

# ECOLOGÍA DE LAS ZONAS RIBEREÑAS

**D. Granados-Sánchez; M. Á. Hernández-García; G. F. López-Ríos**

División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo.  
Km. 38.5 Carr. México-Texcoco. Chapingo, Estado de México. C. P. 56230.

## RESUMEN

Muchas especies de plantas tienen fuertes asociaciones con las zonas riparias, pues crecen a lo largo de las márgenes del agua. El microclima húmedo de la zona riparia y la humedad del suelo, creados tanto por el afloramiento de agua como por el agua del terreno cercana a la superficie, tiende a hacerlos hábitats favorables para muchos anfibios y algunos mamíferos pequeños. Comenzando en el borde del agua y avanzando progresivamente hacia el interior del bosque, frecuentemente se definen bandas sucesivas de vegetación, mediante cambios muy pequeños en la topografía. Estos ecosistemas tienen muchos atributos que realzan su diversidad biológica: límites, patrones sucesionales, disposición vertical en estratos y microhábitats especiales definidos por sus rasgos físicos. Pececillos de río, ranas y ardillas, algas, platanus, sauces, pinos y encinos, todos ellos prosperan conjuntamente a lo largo de las playas de las corrientes de agua.

**PALABRAS CLAVE:** ecosistema ripario, comunidad, dinámica, manejo.

## RIPARIAN ZONES ECOLOGY

### SUMMARY

Many species of plants have strong attachments with the riparian zones, since they grow throughout the margins of the water. The humid microclimate of the riparian zone and the humidity of the ground, originated by the water outcropping and by the water of the land near the surface, makes them suitable habitats for many small amphibians and some small mammals. From the edge of the water and progressively towards the inside forest, frequently successive bands of vegetation are defined, by means of very small changes in the topography. These ecosystems have many attributes that creates more biological diversity: sequential limits, successional patterns, vertical disposition in layers, special microhabitats defined by their physical characteristics. River minnows, frogs and squirrels, algae, platanus, willows, pines and oaks; all of them thrive the beaches a long the streams.

**KEY WORDS:** riparian ecosystem, community, dynamics, management.

## INTRODUCCIÓN

El término zona riparia designa la región de transición y de interacciones entre los medios terrestre y acuático. Esta zona se caracteriza por una flora y una fauna cuya composición está fuertemente determinada por la intensidad luminosa, el contenido en agua y la granulometría del suelo. De los insectos característicos de esta zona, muchas especies son aladas, que tienen la particularidad de resistir largo tiempo la inmersión, lo que es una adaptación a la supervivencia en un medio frecuentemente inundado. Las zonas de transición entre el medio terrestre y los ecosistemas acuáticos poseen un "poder tampón", es decir, tienen la capacidad de absorber y almacenar elementos.

Los bosques de rivera juegan un papel particularmente importante, retienen parte del nitrógeno y el fósforo transportados por la escorrentía, desde los cultivos hasta los cursos de agua. Una banda de vegetación de ribera de 16 m de largo retiene 50 % del nitrógeno y 95 % del fósforo. La creación de corredores vegetales a lo largo de los ríos es uno de los medios que permiten restaurar la calidad de las aguas superficiales. Además de la retención de los elementos mencionados, las bandas de vegetación de ribera sombream el agua y reducen su temperatura durante los días calurosos, estabilizan las orillas, reducen los riesgos de erosión y ofrecen un hábitat a muchas especies vegetales y animales. Los ríos que atraviesan los bosques están rodeados por una vegetación riparia, que controla la temperatura y la luminosidad del

agua, aumenta la estabilidad de las orillas y proporciona cantidades importantes de detritos vegetales (madera muerta y hojas muertas) los cuales reducen la velocidad de la corriente, frenan las crecidas y crean zonas de calma favorables a la instalación de muchas especies animales. La materia orgánica muerta que pasa del medio terrestre al medio acuático es explotada por una fauna acuática abundante y rica en especies (Anderson *et al.*, 1978).

Los bosques riparios tienen otro rasgo que los hace importantes: con frecuencia son excepcionalmente fértiles y productivos. Las áreas riparias que yacen en las planicies de inundación, generalmente, demuestran ser ricas en nutrientes, debido a que siempre que una corriente de agua escapa de sus bancos, deja un depósito de sedimentos tras de sí y, con el tiempo, se crea un rico suelo aluvial, la clase de suelo que hace populares a los valles de los ríos entre los campesinos. El agua que fluye a través de una zona riparia también facilita el reciclamiento de los nutrientes y, así, el desarrollo de las plantas mediante el movimiento del oxígeno a través del suelo y la remoción del bióxido de carbono, así como de los productos metabólicos residuales. Por todo esto, el objetivo de este trabajo fue describir las características de la estructura y dinámica de las zonas ribereñas, así como su papel en el funcionamiento y equilibrio de las cuencas hidrológicas.

### **El núcleo del equilibrio en el ecosistema cuenca**

El agua, además de constituir la mayor parte del planeta Tierra, es la sustancia crítica para el sostenimiento de todas las formas de vida. Actualmente, aun cuando las formas de vida terrestre dominan el planeta, el contacto entre los reinos acuáticos y terrestres continúa siendo de gran importancia, porque con frecuencia las riberas son el refugio para la biota única y para algunos procesos ecológicos especiales.

La zona riparia o ribereña puede considerarse como el borde inmediato del agua, donde algunas plantas y animales especializados forman una comunidad distinta. En una escala mayor, podría ser el área inundada periódicamente por el agua, los bancos y las planicies de inundación de un río. En la escala más grande, podría ser la franja de bosque que tiene una influencia significativa sobre el ecosistema ribereño y que es influenciada significativamente por el río. Así, los ecosistemas riparios tienen muchos atributos que realzan su diversidad biológica: límites, patrones sucesionales, disposición vertical en estratos y microhábitats especiales definidos por rasgos físicos.

De acuerdo con lo anterior, una zona riparia designa el área de transición, pero también de interacciones entre los medios terrestre y acuático, y se caracteriza por una flora y una fauna cuya composición está fuertemente

determinada por la intensidad luminosa, el contenido de agua y la granulometría del suelo. Así, la vegetación ribereña se considera la base de la cadena alimentaria de los cuerpos de agua, puesto que el material orgánico proveniente del mantillo (hojas y ramas caídas, en descomposición) transportado hacia el cuerpo de agua, a partir de la vegetación marginal, constituye un suministro energético más importante que la producción autóctona en los ríos.

En un plano mayor, las comunidades vegetales ribereñas ofrecen recursos alimentarios abundantes y diversificados para la fauna terrestre y, de esta manera influyen, por ejemplo, en la cadena alimentaria de los peces (v. g. el salmón y la trucha, que durante la fase de agua dulce comen principalmente insectos acuáticos, los cuales pasan la mayor parte de su tiempo en el agua y se alimentan de hojas y pedazos de leños que caen en la misma). Los árboles en la orilla de los ríos pueden tener un efecto sustancial en la temperatura del agua corriente y, en consecuencia, en la supervivencia de poblaciones de peces. La vegetación ribereña juega un importante papel en el manejo integrado de plagas en las zonas aledañas, pues como se ha visto, los pájaros que anidan en los bosques ribereños son depredadores de roedores e insectos que atacan los cultivos cercanos y, en regiones con climas estacionales, durante el periodo seco, el bosque ribereño sirve de refugio para los animales. Además, cuando ocurren incendios en la vegetación ribereña inundable, estos tienen una menor probabilidad de consumirse por la acción del fuego.

En zonas de vegetación xerófila (especies adaptadas al clima seco), la vegetación ribereña provee un refugio decisivo para la mayoría de los mamíferos no voladores que están poco adaptados a este tipo de ecosistema. Los bosques ribereños en el desierto de Chihuahua son importantes como sitios de reposo para animales emigrantes, independientemente del tamaño y el grado de aislamiento o conectividad en relación con otros fragmentos de bosque. Muchas de las especies silvestres usan los bosques ribereños durante alguna parte de su ciclo de vida, ya sea para anidar, alimentarse, moverse, beber, refugiarse o como rutas migratorias.

### **Los componentes de un ecosistema ripario**

**Características del nicho ribereño.** Las corrientes de agua en los bosques son de diversas dimensiones y varían desde manantiales hasta sustanciales ríos que se desplazan hacia las partes bajas de las colinas y convergen con una u otra corriente mayor y una cuenca más grande; a lo largo de este gradiente cambian las características ecológicas de un ecosistema ribereño dentro de un *continuum* gradual. La velocidad a la que fluye el agua es función de la pendiente, y por esta razón, existe una relación entre la pendiente y la corriente que se calcula a partir de

la ecuación de Manning:

$$V(\text{m}\cdot\text{s}^{-1}) = \frac{(Rh^{0.66})(S^{0.5})}{n}$$

donde: V = velocidad de la corriente (m·s<sup>-1</sup>)

R = radio hidráulico

S = pendiente

n = índice de rugosidad del lecho

El radio hidráulico es la relación entre la superficie de la sección mojada del lecho y su perímetro; es inversamente proporcional a la profundidad media. El índice de rugosidad es una estimación experimental que se efectúa en canales, pero es difícil de obtener en un curso natural de agua. En general, para una pendiente y caudal determinados, la velocidad de la corriente es mayor cuanto menor es la profundidad.

Las aguas superficiales confluyen en arroyos primarios y secundarios que encauzan las precipitaciones hacia los ríos. Con frecuencia, los ecólogos usan un esquema de clasificación para separar este *continuum* en unidades significativas. En este esquema, los escurrimientos más pequeños se denominan de primer orden; los escurrimientos formados por la convergencia de dos o más escurrimientos de primer orden se llaman de segundo orden; cuando se unen dos escurrimientos de segundo orden, forman un escurrimiento de tercer orden, y así sucesivamente.

A partir del concepto de *continuum* de un río, explican por qué los procesos biológicos y dinámicos del arroyo son determinados por el gradiente físico y la red de drenaje. El concepto muestra que los escurrimientos son pequeños en la cabecera y progresivamente ganan amplitud –lo cual en esencia no es distinto del concepto propuesto para la sucesión de la vegetación–, no obstante define con claridad que durante el proceso hay un cambio en la energía cinética, la cual, a su vez, determina el tipo de organismos que están presentes en un determinado tramo del escurrimiento.

Así, en la cabecera de un arroyo, la vegetación riparia es importante porque proporciona sombra y produce detritus. En la parte media, las algas extendidas y las plantas enraizadas proporcionan los nutrientes. A medida que se amplía el arroyo, el efecto de la vegetación riparia se reduce, pero hay grandes cantidades de materia orgánica aguas arriba que entran al sistema. Todas las interacciones entre las características físicas de un arroyo y sus componentes bióticos producen un estado de equilibrio dinámico similar al producido en el proceso sucesional que se lleva a cabo en un hábitat terrestre (Thomas, 1979).

Esto, como vimos, se relaciona, además, con la potencia del agua en movimiento –su energía cinética–, pues si consideramos que una parte de esta potencia es absorbida para vencer ciertas resistencias al fluir del agua (viscosidad del agua, rugosidad del lecho y sobre todo, los fenómenos de turbulencia), entonces nos daremos cuenta de que si no existieran tales resistencias, su velocidad se aceleraría indefinidamente y las condiciones para las diversas manifestaciones biológicas serían difíciles.

De acuerdo con la potencia asociada a la pendiente, se pueden definir dos tipos de aguas superficiales: las aguas corrientes, con una potencia bruta elevada a causa de la pendiente de la cuenca, y las aguas estancadas, con una potencia débil debida sólo a las corrientes internas y a pequeñas turbulencias provocadas por la acción del viento o por variaciones de temperatura.

En una pendiente pronunciada, la potencia neta es positiva; el río la utiliza para cavar su lecho y erosionar sus orillas, de modo que la carga de materiales transportados aumenta, mientras que la potencia disminuye. Cuando ésta es nula, el río transporta su carga en suspensión, pero ya no erosiona. Si la pendiente disminuye y, consecuentemente, la velocidad de la corriente también, la potencia neta se vuelve negativa. El río deposita entonces materiales hasta que la potencia neta vuelva a ser igual a cero; el simple hecho de rellenar una depresión es suficiente para elevar el lecho y aumentar la pendiente (Thomas, 1979).

En cada punto del río se establece –por un simple proceso de erosión-transporte-deposición de materiales– lo que se denomina *pendiente de equilibrio* y corresponde a una potencia neta nula. La pendiente depende, en cada punto, de la de los puntos precedentes y siguientes y, por lo tanto, para el conjunto de un curso de agua, existe un *perfil de equilibrio*, el cual no es definitivo sino que continúa rebajándose puesto que el río sigue transportando materiales y, por consiguiente, erosionando al menos su curso alto.

**Arroyos.** Los hábitats de agua dulce son de dos tipos: *lénticos*, que comprenden las aguas en calma (lagos, charcas) y *lóticos*, que comprenden las aguas corrientes (manantiales, arroyos, ríos). Ambos tienen características que influyen sobre la vida acuática que contienen, pero también sobre la vida que se desarrolla en sus márgenes o riberas. La corriente de un arroyo determina las características físicas del escurrimiento y del mismo modo, la velocidad de un arroyo es controlada por el gradiente, amplitud, aspereza del fondo y forma (recta o serpenteante). Los nutrientes que entran a un arroyo directamente de sus cabeceras y de áreas adyacentes, pasan a través del sistema hasta la desembocadura donde se depositan (sistema abierto).

Además, las corrientes de agua desplazan, por arrastre sobre el fondo del lecho, materiales que confieren ciertas características a las aguas de escorrentía superfi-

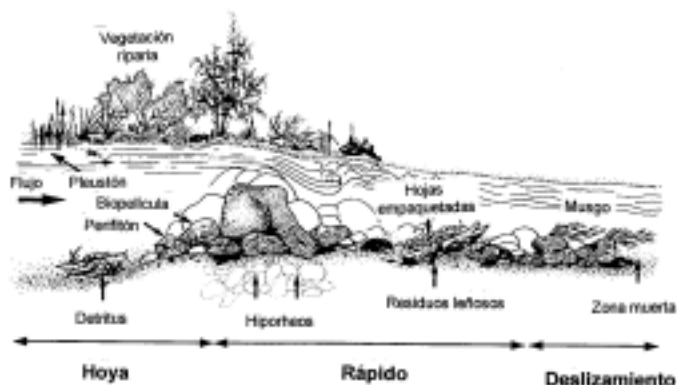
cial. Para una cierta velocidad, la turbulencia es suficiente para mantener en suspensión materiales de un cierto peso. Los materiales de gran calibre, como bloques o guijarros grandes, son arrastrados únicamente por saltos sucesivos que se presentan cuando las corrientes turbulentas ascendentes reducen la presión de estos materiales en el fondo y entonces pueden ser arrastrados o rodados a cierta distancia.

Los fenómenos de turbulencia son importantes, pues de ellos depende que los materiales se despeguen del suelo y se mantengan en suspensión. Una corriente de  $8 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  es suficiente para desprender un grano de arena de 2 mm, pero se requiere una corriente de  $15 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  para arrastrarlo y de  $11 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  para mantenerlo en suspensión. Aunado a esto, el agua transporta electrolitos en solución que reflejan la naturaleza geológica de los terrenos por donde cruzan los escurrimientos. Así, las aguas que surcan terrenos graníticos se encuentran poco mineralizadas y presentan un pH ácido o cercano a la neutralidad; las aguas que atraviesan terrenos calcáreos presentan una gran concentración de bicarbonatos y un pH alcalino (Nilsson *et al.*, 1988).

Por todo esto, dentro de un sistema de escurrimientos se forma una multitud de microambientes, los cuales surgen de la combinación de los remansos (pozas) y los rápidos, producidos por las rocas, cantos y por la formación del fondo (Figura 1). Estas combinaciones de características físicas afectan la cantidad de oxígeno y bióxido de carbono en el sistema. En adición, la química del arroyo está fuertemente influida por el suelo, la vegetación y los usos de la tierra a lo largo de sus bordes. Asimismo, el agua que se percola a través del suelo recoge nutrientes, lo cual afecta la acidez y la calidad de los nutrientes del agua. La vegetación riparia es uno de los principales factores que determinan la temperatura del agua por la exposición de ésta al sol o la sombra.

El régimen de las aguas corrientes está ligado con las precipitaciones y los cambios estacionales. Por ello, el caudal de los escurrimientos varía a lo largo del año y presenta alternancias entre las crecidas de la temporada lluviosa y el estiaje. En las regiones ecuatoriales se presentan dos períodos de precipitación que se relacionan con los dos máximos períodos de lluvias posteriores a los equinoccios. En las regiones tropicales y subtropicales, las máximas precipitaciones coinciden con el verano. En las latitudes medias, el fenómeno importante para la hidrología de las aguas corrientes lo constituye la alternancia térmica estacional (la cual presenta dos estaciones fundamentales, invierno y verano, y dos estaciones intermedias, primavera y otoño) que conduce a tres regímenes hidrológicos: nival, pluvial oceánico y mediterráneo, con variantes, según la altitud de la cuenca.

En los ecosistemas de aguas corrientes, un curso de agua drena por una cuenca y tiende a alcanzar su punto inferior; la potencia del agua en movimiento erosiona tanto los materiales de la cuenca, como los recursos necesarios



**FIGURA 1.** Sección transversal de un escurrimiento que muestra algunos de los hábitats. El perifitón y la biopelícula que cubren las piedras, guijarros y cantos, así como los detritus de la vegetación riparia, se reúnen en las áreas de flujo lento o forman paquetes de hojas al frente de las obstrucciones, como las formadas por residuos leñosos. El sustrato grueso se encuentra en los rápidos, donde el flujo es acelerado y turbulento; el sustrato fino se establece en las hoyas, al abrigo de grandes piedras y cantos, donde el flujo es lento.

para el funcionamiento del ecosistema (sales minerales y necromasa) y arrastra, inclusive, organismos vivos (deriva). Así, puesto que las aguas corrientes constituyen un sistema de transporte que va de la cabecera a la desembocadura, entonces el funcionamiento de sus ecosistemas se desarrolla siguiendo un gradiente horizontal y no vertical, lo cual le confiere su particularidad a estos ecosistemas lóticos y explica su tendencia al heterotrofismo, además de que la fotosíntesis sólo juega un papel importante en las pendientes poco pronunciadas, en llanuras (potamal).

El funcionamiento horizontal de los ecosistemas lóticos se basa, en primer lugar, en la utilización de los materiales orgánicos transportados por los organismos detritívoros que se alimentan de ellos, los hongos y las bacterias que los degradan y los oxidan; en segundo lugar, los materiales oxidados permitirán la fotosíntesis de las algas fijadas (fitobentos) y en suspensión (fitoplancton). Por ello, las redes tróficas animales, en un curso alto, son semejantes a las del suelo, basadas en la necromasa. Únicamente cuando la corriente disminuye se desarrolla el fitobentos y aparecen redes tróficas basadas en los herbívoros.

En los ecosistemas oceánicos y lacustres, el intercambio de  $\text{O}_2$  y  $\text{CO}_2$  en la interfase agua-atmósfera está bajo control dominante de la fotosíntesis y de la respiración de los organismos. En cambio, en las aguas corrientes, este tipo de control es secundario donde dominan los fenómenos de turbulencia que equilibran más fácilmente el intercambio gaseoso agua-atmósfera. La aparición de un gradiente vertical biosíntesis-biodegradación es un fenómeno excepcional y temporal durante el verano, en el potamal, principalmente cuando los malecones elevan el nivel de agua para permitir la navegación (Likens *et al.*, 1970).

El funcionamiento de los ecosistemas lóticos es, por lo tanto, muy diferente del de los ecosistemas oceánicos y lacustres, como consecuencia del gradiente horizontal del flujo de energía y materiales y, al contrario de lo que se observa en otros ecosistemas, en las aguas corrientes este flujo es más un telón de fondo de los ecosistemas que un regulador de las comunidades.

**Vegetación riparia.** La vegetación inmediatamente adyacente a los arroyos o a lo largo de los bordes de los lagos y charcos, se caracteriza por especies vegetales y formas de vida que difieren de aquéllas de los bosques circundantes y se denomina riparia (Figura 2). La composición de los árboles riparios depende de la elevación, y típicamente consta de árboles deciduos de los géneros *Populus*, *Quercus salix* y *Alnus*, por ejemplo, ahuehuetes, encinos, mezquites. El marcado contraste entre la vegetación riparia y la de las tierras altas, produce una diversidad estructural y las características del borde realzan su utilidad para la fauna silvestre.

La diversidad de la vegetación también tiene un componente vertical bien marcado; desde la superficie del agua hasta la parte superior del dosel, se encuentran diversas capas distintivas de vegetación. Esto es especialmente cierto a lo largo de los escurrimientos más grandes, donde, por su amplitud, se crea un rompimiento en el dosel forestal que permite la entrada de luz y su incidencia sobre el terreno.

La diversidad riparia es realzada, además, por diferencias en el hábitat a todo lo largo de los escurrimientos. Con los movimientos hacia abajo de las líneas del agua, los cambios en la flora son evidentes, especialmente a medida que los escurrimientos llegan a ser lo bastante grandes como para tener una distinta planicie de inundación, aunque también ocurren cambios menos conspicuos.

Más allá de ser diversos y únicos, los bosques riparios tienen otro rasgo que los hace importantes: con frecuencia son excepcionalmente fértiles y productivos. Las áreas riparias que yacen en las planicies de inundación, por lo general demuestran ser ricas en nutrientes, debido a que siempre que una corriente de agua escapa de sus bancos, deja un depósito de sedimentos tras de sí (Person, 1936; Barton *et al.*, 1985).

El agua que fluye a través de una zona riparia también facilita el reciclamiento de los nutrientes, y con ello, el desarrollo de las plantas mediante el movimiento del oxígeno a través del suelo y la remoción del bióxido de carbono, así como de los productos metabólicos residuales; esto contrasta agudamente con las condiciones anaeróbicas que con frecuencia prevalecen en las tierras húmedas con agua estancada.

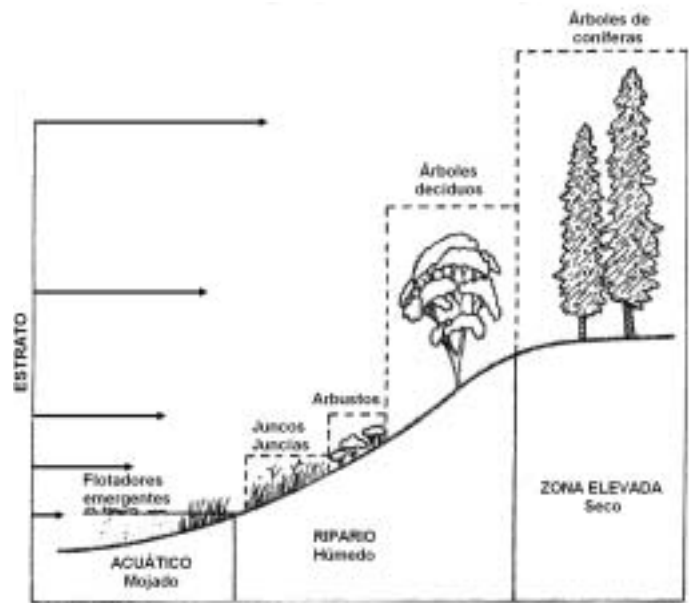


FIGURA 2. La vegetación riparia crea borde y diversidad en una corta distancia horizontal.

De esta manera, las plantas se benefician directamente y además otros animales toman ventaja del aumento en la producción de forraje rico en nutrientes. Diversos estudios han mostrado una mayor densidad de aves en reproducción en los bosques riparios que en las áreas cercanas de las tierras altas; las inundaciones que enriquecen el suelo y mantienen la vegetación en una etapa sucesional temprana, explican por qué las áreas riparias son el hábitat favorito del venado en muchas regiones. Pero la exuberante vegetación de una zona riparia no es precisamente la disposición de un abundante forraje para el consumo de los animales; este forraje representa también una cobertura —encubrimiento de o para los predadores y abrigo contra el inclemente tiempo—. Algunas bandadas de aves canoras migratorias utilizan, probablemente, los bosques riparios en una forma desproporcionada (quizá porque ahí el alimento es abundante o tal vez porque buscan fajas de cubierta densa), aunque esto se ha documentado sólo en regiones áridas (Cecccon, 2003).

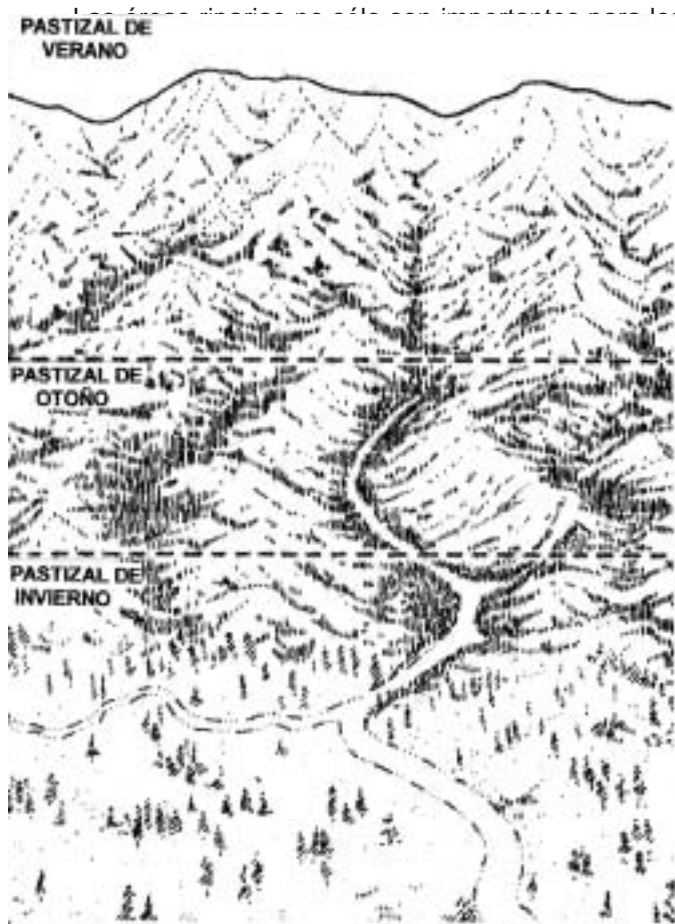
Aunado a lo anterior, la naturaleza lineal de los bosques riparios y su densa vegetación hacen de ellos una obvia selección como corredores para conectar bosques aislados y evitar el efecto de isla. Algunos animales, como el coyote, la zorra, el linco, las comadrejas y gran variedad de aves y felinos, con frecuencia usan los corredores riparios para cruzar y retornar a los lados de las montañas entre sus territorios de invierno y verano.

Por otro lado, las zonas de transición entre el medio terrestre y los ecosistemas acuáticos poseen un “poder tampón”, es decir, tienen la capacidad de absorber y almacenar elementos. Si la zona situada en la vecindad se encuentra bajo cultivo, existe una línea de separación neta con la

orilla. Si se trata de un pastizal no cultivado que conserva la vegetación espontánea, la transición es progresiva.

Estas zonas frenan la eutrofización y la polución de los ríos causada por los abonos o pesticidas traídos de tierras agrícolas que son transportados por las aguas. Particularmente, los bosques de rívera juegan un papel importante. Dichos bosques actúan reteniendo una parte del nitrógeno y el fósforo transportados por la escorrentía desde los cultivos hasta los cursos de agua. Como ya se mencionó, una banda de vegetación de ribera de 16 m de largo retiene 50 % del nitrógeno y 95 % del fósforo. De esta manera, la creación de corredores vegetales a lo largo de los ríos es uno de los medios que permiten restaurar la calidad de las aguas superficiales (Greer, 1978).

Debido a su forma larga y estrecha, las áreas riparias de un arroyo contribuyen con poca superficie al hábitat total disponible; sin embargo, son altamente productivas y de un alto valor para la fauna silvestre, pues se halla bien protegida en este hábitat (Figura 3). La más alta densidad de las aves jamás registrada en Norteamérica se encontró en la vegetación riparia de Arizona. Además, la densidad de 1324 pares de aves por 40 ha de áreas riparias se encuentra entre las más altas densidades en el mundo, incluyendo los bosques tropicales (Nilson *et al.*, 1988).



**FIGURA 3.** La vegetación riparia es usada como un corredor por muchas especies de fauna silvestre.

animales terrestres, sino que ellas también controlan el hábitat lótico asociado con los anfibios y los peces. Los doseles proporcionan sombra, los sistemas radiculares estabilizan los bancos y el detritus vegetal, junto con los insectos, proporciona nutrientes a los organismos de los arroyos. Las áreas riparias crean un efecto de oasis en las tierras secas y, debido a su microclima más frío y al agua largo de un arroyo o curso de agua crean, en ocasiones, una condición de boquilla que causa una corriente ascendente que introduce el aire por debajo de la vegetación y sobre el agua (Barton *et al.*, 1985).

La vegetación riparia proporciona un corredor natural para las especies locales, como el venado, el mapache, el pavo y el oso. En las regiones áridas, la zona riparia no es tan marcada como en las regiones tropicales húmedas, aunque resulta en más vegetación perpendicular a la región acuática de las zonas riparias. El aumento en la humedad y la mayor profundidad de los suelos integran los tipos de vegetación y disminuye la distinción entre las áreas donde comienzan y terminan las zonas riparias.

Los ecosistemas riparios de los paisajes áridos y semiáridos son, especialmente, interesantes porque es aquí donde los ecosistemas reverdecen primero. En los desiertos y en los pastizales, con frecuencia, una franja de árboles marca un curso de agua y forma la base de una comunidad rica y distintiva pero, desafortunadamente, en muchas áreas estas comunidades son raras o están bastante degradadas, debido a las diversas intrusiones como el excesivo pastoreo del ganado.

### Dinámica y funcionalidad de los ecosistemas riparios

Aunque la productividad de un ecosistema ripario es función de la combinación de factores físicos y biológicos, la mayoría de los escurrimientos no son ecosistemas productivos, simplemente porque la fotosíntesis se ve limitada debido a la escasez de plantas. El plancton común es arrastrado aguas abajo rápidamente, como para que se pueda desarrollar una gran comunidad de fitoplancton y las plantas enraizadas tienen dificultad para persistir en el erosionado sustrato que delinea la superficie y con frecuencia sólo pueden florecer algunas algas y musgos. Debido a la escasez de producción de materia orgánica, muchos ecosistemas ribereños dependen de la materia orgánica importada de ecosistemas adyacentes. En una pequeña línea de árboles en una corriente, la mayor proporción de materia orgánica, alrededor de 99 %, entrará al tejido alimenticio desde fuentes externas.

La principal fuente de materia orgánica es la proveniente de hojas, ramillas y otros residuos que llegan a ser tanto alimento como cubierta para una variedad de invertebrados que luego serán la fuente alimenticia de otro

eslabón de la cadena trófica. Estos organismos desarrollan el primer paso conspicuo en el proceso de descomposición mediante sus detritos, aunque una perspectiva más cercana podría mostrar realmente el comienzo de la descomposición, con los microbios que son sostenidos por la materia orgánica disuelta, lixiviada desde las hojas y otras fuentes terrestres. Ya sean los microbios o las larvas efímeras, las hojas o los compuestos solubles, el punto importante es que las corrientes son subsidiadas por los bosques circundantes (Morisawa, 1968).

Desde las bacterias hasta las truchas y la mayoría de los organismos de las corrientes dependen, en alto grado, de la energía importada (Figura 4). Por ejemplo, se ha calculado que en el bosque del río de la costa de Oregon, más de 50 % de la energía obtenida por el salmón joven se deriva de la producción terrestre. No obstante, esta conexión entre el pez y el bosque es mucho más directa en la cuenca del Amazonas donde cientos de especies de peces consumen frutos y semillas de árboles (Barton *et al.*, 1985).

Sin embargo, no toda la materia orgánica terrestre que entra a una corriente de agua se descompone rápidamente como una fuente de energía, pues en las corrientes caen, con frecuencia, grandes trozas y ahí pueden permanecer durante muchas décadas, antes de pudrirse o de ser arrastradas agua abajo. Más allá de llegar a ser alimento para los descomponedores, tales trozas son una fuente importante de diversidad de hábitat, que sirve como sustrato para muchas especies pequeñas y como cubierta para especies grandes. En Alaska, se descubrió que los salmones y las truchas juveniles fueron significativamente más abundantes en corrientes con grandes cantidades de residuos de madera, lo que se

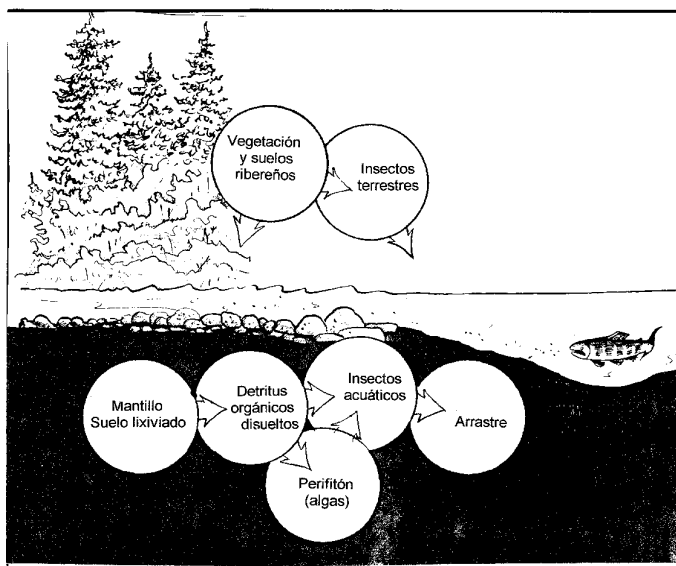
explica porque, mediante su acción como dique, los troncos pueden dividir lo que de otra manera podría ser un flujo uniforme de la corriente, marcado por alternativos encharcamientos y rápidos, incrementando la diversidad del hábitat. Los encharcamientos son particularmente importantes, pues es en éstos donde se colecta la materia orgánica y permanece el tiempo suficiente para que los descomponedores trabajen en ella (Barton *et al.*, 1985).

Aunado a lo anterior, los troncos que yacen en los ríos y a lo largo de los bancos también tienden a estabilizar el equilibrio dinámico entre la deposición de sedimentos y la erosión. Estos procesos forman el canal de un río a medida que las aguas se mueven hacia atrás y hacia delante, hacia arriba y hacia abajo, cortando el interior de los bancos y dejando caer montones de sedimento. La vegetación de la línea ribereña también es importante; un banco entrelazado con una malla de raíces es, con mucho, menos susceptible a la erosión que uno desnudo.

La materia orgánica arrastrada al interior de las corrientes y arreglada en represas por los castores, es otra forma en cual los materiales que se originan en el bosque terminan conformando la morfología de las corrientes. La habilidad de estos animales para manipular su medio es verdaderamente extraordinaria, pues si estuvieran confinados a una remota región de África, más bien que distribuidos a través de gran parte del hemisferio norte, podrían considerarse como los más notables mamíferos después del hombre. Además, el impacto ecológico de los castores no está confinado a sus actividades ingenieriles, pues se ha estimado que en un área con poblaciones saludables de castores, éstos pueden importar hasta 3000 kg de material leñoso por kilómetro de corriente, del cual alrededor de 75 % se descompondrá, 25 %, aproximadamente, se consumirá y entonces entrará al sistema acuático como heces (Glantz, 1977).

Las corrientes son receptáculos naturales, tanto de la producción vegetal terrestre como de los subproductos de la erosión natural del suelo dentro de sus cuencas. Desafortunadamente, este último proceso se ha magnificado por las actividades humanas, hasta un punto en el que muchos cuerpos de agua se han degradado severamente por agua turbia y sedimentos que cubren las partes altas. Las operaciones silvícolas, esencialmente la construcción de caminos, pueden producir una excesiva erosión, pero si los bosques riparios se dejan intactos, éstos pueden ayudar a amortiguar tales problemas para las corrientes de agua. Con esto, no sólo el área contigua a la erosión hacia las corrientes será minimizada, sino que los sedimentos transportados desde sitios de erosión distantes pueden filtrarse antes de alcanzar las corrientes.

Debido a que las corrientes representan un ecosistema distinto con cientos de especies no encontradas en otro tipo de ecosistema, un paisaje forestal enlazado



**FIGURA 4.** Dependencia estrecha de los organismos de las aguas corrientes con las fuentes externas de energía: los insectos son la principal fuente alimenticia para los peces en un escurrimiento.

con un ecosistema ribereño saludable soportará una variedad mucho mayor de fauna silvestre que un paisaje forestal drenado por canales empobrecidos. Además, si un paisaje ha de estar enlazado con un ecosistema ribereño saludable, debe tener ecosistemas riparios saludables. Por lo tanto, uno puede concluir que los bosques riparios son componentes clave en el mantenimiento de la diversidad en la fauna silvestre de los paisajes forestales (Greer, 1978).

Para las plantas y los animales terrestres, las zonas riparias representan un lugar con abundancia de agua. Dentro de un bosque tropical lluvioso, inundado con más de dos metros de lluvia anual, esto puede ser de consecuencias modestas y a lo largo de algunas corrientes la disponibilidad de agua puede ser sólo un fenómeno efímero. Aún más, en todo ecosistema ripario existen especies para las cuales la simple presencia del agua lo hace su hábitat preferido, o quizá único. Algunas de las asociaciones son muy obvias; con la mayoría de los anfibios viviendo en tierra y retornando al agua para su reproducción, es a duras penas sorprendente que muchos de ellos consuman gran parte de sus vidas en los ecosistemas riparios (Hewlett y Helvey, 1970).

Muchos de los reptiles, aves y mamíferos que comúnmente se consideran especies acuáticas, también podrían considerarse justamente riparios. Los castores, el pájaro martín pescador, el pájaro quebranta huesos y las nutrias podrían venir primero a la mente de una persona residente en el hemisferio norte, pero los ornitorrincos, las anacondas, las águilas pescadoras africanas y cientos de otras especies caen también dentro de esta categoría. La sola presencia de agua para beber hará de las áreas riparias los hábitats preferibles para algunos animales. Por ejemplo, la evidencia anecdótica sugiere, que en el invierno, el venado cola blanca buscará agua en manantiales, de modo que no tenga que gastar sus limitadas reservas de energía en la alimentación y el traslado sobre la nieve que se derrite.

Muchas especies de plantas tienen fuertes asociaciones con las zonas riparias (Nilsson *et al.*, 1988). Algunas requieren la presencia de manantiales y crecen a lo largo de las márgenes de éstos. Sin embargo, globalmente, el microclima húmedo de la zona riparia y la humedad del suelo, originados tanto por el afloramiento de agua como por el agua del terreno cercana a la superficie, son más importantes para el desarrollo de las plantas que el manantial por sí mismo.

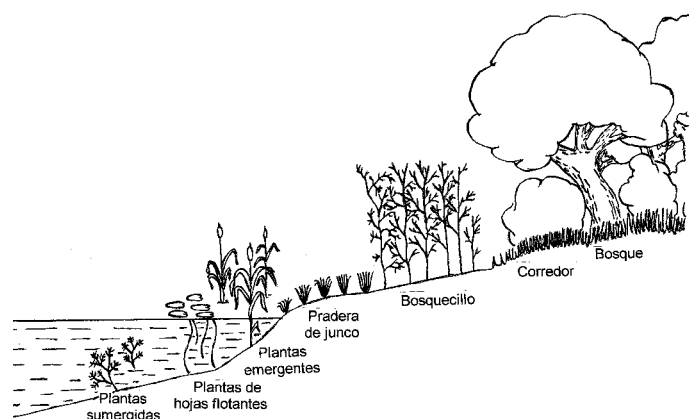
No obstante lo anterior, una vez que las corrientes más grandes crecen el agua deja de ser un recurso esencial y llega a ser un agente de estrés, en especial para las plantas que no pueden buscar terrenos altos, como la mayoría de los animales, aunque algunas plantas permanecen en planicies inundadas porque pueden tolerar un período de permanencia dentro del agua, o permanecer

inundadas durante un lapso mayor, especialmente si está por llegar la temporada de crecimiento. Otras sobreviven debido a que pueden recolonizar rápidamente un sitio, después de que una oleada de agua ha eliminado a la comunidad previa, dejando un banco desnudo.

Los efectos del estrés por el gradiente de inundación del agua pueden verse en las distintas unidades de vegetación que contienen muchas zonas riparias, en particular aquéllas que se encuentran a lo largo de las corrientes más grandes. Comenzando en el borde del agua y avanzando progresivamente hacia el interior del bosque, se definen bandas sucesivas de vegetación, mediante pequeños cambios en la topografía. Justamente, en un metro de elevación –para los árboles de tamaño normal que pueden tolerar una inmersión ocasional– puede observarse un cambio total en la faja de las plantas herbáceas que cubrieron el banco después de que el hielo lo pulió durante la última creciente principal. En algunos aspectos, uno puede considerar que estas fajas de vegetación son parte de una secuencia de la sucesión del bosque, donde el agua actúa como el agente de perturbación que mantiene retrasado el reloj sucesional (Figura 5).

La diversidad de la vegetación también tiene un componente vertical bien marcado; desde la superficie del agua hasta la parte superior del dosel, se encuentran diversas capas distintivas de vegetación. Esto es especialmente cierto a lo largo de los escurrimientos más grandes, donde, por su amplitud, se crea un rompimiento en el dosel forestal que permite la entrada de luz y su incidencia sobre el terreno (Anderson *et al.*, 1978).

De esta manera, no es sorprendente que toda esta diversidad en la vegetación se refleje en una mayor variedad de animales. En Blue Mountains, al oriente de Oregon y Washington, 285 de las 378 especies de vertebrados terrestres son directamente dependientes de las áreas



**FIGURA 5.** Etapas de desarrollo (de izquierda a derecha) en un lago eútrico. La vegetación riparia se caracteriza, por presentar zonas horizontales distintivas y estratos verticales.



riparias o las prefieren respecto a otros hábitats (Thomas *et al.*, 1979). Este patrón se repitió en un estudio realizado después, el cual mostró que una gran porción de cierta región de fauna compuesta por vertebrados, está asociada con las zonas riparias y bien puede ser cierto también para los invertebrados. Un estudio parcial sobre los insectos y arácnidos en el bosque de la planicie de inundación de olmo y fresno checoslovaco, encontró 1261 especies y se estimó que de 10 a 20 % de los artrópodos de toda Checoslovaquia se presentaron sólo en este bosque.

La diversidad riparia se ve realizada por diferencias en el hábitat a todo lo largo de los escurrimientos, diferencias que son proezas para la presencia de una variedad de especies. Con los movimientos hacia abajo de las líneas del agua, los cambios en la flora son muy evidentes, especialmente a medida que los escurrimientos llegan a ser lo bastante grandes como para tener una distinta planicie de inundación, aunque también ocurren cambios menos conspicuos (Thomas, 1979)

A lo largo de la cabecera de un escurrimiento tenue, los predadores característicos podrían ser las musarañas, mientras que animales más grandes, como el visón y la nutria, podrían ser más comunes aguas abajo de los escurrimientos, donde pueden encontrar peces más grandes. Un patrón inverso se encuentra en algunas salamandras que están confinadas a las cabeceras de las aguas en riachuelos, mientras que las especies de salamandras más pequeñas, oscuras y de dos líneas, habitan, además, en los escurrimientos más grandes y cálidos. Probablemente estas pequeñas especies pueden tolerar un intervalo más amplio de condiciones, pues, debido al tamaño relativo de su cuerpo, tienen una mayor área superficial sobre la cual obtener el oxígeno adecuado. La proporción mucho mayor entre una baja superficie y el volumen de las salamandras más grandes, significa que no pueden sobrevivir en los escurrimientos más cálidos y pobremente oxigenados.

Los ecosistemas riparios tienen muchos atributos que realzan su diversidad biológica; entre estos se encuentran: límites, patrones sucesionales, disposición vertical en estratos y microhábitats especiales definidos por rasgos físicos. Más allá de ser diversos y únicos, los bosques riparios tienen otro rasgo que los hace importantes: con frecuencia son bastante fértiles y productivos. Las áreas riparias que yacen en las planicies de inundación, son ricas en nutrientes, debido a que siempre que una corriente de agua escapa de sus bancos, deja un depósito de sedimentos detrás de sí.

Los investigadores usaron los anillos de algunos árboles para reconstruir el desarrollo del ciprés desnudo en la ribera de un pantano en Illinois, Estados Unidos, y encontraron que el desarrollo estuvo influido fuertemente por la frecuencia y magnitud de las inundaciones; *i.e.*, los

períodos, cuando se depositaron grandes cantidades de fósforo en el bosque. Este no es precisamente un fenómeno de corto plazo; con el tiempo, se crea un rico suelo aluvial. El agua que fluye a través de una zona riparia también facilita el reciclamiento de los nutrientes y, con ello, el desarrollo de las plantas, mediante el movimiento del oxígeno a través del suelo, con la remoción del bióxido de carbono y los productos metabólicos residuales; esto contrasta con las condiciones anaeróbicas que prevalecen en las tierras húmedas con agua estancada.

Las plantas se benefician directamente y además algunos animales toman ventaja del aumento en la producción de forraje rico en nutrientes. El ambiente rico en nutrientes puede explicar por qué en un estudio sobre comunidades de aves riparias en Iowa, los bosques de planicies de inundación soportaron un promedio de 506 parejas en reproducción por 40 ha, en comparación con las 339 para los bosques de las tierras altas, aun cuando ambos tipos de hábitats tuvieron un número similar de especies. Otros estudios han mostrado una mayor densidad de aves en reproducción en los bosques riparios (900 parejas por 40 ha) en comparación con las cercanas áreas de las tierras altas. Las inundaciones que enriquecen el suelo y mantienen la vegetación en una etapa sucesional temprana pueden explicar, además, por qué las áreas riparias son el hábitat favorito del alce en muchas regiones. Un reconocimiento aéreo del alce siberiano encontró que 45 % de ellos estuvieron en los bosques riparios (Geer, 1978)

En la región de Main son comunes los sitios densos de coníferas a lo largo de las vías de agua y es en tales sitios donde se localizan invernando más de 85 % de los venados cola blanca, en gran parte debido a que la densa cubierta produce un microclima benigno.

Además, la naturaleza lineal de los bosques riparios y su densa vegetación hacen de ellos una obvia selección como corredores para conectar bosques aislados y evitar el efecto de isla. El ante del oeste de Norteamérica, frecuentemente usa los corredores riparios para cruzar y retornar a los lados de las montañas entre sus territorios de invierno y verano. Además, algunos estudios de rastreo por radio sobre coyotes, felinos, zorra roja, marta de los pinos y pescadores en Main, sugieren que estos carnívoros viajan a lo largo de las corrientes de agua mayores distancias de lo que uno podría probablemente esperar (Glantz, 1977).

A pesar de lo anterior, la importancia de los ecosistemas riparios es más notable en términos de la preferencia respecto a los hábitats de un animal terrestre particular: el humano. Como se ha manifestado por la distribución de las ciudades, caminos, granjas, etc., la gente es atraída por las líneas costeras de las corrientes de agua, por una variedad de propósitos prácticos y recreativos. Aun en ausencia de un propósito definido, el atractivo estético

lleva a la gente a los bordes de las aguas. Sin duda, la rareza de los ecosistemas riparios realza su valor mediante la estimación humana.

Los bosques riparios han sido comunes; en México, se ha estimado que alrededor de 16 % de la tierra está sujeta a inundaciones periódicas, por lo que podría considerarse, al menos potencialmente, como parte de ecosistemas riparios –o con cierta semejanza a ellos– y aunque más de 70 % de esta área se ha convertido en urbana y agrícola o se encuentra inundada por reservorios, alrededor de 2 % de la tierra del área permanece como un ecosistema ripario natural.

### El manejo de los ecosistemas ribereños

Los bosques riparios son, sin duda, muy importantes. Como hemos visto, se argumenta que son los más valiosos y sensibles del paisaje, por lo que su manejo debería realizarse con mucho cuidado. Un planteamiento conservacionista se inclina por eliminar toda práctica de manejo tendente a la obtención de madera de las zonas riparias y permitirles su evolución hacia sitios forestales viejos. Esta estrategia de dejar de hacer tiene muchas cosas que podrían recomendarse: es simple, protege bien los valores riparios y crea sitios de bosques viejos, los cuales se tornan en abastecedores en el corto plazo. Sin embargo, por el otro lado, el costo de una política de no cortar la madera en los bosques ribereños de corrientes de agua puede ser considerable, considerando que, por ejemplo, en México, en el bosque ribereño existen miles de árboles valiosos como sauces, ahuehuetes, cedros, mezquites, etc.

Con todo, la protección de los valores riparios y la extracción de madera pueden ser factibles, puesto que es posible que una silvicultura cuidadosa pudiera hacer un mejor trabajo de protección sobre algunos valores riparios específicos, que una política de no intervención. En Idaho, se usó un modelo para predecir la velocidad a la que podrían caer los grandes árboles en los ríos y así proporcionar una cubierta para los peces; se concluyó que la cosecha de 4 a 5% del bosque por década (una rotación de 200-250 años) podría resultar en la caída de trozas más grandes en los ríos, que una política de no cortar.

El manejo del venado en zonas riparias durante el invierno proporciona otro ejemplo. El venado cola blanca necesita de una cubierta densa como abrigo, pero la pasará mejor si el dosel se corta en algunos pequeños lotes donde éste pueda encontrar renuevos en los cuales puedan ramonear. Así, un bosque ripario sujeto a un manejo de corte puede servirle mejor que un bosque no manejado. Si el resguardo de las corrientes de agua fuese un primer objetivo, un sitio (de edades irregulares) manejado intensivamente, podría ser superior a un sitio viejo y sin manejo, porque este último probablemente podría ser más

vulnerable a las perturbaciones como caída de árboles que podrían romper el dosel (Thomas, 1979).

El argumento de mantener el dosel forestal para disminuir las altas temperaturas ilustra la complejidad potencial del planteamiento de manejo intensivo. Mientras algunos han determinado que tal dosel es crítico para la supervivencia de la trucha, otros han mostrado que cuando se abre el dosel y más sol incide sobre la superficie de las corrientes de agua, habrá más fotosíntesis, mayor productividad y más trucha. Ambos estudios son correctos; la pregunta es cuánto puede permitirse la fotosíntesis antes de que la temperatura excesiva del agua llegue a ser un problema y, obviamente, la respuesta variará de región a región y aun de río a río. La complejidad aumenta cuando se comienzan a agregar otros componentes, como el de mitigar la erosión del suelo y proporcionar corredores para los animales terrestres.

Los problemas no son irresolubles, pero socavan el valor de las prescripciones generales y argumentan a favor de realizar consideraciones caso por caso. La sensibilidad y valor de los bosques riparios podrían constituir un obvio principio guía básico: tratar a los bosques riparios con moderación. Con este principio en mente, uno puede considerar las diversas prácticas de manejo y usarlas con el menor impacto siempre que se manejen bosques riparios. Por ejemplo, esto podría significar el favorecer el manejo en pequeña escala, rotaciones largas y una composición natural de las especies arbóreas.

El lado débil del planteamiento de manejo intensivo es que asume que: (a) existe un entendimiento sustancial de los ecosistemas riparios bajo consideración; (b) habrá un diálogo considerable y una amplia cooperación entre quienes regulan la fauna silvestre y quienes conducen los aprovechamientos forestales y (c) los operadores de las trozas seguirán el plan de manejo muy cuidadosamente. Estas suposiciones son bastante razonables para los bosques que son manejados por una organización que cuenta con una autorización para el uso múltiple y un equipo extenso y diverso de administradores e investigadores.

En algunas regiones de México, en las que se han estudiado los ecosistemas riparios y en las cuales los administradores forestales no pueden encontrar un administrador de la fauna silvestre con quien consultar y donde los que cortan las trozas operan con poca o ninguna supervisión, probablemente sea preferible adoptar la simple política de no cortar. En estas condiciones surge realmente la necesidad de contar con áreas de protección de las zonas riparias, mediante el diseño de áreas de amortiguamiento dentro de las cuales se restrinja el aprovechamiento de la madera.

Las dimensiones de una zona de amortiguamiento que se han propuesto a lo largo de los años, para diferentes

condiciones y diversos fines, han variado desde 8 hasta 400 m de ancho (éstas se miden a partir del borde del canal normal de la corriente de agua y se refieren sólo a un banco; ambos bancos combinados podrían ser del doble de ancho). Idealmente, el óptimo para una determinada corriente de agua podría determinarse por su amplitud, topografía, tipo de suelo, régimen hidrológico, clima y, con mayor importancia, por las metas de la política de manejo. Las zonas de amortiguamiento bastante estrechas podrían ser suficientes si se estuviera interesado sólo en el mantenimiento de algunos de los rasgos del ambiente ripario.

Sin embargo, si los bosques riparios son el hábitat para muchos animales terrestres, entonces deben ser significativamente más amplios. Las fajas de amortiguamiento deben ser tan amplias como para tener estabilidad, pues son de poco valor si se eliminan completamente, aunque cierta eliminación es natural y deseable, de acuerdo con los propósitos y las condiciones del área.

Para la mayoría de los propósitos sería preferible definir ecológicamente el borde o límite exterior de la zona de amortiguamiento y tanto la distancia vertical sobre el nivel del agua, como la distancia horizontal desde el banco podrían ser buenas correlaciones de esto. Por ejemplo, una zona de amortiguamiento podría definirse de 100 m de ancho o como la extensión de la planicie de inundación de 10 años (el área que es inundada, en promedio, una vez cada diez años), cualquiera que sea su amplitud (Barton *et al.*, 1985).

Respecto a su aprovechamiento forestal, un planteamiento conservacionista podría conceder no cortar totalmente, sino sólo realizar alguna cosecha, *e.g.*, se permite la extracción de 25% del área basal de los árboles; un planteamiento de dos hileras en el cual se crea una zona sin cortes, de 10 a 25 m de ancho, y una zona más amplia donde se podría realizar cierta cosecha, la cual aliviaría las operaciones de troza de la madera en las zonas contiguas a los ríos. Idealmente, los caminos podrían excluirse de las zonas riparias porque con frecuencia son la causa principal de la erosión del suelo; en algunas operaciones de cosecha, alrededor de 90% de los sedimentos proviene de los caminos. Bajo tales condiciones, podría ser necesario permitir un camino dentro de los 100 m de una corriente, pero debería haber siempre una zona de amortiguamiento de al menos 25 m.

### **La contaminación difusa y los ecosistemas ribereños**

Las áreas urbanas son una gran fuente de contaminación difusa, debido a que las grandes áreas impermeables de construcciones y calles no permiten la infiltración de agua, por lo que ésta permanece en la superficie, se acumula y se escurre en grandes cantidades, alcanza las galerías pluviales, gana velocidad, y cuando abandona el sistema, llega al río con gran volumen, erosionando sus márgenes, dañando la vegetación y

expandiendo los canales. Además, la urbanización también aumenta la variedad y cantidad de los contaminantes transportados: sedimentos de áreas en construcción, aceites, químicos tóxicos de automóviles, nutrimentos, pesticidas de jardines, virus, bacterias resultantes de fallas de los sistemas antisépticos, y metales pesados.

Desde el punto de vista de los ecosistemas acuáticos, son muchos los impactos de la erosión. Además de la degradación de la calidad del agua, la alta concentración de sedimentos restringe la entrada de luz solar, lo cual reduce las posibilidades de fotosíntesis para las plantas. Por otra parte, los sedimentos cubren las piedras presentes en el lecho del río, las cuales constituyen un hábitat importante para la colocación de huevos de los peces. Además, la elevada carga de fósforo en ríos y lagos puede acelerar el proceso de eutrofización. Este fenómeno es ocasionado por el exceso de nutrimentos en el agua que genera un desarrollo exagerado de poblaciones de plantas acuáticas de vida corta. Después de muertas, estas plantas dan lugar a procesos de descomposición aeróbicos que consumen gran cantidad del oxígeno del agua y limitan la existencia de otros seres vivos y de sí mismas, pues finalmente reducen la calidad del agua y destruyen el ecosistema (Ceccon, 2003; Zambrano, 2003).

Básicamente existen dos formas de controlar la contaminación difusa en las cuencas hidrográficas donde predominan las actividades rurales:

- 1) La adopción de prácticas de manejo individuales (optimización del uso de fertilizantes, rotación de cultivos, cultivo mínimo del suelo, etcétera) que pueden reducir desde 20 hasta 90 % de los sedimentos que alcanzan los cuerpos de agua.
- 2) El uso de medidas de mitigación, como la implantación de fajas vegetativas, cercas vivas y manutención de las zonas inundables. Estas dos clases de medidas pueden servir para el control de la contaminación difusa así como auxiliares a las tecnologías convencionales para el anejo de la contaminación puntual en ciertas condiciones (Lindsey *et al.*, 1961).

Diversos estudios realizados para comparar cuencas hidrográficas, con y sin vegetación ribereña, concluyeron que éstas son muy importantes para mantener la calidad del agua en cuencas altamente cultivadas. Dentro de los sistemas de implantación de fajas vegetativas, por su eficiencia, destacan dos técnicas: fajas de filtro vegetativo y bosques ribereños. Las primeras son fajas de gramíneas plantadas de manera directa entre los campos de cultivo y los cuerpos de agua. Los bosques ribereños son áreas de vegetación forestal natural entre las áreas cultivadas y los cursos de agua.

Tanto las fajas de filtro vegetativo como los bosques ribereños reducen la conexión entre la fuente de contaminación potencial y el cuerpo de agua receptor y pueden ofrecer una barrera física y bioquímica contra la entrada de contaminantes de fuentes distantes del curso de agua. Sin embargo, se ha encontrado que los bosques ribereños son potencialmente más importantes para la reducción de contaminantes.

En las áreas donde se presenta un escurrimiento superficial es fácil entender la actuación del bosque ribereño o la faja vegetativa como barrera contra los sedimentos y reductora de la velocidad del flujo. Si la capacidad de transporte es menor que la carga de sedimentos, ocurre su deposición en la interfaz de la zona ribereña y el área de cultivo o pasto. Los contaminantes adheridos a los sedimentos también se depositan (Cecon, 2003; Zambrano, 2003).

En las áreas húmedas, el escurrimiento proveniente de los ecosistemas terrestres es predominantemente superficial y los nutrientes se transportan en forma de solución. Al atravesar el bosque, ribereño los nutrientes son retenidos por adsorción en el sistema radicular de la vegetación ribereña que, por ser más espeso que el de las fajas vegetativas, actúa con mayor eficiencia para detener el escurrimiento superficial. El fósforo es reducido por la acción del bosque ribereño, porque 85 % del fósforo disponible está ligado a las pequeñas partículas del suelo. También una cierta cantidad de amonio ligada a los sedimentos puede ser filtrada de esta forma (Black *et al.*, 1985).

Por otra parte, el bosque ribereño puede actuar como agente transformador cuando los procesos químicos y biológicos cambian la composición de los nutrientes. En el caso de suelos bien oxigenados, las bacterias y los hongos del bosque convierten el nitrógeno del escurrimiento y la materia orgánica del piso del bosque en formas minerales (nitratos) que pueden ser aprovechados por las plantas y bacterias. Cuando la humedad del suelo es alta, se crean condiciones anaerobias en las capas superficiales del bosque y las bacterias convierten el nitrógeno disuelto en varios gases, regresándolos a la atmósfera.

Algunos estudios demuestran que el nitrógeno en el escurrimiento del agua subterránea superficial puede ser reducido en 80 %, después de pasar por un bosque ribereño. El bosque también transforma residuos de pesticidas transportados por escorrentías en componentes no tóxicos, por descomposición biológica y otras formas biodegradables. Cerca de 25 % del nitrógeno removido por el bosque ribereño es asimilado en el crecimiento de los árboles y puede almacenarse por largos periodos. Además, debido a su ubicación física en el paisaje, puede interceptar un alto porcentaje del escurrimiento superficial y del flujo superficial que se mueve de las áreas más altas hasta alcanzar los cursos de agua. La vegetación ribereña,

incluyendo las áreas inundadas, tiene una capacidad para interactuar con el agua subterránea porque el manto freático en estas áreas está muy cerca de la superficie del suelo, lo cual permite la interacción de las raíces y los microorganismos con los contaminantes transportados por el agua subterránea. Además, debido a que en las áreas de los bosques ribereños los niveles de materia orgánica en el suelo son altos, aumentan los procesos de adsorción química (González y García, 1995).

El ambiente abiótico puede influir fuertemente en el papel ejercido por la vegetación ribereña en el control de la contaminación difusa. Aunque las corrientes de agua son más sensibles a los cambios en sus zonas riparias, las actividades del manejo forestal intensivo, en cualquier lugar dentro de su cuenca, pueden tener efectos significativos. Por ejemplo, los cortes de aclareo en una cuenca incrementarán los flujos de las corrientes de agua, primeramente porque regresará a la atmósfera una menor precipitación mediante la evapotranspiración de los árboles. En las regiones donde el agua es un producto escaso, el manejo de los recursos depende de esta relación y se usan los cortes de aclareo de proporciones significativas para incrementar el rendimiento del agua.

Existe el peligro de que un aumento en el flujo de agua se manifieste en inundaciones más dramáticas; las devastadoras consecuencias de la deforestación en la región de la sierra Nevada (Popocatepetl e Ixtaccíhuatl) que provocan inundaciones masivas en las planicies del valle de Chalco, son un ejemplo conocido en México. Asimismo, después de que algunos sitios de bosques tropicales en Tabasco fueron aclareados, el punto máximo de los flujos de agua aumentó. Es probable que la exacerbación de las inundaciones sea un problema particular cuando el suelo de la cuenca esté perturbado extensamente.

Uno podría especular razonablemente acerca de que el corte extensivo en una cuenca pudiera tener efectos negativos, como el incremento en la temperatura de las aguas y el aumento tanto en los problemas de erosión como de sedimentación, pero aunque esto pudiera ser cierto, los pocos estudios en los que pueden distinguirse los efectos de los cortes en la zona riparia, sugieren que el mantenimiento de franjas de amortiguamiento adecuadas en las zonas riparias, evitan estos problemas. Las franjas riparias de amortiguamiento probablemente mejoran, aunque no eliminan, uno de los efectos del corte en gran escala dentro de una cuenca: la pérdida de nitrógeno. Cuando en New Hampshire se desnudó una cuenca mediante el aclareo y la repetida aplicación de herbicidas, se descubrió que las concentraciones de nitrato, en el drenaje de las corrientes de agua, eran más de 56 veces mayor que las concentraciones anteriores al tratamiento (Anderson *et al.*, 1978).

A pesar de que este estudio se citó ampliamente como

una acusación contra los cortes de aclareo y los críticos demandaron su limitada relevancia, puesto que se trataba de un tratamiento demasiado severo, realizado en un suelo atípico, en estudios subsecuentes, en los cuales se examinaron los cortes de aclareo comerciales sobre una variedad de suelos, las pérdidas de nitrógeno variaron desde cero hasta 14 veces similares a las de las condiciones de precorte. El aumento en el contenido de nitrógeno puede causar problemas dentro de los ecosistemas acuáticos, pues los hacen excesivamente productivos (causando eutroficación y problemas relacionados) y existe una preocupación por el hecho de que la fertilidad del suelo dentro del bosque pueda disminuir críticamente. El movimiento de algunos químicos, desde los suelos forestales hacia las corrientes de agua, podría afectar una de las fundamentales características de calidad del agua de las corrientes: el pH (Nilsson, *et al.*, 1988).

### **Alteración de la interrelación entre ecosistemas terrestres y ribereños y el desequilibrio en la relación agua-suelo-planta**

La presencia cada vez más frecuente de grandes avenidas de agua y partículas de suelo hacia las partes bajas, durante la temporada lluviosa, así como las alteraciones en los procesos de formación y retención del suelo y los subsecuentes fenómenos de erosión, son resultado de la pérdida de una parte importante de la cubierta vegetal en las partes altas y medias de las serranías, así como en los cauces de la infinidad de escurrimientos. Esta pérdida de la cubierta vegetal es la causa, a su vez, de que buena parte del agua producto de los deshielos, no pueda ser retenida e infiltrada hacia las capas más profundas y su posterior afloramiento en manantiales y ojos de agua en las partes más bajas de las serranías, los cuales consecuentemente cada vez tienen "menos agua" o simplemente desaparecen por períodos más prolongados cada año. Los efectos de esta alteración en la cubierta forestal, también se manifiestan en la cada vez más fugaz circulación de agua por la multitud de arroyos que surcan a esta región, como resultado también de la pérdida de su cubierta vegetal.

La modificación del ecosistema forestal ha afectado: (1) el transporte de sedimentos, y la deposición en los ríos; (2) la contaminación de las corrientes aguas abajo y (3) el mantenimiento de importantes grupos de animales acuáticos. Asimismo, la modificación del dosel de la vegetación forestal, la composición del piso y las condiciones del suelo ha afectado la cantidad de agua disponible, su calidad y las vías para su flujo, pues a medida que el agua fluye, el transporte tanto de componentes orgánicos como inorgánicos en los sedimentos y en la solución, disminuyen, lo cual después se refleja en la clase y cantidad de material transportado, ya que éste influye no sólo en los pequeños escurrimientos, sino también en los ríos (Nilsson *et al.*, 1988).

Estas alteraciones en la cubierta forestal se manifiestan principalmente en las pendientes de las serranías, pero también en los canales de los escurrimientos, como parte de procesos que originan material disuelto y partículas de origen orgánico e inorgánico. Una vez que el suelo se encuentra desprovisto de vegetación en algunas áreas, comienza el transporte de material disuelto cuando la lluvia cae directamente sobre el suelo y aun cuando pasa a través de la vegetación; así, la erosión de la superficie o transferencia de material, partícula por partícula, se observa en los escurrimientos superficiales por el impacto de las gotas de lluvia, la presencia de heladas y el fracturamiento que ocurre en los períodos secos.

Es evidente que estos procesos ocurren en forma natural, pero una vez que el equilibrio de una determinada área se altera o se rompe, es necesaria la pronta atención, pues en estas condiciones, los ciclos de tales procesos tienden a acortarse y aun a acrecentar su incidencia sobre la capa superficial desprovista ya de la vegetación. Además, estos procesos geomórficos actúan simultáneamente y están interrelacionados. Por ejemplo, en algunas áreas, cuando por efectos del pastoreo o de la tala se deja cierta superficie desnuda en terrenos con pendiente pronunciada, la acción del viento actúa sobre algunos árboles y poco a poco va desnudando su raíz y causando con esto una erosión superficial, que, al paso del tiempo, propicia, bajo ciertas condiciones, la detonación de una avalancha de residuos y suelo, que afecta muchos procesos en los canales de los escurrimientos (Morisawa, 1968).

Por esto, desde el punto de vista del ecosistema, es importante identificar la combinación de factores que está asociada con una perturbación, pues la probabilidad de una avalancha de residuos vegetales y suelo, el desplome o el flujo de tierra, difieren por su ubicación, la geomorfología de su inclinación, el tiempo en que se eliminó la vegetación, etc., ya que de la pronta identificación de la problemática y de su posible solución, dependerá el mantenimiento de diversos procesos dentro del ecosistema (González, y García, 1995).

El tipo de vegetación en los terrenos con pendiente influye significativamente en muchos procesos geomorfológicos. Es claro que ante la ausencia de vegetación no hay ni caída de materia orgánica ni raíces desnudas; no obstante, el aumento en el dosel de la vegetación reduce, por lo general, la cantidad de agua que alcanza el suelo, pero aumenta la proporción potencial de infiltración. Además, en la mayoría de los casos, el potencial erosivo del agua se reduce con la cubierta vegetativa, debido a que el suelo se satura con menor frecuencia; la intensidad del derretimiento de la nieve y el peso de las heladas se reduce; las raíces forman una densa red radicular de refuerzo a través del terreno con pendiente y la materia orgánica muerta asociada protege el suelo superficial

del golpeteo de la lluvia, además de servir como una barrera para el movimiento del suelo (Likens *et al.*, 1970).

Los bosques influyen fuertemente en el flujo de los escurrimientos que cruzan entre ellos, pues aun en las zonas más secas, donde el agua superficial no se presenta continuamente, el agua del subsuelo puede influir en el florecimiento de la zona riparia, de manera que modifique la forma en que la materia orgánica y los sedimentos se transporten. Si se considera que funcionalmente la zona riparia es el área de las interacciones directas entre el medio acuático, y terrestre; entonces, el grado de interacción depende del tipo y estatura de la vegetación, la hidrografía y la topografía. En las áreas forestales ubicadas en terrenos escarpados, la vegetación terrestre puede controlar fuertemente la vida en la zona riparia, la proporción del flujo en los escurrimientos y el perfil de los canales de conducción.

Así, la vida en las áreas ribereñas depende de las fuentes orgánicas transferidas desde el sistema terrestre. Por lo que en general estas entradas exceden en mucho la producción de materia orgánica dentro de las zonas riparias, originada de la actividad fotosintética de las plantas que ahí se establecen. La fuente de carbono fijado es la base para clasificar los escurrimientos; de esta manera, los pequeños escurrimientos dominados por una cubierta forestal, pueden derivar menos de 2 % del sustrato orgánico de su producción primaria. Los grandes escurrimientos, con mayor área superficial expuesta a la radiación directa, derivan más de la mitad de su material orgánico a través de la producción acuática primaria. Esto es importante, además, porque las diferentes clases de organismos presentes en un escurrimiento son determinadas por la disponibilidad de diversos sustratos orgánicos (Hewlett y Helvey, 1970).

Asimismo, grupos distintivos de vertebrados consumen selectivamente diferentes sustratos, además de que su presencia y abundancia relativa son un índice de monitoreo apropiado y de fácil aplicación. En la mayoría de los escurrimientos dentro de los bosques, pueden identificarse cuatro clases de invertebrados, cada uno con sus distintivas preferencias alimenticias y hábitat asociado. Un grupo es el que se encuentra en las rocas y otras superficies donde crecen las diatomeas, las algas o los musgos; estos animales son *cosechadores* de la producción primaria de los escurrimientos. Otro grupo de invertebrados son descritos como *cincladores* porque nacen al interior de la madera. Un tercer grupo se conoce como *desfibreadores*, los cuales comen casi toda la hoja, excepto las nervaduras. La materia fecal producida por estos y otros animales, se utiliza con fragmentos de microbios y biomasa vegetal, por invertebrados colectores que atrapan clases específicas de tamaño de partículas.

## CONCLUSIONES

Es innegable la importancia de los ecosistemas riparios para el conjunto de las interrelaciones de intercambio de

materia y energía dentro de unidades regionales amplias, como la cuenca. No obstante, para el estudio integral acerca de la importancia que tienen los escurrimientos superficiales sobre la flora y fauna, es necesario investigar la función que cumplen los hábitats ribereños en relación con el establecimiento de comunidades vegetales y poblaciones animales. En las partes altas de una cuenca se inician estos escurrimientos y en sus porciones medias se manifiestan como áreas ribereñas, compuestas de una vegetación espesa en galería, que sirve de hábitat, refugio y sustento de la mayor parte de la fauna.

Los ambientes ribereños poseen características que benefician a la fauna silvestre, como son: disponibilidad de agua, sombra, protección termal, mayor diversidad y forraje de calidad. Además, el ecosistema ribereño protege a los suelos y proporciona agua para el consumo humano. Estas áreas albergan especies animales particulares del sitio y son frecuentadas por especies de zonas aledañas. También funcionan como corredores de animales que se dispersan a distancia. Estas áreas, tienen particular importancia puesto que durante el invierno y el periodo más seco (intraestival), muchas especies encuentran en ellas su sustento y protección.

Es de tal magnitud la importancia de los ecosistemas riparios que es impostergable iniciar las acciones tendentes no sólo a su conservación sino también a su restauración. En particular, las prácticas silvícolas que se desarrollen en esas áreas, deben estar supeditadas a la protección y evitar de manera directa el arrastre y el azolve de las mismas.

En síntesis, podemos decir que el manejo del bosque para extraer madera, la ganadería, la agricultura, la recreación o el turismo, el crecimiento de las áreas urbanas, son precisamente algunas de las muchas actividades que afectan o reemplazan a los bosques riparios. Aquellos que aún permanecen, están amenazados por la construcción de estructuras diseñadas para hacer más rápido o más lento el flujo del agua o por la necesidad de transportarla desde lugares donde no es deseada hasta lugares donde se requiere de ella.

## LITERATURA CITADA

- ANDERSON, N. H.; Sedell, J. R.; Roberts, L. M.; Triska, F. J. 1978. The role of aquatic invertebrates in processing of wood debris in coniferous forest streams. *Am. Midl. Nat.* 100: 64-82.
- BARTON, D. R.; TAYLOR, W. D.; BIETTE, R. M. 1985. Dimensions of riparian buffer strips required to maintain trout habita in southern Ontario streams. *North Am. J. Fish. Manage.* 5: 364-378.
- CECCON, E. 2003. Los bosques ribereños y la restauración y conservación de las cuencas hidrográficas. *Ciencia* 72: 46-53. Facultad de Ciencias, UNAM. México.
- GLANTZ, M. H. (ed.). 1977. *Desertification: Environmental degradation in and around arid lands.* Westview Press. Boulder, Colorado, USA.

- GONZÁLEZ, T. M.; GARCÍA, D. J. 1995. Restauración de ríos y riberas. Fundación del Conde del Valle de Salazar. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes de la Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. 319 pp.
- GREER, C. 1978. River management in modern China. Westview Press. Boulder, Colorado, USA.
- HEWLETT, J. D.; HELVEY, J. D. 1970. Effects of forest clear-felling on the storm hydrograph. *Water Resour. Res.* 6: 768-782.
- LIKENS, G. E.; BORMANN, F. H.; JOHNSON, N. M.; FISHER, D. W.; PIERCE, R. S. 1970. Effects of forest cutting and herbicide treatment on nutrient budgets in the Hubbard Brook watershed-ecosystem. *Ecol. Monogr.* 40: 23-47.
- LINDSEY, A. A.; PETRY, R. O.; STERLING, D. K.; ASDALL, W. V. 1961. Vegetation and environment along the Wabash and Tippecanoe rivers. *Ecol. Monogr.* 144 pp.
- MORISAWA, M. 1968. Streams: their dynamics and morphology. McGraw-Hill. New York, New York, USA.
- NILSSON, C.; GRELSSON, G.; JOHANSSON, M.; SPERENS, U. 1988. Can rarity and diversity be predicted in vegetation along river banks? *Biol. Conserv.* pp. 201-212.
- PERSON H., S. 1936. Las pequeñas fuentes fluviales. Estudio de las cabeceras fluviales y otros pequeños cuerpos de agua, su utilidad y sus relaciones con el suelo. Washington, DC. USA. pp. 17-23.
- THOMAS, J. W. (ed.). 1979. Wildlife habitats in managed forests: the Blue Mountains of Oregon and Washington, USDA. Forest Service Agricultural Handbook 553. Washington, DC. USDA. pp. 512.
- ZAMBRANO, L. 2003. La restauración de ríos y lagos. *Ciencias* 72: 37-43. Universidad Nacional Autónoma de México. México.