

# Lección 12.

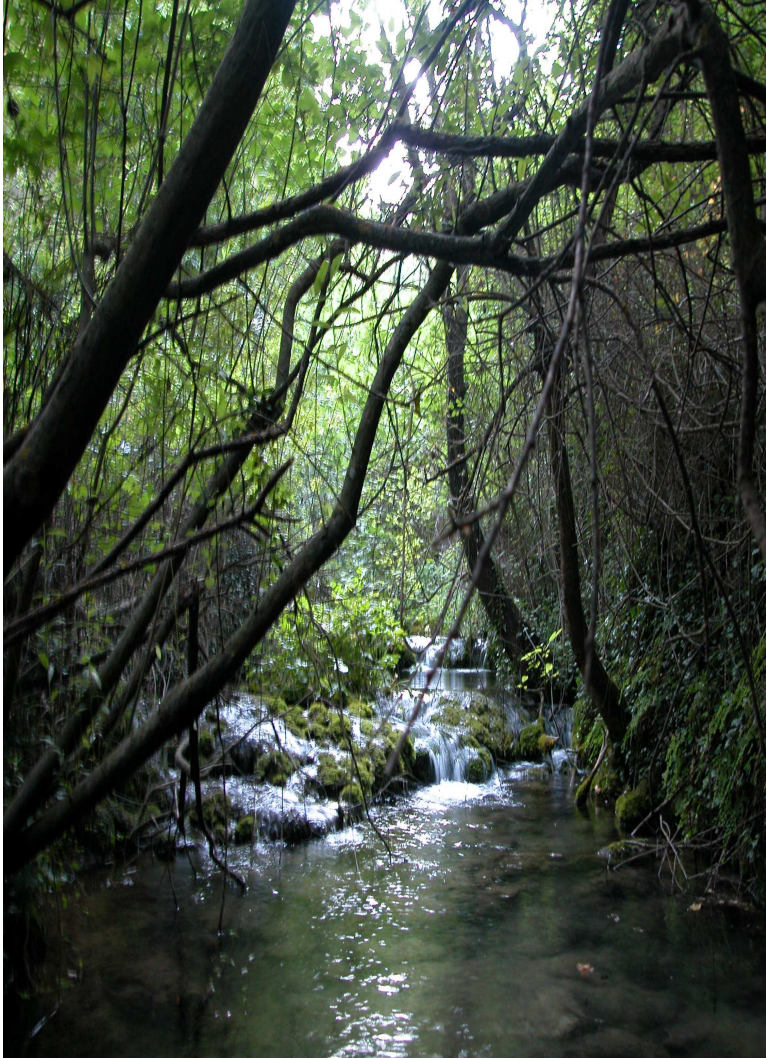
## PRODUCCION SECUNDARIA Y PROCESADO DE LA MATERIA ORGÁNICA



### Procesado de la materia orgánica en sistemas lóticos

Una parte importante de la energía que entra a los ecosistemas acuáticos, fundamentalmente en ríos y arroyos, procede de la materia orgánica muerta en sus diferentes fracciones: CPOM,  $> 1$  mm (materia orgánica particulada gruesa), FPOM,  $> 0,5\mu\text{m}$ ,  $< 1$  mm (materia orgánica finamente particulada) y DOM,  $< 0,5\mu\text{m}$  (materia orgánica disuelta). En los sistemas lóticos, éstas fracciones constituyen una fuente potencial de alimento para un diverso número de consumidores, denominados organismos detritívoros y descomponedores. En estos sistemas, en numerosas ocasiones la producción heterotrófica constituye un suministro de energía mayor de lo que supone la producción primaria, esto sucede con frecuencia en las cabeceras de los cauce donde existe un bosque de ribera que limita la entrada de luz o en los tramos bajos, donde la turbidez del agua limita, igualmente, la producción primaria. Incluso en las condiciones más favorables para una elevada tasa de producción primaria (tramos con elevada incidencia solar, o ríos caudalosos donde se produce un "bloom" de fitoplancton) la materia orgánica supone una fuente substancial de energía para el sistema. Por ello a partir de ahora nos referiremos al procesado de la materia orgánica en sistemas lóticos.

Las fuentes de materia orgánica pueden ser muy diversas y normalmente son externas al propio sistema acuático (restos vegetales, partículas sólidas..) aunque también pueden tener su origen dentro de sistema (excretas de animales, partes senescentes de la vegetación acuática, y liberación extracelular de compuestos disueltos). En los tramos y arroyos de cabecera, por ejemplo, la caída de las hojas procedente del bosque de ribera, durante el otoño, supone una fuente importante de CPOM. La descomposición parcial de esta fracción, mediada por procesos químicos, físicos y biológicos dan lugar a su transformación en FPOM y la de ésta en DOM. En este procesado los microorganismos y también los macroinvertebrados acuáticos, juegan un papel fundamental (Figura 1). Además de esta línea de procesado la FPOM y el DOM tienen otras muchas posibles fuentes.



### CPOM (> 1mm )

**Origen:** hojas caídas en otoño, partes de macrófitos acuáticos, flores, e incluso carcasas de peces (estos últimos han sido menos estudiados). Los restos de ramas y tallos llevan un proceso de descomposición mucho más lento y tienen menor repercusión en los niveles tróficos superiores.

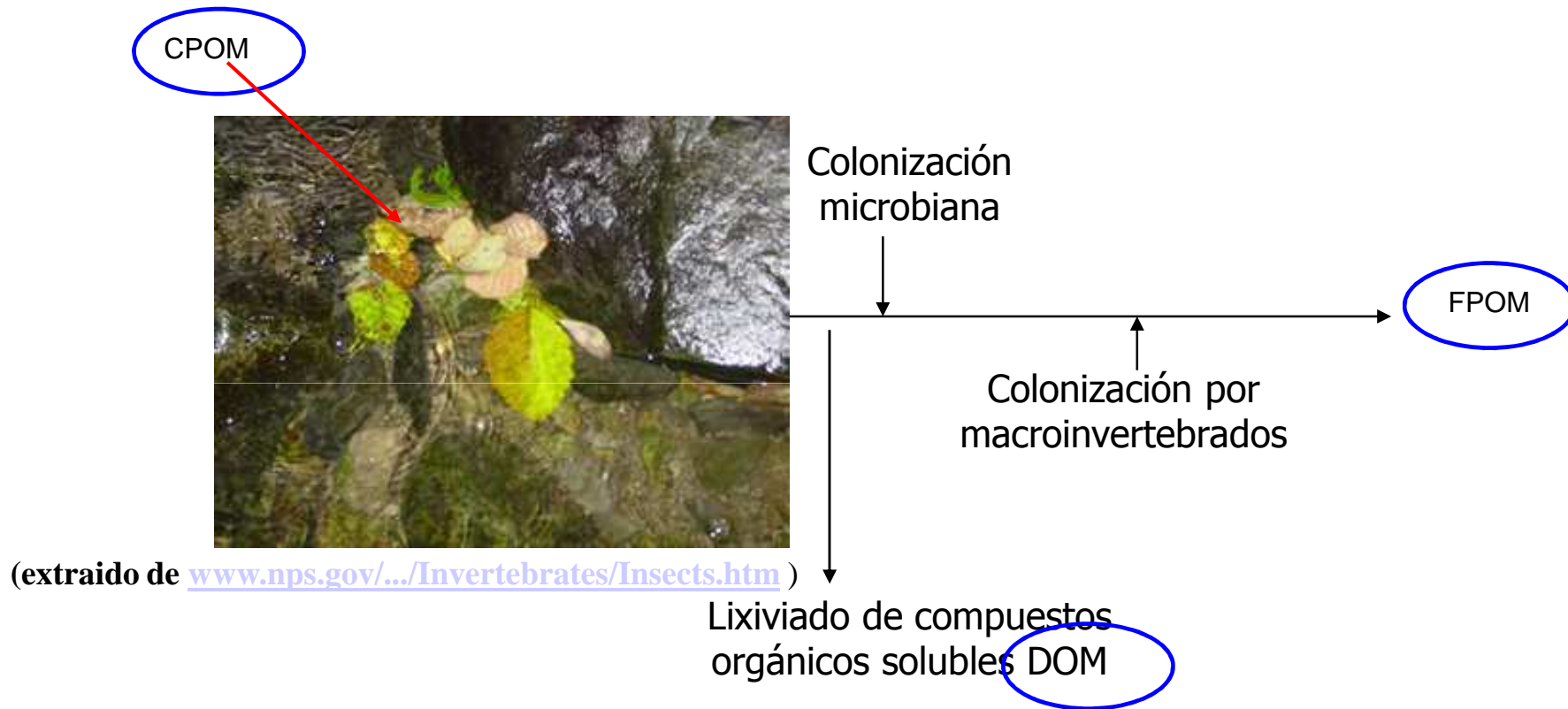
**Destino final:** mineralización, almacenamiento en el sistema (acumulos de materia orgánica en zonas deposicionales), transporte aguas abajo, transformación en FPOM

**Factores implicados en su descomposición:** el tipo de material vegetal (del resto de materiales posibles existen pocos estudios), variables ambientales y la actividad de los organismos detritívoros (Figura 2).

Ejemplo: tasa de descomposición de hojas de plantas leñosas = 200 días; plantas no leñosas = 65 días. Las mayores tasas de descomposición se dan en algas y plantas acuáticas sumergidas.

Elevadas  $T^a$ , y disponibilidad de nitrógeno, incrementan las tasas de descomposición. Bajos valores de pH las retardan al inhibir la acción de los microorganismos y los invertebrados.

**Figura 1.** Secuencia de procesamiento o “acondicionamiento” de una hoja de un árbol caducifolio en un arroyo de la zona templada



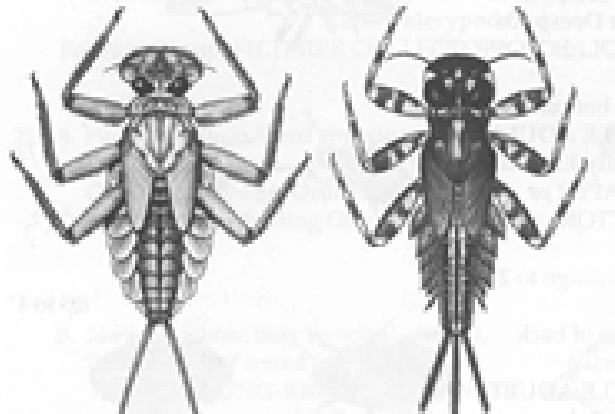
Durante las primeras 24 h se produce una pérdida de peso inicial de la hoja del 25 %, debido exclusivamente al lixiviado de compuestos orgánicos disueltos (carbohidratos solubles y polifenoles). Esta fase es la que muestra las tasas más elevadas de pérdida de peso

## Papel de los macroinvertebrados en el procesado de la materia orgánica: Organismos consumidores de CPOM. Influencia de los **detritívoros** en su descomposición.

Descomposición de hojarasca de origen terrestre. La fragmentación de las hojas por los invertebrados constituye una de las últimas fases de la descomposición de la CPOM. Los microorganismos juegan un papel fundamental, no sólo en la descomposición del materia l vegetal, sino en hacer más palatable y nutritivo este material a los consumidores. Lo que, en consecuencia, favorece su fragmentación acelerando el proceso de descomposición (Figura 2).

Los resultados experimentales obtenidos al respecto, indican que el 25% de la degradación de las hojas es atribuible a la presencia de invertebrados. Sin embargo, en grandes ríos la importancia de los organismos detritívoros no es la misma, dado que el aporte de detritos vegetales no debe ser suficiente como para mantener una comunidad importante de detritívoros.

### Organismos detritívoros



Larvas de Efémeras

(<http://www.nps.gov/archive/sitk/Natura1%20Resources/Stream%20Ecology/Invertebrates/Insects.htm>)



Cangrejo de río

([www.revistaaquatic.com/.../html/art1203/fig2.jpg](http://www.revistaaquatic.com/.../html/art1203/fig2.jpg))



Los detritívoros juegan un papel fundamental en el procesado de la CPOM y su paso a FPOM, no sólo por la acción trituradora sino también por las heces que liberan. Sin embargo, previo a que los detritívoros *ataquen* las hojas, éstas deben estar acondicionadas por hongos y bacterias, que además aumentan el valor nutritivo y la palatabilidad del material vegetal.

(<http://www.territorioscuola.com/wikipedia/es.wikipedia.php?title=Xantofila>)

## Producción secundaria y procesado de la materia orgánica

---

Descomposición de macrófitos acuáticos. El proceso es similar al expuesto anteriormente, con la salvedad de que las bacterias parecen tener un mayor papel en este caso. Los macrófitos sumergidos presentan tasas de descomposición más elevadas que los que muestran partes aéreas (helófitos), dada la presencia de tejidos de sostén lignificados.



Cladophora, sp. ejemplo de macrófito sumergido

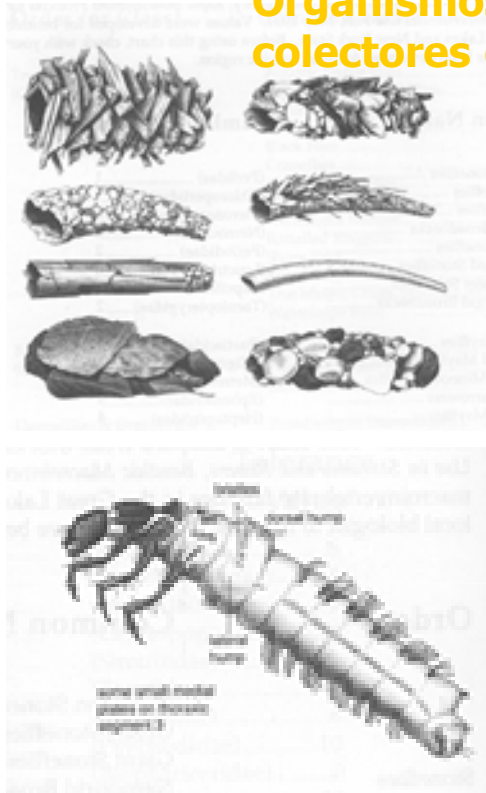


*Phragmites australis*, un ejemplo de helófito con tasa de descomposición lenta

*Gammarus* sp. Crustáceo detritívoro muy común en ríos y orillas de lagos y embalses



### Organismos colectores de FPOM



(<http://www.nps.gov/archive/sitk/Natural%20Resources/Stream%20Ecology/Invertebrates/Insects.htm>)

### FPOM (> 0,5 $\mu\text{m}$ , < 1 mm)

Las vías energéticas que incluyen a la FPOM, han sido mucho menos estudiadas que las de la CPOM.

**Origen:** Procesamiento de la CPOM, aportes desde las cuencas vertientes. Esta última fuente, aunque menos estudiada, es presumiblemente más importante cuantitativamente, que la FPOM derivada del procesamiento de la CPOM. El pequeño tamaño de estas partículas sugiere que las bacterias, más que los hongos, constituyen los principales microorganismos responsables de su procesamiento.

Los insectos detritívoros no sólo generan FPOM como resultado de su acción directa sobre la CPOM, sino también por la producción de excrementos. Con una eficiencia de asimilación del 10-20 %, la mayoría de organismos consumidores de CPOM producen una masa elevada de heces (Figura 3).

En un arroyo de Estados Unidos, la supresión experimental de los invertebrados detritívoros de un tramo determinado, produjo la disminución del transporte, aguas abajo, de la FPOM a un 14 %.

La FPOM, como fracción fina de la materia orgánica, contiene un menor contenido en carbono orgánico que la CPOM -teniendo por tanto menor valor nutritivo- y uno mayor de celulosa, compuesto poco asimilable por los microorganismos, por lo que las tasas de descomposición de esta fracción de la materia orgánica son menores que las de la CPOM.



## Producción secundaria y procesado de la materia orgánica

---

Poco se sabe sobre la fracción FPOM procedente de la descomposición de la hojarasca, pero todavía se sabe menos de otras posibles fuentes de FPOM, aunque se sospecha pueden ser de igual magnitud e incluso superiores.

Estas pueden ser: **partículas finas** procedentes del lavado de los suelos forestales ricos en materia orgánica (material húmico); contenida en el agua intersticial de los suelos, en general, de los taludes o del propio lecho del río ó células muertas procedentes del perifiton que son arrastradas desde diferentes fuentes (cauces tributarios..etc.). De hecho algunos estudios realizados apuntan a que la mayoría de la FPOM corresponde a material orgánico adsorbido a partículas minerales más que a la descomposición de las hojarasca (Figura 3)

**Destino final:** Dado su menor tamaño, la FPOM es más susceptible de ser transportada aguas abajo, por tanto su disponibilidad para los consumidores de materia orgánica (filtradores, suspensívoros y colectores) esta influenciada por la velocidad de la corriente y la existencia en el cauce de zonas o estructuras que permitan su retención y acumulación (p.e presencia de pozas). Las distancias de transporte de la FPOM han sido estimadas entre 200 - 800 m para varios ríos, usando para ello FPOM marcada con <sup>14</sup> C. Tras una riada, logicamente estas distancias pueden ser mucho mayores.

### Papel de los macroinvertebrados en el procesado de la materia orgánica: Organismos consumidores de FPOM

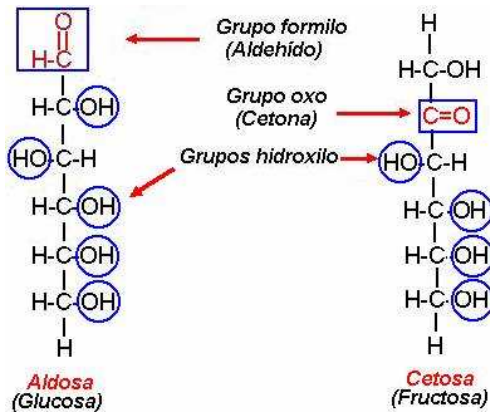
Mientras que la acción biológica de los invertebrados es esencial en la formación de la FPOM, no lo es tanto para su eliminación. De hecho el papel de los consumidores parece ser insustancial en la retirada del material fino de la columna de agua.

Larva de Tricóptero, típico organismo colector de FPOM



([www.aquatax.ca/trichoptera/CaddisLarvae.jpg](http://www.aquatax.ca/trichoptera/CaddisLarvae.jpg))

## Descomposición de la DOM



La materia orgánica disuelta (DOM) supone, con diferencia, el mayor reservorio de carbono orgánico en sistemas lóticos. Los términos DOM y DOC (carbono orgánico disuelto) se utilizan indistintamente pero hay que tener en cuenta que sólo el 45-50 % de la DOM es DOC. Su definición como fracción es puramente convencional,  $< 0,5 \mu\text{m}$ , dado que en este tamaño de partícula también quedan incluidas, pequeñas bacterias, virus y coloides de materia orgánica. Entre el 10-25 % de la DOM consiste en carbohidratos y grasas, así como amino e hidroxiácidos. El resto se clasifica, en general, como ácidos húmicos y fúlvicos.

### Origen

Toda ella procede de los productos biológicos del suelo, plantas o materia orgánica acuática. Parte de ella también tiene su origen en el procesamiento de la CPOM y en el exudado de células vegetales. Además, el suelo del ecosistema terrestre adyacente y los aportes de agua subterránea, suponen importantes fuentes de DOM.

### Estructura molecular de los carbohidratos

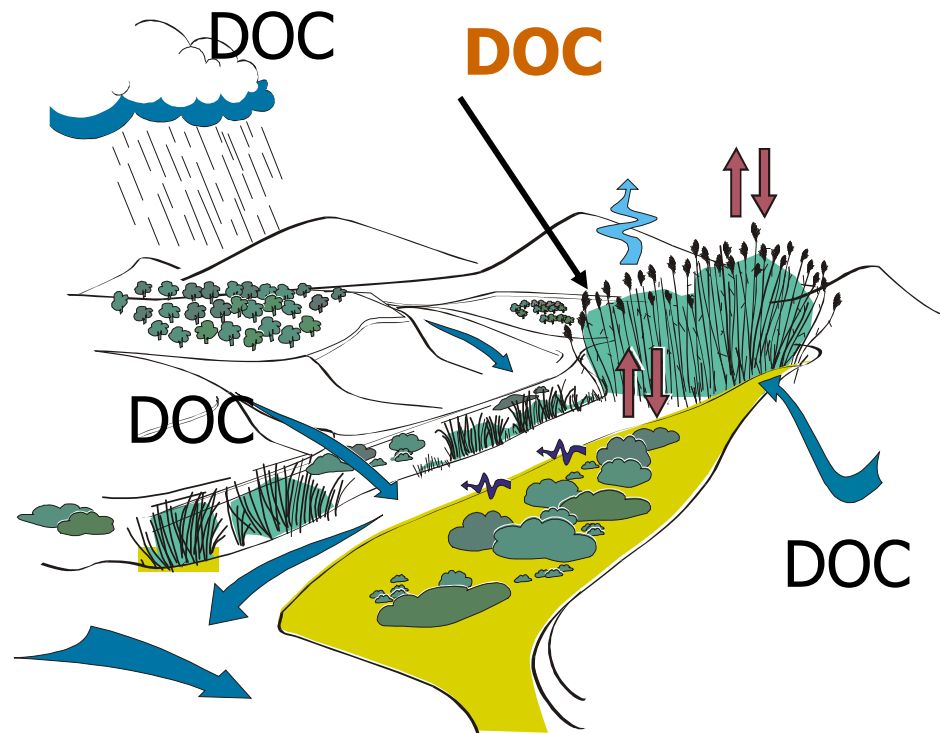
(<http://genesis.uag.mx/edmedia/material/quimicaII/Carbohidratos.cfm>)

Los suelos más ricos en materia orgánica son los prados, seguidos de los forestales y por último los del desierto. El agua intersticial de estos contiene concentraciones de DOC del orden de 2-30 mg/l debido a la solubilización de la materia orgánica. Este agua se infiltra a través del suelo y el DOC es utilizado por los microorganismos disminuyendo así su concentración. Sin embargo, y dependiendo de las condiciones del suelo, este agua, si termina aflorando cerca de un arroyo, puede aportar importantes cantidades de DOM. Las lluvias también pueden suponer una fuente importante de DOM, dependiendo del contacto con la vegetación. Cuando el agua de lluvia es interceptada por la vegetación esta arrastra cantidades significativas de materia orgánica, midiéndose valores de hasta 25 mg/l de DOM.

## Producción secundaria y procesado de la materia orgánica

Las lluvias también pueden suponer una fuente importante de DOM, dependiendo del contacto con la vegetación. Cuando el agua de lluvia es interceptada por la vegetación esta arrastra cantidades significativas de materia orgánica, midiéndose valores de hasta 25 mg/l de DOM.

En conclusión, en ríos y arroyos, la concentración de DOC depende de las diferentes vías de entrada de agua al cauce: aportes de aguas subterráneas ricas en DOM, agua de lluvia, escorrentía superficial de suelos ricos en materia orgánica, etc.



Aportes externos (en negrita) e internos - propio procesamiento del sistema-  
de DOC

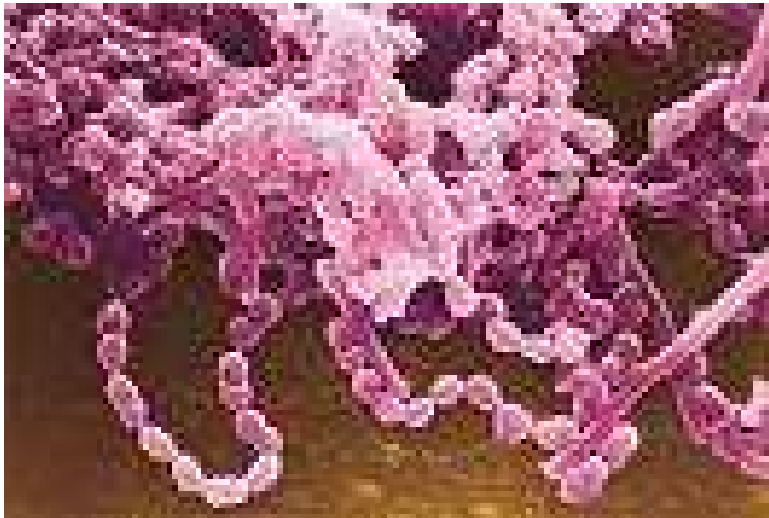
Como consecuencia, la concentración de DOM variará en función de la importancia relativa de las diferentes vías de aporte de DOC.

Aspecto que lógicamente, varía tanto en el espacio como en el tiempo

### Destino final:

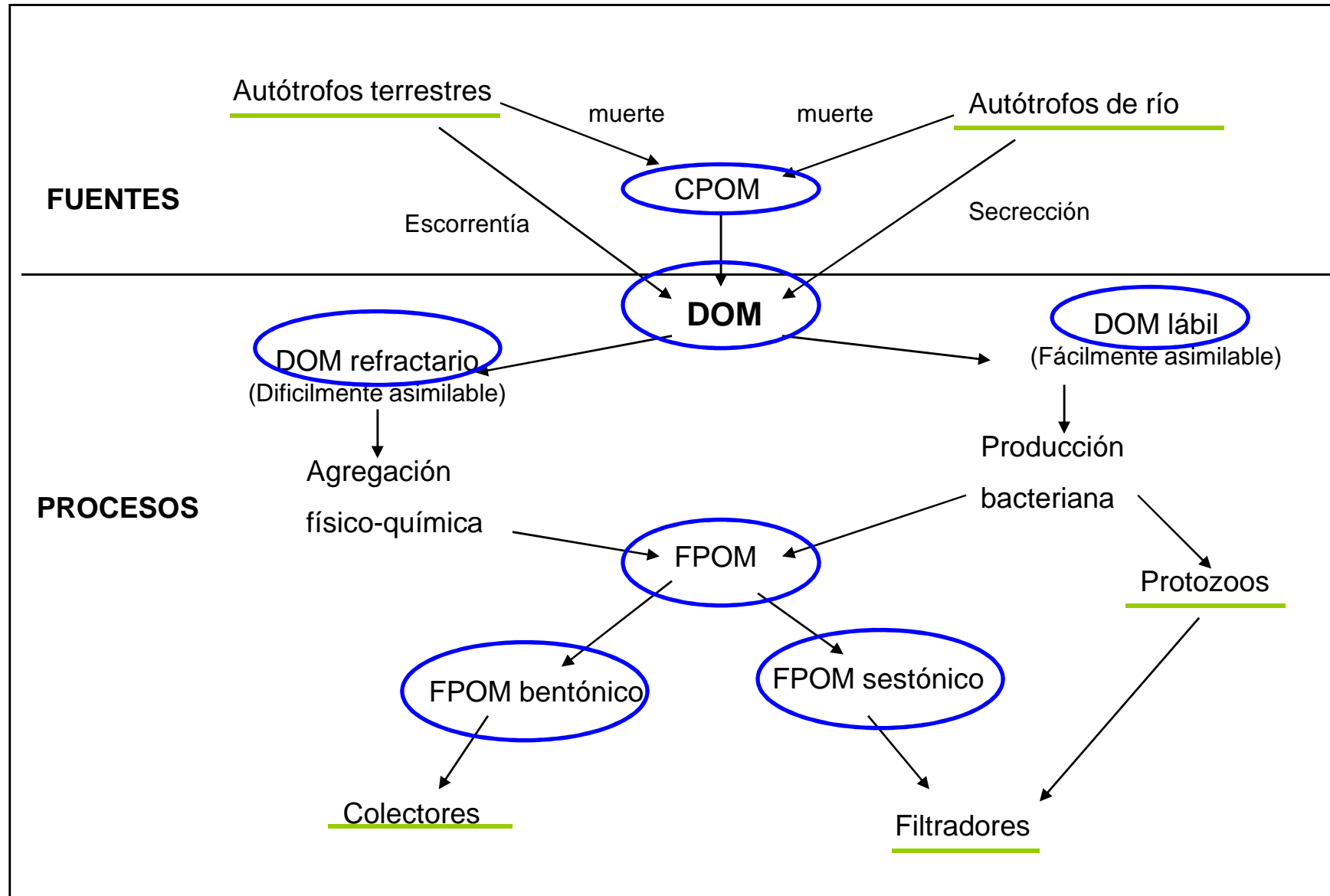
Procesos bióticos y abióticos están implicados en la retirada de la DOM de la columna de agua. Los procesos biológicos implicados son la asimilación por parte de los microorganismos, especialmente bacterias, producción heterotrófica y consecuente transformación en biomasa microbiana, consumo de esta biomasa microbiana y remineralización y transformación a  $CO_2$ , por la respiración de la comunidad. Los procesos abióticos son la floculación y transformación en materia particulada FPOM.

### Crecimiento y agrupación de bacterias



([www.kalipedia.com](http://www.kalipedia.com))

### Fuentes y procesos de la DOM en ríos.



## Producción secundaria

Los organismos cuyos procesos de síntesis dependen de otros organismos se denominan productores secundarios y la producción secundaria representa la producción neta de materia orgánica viva (o biomasa) generada por una población de consumidores

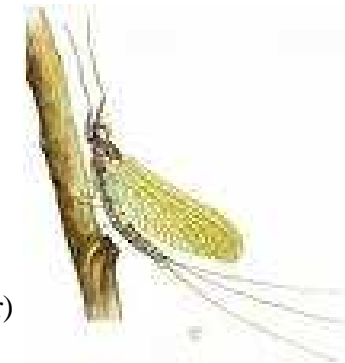
= Tasa de producción de biomasa de los heterótrofos (consumidores)

Unidades: expresadas en unidades de masa o energía

- julios/m<sub>2</sub>/día; Kcal/m<sub>2</sub> día

-g C m<sub>2</sub>/día; g PS m<sub>2</sub> /día

(www3.cricyt.edu.ar)



Estimar la **producción secundaria**, tiene diferentes utilidades en el conocimiento de la estructura y funcionamiento de los sistemas acuáticos, alguna de la información que reporta es:

- Ayuda a avanzar el conocimiento de los **ciclos de vida** de los invertebrados acuáticos
- Los datos de producción estimados para la totalidad de la poblaciones; por ejemplo de invertebrados de un río, pueden sintetizarse en grupos funcionales y ayudar a describir el **flujo de energía**.
- Permite estimar la intensidad de utilización de las **fuentes de alimentación**.
- Al sintetizar muchos **parámetros de las poblaciones** (densidad, biomasa, tasa de crecimiento individual, reproducción, supervivencia, etc), puede proporcionar un conocimiento intensivo de los sucesos que le ocurren a una población.
- Permiten comparar parámetros de producción entre especies que coexisten o entre poblaciones de la misma especie de diferentes sistemas.

## Producción secundaria y procesado de la materia orgánica

---

En el curso de la evolución se han distinguido dos grandes grupos de productores secundarios

Bacterias y hongos (biomasa pequeña)-----	Descomponedores y detritívoros
Consumidores de la producción primaria (mayor biomasa)-----	Herbívoros y ramoneadores

No hay que olvidar que una parte importante de la producción primaria es degradada por los descomponedores y detritívoros.

A pesar de que los microorganismos (bacterias y hongos) pueden aparecer en la columna de agua, asociados a las finas partículas en suspensión y en elevado número (según circunstancias), son los microorganismos bentónicos, especialmente aquellos asociados al biofilm, los que mayor atención han recibido y los que parecen ser más productivos.

([www.recursos.cnice.mec.es](http://www.recursos.cnice.mec.es))

La producción secundaria puede partir como fuente de energía de material vegetal o animal. En este segundo caso existen 3 vías de consumo:

**Descomposición**, los cuerpos o parte de ellos, junto con los productos de secreción son recurso de los descomponedores.

**Parasitismo**: un organismo vivo es utilizado como recurso estando aún vivo

**Depredación**: el organismo que sirve de alimento es matado y comido

**Herbívoro**: consumo de material vegetal



*Gerris sp.* succiona los jugos internos de plantas y animales que caen a la superficie del agua

## Producción secundaria y procesado de la materia orgánica

La relación entre producción y otros parámetros bioenergéticos puede ser representada por la ecuación:

$$I = A + E$$

siendo

$$A = P + R + U$$

Donde

I = ingestión;      A = asimilación;      E = material ingerido no asimilado, egestado

P = Producción;      R = respiración;      U = excrección.

Para un individuo, P representa su crecimiento mientras que para una población representa el crecimiento de todo el colectivo de individuos.

El crecimiento de los organismos depende de la eficiencia en que el alimento es convertido en tejido nuevo.

- **Eficiencia de asimilación (A/I):** % del alimento/energía ingerida que es asimilada (= I-E)

para invertebrados de ríos, por ejemplo, varía entre 5% para detritívoros y 90 % para carnívoros.

Dependiendo de la proporción de tejidos de sostén, material difícilmente asimilable, que contenga la fuente del alimento

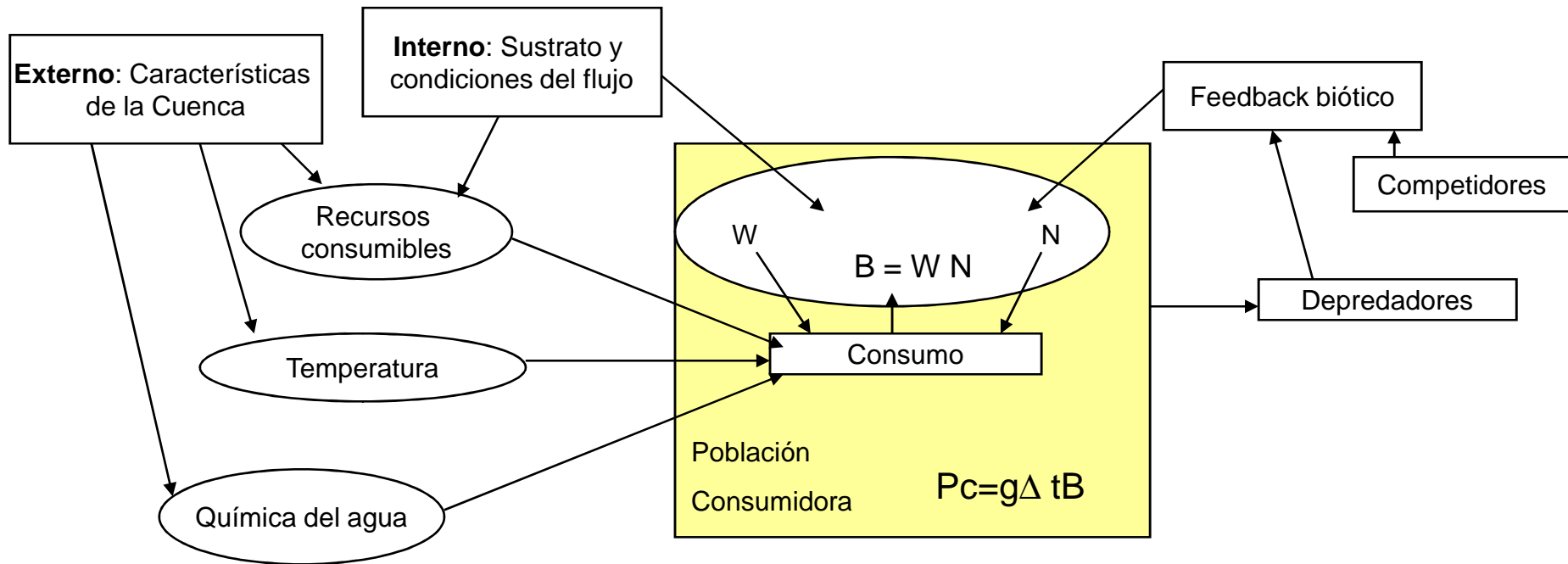
- **Eficiencia de la producción neta (P/A):** % de la materia/energía asimilada que revierte en producción (incremento de la biomasa corporal o de la población) (= A-R-U). Para invertebrados de ríos, está en torno al 50 %.

Cuanto más activo sea el organismo (p. e. un depredador) más gasto energético empleará en respiración y trabajo metabólico y menor será la producción en relación con la energía asimilada



## Producción secundaria y procesado de la materia orgánica

Factores que pueden afectar la producción secundaria de una población de consumidores.



El "almacén" de Biomasa ( $B$ ) es el producto del peso medio del organismo ( $W$ ) por la densidad de la población ( $N$ ), y ambos pueden afectar al consumo.

La producción total ( $P_c$ ) es la producción diaria de biomasa ( $g$ ), en un intervalo de tiempo ( $\Delta t$ ) por la cantidad total ("almacén") de biomasa ( $B$ ).

## Un ejemplo del papel de las variables físicoquímicas en la producción secundaria



Arroyo Sycamore Creek,  
Arizona, E.E.U.U.

Descensos en la producción secundaria (biomasa de consumidores) de un arroyo, sin cambios en la producción primaria del mismo (biomasa de productores primarios), se atribuyeron no a la cantidad de alimento disponible (que no varió) sino a la calidad del mismo. Un descenso en la concentración de N en el agua superficial determinó que la proporción N/P en la biomasa algal disminuyera ( $< 16/1$ ), este cambio no influyó en la biomasa de algas pero sí en la calidad del alimento (valor nutritivo), lo que condujo a un descenso brusco de la biomasa de consumidores.

## Estimas de producción secundaria

La mayoría de los resultados obtenidos de producción secundaria derivan de estudios realizados en pequeños arroyos de cabecera. En estos, los valores medios alcanzados son de 25-50 g C/m<sup>2</sup>/año, aunque valores máximos de 68 g C/m<sup>2</sup>/año, se han encontrado, p.e en Sycamore Creek, en determinadas épocas del año en las que la producción primaria es elevada.

Sin embargo, lo más común es que los estudios de producción primaria se realicen analizando una población determinada no todo el conjunto de la comunidad.

**Por ejemplo:** En un arroyo de Inglaterra el quironómido *Orthocladius calvus* alcanzó un n° de indiv de 68.000 ind/ m<sup>2</sup> en 16 días, lo que se traduce en una productividad de 17 g C/ m<sup>2</sup> , durante dicho periodo de tiempo.

Una medida muy importante es la del **índice P/B** que ofrece una idea de la tasa de crecimiento de la población. Esta ratio puede llegar a ser muy elevada en poblaciones de organismos de ciclo de vida corto.

Los métodos de estima de la producción secundaria se pueden clasificar en dos grandes bloques, aquellos en los que es posible hacer el seguimiento de una cohorte y aquellos en los que no. En general todos ellos se basan en el seguimiento del crecimiento de los individuos (o en su caso diferenciación de tamaños) y la densidad de individuos en un intervalo de tiempo determinado.

## Producción secundaria y procesado de la materia orgánica

---

Estima, de manera experimental in situ, de la producción secundaria de la comunidad en presencia y ausencia de depredadores



### Destino final de la producción secundaria

En los sistemas acuáticos, dada los ciclos de vida de un elevado número de organismos acuáticos, con fases adultas aéreas, una parte importante de la biomasa de productores es exportada hacia el ecosistema terrestre sin capacidad de poder ser reciclada dentro del sistema. Esta se produce de forma concentrada durante los periodos de emergencia de adultos. Igualmente un elevado número de depredadores terrestres se alimentan de organismos acuáticos (aves, mamíferos..).

Otra parte importante de la producción secundaria es exportada aguas abajo, bien de forma activa o pasiva (deriva) y el resto, es procesada en el mismo lugar donde se produce tras la muerte de los individuos o la descomposición de sus excretas, mudas, etc.

La importancia relativa de estas vías de destino final de la producción secundaria son objeto de estudio

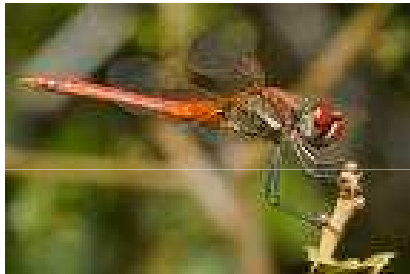
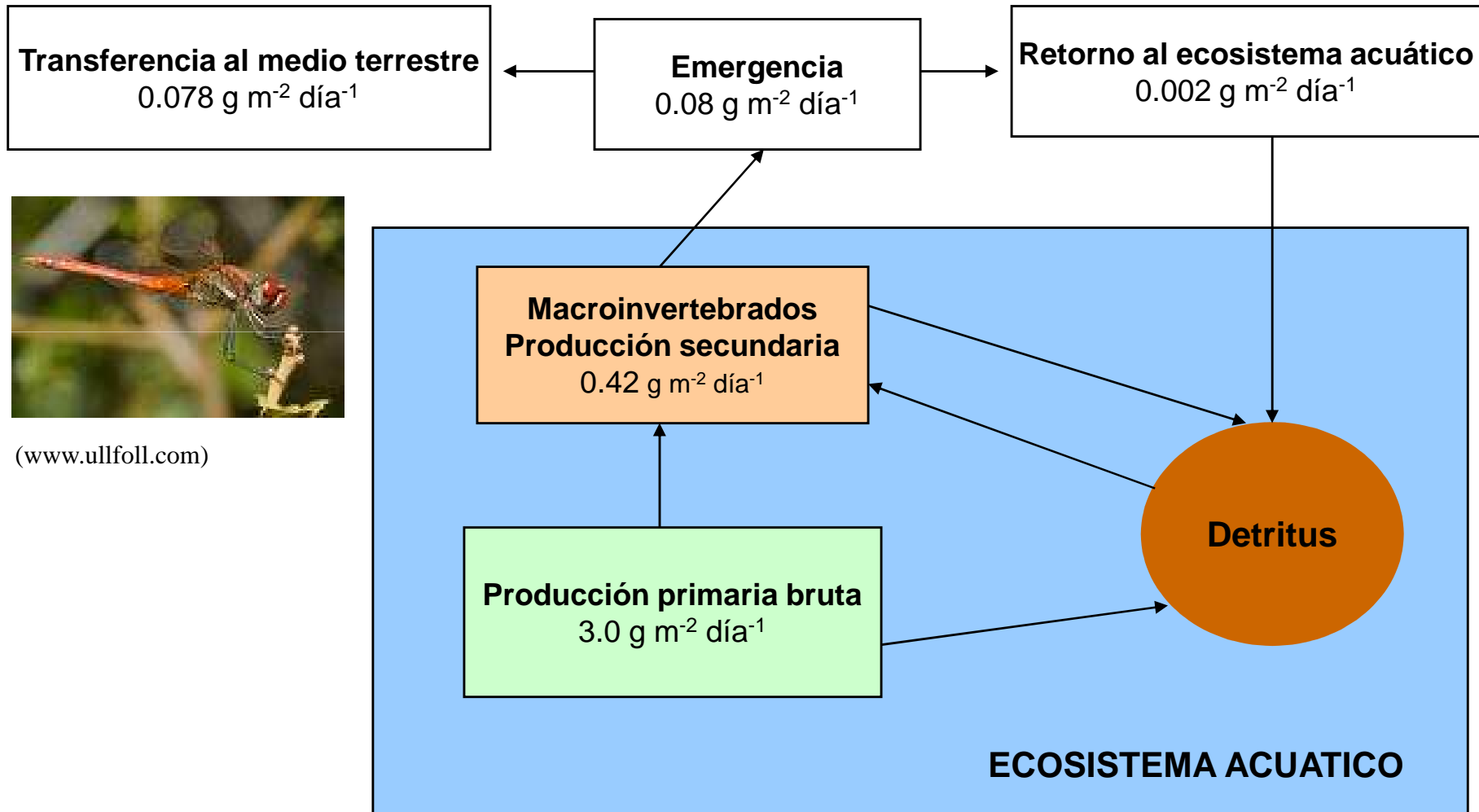


([www.terra.es/personal2/cmondelo/garza.jpg](http://www.terra.es/personal2/cmondelo/garza.jpg))



([www.sierradebaza.org/.../07\\_06\\_nutria/nutria.htm](http://www.sierradebaza.org/.../07_06_nutria/nutria.htm))

### Esquema del procesamiento de la producción primaria en Sycamore Creek (Desierto de Arizona: Estados Unidos)



(www.ullfoll.com)