

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 espaciamiento 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 ($<50 \text{ km}^2$), media (de 50 a 20 000 km^2) y macro ($>20 000 \text{ km}^2$). 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 importantes 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 higrofíticos 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 bajarán 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. Incluso 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.