

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 9

Otros factores físicos de importancia para los seres vivos: luz, temperatura, corriente

SERGI SABATER

ARTURO ELOSEGI

Primera edición: abril 2009

ISBN: 978-84-96515-87-1

© los autores, 2009

© de la edición en español, Fundación BBVA, 2009

Otros factores físicos de importancia para los seres vivos: luz, temperatura, corriente

SERGI SABATER Y ARTURO ELOSEGI

9.1. Introducción

La energía radiante proveniente del Sol aporta luz (un recurso fundamental para llevar a cabo la fotosíntesis), radiaciones ultravioletas (altamente perjudiciales para la biota) y radiaciones infrarrojas, que influyen en la temperatura del agua. Por tanto, la relevancia de la energía radiante no se limita a los productores primarios, sino que se extiende a toda la biota fluvial (Kelly et al. 2003).

Luz, temperatura y corriente son factores ambientales que afectan a todos los organismos de los ríos

La temperatura es un factor regulador del metabolismo de todos los organismos (Gillooly et al. 2002). El aumento de la temperatura, hasta un límite tolerable, estimula las tasas de producción primaria y de respiración de productores y heterótrofos. Estos efectos de aceleración (altas temperaturas) o limitación (bajas temperaturas) son detectables a escala estacional en un mismo río, y también entre ríos de distintas latitudes. Asimismo, la temperatura determina el ciclo vital de la vegetación de ribera que, a su vez, influye en la cantidad de luz que llega al cauce. Aunque los productores primarios se adaptan a la luz disponible (por ejemplo, aumentando su concentración de clorofila), la cantidad total de luz sigue siendo un elemento clave para determinar las tasas de producción primaria bruta en los ríos. En cambio, la intensidad de luz difícilmente afecta a las tasas respiratorias en el sistema, al menos de manera directa, aunque sí indirectamente, al causar una mayor abundancia de biomasa de los pro-

ductores primarios. Por todo ello, la estima directa de la luz disponible es clave para comprender la dinámica de los productores primarios en los ecosistemas fluviales.

Otro de los factores que más determina la distribución de los organismos en ecosistemas lóticos es la velocidad de la corriente. Los macroinvertebrados, algas, e incluso peces, presentan numerosas adaptaciones anatómicas y fisiológicas a la turbulencia y velocidad del agua (Statzner y Holm 1982). Esto permite que organismos con fuertes demandas de oxígeno persistan en medios turbulentos en presencia de abundante materia orgánica, que de acumularse en sistemas menos turbulentos consumiría irremisiblemente el oxígeno disponible para la biota. La velocidad de la corriente limita la biomasa de productores primarios que se pueden acumular en el lecho fluvial, las formas de crecimiento de algas y macrófitos, su respuesta fisiológica (producción y respiración), e incluso las interacciones algas-herbívoros.

9.2. La temperatura del agua

Registadores en continuo permiten medir la temperatura del agua fluvial durante meses

La manera más simple de medir la temperatura del agua es mediante un termómetro de mercurio o mediante termistores. La precisión de los primeros suele ser de 0,5 °C, mientras que los segundos consiguen precisiones de 0,1 °C. Muchos aparatos de medida (para obtener, por ejemplo, el pH, la conductividad o el oxígeno) tienen termistores acoplados que permiten una estima rutinaria de la temperatura, con una fiabilidad aceptable. Por último, hay termistores con capacidad de almacenamiento de miles de datos, de precio razonable y tamaño apenas mayor que una moneda. Estos termistores se pueden programar y mantener durante meses en el río, midiendo la temperatura a intervalos predeterminados, y los datos almacenados son fácilmente transportables a ordenadores en el campo o en el laboratorio.

9.3. La disponibilidad de la luz

La fracción de luz fotosintéticamente activa tiene gran interés biológico

La cantidad de luz incidente varía mucho durante el día y a lo largo del año, por lo que las medidas puntuales suelen ser muy poco representativas. Además, la luz se extingue al atravesar medios de distinta naturaleza o con cierta cantidad de partículas. De toda la luz que llega desde el Sol, en ecología fluvial es especialmente interesante disponer de medidas de la radiación fotosintéticamente activa (*photosynthetic active radiation*, PAR), incluida en las longitudes de onda entre 400-700 nm, ya que es la que se usa por los productores primarios en la fotosíntesis. A estas medidas nos referiremos en la técnica que se describe a continuación.

9.4. La velocidad de la corriente

La velocidad de la corriente estimula procesos como la fotosíntesis, la asimilación de nutrientes y la respiración, y determina la distribución de los organismos en los hábitats fluviales. Por tanto, es importante medir esta variable en sistemas fluviales. Hay muchas aproximaciones para medir la velocidad, en función de las necesidades que tengamos. Determinar la velocidad en relación con la dinámica química del sistema, o en cuanto a la distribución de grandes organismos (por ejemplo, los peces), requiere aproximaciones más simples que en otros casos. Determinar la extensión de la capa límite precisa métodos sofisticados, pero ello sólo es indispensable en el caso de medidas finas realizadas sobre el biofilm o en pequeños invertebrados.

La velocidad de la corriente se puede medir a escalas muy diferentes, en función de los objetivos del trabajo

Técnica 14. Estima de la luz disponible en un tramo

La alternativa más fiable para estimar el PAR (radiación fotosintética activa), que llega a un punto determinado, es utilizar en continuo un piranómetro (que mide la luz en el rango 400-1100 nm) o un cuantómetro (que mide solamente la luz visible, 400-700 nm). Mientras que los primeros proporcionan lecturas en $W m^{-2}$, los segundos las proporcionan como moles de fotones por metro cuadrado y unidad de tiempo (o $\mu E m^{-2} s^{-1}$). Existen cuantómetros con acumulador de datos de precio asequible, que registran en continuo y autónomamente la irradiancia durante semanas, y pueden ser interesantes si no hay riesgo de que desaparezca el material instalado en el campo. La frecuencia de registro de medidas depende del objeto del estudio; medidas cada 5 minutos y promediadas cada media hora, pueden ser suficientes en casos de estimas de producción primaria; en otros casos, las medidas pueden recogerse más laxamente. Sin embargo, en ríos forestados o espacialmente complejos un solo cuantómetro es insuficiente, y hay que contar con varios para poder estimar la disponibilidad del PAR a escala de tramo.

La luz se puede medir en $W m^{-2}$ o en $\mu E m^{-2} s^{-1}$

La luz que atraviesa la columna del agua no es la misma que se recibe en superficie, ya que parte de esta última es reflejada, y parte es absorbida o dispersada por el agua. Se debe, por tanto, estimar las variaciones entre la luz incidente y la que atraviesa al agua, para lo que es necesario disponer de un cuantómetro que permita simultáneamente recoger medidas aéreas y bajo el agua. Aunque el agua sea transparente, hay que considerar que la luz disminuye con la profundidad. Si la absorción de luz por el agua es importante, hay que determinar la extinción de la luz en la columna del agua, para lo cual hay varios métodos. Uno de ellos, apropiado para ríos profundos, es el clásico disco de Secchi, un disco blanco de unos 20-30 cm de diámetro. Mediante éste se puede estimar el *coefi-*

ciente de extinción (μ) a partir de la profundidad a la que deja de verse el disco (DS). Se estima empíricamente que la relación entre ambos es $\mu = DS/1,7$. Para arroyos turbios hay que usar un sensor de irradiancia sumergible. La relación entre las medidas en superficie (inmediatamente sumergido) y en profundidad (sobre el sustrato) permite estimar la extinción de la luz y aplicar los factores correspondientes a las estimas de entrada de luz, una vez corregidas por la cobertura. Estos factores pueden ser aplicados después de manera rutinaria a medidas globales.

La luz se puede medir directamente, o estimarse en función de la cobertura del tramo

Una posibilidad alternativa a los cuantómetros es utilizar los registros continuos de luz de alguna estación meteorológica no muy lejana al punto de estudio. En caso de no hallarse, la radiación extraterrestre global que llega al río puede estimarse en cualquier punto de la superficie terrestre; existen programas que permiten determinar este valor (<http://www.nrel.gov/midc/solpos/solpos.html>). Los modelos permiten estimar la radiación horaria, diaria, mensual y anual que recibe un punto determinado basado en su situación. Los datos que se precisan son solamente la latitud y longitud del punto, el día del año y el momento del día (si se requiere un momento concreto). Además se debe proporcionar la presión atmosférica del día en cuestión, la temperatura exterior, la orientación del tramo respecto al Sol (hacia N, S, E, W), y la inclinación respecto a la horizontal. La cobertura del tramo (véase más adelante) es esencial para determinar la luz que llega al cauce. Frecuentemente los datos se dan en calorías y se pueden transformar a moles de fotones por metro cuadrado y segundo mediante el siguiente cociente: $\mu\text{moles de fotones/cal} = 17,65$ (Guasch & Sabater 1998), al que deben añadirse las transformaciones adecuadas de factores de tiempo.

Las estimas visuales de cobertura suelen ser engañosas, ya que incluso en los bosques con cobertura «total» no suele haber oscuridad total. La cobertura es posible estimarla mediante fotografías tomadas en el tramo. Sin embargo, bajo todos los bosques se dan entradas puntuales de luz de alta intensidad (*sunflecks*) que tienen una gran relevancia en el comportamiento fotosintético de los productores primarios, y cuya distribución espacial es aleatoria.

MEDICIÓN DE LA COBERTURA

Material necesario

- Cámara fotográfica, a ser posible digital, y con objetivo gran angular (equivalente a 35 mm, o mejor, a 28 mm).
- Trípode.
- Ordenador con software de tratamiento de imagen (por ejemplo, Photoshop).

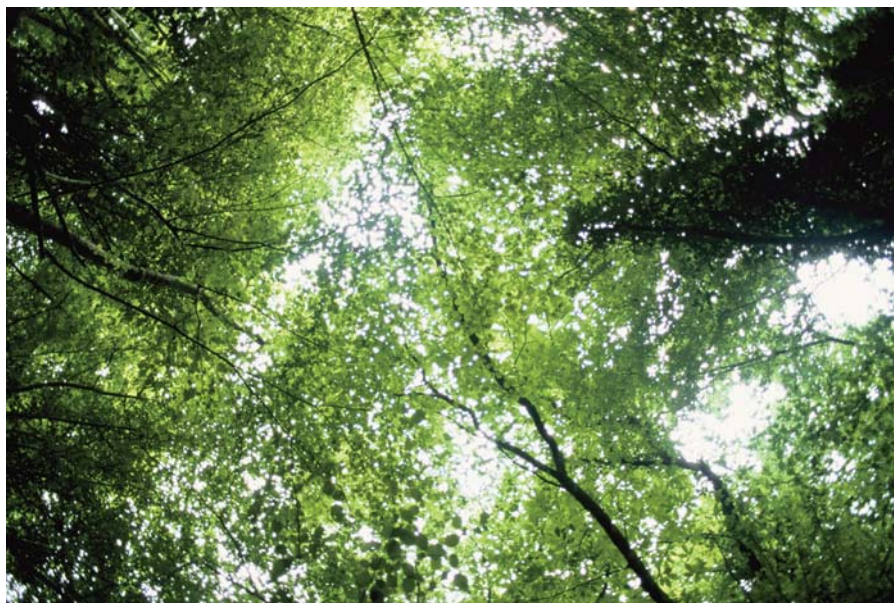


Figura 9.1:
*Foto cenital tomada sobre
un arroyo forestado*

Procedimiento

Se trata de tomar entre 10 y 15 fotos a lo largo del tramo, todas apuntando al cenit. Para ello, se coloca la cámara sobre el trípode en la mitad del cauce, tan cercana a la superficie del agua como sea razonable. Realizar la foto, mover el trípode algunos metros aguas arriba, hacer otra foto, etc. Las fotos cenitales suelen tener un aspecto similar al de la figura 9.1.

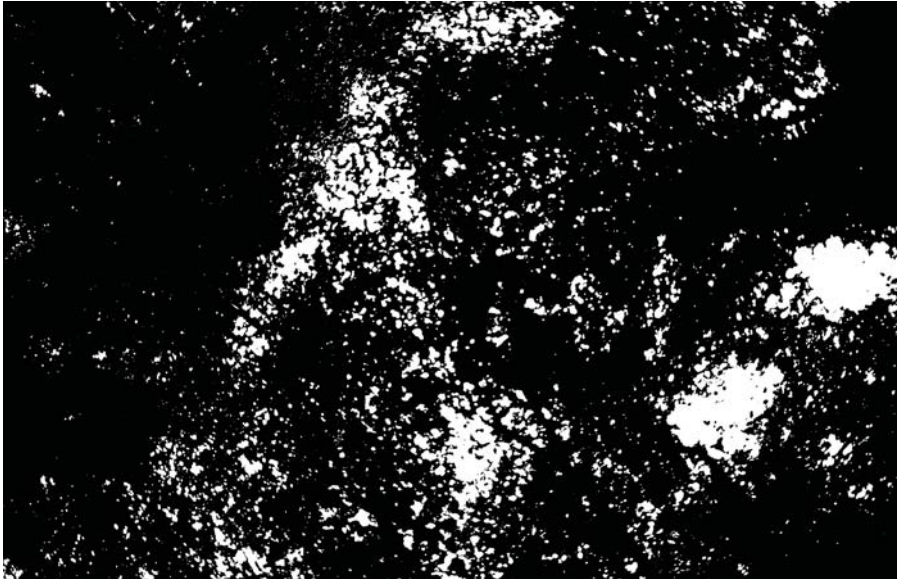
La cobertura se puede
medir fácilmente
mediante fotos cenitales

Una vez en el gabinete, hay que abrir la foto con Photoshop y jugar con el balance de color y con los mandos de brillo y contraste hasta convertir todo el cielo en blanco y todas las hojas en negro (fig. 9.2). Guardar la foto. Medir el porcentaje de cobertura en función de la proporción de blancos y negros en la foto, por ejemplo, mediante el programa NIH Image (US National Institutes of Health). Repetir con todas las fotos de cada tramo y calcular la cobertura media. Corregir los datos de irradiancia obtenidos de la estación meteorológica (como se ha descrito anteriormente) en función de la cobertura.

OTRAS CONSIDERACIONES EN LA MEDICIÓN DE LA COBERTURA

La cobertura puede variar durante el año en función del tipo de bosque, sobre todo si es caducifolio. En ese caso es necesario repetir las fotos, al menos en invierno y en verano. No es necesario que las fotos se tomen exactamente en los mismos sitios.

Figura 9.2:
Foto cenital tratada para
medir la cobertura



Técnica 15. Medición de la corriente

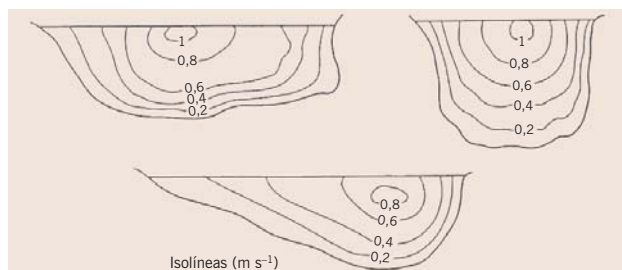
Técnica 15a. Velocidad de la corriente a escala de tramo

La velocidad media se
halla a 0,6 veces la
profundidad del tramo

Una de las medidas más comunes es la de la *velocidad media* del cauce fluvial. Estimaciones independientes de la velocidad punta y velocidad media pueden derivarse de la dinámica de los solutos (capítulo 4). Sin embargo, en ríos de dimensiones medias o grandes, las estimas de la velocidad deben realizarse directamente. En estas circunstancias, es necesario disponer de un correntímetro lo más sensible posible, y con dimensiones del rotor ajustadas a la profundidad del agua que se vaya a medir.

La distribución de velocidades en la columna de agua es bastante característica, máxima en superficie y mínima en el fondo (fig. 9.3). Para trabajos rutinarios se mide la velocidad media a 0,6 veces la profundidad en el punto de medida.

Figura 9.3:
Distribución transversal de
velocidades en ríos



Técnica 15b. Velocidad de la corriente a escalas espaciales reducidas

Los correntímetros disponibles comercialmente no permiten medir la velocidad en escalas de milímetros o menores. Ello es necesario si se quiere determinar la velocidad del agua en las cercanías de un sustrato, ya que la velocidad va disminuyendo conforme nos acercamos a éste. Esta disminución sigue una distribución vertical exponencial negativa, llegando la velocidad de la capa de agua en contacto con el sustrato a cero. Se define como *capa límite* la capa de agua que se halla entre el sustrato y la columna de agua. Su extensión y profundidad depende de las dimensiones del río, y su forma de la velocidad de las capas superiores. A escala centimétrica la fricción interna del agua rivaliza con la mezcla turbulenta, y en la capa límite se tiende a crear una *subcapa viscosa* sobre el sustrato (fig. 9.4). A una distancia al sustrato aún más pequeña (micrómetros), se forma la *subcapa difusiva* (Boudreau y Jørgensen 2001). En su conjunto, la capa límite tiene una gran importancia, ya que en esta zona tienen lugar procesos importantes como la disipación de la turbulencia, o del calor, y es el lugar de intercambio de gases y materiales disueltos. En esta capa se producen, pues, procesos fisicoquímicos relevantes. La profundidad de esta capa en relación con el tamaño corporal es relevante para los organismos que viven adheridos al sustrato, ya que determina la posibilidad de ser arrastrado o de permanecer en un medio turbulento. Por ello, medir la distribución vertical de velocidades en la capa límite puede tener relevancia para establecer los límites de esta propia capa y comprender los procesos de oxidación-reducción que ocurren en las cercanías de los sustratos, o para determinar cuestiones relativas a la microdistribución de los organismos, especialmente algas y macroinvertebrados, en el lecho fluvial.

Para trabajos de microdistribución de organismos hace falta determinar la velocidad del agua a pequeña escala

Existe una variedad de métodos para medir la velocidad a escalas reducidas. De todas las disponibles y, a pesar de su precio, razonablemente económico en relación con otros métodos, los más fiables son los denominados *sensores de film caliente*. Éstos permiten medidas a escalas de milímetros e incluso menores, aunque son intrusivos (interfieren con su presencia en el flujo) y su límite inferior de velocidad es de unos 3 cm/s.

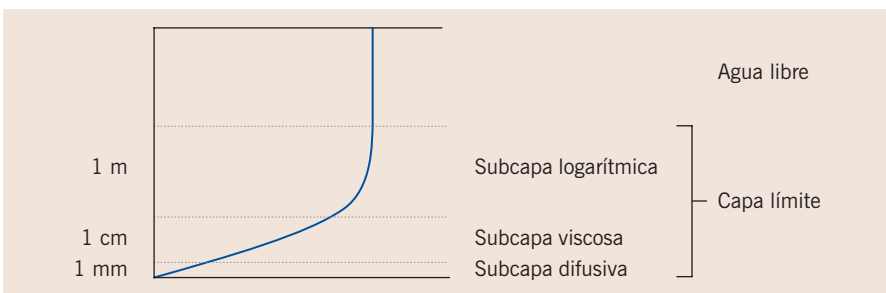


Figura 9.4: Distribución de la velocidad en las distintas capas de agua que van del agua libre a la que interactúa con un sustrato sólido

Nota: Obsérvese que la escala que se usa en la representación es logarítmica.

9.5. Bibliografía

- BOUDREAU B.P., y JØRGENSEN B.B. *The benthic boundary layer: Transport processes and biogeochemistry*. Nueva York: Oxford University Press, USA, 2001.
- GILLOOLY J.F., CHARNOV E.L., WEST G.B., SAVAGE V.M., y BROWN J.H. «Effects of size and temperature on developmental time». *Nature* 417 (2002): 70-73.
- GUASCH H., y SABATER S. «Estimation of the annual primary production of stream epilithic biofilms based on photosynthesis-irradiance relations». *Archiv für Hydrobiologie* 141 (1998): 469-481.
- KELLY D.J., BOTHWELL M.L., y SCHINDLER D.W. «Effects of solar ultraviolet radiation on stream benthic communities: An intersite comparison». *Ecology* 84 (2003): 2724-2740.
- STATZNER B., y HOLM T.F. «Morphological adaptations of benthic invertebrates to stream flow — an old question studied by means of a new technique (laser doppler anemometry)» *Oecologia* 53 (1982): 290-292.