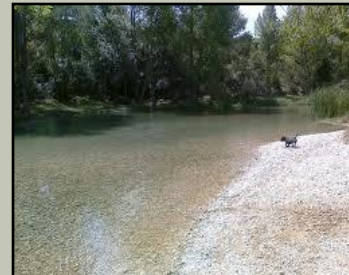
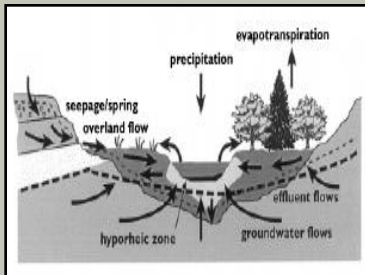


## Lección 10. Las interfases: la interacción agua subsuperficial - superficial y los espacios ribereños.

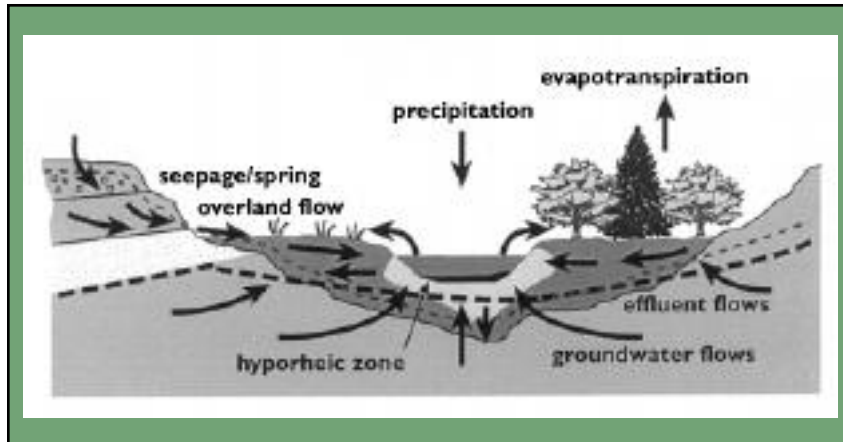


Rosa Gómez Cerezo  
Dpto. Ecología e Hidrología  
Universidad de Murcia

## Lección 10.

# Las interfases: la interacción agua subsuperficial - superficial y los espacios ribereños.

	<b>CONTENIDOS</b>
1.	La interacción agua subsuperficial-superficial. Consecuencias de la interacción entre ambos subsistemas. Factores que afectan a la permeabilidad del ecotono agua-sedimento
2.	La interacción entre la zona riparia y el sistema acuático. La zona riparia como sistema exportador e importador de materia y energía.
3.	Variación espacial y temporal del grado de interacción entre subsistemas.
4.	Revisión de teorías sobre funcionamiento de ríos y arroyos.



Interacción entre los distintos subsistemas del ecosistema fluvial

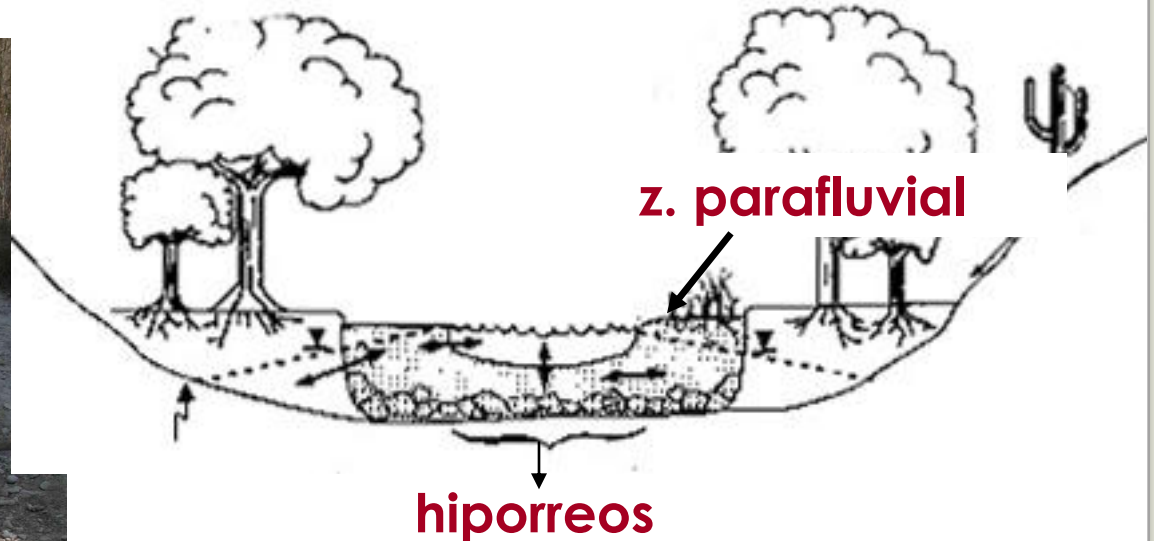
El funcionamiento de los sistemas fluviales debe de analizarse considerando una perspectiva de cuatro dimensiones (ver Lección 1), en la que la dimensión longitudinal cabecera-desembocadura deben de sumarse los movimientos laterales (zona riparia-canal de agua principal) y verticales (agua subsuperficial-superficial) de agua y organismos que conlleva el flujo de materia y energía entre subsistemas. La cuarta dimensión es la temporal. La variaciones temporales del flujo hídrico, ya sean estacionales o no, (p.e. crecidas de agua) afectan de forma decisiva al grado de conexión entre subsistemas.

En esta lección analizaremos el efecto de dichas conexiones y como éstas se ven influenciadas por los cambios temporales.

Los componentes físicos, químicos, hidrológicos y biológicos descritos en las lecciones anteriores se ensamblan a muy diversas escalas, y las interacciones entre componentes regulan el funcionamiento del ecosistema fluvial o ripario-fluvial, que puede ser muy complejo.

1. La interacción agua subsuperficial-superficial

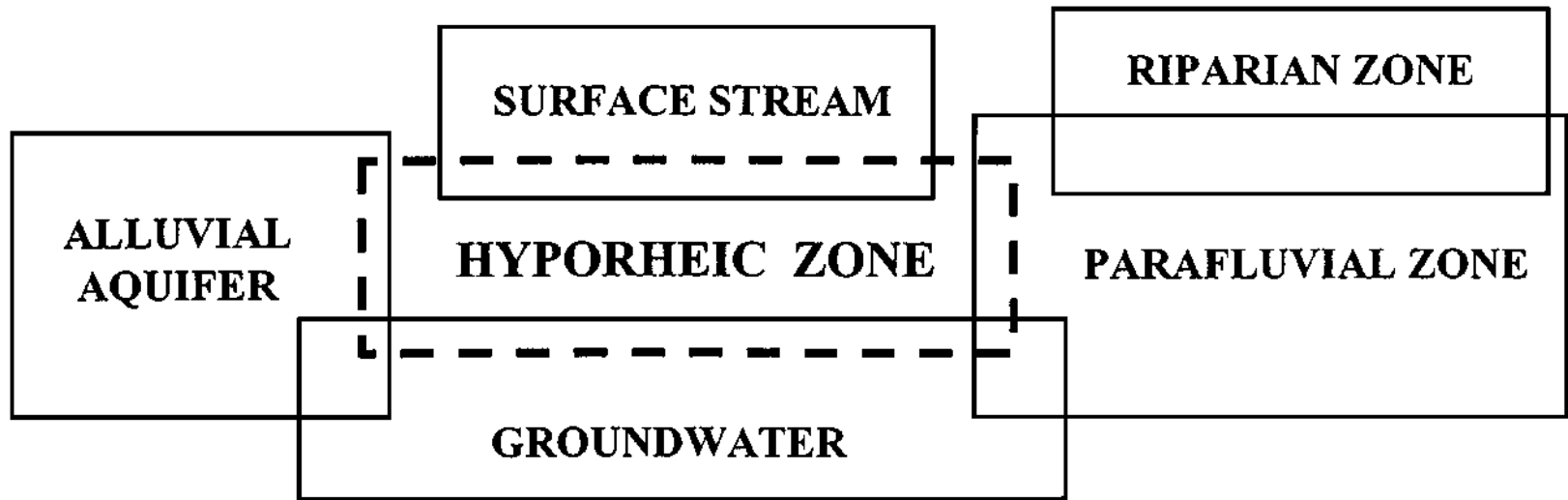
## El hiporreos y la zona parafluvial



El agua que fluye por un cauce lo hace tanto superficialmente como subsuperficialmente, siempre y cuando los sedimentos del lecho (hiporreos, sedimentos parafluviales) permitan el fluir del agua. En este sentido la **conductividad hidráulica** de los mismos es una característica muy importante para entender el movimiento de los flujos hídricos.

Las arenas, gravas y cantos del lecho de muchos cauces permiten el movimiento del agua subsuperficialmente, al presentar una elevada conductividad hidráulica

## 1. La interacción agua subsuperficial-superficial



Esquema simplificado de los compartimentos hidrológicos que pueden interactuar con la zona hiporreica.

Los depósitos aluviales de arenas y gravas de las llanuras de inundación constituyen para muchos ríos importantes acuíferos aluviales. Frecuentemente el término acuífero aluvial es sinónimo de agua subterránea. Los sedimentos de la zona parafluvial interactúan así mismo subsuperficialmente con la zona de ribera.

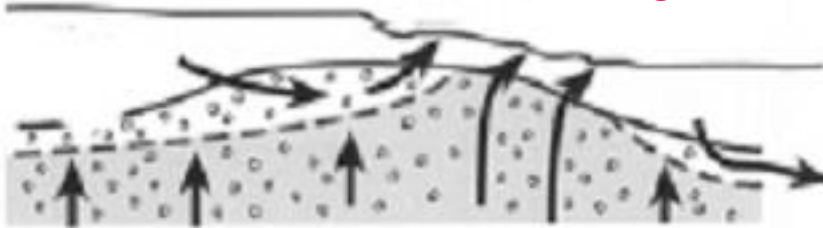
(Extraído de: Boulton A., S. Findlay, P. Marmonier, E.H. Stanley and M. Valett. 1989. The functional significance of the hyporheic zone in streams and rivers. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 29:59–81)



### 1. La interacción agua subsuperficial-superficial

**zona de  
infiltración**

**zona de  
descarga**

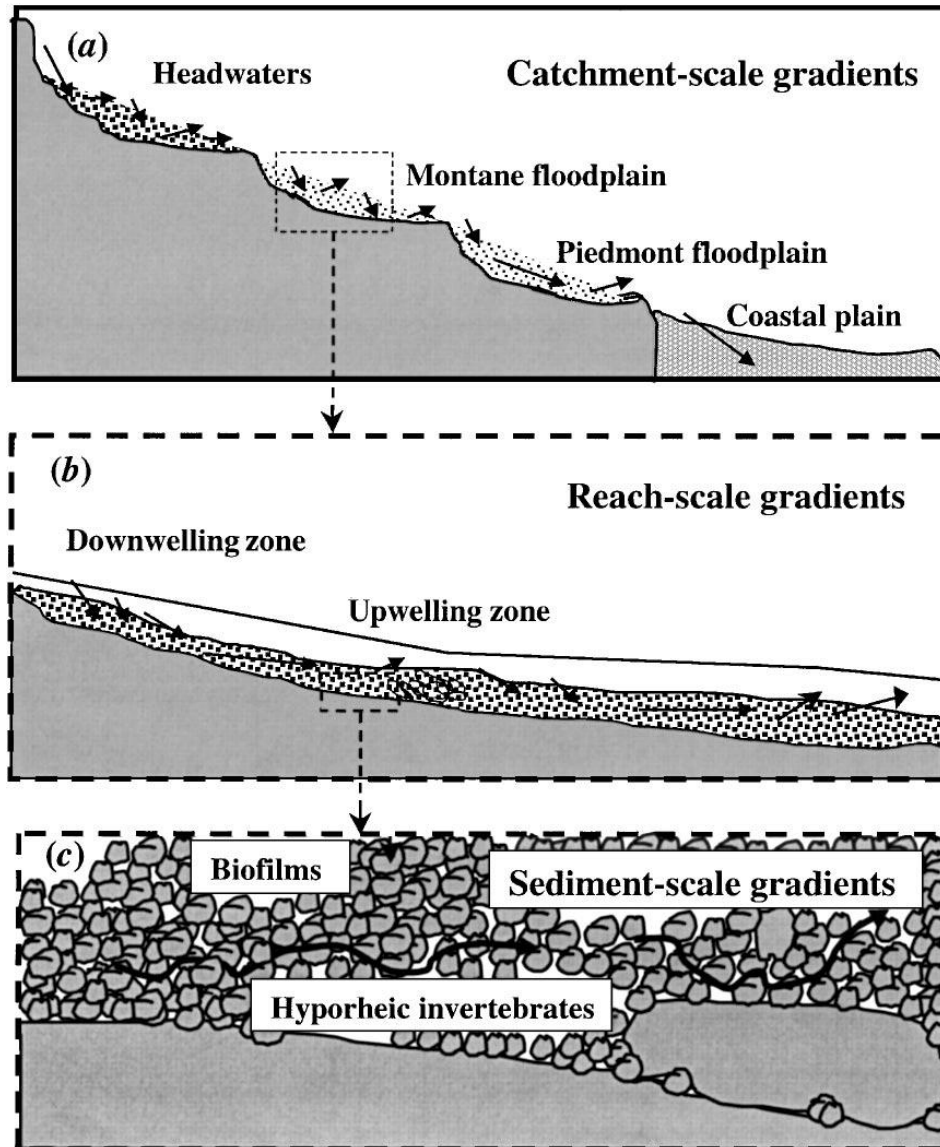


Allí donde existe un hiporreos, dependiendo de la topografía del cauce, de las variaciones de caudal a lo largo del mismo y de la porosidad de los sedimentos (aspecto que influye en su conductividad hidráulica), se producen intercambios de agua, nutrientes, materia orgánica y organismos entre los compartimentos superficial y subsuperficial.

Estos intercambios se producen a través de las zonas de infiltración (downwelling) en los que el agua superficial entra al compartimento subsuperficial y de descarga o surgencia (upwelling) del agua subsuperficial al compartimento superficial.

Conforme el agua fluye entre los distintos compartimentos (superficial-subsuperficial) interacciona con los sedimentos y dependiendo de las características de los mismos (oxigenación, condiciones redox, fauna presente, actividad microbológica) tendrán lugar una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que repercutirán en la disponibilidad de nutrientes, materia orgánica, oxígeno y en general en las condiciones del medio superficial.

1. La interacción agua subsuperficial-superficial



**Visión esquemática de la zona hiporreica a 3 escalas espaciales diferentes.**

(a) A lo largo del eje cabecera desembocadura se producen variaciones en la zona hiporreica en cuanto a su tamaño (potencia de los sedimentos), retención hidrológica y tamaño del sedimento. (b) A escala de tramo las zonas de infiltración y surgencia se alternan creando una heterogeneidad espacial en las concentraciones de nutrientes, oxígeno disuelto y fauna hiporreica. (c) a escala de sedimento, distintos procesos químicos y microbiológicos ocurren en la superficie de las partículas creando gradientes a microescala.

(Extraído de: Boulton A., S. Findlay, P. Marmonier, E.H. Stanley and M. Valett. 1989. The functional significance of the hyporheic zone in streams and rivers. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 29:59–81)

1. La interacción agua subsuperficial-superficial

**A continuación veremos algunos ejemplos del efecto de la interacción agua superficial-subsuperficial en la estructura y funcionamiento del ecosistema fluvial a escala de tramo**





## 1. La interacción agua subsuperficial-superficial

### El papel del hiporreos en el metabolismo del sistema

El procesamiento de la materia orgánica (detrito) en los sedimentos donde se acumula, determina que el consumo de oxígeno, respiración, tienda a ser mayor en este compartimento que en el superficial, donde además se dan las condiciones, a diferencia del compartimento subsuperficial, para que domine la fotosíntesis. Esta circunstancia determina que las medidas de metabolismo se vean modificadas al incluir o no al compartimento subsuperficial (ver Lección 8)

Valores medios/h (mg O <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> )	Estima en superficie	Estima de todo el sistema
<b>PG</b>	607	785
<b>R</b>	128	421
<b>PN</b>	479	364
<b>PG/R</b>	4,7	1,9
<b>PG/R (24h)</b>	<b>2,4</b>	<b>0,93</b>



**Sycamore Creek** (Arizona, USA)  
Grimm y Fisher, 1984

La ratio P/R pasa de ser > 1 a < 1, cuando consideramos el hiporreos en las medidas de metabolismo del arroyo

### 1. La interacción agua subsuperficial-superficial

**En Sycamore Creek** un arroyo del Desierto de Sonora (EEUU) el N es el nutriente limitante de la producción primaria, encontrándose en bajas concentraciones en el compartimento superficial.

Sin embargo, conforme el agua fluye por el compartimento subsuperficial (bien por el hiporreos o zona parafluvial), constituido por arenas gruesas y gravas, se produce un incremento en las concentraciones de N-nitrato. Las partículas del sedimento son suficientemente gruesas como permitir una buena oxigenación, condición que permite que se vea estimulado el proceso de nitrificación llevado a cabo por los microorganismos que se encuentran en los sedimentos.

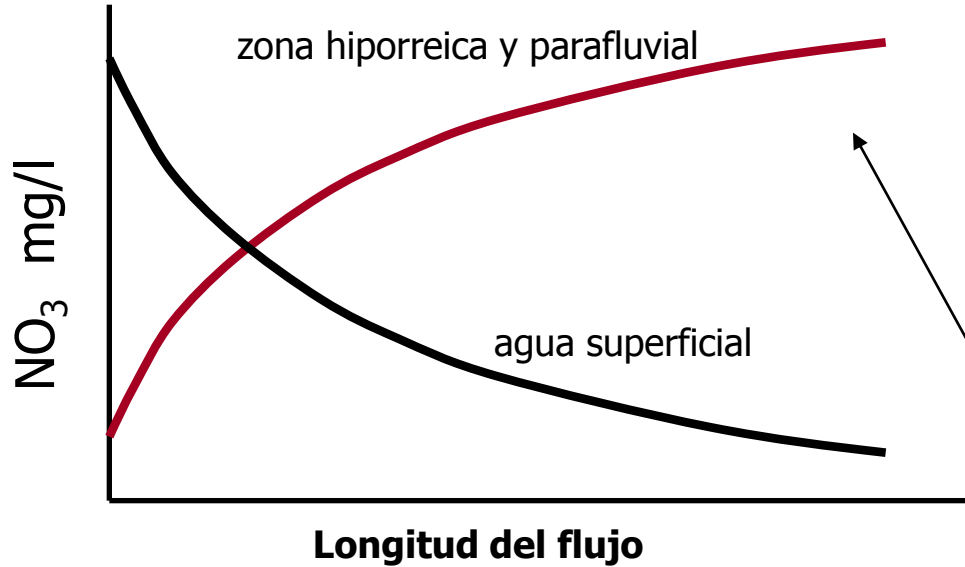
El nitrógeno orgánico disuelto transportado hasta el compartimento subsuperficial es aquí mineralizado y nitrificado. Cuando el agua emerge en superficie su contenido en N-nitrato es mayor, lo que estimula la producción primaria en las zonas de surgencia o «upwelling».

Los datos de la tabla, en la siguiente diapositiva (Diapositiva 9) ilustran estos resultados, tanto la concentración de N-nitrato como el contenido en clorofila (indicador de biomasa algal) son mayores en la zona de descarga que en las de infiltración.

A su vez, el mayor incremento de biomasa algal influye en la distribución de los macroinvertebrados que encuentran en estas zonas una fuente de alimento y refugio (ver Diapositiva 10).

Aunque aquí se ejemplariza con casos concretos las transformaciones de nutrientes a través de la zona hiporreica han sido ampliamente descritas en numerosos trabajos.

1. La interacción agua subsuperficial-superficial



**El sistema subsuperficial fuente de nitrógeno**

El nitrato desciende en el agua superficial como consecuencia de su asimilación por la vegetación del cauce. Sin embargo aumenta conforme fluye por la zona hiporreica y parafluvial, resultado de la acción de las bacterias nitrificantes (productoras de nitrato)

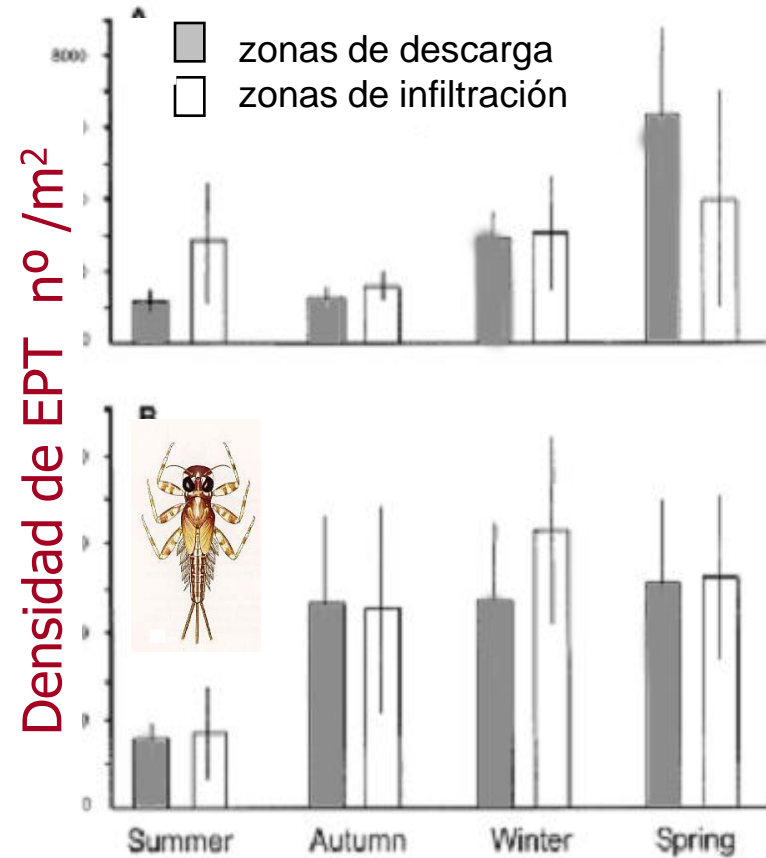
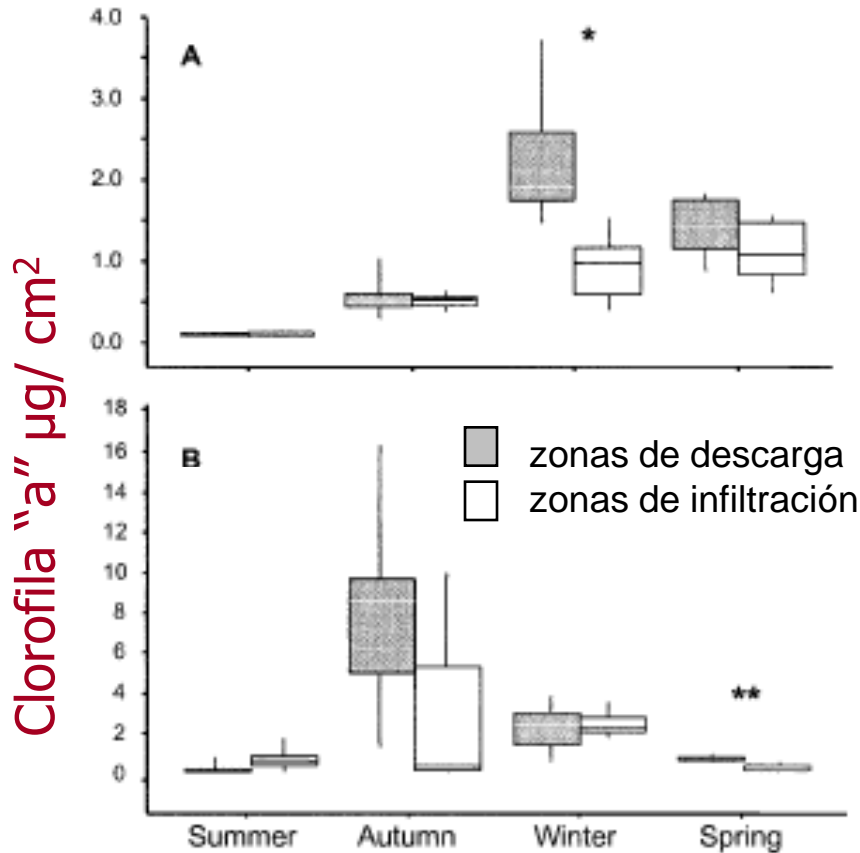
	N-NO <sub>3</sub> (µg/l)	PRS (µg/l)	Clorofila "a" (mg m <sup>-2</sup> .d <sup>-1</sup> )
Z. descarga I	86 (10)	46 (1)	6,20 (0,9)
Z. Infiltración I	26 (2)	36 (2)	0,53 (0,07)
Z. descarga II	19 (5)	34 (2)	6,83 (1,09)
Z. Infiltración II	6 (3)	32 (2)	0,78 (0,16)

(datos extraídos de : Valett, H. M., S. G. Fisher, N. B. Grimm, and P. Camill. 1994. Vertical hydrologic exchange and ecological stability of a desert stream ecosystem. Ecology 75:548-560)

## 1. La interacción agua subsuperficial-superficial

La biomasa algal de las zonas de descarga (rica en N) **30% superior** a las zonas de infiltración

Respuestas **específicas** de los macroinvertebrados a la distribución de ambas zonas



Aunque no se encontró relación significativa entre la densidad de efémeras, plecópteros y tricópteros (EPT) y las zonas descarga de agua subsuperficial, si se observaron preferencias de algunas especies por estos lugares.

(Datos extraídos de: Pepin D.M; F.R. Hauer. 2002. Benthic responses to groundwater-surface exchange in two alluvial rivers in northwestern Montana. *Journal of the North American Benthological Society* 21(3): 370-383)

### 1. La interacción agua subsuperficial-superficial

#### **Dinámica del fósforo en un cauce temporal del sureste ibérico, Cuenca del Río Chicamo (Murcia)**

A continuación otro ejemplo similar, pero en este caso el compartimento subsuperficial es bastante anóxico y dominan las condiciones reductoras, dada la característica de los sedimentos (muy poco permeables, de baja conductividad hidráulica), de ahí la elevada concentración de N-amonio en las zonas de surgencia.

Junto al amonio-N, la concentración de fósforo soluble es también elevada en las surgencias de agua subsuperficial. En este cauce el P es el nutriente limitante debido a las elevadas concentraciones de Fe que tienden a adsorber al P presente en la columna de agua y precipitar en forma de oxihidróxidos de hierro :  $P \sim Fe(OOH)$ , (ver color ocre de los precipitados de Fe), el P en esta forma no es disponible para la mayoría de los productores primarios. Bajo condiciones reductoras el Fe se encuentra en forma soluble ( $Fe^{2+}$ ) y el P también, así las zonas de surgencia de agua subsuperficial son fuente de P y por tanto de elevada producción primaria.



## 1. La interacción agua subsuperficial-superficial

Relación entre las surgencias de agua subsuperficial y los incrementos de biomasa algal en el Río Chicamo (Murcia, SE, España)

**Río Chicamo**, (Murcia)  
(datos extraídos de Gómez, 1995)



Piezómetros, surgencia de agua subterránea

resúmenes

	<b>NH<sub>4</sub>-N</b> Octubre (mg.l <sup>-1</sup> )	<b>NH<sub>4</sub>-N</b> Febrero (mg.l <sup>-1</sup> )
<b>C1</b>	0.24	0.57
<b>C2</b>	0.77	0.29
<b>C3</b>	1.32	0.93
<b>C4</b>	1.23	1.43
<b>C5</b>	0.11	bdl
<b>C6</b>	0.22	0.01

### Mecanismos de heterogeneidad autogénica

A pesar de que el efecto de la existencia de zonas de infiltración y descarga tiene una incidencia local, por ejemplo en la disponibilidad de  $\text{NO}_3$ , este hecho desencadena a su vez, otra serie de procesos (incremento de la producción primaria) que a su vez afectan a otros (biomasa de productores secundarios), incrementándose la heterogeneidad de las condiciones físicas, químicas y biológicas del sistema a una escala mayor (tramo, sección). Esta serie de efectos encadenados constituyen lo que se conoce como mecanismos de heterogeneidad autogénica, es decir heterogeneidad, variabilidad en las condiciones originada por el propio sistema, y no por factores externos (como un aporte externo de nutrientes por vertido o entrada de escorrentía, etc.)



↑ **biomasa de algas**

- Efecto “filtro” de nutrientes al incrementar la asimilación de los mismos por la mayor biomasa de algas en la zona
- Efecto sobre velocidad de la corriente. La mayor biomasa de algas hace disminuir localmente la velocidad del agua creando un nuevo hábitat para especies que no toleran zonas de corriente
- Efecto sobre la disponibilidad de hábitats y recursos. La algas suponen no sólo alimento sino un hábitat y refugio para muchas especies de organismos que son atraídas por las nuevas condiciones
- Incremento de la materia orgánica particulada(CPOM) exportada. La senescencia de las algas supone una fuente de CPOM que es exportada aguas abajo y es una fuente de recursos para otros organismos



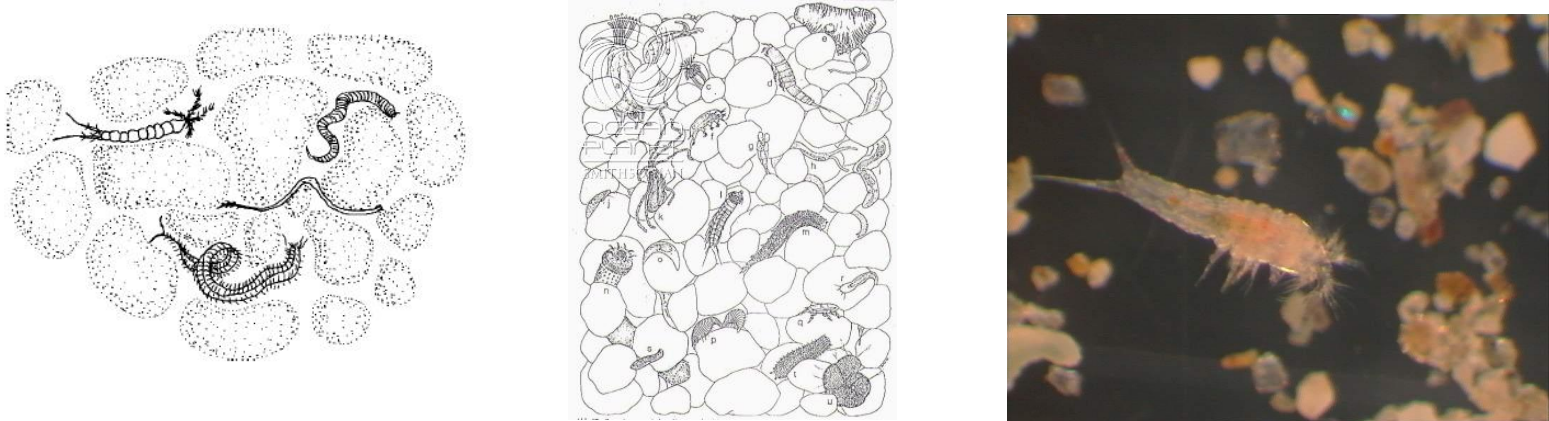
**Afecta a las condiciones químicas y biológicas aguas debajo de los puntos de surgencia**



## 1. La interacción agua subsuperficial-superficial

### El hiporreos y la fauna intersticial

A continuación ejemplos de cómo el compartimento subsuperficial no sólo influye en la dinámica de solutos y gases al presentar unas condiciones físicas, químicas y microbiológicas diferentes al compartimento superficial, sino que además presenta una fauna particular cuya actividad también puede influir en los procesos superficiales y viceversa.



Los espacios intersticiales entre las partículas de sedimento de la zona hiporreica de muchos ríos y arroyos están ocupados por una comunidad diversa de invertebrados acuáticos, denominada **fauna hiporreica**. Esta comunidad se encuentra compuesta por diversas especies de crustáceos, anélidos, platelmintos, rotíferos, ácaros y estados larvarios y juveniles de insectos acuáticos.

El biofilm que rodea a las partículas del sedimento constituye la base fundamental de su alimentación. Así, variables que afecten a la extensión, composición y calidad alimenticia de este biofilm probablemente influirán en la distribución de los invertebrados que de él se alimentan.

### 1. La interacción agua subsuperficial-superficial

A su vez, la actividad alimenticia de la fauna hiporreica puede incrementar la productividad del biofilm así como contribuir a desmenuzar las partículas de materia orgánica gruesa (CPOM) atrapada en los sedimentos, facilitando con ello la acción posterior de los microorganismos. Se sabe poco sobre los requerimientos nutricionales de esta fauna hiporreica, ¿cual es su principal fuente de energía ?, pero sería muy interesante avanzar en el conocimiento de cómo factores tales como el caudal , la porosidad de los sedimentos o los aportes de materia orgánica pueden llegar a afectar a su fuente energética.



La mayoría de las especies que componen la fauna hiporreica son meiofauna es decir individuos de tamaño inferior a 1 mm. Este pequeño tamaño y su elevada tasa de productividad determina que constituyan un elemento importante en la regulación de la productividad microbiana y en la alimentación de otros invertebrados de mayor tamaño e incluso de los peces.

La actividad de estos organismos (excavación, producción de excretas), también influye en las características del compartimento hiporreico, influyendo en los procesos físicos y químicos descritos en diapositivas anteriores. Por otra parte, el aporte de sedimentos finos (desde la cuenca vertiente, por ejemplo) puede llegar a obstruir, colmatar, los espacios intersticiales del hiporreos haciendo este medio inhabitable para los organismos o alterando el procesamiento de nutrientes, intercambio de gases, etc.

En resumen, el compartimento hiporreico es un subsistema dinámico cuya estructura y funcionamiento variará en el espacio y en el tiempo y en consecuencia también lo hará su influencia sobre el compartimento superficial. Este hecho puede tener incluso tener consecuencias a escalas espaciales mayores (escala de tramo y cuenca)

### 1. La interacción agua subsuperficial-superficial

Por ejemplo, imaginemos que ciertas actividades antrópicas (cambios de uso del suelo, deforestación) , incrementan el contenido en sólidos, material fino, transportado por las aguas de escorrentía y que llega de forma local a un tramo del cauce donde desovan las truchas o salmones (estas especies ponen sus huevos en el sedimento).

Este aporte de material fino disminuye el flujo intersticial del agua en los sedimentos disminuyendo la concentración de oxígeno así como afectando a otros factores importantes para el desarrollo de los huevos. Con ello, se verá afectado el reclutamiento de nuevos individuos y a la densidad de peces.

Así, una entrada de sedimento fino a escala local de un lecho gravoso, puede tener ramificaciones a escala de tramo alterando la cadena trófica del mismo.



(imagen extraída de [www.nfl.dfo-mpo.gc.ca](http://www.nfl.dfo-mpo.gc.ca))



(Imagen extraída de [worldofstock.com](http://worldofstock.com))



### 2. La interacción entre la zona riparia y el sistema acuático. La zona riparia como sistema exportador e importador de materia y energía.

## Papel del bosque de ribera en el funcionamiento del ecosistema ripario-fluvial

De forma resumida algunas de las principales efectos del bosque de ribera sobre el funcionamiento del ecosistema

- **Retención de nutrientes (fundamentalmente de N)**

El bosque de ribera intercepta los flujos subsuperficiales y superficiales desde la parte alta de las cuencas, cumpliendo una importante función como filtro de nutrientes (ver Diapositiva 21).

- **Efecto sobre la producción primaria**

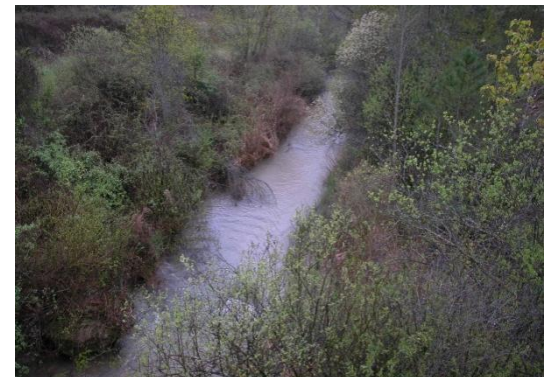
La presencia del bosque de ribera limita la producción primaria al disminuir la incidencia de la luz sobre la lámina de agua

- **Efecto sobre las tasas de crecimiento y estructura de la comunidad de macroinvertebrados**

El bosque de ribera es una fuente importante de hojarasca y detrito base energética de los organismos trituradores y descomponedores

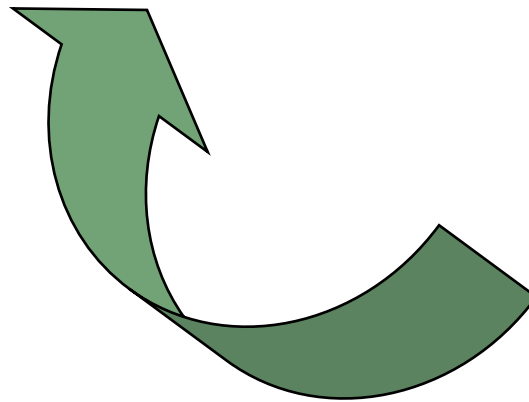
- **Efecto sobre la disponibilidad de alimento y hábitats para peces**

Para muchas especies de peces constituye la fuente de su alimentación, pequeños frutos, hojas y configura el hábitat ideal (zona de raíces enmarañadas) para la puesta de huevos y como refugio para adultos.



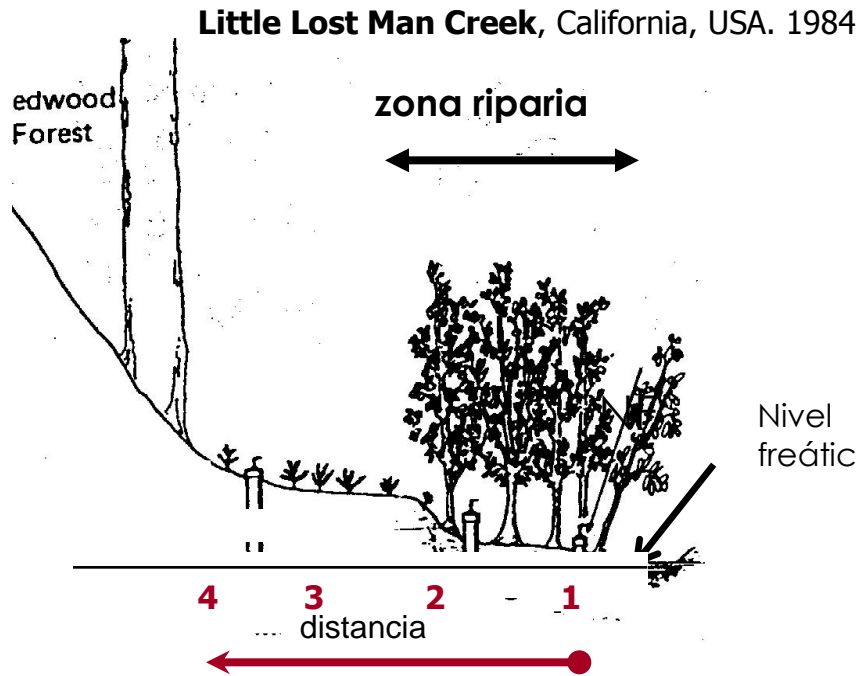
2. La interacción entre la zona riparia y el sistema acuático. La zona riparia como sistema exportador e importador de materia y energía.

**La zona riparia como sistema importador de materia y energía**



# Lección 10. Las interfases

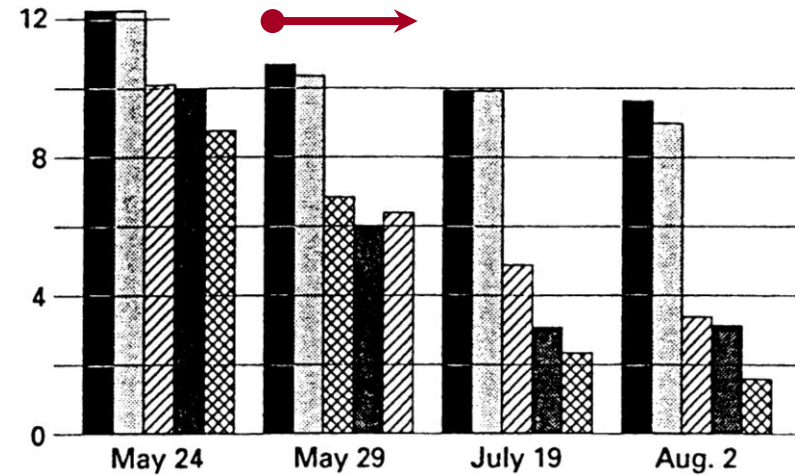
## 2. La interacción entre la zona riparia y el sistema acuático. La zona riparia como sistema exportador e importador de materia y energía.



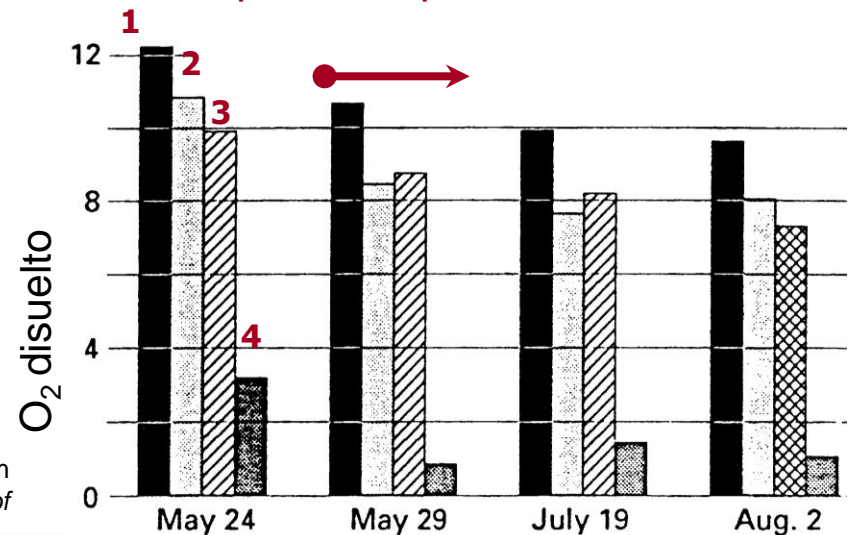
Ejemplo de cómo varía la concentración de oxígeno disuelto en el agua subterránea, conforme nos alejamos hacia el interior de la zona riparia en una plantación de alisos (joven) y una de secuoyas (plantación madura), en diferentes fechas de muestreo. En ambos casos la disminución es clara, pero mucho más acusada en la plantación adulta, que en la joven (con menos acúmulo de materia orgánica en el suelo). A mayor cantidad de materia orgánica menor oxígeno ya que la descomposición de la misma consume el oxígeno presente.

(extraído de Duff J.H.; F.J. Triska. 1990. Denitrification in sediments from the hyporheic zone adjacent to small forested stream. *Canadian journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 47:1140-1147.)

### Plantación de alisos (1965)



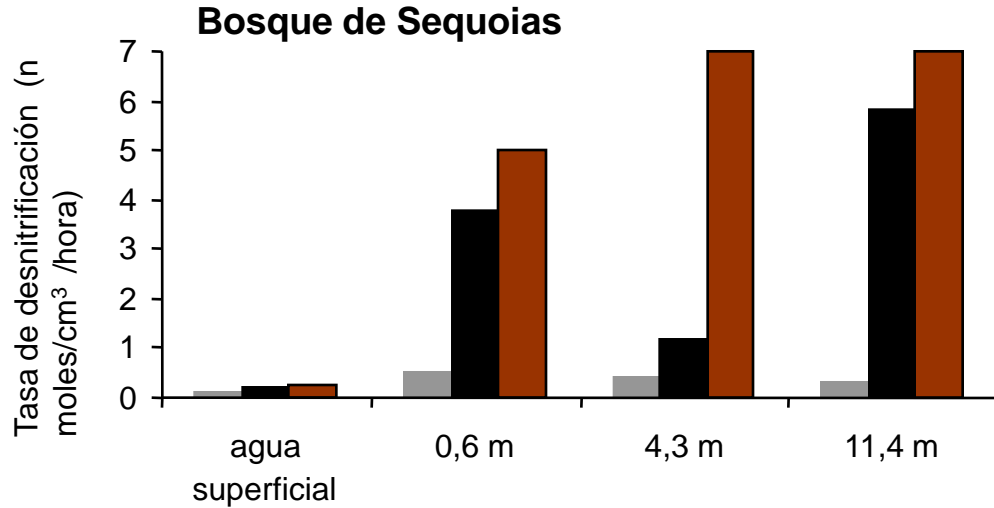
### Bosque de secuoyas



# Lección 10. Las interfases

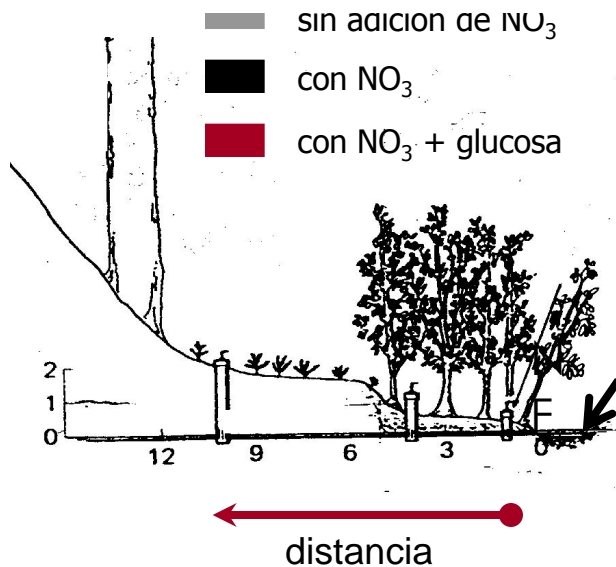
## 2. La interacción entre la zona riparia y el sistema acuático. La zona riparia como sistema exportador e importador de materia y energía.

(extraído de Duff J.H.; F.J. Triska. 1990. Denitrification in sediments from the hyporheic zone adjacent to small forested stream. *Canadian journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 47:1140-1147.)



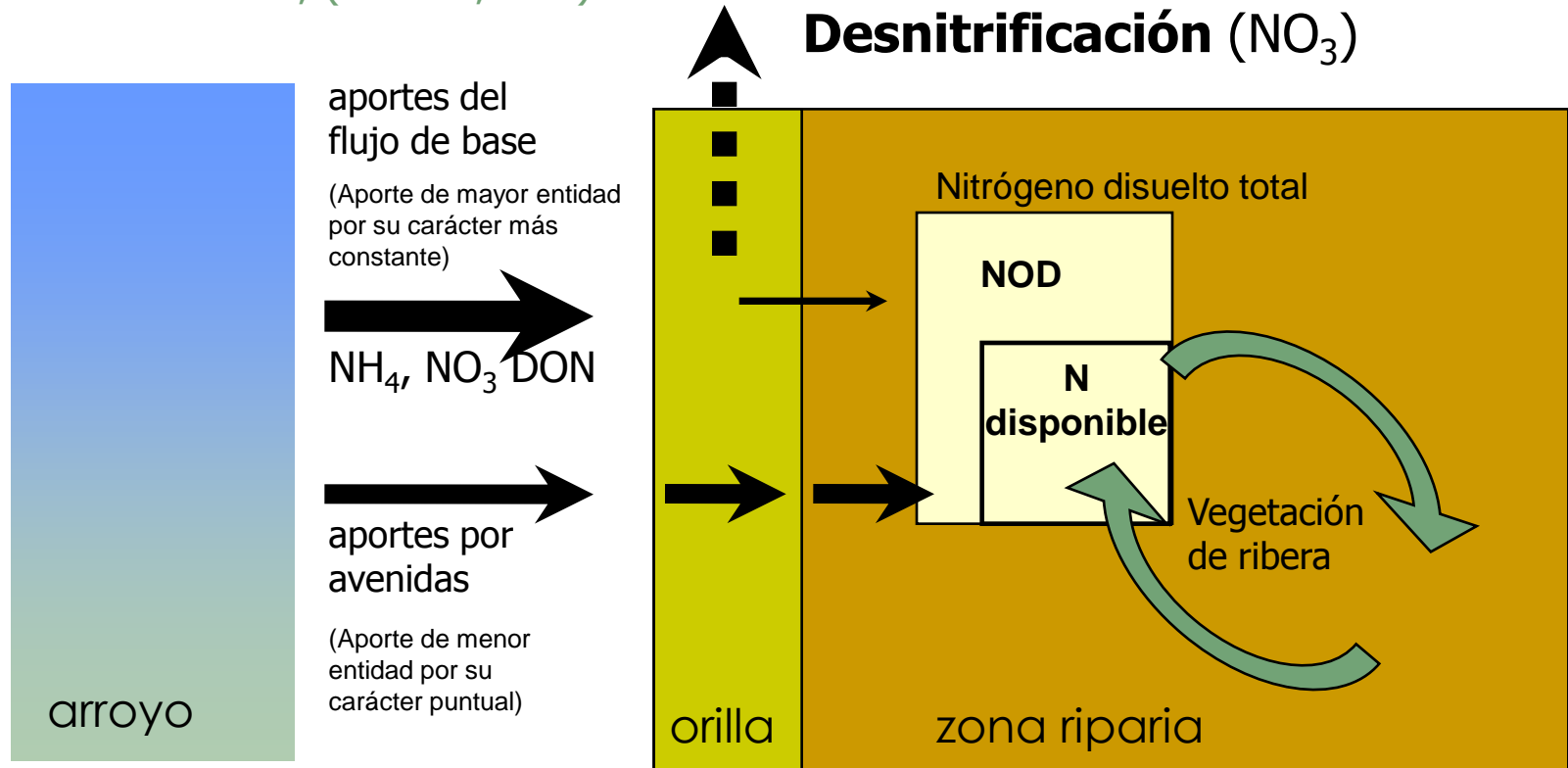
Tasas de desnitrificación (pérdida de nitrato del agua) a lo largo de la zona riparia.

Las tasas de desnitrificación en ambos casos incrementan conforme nos adentramos en la zona riparia, dado el menor contenido de oxígeno en el agua y la mayor cantidad de materia orgánica. Las bacterias desnitrificantes actúan en condiciones anaeróbicas (déficit de oxígeno). Es un ejemplo del efecto *filtro* de nutrientes del bosque de ribera. La reducción del contenido de nutrientes en el agua conforme esta fluye subsuperficialmente por la ribera no sólo es consecuencia de la asimilación biótica por la vegetación sino además por otros procesos como la desnitrificación, proceso mediado por microorganismos.



2. La interacción entre la zona riparia y el sistema acuático. La zona riparia como sistema exportador e importador de materia y energía.

Modelo conceptual de la dinámica del N en la zona riparia  
Sycamore Creek, (Arizona, USA)



Ejemplo de cómo el nitrógeno, que desde el río llega a la zona riparia, es desnitrificado en los primeros metros de la misma (orilla) llegando una pequeña parte del mismo, en forma fundamentalmente de nitrógeno orgánico disuelto (NOD) al interior de la ribera. Esta forma del N no es directamente utilizable por los productores primarios, sino que a de ser previamente mineralizado para pasar a ser N disponible. Sin embargo, tras una avenida de agua (riada) el nitrógeno que transporta el agua, fundamentalmente disponible en forma de nitrato o amonio, inunda en mayor grado la zona riparia y es entonces utilizado por la vegetación de ribera

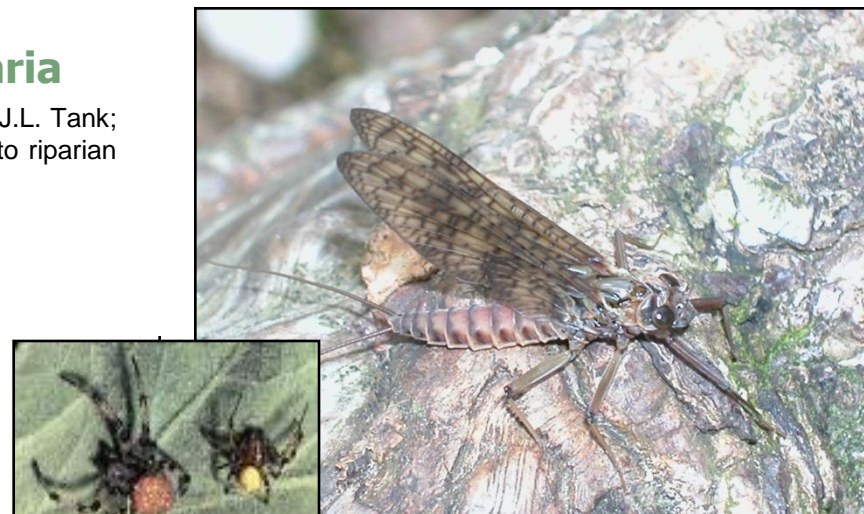
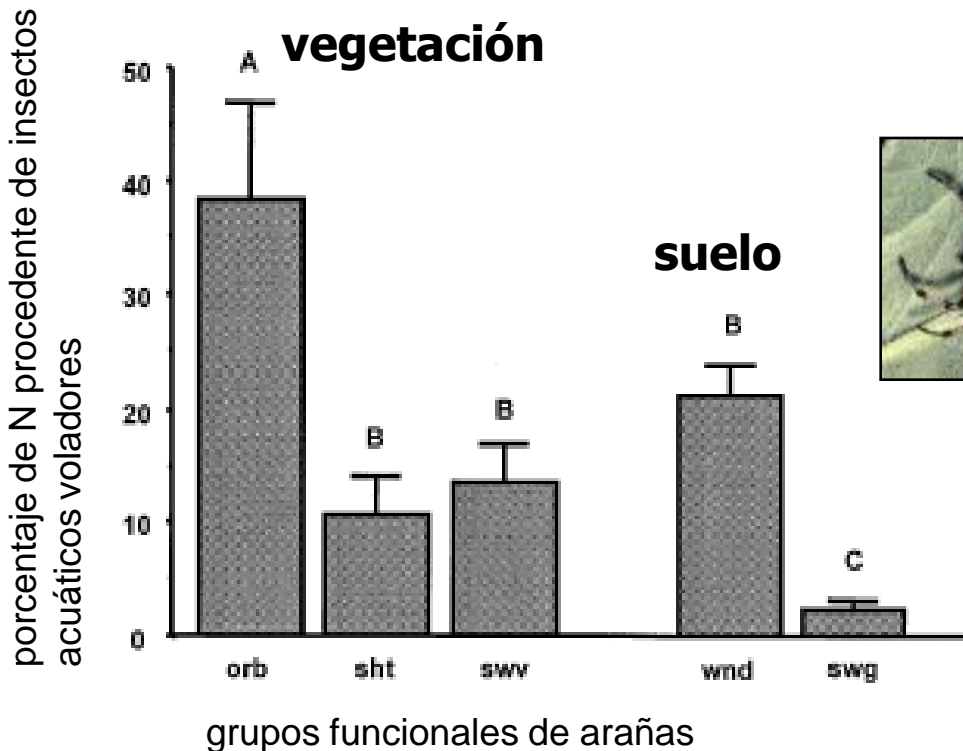
(extraído de Schade, J.D.; E. Martí J.R. Welter; S.G. Fisher, N.B. Grimm. 2002. Sources of nitrogen to the riparian zone of a desert stream: implications for riparian vegetation and nitrogen retention. *Ecosystems*, 5: 68-79)



2. La interacción entre la zona riparia y el sistema acuático. La zona riparia como sistema exportador e importador de materia y energía.

Los cursos de agua como sistemas exportadores de C y N hacia la zona riparia

(datos extraídos de Sanzone D.M.; J.L. Meyer; E. Martí; E.P. Gardiner; J.L. Tank; N.B. Grimm. 2003. Carbon and nitrogen transfer from a desert stream to riparian predators. Oecologia, 134: 238-250)

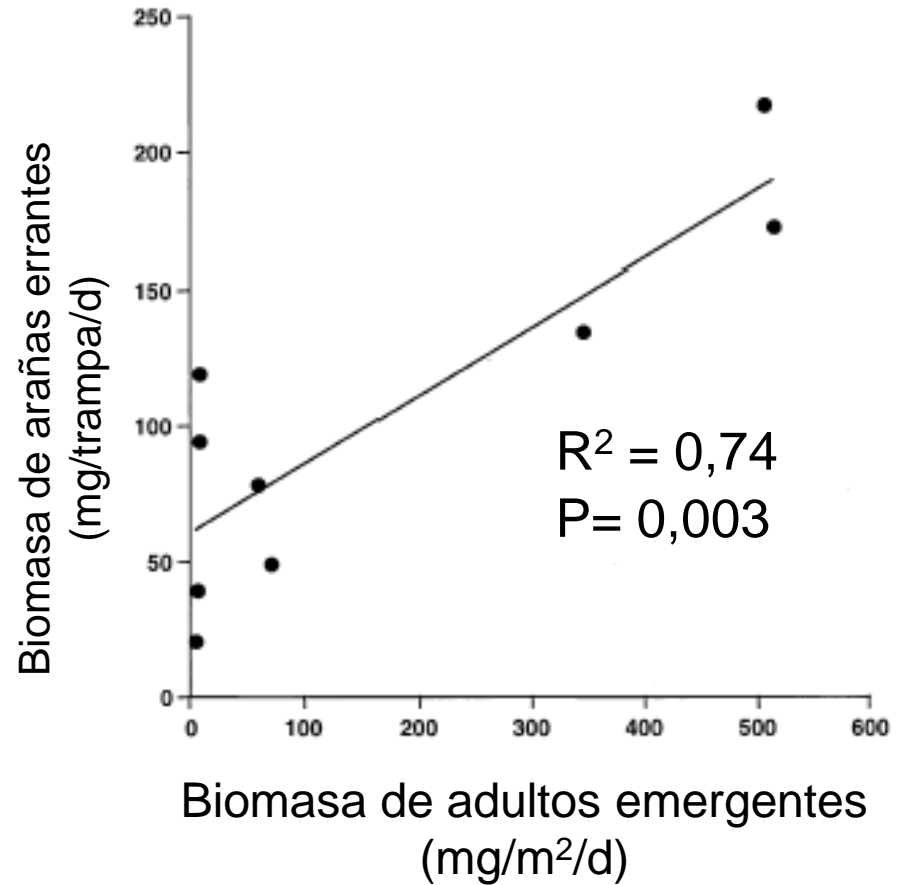
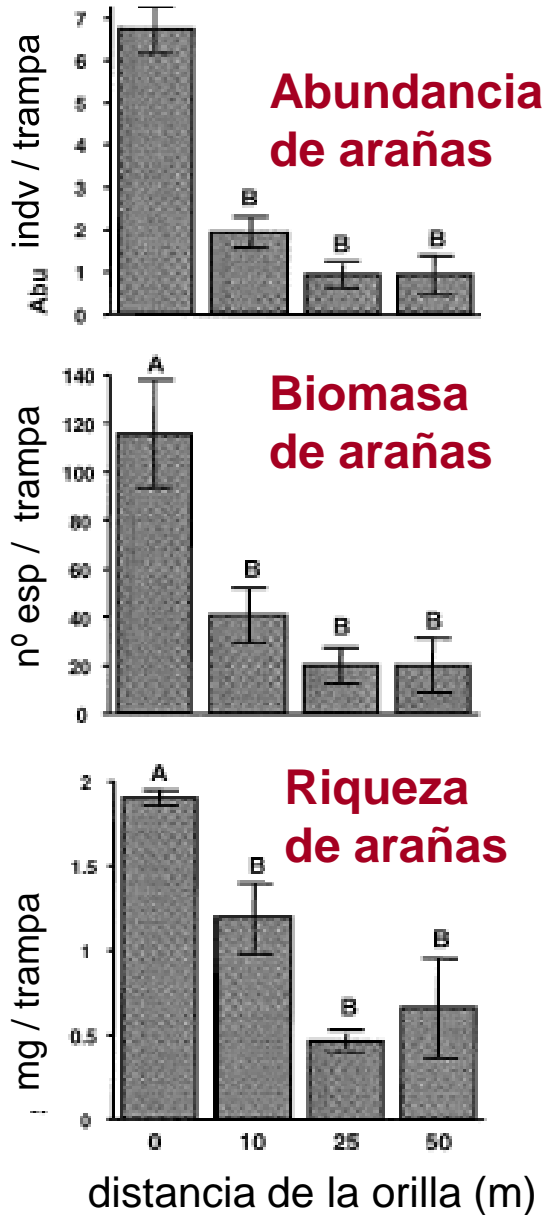


V	S
39 % N	25 % N
100 % C	68 % C

Porcentaje de N y C presente en la araña que proviene del ecosistema acuático. Este experimento se realizó utilizando N marcado (N15)

Un elevado porcentaje del carbono y nitrógeno presentes en las arañas de la zona riparia, proviene de los insectos acuáticos voladores (efémeras, dípteros.) que son capturados por las arañas en sus trampas dispuestas sobre la vegetación (V) o sobre el suelo (S). Las arañas que hacen sus nidos sobre la vegetación tienen mayor oportunidad de capturar a los insectos voladores, de ahí su mayor contenido en N y C “acuático”.

2. La interacción entre la zona riparia y el sistema acuático. La zona riparia como sistema exportador e importador de materia y energía.



La relación entre biomasa de insectos voladores (cuyas larvas son acuáticas) y arañas ribereñas, es directa. Así mismo, conforme nos alejamos de la zona ribereña disminuye la abundancia, biomasa y riqueza de arañas. El sistema acuático exporta materia (N y C) hacia la zona riparia.

## Efecto del régimen hidrológico en el funcionamiento del ecosistema ripario-fluvial

Fluctuaciones estacionales

Avenidas de agua

Periodos de sequía

Influyen en

- Grado de interconexión entre subsistemas

- Ratio flujo superficial/flujo subsuperficial

- Otros : estado vegetación de ribera, colonización de lecho por vegetación, disponibilidad de MOP...





#### • Grado de interconexión entre subsistemas

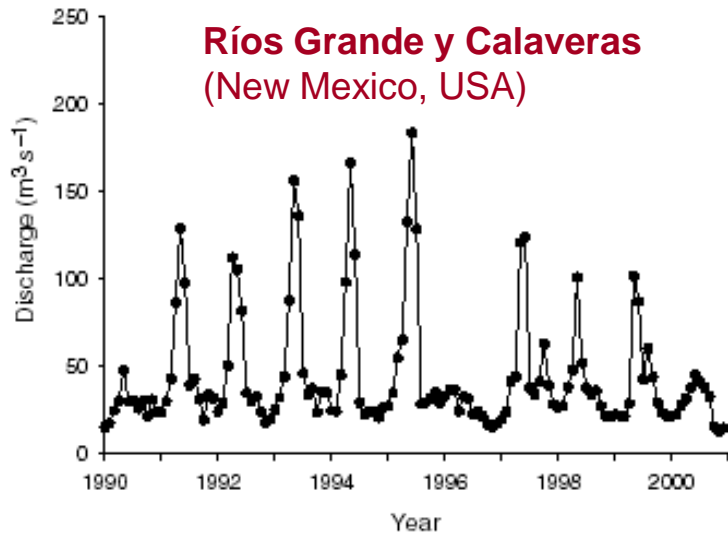
Dependiendo del estado hidrológico del sistema la interacción (conexión) entre los distintos subsistemas varía. En momentos de crecida e inundación es cuando el compartimento superficial muestra una mayor conexión con la ribera y llanura aluvial, aportando materia orgánica y nutrientes arrastrados por el agua de escorrentía a la misma. Igualmente el agua de avenida moviliza y retira materia orgánica y nutrientes depositados en los suelos de la zona riparia y llanura aluvial y los transporta aguas abajo, produciéndose una redistribución de materiales. Un efecto de esta mayor interacción entre ambos subsistemas bajo situaciones de crecida o riada fue expuesto en la diapositiva 23.

A continuación se muestra igualmente otro ejemplo del efecto de la variabilidad estacional en la interacción entre el compartimento subterráneo y superficial en dos arroyos de Nuevo México (USA). Durante el flujo base el compartimento subterráneo (aluvial y profundo) es la principal fuente de agua del arroyo. Los aportes del compartimento subsuperficial (acuífero aluvial) suministran nutrientes entre los que se encuentra el carbono orgánico disuelto (COD), a expensas del cual se desarrolla la actividad microbiana. En situación de sequía moderada, cuando descienden los caudales y la evapotranspiración de la vegetación de ribera aumenta, los aportes subsuperficiales cesan, ya que la conexión entre el acuífero aluvial y la llanura de inundación desaparece. Como consecuencia disminuye la entrada de COD y el metabolismo microbiano, ya que los aportes de COD desde las aguas subterráneas más profundas son mínimos. En esta situación las condiciones biogeoquímicas del agua superficial reflejan las características del acuífero profundo. En la situación más extrema de sequía severa, los aportes subterráneos cesan y el arroyo se convierte en determinados tramos en un sistema “perdedor”, el agua superficial se infiltra y el flujo del arroyo se hace intermitente. En esta situación las condiciones biogeoquímicas del agua superficial (allí donde está presente) son el resultado de las características del acuífero profundo y de forma local, de las características litológicas del cauce. Con el metabolismo microbiano reducido (procesos heterotróficos) los procesos autotróficos cobran mayor importancia bajo estas condiciones y con ello caben esperar cambios en toda la cadena trófica del sistema.

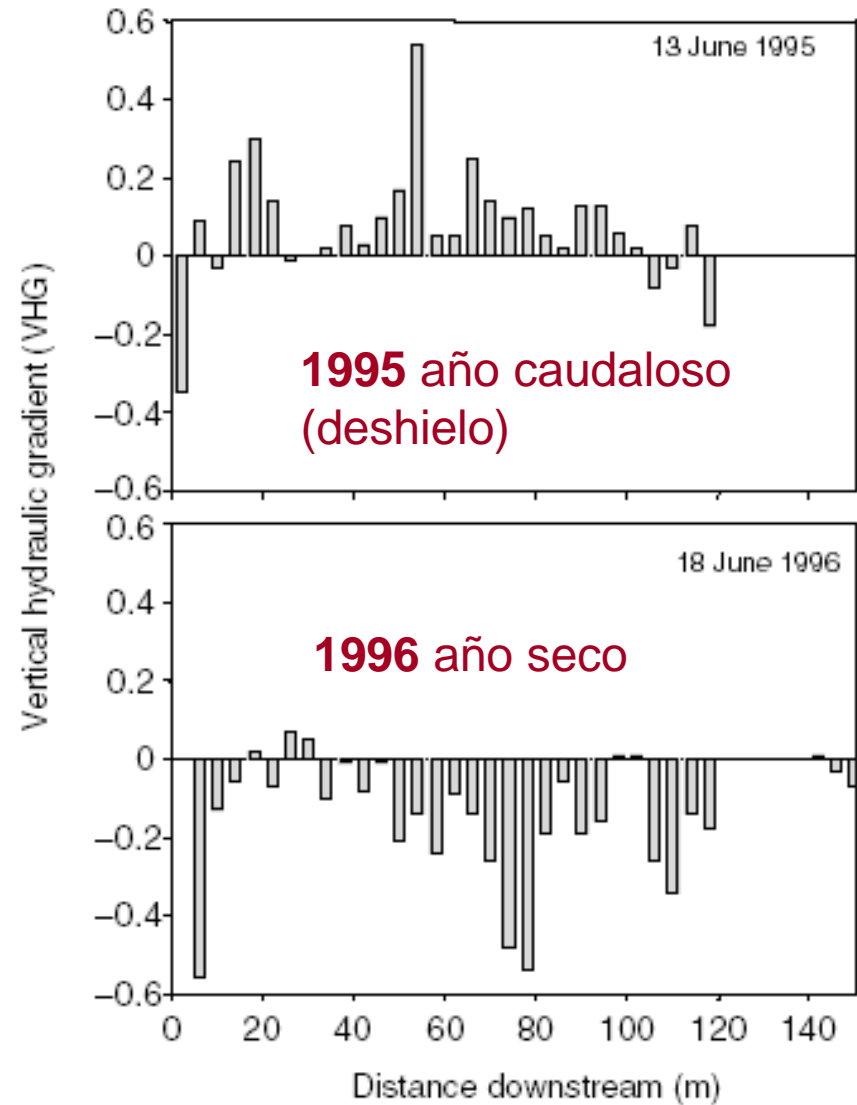
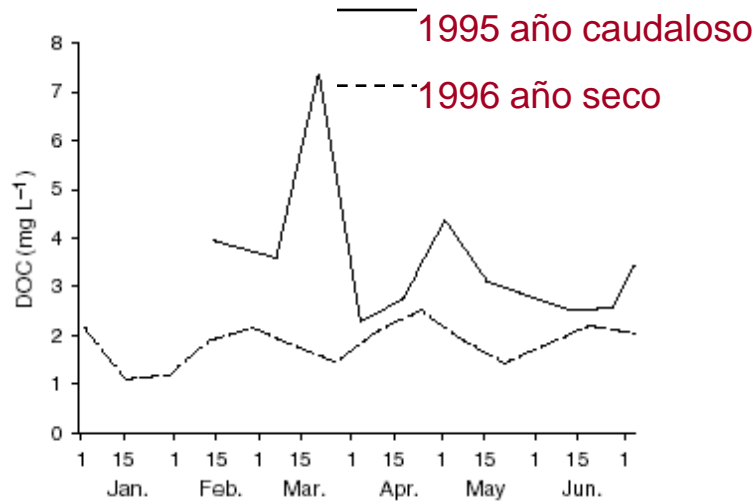


## 3.

### Variación espacial y temporal del grado de interacción entre subsistemas



Datos extraídos de: Dahm C.N.; M.A. Baker; D.I. Moore; J.R. Thibault. 2003. Coupled biogeochemical and hydrological responses of streams and rivers to drought. *Freshwater Biology* 48:1219-1231.

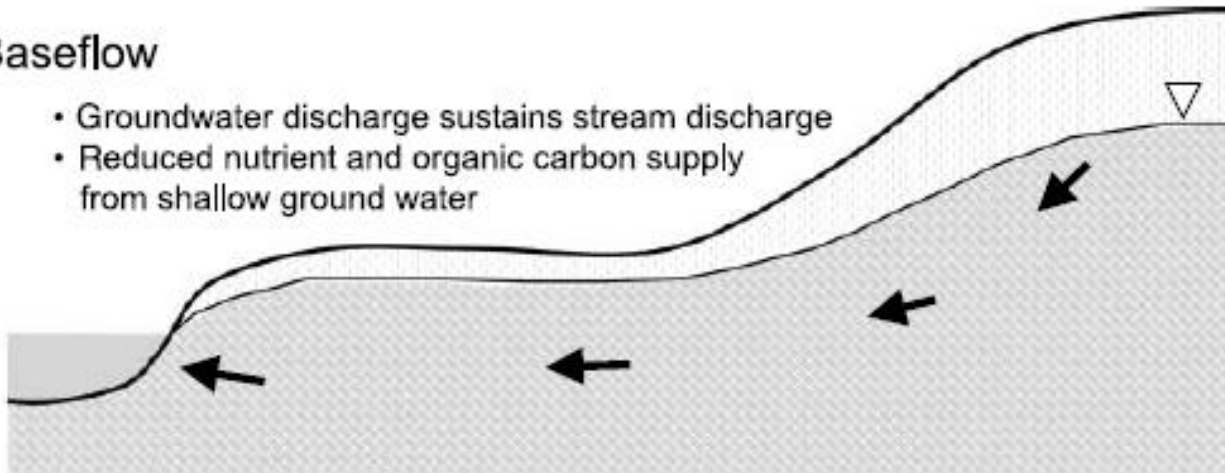




Extraído de: Dahm C.N.; M.A. Baker; D.I. Moore; J.R. Thibault. 2003. Coupled biogeochemical and hydrological responses of streams and rivers to drought. *Freshwater Biology* 48:1219-1231.

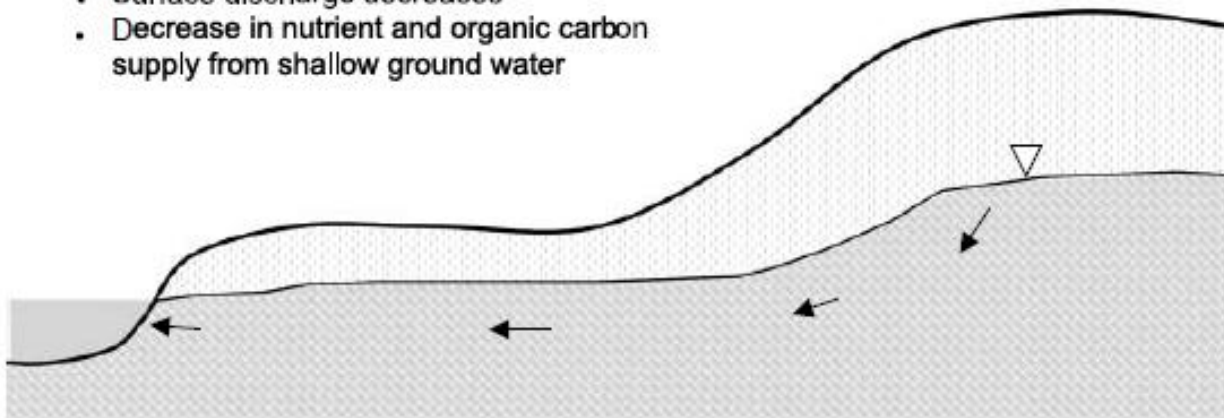
#### Baseflow

- Groundwater discharge sustains stream discharge
- Reduced nutrient and organic carbon supply from shallow ground water



#### Moderate drought

- Less groundwater discharge feeds stream
- Surface discharge decreases
- Decrease in nutrient and organic carbon supply from shallow ground water



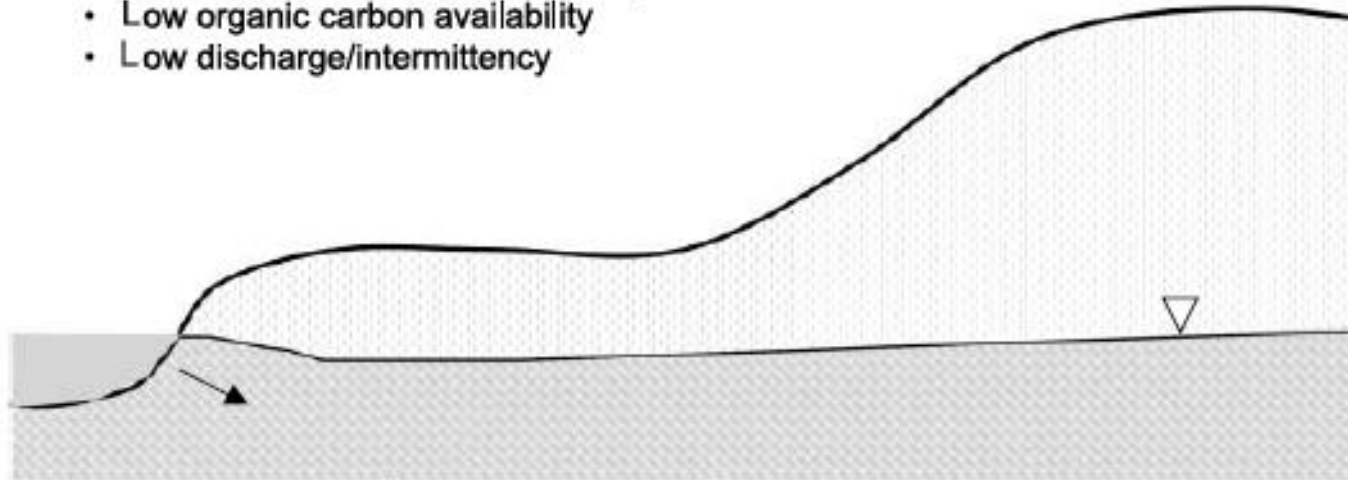
## 3. Variación espacial y temporal del grado de interacción entre subsistemas



**Extreme drought**

(Extraído de: Dahm C.N.; M.A. Baker; D.I. Moore; J.R. Thibault. 2003. Coupled biogeochemical and hydrological responses of streams and rivers to drought. *Freshwater Biology* 48:1219-1231.)

- Stream recharges ground water in most locations
- Surface nutrient distribution patchy
- Low organic carbon availability
- Low discharge/intermittency



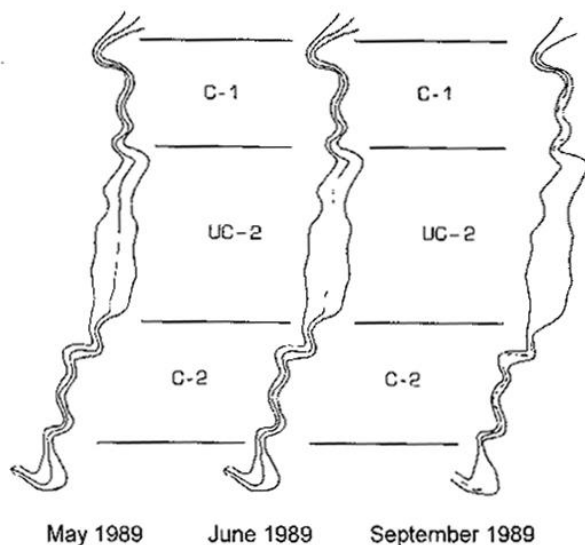
## 3. Variación espacial y temporal del grado de interacción entre subsistemas

El efecto de la hidrología en la conexión entre subsistemas tiene lugar a diferentes escalas espaciales y dependiendo de la misma así serán los efectos sobre las características biogeoquímicas del sistema. A escala de cuenca vemos como la red de drenaje se expande o contrae dependiendo de las condiciones hidrológicas y con ello su grado de conexión con la cuenca vertiente. En situaciones de bajo caudal, periodos de sequía, la desconexión del ecosistema ripario-fluvial con su cuenca es elevada. Bajo estas condiciones las características biogeoquímicas y procesos dentro del sistema dependerán más de las características locales del cauce que de las características de la cuenca (uso de suelo, etc).

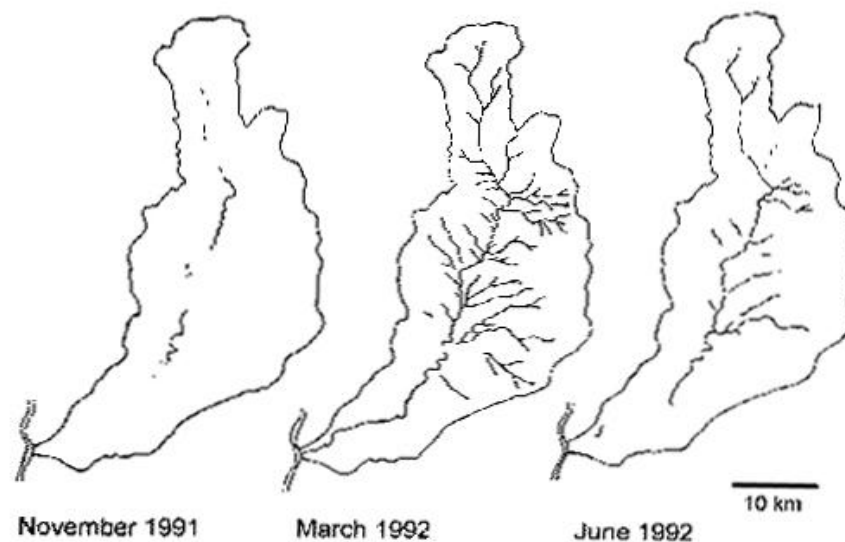
## Contracción y expansión del ecosistema ripario-fluvial

(imágenes extraídas de Stanley, E.H.; S.G. Fisher; N.B. Grimm. 1997. Ecosystem expansion and contraction in streams. *BioScience* 47(7):427-435.)

### Escala de sección



### Escala de cuenca



#### • **Efecto del cambio Ratio flujo superficial/flujo subsuperficial**

A continuación se expone otro ejemplo de la incidencia de los cambios en la ratio flujo superficial/flujo subsuperficial en las condiciones biogeoquímicas de un curso de agua. Para ello recurrimos otra vez al ejemplo del incremento de la concentración de nitrato en las zonas de descarga descrito anteriormente en Sycamore Creek, Arizona, USA).

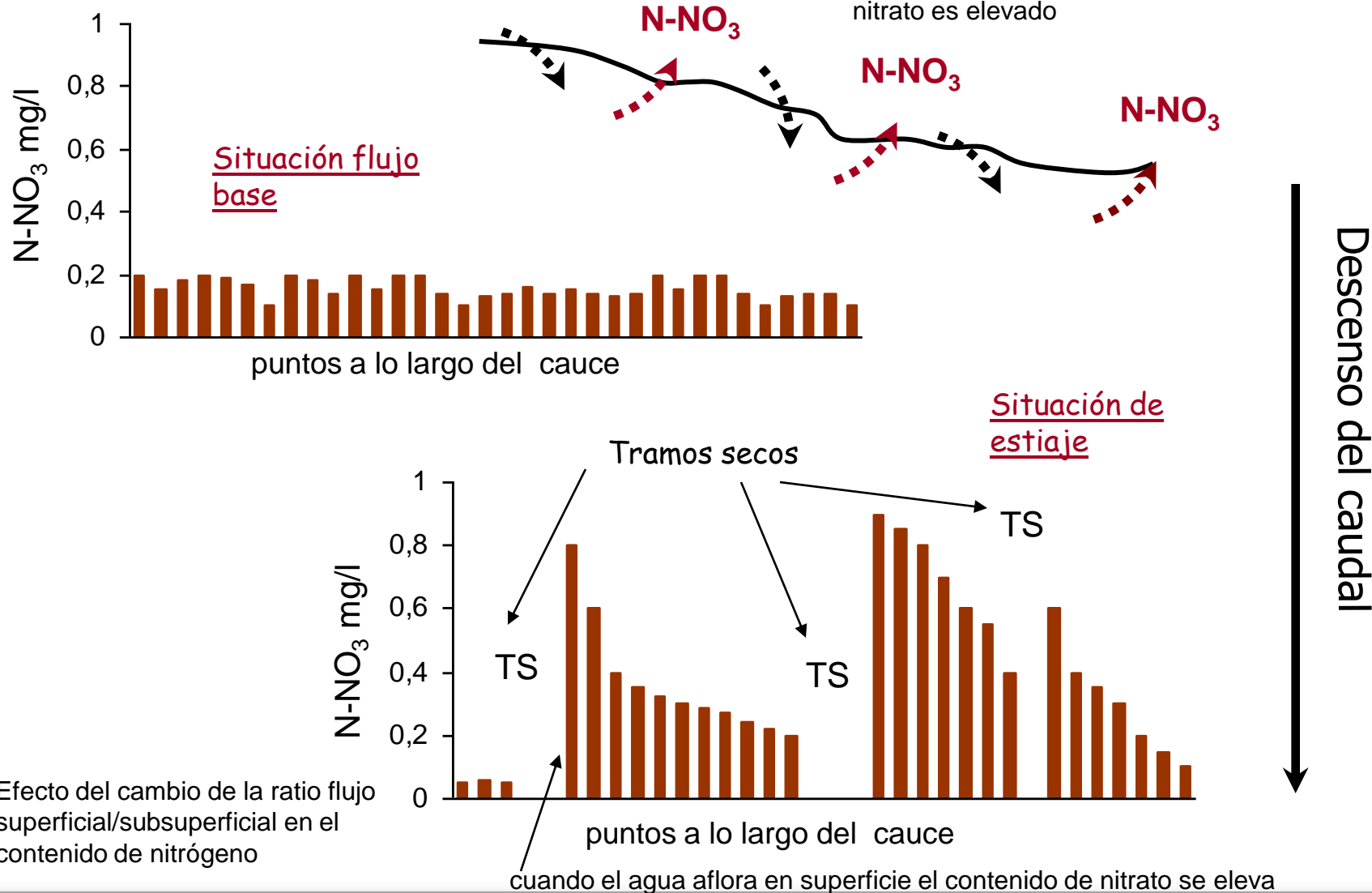
El efecto de las zonas de descarga en la concentración de nitrato del agua superficial en Sycamore Creek es menos patente en situación de flujo base, cuando la ratio flujo superficial/flujo subsuperficial es mayor (caudal superficial mayor que el subsuperficial) que en los periodos secos, momento en que la ratio flujo superficial/flujo subsuperficial disminuye (descenso del caudal superficial frente al subsuperficial).



3. Variación espacial y temporal del grado de interacción entre subsistemas

**Ratio flujo superficial/flujo subsuperficial**

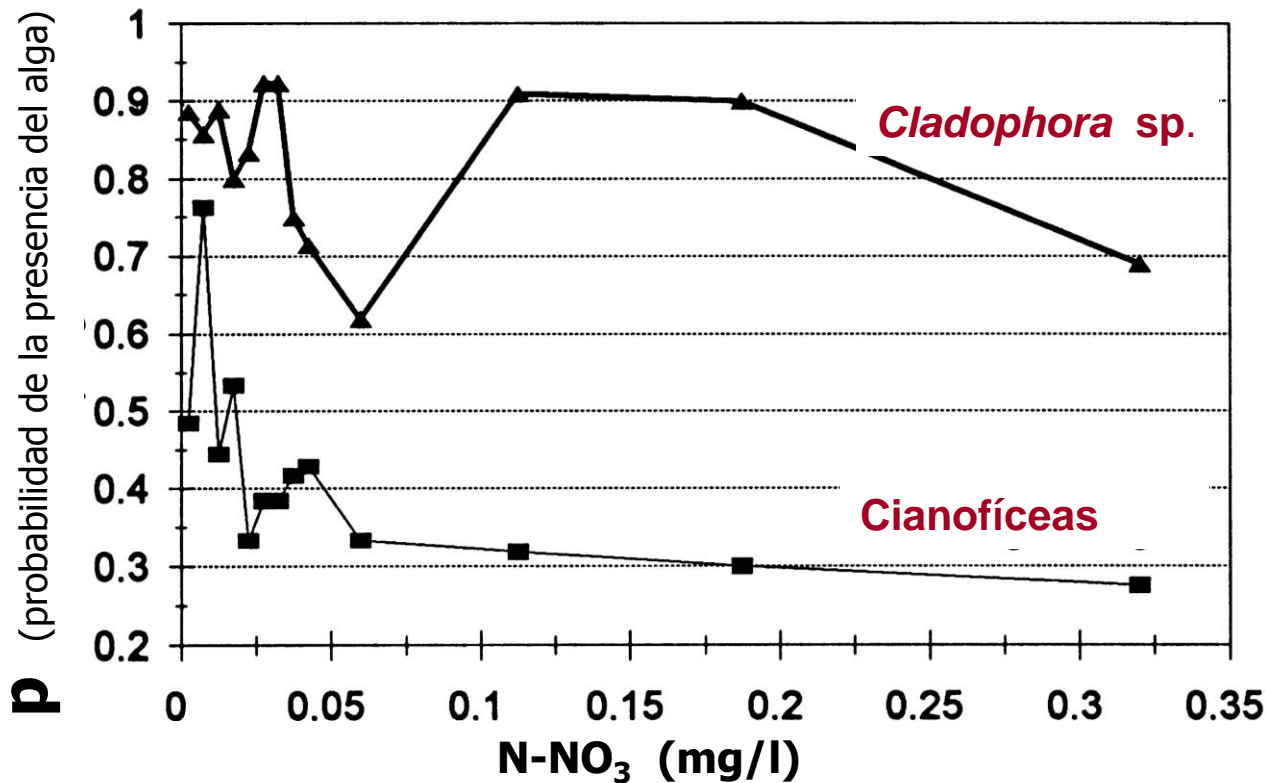
Allí donde el agua aflora en superficie tras discurrir subsuperficialmente el contenido de nitrato es elevado



Efecto del cambio de la ratio flujo superficial/subsuperficial en el contenido de nitrógeno

## 3. Variación espacial y temporal del grado de interacción entre subsistemas

A su vez, el mayor o menor incremento de la concentración de  $N-NO_3$  en el agua superficial determina la distribución de una especie u otra de alga. En condiciones de escasez de nitrato, las cianofíceas son las algas dominantes ya que éstas son capaces de fijar el N atmosférico mostrando una ventaja competitiva frente a otras especies. Cuando las concentraciones de nitrato incrementan (periodos de escaso caudal) las clorofíceas como *Cladophora* desplazan a las cianofíceas.



*Cladophora sp*

*Nostoc sp*



La heterogeneidad espacial en cuanto al contenido de nitrógeno influye en la distribución de *Cladophora* y de las algas cianofíceas. La probabilidad de que aparezcan las algas cianofíceas incrementan acusadamente en aquellos puntos con bajas concentraciones de nitrato y disminuye con las altas concentraciones.

3. Variación espacial y temporal del grado de interacción entre subsistemas

• **Otros...**

**efecto de la colonización del lecho por la vegetación durante periodos de estiaje**



**Tiempo tras una crecida**



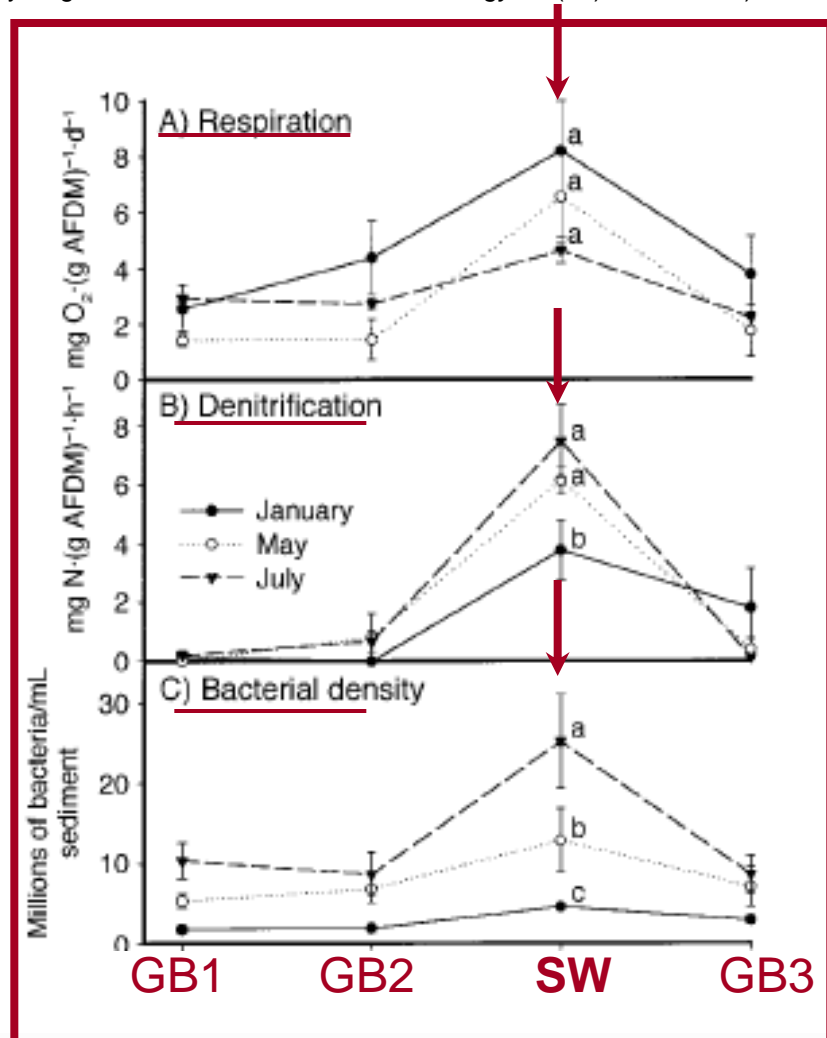
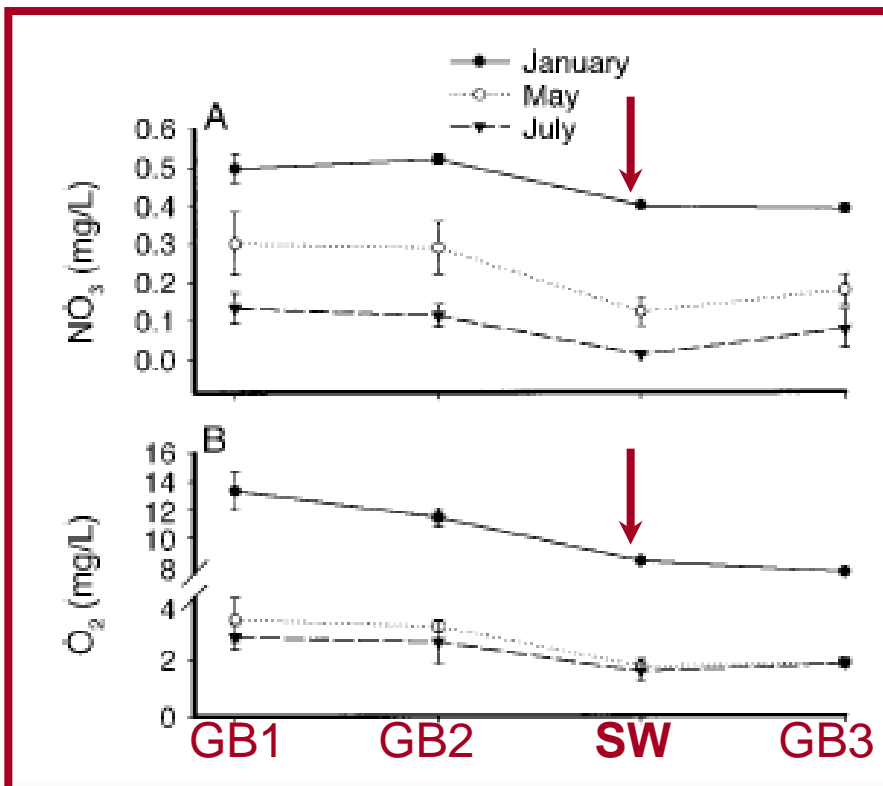
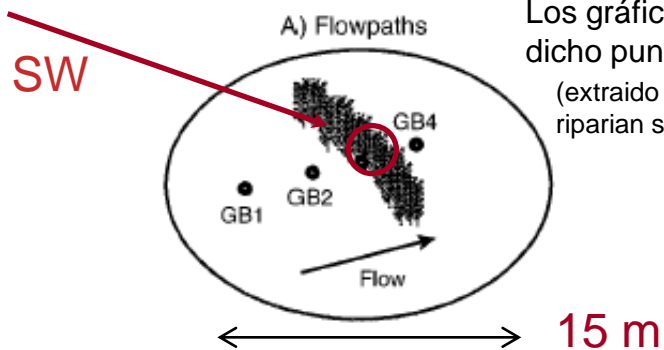
Crecimiento de la vegetación terrestre en la zona parafluvial (barras de arena y grava).

Durante el periodo de estiaje, cuando la vegetación terrestre comienza a crecer e invadir el ecosistema fluvial, como vemos en la imagen, se producen determinados cambios (aportes de materia orgánica, consumo de nutrientes, etc.) que van a afectar de forma importante al funcionamiento y estructura del sistema (aparición de zonas anóxicas en el sedimento, eliminación de N por desnitrificación, entrada de insectos terrestres que consumen la materia orgánica de las barras de arena...etc.). A continuación veremos un ejemplo de tales efectos.

3. Variación espacial y temporal del grado de interacción entre subsistemas

SW indica el punto dentro de una barra de arena donde ha crecido vegetación. Los gráficos muestran resultados de las condiciones **del agua intersticial** en dicho punto, comparada con aquellos que no presentan vegetación (GB1-GB3)

(extraído de Schade, J.D.; S.G. Fisher; N.B. Grimm; J.A. Seddon. 2001. The influence of a riparian shrub on nitrogen cycling in a Sonoran desert stream. *Ecology*, 82(12):3363-3376.)





4. Revisión de teoría sobre funcionamiento de ríos y arroyos

## Modelos de funcionamiento de ríos y arroyos

En la Lección 1 vimos diferentes modelos de funcionamiento de ríos y arroyos y como estos modelos, es decir las teorías que los sustentaban, habían evolucionado desde el concepto del río como un continuo (RCC, river continuum concept) hasta el concepto del ecosistema ripario-fluvial y la idea de la conectividad longitudinal, lateral y vertical. En la siguiente diapositiva se incluye un resumen de los mismos de forma esquemática (ver también Lección 1).

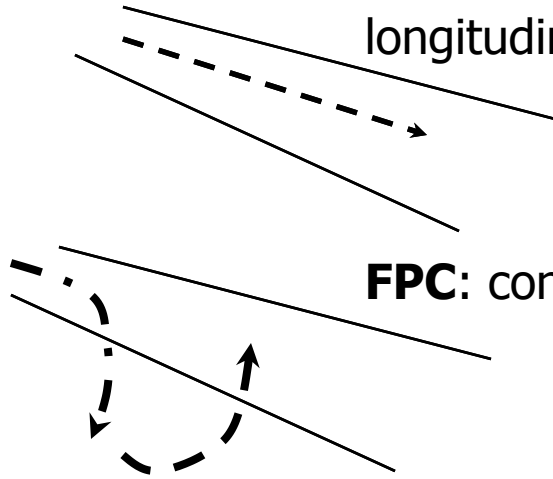
En esta lección además, hemos analizado como la conexión entre los distintos subsistemas altera, modifica e influye en el propio funcionamiento del sistema y además que el grado de conexión entre ellos es un aspecto dinámico sujeto al efecto de los cambios hidrológicos, sean éstos estacionales o no.

Expón cómo crees que influye lo visto en esta lección con los programas de gestión y conservación de ríos y arroyos (ejercicio nº 3).

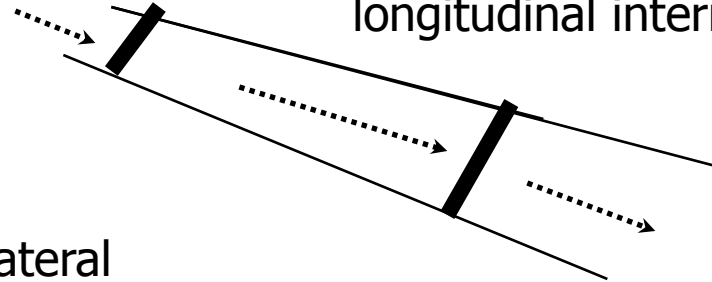
4. Revisión de teoría sobre funcionamiento de ríos y arroyos

## Resumen diferentes modelos funcionamiento de ríos y arroyos

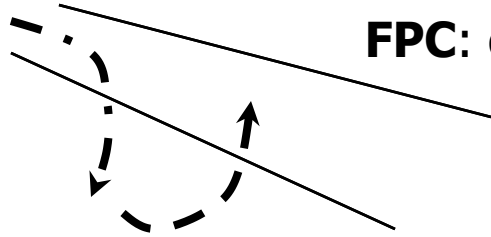
**RCC:** conectividad longitudinal



**SDC:** conectividad longitudinal interrumpida



**FPC:** conectividad lateral



Este modelo "**the serial discontinuity concept**", (**SDC**), establece el funcionamiento de un río o arroyo que presenta continuas discontinuidades (p.e. presas) a lo largo de su eje longitudinal. Prácticamente es un caso particular de RCC.

El "**flood pulse concept**", (**FPC**), incorpora el concepto de la importancia de la conexión entre el río y su llanura de inundación, introduce, en relación al RCC, el concepto de la conectividad lateral.

"**concepto del corredor hiporreico**" (Stanford y Ward, 1993) (**HCC**) El río como un sistema heterogéneo, de organización jerárquica. Considera la conexión entre subsistemas, es decir asume la idea del ecosistema ripario-fluvial, anteriormente descrito.

**HCC: Conectividad longitudinal, lateral y vertical**

