

# Balances de hojarasca en dos arroyos forestados: impacto de las plantaciones de eucalipto en el funcionamiento ecológico de un sistema lótico

Jon Molinero<sup>1</sup> & Jesús Pozo<sup>2</sup>

Dpto. Biología Vegetal y Ecología, Facultad de Ciencias, UPV/EHU, Apdo. 644, Bilbao 48080, España.

<sup>1</sup>molinero.jon@epa.gov, <sup>2</sup>gvppomaj@ehu.es

<sup>1</sup>Dirección actual: US Environmental Protection Agency, 960 College Station Rd, Athens, GA 30605, USA

## RESUMEN

La hojarasca es la fuente principal de energía en los arroyos pequeños que drenan cuencas forestales. En este trabajo se estudia el impacto de las plantaciones de eucalipto en el balance de hojarasca de un arroyo de cabecera. Se han seleccionado dos estaciones de muestreo: la estación C, situada en el arroyo de Salderrey que discurre a través de un bosque caducifolio, y la estación E, situada en el arroyo Jerguerón que drena una plantación de eucaliptos. Las tasas de procesamiento de las diferentes especies se estimaron mediante incubaciones de hojarasca en bolsas de malla (bags) de 5 mm de poro realizados entre los años 1990 y 1996. Los aportes de hojarasca desde la vegetación riparia se han determinado mediante trampas colocadas en las orillas. El transporte de hojarasca se ha determinado mediante trampas de deriva colocadas al inicio, aguas arriba, de cada tramo de estudio. La acumulación de hojarasca en el bentos se ha estimado mediante la recogida de muestras del lecho con una red Surber. Los aportes de hojas fueron menores en el arroyo que discurre a través de la plantación de eucaliptos. El cambio de vegetación también influyó en las vías de entrada de la materia orgánica y en la composición de los mismos. A pesar de la reducción en los aportes, se observó una mayor cantidad de hojas retenidas en el bentos de la estación E. Debido a la mayor retentividad que se observó en el arroyo con eucaliptos, la hojarasca fue procesada de una forma más eficiente en esta estación. Estas observaciones sugieren la importancia de mantener la vegetación riparia natural para proteger el funcionamiento ecológico de los ríos pequeños que drenan plantaciones de eucaliptos.

**Palabras clave:** Hojarasca, plantaciones de eucalipto, procesado de hojarasca, materia orgánica particulada gruesa, materia orgánica particulada bentónica, cuenca del Agüera

## ABSTRACT

*Leaf litter is the main energy source in small streams that drain forested watersheds. In this work, the impact of the eucalyptus plantation on the leaf litter budget in a headwater stream was studied. Two sampling sites were selected: site C, located in Salderrey stream which flows through deciduous forest, and site E, located in Jerguerón stream, which drains an eucalyptus plantation. Processing rates of the different species were estimated by incubations of leaf litter in 5 mm bags carried out from 1990 to 1996. Litter traps located on the stream banks measured leaf litter inputs from the riparian vegetation. Leaf litter transport was measured with drift nets located in the upper part of the study reaches. Benthic storage of leaf litter was estimated by collecting benthic samples with a Surber net. Leaf litter inputs were lower in the stream that flows through the eucalyptus plantation. Vegetation change also influenced the input way of the organic matter and its composition. Despite a reduction in the leaf litter inputs, more leaves were retained in the benthos at site E. Due to the higher retention in the eucalyptus plantation stream, leaf litter was processed more efficiently at this site. These observations suggest the importance of maintaining the natural riparian vegetation to protect the ecological functioning of small streams that flow through eucalyptus plantations.*

**Keywords:** *Leaf litter, eucalyptus plantations, leaf litter processing, coarse particulate organic matter, benthic particulate organic matter, Agüera watershed*

## INTRODUCCIÓN

La hojarasca es la fuente principal de energía en los arroyos pequeños que drenan cuencas forestales (Wallace & Webster, 1996). La hojarasca que entra al río desde la vegetación riparia es retenida dentro del cauce donde diferentes procesos físicos, químicos y biológicos favorecen su aprovechamiento por parte de los organismos fluviales (Petersen & Cummins, 1974; Graça, 2001).

Los arroyos que drenan bosques caducifolios en las zonas templadas reciben aportes de hojarasca durante el otoño, cuya composición refleja la diversidad de especies presentes en el bosque (Pozo *et al.*, 1997a; Abelho & Graça, 1998). Las plantaciones de eucalipto modifican la cantidad, la periodicidad y la composición de estas entradas de forma que los ríos que drenan plantaciones de eucaliptos reciben un aporte mayor de hojas durante el verano, siendo el eucalipto la

especie que contribuye con una mayor cantidad de hojas (Abelho & Graça, 1996; Pozo *et al.*, 1997a). La modificación de los aportes alóctonos puede suponer un impacto para los organismos del río en estos sistemas que se basan en materia orgánica de origen terrestre (Cummins *et al.*, 1989; Graça, 1993). Las hojas de eucalipto resultan tóxicas para un macroinvertebrado detritívoro del género *Tipula* (Canhoto & Graça, 1995). También, el lixiviado procedente de la hojarasca de eucalipto produce una tasa de mortalidad elevada en larvas de peces (Gerhke *et al.*, 1993). Sin embargo, no está claro que la entrada de hojas de eucalipto al río produzca un efecto negativo en las comunidades fúngicas (Pozo *et al.*, 1998). Tampoco está bien definido el impacto sobre los procesos ecológicos del río. En la región del centro de Portugal, el procesado de la hojarasca es más lento en ríos que drenan plantaciones de eucaliptos que en aquellos que soportan una vegetación natural (Abelho & Graça, 1996). Sin embargo, en el País Vasco, el procesado de la hojarasca es similar en ríos localizados en entornos caducifolios y en plantaciones de eucaliptos (Molinero & Pozo, 1996).

En este trabajo se estudia el impacto de las plantaciones de eucalipto en el balance de hojarasca de un arroyo de cabecera. Se esperan encontrar diferencias en la eficiencia de procesado de la hojarasca debido a los cambios en la periodicidad y en la calidad de los aportes de hojas al río.

## ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca del Agüera se encuentra situada en la vertiente cantábrica de la Península Ibérica. Se trata de una cuenca con predominio de sustratos silíceos. El clima es oceánico con precipitaciones distribuidas a lo largo de todo el año y temperaturas moderadas. La agricultura y la industria se encuentran poco desarrolladas y las plantaciones forestales y la ganadería representan las fuentes económicas más importantes en la zona.

Se han seleccionado dos estaciones de muestreo (Fig. 1): la estación C, situada en el arroyo de Salderrey que discurre a través de un bosque



**Figura 1.** La cuenca del río Agüera: situación de las estaciones de muestreo. *Location of the Agüera stream watershed and the sampling sites.*

**Tabla 1.** Descripción de las estaciones de muestreo (C, estación con bosque caducifolio; E, estación con eucaliptos). *Description of the sampling sites (C, deciduous forest site; E, eucalyptus plantation site).*

	Estación C	Estación E
Orden	1	1
Anchura (m)	3.57	2.22
Pendiente (%)	9	15.7
Area drenada (Ha)	184	83
% Cobertura sobre el cauce	90	66
% Cobertura riparia	100	76
Especies dominantes	<i>Corylus avellana</i> L. <i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertner <i>Quercus robur</i> L.	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill. <i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertner
Sustrato dominante	Lecho rocoso Guijarros	Rocas Cantos rodados

caducifolio, y la estación E, situada en el arroyo Jerguerón que drena una plantación de eucaliptos. Ambas estaciones presentan un cauce estrecho de gradiente elevado y con pendientes pronunciadas en las orillas (Tabla 1).

### CÁLCULO DEL BALANCE

La pérdida de materia orgánica durante el procesado de las hojas se ha ajustado a un modelo exponencial negativo:

$$M_t = M_o e^{-kt} \quad (1)$$

donde  $M_t$  es la masa remanente (g),  $M_o$  es la masa inicial (g),  $k$  es la tasa de procesado ( $a^{-1}$ ) y  $t$  es el tiempo de incubación (a).

La tasa de procesado ( $k$ ) resulta de la fragmentación del material ( $k_{frag}$ ,  $a^{-1}$ ) y también de pérdidas en forma de materia orgánica disuelta (MOD) y por respiración ( $k_{nofrag}$ ,  $a^{-1}$ ):

$$k = k_{frag} + k_{nofrag} \quad (2)$$

Asumiendo que el río se encuentra en estado de equilibrio respecto a las entradas y salidas de hojarasca, se puede calcular la tasa de renovación del material retenido en el bentos ( $k_{tot}$ ,  $a^{-1}$ ):

$$E / B = k_{tot} \quad (3)$$

donde  $E$  ( $g\ m^{-2}\ a^{-1}$ ) son las entradas de hojarasca y  $B$  ( $g\ m^{-2}$ ) es la cantidad de hojarasca en el bentos.

Las entradas de hojarasca se producen en forma de aportes directos desde la vegetación riparia ( $E_{rip}$ ,  $g\ m^{-2}\ a^{-1}$ ) o por transporte desde los tramos situados aguas arriba ( $E_{tra}$ ,  $g\ m^{-2}\ a^{-1}$ ).

La tasa de renovación a su vez se puede expresar como resultado de pérdidas debidas al transporte aguas abajo ( $k_{tra}$ ,  $a^{-1}$ ) o al procesado de los materiales ( $k$ ,  $a^{-1}$ ):

$$(E_{tra} + E_{rip}) / B = k_{tra} + k \quad (4)$$

y aplicando (2):

$$(E_{tra} + E_{rip}) / B = k_{tra} + k_{frag} + k_{nofrag} \quad (5)$$

que permite estimar las salidas por transporte ( $S_{tra}$ ,  $g\ m^{-2}\ a^{-1}$ ) y procesado ( $S_{fra}$ ,  $S_{nofrag}$ ,  $g\ m^{-2}\ a^{-1}$ ):

$$S_{tra} = B k_{tra} \quad (6)$$

$$S_{frag} = B k_{frag} \quad (7)$$

$$S_{nofrag} = B k_{nofrag} \quad (8)$$

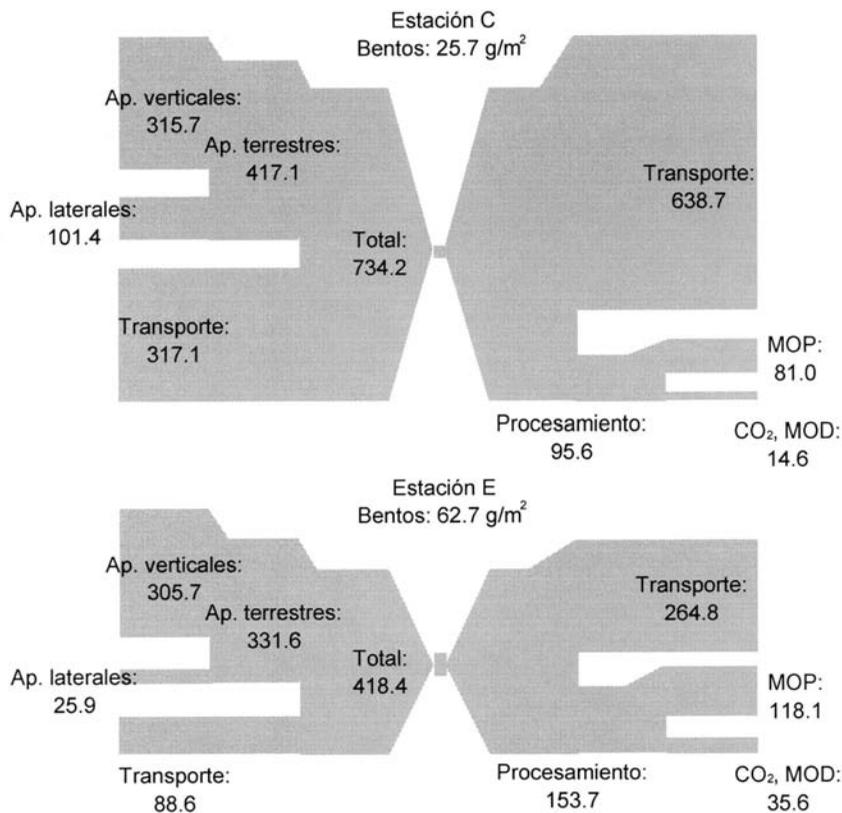
### ORIGEN DE LOS DATOS

Las tasas de procesado ( $k$ ) de las diferentes especies se estimaron mediante incubaciones de hojarasca en bolsas de malla (bags) de 5 mm de poro

realizadas en varios estudios entre los años 1990 y 1996 (Pozo, 1993; Molinero *et al.*, 1996; Pozo *et al.*, 1998). La tasa de pérdida de MOD y de respiración ( $k_{\text{nofrag}}$ ) se estimó de la misma forma, utilizando bags con mallas de 20  $\mu\text{m}$  (González, 1997; González *et al.*, 1998). Finalmente, la tasa de fragmentación ( $k_{\text{frag}}$ ) del material se ha estimado por diferencia a partir de (2).

Los aportes de hojarasca desde la vegetación riparia se determinaron mediante trampas colocadas en las orillas (Pozo *et al.*, 1997a). El transporte de hojarasca se determinó mediante trampas de deriva colocadas al inicio de cada tramo de estudio. La acumulación de hojarasca en el bentos se estimó mediante la recogida de muestras del lecho con una red Surber (30 x 30 cm, malla de 1 mm). Los aportes de hojarasca y el

bentos se muestrearon al menos mensualmente desde Octubre de 1993 hasta Marzo de 1996. El transporte se determinó con la misma periodicidad desde Octubre de 1993 hasta Diciembre de 1994. La contribución de las diferentes especies riparias a los aportes de hojarasca se ha tomado de Pozo *et al.* (1997a). La materia orgánica recogida en las redes de deriva y en el bentos también se clasificó en categorías y especies siguiendo la metodología detallada en Pozo *et al.* (1997a). Todos los datos se han expresado en términos de peso seco libre de cenizas (PSLC). El balance se ha limitado a las hojas de aliso, castaño y roble, en la estación C, y a las hojas de aliso y eucalipto, en la estación E, que suponen el 88 y el 98% de los aportes totales de hojas en cada estación respectivamente.



**Figura 2.** Balances de hojarasca ( $\text{g m}^{-2} \text{a}^{-1}$ ) en los dos tramos estudiados. Este balance incluye el 88 % de los aportes de hojas en la estación C y el 98 % en la estación E (MOD, materia orgánica disuelta; MOP, materia orgánica particulada). *Leaf-litter budgets ( $\text{g m}^{-2} \text{y}^{-1}$ ) in the study reaches. This budget includes 88 % of the leaf litter inputs at site C and 98 % at site E (MOD, dissolved organic matter; MOP, particulate organic matter).*

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las entradas de hojas al río fueron menores en el arroyo que discurre a través de la plantación de eucaliptos (Fig. 2, Tabla 2). La reducción observada se situó en torno al 50%, 418 g m<sup>-2</sup> en la estación E frente a 734 g m<sup>-2</sup> en la estación C. Esta diferencia es mayor si tenemos en cuenta que los aportes utilizados en este balance representan en torno al 90% de los aportes totales de hojas en la estación C.

Existen dos razones principales que explican esta reducción en las entradas. En primer lugar, se ha observado que la producción de hojarasca en plantaciones de eucaliptos es menor que en bosques caducifolios (Abelho & Graça, 1996; Pozo *et al.*, 1997a). En una plantación de eucaliptos, los árboles son jóvenes y se encuentran más espaciados que en un bosque natural. Estas condiciones favorecen un dosel arbóreo abierto y una menor producción de hojarasca. Además, la composición de los aportes también varía porque el eucalipto contribuye con más ramas y más corteza al río pero menos hojas que las especies caducifolias (Abelho & Graça, 1996; Pozo *et al.*, 1997a). Sin embargo, la disminución en la producción de hojas solo explica una

pequeña parte de las diferencias observadas en los aportes totales al río.

En segundo lugar, el cambio de vegetación también influye en las vías de entrada de la materia orgánica (Fig. 2). Algunas de las vías de entrada que estaban activas en el bosque caducifolio se redujeron de una forma considerable en la plantación de eucaliptos. El aporte lateral de hojas en el eucaliptal fue un 75% menor que en el bosque caducifolio y también se observó una reducción similar en las entradas por transporte. Las hojas de eucalipto son más pesadas que las hojas caducifolias y esto dificulta su movimiento desde las orillas hacia el cauce (Pozo *et al.*, 1997a). También, el dosel arbóreo abierto permite el crecimiento de un estrato arbustivo denso cerca del cauce que limita el movimiento de las hojas depositadas en el suelo.

Por otro lado, la disminución del transporte se debe a diferencias en el tamaño de las cuencas de drenaje y también a diferencias en el balance hídrico que resultan en una disminución del caudal en el arroyo que drena la plantación de eucaliptos (Molinero & Pozo, 2002). La disminución de las entradas indirectas al cauce contribuye a la reducción de los aportes totales de hojas en la estación E de una

**Tabla 2.** Balances de hojarasca en los dos ríos estudiados (C, arroyo con bosque caducifolio; E, arroyo con eucaliptos; MOP, materia orgánica particulada; MOD, materia orgánica disuelta). El balance se ha calculado para tramos de río de 50 m. *Leaf-litter budgets in the two studied streams (C, deciduous forest site; E, eucalyptus plantation site; MOP, particulate organic matter; MOD, dissolved organic matter). The budgets were calculated for stream reaches 50 m in length.*

Estación C	Aportes laterales g m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup>	Aportes verticales g m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup>	Entradas transporte g m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup>	Bentos g m <sup>-2</sup>	Salidas transporte g m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup>	Procesado MOP g m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup>	Procesado CO <sub>2</sub> , MOD g m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup>
Aliso	15.9	84.0	74.8	7.8	109.1	61.2	4.4
Castaño	23.2	79.1	108.3	4.8	198.4	9.5	2.7
Roble	62.3	152.6	134.0	13.1	331.2	10.3	7.4
Total	101.4	315.7	317.1	25.7	638.7	81.0	14.6
Estación E	Aportes laterales g m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup>	Aportes verticales g m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup>	Entradas transporte g m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup>	Bentos g m <sup>-2</sup>	Salidas transporte g m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup>	Procesado MOP g m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup>	Procesado CO <sub>2</sub> , MOD g m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup>
Aliso	0.4	0.6	55.6	6.6	0.0	52.8	3.7
Eucalipto	25.5	305.1	31.2	56.1	264.7	65.2	31.8
Total	25.9	305.7	86.8	62.7	264.7	118.1	35.6

forma más importante que las diferencias en la producción de hojarasca.

La plantación de eucaliptos modifica la composición de los aportes de hojas al cauce (Pozo *et al.* 1997a). En el bosque caducifolio, las entradas de hojas se componen de diferentes especies: aliso, roble castaño y otras como avellano, acebo, olmo, etc. que no se incluyen en este balance porque representaron una fracción menor de los aportes. En el caso de las especies incluidas en este balance, una porción variable de las entradas, entre el 38 y el 50% dependiendo de la especie, llegó al río por transporte desde la cuenca de drenaje (Tabla 2). En el eucaliptal, el eucalipto es la especie más importante y llega a representar más del 95% de los aportes terrestres de hojas (Pozo *et al.*, 1997a). Sólo un porcentaje pequeño de las hojas de eucalipto, en torno al 7%, entró al tramo de estudio por transporte. Por el contrario, el transporte representó la principal vía de entrada de las hojas de aliso en esta estación (Tabla 2).

A pesar de la reducción en los aportes, se observó una mayor cantidad de hojas retenidas en el bentos de la estación E (Fig. 2, Tabla 2). La menor anchura y profundidad del cauce (Larrañaga, 1998), pero también la distribución temporal de los aportes de hojas de eucalipto, cuyo máximo anual en verano coincide con caudales bajos en el río (Abelho & Graça, 1996; Pozo *et al.*, 1997b; Molinero & Pozo, 2002) favorecen la retención de la hojarasca en esta estación.

En la Tabla 3 se ha calculado la eficiencia en el procesamiento de las diferentes especies como porcentaje de hojas que son procesadas respecto a las entradas. En ambas estaciones, se ha estimado la eficiencia de procesamiento a partir de las entradas totales o incluyendo solamente los aportes de origen terrestre. Debido a la mayor retención que se observa en el arroyo con eucaliptos, la hojarasca es procesada de una forma más eficiente en esta estación. Estas observaciones confirman los resultados obtenidos mediante un modelo del procesamiento de los aportes mensuales (Pozo *et al.*, 1997b).

En la estación C, la eficiencia en el procesamiento de las hojas de las diferentes especies osciló

**Tabla 3.** Eficiencia en el procesamiento de los aportes de hojarasca expresada como el porcentaje de hojas que son procesadas respecto a las entradas (C, arroyo con bosque caducifolio; E, arroyo con eucaliptos). *Leaf-litter processing efficiency measured as the percentage of total leaf inputs that is processed (C, deciduous forest site; E, eucalyptus plantation site).*

Estación C	con transporte (%)	sin transporte (%)
Aliso	37.5	65.7
Castaño	5.8	11.9
Roble	5.1	8.2
Total	13.0	22.9
Estación E	con transporte (%)	sin transporte (%)
Aliso	100.0	> 100.0
Eucalipto	26.8	29.3
Total	36.7	46.3

entre el 5 y el 38% (Tabla 3). Estos valores se situaron entre el 8 y el 65% si no se tienen en cuenta las entradas por transporte. La baja eficiencia observada sugiere que los aportes exceden la capacidad de procesamiento del sistema y, por lo tanto, la disponibilidad de hojas no representa un factor limitante para las tasas de procesamiento. En el caso del eucalipto, la situación fue similar y menos del 30% de los aportes fueron procesados dentro del tramo estudiado. Por el contrario, la eficiencia en el procesamiento de las hojas de aliso en la estación E fue del 100%, o superior si no se incluyen las entradas por transporte (Tabla 3). Estos valores indican que los aportes de aliso de origen terrestre no son suficientes para soportar las tasas de procesamiento observadas y el transporte representa una fuente de hojas necesaria para el río.

El impacto de la plantación de eucaliptos sobre las transferencias de energía en el río es difícil de evaluar porque existen procesos físicos y biológicos que contribuyen al procesamiento de la hojarasca y, por lo tanto, la cantidad de hojas que es utilizada por los fragmentadores no se puede calcular a partir de las tasas de procesamiento. Sin embargo, el aliso fue procesado de una forma más eficiente que otras especies en las dos estaciones (Tabla 3) y numerosos trabajos apuntan que esta especie es seleccionada como fuente de

alimento por los fragmentadores frente a otros substratos (Basaguren & Pozo, 1994; Canhoto & Graça, 1995; Canhoto & Graça, 1996). Por otra parte, las hojas de eucalipto resultan tóxicas para algunos fragmentadores y sólo son utilizadas tras un periodo largo de incubación en el río (Pozo, 1993; Graça *et al.*, 2002).

La alta eficiencia en el procesado del aliso que se observa en la estación E sugiere que esta especie está siendo seleccionada por los fragmentadores frente al eucalipto debido a su valor como fuente de alimento. Los aportes de aliso provienen de la regeneración de la vegetación riparia natural bajo la plantación de eucaliptos. Sin embargo, estas plantaciones son taladas cada 13 ó 15 años y la vegetación natural no alcanza un buen desarrollo, limitando los aportes de origen terrestre. En estas condiciones, el transporte se convierte en la fuente principal de hojas de aliso en el tramo estudiado.

En la cuenca del Agüera, el 75% de los taxones de macroinvertebrados bentónicos en arroyos que drenan plantaciones de eucaliptos (Otermin *et al.*, 2002) se encuentra también en arroyos que discurren a través de bosques caducifolios (Riaño *et al.*, 1993; González, 2000). No se observan diferencias en las tasas de procesamiento de la hojarasca entre los arroyos situados en plantaciones de eucaliptos y los que presentan una vegetación riparia natural (Molinero & Pozo, 1996). El menor impacto que las plantaciones de eucalipto causan en la cuenca del Agüera cuando se comparan con arroyos similares en Portugal (Abelho & Graça, 1996) se puede deber a los aportes de hojas caducifolias que ayudan a soportar el funcionamiento ecológico del río (Molinero & Pozo, 2002). Sin embargo, estos aportes son escasos y probablemente las comunidades de fragmentadores en arroyos que drenan plantaciones de eucaliptos se encuentren limitadas por la disponibilidad y la calidad de las fuentes de alimento.

En resumen, se puede afirmar que las plantaciones de eucaliptos modifican de una forma importante el balance de hojas en los arroyos de cabecera, las cuales representan el principal recurso energético en arroyos pequeños. Por lo

tanto, la creación de bandas de vegetación natural en las orillas es aconsejable de cara a proteger el funcionamiento ecológico de los sistemas lóticos que drenan plantaciones de eucaliptos.

## AGRADECIMIENTOS

Este proyecto ha sido financiado por el Programa de Formación de Personal Investigador del Departamento de Educación, Universidades e Investigación del Gobierno Vasco, por los proyectos de investigación UPV 118.310-EA154/92 y UPV 118.310-EA043/93 de la Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea y por el proyecto de investigación DGICYT PB92-0459 del Ministerio de Educación y Ciencia. Los autores quieren agradecer la colaboración de Z. Arteaga, A. Elosegi, A. Basaguren, J. R. Díez, J. M. González, E. González, A. López de Alda, A. López de Luzuriaga y P. Riaño en el trabajo de campo y en el análisis de las muestras.

## BIBLIOGRAFÍA

- ABELHO, M. & M. A. S. GRAÇA. 1996. Effects of eucalyptus afforestation on leaf litter dynamics and macroinvertebrate community structure of streams in Central Portugal. *Hydrobiologia*, 324: 195-204.
- ABELHO, M. & M. A. S. GRAÇA. 1998. Litter in a first-order stream of a temperate deciduous forest (Margarça Forest, central Portugal). *Hydrobiologia*, 386: 147-152.
- BASAGUREN, A. & J. POZO. 1994. Leaf litter processing of alder and eucalyptus in the Agüera stream system (Northern Spain). 2. Macroinvertebrates associated. *Arch. Hydrobiol.*, 132: 57-68.
- CANHOTO, C. & M. A. S. GRAÇA. 1995. Food value of introduced eucalypt leaves for a Mediterranean stream detritivore *Tipula lateralis*. *Freshwat. Biol.*, 34: 209-214.
- CANHOTO, C. & M. A. S. GRAÇA. 1996. Decomposition of *Eucalyptus globulus* leaves and three native leaf species (*Alnus glutinosa*, *Castanea sativa* and *Quercus faginea*) in a Portuguese low order stream. *Hydrobiologia*, 333: 79-85.

- CUMMINS, K. W., M. A. WILZBACH, D. M. GATES, J. B. PERRY & W. B. TALIAFERRO. 1989. Shredders and riparian vegetation. *BioScience*, 39: 24-30.
- GEHRKE, P. C., M. B. REVELL & A. W. PHILBEY. 1993. Effects of river red gum, *Eucalyptus camaldulensis*, litter on golden perch, *Macquaria ambigua*. *J. Fish Biol.*, 43:265-279.
- GONZÁLEZ, E. 1997. *Repercusiones de las modificaciones en los usos del suelo de una cuenca fluvial sobre los aportes orgánicos de origen terrestre y su procesado en el río*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias, UPV/EHU, Bilbao.
- GONZÁLEZ, J. M. 2000. *Producción secundaria de macroinvertebrados fluviales de la cuenca del Agüera*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias, UPV/EHU, Bilbao.
- GONZÁLEZ, J. M., A. BASAGUREN & J. POZO. 1998. Mechanisms involved in leaf litter processing: influence of bag mesh size. In: *Advances in river bottom ecology*. G., Bretschko & J. Helesic (eds.): 89-97. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands.
- GRAÇA, M. A. S. 1993. Patterns and processes in detritus-based stream systems. *Limnologia*, 23: 107-114.
- GRAÇA, M. A. S. 2001. The role of invertebrates on leaf litter decomposition in streams - a review. *Internat. Rev. Hydrobiol.*, 86: 383-393.
- GRAÇA, M. A. S., J. POZO, C. CANHOTO & A. ELOSEGI. 2002. Effects of *Eucalyptus* plantations on detritus, decomposers, and detritivores in streams. *The ScientificWorld Journal*, 2: 1173-1185.
- LARRAÑAGA, S. 1998. *Retentividad de los cauces en la cuenca del río Agüera*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, UPV/EHU, Bilbao.
- MOLINERO, J., J. POZO & E. GONZÁLEZ. 1996. Litter breakdown in streams of the Agüera catchment: influence of dissolved nutrients and land use. *Freshwat. Biol.*, 36: 745-756.
- MOLINERO, J. & J. POZO. 2002. Impact of eucalypt plantations on the benthic storage of coarse particulate organic matter, nitrogen and phosphorus in small streams. *Verh. Int. Verein. Limnol.*, 28: 540-544.
- OTERMIN, A., A. BASAGUREN & J. POZO. 2002. Re-colonization by the macroinvertebrate community after a drought period in a first-order stream (Agüera basin, Northern Spain). *Limnetica*, 21: 117-128.
- PETERSEN, R. C. & K. W. CUMMINS. 1974. Leaf processing in a woodland stream. *Freshwat. Biol.*, 4: 343-368.
- POZO, J. 1993. Leaf litter processing of alder and eucalyptus in the Agüera stream system (North Spain) I. Chemical changes. *Arch. Hydrobiol.*, 127: 299-317.
- POZO, J., E. GONZÁLEZ, J. R. DÍEZ, J. MOLINERO & A. ELOSEGI. 1997a. Inputs of particulate organic matter to streams with different riparian vegetation. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 16: 602-611.
- POZO, J., E. GONZÁLEZ, J. R. DÍEZ & A. ELOSEGI. 1997b. Leaf litter budgets in two contrasting forested streams. *Limnética*, 13: 77-84.
- POZO, J., A. BASAGUREN, A. ELÓSEGUI, J. MOLINERO, E. FABRE & E. CHAUVET. 1998. Afforestation with *Eucalyptus globulus* and leaf litter decomposition in streams of northern Spain. *Hydrobiologia*, 373/374: 101-109.
- RIAÑO, P., A. BASAGUREN & J. POZO. 1993. Variaciones espaciales en las comunidades de macroinvertebrados del río Agüera (País Vasco-Cantabria) en dos épocas con diferentes condiciones de régimen hidrológico. *Limnetica*, 9: 19-28.
- WALLACE, J. B. & J. R. WEBSTER. 1996. The role of macroinvertebrates in stream ecosystem function. *Ann. Rev. Entomol.*, 41: 115-139.