CAPÍTULO 21

Uso de ríos artificiales en ecología fluvial

HELENA GUASCH Y ALEXANDRA SERRA

21.1. Introducción

Los *ríos artificiales* se llevan utilizando, desde hace décadas, para el estudio de algas, invertebrados y peces. Se trata de canales de dimensiones reducidas que simplifican las condiciones naturales de los ecosistemas fluviales, aunque mantienen sus características de aguas corrientes, incluyendo una parte de la comunidad biológica. Estos mesocosmos que simulan ecosistemas fluviales, permiten controlar las condiciones ambientales y proporcionan la oportunidad de examinar cuestiones científicas que no pueden ser abordadas directamente en estudios de campo. En algunos casos es indispensable la experimentación a una escala intermedia entre la escala de campo, donde el investigador tiene muy poco control sobre las variables ambientales, y los experimentos en el laboratorio, donde las variables están estrictamente controladas. En estas circunstancias, el uso de canales artificiales es una opción a considerar (Guasch et al. 2005, Lamberti y Steinman 1993).

El uso de ríos artificiales permite dilucidar cuestiones que no pueden abordarse directamente en el campo

Esta aproximación, sin embargo, tiene limitaciones. El control de las condiciones ambientales exige simplificar el sistema, hecho que dificulta en muchos casos la reproducción de las características tanto estructurales como funcionales de un ecosistema fluvial, limitando así la extrapolación de los resultados (cuadro 21.1). Estas limitaciones pueden superarse con estudios combinados entre el laboratorio y el campo, que incluyan experimentación en condiciones controladas (utilizando canales) y la validación de los resultados obtenidos mediante muestreos de campo.

Cuadro 21.1: *Resumen de las ventajas y limitaciones asociadas al uso de canales en ecología fluvial*

Ventajas	Limitaciones
– Control de variables ambientales – Replicación y significación estadística – Permiten modificar las condiciones ambientales (nutrientes, luz, velocidad del agua...) y las interacciones biológicas (depredación, herbivoría...) – Permiten trabajar con comunidades y analizar efectos directos e indirectos de los tratamientos – Mayor grado de realismo que los estudios de laboratorio	– Simplificación del ecosistema fluvial – Dificultad para mantener poblaciones o comunidades parecidas a las naturales – Dificultad en reproducir los procesos que ocurren a escala mayor – Difícil extrapolación de los resultados obtenidos a nivel de ecosistema natural – Coste de las instalaciones y de su mantenimiento – Elevado consumo de agua (en sistemas abiertos de dimensión mediana o grande)

En general, el uso de canales en ecología fluvial permite: a) tratar cuestiones que no pueden ser estudiadas mediante ensayos de laboratorio u observaciones de campo, b) mejorar el conocimiento del funcionamiento del ecosistema fluvial estudiando sus mecanismos, y c) contribuir directamente al desarrollo y al ensayo de modelos para predecir respuestas a escala de ecosistema. El diseño debe adecuarse a las características del estudio (tipo de organismo o comunidad estudiados) y a las variables utilizadas para evaluar su respuesta (cambios estructurales y/o funcionales). El grado de realismo depende de la semejanza entre la dimensión y complejidad del sistema de canales y las del ecosistema que se pretende examinar (Harris et al. 2007). Las limitaciones asociadas a la escala de estudio pueden ser compensadas mediante estudios de campo destinados a validar los resultados obtenidos.

21.2. Tipología

Se han construido canales de formas y dimensiones muy variadas, y han sido utilizados para un amplio rango de aplicaciones. Se han planteado preguntas muy diversas, que van desde la ecología del perifiton y su respuesta a los nutrientes, a los estudios de crecimiento y supervivencia de invertebrados, la respuesta a las perturbaciones, la dinámica de la colonización, o las interacciones biológicas (herbivoría y depredación). Los sistemas de canales que se utilizan en ecología fluvial pueden estar localizados in situ, normalmente en las orillas de un río del que se deriva el agua; alternativamente, pueden construirse lejos del río, bien al aire libre o bien en el interior de un laboratorio. En este último caso se puede ejercer un mayor control sobre las condiciones ambientales de caudal, luz y temperatura (fig. 21.1). Los canales usan agua derivada de una fuente próxima, ya sea un río, o agua de la red previamente tratada. Este suministro de agua puede ser unidireccional (es decir, en continuo) o recirculado (en que el caudal vuelve a entrar en el canal, usualmente a partir de un depósito). El flujo unidireccional es

preferible dado que maximiza la proporción agua/biota, con lo que son mínimos los efectos de la actividad biológica (principalmente procesos de fotosíntesis y respiración) sobre el medio. En este caso, si el diseño experimental requiere manipular las características químicas del medio (por ejemplo, incremento en la disponibilidad de nutrientes), es necesario disponer de un sistema capaz de mantener un flujo constante de adición (por ejemplo, mediante bombas peristálticas) durante la duración del experimento. Si la cantidad disponible de agua es un problema, se puede optar por un sistema de recirculación. En este caso, es fundamental mantener la cantidad de agua lo más elevada posible, lo que se consigue usando un depósito grande conectado a cada uno de los canales, y renovar el medio con frecuencia (por ejemplo, dos veces por semana). En todo caso, la frecuencia de renovación del agua se debe optimizar mediante el seguimiento de las variaciones físicas y químicas ocurridas en los canales. Estas diferencias deberían mantenerse siempre por debajo del 20%. Esta solución permite un importante ahorro de agua, pero tiene como inconveniente el trabajo asociado a los recambios de agua y a los análisis químicos, y el menor control de las condiciones experimentales que en el diseño de flujo unidireccional.

El objetivo científico debe determinar la dimensión y características del sistema de canales utilizado. Los canales permiten la replicabilidad de los análisis, tan compleja en sistemas naturales, pero ello exige asegurar que todos los canales de un experimento sean idénticos (Harris et al. 2007, Lamberti y Steinman 1993). Los canales de pequeñas dimensiones (próximos a 1 m) permiten estudiar la ecología de las comunidades microbianas y explorar la influencia de factores clave como la velocidad del agua, la temperatura, el pH, la irradiancia o la concentración de nutrientes. La inclusión de herbívoros exige una mayor superficie de canal (1-5 m de longitud), que proporcione el alimento suficiente para estos orga-

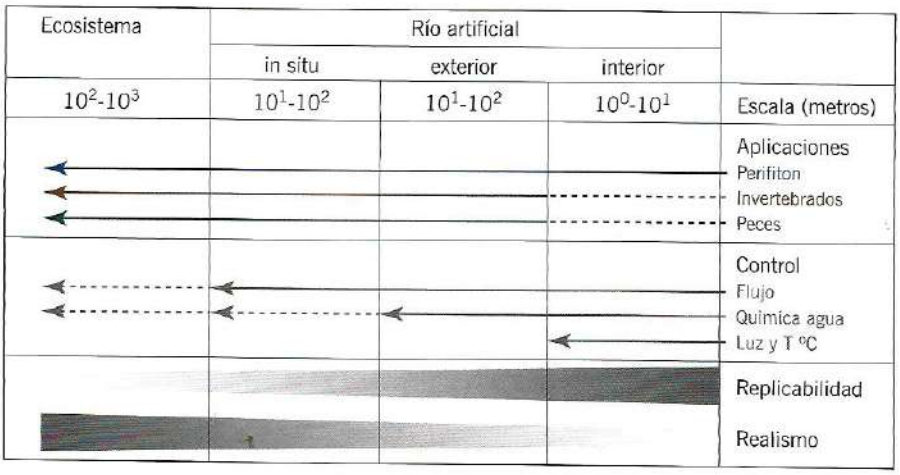
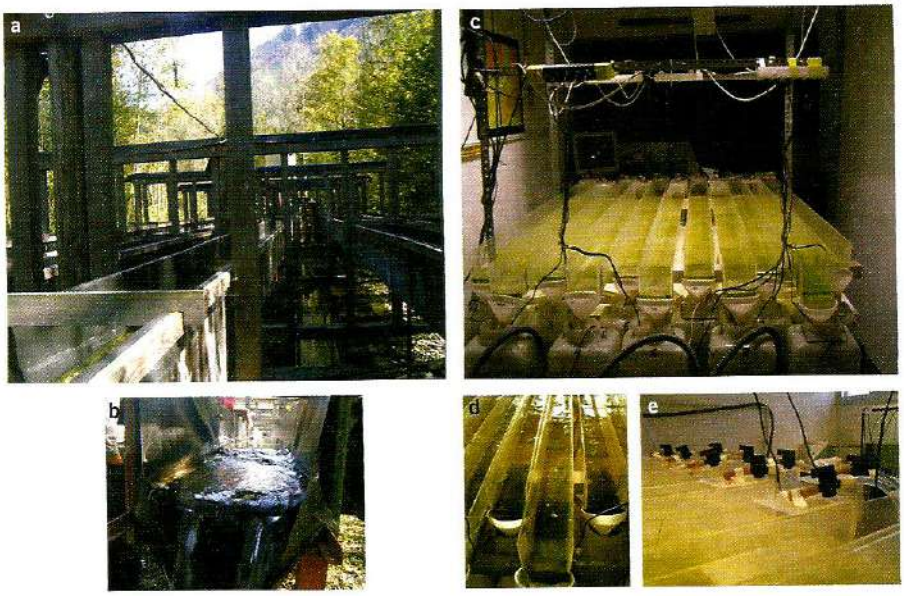


Figura 21.1: *Esquema comparativo de la dimensión, aplicaciones, control de las condiciones ambientales, replicabilidad y realismo en estudios de ecología fluvial basados en la manipulación del ecosistema, en canales situados in situ, canales ubicados en el exterior pero alejados del río, y canales ubicados en el interior*

Figura 21.2: *Ejemplos de distintos modelos de canales*



Nota: a) Canales de la estación limnológica de Lunz am Zee, Austria, situados en el exterior y alimentados con el agua de un río cercano. b)El fondo del canal está cubierto por sustratos naturales. c) Canales con recirculación situados en el interior de un laboratorio en la Universidad de Girona. El fondo está recubierto con sustratos artificiales (cristales esmerilados) colonizados con perifiton. (Autorización de T. Batin para la realización de fotografía.) d) Cada uno de los canales vierte en un depósito situado en el interior de un baño refrigerado. e) Una bomba sumergible devuelve el agua al inicio del canal.

nismos (Ledger et al. 2006, Wong et al. 2004). Si se incluyen varias especies de invertebrados o peces, sus requisitos de hábitat específicos obligan a realizar diseños más complejos y mayores (mayor longitud, anchura y profundidad), que incorporen distintos tipos de sustrato (rocas, gravas, limos, etc.) y condiciones hidrológicas (alternando rápidos y pozas). En este caso de complicación extrema, difícilmente podrán ser ubicados los canales en recintos cerrados. El diseño final debe ser fruto del compromiso entre la replicabilidad y el realismo. La reducción de la escala permite aproximarse al grado de replicación óptimo en términos estadísticos. Sin embargo, el cambio de escala suele ir asociado a una simplificación del sistema y a una disminución del realismo. En términos generales, es más sencillo estudiar de manera experimental la ecología de ríos pequeños. Cuanto más se acerca la dimensión del sistema de canales a la del sistema sobre el que se quiere experimentar, más realismo se obtiene.

21.3. El diseño: consideraciones generales

El tamaño de los canales debe ser suficiente para: a) permitir el desarrollo y supervivencia de los organismos a estudiar, b) permitir la expresión de los factores

que se pretenden controlar, y c) evitar al máximo el impacto sobre la biota durante los muestreos.

21.3.1. Réplicas

El número total de canales necesarios varía en función del número de factores estudiados y de la magnitud del gradiente que se pretende evaluar (Navarro et al. 2000). Para estudiar la respuesta de una variable a un único factor, como por ejemplo la presencia de una concentración determinada de tóxico, hay que comparar la variabilidad experimental con la debida al factor analizado. Por tanto, se necesita utilizar un mínimo de tres canales control y tres canales sometidos al factor que estudiamos. El *canal* es la unidad experimental, por lo que las muestras tomadas del mismo canal son consideradas réplicas analíticas. Los resultados obtenidos se pueden comparar mediante un *test t de Student*, o en el caso de que haya más de un tratamiento (por ejemplo, dos concentraciones de tóxico), mediante un *análisis de la varianza* (ANOVA) de un factor. Este diseño permite estudiar aspectos tales como la limitación de luz o nutrientes, comparando la actividad del perifiton en canales control con otros que reciben más luz o nutrientes; la herbivoría, comparando canales con y sin herbívoros, o la depredación comparando canales con y sin depredadores. Para estudiar la interacción entre dos factores, hay que añadir al menos tres canales sometidos al segundo de los factores, y tres con ambos factores a la vez (12 canales en total), y analizar los datos mediante un ANOVA de dos factores.

En otras ocasiones, el objetivo es analizar el efecto de un determinado factor en función de su intensidad. En este caso, lo ideal es seguir un diseño de tipo exponencial: se suelen utilizar tres canales control y un mínimo de seis canales sometidos a niveles crecientes del factor que se pretende estudiar. Idealmente, el gradiente debe incluir un nivel en el que los efectos sean presumiblemente sutiles, varios niveles con efectos aparentes, y otros con efectos muy marcados. El ajuste de los resultados obtenidos (tres controles y seis niveles crecientes) a un modelo de regresión permite establecer el tipo y magnitud de la respuesta en función del factor estudiado. Como hemos descrito, en el diseño exponencial sólo hay réplicas de los controles, estando cada uno de los demás canales sujeto a una concentración diferente.

21.3.2. Duración

Los experimentos pueden tener una duración de hasta varios meses, dependiendo del tiempo de respuesta de los organismos estudiados (horas en bacterias, días en algas, semanas en invertebrados y meses en el caso de los peces), y de la escala de complejidad biológica escogida (población, comunidad o ecosistema).

21.3.3. Tipo de sustrato

El *sustrato* en la base de los canales puede ser básicamente de dos tipos: natural (rocas, gravas, sedimento, materia orgánica...) o artificial (cristal, cerámica, metacrilato, plástico...). Es importante escoger bien el sustrato, ya que éste determina la estructura de las comunidades que se desarrollan. El sustrato artificial proporciona una mayor homogeneidad y simplicidad que el natural, y es recomendable en estudios realizados a escala microbiana. En este caso se utilizan sustratos artificiales de pequeña dimensión (centímetros), que permitan tomar gran número de muestras comparables. Los sustratos naturales permiten incrementar el grado de complejidad del fondo del canal, la variabilidad del flujo y la variedad de procesos que se desarrollan, y así acercarse más a las características de los ríos reales. Se utilizan para estudios a escala de comunidad de invertebrados o peces y para el estudio de procesos a escala de ecosistema (por ejemplo, dinámica de nutrientes).

Los ríos artificiales deben ser colonizados por organismos, lo que se puede realizar de dos formas: a) incubar los sustratos del canal en un río durante un período suficiente para que sean colonizados de forma natural, y transferirlos luego a los canales, o b) añadir un inóculo directamente a los canales. El inóculo se extrae de un río de referencia con características químicas parecidas a las del sistema de canales utilizados.

21.3.4. Control de la variabilidad experimental

El diseño debe permitir un ajuste preciso de las condiciones de luz, caudal, velocidad y química del agua, que garantice la homogeneidad entre canales y la estabilidad en el tiempo. La variabilidad entre canales, aunque inevitable, determina el límite de detección de los efectos causados por el factor o factores estudiados. Éstos sólo pueden ser detectados si superan a la variación entre réplicas (canales con un mismo tratamiento).

Técnica 54. Diseño de ríos artificiales en laboratorio

Básicamente se pueden diseñar experimentos basados en la interacción de factores (tipo ANOVA), o en respuesta a un gradiente ambiental (exponencial)

Esta técnica permite realizar un diseño experimental complejo, pudiéndose estudiar tanto la respuesta a un gradiente de una variable ambiental (diseño exponencial) como la interacción de varios factores (diseño tipo ANOVA). Este diseño permite evaluar temas como el papel de distintos recursos (por ejemplo, luz y nutrientes) en la producción primaria, o la respuesta de los consumidores a la disponibilidad de alimento en función de la velocidad del agua. Las mayores dificultades residen en disponer de la suficiente cantidad de agua de calidad adecuada, y en obtener poblaciones o comunidades adecuadas.

Material

Se indica el material adecuado para un conjunto de 12 canales. En el caso en que no sea necesario dicho número, obviamente se debe modificar proporcionalmente.

— 12 estructuras de metacrilato en forma de U (2 × 0,1 × 0,1 m).
— Tubo de riego (goteros) para el suministro de agua a los canales.
— Tabla resistente y soporte (2 × 2 m).
— Estructura de mecano.
— 6 focos halógenos de 500 W.
— Sistema de refrigeración.
— Sustratos artificiales (cristal rugoso).
— Bombas hidráulicas para el suministro de agua, en el caso de que ésta no se suministre por gravedad.

Diseño de ríos artificiales para el estudio del efecto de dos factores sobre el perifiton

Para estudiar dos factores simultáneamente, hacen falta doce canales, que pueden ser de 2 m de longitud, 0,1 m de profundidad y 0,1 m de anchura. Para mayor comodidad, éstos pueden situarse a 1 m de altura sobre una tabla resistente (fig. 21.3). La velocidad del agua se controla modificando la inclinación de la tabla, para lo que se diseña cualquier mecanismo específico. Por encima de los canales se construye una estructura tipo «mecano», que servirá de soporte para los focos de iluminación.

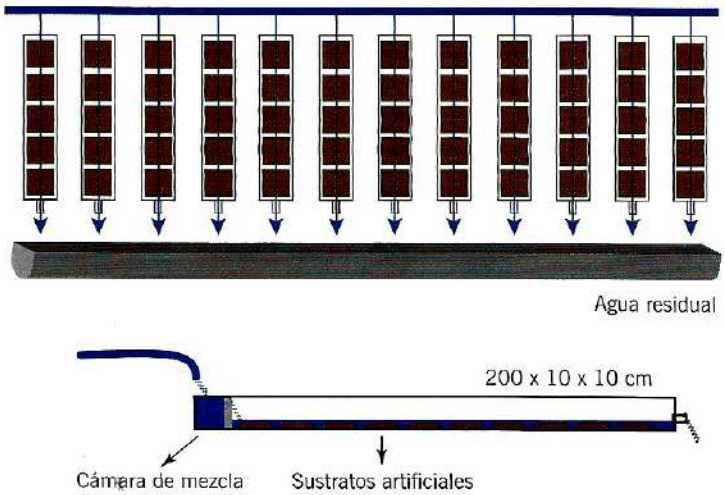


Figura 21.3:
Esquema de un sistema de doce canales (arriba) *y detalle de un canal* (abajo)

Agua

Se necesita una fuente de agua abundante y de calidad. Se puede utilizar agua proveniente de un río o acuífero, o agua de la red tratada (por ejemplo, mediante eliminación del cloro, descalcificación, etc.). En cualquier caso, es fundamental analizar el agua utilizada, incluyendo el contenido de sales, nutrientes y posibles contaminantes.

Velocidad y caudal

La distribución del agua a los canales se realiza mediante un sistema de riego (goteros) para repartir de forma homogénea y controlada el mismo caudal en todos los canales. Para canales de las dimensiones aquí propuestas se sugiere utilizar un caudal de 1,5 L/min. Dicha configuración permite ajustar la velocidad del agua desde 1 a 50 cm/s, controlando la inclinación del canal (para más información, véase Sabater et al. 2002).

Luz y temperatura

La luz se puede proporcionar con lámparas de luz fría, fluorescentes o lámparas halógenas. Se debe aportar luz suficiente para mantener el crecimiento de los productores primarios, si éste es el caso. Las lámparas halógenas son la solución más económica, sin embargo, aportan gran cantidad de infrarrojos, lo que genera mucho más calor que otros tipos de iluminación. Seis focos halógenos de 500 W dispuestos sobre los canales proporcionan 150-300 $\mu E/m^2 s$. Es importante comprobar que el espectro de luz sea adecuado para los productores primarios.

La temperatura del agua se debe controlar, lo que puede efectuarse refrigerando la sala en la que se ubiquen los canales.

Sustratos de colonización

El fondo de los canales se recubre con sustratos artificiales que permitan el desarrollo y posterior muestreo de los organismos bentónicos que son objeto del estudio.

Biota

El mantenimiento de poblaciones o comunidades naturales es uno de los elementos clave del diseño. En el caso del perifiton, el inóculo puede provenir del río que proporciona el agua. Si el agua utilizada proviene de otra fuente, se puede obtener el inóculo a partir de muestras de campo. En el caso de los invertebrados o peces, los individuos utilizados se obtienen a partir de poblaciones naturales o de su reproducción en el laboratorio. En cualquier caso, es esencial verificar la similitud entre la comunidad o población establecida en el sistema de canales y la natural.

21.4. Bibliografía

GUASCH H., MARTÍ E., y SABATER S. «Nutrient enrichment effects on biofilm metabolism in a Mediterranean stream». *Freshwater Biology* 33 (1995): 373-383.

HARRIS R.M.L., ARMITAGE P.D., MILNER A.M., y LEDGER M.E. «Replicability of physicochemistry and macroinvertebrate assemblages in stream mesocosms: Implications for experimental research». *Freshwater Biology* 52 (2007): 2434-2443.

LAMBERTI G.A., y STEINMAN A.D. «Research in artificial streams: Applications, uses and abuses». *Journal of the North American Benthological Society* 12 (1993): 313-384.

LEDGER M.E., HARRIS R.M.L., MILNER A.M., y ARMITAGE P.D. «Disturbance, biological legacies and community development in stream mesocosms». *Oecologia* 148 (2006): 682-691.

NAVARRO E., GUASCH H., MUÑOZ I., REAL M., y SABATER S. «Uso de ríos artificiales en ecotoxicología». *Limnetica* 18 (2000): 1-14.

SABATER S., NAVARRO E., y GUASCH H. «Effects of copper on algal communities at different current velocities». *Journal of Applied Phycology* 14 (2002): 391-398.

WONG Dcl., MALTBY L., WHITTLE D., WARREN P., y DORN PB. «Spatial and temporal variability in the structure of invertebrate assemblages in control stream mesocosms». *Water Research* 38 (2004): 128-138.