

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 5

La estructura física de los cauces fluviales

ARTURO ELOSEGI

JOSERRA DÍEZ

Primera edición: abril 2009

ISBN: 978-84-96515-87-1

© los autores, 2009

© de la edición en español, Fundación BBVA, 2009

La estructura física de los cauces fluviales

ARTURO ELOSEGI Y JOSERRA DÍEZ

5.1. Introducción

Todos los ríos del planeta tienen una serie de características comunes que se derivan de la corriente del agua, pero también numerosas particularidades en función de las características climáticas y de la cuenca que drenan: área, geología, suelos, topografía, usos del suelo, cubierta vegetal, impactos humanos, etc. De hecho, los cauces fluviales pueden ser muy diferentes entre sí, desde estrechos cañones de montaña hasta grandes ríos de llanuras aluviales (fig. 5.1). La estructura física de los cauces es una de las características que más influyen tanto en la estructura como en el funcionamiento del ecosistema fluvial y, por tanto, su descripción tiene gran interés. Por ejemplo, en una escala de tiempo reducida, los ríos que atraviesan cañones suelen ser muy sombríos y tener escasa producción primaria, mientras que los ríos trenzados de piedemonte suelen ser mucho más abiertos, aunque menos estables.

Los cauces de los ríos pueden ser muy diferentes y su estructura física influye en el funcionamiento fluvial

La geomorfología fluvial es una disciplina científica que ha ido acumulando un gran volumen de conocimiento, que no pretendemos recoger aquí. En este capítulo nos limitaremos a esbozar los conceptos básicos que mayor incidencia pueden tener en el funcionamiento del ecosistema. Los lectores que deseen profundizar en la geomorfología fluvial pueden consultar libros excelentes, como el clásico de Strahler (1986), los más específicos de Rosgen (1996) y Kondolf y Piégay (2002), o para temas más relacionados con la conservación, Petts y Calow (1996) y FISRWG (1998).

Figura 5.1:

*Diversos tipos de río:
a) gran río de llanura, b) río
trenzado de piedemonte,
c) río temporal de desierto,
d) arroyo de montaña,
e) arroyo de lecho arenoso y
f) arroyo travertínico*

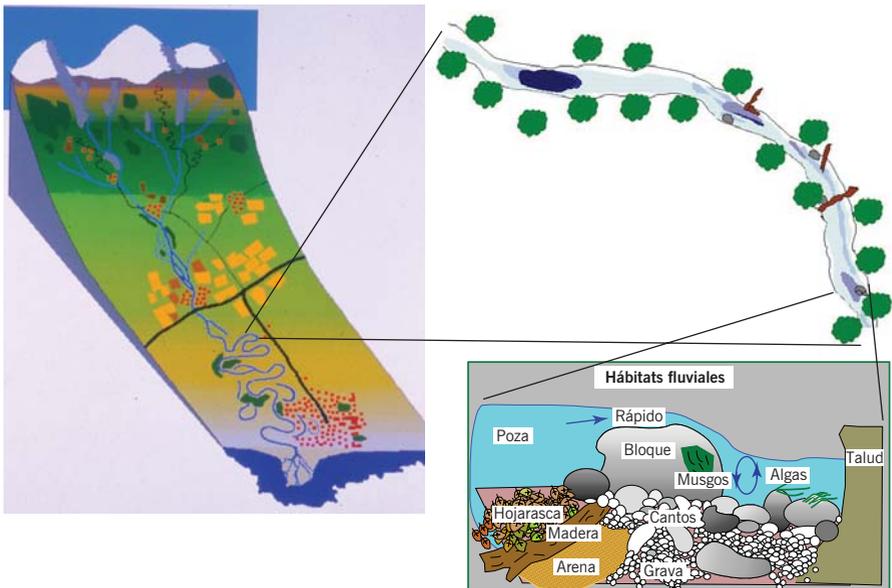


Nota: a) Danubio (Hungria), b) Tagliamento (Italia), c) Nuevo México (Estados Unidos), d) Agüera (España), e) Landas francesas; obsérvese que los escasos sustratos estables en el cauce, fundamentalmente troncos, aparecen cubiertos por algas, y f) Urederra (España).

La forma del cauce tiene implicaciones biológicas a múltiples escalas (fig. 5.2). A escala macroscópica, de kilómetros a centenares de kilómetros, la morfología fluvial determina la distribución y abundancia de hábitats y refugios, y las posibilidades de dispersión para las especies de mayores requerimientos espaciales, como los peces migratorios. A escala de tramo o sección fluvial, es decir, entre

Figura 5.2:

*Tres escalas a las que es
significativo el papel
biológico de la morfología
fluvial*



unas decenas de metros y 1 km de cauce, la heterogeneidad de formas en el lecho, como la abundancia de rápidos y pozas, determina la diversidad de hábitats, y en consecuencia, la diversidad de organismos. A escala de unos pocos metros a centímetros, la distribución de distintos tipos de sedimento influye en las conexiones entre el agua superficial y la hiporreica, o en la estabilidad y crecimiento del biofilm. En cada una de estas escalas, la pendiente, la rugosidad del cauce, el caudal y la velocidad de la corriente establecen condiciones acordes al gradiente fluvial, desde la cabecera hasta la desembocadura.

5.2. Cauce y transporte de sedimentos

Cada río es un sistema de transporte donde la pendiente, por lo general, va disminuyendo con el gradiente fluvial. La capacidad de arrastre de sedimentos depende del caudal y de la pendiente, y el tipo de cauce que se forma depende, además, del tamaño del sedimento y de lo erosionable que sea el sustrato. De esta forma, los ríos normalmente tienen en cabecera tramos erosivos en los que el cauce se va encajando en los terrenos adyacentes, por lo que en estas circunstancias se suelen encontrar cauces rectilíneos y constreñidos, es decir, sin apenas posibilidad de migración lateral (fig. 5.3). En los tramos de mayor pendiente, el cauce suele presentar cascadas, mientras que en tramos de pendiente algo menor, es típica una estructura de escalones y pozas. Si la pendiente es aún menor suele haber alternancia de rápidos y pozas.

Los ríos de montaña suelen acarrear gran cantidad de sedimentos. En su salida a la llanura del piedemonte, la capacidad de arrastre disminuye, por lo que se de-

El tipo de cauce que se forma depende del caudal, de la pendiente y de la erosibilidad del sustrato



Figura 5.3:
Un arroyo de montaña de cauce constreñido. El sustrato geológico consiste en estratos horizontales, lo que unido a la elevada pendiente favorece la creación de estructuras con escalones y pozas

Figura 5.4:
*Río trezado en el
 piedemonte del Pirineo
 (España)*



Nota: Obsérvense las amplias graveras no colonizadas por la vegetación; ello indica la inestabilidad de esas áreas, que son perturbadas por cada crecida.

positan los sedimentos transportados. Éstos, a menudo, obstaculizan el cauce, que se ve forzado a migrar, formándose lo que se denominan *ríos trezados* o *anastomosados* (fig. 5.4). En ambos casos suele haber múltiples cauces, pero así como en los trezados éstos son muy inestables, con lo que suelen estar rodeados de amplias zonas con gravas desnudas, los ríos anastomosados acostumbran ser más estables, y las áreas entre los cauces suelen estar colonizadas por la vegetación.

Aguas abajo, la pendiente del valle disminuye aún más, con lo que se reduce la capacidad de acarreo de sedimentos. Los ríos pasan a tener lechos arenosos o limosos, y normalmente adquieren un cauce meandriforme que discurre en medio de una amplia llanura de inundación (fig. 5.5). En esta llanura, el sustrato está conformado por arenas o limos depositados en el pasado por el propio río, lo que hace que las márgenes sean poco estables, y favorece la propensión de los meandros a migrar. Antiguos meandros abandonados forman una serie de lagos en herradura, que pueden reconectarse periódicamente con el cauce principal durante las crecidas, o bien pueden mantener conexiones a través de hiporreos. Los ríos meandriformes pueden tener una extraordinaria diversidad de hábitats físicos.

Finalmente, los ríos que desembocan en lagos o mares pueden formar deltas, en los que cada crecida deposita sedimentos que fuerzan a la constante migración de la red de cauces.

El transporte de sedimentos y, por tanto, los cambios en la morfología del cauce, suelen ser bastante episódicos, y ocurren principalmente durante las crecidas. Aunque las grandes crecidas con períodos de retorno elevados pueden reestruc-



Figura 5.5:
*Río meandriforme en las
 montañas Rocosas (Estados
 Unidos)*

Nota: Obsérvese el complejo entramado de cauces activos y meandros abandonados y cómo han estabilizado las márgenes para construir el puente.

turar el cauce de forma acusada, las crecidas más influyentes suelen ser aquellas más pequeñas, con un período de retorno de uno o dos años, que llenan todo el cauce y están a punto de desbordar a la llanura de inundación. Esto es lo que se llama *caudal dominante* o *bankfull*.

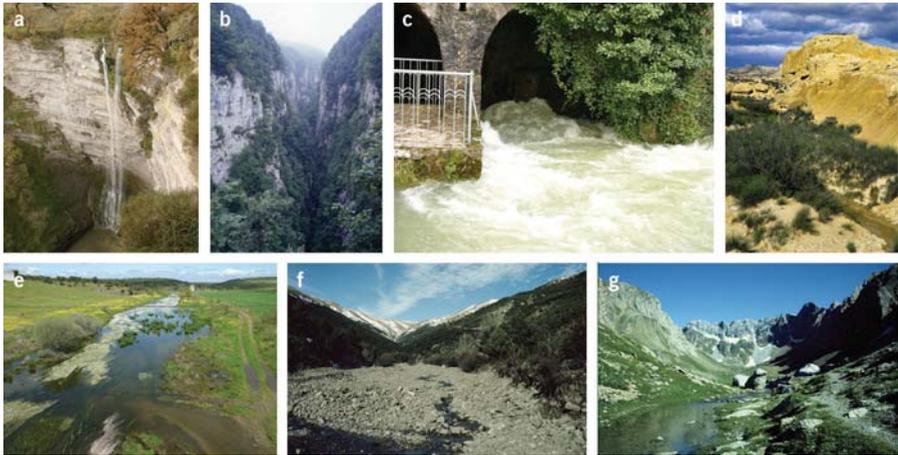
5.3. Clasificación de los tipos de río

Este esquema general se complica mucho, puesto que no todos los ríos tienen un mismo perfil longitudinal. Hay ríos que nacen en zonas de altiplano, caen después en cascadas vertiginosas, atraviesan cañones, vuelven a zonas de llanura, incorporan afluentes cargados de sedimentos, etc. En cualquier caso, la morfología fluvial muestra cuál es el balance entre la erosión, el transporte y la deposición de sedimentos en cualquier tramo y, además, determina en gran medida los organismos que habitan en un determinado tramo, así como el funcionamiento del ecosistema (fig. 5.6). Hay numerosos métodos de clasificación de la morfología fluvial, pero uno de los más populares es el de Rosgen (1996), que se basa fundamentalmente en la forma del cauce, en el nivel de encajamiento, en el tipo de sustrato y en la pendiente (fig. 5.7).

Cualquiera que sea el tipo de río, debemos tener en cuenta que su morfología es fruto de un equilibrio dinámico entre la carga de sedimentos que recibe y su capacidad de transporte. Por tanto, el río ajustará su morfología ante cualquier cambio en alguna de estas variables. Por ejemplo, si aumenta la erosión aguas arriba (por ejemplo, por efecto de la deforestación) llegarán sedimentos en exceso que el río no podrá arrastrar, con lo que el cauce se *agradará*, es decir, irá su-

La forma del cauce es fruto del equilibrio entre los sedimentos que recibe y su capacidad de transporte

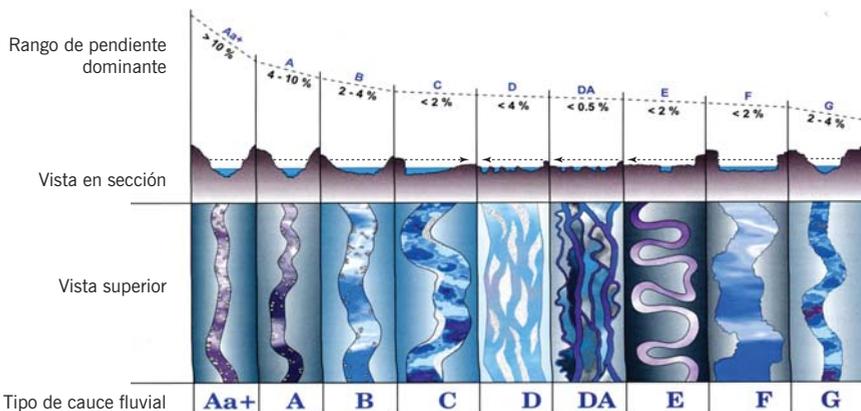
Figura 5.6:
Algunos tipos
especiales de río



Nota: a) Cascada formada por una falla geológica, b) cañón excavado por aguas frías durante la última glaciación, c) surgencia calcárea en zona de descarga de un gran acuífero, d) arroyo estepario sobre sustrato rico en yesos y sales, e) arroyo de llanura en zona deforestada cubierto por macrófitas, f) río de rocas en el piedemonte de un valle de gran erosibilidad, y g) arroyo de montaña en valle glaciar en forma de U.

biendo el nivel del lecho. En casos extremos puede cambiar la tipología, por ejemplo, de un río de cauce único a uno trenzado. Por el contrario, si aumenta la capacidad de transporte, como ocurriría si aumentara el caudal, el río perdería sedimentos, con lo que el cauce se *degradaría*, es decir, el lecho iría encajándose. Por ejemplo, los ríos de llanura de zonas agrícolas frecuentemente se encuentran degradados, ya que los diques laterales de protección de las tierras de cultivo hacen que durante las crecidas el río no desborde, con lo que la velocidad del agua se hace tan grande que el río excava su lecho, y éste queda desconectado de la llanura de inundación.

Figura 5.7:
Tipología fluvial, según
Rosgen (1996)



Nota: Se muestran las vistas longitudinal, en sección y superior.

Fuente: Adaptado de Rosgen (1996).

5.4. Aplicaciones de la geomorfología fluvial

La geomorfología fluvial es de sumo interés, pues describe el marco de estudio y explica buena parte del funcionamiento del ecosistema. Además, en muchas partes del mundo las alteraciones de la morfología del cauce son los principales impactos humanos sobre los ecosistemas fluviales, por lo que es importante conocerlas, y en los casos en los que sea posible, restaurar la morfología original. Dado que en muchos ríos y arroyos esa tarea es muy difícil, al menos se debe posibilitar que el río desarrolle una dimensión estable en sus formas y perfiles, de modo que se mantengan las características del cauce y el sistema no agrade ni degrade.

Las alteraciones del cauce son uno de los impactos más frecuentes que sufren los ríos

Entre las afecciones más comunes se encuentran cambios en la forma del cauce, canalizaciones, revestimientos de *ingeniería dura*, diques laterales, pequeñas presas o azudes que alteran la dinámica de sedimentos, ocupaciones de la llanura de inundación, etc. Otras afecciones comunes están ligadas a cambios en la cantidad de sedimentos exportados debidos a modificaciones en los usos del suelo o prácticas indebidas en la cuenca, así como a cambios en la resistencia de las orillas a la erosión (capítulo 17). Estas últimas son motivadas por la desaparición de la vegetación de ribera, canalización, perturbaciones en el lecho fluvial, presas, compactación del suelo, sobrepastoreo, eliminación de restos de madera en el cauce, etc. Todas estas afecciones ocasionan fuertes impactos en la biodiversidad y funcionamiento del ecosistema, aunque para el ojo no entrenado pueda resultar poco obvio que ese tramo con agua tan limpia y de aspecto tan agradable es, en realidad, un río fuertemente modificado.

Técnica 5. Determinación de la morfología del cauce

Esta técnica se emplea para describir el cauce de un río en un momento determinado. En caso de estar interesados en cambios temporales en la morfología y en las variaciones en la composición del sustrato (técnica 6), es importante repetir los transectos exactamente en los mismos sitios. Para ello hay que marcar puntos que se vayan a mantener fijos durante años, preferentemente árboles o rocas, y en su ausencia estacas metálicas clavadas en las orillas. Hay que tener en cuenta que el viento, el vandalismo y otros factores seguramente harán desaparecer algunas de las referencias, por lo que conviene tener muchas referencias alternativas.

MATERIAL

- Cinta métrica de 50 m.
- Cuerdas de nailon blanco marcadas a intervalos de 50 cm.
- Regla o jalón extensible.

Figura 5.8:
Ejemplo de marca



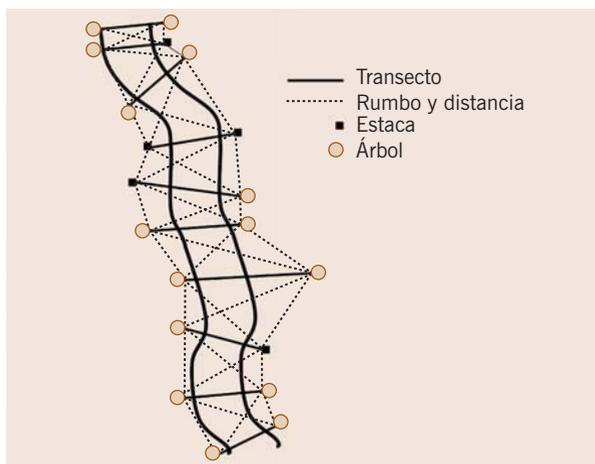
- Correntímetro.
- Brújula.
- Clinómetro o nivel láser. (El nivel láser puede adquirirse en almacenes de bricolaje y su coste no es elevado.)
- Trípode.
- Chapas metálicas numeradas.
- Clavos.
- Estacas de hierro.
- Martillo.
- Maza.

SELECCIÓN DEL TRAMO DE MUESTREO

El tramo del río o arroyo seleccionado debe ser vadeable. Es preferible que el inicio y el final del tramo sean rupturas claras en la geomorfología fluvial, a ser posible estrechamientos. No obstante, no es necesario que todos los tramos tengan exactamente la misma longitud. Marcar claramente y de forma no perecedera los extremos del tramo, por ejemplo, mediante chapas numeradas clavadas a árboles (fig. 5.8).

PROCEDIMIENTO

El procedimiento más seguro es establecer una red de referencias fijas, comenzando por el extremo inferior del tramo, y determinar sus posiciones relativas por triangulación (fig. 5.9). No es importante que todos los transectos se encuentren a la misma distancia. Sin lugar a dudas, el primer muestreo es el más laborioso, pero el trabajo se agiliza mucho en visitas subsiguientes.

**Figura 5.9:**

Ejemplo de red de transectos y rumbos a tomar en un tramo

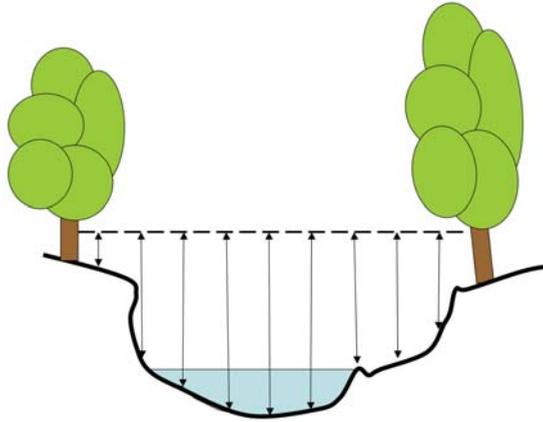
Establecimiento de una red de puntos y transectos

1. Situar en una orilla en el extremo inferior del tramo. Clavar un clavo en un árbol (o una estaca metálica en la orilla). Apoyar sobre él el nivel láser y buscar un punto a la misma altura en el árbol/estaca de enfrente. Clavar otro clavo.
2. Sujetar un trozo de la cuerda marcada, atándola tensamente a ambos clavos. Es importante que la cuerda esté tensa y bien nivelada.
3. Hacer lo mismo en otro transecto, río arriba, distanciando al menos un par de veces la anchura media del tramo. Unir a su vez con cuerdas marcadas la diagonal resultante entre las orillas opuestas de dos transectos consecutivos.
4. Con la brújula y la cinta métrica, determinar el rumbo y las longitudes de ambos transectos, los de las diagonales, y los rumbos y distancias entre los clavos de cada orilla (fig. 5.9).
5. Colocar el nivel láser en el trípode, inmediatamente aguas abajo de la cuerda del primer transecto y apuntando río arriba. Con la regla, medir la altura desde el haz láser hasta la misma.
6. Sin mover el láser, medir con la regla la altura desde el haz hasta la segunda cuerda.
7. Calcular el desnivel entre las cuerdas de ambos transectos.
8. Establecer unos ocho transectos más a lo largo del tramo, determinando el desnivel da cada cuerda respecto a la primera, y los rumbos de todas las líneas entre clavos. Esto se puede hacer de una vez o, mejor, conforme se va determinando la granulometría de los transectos.

Realización de los transectos

1. Empezando siempre en la misma orilla, cada 50 cm medir con la regla la distancia de la cuerda al lecho y la profundidad del agua (figs. 5.10 y 5.11). Determinar el punto en el que empieza y acaba el cauce. En tramos con anchu-

Figura 5.10:
Ejemplo de transecto



- ras superiores a los 15 m, la medición de la distancia de la cuerda al lecho se puede realizar cada metro (1 m).
2. En los mismos puntos, determinar el tipo de sustrato del lecho (cuadro 5.1), y si las hubiere, la especie y altura de las macrófitas existentes.
 3. En los mismos puntos, y aproximadamente a media columna de agua, medir la velocidad del agua con el correntómetro.
 4. Con el clinómetro, medir la pendiente de la zona de ribera en ambas márgenes.

Figura 5.11:
Midiendo el desnivel entre las cuerdas de dos transectos



Nota: En primer plano, el nivel láser y una cuerda marcada y, en segundo plano, buscando el haz láser con un jalón extensible.

Tipo de sustrato	Diámetro (mm)	Detalles
Roca madre	-	Incluir también bloques mayores de 1 m
Bloques	> 250	Mayores que la palma de la mano
Cantos	60 – 250	Entre un puño y una palma
Guijarros	20 – 60	Entre una uña de pulgar y un puño
Grava	0,2 – 20	Menor que la uña del pulgar
Arena	0,006 – 0,2	Tacto áspero, no mancha
Limo	< 0,006	Tacto suave, mancha

Cuadro 5.1:

Tipos de sustrato, según la escala de Wentworth (1922)

Trabajo de gabinete

1. Teniendo en cuenta los rumbos, las distancias y los desniveles entre ellos, calcular por triangulación las coordenadas XYZ de todos los clavos.
2. Calcular las coordenadas XYZ de todos los puntos de los transectos.
3. Calcular la superficie total del cauce y la superficie húmeda (cubierta por agua).
4. Calcular la sección transversal del agua en cada tramo.
5. Calcular la profundidad hidráulica dividiendo la sección transversal por la anchura del cauce húmedo.
6. Calcular el número de Froude (*Fr*) en cada transecto. El *número de Froude* es un parámetro adimensional que indica la intensidad de la corriente:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g D}} \tag{5.1}$$

donde *Fr*: número de Froude; *v*: velocidad del agua (m/s); *g*: fuerza de la gravedad (m/s²), y *D*: profundidad hidráulica (m).

Valores de *Fr* < 1 indican corriente subcrítica, valores superiores a 1, corriente supercrítica (aguas rápidas).

7. Calcular el número de Reynolds (*Re*) en cada transecto. El *número de Reynolds* es un parámetro adimensional que indica el grado de turbulencia del agua:

$$Re = \frac{v D}{\nu} \tag{5.2}$$

donde *Re*: número de Reynolds; *v*: velocidad del agua (m/s); *D*: profundidad hidráulica (m), y *ν*: viscosidad cinemática (cuadro 5.2), que depende de la temperatura.

Valores de *Re* < 500 indican flujo laminar; mayores que 2000, flujo turbulento.

8. Calcular el porcentaje de cauce cubierto por cada tipo de sustrato. Diferenciar el cauce húmedo del seco.

La macro 5.1 ayuda en el cálculo de coordenadas XYZ de los transectos

La macro 5.2 calcula algunas variables físicas, como el número de Froude

Cuadro 5.2:
Viscosidad cinemática
del agua, según
Gordon et al. (1992)

Temperatura agua (T) (°C)	Densidad (ρ) (kg/m ³)	Viscosidad cinemática (ν) (m ² /s)
0	999,9	1,792 10 ⁻⁶ (0,01792 Stokes)
4	1000,0	1,568 10 ⁻⁶
10	999,7	1,308 10 ⁻⁶
15	999,1	1,141 10 ⁻⁶
20	998,2	1,007 10 ⁻⁶
25	997,1	0,897 10 ⁻⁶
30	995,7	0,804 10 ⁻⁶
40	992,2	0,661 10 ⁻⁶

Técnica 6. Degradación/agradación del cauce

Esta técnica está diseñada para determinar la ocurrencia de fenómenos de agradación y degradación del cauce en un tramo determinado. Comparte el procedimiento de la técnica 5 y consiste en la comparación, en función del tiempo, de la cartografía obtenida (y, por tanto, la absoluta certeza de disponer de transectos perdurables en el tiempo o puntos fijos de referencia en su defecto).

La estructura física del cauce no suele cambiar mucho salvo que ocurran eventos de crecida de cierta magnitud. Por ello, no es necesario medirla muy frecuentemente. Al cambiar el caudal se producen cambios en las características hidráulicas (profundidad, velocidad, etc.), así como cambios en la composición y distribución del sedimento, pero lo laborioso de los muestreos y lo impredecible de los cambios de caudal hacen impracticable un seguimiento temporal adecuado. En su lugar se pueden utilizar modelos hidráulicos,¹ para predecir las características hidráulicas en función de la forma del cauce, del tipo de sustrato y del caudal.

Conociendo la diferencia de altura entre transectos consecutivos, es posible realizar una estima del volumen de sedimento acumulado o erosionado en el tramo de estudio. A su vez, los datos correspondientes al *thalweg* (zona de máxima profundidad del cauce en un transecto concreto) entre transectos contribuyen a optimizar las estimas.

MATERIAL

El empleado en la técnica 5.

¹ Por ejemplo mediante la aplicación HecRas (<http://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/>).

SELECCIÓN DEL TRAMO DE MUESTREO

Los tramos corresponden necesariamente a los cartografiados mediante la técnica 5.

PROCEDIMIENTO

Transcurridos uno o más episodios de crecida, se debe repetir el procedimiento desgranado en la técnica 5.

La determinación del *thalweg* consiste en localizar el punto de máxima profundidad del agua a lo largo de numerosos puntos dentro del tramo a caracterizar. Para ello, y comenzando en el primero de los transectos ubicados aguas abajo, es necesario georreferenciar el punto de máxima profundidad y relativizar su profundidad respecto al punto inmediatamente anterior y posterior.

Una vez en el gabinete, el trabajo consiste en comparar los transectos obtenidos inicialmente con los de la última cartografía (fig. 5.12). De ese modo, se han de detectar cambios en la morfología, en el perímetro húmedo, así como en la cantidad de sedimentos existentes entre dos transectos determinados y su naturaleza granulométrica.

La macro 5.3 calcula volúmenes de sedimento ganados o perdidos en base a transectos

Al calcular nuevamente el porcentaje de cauce cubierto por cada tipo de sustrato (diferenciando también en esta ocasión el cauce húmedo y el seco), se puede obtener una estima indirecta de la movilidad del sustrato. Simultáneamente a

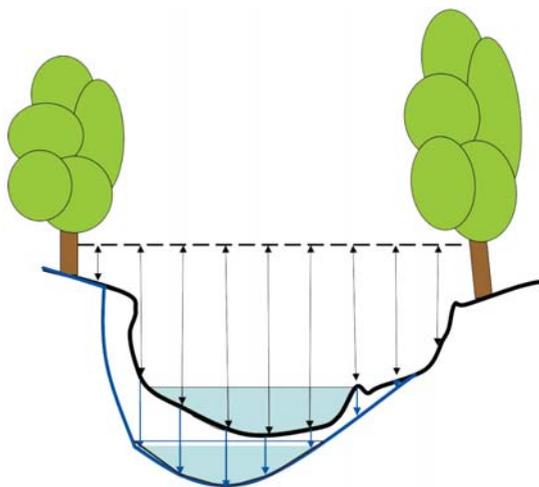


Figura 5.12:
Ejemplo de cartografía obtenida en un transecto, según Gordon et al. (1992)

Nota: En negro, se han dibujado las distancias determinadas inicialmente y, en azul, las nuevas referencias obtenidas transcurrido un tiempo.

partir de datos es posible detectar ciertas anomalías, como por ejemplo la abundancia de sedimentos finos (arenas y limos), motivada por actividades que provocan fenómenos erosivos en algún punto de la cuenca vertiente aguas arriba del tramo de muestreo.

5.5. Bibliografía

- FISRWG. *Stream corridor restoration. Principles, processes and practices*. EEUU: The Federal Interagency Stream Restoration Working Group, 1998.
- GORDON N.D., MCMAHON T., y FINLAYSON B.L. *Stream hydrology, an introduction for ecologists*. Chichester, Wiley and Sons, 1992.
- KONDOLF G., y PIÉGAY H. *Tools in fluvial geomorphology*. Nueva York: Wiley, 2002.
- PETTS G., y CALOW P., eds. *River flows and channel forms*. Oxford: Blackwell, 1996.
- ROSGEN D. *Applied river morphology*. Pagosa Springs, Colorado: Wildland Hydrology, 1996.
- STRAHLER A.N. *Geografía física*. Barcelona: Omega, 1986.
- WENTWORTH C. «A scale of grade and class terms for clastic sediments». *Geology* 30 (1922): 377-392.