producían cultivos de tierras altas y las tierras bajas estaban plantadas de taro. Los productos del mar podían obtenerse de las costas y el arrecife. La *ahupua'a* incluía el agua dulce y los estanques de peces marinos, los sistemas de irrigación y las casas y edificios para las ceremonias de las comunidades.

Los *ali'i*, con ayuda de un *konoiki* (agente agrario), mantenían el control político y económico de la tierra y sus recursos. Las demarcaciones políticas coincidían con las de la cuenca, y la delineación hidrológica ofrecía una unidad que sustentaba los medios de subsistencia mediante una variedad de productos forestales y oportunidades agrícolas y acuícolas.

Fuente: Tomado de Morgan, 1986.

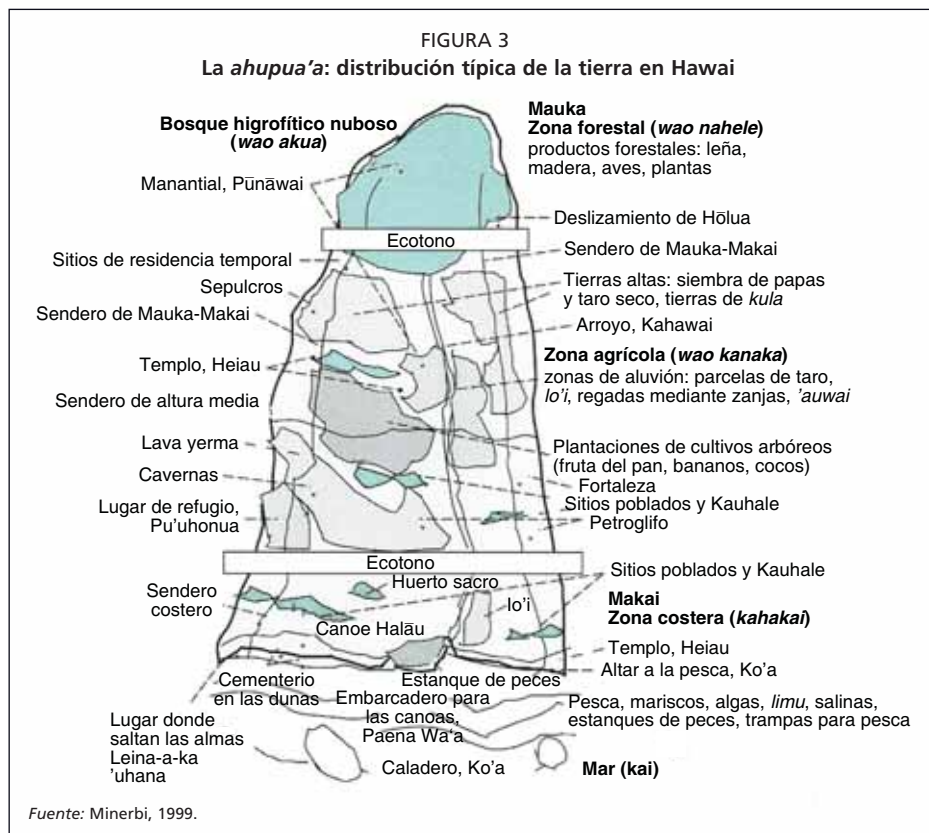
para la política y gestión del uso de las tierras, porque integra las actividades del suelo, el agua y humanas con mayor eficacia de la que pueden lograr otros tipos de planificación o unidades de gestión. Estos tres elementos conectados entre sí tienen especial importancia en las islas pequeñas. En el estudio de caso 11 se presenta un interesante sistema tradicional de control del uso de las tierras en cuencas con forma de cuña (más estrechas en la cumbre y más anchas en la costa) que se practica en Hawái, en las denominadas *ahupua'a*, y se ilustra en la Figura 3.

Directrices

En las islas pequeñas y montañosas prevalecen las influencias clásicas de los bosques en la cantidad y calidad del agua. La escasa longitud de los arroyos hace que los nexos entre río arriba y río abajo sean cercanos; lo que ocurre en las tierras altas por lo general repercute en la cantidad y calidad del agua, a través de inundaciones, caudales bajos, sedimentación y contaminantes del agua. Por ejemplo, talar los bosques más de un 10% incrementa el caudal durante el año, efecto que aumenta de acuerdo con la cantidad de árboles que se eliminan. El desmonte puede incrementar el caudal máximo de crecida, anticiparlo e incrementar el volumen de la escorrentía directa. También incrementa el rendimiento del estiaje. La tala de los bosques nubosos reduce el rendimiento hídrico porque se pierde la captación del agua de la niebla. Los usos posteriores de las tierras que incrementan sustancialmente la zona de superficie impermeable del suelo (por ej., exceso de pastoreo,

carreteras, edificios) agravan las inundaciones y disminuyen los caudales de la temporada seca. La calidad del agua casi inevitablemente sufrirá debido al incremento de la erosión y los sedimentos, y posiblemente los contaminantes debidos muchas veces a un uso más intensivo. Con zonas de protección ribereña se pueden mermar los daños a la calidad del agua, lo cual no sólo es importante para el uso humano y pecuario, sino también para los arrecifes costeros, los estanques de peces y las pesquerías de aguas superficiales.

En las islas pequeñas, los bosques y el agua están relacionados más íntimamente porque todo es local. Los bosques son la cubierta más segura para las tierras altas y se les debe asignar protección jurídica de cuenca o hacer de ellos un uso muy conservador. Donde se requiere producir alimentos en una zona menos protectora, se deberán contemplar sistemas agroforestales con componentes arbóreos significativos para las tierras propensas a los deslizamientos. La prioridad mayor son las zonas de protección ribereña boscosas o con vegetación densa en las que no haya pastoreo.



6. Pagos por servicios ambientales

La degradación de las cuencas ha hecho reconocer sus numerosas contribuciones al bienestar humano a través de los servicios del ecosistema y, en consecuencia, se les atribuye más valor. Estos servicios pueden incluir el suministro de agua dulce para diversos usos, la regulación del caudal del agua y de los sedimentos, y mantener el régimen del caudal natural que sustenta ecosistemas completos y formas de vida.

Sólo la reglamentación de las prácticas de uso de las tierras no garantiza que se sigan suministrando los servicios, deposita en los usuarios de tierras de las zonas altas una parte desproporcionada de los costos de la conservación sin darles el acceso correspondiente a los beneficios. Por ejemplo, muchas veces el Estado reclama la propiedad de zonas forestales y cuencas protegidas con políticas que excluyen a la población local de los recursos en que han confiado tradicionalmente, lo que puede hacer que la población local lleve a cabo prácticas que de pronto se vuelven ilegales, o que ocupen más zonas de tierras marginales (Tomich, Thomas y van Noordwijk, 2004; Blaikie y Muldavin, 2004).

Los acuerdos basados en el mercado son una opción para que los usuarios de río arriba recuperen los costos de mantenimiento de la cubierta forestal, y una forma de financiar otras prácticas de ordenación de las tierras para proteger los servicios de las cuencas. También se recomiendan enfoques de paisaje para la conservación en tierras privadas. Los enfoques basados en el mercado en los cuales los pagos son contingentes a la obtención de los resultados deseados pueden conducir a una asignación más eficaz de los recursos y a soluciones más efectivas desde el punto de vista de los costos. Sin embargo, hay una serie de desafíos científicos e institucionales para su ejecución, cuyos costos de transacción pueden hacer poco prácticos estos enfoques.

Entre estos desafíos está cuantificar los beneficios efectivos y demostrárselos a aquellos a quienes se pide que paguen por ellos, lo que requiere entender los complejos procesos del ecosistema a través del tiempo en lugares específicos, determinar las acciones efectivas de gestión para mantenerlos y ofrecer una seguridad razonable de que los compradores tendrán acceso a los beneficios en el futuro. Encontrar los enfoques más eficaces y eficientes también requiere la capacidad de aprender y ajustarse a información nueva.

Este capítulo presenta un panorama general de la gama de servicios que proporcionan las cuencas hidrográficas y los diversos acuerdos de pagos que se han experimentado. Al final se comentan los desafíos para la aplicación y se destacan cuestiones importantes que es necesario tener en cuenta en la concepción y elaboración de tales iniciativas.

SERVICIOS AMBIENTALES PROPORCIONADOS POR LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Los servicios de la cuenca son los productos de los procesos del ecosistema que aportan diversos beneficios directos e indirectos, tales como:

- agua dulce para diversos usos humanos;
- regulación del caudal y filtración, que controlan las tasas de escorrentía en la superficie. A escala local, el control de la escorrentía puede proteger contra el caudal máximo o el caudal de las inundaciones; ayuda a mantener el caudal de base o del estiaje; permite que se recargue el agua almacenada en el suelo, las aguas subterráneas, los humedales y los llanos de aluvión; y controla el nivel de los mantos freáticos. El control de las escorrentías también reduce el flujo de contaminantes y sedimentos que repercuten en la calidad del agua (FAO, 2002).

Las cuencas hidrográficas además dan servicios de apoyo tales como:

- mantenimiento del caudal natural y regímenes de perturbación que impulsan todos los procesos del ecosistema, y mantienen de este modo la diversidad del hábitat y la capacidad de recuperación del ecosistema. Los procesos de los cauces fluviales, los humedales, los hábitats ribereños, los manglares, los estuarios y las zonas costeras sustentan los medios de subsistencia en muchas formas y dependen de la presencia oportuna del agua y de los sedimentos;
- conservación de valores culturales, así como de las cualidades estéticas que sustentan el turismo, el esparcimiento y las formas tradicionales de vida.

Estos servicios son interdependientes; el suministro de agua dulce para usos directos depende del mantenimiento de sus servicios de regulación y apoyo. Por ejemplo, las actividades para incrementar el suministro de agua dulce y los cambios en el uso de las tierras para incrementar el suministro de alimentos muchas veces se dan a costa de mantener el caudal natural y los regímenes de perturbación que garantizan el suministro regular de ambos. Conforme disminuyen estos servicios de regulación y apoyo, el bienestar humano dependerá cada vez más de lograr un equilibrio óptimo entre estas compensaciones (Aylward *et al.*, 2006). Es necesario hacer evaluaciones específicas para cada sitio a fin de calcular los beneficios suministrados en un contexto social y económico determinado, y las escalas y significado económico de estos beneficios. Estas evaluaciones también pueden ayudar a evitar las ideas erróneas y las generalizaciones comunes sobre la función de los bosques en el ciclo hidrológico: por ejemplo, la idea de que aumentan los caudales estacionales e impiden las grandes inundaciones (Hamilton y King, 1983). En cambio, los bosques se deberían considerar un elemento de un enfoque integrado de la ordenación de la cuenca que incluye prácticas de uso de la tierra y ordenación (FAO y CIFOR, 2005) (Capítulo 2).

TIPOS DE INICIATIVAS DE PAGOS

Un examen de estudios de caso realizado por el Instituto Internacional de Medio Ambiente y Desarrollo (IIMAD) en 2002 recopiló 287 iniciativas de pago por servicios del ecosistema forestal, de las cuales 61 se relacionaban específicamente

con cuencas hidrográficas. Los principales temas de interés de estas iniciativas fueron el mantenimiento del caudal durante la temporada seca, la protección de la calidad del agua y el control de la sedimentación (Landell-Mills y Porras, 2002). Los resultados en general coincidieron con otros exámenes de estudios de caso (Perrot-Maître y Davis, 2001; FAO, 2002; Rosa *et al.*, 2003; FAO, 2004; Tognetti, Aylward y Mendoza, 2005).

Las iniciativas de PSA revisten diversas formas de acuerdo con las características del servicio, la escala de los procesos del ecosistema que lo producen y el contexto socioeconómico e institucional. Van desde iniciativas extraoficiales, comunitarias, pasando por acuerdos más formales, voluntarios entre individuos, hasta complejos acuerdos entre numerosas partes facilitados por organizaciones intermediarias. En esta última categoría, los pagos a los propietarios de las tierras pueden ser transferencias del gobierno o de organizaciones intermediarias de fondos formados por las aportaciones de diversos usuarios con un interés común, más que de grupos específicos de usuarios.

Otros enfoques comúnmente utilizados son la adquisición de servidumbres que restringen el uso de la tierra, y derechos de construcción negociables que permitan a los constructores intercambiar derechos en un lugar por permisos para construir con mayor densidad en otros lugares. Los permisos negociables hacen posible intercambiar entre distintas fuentes de contaminación a fin de reducir el costo del cumplimiento de las normativas o el total de límites de emisiones, y pueden proporcionar ingresos para financiar prácticas de conservación. La certificación de que los productores han respetado las prácticas de ordenación especificadas, que se indica a los consumidores a través del etiquetado, puede incrementar la parte del mercado de un producto y obtener un sobreprecio. A una escala mayor y en condiciones más diversas, como la de la cuenca hidrográfica de la ciudad de Nueva York (estudio de caso 12), o cuando se cubren varios servicios, como en el programa del Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO) de Costa Rica (estudio de caso 13), las iniciativas con frecuencia conjugan incentivos basados en el mercado, normativas y de políticas.

Las fuentes de financiación son las cuotas de los usuarios o de las licencias, impuestos y donaciones. En general, las cuotas mencionadas son más factibles cuando es posible limitar los servicios a los que los pagan, como los usuarios de agua doméstica e industrial. Los impuestos y las donaciones por lo general son necesarios para cubrir otros beneficios más generales, como el mantenimiento de la biodiversidad, cuyos beneficiarios son más difíciles de determinar o están más dispersos. Los impuestos también pueden ser más adecuados para satisfacer objetivos normativos que incrementan la equidad. En Colombia, por ejemplo, los impuestos a todas las centrales hidroeléctricas financian la protección de las cuencas que no tienen centrales (Becerra y Ponce De León, 1999).

Los gobiernos pueden desempeñar diversos papeles: hacer que se cumplan los acuerdos contractuales, crear límites reglamentarios, supervisar el cumplimiento, contratar proveedores de servicios, ofrecer asistencia técnica y determinar las zonas prioritarias de conservación como base para las decisiones de asignación de

ESTUDIO DE CASO 12

Acuerdo de la cuenca de la ciudad de Nueva York

La ciudad de Nueva York está invirtiendo hasta 1,5 millardos de USD en 10 años (hasta 2013) en diversas medidas de protección de las cuencas hidrográficas de Catskill/Delaware y Croton, y para evitar el gasto de construir una central potabilizadora, cuyo costo se estimó entre nueve y 11 millardos de USD, comprendidos los costos de funcionamiento de 10 años. La inversión se financia mediante un incremento del 9% al precio del agua para el usuario, que hubiera sido por lo menos el doble de esa cantidad si se hubiera construido la potabilizadora. Los fondos se están destinando a la ejecución de un acuerdo entre la ciudad de Nueva York, el Organismo para la Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos y una coalición de ciudades de la cuenca. Se ofrece un análisis más detallado de este caso en Galusha (1999), Platt, Barten y Pfeiffer (2000) y Pires (2004).

Los elementos principales del acuerdo son:

- adquisición de tierras o servidumbres de conservación cerca de los reservorios, humedales y corrientes de agua;
- construcción y mejoramiento de la infraestructura, incluidos los sistemas de drenaje, centrales de tratamiento de aguas e instalaciones para la gestión del caudal de las tormentas, así como protección del corredor fluvial;
- un banco de desarrollo económico, para apoyar el desarrollo río arriba en consonancia con la protección de la cuenca, y educación ambiental;
- apoyo para la ejecución de mejores prácticas de ordenación en las explotaciones agrícolas y los bosques.

El acuerdo también da a la ciudad más autoridad para examinar y aprobar o rechazar los proyectos que pueden resultar nocivos y establecer normas y otros requisitos para las centrales de tratamiento de las aguas residuales, sistemas sépticos y control del caudal de las tormentas. Para la aceptación de las nuevas restricciones aplicadas al uso de las tierras río arriba fue decisivo un acuerdo de pagos y el compromiso de la ciudad de comprar tierras sólo a vendedores dispuestos y a valores justos del mercado. Se hizo otro acuerdo aparte con los agricultores, en el que se especifica que su participación en la elaboración de planes de gestión agrícola y la adopción de prácticas de conservación sería voluntaria y que los agricultores mismos se harían cargo de la gestión del programa. Se suspendieron todos los reglamentos, salvo los que limitan la contaminación intencionada.

El acuerdo se condicionó a la participación del 85% de las explotaciones agrícolas en un plazo de cinco años y al cumplimiento de los objetivos de protección de todo el paisaje en vez de a las fincas individuales. Estas condiciones se cumplieron con creces (Appleton, 2004). Se ofrece compartir los costos a los propietarios de bosques para alentarlos a elaborar y respetar los planes de ordenación forestal, que hoy cubren 84 500 acres (unas 34 210 hectáreas). El componente de agricultura y silvicultura está gobernado por un Consejo Agrícola de la Cuenca Hidrográfica, que también apoya y promueve pequeños negocios basados en bienes agrícolas y forestales producidos con mejores prácticas de gestión (www.nycwatershed.org/).

ESTUDIO DE CASO 13

El Fondo Nacional de Financiamiento Forestal de Costa Rica

El Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO) compensa a los propietarios de bosques que participan en los planes de ordenación aprobados por los servicios de protección del agua dulce, la biodiversidad y la belleza del paisaje, así como por fijación del carbono. FONAFIFO se financia mediante la venta de estos servicios a distintos tipos de compradores. Las empresas hidroeléctricas y los municipios pueden pagar por los beneficios de la cuenca, las agencias de turismo por la belleza del paisaje, y las empresas foráneas de energía por fijación del carbono. Se obtienen fondos adicionales de un impuesto al combustible. El programa es quinquenal, aprovecha otras experiencias y utiliza las instituciones establecidas para un programa decenal anterior de reforestación (Pagiola, 2002). FONAFIFO amplió en 2002 su rango de actividades con la inclusión de actividades agroforestales y de reservas indígenas (Rosa *et al.*, 2003).

Una evaluación reciente de los efectos sociales del FONAFIFO en la cuenca de Virilla reveló que produce beneficios considerables desde el punto de vista del fortalecimiento de la capacidad de gestión integrada de los recursos agrícolas y forestales, y que ha contribuido a la protección de 16 500 hectáreas de bosque primario, a la ordenación sostenible de 2 000 hectáreas y a la reforestación de 1 300 000 hectáreas, con beneficios secundarios para la conservación de la biodiversidad y prevención de la erosión del suelo. Sin embargo, los costos de oportunidad son elevados, en particular para los pequeños propietarios, que tienden a depender más de superficies pequeñas desmontadas y a combinar la silvicultura con otras actividades, como la instalación de cobertizos para el ganado y producción de café de sombra. Los agricultores que tienen parcelas más grandes obtienen más ventajas porque pueden mantener partes más grandes de sus tierras en bosque.

Fuente: Miranda, Porras y Moreno, 2003.

la financiación. Las ONG pueden desempeñar algunas de estas funciones, y pueden ser más flexibles y aptas para intervenir con mayor oportunidad. Las ONG y las asociaciones de las partes interesadas también pueden promover los intereses de las partes marginadas y ejercer presión política a fin de que los gobiernos reconozcan derechos y respondan a las preocupaciones de estos grupos.

Los beneficios tienden a ser más tangibles y los acuerdos contractuales más factibles cuando la escala es más pequeña y los derechos de propiedad y las partes interesadas se definen con mayor facilidad. A mayor escala es más difícil conectar causa y efecto y definir los derechos y las responsabilidades. Es más necesaria la participación del gobierno u otros intermediarios para facilitar las transacciones entre numerosas partes interesadas y para establecer prioridades. Sin embargo, esta escala también ofrece un conjunto más grande de compradores y vendedores (Rose, 2002).

LOS PAGOS POR SERVICIOS AMBIENTALES EN LA PRÁCTICA: DEFINICIÓN DE LOS SERVICIOS DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS

La capacidad de demostrar tanto las amenazas que sufren los servicios actuales como la eficacia del uso de las tierras de río arriba y las prácticas de gestión es decisiva para infundir confianza en las partes interesadas y mantener su disponibilidad de pagar por los servicios. Éstos no sólo dependen de la integridad de los procesos del ecosistema que sustentan su suministro, sino también de la eficacia de los acuerdos institucionales que garantizan la ejecución de prácticas adecuadas, y del acceso asegurado a los beneficios para los que pagan por recibirlos.

Sin embargo, la complejidad y la variabilidad natural de los procesos de las cuencas, en los que predominan fenómenos extremos y que se presentan al azar, hace difícil, sino es que imposible, conectar inequívocamente todas las causas y efectos. Esto requiere supervisión y ajuste en el tiempo conforme se adquiere experiencia. Es todavía más difícil hacer explícitas todas las incertidumbres inherentes, pero es indispensable para afrontar las expectativas de los compradores y mantener su colaboración a largo plazo. La incertidumbre tiene un costo, que se debe tener en cuenta para que la distribución de los costos y los beneficios sea equitativa.

Un examen de estudios de caso indica que hay una falta general de datos científicos que apoyen la evaluación de las compensaciones. Un examen más detallado de las iniciativas que se llevan a cabo en Costa Rica, realizado por Rojas y Aylward (2003), reveló que casi todas se basan en el sentido común, fuentes secundarias de información y referencia selectiva a bibliografía de hidrología forestal que afirma que la protección de los bosques incrementa el rendimiento hídrico, lo que no siempre es el caso (Hamilton y King, 1983; Bruijnzeel, 2004; Calder, 1999). Los pagos se basan en los costos de oportunidad de restablecer en terrenos desmontados la cubierta forestal, sin tratar de modelar las relaciones entre el uso de las tierras y la hidrología, ni de estimar el valor marginal del agua en actividades específicas de consumo y producción (Rojas y Aylward, 2003). Y los pagos tampoco se basan en los costos previstos de otras medidas, la intención de pagar y de aceptar compensación, ni en la congruencia con planes integrales de ordenación (Tognetti, Aylward y Mendoza, 2005). Debido al tiempo y el esfuerzo necesarios para recoger información científica, depender de este tipo de justificaciones puede ser inevitable e incluso apropiado, siempre que se vigilen.

Casi todas las iniciativas de pago se han centrado en los nexos entre las prácticas de uso de las tierras en la parte superior de la cuenca y el suministro de agua urbano río abajo, y la sedimentación de las presas hidroeléctricas y los canales de irrigación. Sin embargo, en general ha sido difícil demostrar la importancia económica de los efectos a esta escala. Incluso cuando se pueden identificar y cuantificar los nexos entre el uso de la tierra y la hidrología, estudios recientes cuestionan si la magnitud de los daños o los beneficios puede ser significativa desde el punto de vista económico. Esto depende en gran medida de los intereses económicos de río abajo que dependen del agua y la magnitud de los efectos. Se han estudiado menos los efectos locales en las microcuencas, donde las relaciones entre la tierra y el agua

se pueden entender mejor y las partes interesadas participan más directamente. Aunque los valores otorgados al mejoramiento de la calidad del agua son modestos, se ha señalado que las intervenciones en el uso de la tierra con este objetivo se pueden justificar como parte de una estrategia integrada de gestión comunitaria de los recursos (Johnson y Baltodano, 2004).

Prácticamente ninguno de los planes de PSA que existen se basa en datos científicos (medición científica correcta de los efectos de los proyectos y las políticas) y económicos (valoración fiable de los beneficios de dichos efectos).

DESAFÍOS INSTITUCIONALES

Cuando no hay acuerdos institucionales para garantizar el acceso de los que pagan los costos de la gestión a los beneficios, el valor económico sólo es hipotético y no hay incentivos para tomar las medidas necesarias a fin de garantizar el suministro del servicio. Los acuerdos institucionales son en esencia “las reglas del juego” que resuelven conflictos entre demandas contrapuestas por un recurso limitado; sin ellos, el recurso se agotaría o degradaría. Entre estos acuerdos son decisivas las diversas formas de derechos de propiedad, los procesos de toma de decisiones y las organizaciones intermediarias necesarias para reducir los costos de transacción cuando hay numerosos compradores y vendedores.

Los derechos de propiedad desempeñan una función importante en los incentivos económicos porque definen quién tiene acceso a los beneficios y quién es responsable de los costos de proporcionar estos beneficios. Si la distribución de los costos y los beneficios no se percibe equitativa, y si se excluye a partes interesadas importantes o salen en desventaja, éstas tendrán pocos incentivos para colaborar. Por ejemplo, sin títulos de las tierras desmontadas, los usuarios de las tierras altas de la cuenca carecen de autoridad para participar en los acuerdos contractuales y, por lo tanto, no pueden beneficiarse de los pagos. También pueden arriesgar el desalojo porque se da valor a los servicios de los que ellos no tienen derechos oficialmente (Landell-Mills y Porras, 2002). Algunos pagos por servicios de cuenca han beneficiado desproporcionadamente a los propietarios de terrenos más grandes de bosque o de plantaciones forestales, excluyendo a los pequeños propietarios o propietarios marginados, que tienden a ocupar las laderas más empinadas, no tienen grandes superficies forestales por las cuales recibir compensación y afrontan costos de oportunidad más elevados por los usos de la tierra que pierden en sus pequeñas parcelas (Rosa *et al.*, 2003).

Los derechos de propiedad van desde aquellos no oficiales o normas reconocidas por los usuarios, hasta diversas formas de propiedad pública y privada formalmente reconocidas por los particulares, los grupos o las entidades del gobierno. La incapacidad de controlar el acceso muchas veces se menciona equivocadamente como una situación de propiedad común, pero en realidad lo es de acceso abierto, en la cual no hay derechos de propiedad efectivos (Ostrom, Gardner y Walker, 1994). Un problema importante para definir los derechos a los servicios de la cuenca es que las principales fuentes de río arriba de efectos que se perciben fuera de esos sitios o río abajo por lo general son tierras marginales e improductivas, como

laderas empinadas, riberas, senderos y carreteras. La propiedad privada no crea un incentivo para la aplicación de prácticas de conservación en esas zonas, las cuales no cabe esperar que den a los propietarios de las tierras una ganancia significativa sobre la inversión. Esto hace de estas zonas, en efecto, situaciones de acceso abierto (Swallow, Garrity y van Noordwijk, 2001).

Muchas veces se acusa el uso de pagos como incentivo en esas situaciones de violar el principio de que “el que contamina, paga”. Sin embargo, dados los precios bajos pagados por los productos agrícolas, los pagos directos por mantener el paisaje y la calidad del agua se pueden considerar simplemente como reconocimiento del valor de proveer servicios del ecosistema. Una forma de tratar este asunto es mantener las sanciones por la contaminación intencionada (FAO, 2002), enfoque adoptado en el acuerdo de la cuenca de la ciudad de Nueva York (Appleton, 2004) (estudio de caso 12). La aceptación y colaboración de los compradores puede depender a fin de cuentas de que puedan participar todas las partes interesadas en la toma de decisiones sobre la asignación de los fondos. Por ejemplo, en Brasil, donde se adoptó una política de ordenación de las cuencas fluviales para todo el país, los usuarios domésticos de agua están dispuestos a pagar precios más elevados por el agua si pueden participar en las decisiones sobre cómo se gastan esos fondos (Porto, Porto y Azevedo, 1999).

Un obstáculo importante para la participación efectiva de las partes interesadas en la toma de decisiones sobre los recursos hídricos es reunir y difundir información en apoyo a esa toma de decisiones. La índole específicamente local de los servicios de la cuenca presenta el desafío institucional de elaborar un enfoque integrado y local de la evaluación, en el que participen las partes interesadas en la creación de opciones viables. Esto también ofrece una base para hacer modificaciones conforme se obtiene nueva información y experiencia.

CONCLUSIONES: PRINCIPALES DESAFÍOS DE LA CONCEPCIÓN Y EL DESARROLLO

Debido a la dificultad de demostrar y cuantificar los nexos entre la tierra y el agua a gran escala, actualmente se trabaja principalmente en iniciativas piloto, en pequeña escala, que se podrían ampliar conforme se desarrolle la capacidad. El Programa para la agricultura sostenible en laderas de América Central es un ejemplo. Cuenta con 10 iniciativas piloto en laderas para mejorar la gestión de la tierra y el agua de los pequeños productores de El Salvador, Honduras y Nicaragua, y está ayudando a desarrollar los mercados para los servicios de cuenca a través de los municipios locales (Pérez, 2003). En general se considera que el enfoque del programa, desde la base, garantiza que las organizaciones regionales sean más representativas de los intereses locales de los medios de subsistencia y responsables con éstos. Muchas iniciativas también están realizando investigación-acción y enfoques de aprendizaje que dan apoyo a la creación de capacidad y el intercambio de conocimientos (IIMAD, 2004; Noordwijk, Chandler y Tomich, 2004).

Los pagos por servicios de cuenca no resolverán todos los problemas de degradación de las cuencas, pero pueden ser un elemento importante de una estrategia

de ordenación más amplia. También pueden apoyar un cambio en la política del agua –del énfasis en la creación de nuevas fuentes de suministro a la reasignación del suministro existente de agua– a fin de satisfacer las necesidades fundamentales de la población y los ecosistemas y recuperar los costos. A fin de cuentas, se trata de un desafío para la gobernanza y se deberá considerar un proceso de largo plazo de creación de los acuerdos institucionales necesarios. El uso de la ciencia para apoyar la evaluación local presenta un desafío tanto de investigación como institucional.

7. Recomendaciones

El agua es esencial en cantidad suficiente y de la calidad adecuada para satisfacer las necesidades humanas, y los bosques participan directa e indirectamente en el suministro de la misma. Los administradores de las propiedades forestales, por lo tanto, deberán adoptar todas las directrices posibles presentadas al final de cada capítulo de este documento. A continuación se presentan otras recomendaciones para proteger y mantener la valiosa agua del mundo:

- Las políticas y programas forestales y de uso de la tierra se deberán basar en información científica bien fundamentada en vez de en ideas erróneas. Se deberá contemplar el mantenimiento de los bosques, con perturbaciones mínimas, en las zonas principales para el suministro de agua y los sitios donde están los acuíferos subterráneos. Si bien la tala de árboles (de por lo menos el 20% de la cubierta de copas) produce un aumento temporal del rendimiento hidrológico, hay otros factores que es necesario tener cuenta, como la disminución de la calidad del agua, el aumento de la erosión y los efectos en la fauna silvestre y otros tipos de biodiversidad. Toda extracción de productos forestales en estas zonas deberá evitar que se compacte el suelo y que el suelo desnudo quede expuesto, a fin de reducir al mínimo la escorrentía superficial y la erosión consiguiente. También es necesario tener en cuenta los efectos del restablecimiento forestal en el rendimiento hídrico.
- Se recomienda que para 2010 los países reconozcan oficialmente en sus sistemas de clasificación de los bosques el ecosistema forestal higrofítico nuboso o brumoso, y que planifiquen su conservación designándolo bosque jurídicamente protegido o con fines protectores. En las regiones que carecen de estudios terrestres o aéreos se pueden utilizar técnicas como las utilizadas en la cartografía mundial del CMVC del PNUMA para calcular la superficie potencial (sección sobre Los bosques higrofíticos de montaña nubosos o brumosos, Capítulo 4) (Bubb *et al.*, 2004).
- Las autoridades de planificación deberán determinar las zonas propensas a deslizamientos –utilizando tal vez los criterios recomendados de Megahan y King, en la sección sobre Bosques en sitios de alto riesgo de deslizamientos, Capítulo 4– y marcarlos como zonas de alerta o zonificarlos para mantenimiento de la cubierta forestal o uso agroforestal y silvopastoral, con una cubierta arbórea suficientemente densa. Esas zonas pueden formar parte del territorio de bosque protector.
- Se recomienda que cada país emprenda una evaluación de sus zonas ribereñas principales y las clasifique para ordenación de conservación, protección o restablecimiento. En cada país deberá establecerse una legislación adecuada para el mantenimiento de las zonas de protección ribereña; la FAO cuenta

con modelos disponibles. También se recomienda que los países informen de sus reglamentos nacionales o directrices para el mantenimiento en las próximas Evaluaciones de los recursos forestales mundiales.

- Los bosques palustres deberán designarse como zonas ambientalmente delicadas en las que el mantenimiento de las funciones hidrológicas es una prioridad de ordenación y desarrollo. Estos bosques desempeñan una función clave en la regulación del agua.
- Las zonas cubiertas de bosque que tienen subsuelos o aguas subterráneas salinas no deberán desmontarse en caso de que esto dé lugar a una superficie del suelo salina o un drenaje salino que afecte a otras zonas.
- Para garantizar una calidad óptima del agua, las cuencas de captación de agua potable deberán recibir la condición jurídica de zonas protegidas o designarse como bosques protectores.
- Los pagos por servicios de cuenca tienen un importante potencial y deberán estudiarse más. Esos pagos pueden formar parte de una estrategia de ordenación más amplia y contribuir a modificar la política hidrológica para reasignar los suministros existentes. Esto representa, a fin de cuentas, una cuestión de gobernanza que supone la creación de los acuerdos institucionales necesarios. La evaluación específica del sitio exige investigación y ajustes institucionales.
- Se espera que para la próxima Evaluación de los recursos forestales mundiales (2010) los países documenten incrementos sustanciales de sus zonas forestales (y otras tierras boscosas) en territorios protegidos y sus zonas de bosques (y otras tierras boscosas) designadas para fines de protección.
- Otra medida de mejoramiento para los bosques y el agua sería una superficie mayor de bosques certificados. Los criterios de certificación siempre garantizan prácticas favorables al agua, por lo cual el aumento de la superficie certificada será positivo para los recursos hídricos.

Se reconoce cada vez más que los bosques influyen mucho tanto en la disponibilidad como en la calidad del agua, y que en muchas regiones los recursos hídricos cada vez están más amenazados por un uso excesivo, el mal uso y la contaminación. De esta manera, la relación entre los bosques y el agua es una cuestión fundamental a la que se debe asignar una prioridad elevada. Un desafío importante para los responsables de la ordenación de las tierras, los bosques y el agua consiste en elevar al máximo la gran variedad de beneficios forestales sin detrimento para los recursos hídricos y la función del ecosistema. Para afrontar este desafío urge entender mejor las interacciones entre los bosques y los árboles y el agua (en particular en las cuencas hidrográficas), crear conciencia y capacidad en materia de hidrología forestal, e incorporar estos conocimientos y resultados de investigación en las políticas. También es necesario crear mecanismos institucionales para incrementar la coordinación entre las cuestiones forestales e hidrológicas, y aplicar y velar por el cumplimiento de programas de acción nacionales y regionales (Calder *et al.*, 2007).

La plataforma política más reciente es la resolución “Los bosques y el agua”, adoptada en noviembre de 2007 por la Conferencia Ministerial para la Protección

de los Bosques en Europa. Esta resolución consta de cuatro partes: ordenación sostenible de los bosques en relación con el agua; coordinación de las políticas sobre bosques y aguas; los bosques, el agua y el cambio climático; y valoración económica de los servicios forestales relacionados con el agua.

Se espera que en el futuro el nexo entre los bosques y el agua reciba cada vez más atención nacional y que los responsables de tomar las decisiones y expertos de los sectores del agua y la silvicultura colaboren más. Para las futuras FRA, se recomienda que cada país elabore una lista de estudios nacionales o de publicaciones sobre bosques y agua y de la relación entre ambos.

Bibliografía

- Aide, T.M. y Grau, H.R. 2005. Will rural-urban migration reduce floods? *Arborvitae: IUCN/WWF Forest Conservation Newsletter*, 27: 11.
- Aldrich, M., Billington, C., Edwards, M. y Laidlaw, R. 1997. *A global directory of tropical montane cloud forests*. Cambridge, Reino Unido, PNUMA-CMVC.
- van Andel, T.R. 2003. Floristic composition and diversity of three swamp forests in northwest Guyana. *Plant Ecology*, 167: 293–317.
- Appleton, A. 2004. Discurso pronunciado en la reunión sobre Ecosistemas en venta en un mundo desigual, del Taller de Síntesis Mundial sobre Mercados, Empresas y el Medio Ambiente, celebrado en el Foro de la UICN, Bangkok, 18-20 de noviembre de 2004 (el resumen de la reunión y el proyecto de informe se pueden consultar en <http://biodiversityeconomics.org/business/041117-837-838.htm>).
- Aylward, B., Bandyopadhyay, J., Belausteguigotia, J.C., Borkey, P., Cassar, A.Z., Meadors, L., Saade, L., Siebentritt, M., Stein, R., Tognetti, S. y Tortajada, C. 2006. Freshwater ecosystem services. En K. Chopra, R. Leemans, P. Kumar y H. Simons, eds. *Ecosystems and human well-being: policy responses*, Vol. 3. Findings of the Responses Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment. Washington, DC, Island Press.
- Becerra, M.R. y Ponce De León, E. 1999. Financing the green plan (“plan verde”) in Colombia: challenges and opportunities. Ponencia presentado en el Taller sobre Financiación de la Ordenación Forestal Sostenible, Croydon, Reino Unido, 11-13 de octubre de 1999. Londres, PNUD, Programa Forestal (PROFOR).
- Bergkamp, G., Orlando, B. y Burton, I. 2003. *Change: adaption of water resources management to climate change*. Gland, Suiza, UICN.
- Blaikie, P.M. y Muldavin, J.S.S. 2004. Upstream, downstream, China, India: the politics of environment in the Himalayan region. *Annals of the Association of American Geographers*, 94: 520–548.
- Blaschke, P.N., Trustrum, N.A. y Hicks, D.L. 2000. Impact of mass movement erosion on land productivity: a review. *Progress in Physical Geography*, 24(1): 21–52.
- 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 Thames, J.L. 1991. *Hydrology and the management of watersheds*. Ames, Iowa, EE.UU., Iowa State University Press.
- Bruijnzeel, L.A. 1990. *Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: a state of knowledge review*. París, UNESCO, Programa Hidrológico Internacional.
- Bruijnzeel, L.A. 2004. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? *Agriculture Ecosystems and Environment*, 104: 185–228.
- Bruijnzeel, L.A. 2005. Tropical montane cloud forest: a unique hydrological case. En M. Bonell y L.A. Bruijnzeel, eds. *Forests, water and people in the humid tropics*,

- pp. 462–483. UNESCO International Hydrology Series. Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press.
- Bruijnzeel, L.A. y Bremmer, C.N.** 1989. *Highland-lowland interactions in the Ganges Brahmaputra River Basin: a review of published literature*. Occasional Paper No. 11. Katmandú, Centro Internacional para la Ordenación Integrada de las Montañas (ICIMOD).
- Bruijnzeel, L.A. y Hamilton, L.S.** 2000. *Decision time for cloud forests*. IHP Humid Tropics Programme Series No. 13. París, UNESCO.
- Bubb, P., May, I., Miles, L. y Sayer, J.** 2004. *Cloud forest agenda*. PNUMA-CMVC Biodiversity Series No. 20. Cambridge, Reino Unido, PNUMA-CMVC.
- Bugna, S.C.** 2002. A profile of the protected area system in Singapore. *Asian Biodiversity*, abril-junio de 2002: 30-33. (Véase también el estudio de caso de Wang Luan Keng en Dudley y Stolton, 2003.)
- Calder, I.R.** 1999. *The blue revolution: land use and integrated water resources management*. Londres, Earthscan.
- Calder, I.R.** 2000. Forests and hydrological services: reconciling public and science perceptions. *Land Use and Water Resources Research*, 2: 2.1–2.12.
- Calder, I., Hofer, T., Vermont, S. y Warren, P.** 2007. Hacia una nueva comprensión de los bosques y el agua. *Unasylva*, 229: 3-10.
- Cassells, D.S. y Bonell, M.** 1986. Logging operations in forest watersheds: an Australian perspective. En A.J. Pearce y L.S. Hamilton, eds. *Land use, watersheds and planning in the Asia-Pacific Region*, pp. 44–58. RAPA Report No. 1986/3. Bangkok, FAO.
- Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa.** 2004. Water-related ecosystems: features, functions and the need for a holistic approach to ecosystem protection and restoration. Reunión de las Partes del Convenio sobre la Protección y Uso de los Cursos de Agua Transfronterizos y los Lagos Internacionales, Ginebra, Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas.
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P. y van den Belt, M.** 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387: 253.
- Dudley, N. y Stolton, S., eds.** 2003. *Running pure: the importance of forest protected areas to drinking water*. Gland, Suiza, WWF y Washington, DC, Banco Mundial.
- Echavarría, M.** 2001. *The FONAG: Quito's water fund*. Quito, The Nature Conservancy.
- Ensign, S.H. y Mallin, M.A.** 2001. Stream water quality changes following timber harvest in a coastal plain swamp forest. *Water Research*, 14: 3381-3390.
- FAO.** 1976. *A framework for land evaluation*. Soils Bulletin No. 32. Roma.
- FAO.** 1988a. *Nature and management of tropical peat soils*, por J.P. Andriessse. FAO Soils Bulletin No. 59. Roma.
- FAO.** 1988b. *The eucalypt dilemma*. Roma.
- FAO.** 2001. *Land use impacts on water resources: a literature review*, por B. Kiersch. Discussion Paper No. 1, FAO Electronic Workshop on Land-Water Linkages in Rural Watersheds. Roma.
- FAO.** 2002. *Land-Water Linkages in Rural Watersheds Electronic Workshop*, 18 de septiembre-27 de octubre de 2000. Land and Water Bulletin No. 9. Roma.

- FAO. 2003. *Situación de los bosques del mundo*. Roma.
- FAO. 2004. *Report of the Regional Forum on Payment Schemes for Environmental Services in Watersheds*, 9-12 de junio de 2003, Arequipa, Perú. Land and Water Discussion Paper No. 3. Roma.
- FAO. 2006a. *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2005: Hacia la ordenación forestal sostenible*. Estudio FAO Montes 147. Roma.
- FAO. 2006b. *The new generation of watershed management programmes and projects*. FAO Forestry Paper No. 150. Roma.
- FAO y CIFOR. 2005. *Forests and floods: drowning in fiction or thriving on facts?* RAP Publication No. 2005/03, Forest Perspectives No. 2. Bangkok, FAO y Bogor Barat, Indonesia, CIFOR.
- Farrington, P. y Salama, R. 1996. Controlling dryland salinity by planting trees in the best hydro-geological setting. *Land Degradation and Development*, 7: 183–204.
- Federación Internacional de la Cruz Roja. 2000. *Central America: Hurricane Mitch emergency relief*. Situational Report No. 4 (final). Ginebra.
- FEMAT. 1993. Aquatic ecosystem assessment, pp. V25–V29. En *Forest ecosystem management: an ecological, economic and social assessment*. Informe del Grupo de Evaluación de la Ordenación del Ecosistema Forestal. Washington, DC, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio Forestal.
- Foster, S.S.D. y Chilton, P.J. 1993. Groundwater systems in the humid tropics. En M. Bonell, M.M. Hufschmidt y J.S. Gladwell, eds. *Hydrology and water management in the humid tropics*, pp. 261–272. UNESCO International Hydrology Series. Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press.
- FRIM, PNUMA y GEF. 2004. *Black water jewel: South-East Pahang Peat Swamp Forest*. Kuala Lumpur.
- Galusha, D. 1999. *Liquid assets: a history of New York City's water system*. Nueva York, Fleischmanns, Purple Mountain Press.
- Ghassemi, F., Jakeman, A. y Nix, H. 1995. *Salinization of land and water resources*. Sydney, Australia, University of New South Wales Press and Wallingford, Reino Unido, CAB International.
- Gilmour, D.A. 1977. Logging and the environment, with particular reference to soil and stream protection in tropical rainforest situations. En *Guidelines for watershed management*, pp. 223–236. Conservation Guide No. 1. Roma, FAO.
- Gioda, A., Acosta Baladon, A., Fontanel, P., Hernández Martín, Z. y Santos, A. 1992. L'arbre fontaine. *La Recherche*, 23(249): 1400–1408.
- Gregory, S.V., Swanson, F.S., McKee, W.A. y Cummins, K.W. 1991. An ecosystem perspective of riparian zones. *Bioscience*, 41(8): 540–551.
- Greninger, P. 2005. *The key role of the protective forest in providing avalanche protection in the Alps*. Report to Forest Resources Assessment. Roma, FAO. (Sin publicar.)
- Grip, H., Fritsch, J.-M. y Bruijnzeel, L.A. 2005. Soil and water impacts during forest conversion and stabilisation to new land use. En M. Bonell y L.A. Bruijnzeel, eds. *Forests, water and people in the humid tropics*, pp. 561–589. UNESCO International Hydrology Series. Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press.

- Grupo de trabajo sobre la influencia del hombre en el ciclo hidrológico.** 1972. Influence of man on the hydrologic cycle: guide to policies for the safe development of land and water resources. En *Status and trends of research in hydrology*, pp. 31–70. París, UNESCO.
- Hamilton, L.S.** 1985. Overcoming myths about soil and water impacts of tropical forest land uses. En S.A. El-Swaify, W.C. Moldenhauer y A. Lo, eds. *Soil erosion and conservation*, pp. 680–690. Ankeny, Iowa, EE.UU., Soil Conservation Society of America.
- Hamilton, L.S.** 1988. The recent Bangladesh flood disaster was not caused by deforestation alone. *Environmental Conservation*, 15(4): 369–370.
- Hamilton, L.S.** 1991. Bosques tropicales: Mitos y realidades. *Unasylva*, 166(42): 19-27.
- Hamilton, L.S.** 1992. Storm disasters – has logging been unfairly blamed? Further note on Philippine storm disaster. *IUCN Forest Conservation Programme Newsletter*, 12(5) y 13(3).
- Hamilton, L.S.** 1995. *A campaign for cloud forests: unique and valuable ecosystems at risk*. IUCN Focus Series. Gland, Suiza, UICN.
- Hamilton, L.S.** 1997. El desarrollo sostenible en tierras altas y las áreas clave de control para la conservación de montañas. En M. Liberman y C. Baied, eds. *Desarrollo sostenible de ecosistemas de montaña: manejo de áreas frágiles en los Andes*, pp. 269-276. La Paz, Instituto de Ecología.
- Hamilton, L.S., Gilmour, D.A. y Cassells, D.S.** 1997. Montane forests and forestry. En B. Messerli y J.D. Ives, eds. *Mountains of the world: a global priority*, pp. 281–311. Nueva York y Carnforth, Reino Unido, Parthenon Publishing Group.
- Hamilton, L.S., Juvik, J.O. y Scatena, F.N., eds.** 1994. *Tropical montane cloud forests*. Ecological Studies Series, Vol. 110. Nueva York, Berlín, Londres, París y Tokio, Springer-Verlag.
- Hamilton, L.S. y King, P.N.** 1983. *Tropical forested watersheds: hydrologic and soils response to major uses or conversions*. Boulder, Colorado, EE.UU., Westview Press.
- Hamilton, L.S. y Pearce, A.J.** 1987. What are the soil and water benefits of planting trees in developing country watersheds? En D.D. Southgate y J.F. Disinger, eds. *Sustainable resource development in the third world*, pp. 39-58. Boulder, Colorado, EE.UU., Westview Press.
- Haselwander, K. y Bowen, G.D.** 1996. Mycorrhizal relations in trees for agroforestry and land rehabilitation. *Forest Ecology and Management*, 91: 1-17.
- Heisig, P.M.** 2000. *Effects of residential and agricultural land uses on the chemical quality of baseflow of small streams in the Croton watershed, southeastern New York*. WRIR 99-4173. Denver, Colorado, EE.UU., Servicio Geológico de los Estados Unidos.
- Hewitt, K.** 1997. Risk and disaster in mountain lands. En B. Messerli y J.D. Ives, eds. *Mountains of the world: a global priority*, pp. 371–408. Nueva York y Carnforth, Reino Unido, Parthenon Publishing Group.
- Hewlett, J.D.** 1982. Forests and floods in the light of recent investigation. En *Proceedings, Canadian Hydrological Symposium*, pp. 543–560. Fredericton, Nueva Brunswick, Canadá, 15 de junio de 1982. Ottawa, Consejo Nacional de Investigación.

- Hofer, T. y Messerli, B. 2006. *Floods in Bangladesh: history, dynamics and rethinking the role for the Himalayas*. Tokio, United Nations University Press.
- Houlahan, J. y Findlay, C.S. 2004. Estimating the “critical” distance at which adjacent land use degrades wetland water and sediment quality. *Landscape Ecology*, 19: 677–690.
- Humphreys, G.S. y Brookfield, H. 1991. The use of unstable steeplands in the mountains of Papua New Guinea. *Mountain Research and Development*, 11: 295–318.
- Hurni, H. 1988. Degradation and conservation of soil resources in the Ethiopian highlands. *Mountain Research and Development*, 8(2/3): 123–130.
- IIMAD. 2004. *Developing markets for watershed protection services and improved livelihoods*. Implementation Phase Planning Workshop Report. Londres.
- Immirzi, C.P., Maltby, E. y Vijanrnsorn, P. 1996. Development problems and perspectives in the peat swamps of southern Thailand: results from a villager survey. En E. Maltby, C.P. Immirzi y R.J. Safford, eds. *Tropical lowland peatlands of Southeast Asia. Proceedings, Workshop on Integrated Planning and Management of Tropical Lowland Peatlands*, pp. 199–246. Cisarua, Indonesia, 8 y 9 de julio 1992. Gland, Suiza, UICN.
- Ingram, H.A.P. 1983. Hydrology. En A.J.P. Gore, ed. *Mires: swamp, bog, fen and moor*, pp. 67–158. General Studies. Vol. A. Amsterdam y Nueva York, Elsevier.
- Ives, J.D. 1970. Himalayan highway. *Canadian Geographical Journal*, 80(1): 26–31.
- Ives, J.D. y Messerli, B. 1989. *The Himalayan dilemma: reconciling development and conservation*. United Nations University. Londres y Nueva York, Routledge.
- Jacobs, M. 1988. *The tropical rain forest*. Londres, Springer-Verlag.
- Jacobsen, M.G. 2003. Wood versus water: timber plantations in semi-arid South Africa. *Journal of Forestry*, 103(4): 31–35.
- Johnson, N.L. y Baltodano, M.E. 2004. The economics of community watershed management: some evidence from Nicaragua. *Ecological Economics*, 49: 57–71.
- Kaip, D. 2002. Forests and water management in Papua New Guinea. En *Proceedings, International Expert Meeting on Forests and Water*, pp. 204–206. Shiga, Japón. Tokio, Oficina de Cooperación Forestal Internacional, Agencia Forestal.
- Kammer, R. y Raj, R. 1979. *Preliminary estimates of minimum flows in Varaciva Creek and the effect of afforestation on water resources*. Technical Note No. 79/1. Suva, Fiji, Departamento de Obras Públicas de Fiji.
- Kellman, M.C. 1969. Some environmental components of shifting cultivation in upland Mindanao. *Tropical Geography*, 28: 40–56.
- Landell-Mills, N. y Porras, I.T. 2002. *Silver bullet or fool's gold?: a global review of markets for forest environmental services and their impact on the poor*. Londres, IIMAD.
- Lee, H.S. y Chai, F. 1996. Production functions of peat swamp forests in Sarawak. En E. Maltby, C.P. Immirzi y R.J. Safford, eds. *Tropical lowland peatlands of Southeast Asia. Proceedings, Workshop on Integrated Planning and Management of Tropical Lowland Peatlands*, pp. 129–136. Cisarua, Indonesia, 8 y 9 de julio de 1992. Gland, Suiza, UICN.
- Long, A. 1994. The importance of tropical montane cloud forests for endemic and threatened birds. En L.S. Hamilton, J.O. Juvik y F.N. Scatena, eds. *Tropical montane*

- cloud forests*, pp. 79–106. Ecological Studies Series, Vol. 110. Nueva York, Berlín, Londres, París y Tokio, Springer-Verlag.
- Lugo, A.E., Brinson, M.M. y Brown, S.** 1990. Synthesis and search for paradigms in wetland ecology. En A.E. Lugo, M. Brinson y S. Brown, eds. *Forested wetlands*, pp. 853–885. Amsterdam, Elsevier.
- Maltby, E.** 1997. Developing guidelines for the integrated management and sustainable utilization of tropical lowland peatlands. En J.O. Rieley y S.E. Page, eds. *Tropical peatlands. Proceedings, International Symposium on Biodiversity, Environmental Importance and Sustainability of Tropical Peat and Peatlands*, pp. 9–18. Cardigan, Reino Unido, Samara Publishing.
- Maltby, E. e Immirzi, C.P.** 1996. The sustainable utilization of tropical peatlands. En E. Maltby, C.P. Immirzi y R.J. Safford, eds. *Tropical lowland peatlands of Southeast Asia. Proceedings, Workshop on Integrated Planning and Management of Tropical Lowland Peatlands*, pp. 1–14. Cisarua, Indonesia, 8 y 9 de julio de 1992. Gland, Suiza, UICN.
- Maltby, E. y Proctor, M.C.F.** 1996. Peatlands: their nature and role in the biosphere. En E. Lappalainen, ed. *Global peat resources*, pp. 11–19. Jyska, Finlandia, Sociedad Internacional de la Turba.
- Margolis, A.** 2004. Buggy water is cleaner. *Northern Woodlands*, 11(4): 43.
- Megahan, W.F.** 1981. Nonpoint source pollution from forestry activities in the western United States: results of recent research and research needs. En *US forestry and water quality: what course in the '80s?*, pp. 92–151. Washington, DC, Water Pollution Control Federation (hoy Water Environment Federation).
- Megahan, W.F. y King, P.N.** 1985. Identification of critical areas on forest land for control of nonpoint sources of pollution. *Environmental Management*, 9(1): 7–18.
- Megahan, W.F. y Schweithelm, J.** 1983. Guidelines for reducing negative impacts of logging. En *Tropical forested watersheds: hydrologic and soils response to major uses or conversions*, pp. 143–154. Boulder, Colorado, EE.UU., Westview Press.
- Minerbi, L.** 1999. Indigenous management models and protection of the *ahupua'a*. *Social Process Hawaii*, 39: 208–225.
- Miranda, M., Porrás, I.T. y Moreno, M.L.** 2003. *The social impacts of payments for environmental services in Costa Rica: a quantitative field survey and analysis of the Virilla watershed*. Londres, IIMAD.
- Mitsch, W.J. y Gosselink, J.G.** 1993. *Wetlands*, 2nd ed. Nueva York, Van Nostrand Reinhold.
- Mok, S.T.** 1986. Sustained use and management of forests: a Malaysian perspective. En A.J. Pearce y L.S. Hamilton, eds. *Land use, watersheds and planning in the Asia-Pacific Region*, pp. 34–43. RAPA Report No. 1986/3. Bangkok, FAO.
- Morgan, J.R.** 1986. Watersheds in Hawaii: an historic example of integrated management. En K.W. Easter, J.A. Dixon y M.M. Hufschmidt, eds. *Watershed resource management*, pp. 133–144. Honolulu, Hawai, EE.UU., East-West Center y Boulder, Colorado, EE.UU., Westview Press.
- Mulligan, M. y Burke, S.** 2005. *Global cloud forests and environmental change in a hydrological context*. DFID FRP Project ZF0216. Final Technical Report.

- Myers, L. 2000. Students raise funds for disaster relief in Venezuela. *Cornell Chronicle*, 31(21): 1, 3.
- Nakagawa, H., Ikebuchi, S., Kohsaki, S., Makhanu, K.S. y Wakabayashi, K. 1994. 21st century water challenges in Kenya. Paper presented at the 20th Water, Engineering and Development Centre (WEDC) Conference, Affordable Water Supply and Sanitation, Colombo, Sri Lanka.
- Nik, A.R. 1996. Highland conservation and hydrological importance of tropical cloud forests. En *Proceedings, Seminar on Management and Conservation of Highland Areas in Malaysia*, pp. 22–32. Kuala Lumpur, WWF-Malasia.
- Nisbet, T.R. y McKay, H. 2002. Sustainable forestry and the protection of water in Great Britain. En *Proceedings, International Expert Meeting on Forests and Water*, pp. 101–112. Shiga, Japón. Tokio, Oficina de Cooperación Forestal Internacional, Agencia Forestal.
- Noordwijk, M., Chandler, F.J. y Tomich, T.P. 2004. *An introduction to the conceptual basis of RUPES: rewarding upland poor for the environmental services they provide*. Bogor, Centro Mundial de Agrosilvicultura (ICRAF) – Asia sudoriental. (También en: www.worldagroforestry.org/sea/networks/rupes/download/working%/)
- Nothiger, C. y Elsasser, H. 2004. Natural hazards and tourism: new findings on the European Alps. *Mountain Research and Development*, 24(1): 24–27.
- Oaks, S.D. y Dexter, L. 1987. Avalanche hazard zoning in Vail, Colorado: the use of scientific information in the implementation of hazard reduction strategies. *Mountain Research and Development*, 7(2): 157–168.
- Oficina de Cooperación Forestal Internacional. 2002. *Proceedings of the International Expert Meeting on Forests and Water*. Shiga, Japón, 20-22 de noviembre de 2002.
- O’Laughlin, J. y Belt, G.H. 1995. Functional approaches to riparian buffer strip design. *Journal of Forestry*, 93(2): 29–32.
- O’Loughlin, C.L. 1974. The effect of timber removal on the stability of forest soils. *Hydrology*, 13: 121–134.
- O’Loughlin, E. y Sadanandan Nambiar, E.K. 2001. *Plantations, farm forestry and water: a discussion paper*. Water and Salinity Issues in Agroforestry No. 8, RIRDC Publication No. 01/137. Canberra, Rural Industries Research and Development Organization. (También en: www.rirdc.gov.au/fullreports/aft.html)
- Ostrom, E., Gardner, R. y Walker, J. 1994. *Rules, games, and common-pool resources*. Ann Arbor, Michigan, EE.UU., University of Michigan Press.
- Pagiola, S. 2002. Paying for water services in Central America: learning from Costa Rica. En S. Pagiola, J. Bishop y N. Landell-Mills, eds. *Selling forest environmental services: market-based mechanisms for conservation and development*, pp. 37–61. Londres, Earthscan.
- Pagiola, S., Bishop, J. y Landell-Mills, N., eds. 2002. *Selling forest environmental services: market-based mechanisms for conservation and development*. Londres, Earthscan.
- Pérez, C.J. 2003. Payment for hydrological services at a municipal level and its impact on rural development: the PASOLAC experience. Ponencia presentada en el Foro Regional sobre Sistemas de Pagos por Servicios Ambientales en las Cuencas Hidrográficas, Arequipa, Perú, 9-12 de junio de 2003.

- Perrot-Maitre, D. y Davis, P.** 2001. *Case studies of markets and innovative financial mechanisms for water services from forests*. Washington, DC, Forest Trends. (También en: www.forest-trends.org/documents/publications/caseswsoff.pdf)
- Pires, M.** 2004. Watershed protection for a world city: the case of New York. *Land Use Policy*, 21: 161–175.
- Plant Talk.** 2003. Science and technology: environmental economics. No. 34.
- Platt, R.H., Barten, P.K. y Pfeiffer, M.J.** 2000. A full clean glass? Managing New York City's water supply environment. *Environment*, 42: 8–20.
- Porto, M., Porto, R.L. y Azevedo, L.G.T.** 1999. A participatory approach to watershed management: the Brazilian system. *Journal of the American Water Resources Association*, 35: 675–684.
- Pounds, J.A., Fogden, M.P.A. y Campbell, J.H.** 1999. Biological response to climate change on a tropical mountain. *Nature*, 398: 611–615.
- Prentice, C. y Parish, D.** 1992. Conservation of peat swamp forest: a forgotten ecosystem. En *In Harmony with Nature: Proceedings, International Conference on Conservation of Tropical Biodiversity*, pp. 128–144. 12-16 de junio de 1990. Kuala Lumpur, Malayan Nature Society.
- Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos.** 2003. *Water and sanitation in the world's cities: local action for global goals*. Londres, Earthscan.
- Randolph, J.** 2004. *Environmental landuse planning and management*. Washington, DC y Londres, Island Press.
- Rao, Y.S.** 1988. Flash floods in southern Thailand. *Tiger Paper*, 15(4): 1–2.
- Rapp, A.** 1997. Erosion and land degradation in drylands and mountains. In D. Brune, D.V. Chapman, M.D. Gwynne y J.M. Pacyna, eds. *The global environment: science, technology and management*, Vol. 1, pp. 207–224. Weinheim, Alemania, Scandinavian Science Publisher.
- Rapp, A., Berry, L. y Temple, P.H., eds.** 1972. Studies of soil erosion and sedimentation in Tanzania. *Geografiska Annaler*, 54A: 105–379.
- Raynor, W.** 1994. Montane cloud forests in Micronesia: status and future management. En L.S. Hamilton, J.O. Juvik y F.N. Scatena, eds. *Tropical montane cloud forests*, pp. 274–283. Ecological Studies Series, Vol. 110. Nueva York, Berlín, London, París y Tokio, Springer-Verlag.
- Rieley, J.O., Ahmad-Shah, A.A. y Brady, M.A.** 1996. The extent and nature of tropical swamps. En E. Maltby, C.P. Immerzi y R.J. Safford, eds. *Tropical lowland peatlands of Southeast Asia. Proceedings, Workshop on Integrated Planning and Management of Tropical Lowland Peatlands*, pp. 17–53. Cisarua, Indonesia, 8 y 9 de julio de 1992. Gland, Suiza, UICN.
- Rojas, M. y Aylward, B.** 2003. *What are we learning from experiences with markets for environmental services in Costa Rica? A review and critique of the literature*. Working Paper. Londres, IIMAD.
- Rosa, H., Kandel, S. y Dimas, L., con colaboraciones de Cuéllar, N. y Méndez, E.** 2003. *Compensation for environmental services and rural communities: lessons from the Americas and key issues for strengthening community strategies*. San Salvador, Programa Salvadoreño de Investigación sobre Desarrollo y Medio Ambiente (PRISMA).

- Rose, C.M. 2002. Common property, regulatory property, and environmental protection: comparing community-based management and tradable environmental allowances. En E. Ostrom, T. Dietz, N. Dolšák, P. Stern, S. Stonich y E.U. Weber, eds. *The drama of the commons*, pp. 233–257. Washington, DC, National Academy Press.
- Scatena, F.N., Planos-Gutiérrez, E.O. y Schellekens, J. 2005. Natural disturbances and the hydrology of humid tropical forests. En M. Bonell y L.A. Bruijnzeel, eds. *Forests, water and people in the humid tropics*, pp. 489–512. UNESCO International Hydrology Series. Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press.
- Schultz, R. 1996. Streamside buffer strips improve water quality and provide wildlife habitat. US Department of Energy, Biofuels Feedstock Development Program. *Energy Crops Forum*, Spring 1996: 2–3.
- Scott, D.F., Bruijnzeel, L.A. y Mackensen, J. 2005. The hydrological and soil impacts of forestation in the tropics. En M. Bonell y L.A. Bruijnzeel, eds. *Forests, water and people in the humid tropics*, pp. 622–651. UNESCO International Hydrology Series. Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press.
- Sheng, T.C. 1986. A review of forty years of management in Wusheh watershed, Taiwan. En T.C. Sheng, ed. *Watershed conservation*. Vol. 2, *A collection of papers for developing countries*, pp. 62–70. Taipei, Taiwan, Chinese Soil and Water Conservation, y Fort Collins, Colorado, EE.UU., Colorado State University.
- Soil Association. 1998. *Public certification summary for Stockholm Vatten AB, Sweden*. Bristol, Reino Unido.
- Stirzaker, R.J., Cook, F.J. y Knight, J.H. 1999. Where to plant trees on cropping land for control of dryland salinity: some approximate solutions. *Agricultural Water Management*, 39: 115–133.
- Stolzenburg, W. 2005. Amphibians falling faster and further. *Nature Conservancy*, 55(1): 15.
- Swain, P.C. y Kearsley, J.E. 2001. *Classification of the natural communities of Massachusetts*. Westborough, Massachusetts, EE.UU., Programa para el patrimonio natural y las especies amenazadas, División de Pesca y Fauna Silvestre de Massachusetts.
- Swallow, B.M., Garrity, D.P. y van Noordwijk, M. 2001. *The effects of scales, flows and filters on property rights and collective action in watershed management*. Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR) Systemwide Program on Collective Action and Property Rights, CAPRI Working Paper No. 16. Washington, DC, Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias.
- Thang, H.C. y Chappell, N.A. 2005. Minimising the hydrologic impact of forest harvesting in Malaysia's rainforests. En M. Bonell y L.A. Bruijnzeel, eds. *Forests, water and people in the humid tropics*, pp. 852–865. UNESCO International Hydrology Series. Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press.
- Thompson, E.H. y Sorenson, E.R. 2000. *Wetland, woodland, wildland*, pp. 306–308. Hanover, New Hampshire, EE.UU. y Londres, University Press of New England.
- Tognetti, S.S., Aylward, B. y Mendoza, G.F. 2005. Markets for watershed services.

- En M. Anderson, ed. *Encyclopedia of hydrological sciences*. Chichester, Reino Unido, JohnWiley & Sons.
- Tomich, T.P., Thomas, D.E. y van Noordwijk, M.** 2004. Environmental services and land use change in Southeast Asia: from recognition to regulation or reward? *Agriculture Ecosystems and Environment*, 104: 229-244.
- Trustrum, N.A., Thomas, V.J. y Douglas, G.B.** 1984. The impact of forest removal and subsequent mass-wasting on hill land pasture productivity. En C.L. O'Loughlin y A.J. Pearce, eds. *Symposium on effects of forest land use on erosion and slope stability*, p. 308. Honolulu, Hawai, EE.UU., East-West Center.
- UICN.** 2002. *IUCN 2002 red list of threatened species*. Gland, Suiza. (También en: www.redlist.org/)
- UICN y WWF.** 2000. Tropical montane cloud forests; bosques nublados tropicales de las montañas; forêts tropicales montagnardes de nuages. *Arborvitae: IUCN/WWF Forest Conservation Newsletter*. Gland, Suiza.
- UNESCO.** 2003. *Water for people, water for life: United Nations world water development report (foreword)*. París, UNESCO-Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos.
- Urapepatananpong, C. y Pitayakajornwute, P.** 1996. The peat swamp forests of Thailand. En E. Maltby, C.P. Immerzi y R.J. Safford, eds. *Tropical lowland peatlands of Southeast Asia. Proceedings, Workshop on Integrated Planning and Management of Tropical Lowland Peatlands*, pp. 119-128. Cisarua, Indonesia, 8 y 9 de julio de 1992. Gland, Suiza, UICN.
- Westing, A.H.** 2003. *Woodland vernal pools and associated amphibians: their relevance to town plans and zoning ordinances in the Windham region of Vermont*. Brattleboro, Vermont, EE.UU., Windham Regional Commission.
- Wiersum, K.F.** 1984. Surface erosion under various tropical agroforestry systems. En C.L. O'Loughlin y A.J. Pearce, eds. *Proceedings, Symposium on Effects of Forest Land Use on Erosion and Slope Stability*, pp. 231-239. Honolulu, Hawaii, EE.UU., Environment and Policy Institute (EAPI), East-West Center.
- Wiersum, K.F.** 1985. Effect of various vegetation layers in an *Acacia auriculiformis* forest plantation on surface erosion in Java, Indonesia. En S.A. El-Swaify, W.C. Moldenhauer y A. Lo, eds. *Soil erosion and conservation*, pp. 79-89. Ankeny, Iowa, EE.UU., Soil Conservation Society of America.
- Williams-Linera, G., Manson, R. e Isunza Vera, E.** 2000. La fragmentación del bosque mesófilo de montaña y patrones de uso del suelo en la región oeste de Xalapa, Veracruz, México. *Madera y Bosques*, 8(1): 69-85.
- World Water.** 1981. How trees can combat droughts and floods. Editorial 4(10): 18.
- Yusop, Z., Krogh, V. y Kasran, B.** 1999. Hydrological characteristics of the North Selangor Peat Swamp Forest. En C.T. Yuan y P. Havmoller, eds. *Sustainable management of peat swamp forests in peninsular Malaysia*. Volume II. *Impacts*. Kuala Lumpur, Forestry Department, Malasia Peninsular.
- Ziemer, R.R.** 1981. Roots and the stability of forest slopes. En T.R.H. Davies y A.J. Pearce, eds. *Erosion and sediment transport in Pacific Rim steeplands*, pp. 343-359. Publication No. 132. Washington, DC, Asociación Internacional de Ciencias Hidrológicas.

Los bosques y el agua

En muchas regiones del mundo, la disponibilidad y calidad del agua potable cada vez está más amenazada por su explotación excesiva, el mal uso y la contaminación. En este contexto, la relación entre los bosques y el agua debe recibir una gran prioridad. Las cuencas de captación forestales suministran una gran parte del agua destinada a satisfacer las necesidades domésticas, agrícolas, industriales y ecológicas, tanto en las zonas de río arriba como en las de río abajo. Un desafío importante que afrontan los responsables de la ordenación de las tierras, los bosques y el agua es elevar al máximo los beneficios que ofrecen los bosques sin menoscabo de los recursos hídricos y la función del ecosistema. Es urgente comprender mejor la interacción entre los bosques y los árboles con el agua e incorporar este conocimiento en las políticas. Este estudio, iniciado en el ámbito de la Evaluación de los recursos forestales mundiales 2005, destaca la necesidad de una ordenación integral de los complejos ecosistemas de las cuencas hidrográficas que tenga en cuenta la interacción entre el agua, los bosques y otros usos de la tierra, así como los factores socioeconómicos. Explica la función de los bosques en el ciclo hidrológico, con atención particular a las situaciones críticas de alerta forestal, como los terrenos montañosos o empinados, las zonas fluviales y costeras y los ecosistemas palustres, así como el caso especial de las islas pequeñas montañosas. Trata la protección del suministro municipal de agua y los nuevos sistemas de pago por servicios de cuenca. Esta publicación de los conocimientos más avanzados será de interés para una amplia gama de expertos técnicos, científicos y responsables de tomar las decisiones.

ISBN 978-92-5-306090-0 ISSN 1014-2886



9 789253 060900

10410S/1/11.09/1000