

Conceptos y técnicas en ecología fluvial

Edición a cargo de:

ARTURO ELOSEGI

Profesor titular de Ecología en la Universidad del País Vasco

SERGI SABATER

Catedrático de Ecología en la Universidad de Girona

Separata del capítulo 3

El marco físico: la cuenca

JESÚS POZO

ARTURO ELOSEGI

Primera edición: abril 2009

ISBN: 978-84-96515-87-1

© los autores, 2009

© de la edición en español, Fundación BBVA, 2009

El marco físico: la cuenca

JESÚS POZO Y ARTURO ELOSEGI

3.1. Introducción

Los ríos aparecen como cursos de agua con límites netos respecto a su entorno. Ello podría causar la errónea impresión de que entre agua y tierra no existe vínculo alguno. Nada más lejos de la realidad. Los sistemas acuáticos tienen estrechas relaciones con el medio terrestre que les rodea, pero también con el aire. El agua que circula está en tránsito, proviene del lavado superficial de los suelos o de la alimentación desde el acuífero subterráneo. Pero también en esos lugares está en tránsito. El agua se mueve de un lugar a otro y de un estado a otro a través del ciclo hidrológico (fig. 3.1). En su transcurrir impregna y se impregna de otros elementos, interfiriendo con factores y procesos físicos, químicos y biológicos.

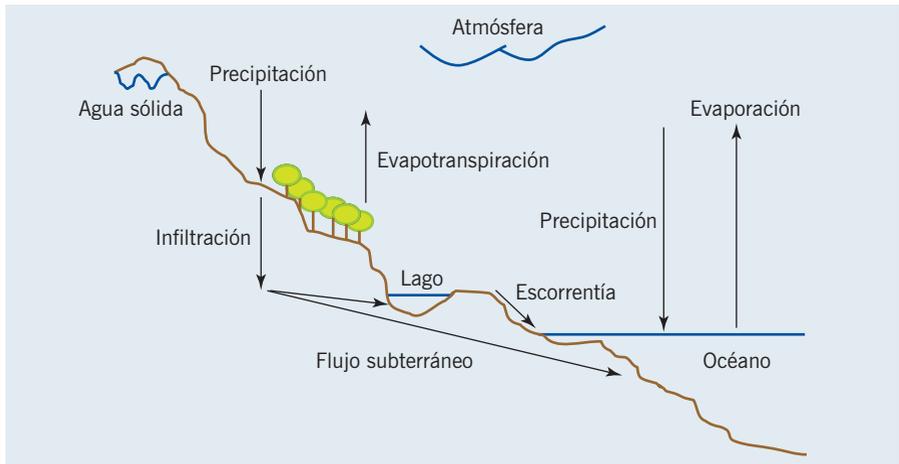
El tránsito por el medio terrestre se produce en las cuencas de drenaje, cada una de las partes del territorio que conduce sus aguas a un río, a un lago o al mar, aunque hay excepciones. Así, en regiones áridas hay cuencas arreicas, es decir, que no poseen ríos. En otras regiones se encuentran cuencas endorreicas, donde el agua llega tan sólo por la lluvia y se pierde por infiltración o evaporación.

Los límites de una cuenca vienen marcados por las divisorias de agua impuestas por el relieve, líneas que unen entre sí los puntos de máxima cota del territorio y dividen las aguas conduciéndolas a ríos diferentes. Aunque hay cuencas de todos los tamaños, desde unas cuantas hectáreas a miles de kilómetros cuadrados, los

Los ríos modelan el paisaje y reflejan las características de su cuenca

Los ecosistemas fluviales forman una red jerárquica y ramificada

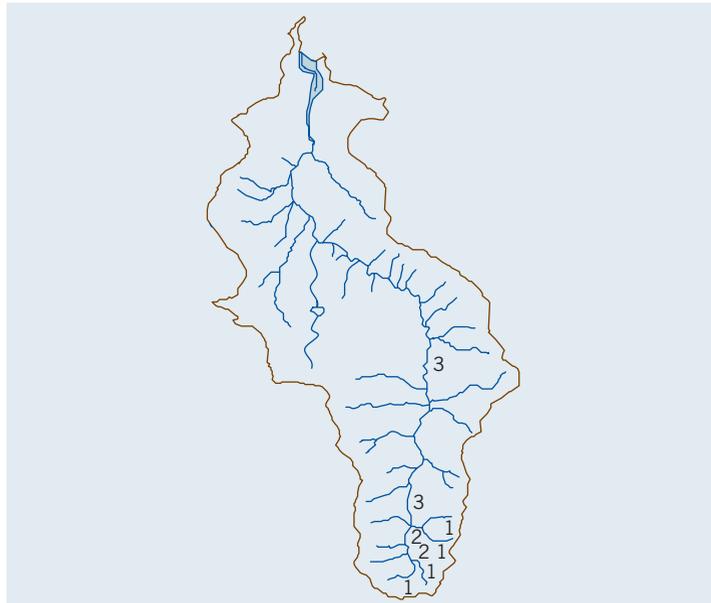
Figura 3.1:
El ciclo hidrológico



gestores están interesados especialmente en cuencas de gran tamaño, constituidas por otras más pequeñas, formando un sistema jerárquico (fig. 3.2).

La confluencia de cursos de agua cada vez de mayor entidad constituye la red de drenaje de la cuenca, a partir de la cual se han establecido sistemas de clasificación, como el de *orden de río*. Según la jerarquía establecida por Strahler (1964), los cursos que no reciben tributarios tienen asignado el orden 1; cuando confluyen

Figura 3.2:
Cuenca hidrográfica



Nota: Se señala el orden de río, según Strahler (1964), en varios segmentos fluviales.

dos arroyos de orden 1 forman uno de orden 2; cuando lo hacen dos de orden 2 forman otro de orden 3, y así sucesivamente. La confluencia de dos ríos de diferente orden genera un curso que mantiene el orden del mayor de los afluentes. La abundancia de precipitaciones, unida a un tipo de sustrato geológico poco permeable y difícilmente erosionable, conduce a redes de drenaje muy densas, en las que la mayor parte de los ríos son de pequeño orden (Cushing y Allan 2001). Por el contrario, en zonas donde la precipitación es escasa y la percolación está facilitada, el número de cursos fluviales es bajo. En definitiva, se pueden distinguir diferentes modelos de red de drenaje, tanto por su forma como por su densidad de cauces (dendrítica, paralela, radial... Véase, por ejemplo, Gordon et al. 1992).

El paisaje de una cuenca suele aparecer como un mosaico de manchas de tamaño y color diversos, fruto de los usos a los que se destina el territorio. Las que ofrecen una imagen más uniforme son aquellas que menos han sufrido la influencia del hombre, mostrando esencialmente el tipo de vegetación dominante en equilibrio con el clima de la región.

3.2. Factores, procesos y causas de variabilidad en la cuenca

La estructura y el funcionamiento de la cuenca son reflejo de un conjunto amplio de factores y procesos geológicos, topográficos, climáticos y bióticos. Su descripción forma lo que Heathcote (1998) denomina *inventario de la cuenca* (cuadros 3.1 y 3.2).

Factor	Significado o repercusión
Clima	Disponibilidad de agua y tipo de vegetación, escorrentía, erosión y modelado del paisaje
Geología	La litología determina el tipo de suelo y la composición química del agua. La estructura (fallas, pliegues, ...) condiciona la distribución del agua (superficial, subterránea)
Vegetación	Junto con el sustrato y el clima definen el tipo de suelo. Depende de, e influye en, la cantidad de agua. Estabiliza las márgenes, favorece la diversidad de hábitats y alimenta a los ríos con materia orgánica
Caudal	El régimen hidrológico y la diversidad hidráulica influyen sobre las comunidades acuáticas
Agua subterránea	Contribuye al mantenimiento de un caudal basal. La pérdida y la contaminación de los acuíferos son los problemas más graves del agua
Estética y características singulares	La estética de una cuenca puede producir impactos económicos por su pérdida de interés para el turismo o la recreación. También son importantes aspectos singulares, como elementos geológicos o históricos
Sistemas sociales y económicos	Son parte integrante del ecosistema cuenca, que afectan a la salud de los ríos. Comprenden acciones económicas y actitudes a la hora de gestionar la cuenca

Cuadro 3.1:
Factores de cuenca que tienen especial relevancia sobre los ecosistemas fluviales

Cuadro 3.2:

Características de los ríos especialmente ligadas a los factores de cuenca

Características	Significado o repercusión
Caudal fluvial	Es importante tanto la diversidad hidráulica dentro del cauce como la estabilidad de los patrones hidrológicos
Agua subterránea	Contribuye al mantenimiento del caudal basal. La pérdida y la contaminación de los acuíferos son los problemas más graves del agua
Temperatura del agua	Determina la distribución de los organismos. Muy variable, tanto en el espacio (por ejemplo, cobertura riparia), como en el tiempo (variación nictemeral, estacional...)
Oxígeno disuelto	Uno de los factores más importantes para los organismos
Carga de materiales inorgánicos disueltos	La conductividad, la dureza y la alcalinidad aumentan, a la vez que su inercia química, a medida que lo hace el área drenada
pH	Refleja el tipo de sustrato geológico y la actividad biológica. Aumenta cuando las tasas fotosintéticas son altas y disminuye en condiciones de intensa descomposición
Nutrientes	Elementos esenciales para los organismos. Muchas actividades humanas son fuente de nutrientes (eutrofización cultural). En cuencas de vegetación tupida, el fósforo limita más que el nitrógeno
Sólidos en suspensión	Proviene de la erosión, restos orgánicos de origen muy diverso y plancton. Afectan a los organismos, alteran sus hábitats y limitan el uso del agua para diversos fines
Materia orgánica	Condicionada por las entradas desde zonas riparias, la producción en el cauce y el transporte. Las alteraciones de la cuenca pueden cambiar su origen, composición y abundancia
Tóxicos	Metales pesados y otras sustancias tóxicas usados por el hombre se acumulan en las aguas y en los organismos
Productores primarios	Macrófitos y perifiton están condicionados por la luz, velocidad de la corriente, nutrientes y sustrato
Animales	Los macroinvertebrados tienen un papel en la transferencia de energía y son indicadores de la salud del sistema acuático. Su distribución refleja cambios de las fuentes de alimento disponible. Entre los vertebrados, los peces tienen repercusión económica y recreativa. La distribución de sus comunidades a lo largo del río está influida por la temperatura, el oxígeno disuelto y la velocidad de la corriente
Agentes patógenos	Muchos organismos pueden afectar a la salud humana (virus, bacterias y parásitos). Proviene particularmente de aguas no tratadas. Sus niveles en las aguas son muy variables y difíciles de correlacionar con otros indicadores biológicos

La cuenca influye en muchas características de los ríos

Para poder discernir la potencialidad de funciones o usos de los recursos hídricos dentro de una cuenca es necesario evaluar la situación en la que se encuentran, y los impactos de las actividades humanas actuales o previstas. Todo ello pasa por un entendimiento de los factores y procesos que gobiernan los sistemas fluviales, así como de las causas de su variabilidad, tanto naturales como en respuesta a las perturbaciones (Allan y Castillo 2007).

3.3. Alteraciones de las relaciones tierra-agua

La mayoría de las aguas corrientes dista mucho de encontrarse en situación prístina, por lo que los procesos que ocurren en los cauces están condicionados por las modificaciones que introduce el hombre en la cuenca. Como es obvio, el grado de alteración depende del nivel de actividad humana a través de acciones ligadas a la agricultura, la ganadería, la explotación forestal y, sobre todo, al desarrollo urbano e industrial. Estas dedicaciones del territorio modifican las características físicas y químicas, tanto de los cauces como de las aguas, influyendo fuertemente en la biota y en el funcionamiento de los sistemas fluviales (cuadro 3.3). Las perturbaciones generadas en las zonas altas de la cuenca pueden repercutir río abajo, lo que recalca la idea de la cuenca como un sistema integral, y la necesidad de estudiar el río en el marco de su cuenca (Hynes 1975).

Actuaciones como el aprovechamiento forestal, los prados y los cultivos pueden incidir en la naturaleza de los aportes de hojarasca a los ríos y en el destino de éstos (procesado, almacenaje o transporte río abajo). Asimismo, se traducen en cambios de los patrones hidrológicos o de la carga de sedimentos. La descarga de contaminantes, por su parte, provoca modificaciones en la calidad del agua y, en general, en la biodiversidad, una vez superado el umbral de lo que los ecosistemas fluviales son capaces de procesar. Las aguas residuales, en concreto, contienen un elevado contenido de materia putrescible (contaminación orgánica) cuya mineralización conlleva un fuerte consumo de oxígeno, originando en algunos

Las actividades humanas en la cuenca, como la ganadería, la agricultura y las urbanas, afectan a los ecosistemas fluviales

Actividad	Efecto
Empleo de fertilizantes	Eutrofización
Fuego y pastoreo	Erosión, aumento de sedimentos
Residuos ganaderos y agrícolas	Elevada demanda de oxígeno
Construcción de pistas	Aumento de material en suspensión tras las lluvias
Tala y extracción de madera	Cambios en escorrentía, sólidos en suspensión, luz incidente, temperatura del agua, nutrientes, entradas de hojarasca...
Plantaciones forestales	Cambios en cantidad y calidad de entradas de hojarasca y en productividad Cambio en estructuras retentivas y en disponibilidad de hábitats
Vertidos urbanos e industriales	Pérdida de calidad del agua y disminución de la biodiversidad
Embalses	Cambios en los regímenes hidrológico y térmico, características químicas y transporte de sedimentos, y barreras a la dispersión
Canalizaciones	Pérdida de hábitats

Cuadro 3.3:
Actividades humanas y principales efectos en la cuenca

casos problemas de desoxigenación. Estas alteraciones se alejan de lo que debería ser un uso sostenible de los recursos y hacen incompatible el desarrollo socioeconómico con el mantenimiento de los procesos ecológicos.

La explotación de la cuenca siempre supone alterar la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas que se explotan. La magnitud de los efectos depende del tipo de gestión. Una consecuencia importante de la existencia de lazos estrechos entre cuenca y río es que cualquier actividad humana acaba afectando al agua y, por ende, a las comunidades fluviales. El mayor o menor impacto que esas actividades puedan generar depende de la intensidad y duración de la perturbación, así como de la entidad del río.

Técnica 1. Estudio morfométrico de cuencas

El moldeado y apariencia final de una cuenca de drenaje es consecuencia de un conjunto de procesos geológicos y biológicos en función del tiempo, a los que hay que añadir, más recientemente, la influencia humana (por ejemplo, deforestación, agricultura, introducción de especies exóticas, construcción de presas, urbanismo, contaminación, etc.).

Es esencial realizar una detallada descripción de la relación entre el río y su cuenca

Como ha quedado de manifiesto anteriormente, tanto desde el punto de vista de la gestión como de la investigación, la cuenca es la unidad fundamental, con independencia de si se trata de una cuenca elemental con un único curso de agua, o si es una cuenca de gran tamaño dentro de la cual quedan incluidas multitud de subcuencas. En cualquiera de los casos se pueden aplicar metodologías comunes para describirlas y compararlas, utilizando la escala conveniente. Tamaño, sustrato geológico, red de drenaje y usos de suelo de la cuenca son los objetos esenciales sobre los que se aplica la metodología para describir las cuencas fluviales. La divisoria topográfica define el tamaño, el cual, unido a la naturaleza del sustrato geológico, el clima y la vegetación, influye sobre la cantidad de agua y sobre el número y entidad de los ríos. Allí donde dominan las rocas graníticas, el agua tiende a correr superficialmente, mientras que en zonas calizas el agua se puede infiltrar y circular subterráneamente, lo que se traduce en una reducción de la densidad de drenaje. A su vez, los usos a los que se destina el territorio de la cuenca y las actividades que en ella se desarrollan repercuten en el estado ecológico de sus aguas, que debe ser controlado mediante el análisis periódico en estaciones de seguimiento distribuidas convenientemente en la red de drenaje.

La herramienta básica para un análisis morfométrico de cuencas son los mapas, las fotografías aéreas y las imágenes de satélite. Si se trabaja con pares de foto-

grafías aéreas con un estereoscopio, se aprecia el relieve de la cuenca. Sin embargo, las fotografías aéreas tienden a deformar la imagen en los bordes, por lo que no pueden ensamblarse. Cada vez más se utilizan ortofotografías, en las cuales se ha corregido la deformación y, por tanto, pueden utilizarse sobre una base cartográfica. A partir de estas herramientas se puede determinar, por ejemplo, la distribución y el tipo de vegetación, que informan sobre las fuentes de energía de los ríos. La disponibilidad de ortofotos es libre en muchas Administraciones Públicas.¹ También se puede acceder libremente a través de Google Earth,² aunque la definición cambia mucho de unas zonas a otras. Las series temporales de imágenes aéreas permiten realizar seguimientos de los cambios en los usos del suelo y de los propios cauces.

Las alternativas digitales proporcionan un medio para examinar el territorio con gran detalle. Con las aplicaciones informáticas adecuadas y mediante ordenador, la topografía puede quedar reducida a una base de datos digital (Sistemas de Información Geográfica, SIG), a partir de la cual se pueden producir imágenes tridimensionales de cualquier cuenca digitalizada, así como establecer relaciones entre variables al presentarlas en capas superpuestas (Longley et al. 2005).

La metodología que aquí se expone se refiere a algunas variables geomorfométricas básicas. El lector puede obtener información adicional en numerosas fuentes (por ejemplo, Strahler 1964, Romero y López Bermúdez 1987, Gordon et al. 1992, Wetzel 2001, Naiman et al. 2005, Stanford 2006).

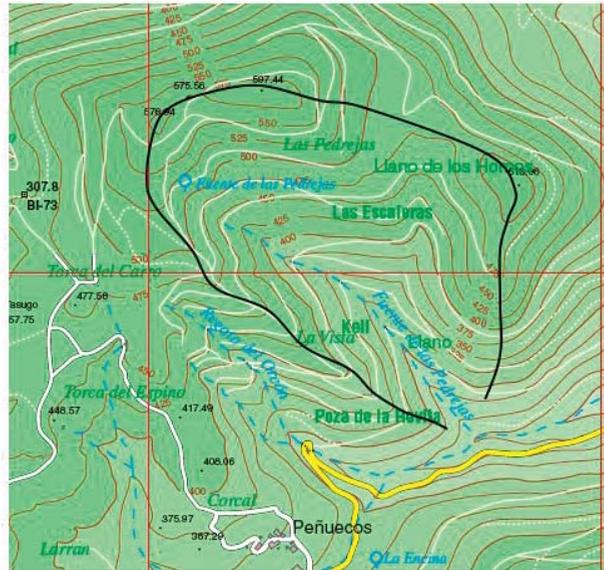
MATERIAL

- Mapas topográficos de la región a varias escalas. Son adecuados los mapas topográficos de escala 1:25 000 o 1:50 000, del Instituto Geográfico Nacional, en el caso de España.
- Mapas geológicos.
- Mapas de vegetación.
- Series de pares fotográficos aéreos y/u ortofotos y/o imágenes digitales.
- Curvómetro.
- Planímetros o plataforma digital y ordenadores.
- Papel vegetal.
- Tijeras.
- Balanza de precisión.
- Estereoscopios para interpretación de fotografía aérea.

¹ En España, por ejemplo, existe el Visor SIGPAC, de libre consulta. Más información en www.mapa.es/es/sig/pags/sigpac/intro.htm

² Véase <http://earth.google.com>

Figura 3.3:
Trazado del contorno (en negro) de una cuenca de drenaje sobre un mapa topográfico



Nota: Para detalles, véase el texto.
Fuente: Obtenido en www.bizkaia.net.

PROCEDIMIENTO

1. Seleccionar un mapa que abarque toda la cuenca.
2. Dibujar los límites de la cuenca siguiendo las crestas que aparecen en los mapas topográficos. Ir colina abajo y cortar perpendicularmente las curvas de nivel que se encuentran (fig. 3.3).
3. Determinar el área de la cuenca con ayuda de un planímetro. Si no se dispone de planímetro se puede seguir alguno de los siguientes métodos: a) superponer un enrejado de superficie de cuadrícula conveniente para la escala del mapa y contar el número de cuadrículas, determinando el área como el producto de la superficie de una cuadrícula por el número de cuadrículas contenidas; b) trazar los límites de la cuenca sobre papel vegetal, recortar el área dibujada y pesarla; a continuación pesar una cuadrícula de papel vegetal de superficie conocida, determinar el área de la cuenca dividiendo el peso del recorte de la cuenca entre el peso de la cuadrícula y multiplicando el resultado por la superficie de la cuadrícula; alternativamente, se puede acceder libremente a ciertas aplicaciones y bases de datos de muchas Administraciones Públicas (por ejemplo, www.idee.es), que permiten calcular de manera sencilla distancias y áreas y que se pueden aplicar a cualquier superficie del territorio. Se debe tener en cuenta que la diferencia entre área planimétrica y área real puede ser importante en zonas de fuerte pendiente.



Fuente: Ortofotografía obtenida en www.bizkaia.net.

Figura 3.4:

Trazado del contorno (en magenta) de una cuenca de drenaje (véase fig. 3.3) sobre una ortofotografía

4. Los mapas topográficos aportan cierta información sobre los tipos y distribución de bosques y otras formaciones vegetales. Comparar esa información con los datos que proporcionan los mapas de vegetación de la zona, si existen, o sobre la fotografía aérea (fig 3.4), o mediante prospecciones de campo.
5. Determinar el tamaño y área de diversos usos en la cuenca, distinguiendo entre los diferentes tipos de vegetación mediante los pares fotográficos y un estereoscopio. Esto permite discernir posibles influencias sobre procesos ecológicos en los ríos. Hay que tener en cuenta que los mapas de vegetación se realizan con distintos criterios, que no siempre son acordes con los objetivos del ecólogo fluvial. A menudo se necesita crear nuevas categorías de vegetación. Por ejemplo, si para un estudio concreto se considera irrelevante el tipo de bosque, habría que combinar todos los tipos que aparezcan en el mapa en sólo dos categorías: bosque y no bosque.
6. Diferenciar cauces intermitentes y permanentes en la cuenca seleccionada. Los cursos fluviales aparecen en azul en el mapa, algunos de ellos como líneas discontinuas (fig. 3.3), lo que indica que son ríos de flujo temporal (sólo circula agua en alguna época del año) o intermitente (alternancia de tramos con y sin flujo a lo largo de su recorrido). Este tipo de ríos es frecuente en regiones secas o donde el sustrato geológico es muy permeable.
7. Identificar áreas potenciales de aguas subterráneas comparando los mapas topográficos con los geológicos.

Sobre la ortofotografía se delimita la cuenca y los tipos de vegetación que interesa distinguir

8. Determinar el orden de cada uno de los cursos de agua mediante el modelo de confluencia (fig. 3.2).
9. Utilizando un curvómetro, medir la longitud máxima de la cuenca, así como la del cauce principal y la de todos los cauces de la cuenca, siguiendo la línea del río, y comparar las longitudes totales obtenidas sumando los segmentos de cada orden. Alternativamente usar alguna aplicación disponible en la red que permita el cálculo de distancias (por ejemplo, la ya mencionada www.idee.es).
10. Calcular la densidad de drenaje, dividiendo la longitud total de ríos entre el área de la cuenca.
11. Calcular la razón de bifurcación, como el número de segmentos de un orden dado entre el número de segmentos del siguiente orden mayor. Esta razón varía entre 2 y 5 y tiende a aumentar para cuencas alargadas.
12. Determinar las altitudes máxima y mínima de la cuenca, así como la del nacimiento del río sobre el mapa topográfico. Alternativamente, utilizar alguna aplicación para el análisis del relieve, como la disponible en el Ministerio de Fomento de España (www.idee.es), que permite consultar los modelos digitales del terreno (MDT) 1:200 000 y 1:25 000 y obtener altitud máxima, mínima y media de la zona visible, así como la de cualquier punto sobre el que se coloque el cursor.
13. Realizar un gráfico del perfil longitudinal del río principal de la cuenca, desde el nacimiento hasta la desembocadura, situando en el eje de ordenadas la altitud y en el de abscisas la distancia. Utilizar tantos puntos como veces intercepte el río curvas de nivel en el mapa. Identificar tramos de máximo gradiente y zonas aluviales (mínima pendiente).
14. Calcular la razón de relieve, como el cociente de la diferencia de elevación entre la boca de la cuenca y el punto más elevado de la divisoria de aguas y la máxima longitud de la cuenca. La razón de relieve influye en la densidad de drenaje y en la pendiente.
15. Calcular la pendiente media del cauce. Ésta es igual a la diferencia de elevación entre el nacimiento y la desembocadura dividida por la longitud del río, y constituye uno de los factores que controlan la velocidad del agua. Muy frecuentemente se expresa en porcentaje (%).

3.4. Bibliografía

- ALLAN J.D., y CASTILLO M.A. *Stream ecology: Structure and function of running waters*. Dordrecht: Springer, 2007.
- CUSHING C.E., y ALLAN J.D. *Streams: Their ecology and life*. San Diego: Academic Press, 2001.
- GORDON N.D., MCMAHON T.A., y FINLAYSON B.L. *Stream hydrology: An introduction for ecologists*. Chichester, Reino Unido: John Wiley and Sons, 1992.
- HEATHCOTE I.W. *Integrated watershed management: Principles and practice*. Nueva York: John Wiley and Sons, 1998.

- HYNES H.B.N. «The stream and its valley». *Verhandlungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 19 (1975): 1-15.
- LONGLEY P.A., GOODCHILD M.F., MAGUIRE D.J., y RHIND D.W. *Geographic information systems and science*. Toronto: John Wiley and Sons, 2005.
- NAIMAN R.J., DÉCAMPS H., y MCCLAIN M.E. *Riparia: Ecology, conservation, and management of streamside communities*. Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2005.
- ROMERO M.A., y LÓPEZ BERMÚDEZ F. «Morfometría de redes fluviales: revisión crítica de los parámetros más utilizados y aplicación al Alto Guadalquivir». *Papeles de Geografía Física* 12 (1987): 47-62.
- STANFORD J.A. «Landscapes and riverscapes». En F.R. Hauer, y G.A. Lamberti, eds. *Methods in stream ecology*. Amsterdam: Academic Press, 2006: 3-21.
- STRAHLER A.N. «Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks». En V.T. Chow, ed. *Handbook of applied hydrology*. Nueva York: McGraw-Hill, 1964: 4.39-4.76.
- WETZEL R.G. *Limnology: Lake and river ecosystems*. San Diego: Academic Press, 2001.