



ARTÍCULOS TÉCNICOS

Resumen

Se presenta el mesocosmos Sostaqua, un conjunto de canales de flujo abierto que recrea las condiciones naturales que se dan en un río. Se trata de la primera instalación de este tipo que se realiza en España, con voluntad de que pueda ser utilizada en el futuro por diferentes grupos de trabajo tanto de investigación como de empresas. El objetivo de este artículo es describir el diseño y funcionamiento del mesocosmos Sostaqua y presentar algunos de los resultados que se han obtenido en diferentes experimentos realizados en el mismo.

Palabras clave:

Agua superficial, mesocosmos, proyecto Sostaqua, contaminación de ríos, invertebrados acuáticos.

Abstract

Mesocosms Sostaqua: recreation of a river ecosystem under controlled experimental conditions

The present paper describes the mesocosms Sostaqua, a group of open-flow channels which recreate the natural river conditions. It is the first facility of this kind built in Spain, and it has the potential to be used for a wide range of interests involving from research groups to enterprises. The aim of this paper is to describe the experimental design of the mesocosms together with some of the results obtained in different experiments carried out within the facility.

Keywords:

River water, mesocosms, Sostaqua project, river pollution, aquatic invertebrates.

El mesocosmos Sostaqua: recreación de un ecosistema fluvial bajo condiciones experimentales controladas

Por: Miguel Cañedo Argüelles¹; Theodore E. Grantham¹; Isabelle Perrée¹; Maria Rieradevall¹; Narcís Prat¹; Raquel Céspedes Sánchez²; Jordi Martín Alonso²

¹ Universitat de Barcelona (UB)

Facultat de Biologia, Departament d'Ecologia

Grup de Recerca Freshwater Ecology and Management (FEM)

Avda. Diagonal 645 - 08028 Barcelona

Tel.: 934 031 377 - Fax: 934 111 438

² Aigües de Barcelona (Agbar)

Avda. Diagonal, 211 - 08018 Barcelona

Tel.: 933 422 000

www.agbar.es - www.sostaqua.com

1. Introducción

En el contexto de la ecología acuática, se denomina mesocosmos a cualquier sistema artificial capaz de contener y aislar a las comunidades de organismos acuáticos en su ambiente con el propósito de someterlas a experimentación (Petersen y Englund, 2005). Los arroyos o ríos artificiales son un tipo de mesocosmos que recrea las condiciones naturales que se dan en un río. Estos mesocosmos pueden tener diseños muy diferentes, dependiendo de los objetivos del experimento, desde canales de flujo abierto en los que tanto el agua como las partículas en suspensión se renuevan de manera continua, hasta sistemas cerrados en los que el agua es totalmente recirculada.

Los arroyos artificiales se han usado de manera extensiva en el campo de la ecología acuática para testar diferentes hipótesis bajo condiciones experimentales controladas y para explorar los procesos ecoló-

gicos que controlan las comunidades de organismos bentónicos (Lamberti y Steinman, 1993), incluyendo procesos bioquímicos (Pearson y Connolly, 2000), perturbaciones (Cardinale *et al.*, 2001; Bond y Downes, 2003), interacciones tróficas (Greenberg, 1994) y patrones de colonización (Ledger *et al.*, 2009). Además, este tipo de instalaciones han sido usadas de manera rutinaria para evaluar el daño potencial sobre las comunidades de macroinvertebrados de diferentes tipos de sustancias como pesticidas (Colville *et al.*, 2008), surfactantes (Belanger *et al.*, 2004), metales (Brooks *et al.*, 2004) y residuos mineros (Van Damme *et al.*, 2008).

La ventaja del uso de arroyos artificiales respecto a los estudios de campo es que ofrecen la capacidad de controlar las condiciones ambientales (Odum, 1984; Petersen y Englund, 2005). De esa manera, se pueden aislar los factores que se quieren estudiar y se asegura la re-



El mesocosmos Sostaqua es un conjunto de canales de flujo abierto, que permiten obtener una máxima fidelidad de las condiciones experimentales respecto a las del ecosistema fluvial

plicabilidad de los experimentos (es decir, el mismo experimento puede repetirse tantas veces como se desee, siempre y cuando se lleve a cabo bajo las mismas condiciones ambientales y siguiendo la misma metodología). Esto puede ser muy importante en ciertos ecosistemas como, por ejemplo, los ríos Mediterráneos, en los que la marcada estacionalidad del caudal puede enmascarar el efecto de cualquier otro tipo de perturbación que esté actuando sobre el ecosistema (Coimbra *et al.*, 1996). Debido a estas ventajas, y al hecho de ser más fácilmente manipulables que los experimentos en ecosistemas reales (Petersen y Englund, 2005), los mesocosmos son cada vez más usados por los ecólogos acuáticos. El inconveniente que presentan es que, según su diseño, pueden acarrear una falta de realismo, limitando la extrapolación de los resultados a situaciones naturales (Schindler, 1998).

En este trabajo se presenta el mesocosmos y los estudios realizados en el marco del Proyecto Sostaqua 'Desarrollos tecnológicos hacia un ciclo urbano del agua autosostenible' (www.sostaqua.com), en el ámbito de la evaluación de los riesgos sanitario-ambientales en el ciclo del agua. El mesocosmos Sostaqua es un conjunto de canales de flujo



Figura 1. Fotografía del mesocosmos Sostaqua. A la izquierda pueden verse los dos depósitos reguladores (grande = 4000 l de capacidad y pequeño = 2000 l de capacidad). El agua de los depósitos alimenta cuatro depósitos en cabecera que suministran agua a los canales experimentales.



Figura 2. Componentes principales del mesocosmos Sostaqua. A la izquierda, los depósitos reguladores; a la derecha, los depósitos de cabecera; y en el centro, los canales experimentales con las piedras y las cestas de deriva.

abierto, que permiten obtener una máxima fidelidad de las condiciones experimentales respecto a las condiciones del ecosistema fluvial, ya que al ser una instalación que funciona en flujo abierto (el agua circula de manera continua y sin recirculación) y que se alimenta directamente de agua derivada del río, no presenta los problemas que se encuentran en los sistemas de ciclo cerrado. Este tipo de flujo, junto con el hecho de situar la instalación

cerca del río, permitiendo su colonización de forma natural por parte de los organismos acuáticos, garantiza el realismo de los experimentos (Harris *et al.*, 2007). Cabe destacar que se trata de la primera instalación de este tipo que se realiza en España, con voluntad de que pueda ser utilizada en el futuro por diferentes grupos de trabajo tanto de investigación como de empresas. El objetivo de este artículo es describir el diseño y funcionamiento del meso-

cosmos Sostaqua y presentar algunos de los resultados que se han obtenido en diferentes experimentos realizados en el mismo.

2. Diseño experimental

La instalación está ubicada dentro de la depuradora de Balsareny (41°50'54"N, 1°52'49"E), a unos 60 km al norte de Barcelona. La depuradora está situada en uno de los márgenes del río Llobregat, que suministra el 35% de agua de consumo al área metropolitana de Barcelona y, a la vez, recibe los efluentes tratados de la depuradora. El mesocosmos Sostaqua (**Figura 1**) se construyó en el otoño de 2009 y consta de 12 canales artificiales abastecidos con agua bombeada desde un canal de agua derivada del río Llobregat. El agua se bombea de manera continua desde el canal hasta un depósito regulador de 4.000 l por medio de una tubería conectada a la parte superior del mismo (**Figura 2**), de forma que se mantiene un nivel de agua y de presión constante dentro del depósito. Posteriormente, el agua del depósito fluye de manera gravitacional a lo largo de una serie de tuberías de polietileno para alimentar cuatro depósitos en cabecera de

El mesocosmos Sostaqua se construyó en 2009 y consta de 12 canales artificiales abastecidos con agua bombeada desde un canal del río Llobregat

96 litros (**Figura 2**). Cada uno de estos depósitos dispone de tres grifos de salida a través de los cuales se controla el suministro de agua a los canales experimentales, que son medias tuberías de PVC de 2 m de longitud, 12 cm de anchura y 8 cm de profundidad (**Figura 2**). La instalación cuenta con un segundo depósito regulador de 2.000 l que se conecta con los canales en cabecera mediante un sistema paralelo de tuberías. En este segundo depósito regulador se puede mezclar el agua del río con agua de otro origen (por

ejemplo agua de la depuradora) a diferentes grados de dilución. Dado que la cantidad de agua que entra en cada depósito en cabecera puede regularse mediante un sistema de llaves y dado que cada uno de los depósitos alimenta a tres canales, podemos realizar tres diluciones diferentes con tres réplicas para cada una de ellas adicionalmente al control. El flujo de agua en los canales se mantiene a un caudal constante de 0,33 l·min⁻¹, que corresponde a las condiciones hidráulicas medias en flujo base que se encuentran en el río Llobregat a la altura de la depuradora.

A lo largo de los canales se pueden disponer varias piedras (10-12) recogidas en la zona adyacente del río (ya colonizadas o no con algas e invertebrados). Con una red de luz de malla de 250 µm, es fácil coleccionar los macroinvertebrados que están en el río y transportarlos a los canales para los experimentos. Al estar los canales tan cerca del río el daño infringido a la comunidad por el traslado es mínimo. De esta manera, se consigue que los canales sean colonizados rápidamente por comunidades de microorganismos, algas y macroinvertebrados similares a las que habitan en el río. Antes de empezar los experimentos y durante un cierto tiempo (una o dos semanas), las piedras se dejan en los canales (a lo largo de los cuales el agua circula de forma permanente) para conseguir la estabilización de la comunidades, y así asegurar que los cambios que se producirán no serán debidos a fluctuaciones naturales de la composición o densidad de organismos debidas a los cambios habidos en el sistema después del traslado de los organismos. Al final de cada canal se coloca una cesta que recoge la deriva (macroinvertebrados que son llevados por la corriente). Durante el período de acondicionamiento la deriva suele ser mayor, por lo que las cestas son vaciadas de forma periódica en la parte alta de los canales para facilitar la recolonización de los mismos.

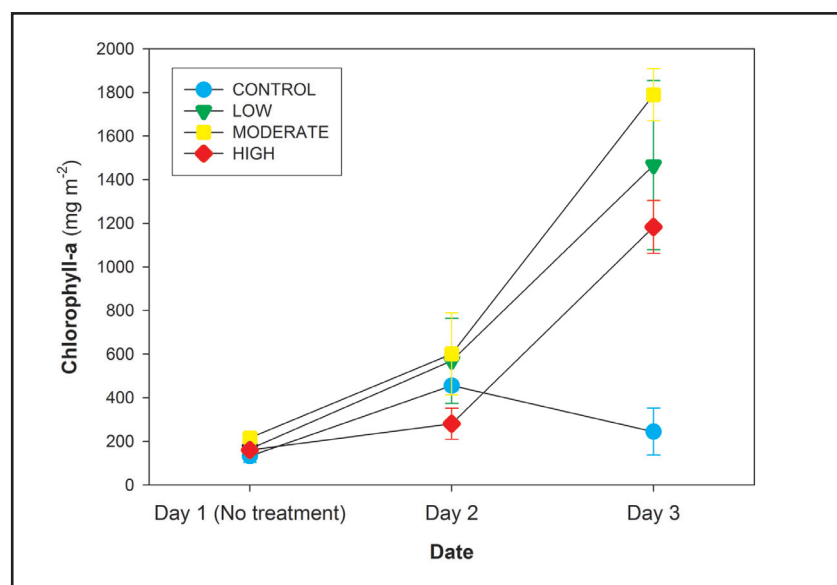


Figura 3. Concentración de clorofila en cada uno de los tratamientos experimentales (control = 0% de agua residual; low = 0,6% de agua residual; moderate = 2% de agua residual; high = 1 % de agua residual). Día 1 = antes de iniciar el tratamiento; día 2 = 7 días después de iniciar el tratamiento; y día 3 = 13 días después de iniciar el tratamiento.

Cuando la deriva se estabiliza (es decir, el número de individuos derivados/día es similar), se puede comenzar el experimento. Una vez iniciado el experimento, los cambios producidos en la intensidad y composición de la deriva es una manera de evaluar los efectos del experimento, además de los cambios que habrá en los sustratos introducidos en los canales al final del mismo.

3. Aplicaciones

Con el propósito de ilustrar el potencial de la instalación, se ofrece una breve descripción de varios experimentos que el grupo de investigación Freshwater Ecology and Management de la Universidad de Barcelona ha desarrollado en el mesocosmos en el marco del proyecto Sostaqua. Asimismo, se presenta una lista de posibles futuros experimentos que podrían llevarse a cabo en el mismo.

3.1. Experimento 1

Evaluación del efecto del vertido de diferentes concentraciones de aguas depuradas sobre la dinámica de las poblaciones de algas y del invertebrado *Hydropsyche exocellata* (Trichoptera).

3.1.1. Metodología

Los depósitos reguladores de 4.000 y 2.000 l se llenaron con agua de río (bombeada del canal de desviación) y agua residual tratada (salida de la EDAR), respectivamente. En los canales se colocaron piedras que se colonizaron con algas durante 14 días. Con las piedras ya colonizadas, en cada uno de los 12 canales se introdujeron 33 individuos del tricóptero *Hydropsyche exocellata* recolectados en el río Llobregat. Los canales se alimentaron con una proporción de aguas residuales del 15% (tratamiento 1), 2% (tratamiento 2), 0,6% (tratamiento 3) y 0% (tratamiento 4 = control). El experimento duró 13 días. Al cabo de 6 días y al final del mismo se recogieron muestras de algas para calcular la biomasa algal que recubría

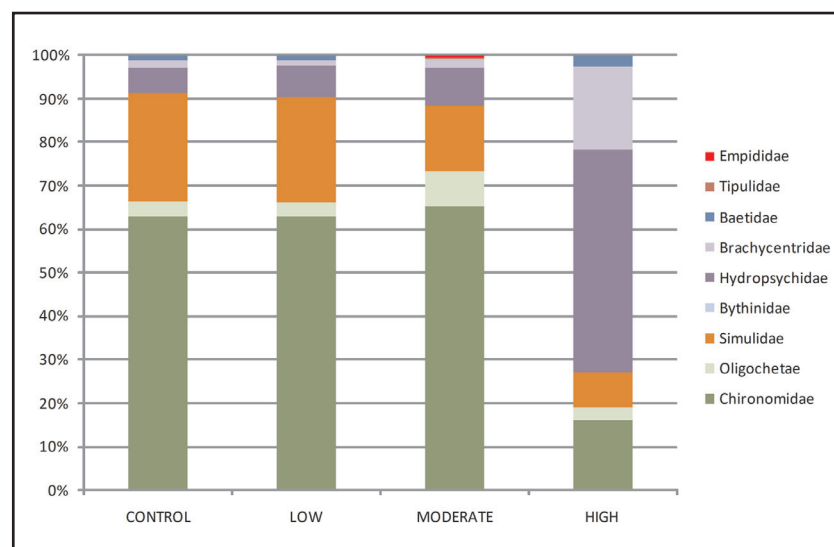


Figura 4. Abundancia relativa de macroinvertebrados en cada uno de los tratamientos experimentales (control = 0 % de agua residual; low = 0,6% de agua residual; moderate = 2% de agua residual; high = 15% de agua residual). Día 1 = antes de iniciar el tratamiento; día 2 = 7 días después de iniciar el tratamiento; y día 3 = 13 días después de iniciar el tratamiento.

las piedras y 5 piedras para examinar los *Hydropsyche* presentes. En todo momento se controló la deriva de los *Hydropsyche*.

3.1.2. Resultados y discusión

Los análisis de la varianza de la concentración de clorofila mostraron una diferencia significativa en los 3 días y entre los 4 tratamientos. En el tratamiento 1, la concentración disminuyó el último día, mostrando una limitación del crecimiento algal por causa de la elevada concentración de aguas residuales de las aguas residuales (Figura 3). Las comunidades de macroinvertebrados de los tres tratamientos de aguas residuales fueron muy similares, estando dominadas por el género *Chironomus* (gusanos rojos) de la familia Chironomidae, provenientes del depósito de salida del agua de la depuradora de donde se bombeaba el agua al depósito del mesocosmos. En el control se registró una menor densidad de invertebrados y una comunidad más diversa (Figura 4). Los *Hydropsyche* que habían sido colocados en los canales, prácticamente desaparecieron de todos los canales sometidos a tratamiento. Así pues se puede con-

cluir que las aguas residuales favorecen la proliferación de taxones más tolerantes y de ciclos de vida cortos (Chironomidae), mientras que otros (*Hydropsyche*) se ven claramente afectados.

3.2. Experimento 2

Evaluación del efecto del vertido de aguas residuales con diferente dilución sobre toda la comunidad de macroinvertebrados presente en el tramo medio del río Llobregat.

3.2.1. Metodología

El depósito regulador de 4.000 l se llenó con agua de río (bombeada del canal de desviación), mientras que el de 2.000 l se hizo con agua residual tratada (salida de la EDAR). Los canales se alimentaron con una proporción de aguas residuales del 30% (tratamiento 1), 15% (tratamiento 2), 5% (tratamiento 3) y 0% (tratamiento 4 = control). El experimento duró 17 días, los dos primeros para estabilizar la comunidad. A partir del segundo día se introdujo el agua residual. Cada semana se extrajeron 3 piedras/canal para ver la evolución de la comunidad de macroinvertebrados y comparar con la comunidad control del tratamiento 4 (sin agua residual).

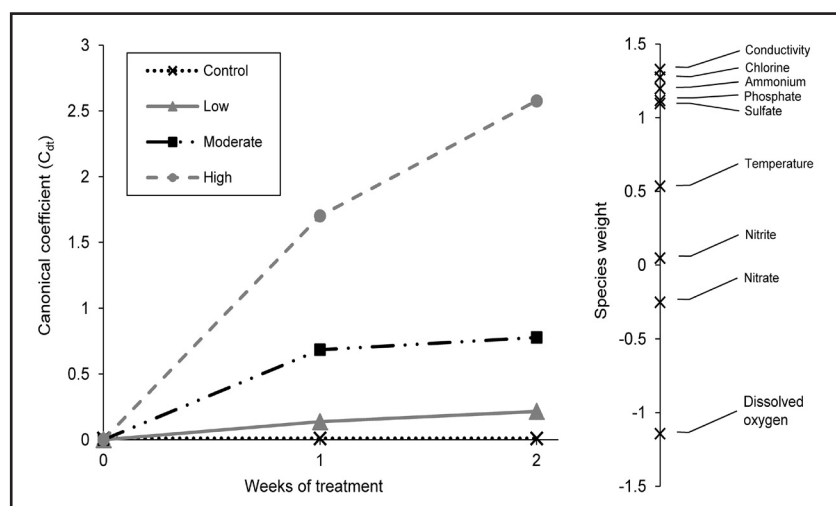


Figura 5. Análisis de *principal response curves* en el que se muestran las diferencias entre cada uno de los tratamientos experimentales (control = 0% de agua residual; low = 5% de agua residual; moderate = 1% de agua residual; high = 30% de agua residual) de acuerdo con las características fisicoquímicas de cada uno de los canales experimentales. Los tratamientos significativamente diferentes del control han sido marcados con un asterisco. A la derecha se muestra el peso de cada una de las variables respecto del primer eje canónico.

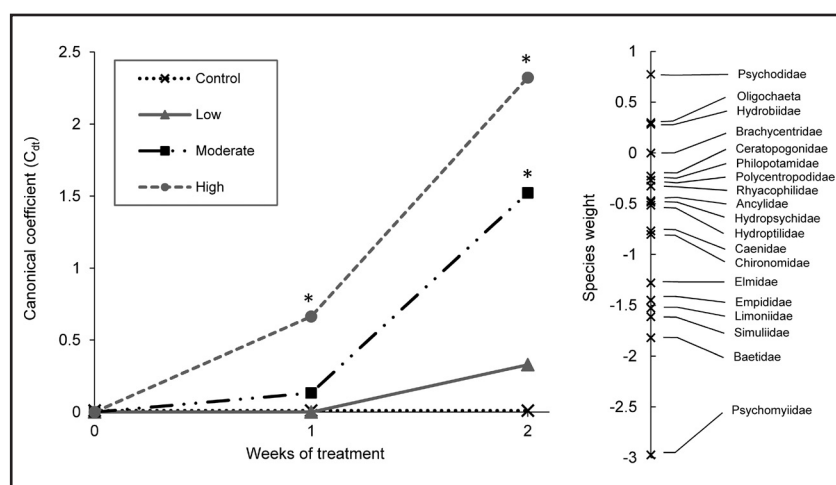


Figura 6. Análisis de *principal response curves* en el que se muestran las diferencias entre cada uno de los tratamientos experimentales (control = 0% de agua residual; low = 5% de agua residual; moderate = 15% de agua residual; high = 30% de agua residual) de acuerdo con los taxones de macroinvertebrados presentes en cada uno de los canales experimentales. Los tratamientos significativamente diferentes del control han sido marcados con un asterisco. A la derecha se muestra el peso de cada uno de los taxones respecto del primer eje canónico.

3.2.2. Resultados y discusión

La mezcla del agua del río con el agua residual produjo un aumento en las concentraciones de nutrientes y de sales disueltas (Figura 5). Durante el experimento se registraron un total de 17 taxones. La comunidad de macroinvertebrados se vio afectada por el vertido de agua residual, con los tratamientos 1 (30%) y 2 (15%), lo que causó diferencias significativas respecto a la

comunidad control (Figura 6). La respuesta de las comunidades aumentó con la concentración de agua residual y con los días de exposición al tratamiento (Figura 6). Los resultados sugieren que el vertido de aguas residuales con diluciones menores al 15% tiene un gran efecto potencial sobre las comunidades de macroinvertebrados acuáticos (Grantham *et al.*, 2012). Las concentraciones más elevadas de agua residuales causaron cambios drásti-

cos en la comunidad de invertebrados (incluyendo una disminución de la densidad de invertebrados y la pérdida de taxones poco tolerantes a la contaminación), pero una concentración de aguas residuales del 5% fue suficiente para registrar cambios (Grantham *et al.*, 2012).

3.3. Experimento 3

Evaluación del efecto del vertido de sal a diferentes concentraciones sobre toda la comunidad de macroinvertebrados presente en el tramo medio del río Llobregat. [Las minas de sal de Suria, Cardona y Manlleu presentes en la parte alta del río generan grandes cantidades de residuos de NaCl vertidos al río Llobregat, causando importantes incrementos de conductividad.]

3.3.1. Metodología

Los depósitos reguladores de 4.000 y 2.000 l se llenaron respectivamente con agua de río (bombeada del canal de desviación) y con agua saturada en sal (agua de río + sal en una concentración de 250 g/l). Los canales se alimentaron con una mezcla de agua de río y agua saturada en sal hasta conseguir conductividades de 5.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (tratamiento 1), 2.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (tratamiento 2), 1.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (tratamiento 3) y 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (tratamiento 4 = control), niveles similares a los encontrados en el río Llobregat durante eventos de lluvia. En los canales (tres por tratamiento) se colocaron piedras ya colonizadas procedentes del río Llobregat (9 piedras/canal). El experimento duró 9 días, 6 para la aclimatación de la comunidad y 3 para la aplicación de los tratamientos. Antes de introducir la sal, así como 1 día y 3 días después, se muestrearon 3 piedras por cada canal para ver la evolución de la comunidad de macroinvertebrados.

3.3.2. Resultados y discusión

Las minas de sal presentes en la parte alta del río (Suria, Cardona y

Tras los ensayos realizados, el mesocosmos Sostaqua ha mostrado ser una herramienta útil de evaluación de los ecosistemas acuáticos

Manlleu) generan grandes cantidades de residuos de NaCl vertidos al río Llobregat, causando importantes incrementos de conductividad. El río se saliniza aguas abajo de la EDAR de Balsareny, por lo que se seleccionó realizar el experimento en dicha EDAR, para estudiar cómo afecta la sal a los macroinvertebrados del río.

Durante el experimento se registraron un total de 26 taxones. La comunidad de macroinvertebrados respondió al tratamiento con una disminución de la densidad y la diversidad, y con una reducción de las especies menos halotolerantes en los canales con conductividades mayores. La respuesta de la comunidad aumentó con la concentración de sal y con el tiempo de exposición, aunque solo el tratamiento 5.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ causó cambios significativos en la comunidad (Figura 7) (Cañedo Argüelles *et al.*). La deriva de invertebrados, que es una medida indirecta de la mortalidad, aumentó con la concentración de sal y con el tiempo de exposición, mostrando los efectos del tratamiento (Figura 8). Los resultados sugieren que la salinización de los ríos es un importante riesgo potencial para las comunidades de macroinvertebrados acuáticos (Cañedo Argüelles *et al.*).

4. Conclusiones y futuras aplicaciones

Con los tres ensayos realizados en condiciones muy diversas, el

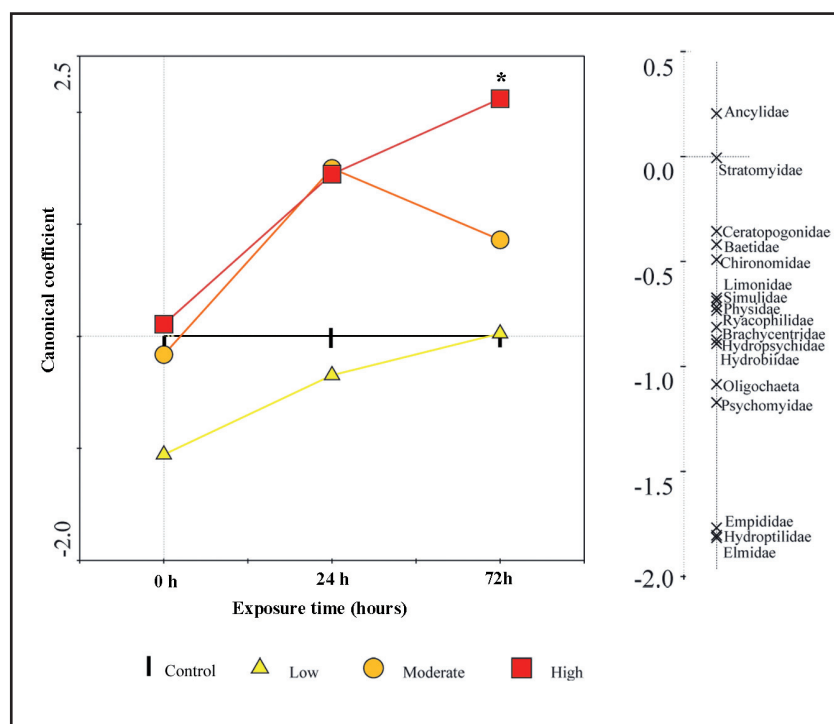


Figura 7. Análisis de *principal response curves* en el que se muestran las diferencias entre cada uno de los tratamientos experimentales (control = 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$; low = 1.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$; moderate = 2.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$; high = 5.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) de acuerdo con los taxones de macroinvertebrados presentes en cada uno de los canales experimentales. Los tratamientos significativamente diferentes del control han sido marcados con un asterisco. A la derecha se muestra el peso de cada una de los taxones respecto del primer eje canónico.

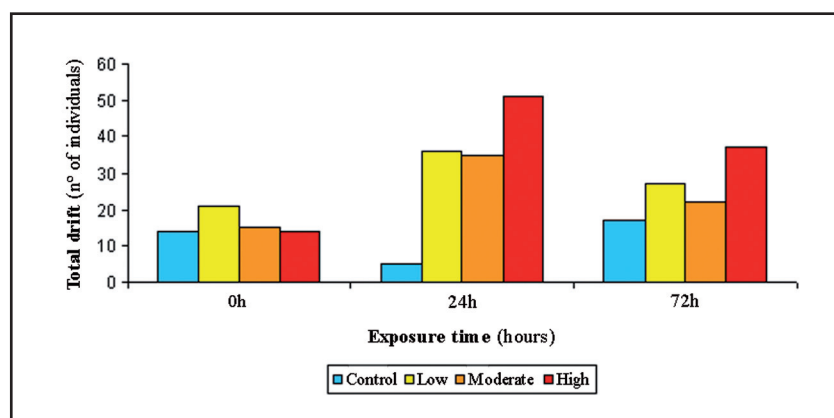


Figura 8. Número total de invertebrados recogidos en las cestas de deriva antes de aplicar los tratamientos y 24 y 72 horas después de empezar a aplicarlos (control = 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$; low = 1.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$; moderate = 2.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$; high = 5.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

mesocosmos Sostaqua ha mostrado ser una herramienta de gran utilidad para estudios de ecología aplicada y para la evaluación de los efectos del vertido de sustancias potencialmente tóxicas sobre los ecosistemas acuáticos. La instalación puede ser usada tanto para testar hipótesis en condiciones experimentales como para el control rutinario de vertidos de aguas residuales. El mesocosmos

Sostaqua está disponible para experimentos de otros grupos de investigación y empresas, como podrían ser:

- Estudio del efecto de contaminantes específicos sobre los organismos acuáticos mediante ensayos de ecotoxicidad a diferentes niveles de organización del ecosistema (individuo, población y comunidad).

- Estudio de la capacidad de recuperación de las comunidades de organismos acuáticos mediante la simulación de vertidos de diferente duración, frecuencia y magnitud.
- Estudio del efecto de las aguas residuales sobre la red trófica mediante la exploración de las interacciones entre distintos niveles tróficos (comunidades bacterianas, algales, de zooplancton y de macroinvertebrados).
- Estudio del efecto de las aguas residuales sobre el metabolismo de los macroinvertebrados acuáticos usando la tasa de descomposición de hojas como medida metabólica indirecta.
- Estudio de la velocidad y las preferencias de colonización de diferentes tipos de hábitats fluviales por parte de las comunidades de organismos acuáticos.

5. Agradecimientos

Este estudio es parte del proyecto Sostaqua, liderado por Aguas de Barcelona (Agbar) y subvencionado por el Centro de Desarrollo Técnico e Industrial (CDTI) a través del Programa Ingenio 2010 mediante la convocatoria CENIT (2007-1039). Agradecimientos especiales al operador de la depuradora, al dueño de la concesión del canal y al pueblo de Balsareny por permitir la construcción y operación de la instalación del mesocosmos.

6. Bibliografía

- [1] Belanger, S.E.; Lee, D.M.; Bowling, J.W.; LeBlanc, E.M. (2004). 'Responses of periphyton and invertebrates to a tetradecyl-pentadecyl sulfate mixture in stream mesocosms'. *Environmental Toxicology and Chemistry*, núm. 23, págs. 2.202-2.213.
- [2] Bond, N.R.; Downes, B.J. (2003). 'The independent and interactive effects of fine sediment and flow on benthic invertebrate communities characteristic of small upland streams'. *Freshwater Biology*, núm. 48, págs. 455-465.
- [3] Brooks, B.W.; Stanley, J.K.; White, J.C.; Turner, P.K.; Wu, K.B.; La Point, T.W. (2004). 'Laboratory and field responses to cadmium: an experimental study in effluent-dominated stream mesocosms'. *Environmental Toxicology and Chemistry*, núm. 23, págs. 1.057-1.064.
- [4] Cañedo Argüelles, M.; Perrée, I.; Sánchez Céspedes, R.; Rieradevall, M.; Prat, N. 'Response of stream invertebrates to short-term salinization: a mesocosm approach'. *Environmental Pollution*.
- [5] Cardinale, B.J.; Smith, C.M.; Palmer, M.A. (2001). 'The influence of initial colonization by hydropsychid caddisfly larvae on the development of stream invertebrate assemblages'. *Hydrobiologia*, núm. 455, págs. 19-27.
- [6] Coimbra, C.N.; Graca, M.A.S.; Cortes, R.M. (1996). 'The effects of a basic effluent on macroinvertebrate community structure in a temporary Mediterranean river'. *Environmental Pollution*, núm. 94, págs. 301-307.
- [7] Colville, A.; Jones, P.; Pablo, F.; Krassoi, F.; Hose, G.; Lim, R. (2008). 'Effects of chlorpyrifos on macroinvertebrate communities in coastal stream mesocosms'. *Ecotoxicology*, núm. 17, págs. 173-180.
- [8] Grantham, T.E.; Cañedo Argüelles, M.; Perrée, I.; Rieradevall, M.; Prat, N. (2012). 'A mesocosm approach for detecting stream invertebrate community responses to treated wastewater effluent'. *Environmental Pollution*, núm. 160, págs. 95-102.
- [9] Greenberg, L.A. (1994). 'Effects of predation, trout density and discharge on habitat use by brown trout, *Salmo trutta*, in artificial streams'. *Freshwater Biology*, núm. 32, págs. 1-11.
- [10] Harris, R.M.L.; Armitage, P.D.; Milner, A.M.; Ledger, M.E. (2007). 'Replicability of physicochemistry and macroinvertebrate assemblages in stream mesocosms: implications for experimental research'. *Freshwater Biology*, núm. 52, págs. 2.434-2.443.
- [11] Lamberti, G.A.; Steinman, A.D. (1993). 'Research in artificial streams - applications, uses, and abuses'. *Journal of the North American Benthological Society*, núm. 12, págs. 313-384.
- [12] Ledger, M.E.; Harris, R.M.L.; Armitage, P.D.; Milner, A.M. (2009). 'Realism of model ecosystems: an evaluation of physicochemistry and macroinvertebrate assemblages in artificial streams'. *Hydrobiologia*, núm. 617, págs. 91-99.
- [13] Odum, E.P. (1984). 'The Mesocosm'. *BioScience*, núm. 34, págs. 558-562.
- [14] Pearson, R.G.; Connolly, N.M. (2000). 'Nutrient enhancement, food quality and community dynamics in a tropical rainforest stream'. *Freshwater Biology*, núm. 43, págs. 31-42.
- [15] Petersen, J.E.; Englund, G. (2005). 'Dimensional approaches to designing better experimental ecosystems: a practitioners guide with examples'. *Oecologia*, núm. 145, págs. 216-224.
- [16] Schindler, D.W. (1998). 'Replication versus realism: the need for ecosystem-scale experiments'. *Ecosystems*, núm. 1, págs. 323-334.
- [17] Van Damme, P.A.; Hamel, C.; Ayala, A.; Bervoets, L. (2008). 'Macroinvertebrate community response to acid mine drainage in rivers of the high Andes (Bolivia)'. *Environmental Pollution*, núm. 156, págs. 1.061-1.068.