

## ***El balance de carbono: ejemplo en el Río Chicamo(Cuenca del Segura)***

***Autora: M.R. Vidal-Abarca (2007)***

Una primera aproximación al estudio funcional de un río, consiste en analizar las entradas, salidas y su capacidad de almacenaje de materiales o elementos, es decir realizar el balance de materia orgánica. Estos balances proporcionan información sobre el origen y características de la materia orgánica, lo cual permite entender la dinámica interna de estos sistemas (Minshall, 1996). Además relativiza la importancia de cada una de las fuentes de energía y permite calcular la eficiencia del río en el procesado de estos materiales (Webster & Meyer, 1997a). Recientemente, se le esta prestando mucha atención a las relaciones estequiométricas (C:N:P) en los organismos, en su alimento, en las relaciones tróficas y, en definitiva en todo el ecosistema apareciendo una nueva línea de investigación, *estequiometría ecológica*, que intenta explicar como se reciclan y se transfieren el carbono y los nutrientes entre niveles tróficos.

Uno de los problemas del cálculo de los balances de carbono radica en la cantidad (en cuanto a tiempo) y calidad de datos de que se disponen (Cummins, 1988), de ahí la escasez de estudios que calculan los balances de materia orgánica en ríos (Fisher, 1977; Mulholland, 1981a y b; Triska et al., 1982). Una dificultad añadida es que un buen balance debe de valorar (no deducir) todas las entradas y salidas posibles de materia orgánica (Cummins et al., 1983). Los trabajos de Cummins (1988) y Webster et al. (1990) son una buena revisión de los problemas que se presentan en la elaboración de los balances de carbono.

La construcción de un balance de materia orgánica se basa en una aproximación a un balance de masas donde las entradas, las salidas y el material acumulado se pueden cuantificar y formular en los siguientes términos:

$$S + R = E + P + \Delta M$$

siendo S, y E las salidas y entradas del sistema (materiales alóctonos) de las que se independiza R (la respiración) y P (producción) debido a su origen autóctono. M es la materia orgánica acumulada. En un balance equilibrado los dos términos de la ecuación deben ser iguales y el balance cero, pero si la suma del lado izquierdo de la ecuación excede a la suma del lado derecho, el sistema pierde materia orgánica. A la inversa, el sistema acumularía materia orgánica.

¿Cuáles son las entradas y salidas posibles en un tramo de río?. Al menos es posible cuantificar tres vías de entradas de materiales alóctonos diferentes:

- por transporte desde arriba a través del flujo de agua
- desde los laterales (zonas riparias) del tramo seleccionado
- por vía hiporreica o subsuperficial

las salidas ocurren:

- por transporte río-abajo a través del flujo de agua
- por vía hiporreica o subsuperficial

La cuestión es que en cada vía la importancia relativa del tipo de materia orgánica que se incorpora o sale del sistema es diferente. Así, por vía hiporreica entra fundamentalmente materia orgánica disuelta (MOD) (Fiebig & Lock, 1991; Jones et al., 1996; Bernard, et al., 1994; Maamri et al., 1996; Meyer et al.; 1998), mientras que desde los laterales se incorpora, sobre todo materia orgánica gruesa (MOPG) proveniente de hojas y madera de la vegetación ribereña (Bilby & Bisson, 1992; Campbell et al., 1992a y b; Maamri et al., 1994; 1997; Wallace et al., 1995). Así que es necesario analizar las entradas y salidas, separando las distintas fracciones de materia orgánica, al menos en cuatro diferentes: MOD (materia orgánica disuelta,  $< 0.45 \mu\text{m}$ ), MOPG (materia orgánica particulada gruesa,  $> 1000 \mu\text{m}$ ), MOPF (materia orgánica particulada fina,  $50\text{-}1000 \mu\text{m}$ ) y MOPU (materia orgánica particulada ultrafina,  $0.45\text{-}50 \mu\text{m}$ ). Pero además, no solo los materiales inertes van a formar parte de este balance, la producción primaria del sistema y la

respiración, en términos metabólicos, también deben ser incorporados como entrada y salida, respectivamente.

Tras el primer balance realizado por Fisher y Likens (1973) para un tramo del río Bear Brook, donde quedaba de manifiesto la importancia, en términos cuantitativos, del materia alóctono frente al autóctono en el balance energético del río, otros autores han llamado la atención sobre la importancia de este último material, sobre todo en regiones áridas y semiáridas, donde la vegetación ribereña o es muy escasa o no existe (Naiman, 1976; Minshall, 1978; Bush & Fisher, 1981; Boulton & Lake, 1990; Jones et al., 1997; Martínez, et al., 1998; Gasith & Resh, 1999).

¿Cómo se contabiliza el incremento de materia orgánica en el tramo?. De igual manera que para las entradas y salidas del sistema se reconocen dos orígenes del material orgánico: autóctono y alóctono. En el primer caso materializado en el crecimiento de los productores primarios acuáticos (macroalgas, perifiton, musgos, etc) y en el segundo por la descomposición de materiales alóctonos (Smock, 1990; Boulton & Lake, 1992a). Ambos orígenes no son fácilmente separables (ver por ejemplo, Kirtzberg et al, 2004) y metodológicamente se suelen contabilizar por diferencia.

El balance de materia orgánica anual permite, entre otros, cuantificar la importancia de las fuentes energéticas del río o tramo del mismo en estudio (Webster & Meyer, 1997b). Sin embargo, no deja de ser una simplificación, sobre todo porque diferentes eventos hidrológicos alteran la dominancia e importancia relativa de una vía con respecto a otra y, en consecuencia, del origen y el transporte del material orgánico. Además, en ríos intermitentes y temporales donde, con cierta asiduidad ocurren avenidas de agua y sequías, estos balances deben realizarse con la perspectiva de los efectos que inducen las perturbaciones hidrológicas a las que se encuentran sometidos.

### Datos para el Río Chícamo:

Durante un año de estudio, unos 13750 kg de carbono entraron al tramo del Río Chícamo seleccionado (100 m), de los cuales el 61.32 % es de origen autóctono, siendo el epipelon la comunidad que mayormente contribuye a ello (85.65 % del total de la producción primaria bruta). Las pérdidas más importantes, sin embargo hay que atribuir las a la salida de COD (carbono orgánico disuelto, 90.78 %), mientras que las pérdidas por respiración solo contribuyen en un 9 % del total (Tabla 1).

El incremento de materia orgánica bentónica almacenada se estimó en 111 kg de carbono al año, siendo alrededor del 22 % atribuible a la comunidad de perifiton (11804 kg C). La relación entre material autóctono y alóctono fue de 1.58 lo cual indica la dominancia de los materiales orgánicos autóctonos como base de la cadena alimentaria en el Río Chícamo.

	Kg C / año	%
<b>Entradas</b>		
MOD	5251.77	38.19
MOP total	66.88	0.49
MOPG	(6.34)	(9.48)
MOPF	(60.49)	(90.45)
MOPUF	(0.013)	(0.02)
Producción Primaria Bruta Total	8432.15	61.32
PPB (EPILITON)	(442.99)	(5.25)
PPB ( <i>Chara</i> )	(766.83)	(9.09)
PPB (perifiton = EPIPELON)	(7222.33)	(85.65)
<b>TOTAL ENTRADAS</b>	<b>13750.80</b>	
<b>Salidas</b>		
MOD	2110.63	90.78
MOP total	5.48	0.24
MOPG	(2.79)	(50.91)
MOPF	(2.69)	(49.09)
MOPUF	(0.006)	(0.2)
Respiración Total	208.91	8.99
R (EPILITON)	(19.68)	(9.42)
R ( <i>Chara</i> )	(17.21)	(8.24)
R (perifiton = EPIPELON)	(172.02)	(82.34)
<b>TOTAL SALIDAS</b>	<b>2325.02</b>	

---

<b>Almacen</b>		
MOPB Total	52222.25	
<b>Incremento MOPB</b>	<b>110.95</b>	
MOPBG	(1064.62)	(2.04)
Incremento MOPBG	-9.56	
MOPBF	(34615.64)	(66.29)
Incremento MOPBF	153.56	
MOPBUF	(16565.30)	(31.72)
Incremento MOPBUF	-33.05	
<b>Biomasa Perifiton</b>	11804.02	
Incremento PERIFITON	23.341	

---

Tabla 1. Balance de carbono anual del tramo del Río Chícamo estudiado. Los datos se expresan en kg de carbono. MOD = materia orgánica disuelta; MOP = materia orgánica particulada; MOPG = materia orgánica particulada gruesa; MOPF = materia orgánica particulada fina; MOPUF = materia orgánica particulada ultrafina; MOPB = materia orgánica particulada bentónica; PPB = producción primaria bruta; R = respiración.

El Río Chícamo, se comporta, en términos globales, como un “sumidero” de materia orgánica. Es un “acumulador” de materiales que, deben ser procesados, probablemente por las bacterias (Kritzberg et al., 2004), aunque desconocemos su importancia en términos cuantitativos. También desconocemos cuanta cantidad de la materia orgánica acumulada se utiliza en producción secundaria (es decir como fuente de alimentación para los consumidores). Cebrian (2004), en una revisión reciente sobre el papel de los organismos consumidores en distintos ecosistemas, deduce que los herbívoros acuáticos (microorganismos descomponedores, e invertebrados y vertebrados detritívoros), acumulan como biomasa, tres veces más carbono que los terrestres, y lo devuelven al medio con una velocidad ligeramente mayor que los terrestres. ¿Qué papel juegan las bacterias y los consumidores en el procesado de la materia orgánica en el río Chícamo?

### ***Bibliografía citada***

Bernard, C.; A. Fabre; P. Vervier. 1994. DOC cycling in surface and ground waters interaction zone in a fluvial ecosystem. Verh. Internat. Verein. Limnol., 25: 1410-1413.

Bilby, R.E.; P.A. Bisson. 1992. Allochthonous versus autochthonous organic matter contributions to the trophic support of fish populations in clear-cut and old-growth forested stream. *Can. J. Fish. Aq. Sci.*, 49: 540-551.

Boulton, A.J., P.S.A. Lake, 1990. The ecology of two intermittent streams in Victoria, Australia. I. Multivariate analyses of physicochemical features. *Freshwat. Biol.*, 24: 123-141.

Boulton, A.J., P.S.A. Lake, 1992. Benthic organic matter and detritivorous macroinvertebrates in two intermittent streams in south-eastern Australia. *Hydrobiologia*, 241: 107-118.

Busch, D.E.; S.G. Fisher. 1981. Metabolism of a desert stream. *Freshw. Biol.*, 11: 301-307.

Campbell, I.C.; K.R. James; B.T. Hart; A. Devereaux. 1992a. Allochthonous coarse particulate organic material in forest and pasture reaches of two south-eastern Australian streams. I. Litter accession. *Freshw. Biol.*, 27: 341-352.

Campbell, I.C.; K.R. James; B.T. Hart; A. Devereaux. 1992b. Allochthonous coarse particulate organic material in forest and pasture reaches of two south-eastern Australian streams. II. Litter processing. *Freshw. Biol.*, 27: 353-365.

Cebrian, J., 2004. Role of first-order consumers in ecosystem carbon flow. *Ecol. Lett.*, 7: 232-240.

Cummins, K.W. 1988. The study of stream ecosystems: A functional view. Pp.: 247-262. In: Pomeroy, R.; J.J. Albert (Eds.). *Concepts of ecosystem ecology*. Springer-Verlag. Berlin.

Cummins, K.W., J.R. Sedell, F.J. Swanson, G.W. Minshall, S.G. Fisher, C.E. Cushing, R.C. Petersen, R.L.Vannote, 1983. Organic matter budgets for stream ecosystems: a problems in their evaluation. In: Barnes J.R. and G.W.Minshall. *Stream ecology. Application and testing of general ecology theory*. Plenum Press. New York & London.

Fiebig, D.M.; M.A. Lock. 1991. Immobilization of dissolved organic matter from groundwater discharging through the stream bed. *Freshw. Biol.*, 26: 45-55.

Fisher, S.G. 1977. Organic matter processing by a stream-segment ecosystem: Fort River, Massachusetts, USA. *Rev. gesantem Hydrobiol.*, 62: 701-727.

Fisher, S.G.; G.E Likens. 1973. Energy flow in Bear Brook, New Hampshire: an integrative approach to stream ecosystem metabolism. *Ecol. Monogr.*, 43: 421-439.

- Gasith, A., V.H. Resh, 1999. Streams in Mediterranean Climate Regions: Abiotic Influences and Biotic Responses to Predictable Seasonal Events. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 30: 51-81.
- Jones, J.B.; S.G. Fisher; N.B. Grimm. 1996. A long-term perspective of dissolved organic carbon transport in Sycamore Creek, Arizona, USA. *Hydrobiologia*, 317: 183-188.
- Jones, J.B.; J.D. Schade; S.G. Fisher; N.B. Grimm. 1997. Organic matter dynamics in Sycamore Creek, a desert stream in Arizona, USA. In: Webster, J.R.; J.L.Meyer (Eds.). *Stream organic matter budgets: 78-82*. J. N. Am. Benthol. Soc., 16: 3-161.
- Kritzberg, E.S., J.J. Cole, M.L. Pace, W. Graneli, D.L. Bade, 2004. Autochthonous versus allochthonous carbon sources of bacteria: results from whole-lake <sup>13</sup>C addition experiments. *Limnol. Oceanogr.*, 49: 588-596.
- Maamri, A.; H. Chergui; E. Pattee. 1994. Allochthonous input of coarse particulate organic matter to a Moroccan mountain stream. *Acta Oecologica. Oecol. Gener.*, 15(4): 495-508.
- Maamri, A.; H. Chergui; E. Pattee. 1996. Dynamics of fine particulate and dissolved organic matter in a Moroccan mountain stream: Effects on stream flow and litter quality. *Pol. Arch. Hydrobiol.*, 43(4): 401-410.
- Maamri A., H.Chergui, E.Pattee, 1997. Leaf litter processing in a temporary northeastern Moroccan river. *Arch. Hydrobiol.*, 140: 513-531.
- Martinez B., J. Velasco, M.L. Suárez, M.R. Vidal-Abarca, 1998. Benthic organic matter dynamics in an intermittent stream in South-East Spain. *Arch. Hydrobiol.*, 141: 303-320.
- Meyer, J.L.; J.B. Wallace; S.L Eggert. 1998. Leaf litter as a source of dissolved organic carbon in streams. *Ecosystems*, 1: 240-249.
- Minshall, G.W. 1978. Autotrophy in stream ecosystems. *BioScience*, 28: 767-771.
- Minshall, G.W. 1996. Organic matter budgets. In: Hauer, F.R.; G.A. Lamberti (Eds.). *Methods in stream ecology: 591-605*. Academic Press. San Diego.
- Mulholland, P.J. 1981a. Formation of particulate organic carbon in water from a southeastern swamp-stream. *Limnol. Oceanogr.*, 26(4): 790-795.
- Mulholland, P.J. 1981b. Organic carbon flow in a swamp-stream ecosystem. *Ecol. Monogr.* 51: 307-322.
- Naiman, R.J. 1976. Primary production, standing stock, and export of organic matter in a Mohave Desert thermal stream. *Limnol. Oceanogr.*, 21(1): 60-73.

Smock, L.A. 1990. Spatial and temporal variation in organic matter storage in low-gradient, headwater stream. *Arch. Hydrobiol.*, 118(2): 169-184.

Triska, F.J.; J.R. Sedell; S.V. Gregory. 1982. Coniferous forest streams. Pp.: 292-332. In: Edmonds, R.L. (Ed.). *Analysis of coniferous forest ecosystems in the western United State*. Hutchinsinon Ross. Stroudsburg, Pennsylvania.

Wallace, J.B., M.R. Whiles, S. Eggert, T.F. Cuffney, G.J. Lugthart, K. Chung, 1995. Long-term dynamics of coarse particulate organic matter in three Appalachian Mountain streams. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 14: 217-232.

Webster, J.R., S.W. Golladay, E.F. Benfield, D.J. D'Angelo, G.T. Peters, 1990. Effects of forest disturbance on particulate organic matter budgets of small streams. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 9: 120-140.

Webster, J.R.; J.L. Meyer. 1997a. Stream organic matter budgets. Introduction. Pp.: 5-13. In: Webster, J.R.; J.L. Meyer (Eds.). *Stream organic matter budgets*. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 16: 3-161.

Webster, J.R.; J.L. Meyer. 1997b. Organic matter budgets for streams.a synthesis. Pp.: 141-161. In: Webster, J.R.; J.L. Meyer (Eds.). *Stream organic matter budgets*. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 16: 3-161.