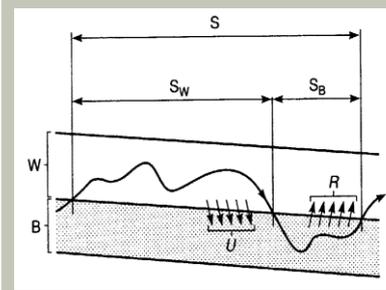


## Lección 3. Los nutrientes: origen, ciclos y balances. Distribución espacial y temporal.



Rosa Gómez Cerezo  
Dpto. Ecología e Hidrología  
Universidad de Murcia

## Lección 3. Los nutrientes (N y P): origen y ciclos. Distribución espacial y temporal.

<b>CONTENIDOS</b>	
1.	Principales nutrientes en los sistemas acuáticos. El concepto de nutriente limitante. La relación N:P
2.	Los ciclos del N y P. Principales procesos implicados en el reciclado de nutrientes. Variabilidad espacial. La espiral de nutrientes, medidas y aplicaciones. La retención de N como indicador del estado de calidad del sistema.
3.	Variabilidad temporal en la disponibilidad de nutrientes. Efecto de las perturbaciones.
4.	Algunas medidas para la mejora natural de la calidad del agua. Los sistemas naturales como "filtros verdes".

## Lección 3. Los nutrientes: ciclos, balances y distribución espacial y temporal

### 1. Principales nutrientes en los sistemas acuáticos. El concepto de nutriente limitante. La relación N:P

Los nutrientes son solutos es decir, materiales que se encuentran químicamente disueltos en el agua, esenciales para la vida, entre los que se encuentran cationes y aniones. Mientras algunos de estos solutos se encuentran de forma natural en una elevada concentración, estando fácilmente disponibles en los medios acuáticos, otros sin embargo se presentan en escasa concentración.

Los organismos autótrofos precisan de ciertos solutos que incluyen C, N, P, Si, S, K, Mg, Na, Ca, Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo, V y las vitaminas tiamina, cyanocobalamina y biotina. De ellos, C, N, P y Si son los que se precisan en mayor cantidad y dado que el C es normalmente muy abundante en los sistemas acuáticos en forma de CO<sub>2</sub> disuelto, se asume que los nutrientes mas importantes son el N, P y Si, también denominados macronutrientes frente al resto, micronutrientes.

Aunque todos los solutos citados anteriormente son nutrientes, en general se utiliza el término **nutriente** para referirse a aquellos solutos que se encuentran de forma natural en muy baja concentración pero esenciales para el crecimiento, mantenimiento y reproducción de ciertos organismos.

Entre los macronutrientes o nutrientes esenciales destacan el **N** y el **P** por su importancia biológica. Estos tienden a encontrarse en baja concentración en relación a la demanda que presentan.

# Lección 3. Los nutrientes: ciclos, balances y distribución espacial y temporal

## 1. Principales nutrientes en los sistemas acuáticos. El concepto de nutriente limitante. La relación N:P

**TABLE 6.5** Concentrations of Essential Elements for Plant Growth in Living Tissues of Freshwater Plants (Demand), in Mean World River Water (Supply), and the Plant/Water (Demand/Supply) Ratio of Concentrations

Element	Symbol	Demanded by Plants (%)	Supplied by Water (%)	Demand/Supply (Plant/Water) Ratio (approx.)
Oxygen	O	80.5	89	1
Hydrogen	H	9.7	11	1
Carbon <sup>a</sup>	C	6.5	0.0012	5,000
Silicon	Si	1.3	0.00065	2,000
Nitrogen <sup>a</sup>	N	0.7	0.000023	30,000
Calcium	Ca	0.4	0.0015	<1,000
Potassium	K	0.3	0.00023	1,300
Phosphorus <sup>a</sup>	P	0.08	0.000001	80,000
Magnesium	Mg	0.07	0.0004	<1,000
Sulfur	S	0.06	0.0004	<1,000
Chlorine	Cl	0.06	0.0008	<1,000
Sodium	Na	0.04	0.0006	<1,000
Iron	Fe	0.02	0.00007	<1,000
Boron	B	0.001	0.00001	<1,000
Manganese	Mn	0.0007	0.0000015	<1,000
Zinc	Zn	0.0003	0.000001	<1,000
Copper	Cu	0.0001	0.000001	<1,000
Molybdenum	Mo	0.00005	0.0000003	<1,000
Cobalt	Co	0.000002	0.000000005	<1,000

Los valores de la tabla reflejan el hecho de que a pesar de la importante demanda de **N** y **P** por parte de los productores primarios, su disponibilidad en el medio es muy baja, en relación a otros elementos, lo que suele convertir al N y/o P en nutrientes limitantes de la producción primaria en sistemas acuáticos. De ahí su denominación habitual como **nutrientes esenciales** aunque otros solutos también sean utilizados biológicamente.

Source: J. R. Vallentyne, *The Algal Bowl: Lakes and Man*. Copyright © 1974. Environment Canada. Reprinted by permission of the publisher.

<sup>a</sup>Concentrations in water for inorganic forms only. (extraído de [www.soest.hawaii.edu/krubin/GG325/lect21.pdf](http://www.soest.hawaii.edu/krubin/GG325/lect21.pdf))

## Lección 3. Los nutrientes: ciclos, balances y distribución espacial y temporal

### 1. Principales nutrientes en los sistemas acuáticos. El concepto de nutriente limitante. La relación N:P

El N y el P pueden llegar a ser limitantes de determinados procesos si su concentración en el medio es demasiado baja para suplir la demanda biológica. De ahí el término de nutriente potencialmente limitante o limitante para referirse a aquel que podría llegar a limitar o limita, por ejemplo, la producción primaria en los medios acuáticos.

Recordaremos la **Ley del mínimo de Liebig**: el nutriente que se encuentre menos disponible será aquel que limite la producción aún cuando los demás se encuentren en elevadas concentraciones.



**pero..... ¿cuánto N y P necesitan los productores primarios?**

Redfield (1934) descubrió que la proporción molar C, N, P asimilada por parte del fitoplancton de un elevado número de lagos era de **106:16:1**, es decir por cada 106 moles de C precisan 16 de N y 1 de P. En el caso de las diatomeas, estas además precisan para fabricar sus frústulos de silicio, por lo que la relación estequiométrica es de C:Si:N:P = 106:15:16:1.

A pesar de que este valor se sigue utilizando como referencia y que es bastante estable para el fitoplancton de lagos se especula con que la relación de Redfield es quizás más un promedio general que un requerimiento específico para el crecimiento fitoplanctónico.

Una proporción estequiométrica alternativa fue la propuesta para el perifiton dominado por el alga *Cladophora* (Wong & Clark 1976) de **200:14:1**

Aplicando estos valores para la relación N:P y conociendo la relación molar de ambos nutrientes en un medio, podemos analizar cual de ambos será el potencialmente limitante:

Si  $N/P > 16/14$  el **P** es el factor potencialmente limitante de la producción primaria

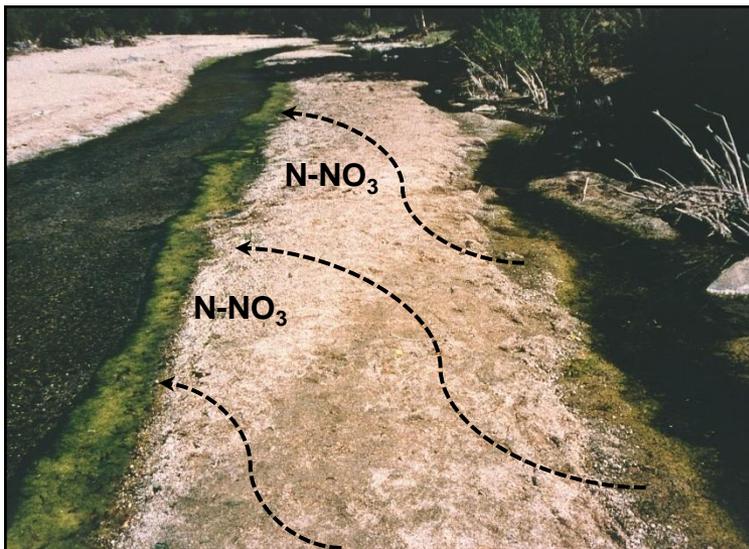
Si  $N/P < 16/14$  el **N** es el factor potencialmente limitante de la producción primaria

## Lección 3. Los nutrientes: ciclos, balances y distribución espacial y temporal

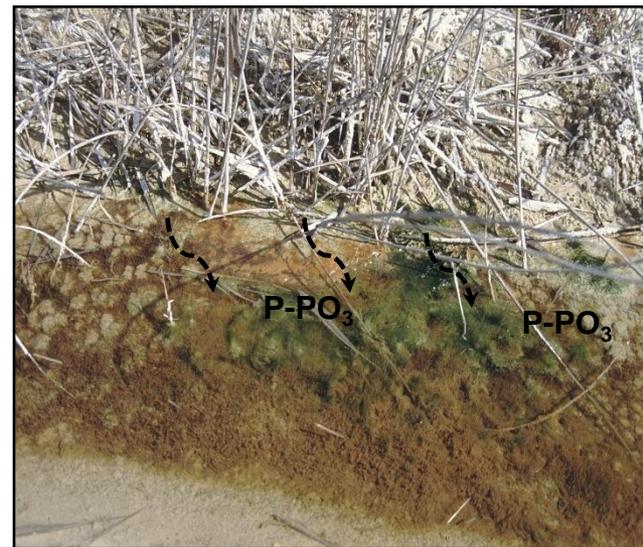
### 1. Principales nutrientes en los sistemas acuáticos. El concepto de nutriente limitante. La relación N:P

En general, podemos decir que las concentraciones de **P** tienden a ser menores que las de **N** en los medios acuáticos debido a su menor movilidad (al ser adsorbido por los sedimentos) y por tanto tiende a ser el nutriente limitante de la producción primaria. Sin embargo podemos encontrar situaciones muy diferentes.

▪ En Sycamore Creek, un arroyo del desierto de Sonora (Arizona, EU), el N es el nutriente limitante y condiciona la distribución de los productores primarios. En la imagen se observa como el alga *Cladophora* sp. tiende a concentrarse en las zonas de aporte de  $\text{N-NO}_3$ .



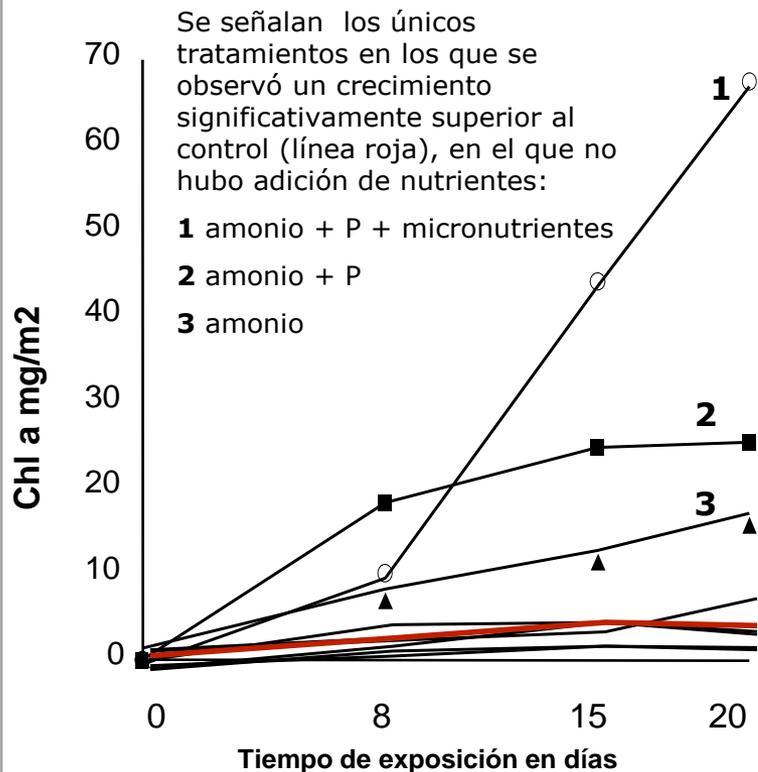
▪ En ciertos ríos y ramblas del sureste ibérico el P es el nutriente limitante debido a la presencia de sedimentos ricos en Fe. En la imagen se observa como el alga *Vaucheria dichotoma* limita su crecimiento a las zonas de rezume de agua subsuperficial rica en P. El color ocre se debe a la presencia de oxihidróxidos de Fe.



## 1. Principales nutrientes en los sistemas acuáticos. El concepto de nutriente limitante. La relación N:P



### ¿Y como conocer si existe o no una limitación real por nutrientes de la producción primaria?



Un método muy utilizado es el **bioensayo de adición de nutrientes**. Consiste en adicionar distintos nutrientes o mezclas de ellos y analizar el crecimiento de los productores bajo los distintos tratamientos. El crecimiento será superior bajo aquel tratamiento que les suministre el nutriente o nutrientes limitantes.

En este experimento además de una mezcla de micronutrientes sola o en combinación con otros nutrientes, se adicionó: P y N-nitrato y N-amonio



En (A) placas petri donde se ha colocado una mezcla de sedimento natural previamente autoclavado mezclado con agar y diferentes mezclas de nutrientes; (B) perifiton crecido sobre las distintas placas a los 20 días; (C) colocación de las placas en el arroyo bajo estudio

### 1. Principales nutrientes en los sistemas acuáticos. El concepto de nutriente limitante. La relación N:P

El estudio de la **dinámica del N y P** en lagos, ríos o arroyos, es decir, **el estudio de su patrón de variación espacial y temporal de transporte y transformación**, es importante por varias razones entre las que destacan:

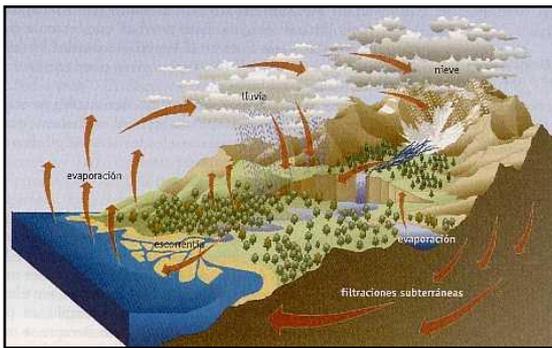
- Es un aspecto fundamental para conocer las variaciones de su disponibilidad en el medio y entender el funcionamiento (metabolismo, retención de nutrientes, descomposición de la materia orgánica, etc) de los ecosistemas acuáticos.
- Nos da información útil para el diseño de planes de gestión de la calidad del agua y adopción de medidas para su conservación.

### 2. Los ciclos del N & P. Principales procesos implicados en el reciclado de nutrientes. Variabilidad espacial. La espiral de nutrientes, medidas y aplicaciones. La retención de N como indicador del estado de calidad del sistema.

## ¿De dónde proceden los nutrientes que llegan a los sistemas acuáticos?

Las principales fuentes externas **naturales** de nutrientes a los sistemas acuáticos son:

- Materiales liberados mediante el lavado del suelo y rocas y transportados hasta los sistemas acuáticos por la escorrentía superficial.
- Partículas en suspensión procedentes de la maresía, de la erosión o de erupciones volcánicas que son arrastradas por el viento y llegan a los sistemas acuáticos mediante deposición líquida o sólida.
- En el caso del N, procesos biológicos como la fijación de N atmosférico por las cianobacterias.



([www.tecnun.es](http://www.tecnun.es))



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



([www.ucv.ve](http://www.ucv.ve))



([www.patagonia.com.ar](http://www.patagonia.com.ar))

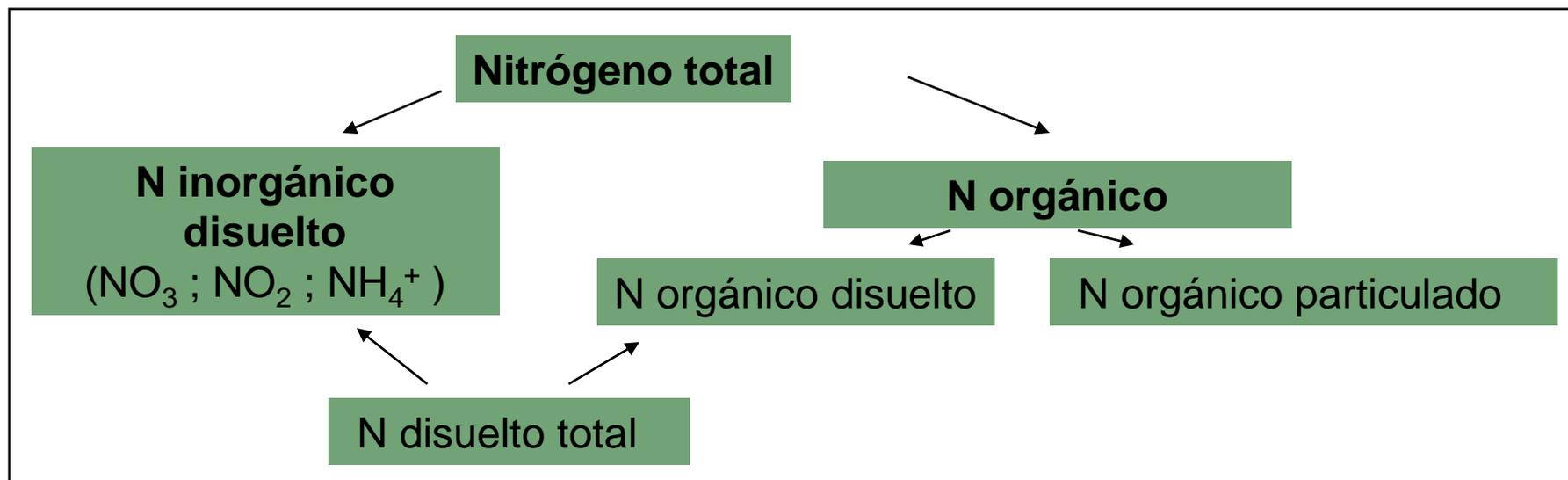
## Lección 3. Los nutrientes: ciclos, balances y distribución espacial y temporal

2. Los ciclos del N & P. Principales procesos implicados en el reciclado de nutrientes. Variabilidad espacial. La espiral de nutrientes, medidas y aplicaciones. La retención de N como indicador del estado de calidad del sistema.

Una vez que llegan, los nutrientes pueden aparecer en los sistemas acuáticos bajo varias formas químicas, como iones o en forma de gases disueltos. **En el caso del N este puede estar presente en la columna de agua como  $N_2$  disuelto (no mostrado en el esquema).**

Las fracciones disueltas son transformadas en fracciones particuladas mediante procesos físicos y químicos al igual que por procesos metabólicos.

Los procesos biológicos más importantes son la asimilación por los productores primarios y microorganismos y la excreción. En el ciclo del N intervienen además otras transformaciones llevadas a cabo por distintos grupos de bacterias.



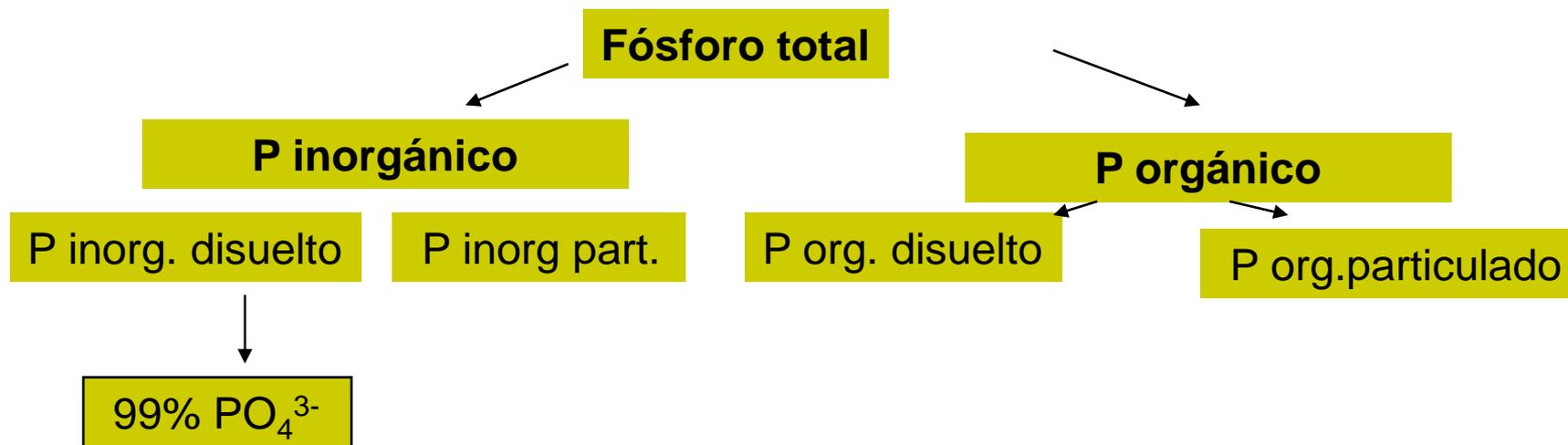
Principales fracciones del N en sistemas acuáticos

## Lección 3. Los nutrientes: ciclos, balances y distribución espacial y temporal

2. Los ciclos del N & P. Principales procesos implicados en el reciclado de nutrientes. Variabilidad espacial. La espiral de nutrientes, medidas y aplicaciones. La retención de N como indicador del estado de calidad del sistema.

De forma similar al N y a excepción de la forma gaseosa, el P puede presentarse en los sistemas acuáticos tanto en forma inorgánica como orgánica, disuelta y particulada.

Mientras que el N inorgánico disuelto puede presentarse bajo 3 formas de oxidación (N-amonio, N-nitrito y N-nitrato), en los medios acuáticos el P inorgánico disuelto se presenta en un 99% en forma de ión ortofosfato ( $\text{P-PO}_4^{3-}$ ). Esta forma del P es directamente disponible por los organismos (plantas, algas y microorganismos) mientras que entre las formas inorgánicas del N sólo el N-amonio y el N-nitrato son utilizados. El N-nitrito es una forma muy lábil del N que suele oxidarse rápidamente a e a N-nitrato.



Principales fracciones del P en sistemas acuáticos

## Lección 3. Los nutrientes: ciclos, balances y distribución espacial y temporal

### 2. Los ciclos del N & P. Principales procesos implicados en el reciclado de nutrientes. Variabilidad espacial. La espiral de nutrientes, medidas y aplicaciones. La retención de N como indicador del estado de calidad del sistema.

Como se ha comentado anteriormente los nutrientes se transforman de unas fracciones en otras mediante la acción de procesos físico, químicos y biológicos que constituyen los elementos de su **ciclo biogeoquímico**.

El reciclado de nutrientes dentro del sistema es fundamental para asegurar la disponibilidad de los mismos y asegurar el mantenimiento de los procesos autotróficos sin los cuales la materia y energía dejaría de fluir en los ecosistemas.

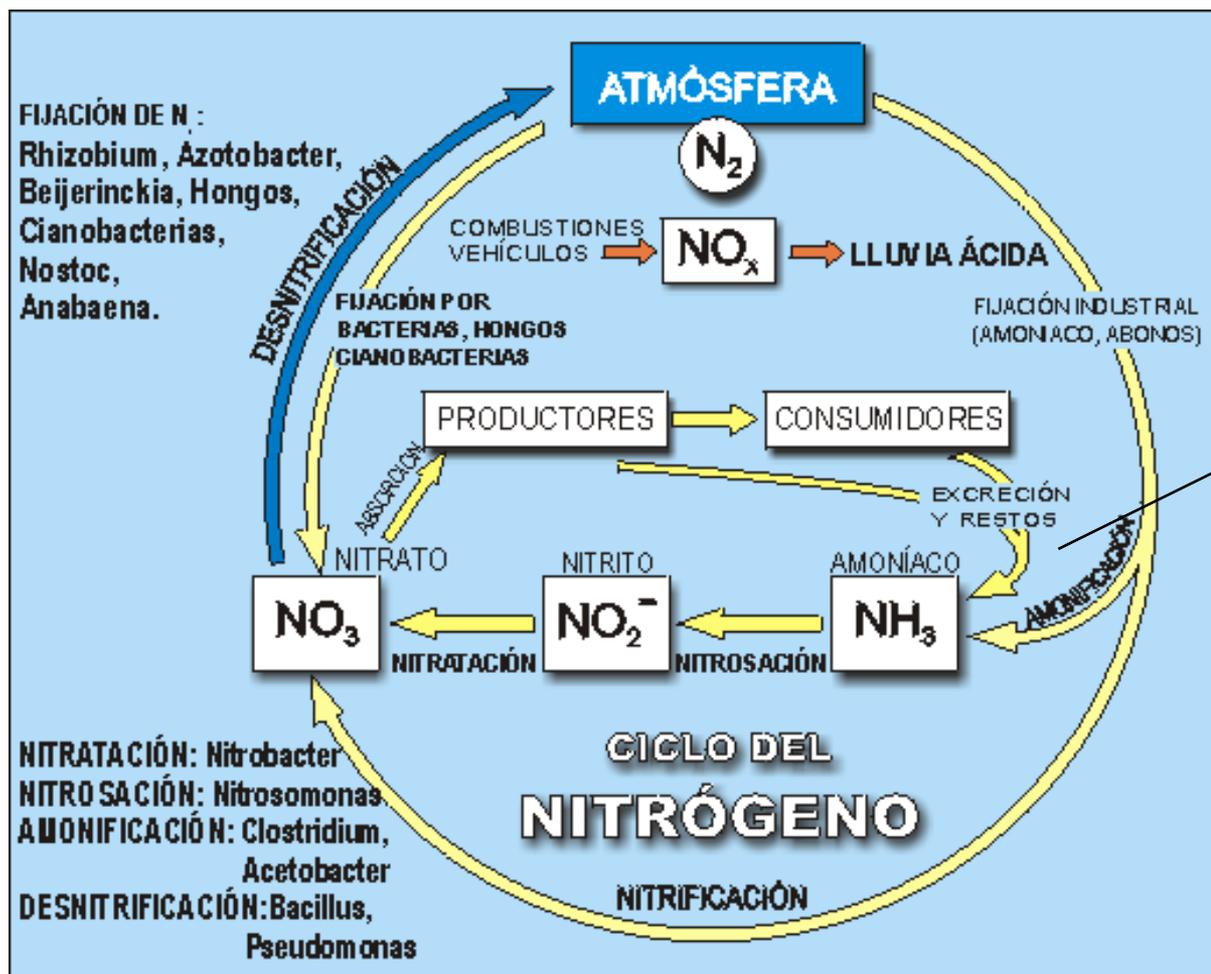
Dado que el aporte externo de nutrientes a los sistemas acuáticos no es continuo y en muchas ocasiones escaso, el reciclado interno de nutrientes es fundamental para asegurar el funcionamiento de los sistemas. Si este reciclaje juega un papel fundamental en el funcionamiento de los ecosistemas fluviales al igual que ocurre en los lagos y estuarios es cuestionable y constituye una de las principales líneas de investigación en ecología fluvial.

A continuación se mostrarán los ciclos biogeoquímicos del N y del P.

(Para mas información consultar ciclos biogeoquímicos en <http://www.biologia.edu.ar/ecologia/> ver también sección enlaces en dicha página)

# Lección 3. Los nutrientes: ciclos, balances y distribución espacial y temporal

2. Los ciclos del N & P. Principales procesos implicados en el reciclado de nutrientes. Variabilidad espacial. La espiral de nutrientes, medidas y aplicaciones. La retención de N como indicador del estado de calidad del sistema.



## El ciclo del nitrógeno

( consultar <http://www.biologia.edu.ar/ecologia/> )

mineralización

(www.lenntech.com)

2. Los ciclos del N & P. Principales procesos implicados en el reciclado de nutrientes. Variabilidad espacial. La espiral de nutrientes, medidas y aplicaciones. La retención de N como indicador del estado de calidad del sistema.

De entre todos los procesos biológicos que intervienen en el reciclado del N, **la nitrificación y la desnitrificación**, procesos microbiológicos realizados por grupos específicos de bacterias, desempeñan un papel fundamental en la transformación y eliminación de N de los sistemas acuáticos.

### **Nitrificación** este proceso requiere oxígeno

Proceso de oxidación del amoníaco o ión amonio, realizado por dos tipos de bacterias: *Nitrosomonas* y *Nitrobacter* (comunes en suelos y **sedimentos**). Este proceso genera energía que es liberada y utilizada por estas bacterias como fuente de energía primaria.

Este proceso ocurre en dos etapas:

- Un grupo de bacterias, las *Nitrosomonas* y *Nitrococcus*, oxidan el amoníaco a nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>):



- Otro grupo de bacterias, *Nitrobacter*, transforman el nitrito en nitrato, por este motivo no es frecuente encontrar nitrito en elevadas concentraciones.



### **Desnitrificación** este proceso sólo se produce en ausencia de oxígeno

Proceso que realizan algunas bacterias ante la ausencia de oxígeno, degradan nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) liberando nitrógeno gas (N<sup>2</sup>) a la atmósfera, a fin de utilizar el oxígeno para su propia respiración.

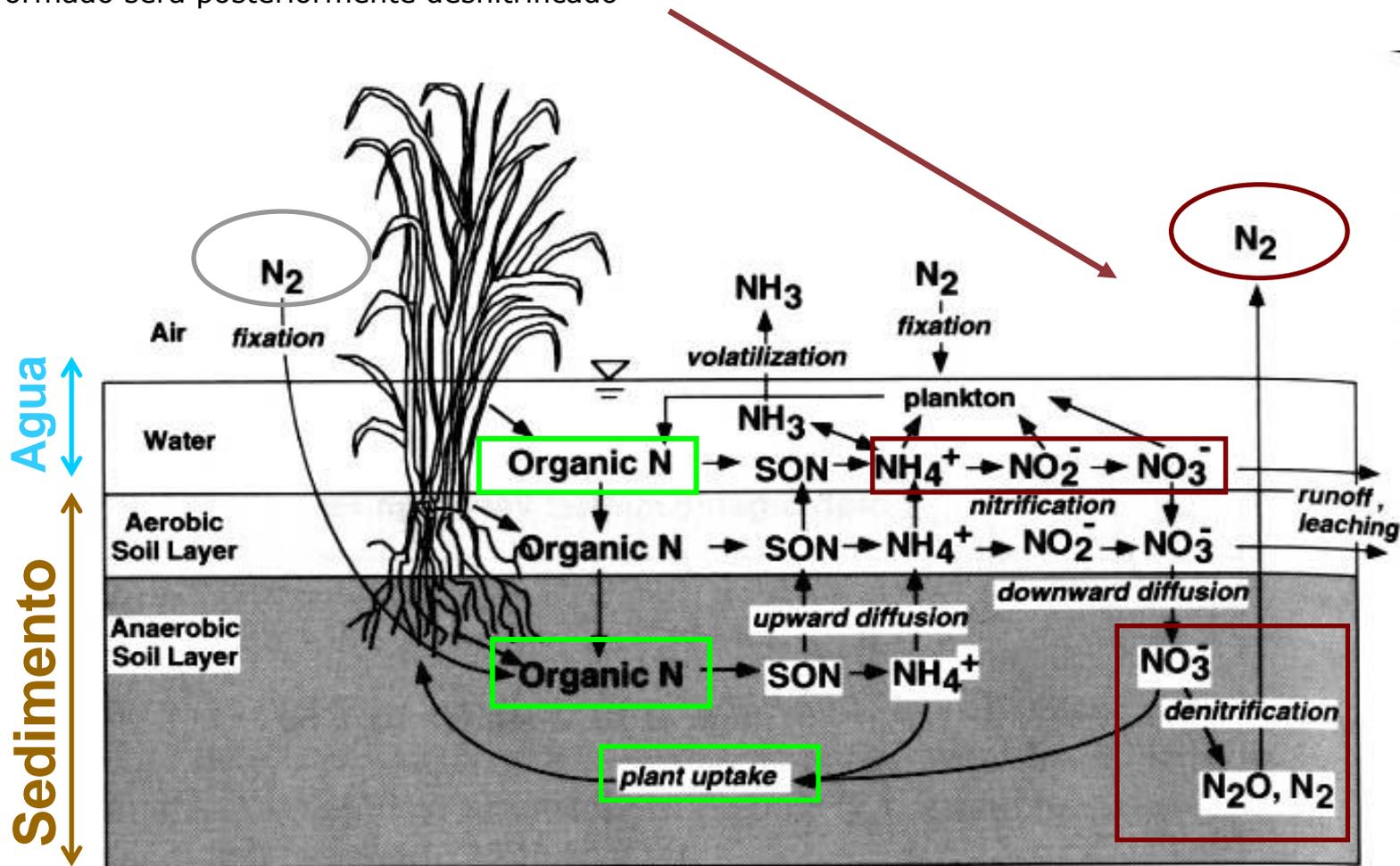


Otros procesos bióticos implicados en la retención del N son la asimilación por parte de algas, plantas y microorganismos, sin embargo esta es una retención (eliminación a corto plazo) más que una eliminación real. El N una vez asimilado biológicamente termina volviendo al medio a través de la N-mineralización de la materia orgánica.

### Lección 3. Los nutrientes: ciclos, balances y distribución espacial y temporal

2. Los ciclos del N & P. Principales procesos implicados en el reciclado de nutrientes. Variabilidad espacial. La espiral de nutrientes, medidas y aplicaciones. La retención de N como indicador del estado de calidad del sistema.

En los sistemas acuáticos el reciclado del N se produce en la **interfase agua-sedimento**. En ella la **nitrificación y la desnitrificación se producen de forma acoplada**. Si no hay O<sub>2</sub> en el medio la primera no se produce y no habrá NO<sub>3</sub> que desnitrificar. Cuando la nitrificación se produce el NO<sub>3</sub> formado será posteriormente desnitrificado

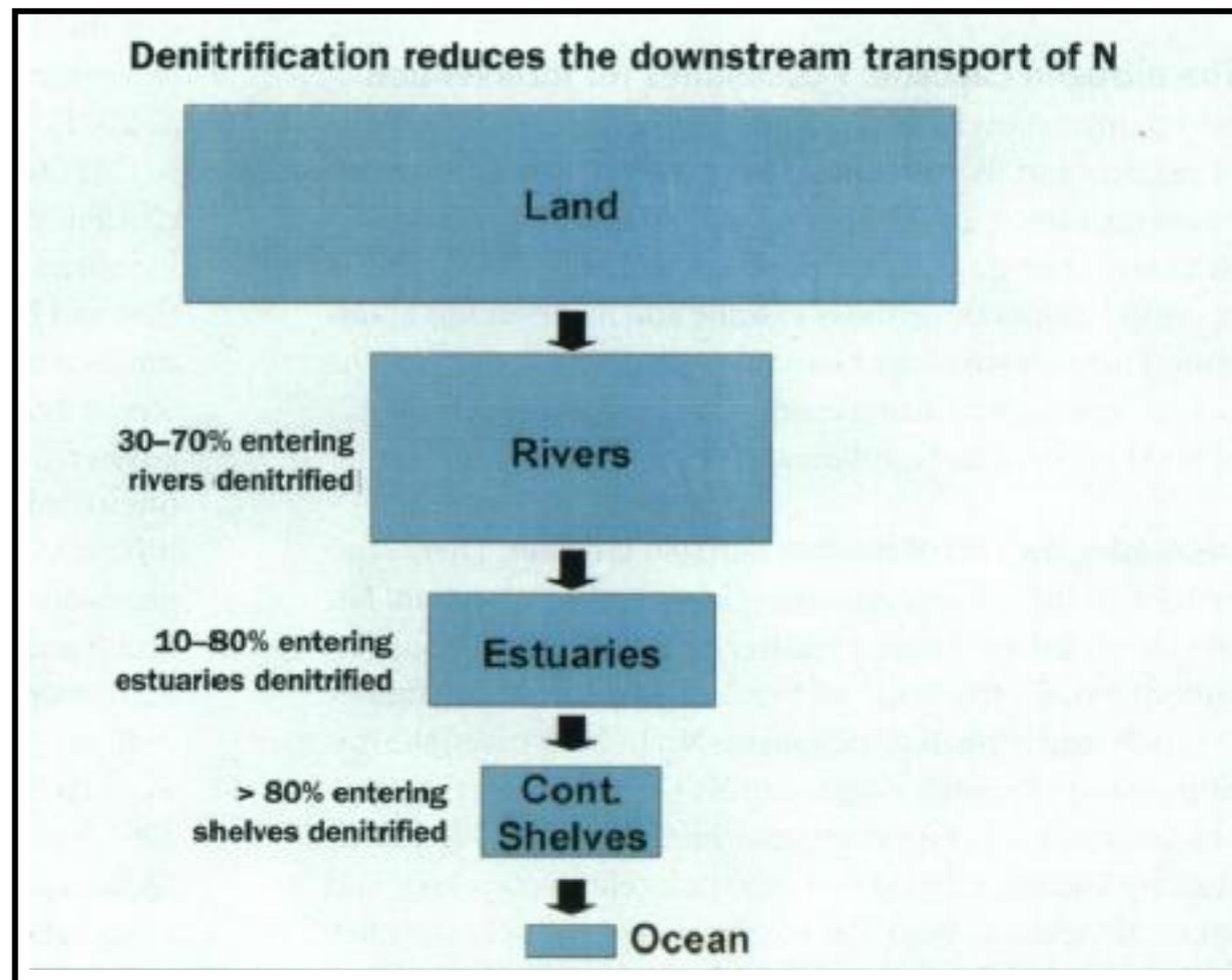


## Lección 3. Los nutrientes: ciclos, balances y distribución espacial y temporal

2. **Los ciclos del N & P. Principales procesos implicados en el reciclado de nutrientes. Variabilidad espacial. La espiral de nutrientes, medidas y aplicaciones. La retención de N como indicador del estado de calidad del sistema.**

Los ecosistemas acuáticos (ríos, arroyos, lagos y humedales) constituyen el nexo de unión entre los ecosistemas terrestres y los mares y océanos, siendo el vector de transmisión de los nutrientes que exportan los primeros. Por tanto el papel que desempeñan en la eliminación del N y del P es fundamental para la calidad de nuestro medio ambiente.

En la figura se observa el papel que juega la desnitrificación en el movimiento en cascada del N de un sistema a otro



(Extraído de : Galloway J. N, J.D. Aber, J. Willem, E., Sybil, P. Seitzinger, R. W. Howarth, E B. Cowling, B. J. Cosby. 2003 The Nitrogen Cascade. BioScience 53: 341-356 )

## Lección 3. Los nutrientes: ciclos, balances y distribución espacial y temporal

2. Los ciclos del N & P. Principales procesos implicados en el reciclado de nutrientes. Variabilidad espacial. La espiral de nutrientes, medidas y aplicaciones. La retención de N como indicador del estado de calidad del sistema.

El **N** es un nutriente esencial para un elevado número de organismos, sin embargo el exceso de N genera importantes problemas en los ecosistemas acuáticos afectando a la calidad del agua (eutrofización), diversidad de organismos (el exceso de N disminuye la biodiversidad) e incluso con repercusiones para la salud humana (el exceso de N en el agua de consumo causa hematóglobinemia o síndrome del "blue baby").

En la actualidad y a nivel mundial, uno de los principales problemas relacionados con la calidad del agua es precisamente el exceso de N, causado por el incremento de la agricultura intensiva y el uso masivo de compuestos nitrogenados como fertilizantes. En este caso la mayor movilidad del N en relación al P, explica que éste soluto llegue con mayor facilidad a los sistemas acuáticos receptores de la escorrentía superficial (ríos, lagos, embalses y zonas costeras).



(extraído de [www.motrildigital.blogia.com](http://www.motrildigital.blogia.com))

Los ecosistemas acuáticos son capaces de retener, transformar y eliminar los nutrientes que a ellos llegan, sin embargo, **cuando el aporte de los mismos supera su demanda biológica nos encontramos en una situación de saturación del sistema.** Bajo esta situación el sistema comienza a exportar el nutriente que ya no es ya capaz de retener.

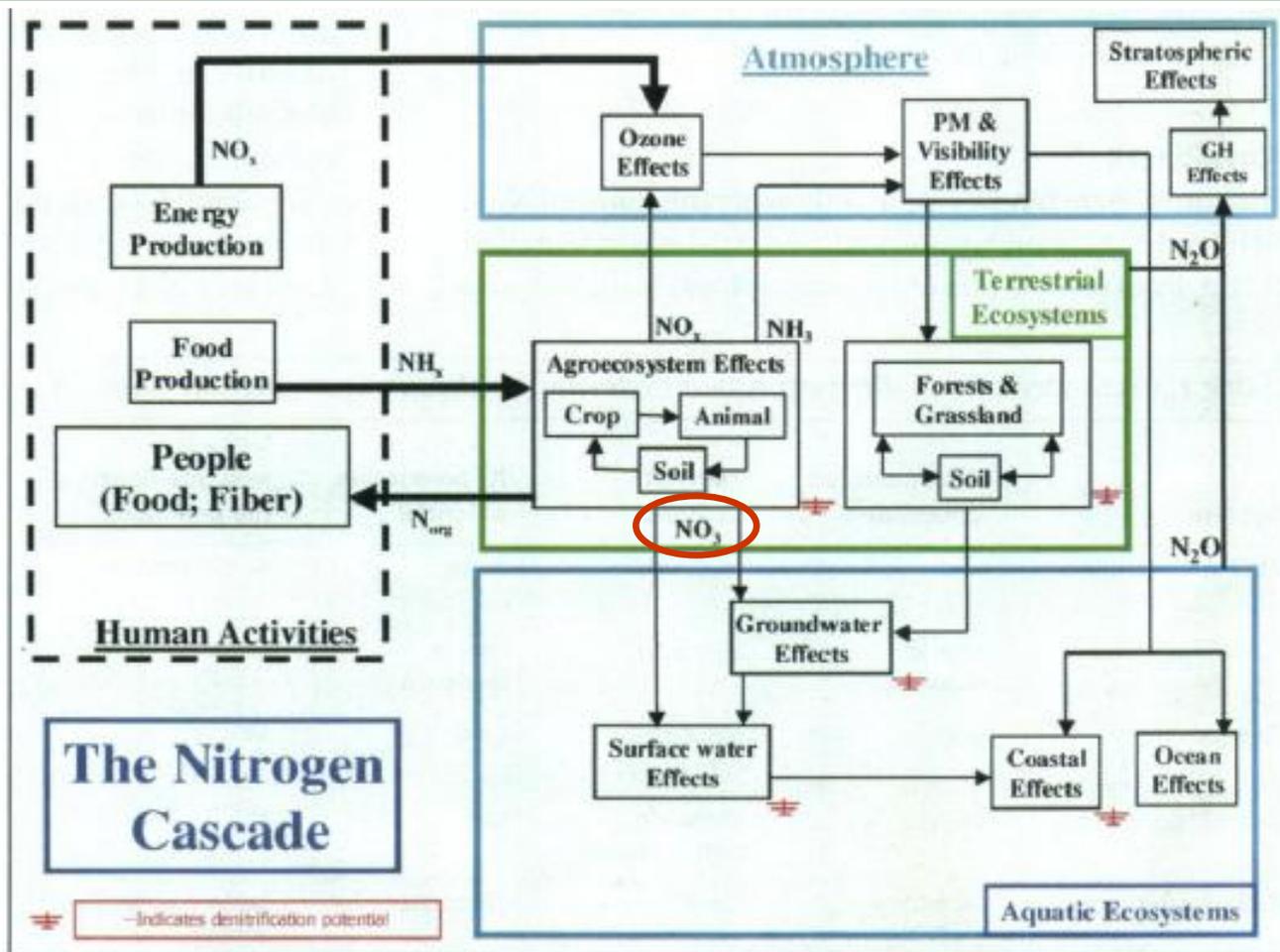
En este sentido el estudio de los procesos bióticos y abióticos responsables de la retención y eliminación de nutrientes cobran un especial interés. Analizar las condiciones bajo las que estos procesos se ven potenciados y los factores de los que dependen es necesario para poder diseñar medidas y planes de gestión encaminadas a la mejora de la calidad del agua.

[http://www.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgu/150Eutro.htm#Nutrientes que eutrofizan las aguas](http://www.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgu/150Eutro.htm#Nutrientes%20que%20eutrofizan%20las%20aguas)

# Lección 3. Los nutrientes: ciclos, balances y distribución espacial y temporal

## 2. Los ciclos del N & P. Principales procesos implicados en el reciclado de nutrientes. Variabilidad espacial. La espiral de nutrientes, medidas y aplicaciones. La retención de N como indicador del estado de calidad del sistema.

Los ecosistemas acuáticos son los receptores finales del exceso de N generado por las actividades humanas



(Extraído de : Galloway J. N, J.D. Aber, J. Willem, E., Sybil, P. Seitzinger, R. W. Howarth, E B. Cowling, B. J. Cosby. 2003 The Nitrogen Cascade. BioScience 53: 341-356 )

## Lección 3. Los nutrientes: ciclos, balances y distribución espacial y temporal

2. Los ciclos del N & P. Principales procesos implicados en el reciclado de nutrientes. Variabilidad espacial. La espiral de nutrientes, medidas y aplicaciones. La retención de N como indicador del estado de calidad del sistema.

El **N** se mueve por los distintos compartimentos del ecosistema ("cascada del N") pero tanto su acumulación como el efecto que su exceso produce, difiere según el compartimento considerado.

(Para mas información consultar la lectura recomendada Galloway et al 2003)

*Table 1. Characteristics of different systems relevant for the nitrogen cascade.*

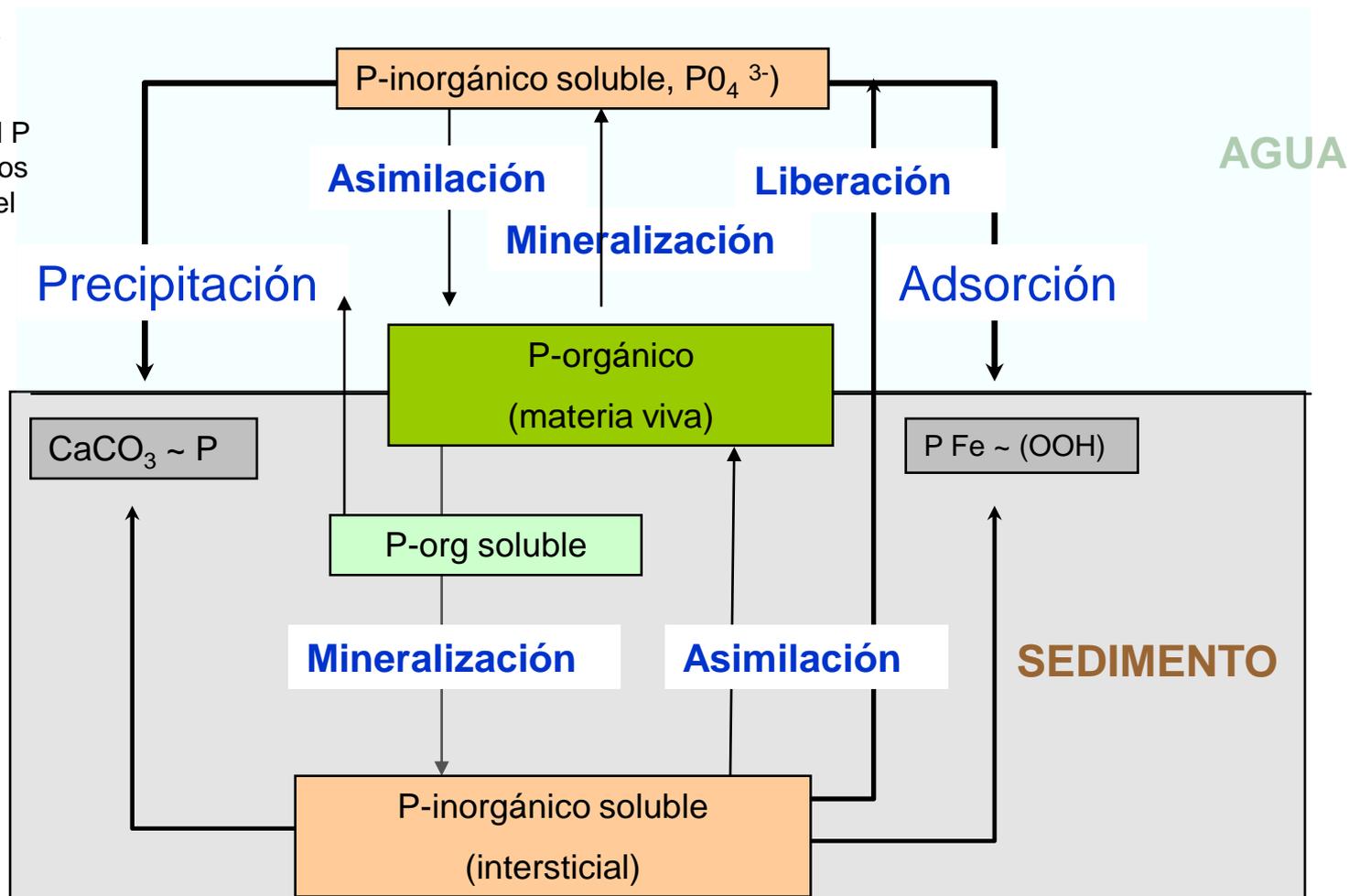
System	Accumulation potential	Transfer potential	N <sub>2</sub> production potential	Links to systems down the cascade	Effects potential
Atmosphere	Low	Very high	None	All but groundwater	Human and ecosystem health, climate change
Agroecosystems	Low to moderate	Very high	Low to moderate	All	Human and ecosystem health, climate change
Forests	High	Moderate, high in places	Low	All	Biodiversity, net primary productivity, mortality, groundwater
Grasslands	High	Moderate, high in places	Low	All	Biodiversity, net primary productivity, groundwater
Groundwater	Moderate	Moderate	Moderate	Surface water, atmosphere	Human and ecosystem health, climate change
Wetlands, streams, lakes, rivers	Low	Very high	Moderate to high	Atmosphere, marine coastal systems	Biodiversity, ecological structure, fish
Marine coastal regions	Low to moderate	Moderate	High	Atmosphere	Biodiversity, ecological structure, fish, harmful algal blooms

(Extraído de : Galloway J. N, J.D. Aber, J. Willem, E., Sybil, P. Seitzinger, R. W. Howarth, E B. Cowling, B. J. Cosby. 2003 The Nitrogen Cascade. BioScience 53: 341-356 )

2. Los ciclos del N & P. Principales procesos implicados en el reciclado de nutrientes. Variabilidad espacial. La espiral de nutrientes, medidas y aplicaciones. La retención de N como indicador del estado de calidad del sistema.

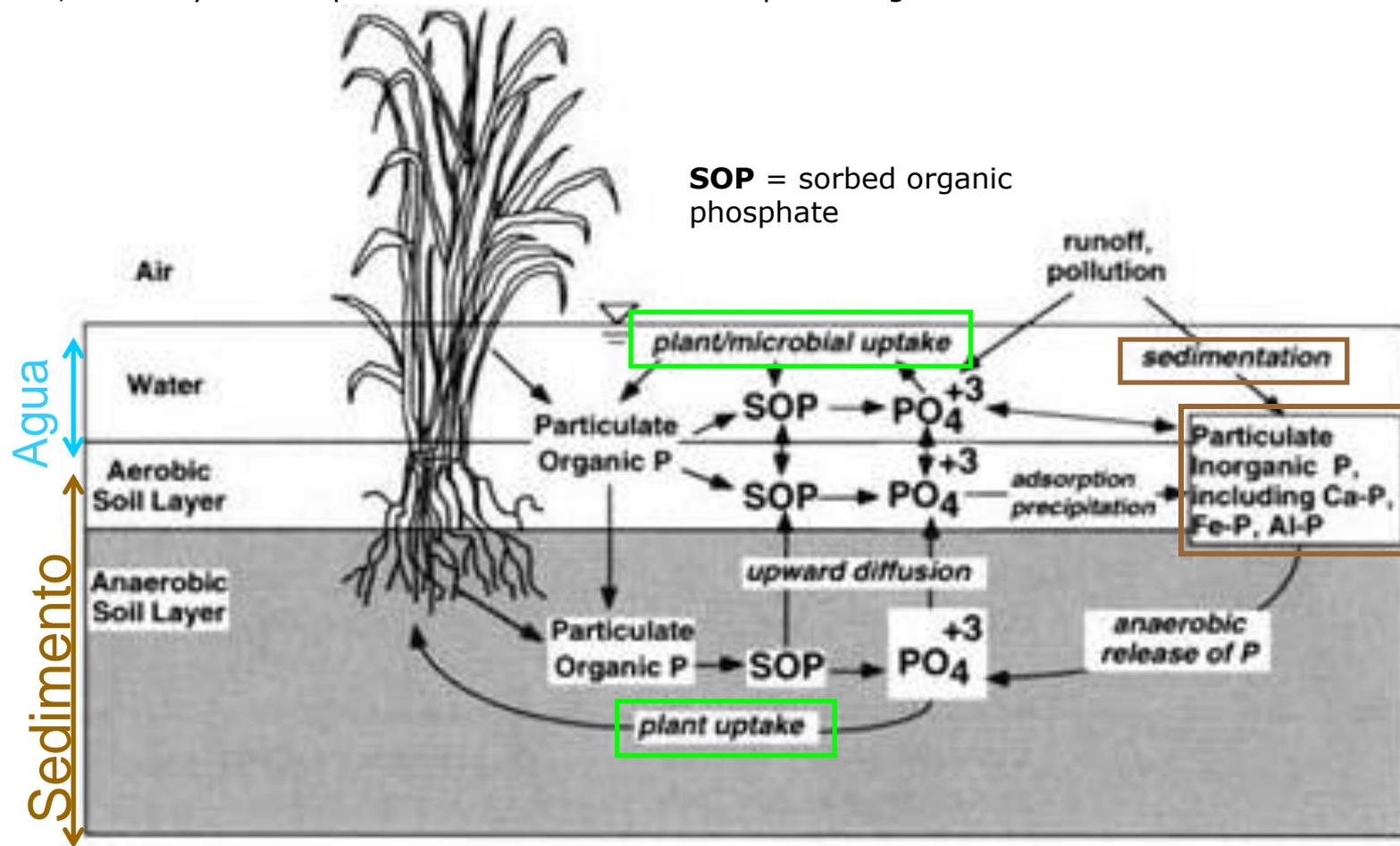
## El ciclo del P

Otro catión importante en la retención y posterior precipitación del P en los sedimentos junto al  $\text{Ca}^{2+}$  y el  $\text{Fe}^{3+}$ , el  $\text{Al}^{3+}$



## 2. Los ciclos del N & P. Principales procesos implicados en el reciclado de nutrientes. Variabilidad espacial. La espiral de nutrientes, medidas y aplicaciones. La retención de N como indicador del estado de calidad del sistema.

En el ciclo del P son especialmente importantes los procesos físico-químicos, entre los que destacan la adsorción a partículas del sedimento, la floculación junto con partículas coloidales o la precipitación química. Es por tanto que el P presenta una **menor** movilidad que el N, disminuyendo su probabilidad a ser arrastrado por las aguas de escorrentía.

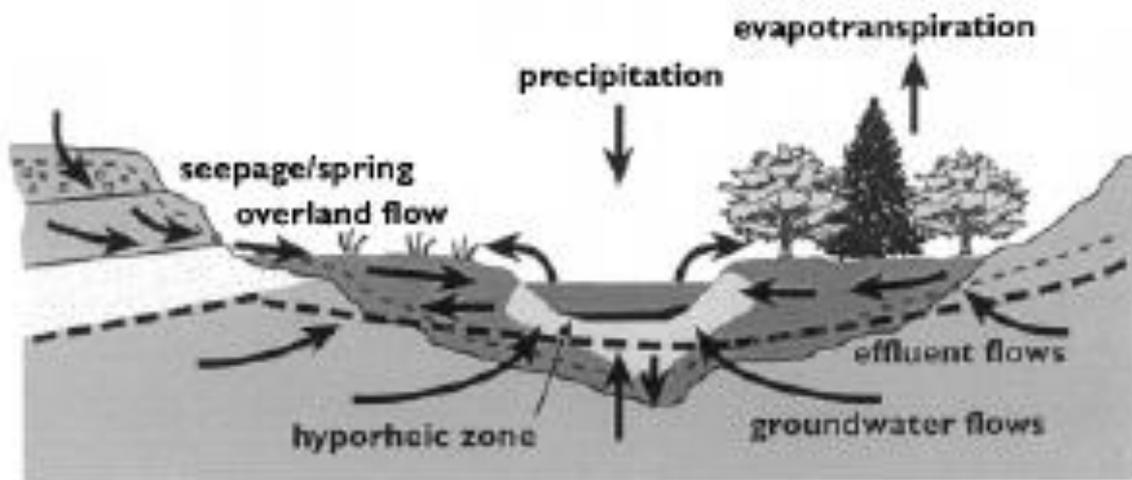


2. Los ciclos del N & P. Principales procesos implicados en el reciclado de nutrientes. Variabilidad espacial. La espiral de nutrientes, medidas y aplicaciones. La retención de N como indicador del estado de calidad del sistema.

### Variabilidad espacial de la disponibilidad de nutrientes en los sistemas acuáticos

Como podemos deducir de lo visto anteriormente, las condiciones abióticas y bióticas de los sistemas acuáticos: tipo de sustrato (mas o menos arcilloso o arenoso), composición (sedimentos mas o menos ricos en Fe.), estado de oxigenación (presencia o no de condiciones anóxicas), composición del agua (aguas mas o menos ricas en Ca), abundancia de microorganismos y distribución de la vegetación, van a determinar entre otros factores (aportes externos de nutrientes) la disponibilidad del N y P en los medios acuáticos.

Si tenemos en cuenta que todos estos factores ambientales presentan una elevada variabilidad espacial en los medios acuáticos, entenderemos el por qué de la variabilidad espacial de los nutrientes. Esta variabilidad es especialmente acusada en sistemas acuáticos de escaso caudal como los sistemas temporales de zonas áridas o los localizados en el área de Mediterráneo en los que los efectos de la interacción agua-sedimento son mucho más notorios al no existir un caudal de agua suficiente para diluir tal efecto.



Conforme el agua fluye entre los distintos subsistemas del ecosistema ripario-fluvial se producen transformaciones en los nutrientes, como resultado de la actuación de procesos bióticos y abióticos.

2. Los ciclos del N & P. Principales procesos implicados en el reciclado de nutrientes. Variabilidad espacial. La espiral de nutrientes, medidas y aplicaciones. La retención de N como indicador del estado de calidad del sistema.

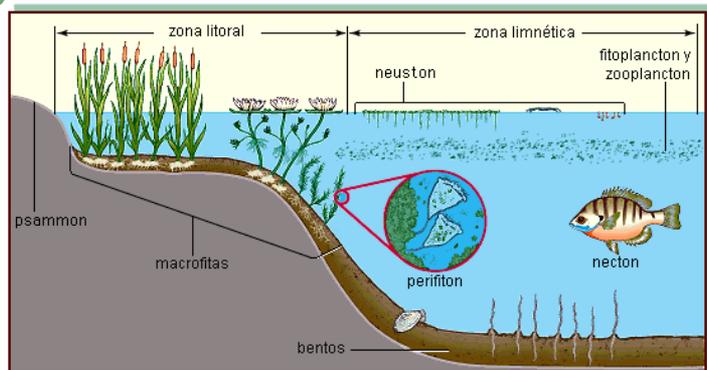
### Variabilidad espacial de la disponibilidad de nutrientes en sistema leníticos: lagos y embalses



En los sistemas leníticos la variabilidad espacial de las concentraciones de N Y P se puede observar tanto en el eje horizontal (zona litoral-centro del lago/embalse) como en el vertical (en profundidad) sin embargo, es en profundidad donde se observan las variaciones más acusadas en la disponibilidad de los nutrientes. Este hecho está condicionado a la existencia o no de periodos de estratificación (ver termoclina, Lección 2).

## 2. Los ciclos del N & P. Principales procesos implicados en el reciclado de nutrientes. Variabilidad espacial. La espiral de nutrientes, medidas y aplicaciones. La retención de N como indicador del estado de calidad del sistema.

### Variabilidad espacial de la disponibilidad de nutrientes en sistema leníticos: lagos y embalses



La variabilidad de la **disponibilidad de nutrientes** en el **eje horizontal** en lagos y embalses va a venir especialmente determinada por la distribución de la vegetación, especialmente desarrollada en las orillas y por la mayor interacción agua-sedimento, que se pierde conforme incrementa la profundidad. Lógicamente la variación espacial de las concentración de nutrientes según esta eje será mayor conforme incrementa la superficie del lago

(imagen extraída de <http://www.jmarcano.com/nociones/fresh3.html>)

En cuanto a la **variabilidad vertical** en las concentraciones de N y P, está determinada fundamentalmente, por la distribución de la zona fótica es decir, aquella donde tiene lugar la producción primaria y por tanto el consumo de nutrientes. Por debajo de esta zona la disponibilidad de nutrientes tenderá a ser mayor (menor consumo). Así mismo, ya que el reciclado interno de nutrientes en los sistemas leníticos es su principal fuente (aportes externos escasos) y éste se produce mayoritariamente en los sedimentos, donde sedimenta la materia orgánica generada en el sistema, la disponibilidad de N y P en los fondos tiende a ser mayor que en la superficie. En sistemas leníticos de escasa profundidad, lagunas o charcas, la concentraciones tienden a ser mucho mas uniformes en profundidad.

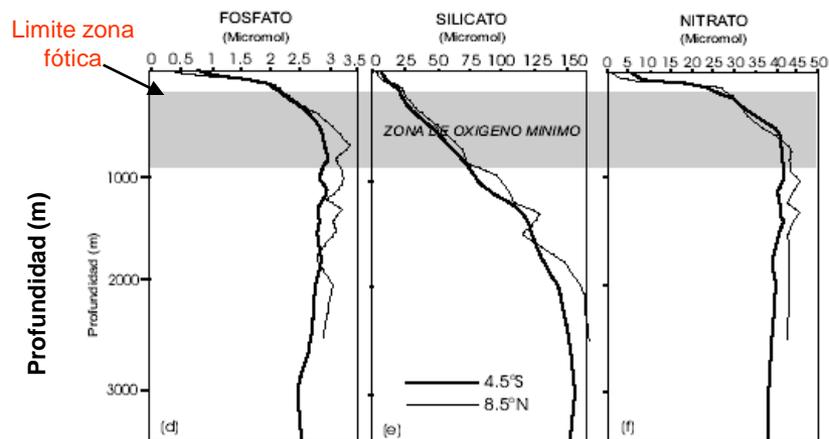
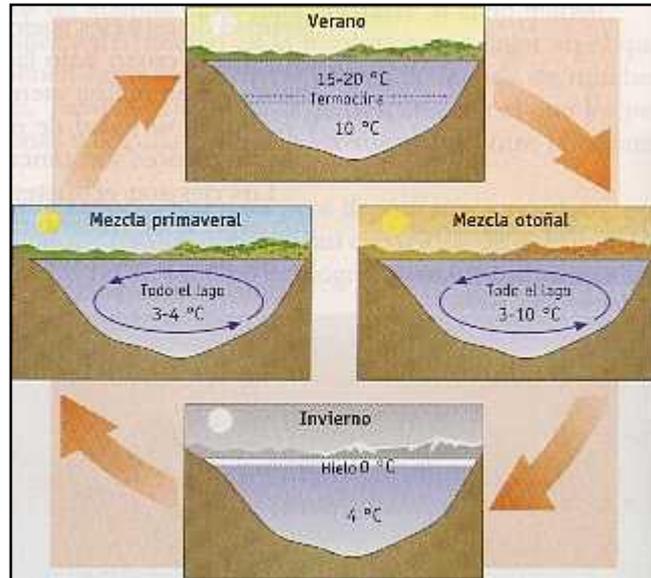


Figura 3. Variables ambientales en la Cuenca de Panamá, a lo largo del perfil longitudinal 85,5°W entre 4,5°S y 8,5°N:

(imagen extraída de [www.scielo.unal.edu.co](http://www.scielo.unal.edu.co))

## Lección 3. Los nutrientes: ciclos, balances y distribución espacial y temporal

2. Los ciclos del N & P. Principales procesos implicados en el reciclado de nutrientes. Variabilidad espacial. La espiral de nutrientes, medidas y aplicaciones. La retención de N como indicador del estado de calidad del sistema.



**La variabilidad temporal** en lagos y embalses está especialmente condicionada a la existencia o no, de periodos de estratificación.

Cuando llega el verano (es decir, cuando se llega a la situación de estratificación), puesto que las algas microscópicas encargadas de la producción primaria situadas en la zona fótica, (el **fitoplancton**), van consumiendo los nutrientes del agua, los recursos se vuelven más escasos, ya que sin mezcla de agua no hay resuspensión de los nutrientes del fondo y, consecuentemente, la producción va disminuyendo. En cambio, en el hipolímnion, la fotosíntesis no es posible y, por lo tanto, los procesos que tienen lugar son los respiratorios y la descomposición de la materia orgánica que sedimenta desde la superficie (algas muertas, hojas...).

Con la descomposición se liberan muchos nutrientes, pero como el agua no se mezcla éstos quedan almacenados sin poder ser aprovechados por los productores primarios. Es así como al final del verano tenemos un sistema diferenciado en una capa fótica sin nutrientes y una zona más profunda con abundantes nutrientes que no pueden ser utilizados por los organismos fotosintetizadores. Cuando el periodo de estratificación se rompe y se produce la mezcla del agua se produce un "boom" de producción fitoplanctónica debido al aporte de nutrientes desde los fondos.

Consultar más en <http://www.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto.htm>. (imagen extraída de la misma página).

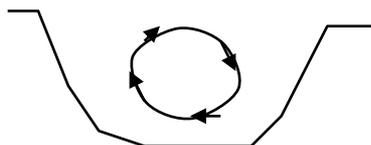
## 2. Los ciclos del N & P. Principales procesos implicados en el reciclado de nutrientes. Variabilidad espacial. La espiral de nutrientes, medidas y aplicaciones. La retención de N como indicador del estado de calidad del sistema.

### Variabilidad espacial en sistema lóticos: ríos, ramblas y arroyos

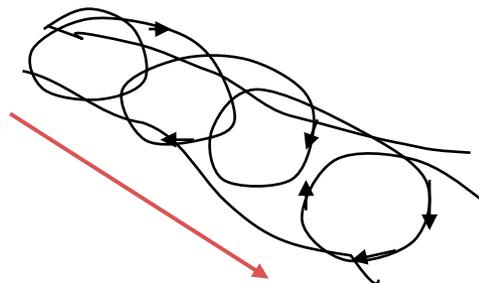
En los sistemas fluviales, la principal fuente de variación espacial de los nutrientes es la longitudinal, no sólo según el eje cabecera-desembocadura, a escala global, sino también a menor escala (subtramo, tramo).

Los nutrientes generados en un punto del cauce (por aporte externo o reciclado interno) son transportados corriente abajo y durante este proceso de transporte sufren importantes transformaciones conforme interactúan con los elementos bióticos y abióticos del sistema.

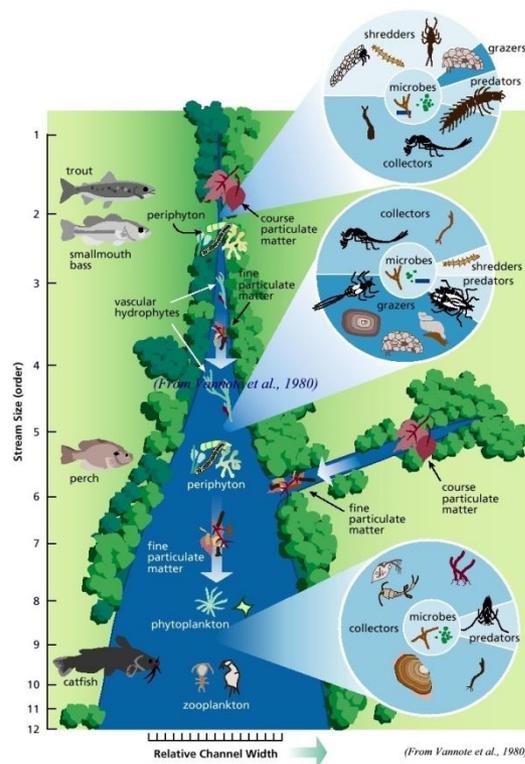
De tal manera que el reciclado de nutrientes en sistemas lóticos más que seguir un ciclo describe una espiral.



Reciclado de materia en un sistema lenítico



Reciclado de materia en un sistema lótico



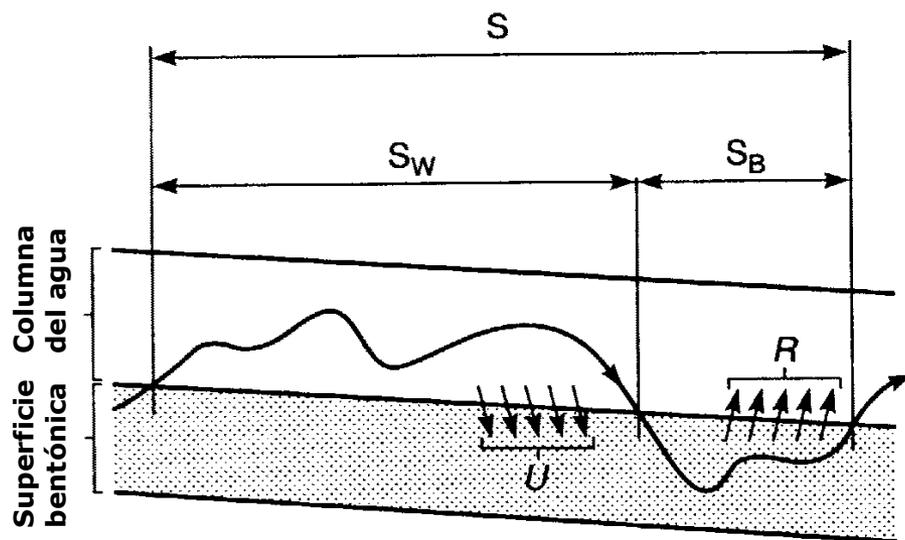
## 2. Los ciclos del N & P. Principales procesos implicados en el reciclado de nutrientes. Variabilidad espacial. La espiral de nutrientes, medidas y aplicaciones. La retención de N como indicador del estado de calidad del sistema.

### El concepto de la espiral de nutrientes (Webster y Patten, 1979)

La dinámica de nutrientes en sistemas fluviales combina junto al conjunto de procesos que intervienen en su reciclado, el transporte. De tal manera que el reciclado de éstos puede visualizarse como una espiral que incluye medidas tanto de transporte como de su utilización biótica. Los organismos acuáticos retiran y aportan nutrientes a la columna de agua. Estos intercambios de nutrientes así como su transporte pueden ser cuantificados considerando la escala espacial longitudinal a la que tiene lugar este reciclado. Basado en este marco conceptual, se define **la longitud de la espiral de nutrientes (S)** como la distancia media recorrida por una molécula hasta completar un ciclo completo.

De tal manera que ríos y arroyos con longitudes de espiral cortas indican una elevada capacidad para el reciclado de nutrientes. Como hemos visto anteriormente, el reciclado de nutrientes depende de procesos bióticos y abióticos en los que tanto los microorganismos, plantas, algas y sedimentos tienen un papel fundamental. Sistemas que presentan una buena calidad del hábitat, con comunidades

biológicas bien estructuradas, diversas y con una buena conexión hidrológica con el resto de subsistemas (zona riparia, parafluvial, hiporreos) presentarán una elevada tasa de reciclado y por tanto longitudes de la espiral cortas.



Dicho de otro modo, **la medida de la longitud de la espiral (S) es un indicador de la capacidad del sistema para el reciclado de nutrientes y nos da información sobre su buen estado ecológico.**

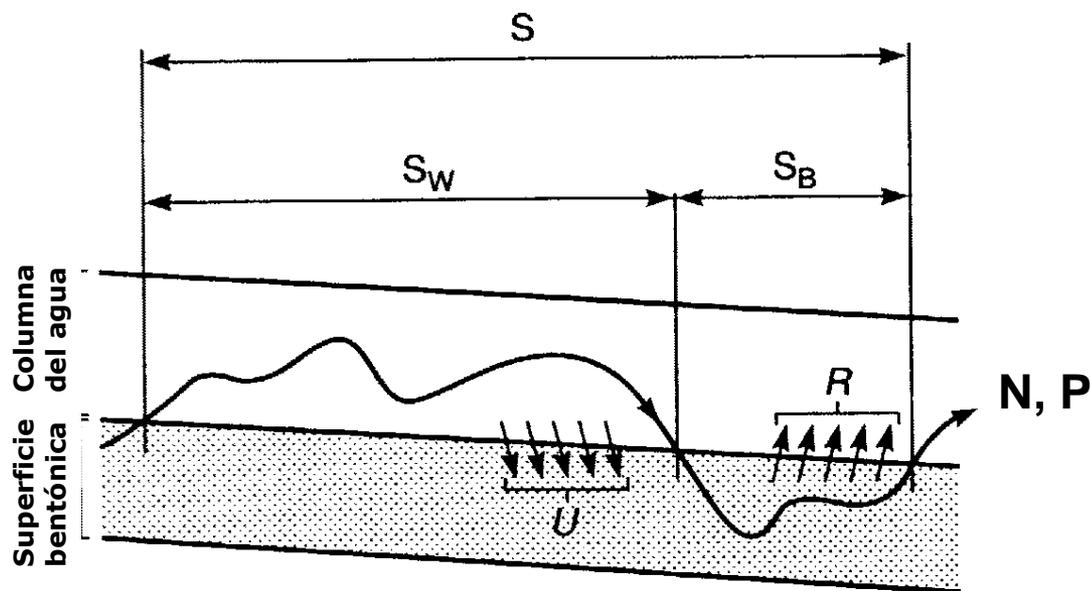
2. Los ciclos del N & P. Principales procesos implicados en el reciclado de nutrientes. Variabilidad espacial. La espiral de nutrientes, medidas y aplicaciones. La retención de N como indicador del estado de calidad del sistema.

## El concepto de la espiral de nutrientes (Webster y Patten, 1979)

La longitud de la espiral esta constituida por 2 componentes:

**La distancia de asimilación  $S_w$**  : distancia media recorrida por una molécula disuelta hasta que es asimilada ("uptake length"). Representa una **medida de la eficiencia de retención del sistema**. Cortas distancias mayor eficacia de retención. Largas distancias, baja eficacia de retención, el sistema tiende a exportar nutrientes.

**La distancia de recambio o "turnover"  $S_B$**  : distancia media recorrida por una molécula dentro de la biota hasta que es regenerada. Esta constituye una **medida de la capacidad de retención del sistema**. Es decir distancias largas indican una elevada capacidad de retención.



## Lección 3. Los nutrientes: ciclos, balances y distribución espacial y temporal

2. Los ciclos del N & P. Principales procesos implicados en el reciclado de nutrientes. Variabilidad espacial. La espiral de nutrientes, medidas y aplicaciones. La retención de N como indicador del estado de calidad del sistema.

### El concepto de la espiral de nutrientes

Ejemplo de la **interpretación y utilidad** de los cálculos de la espiral de nutrientes en 2 arroyos de características ambientales diferentes

#### La Solana

cuenca calcárea  
vegetación riparia: *Salix* sp.  
cobertura riparia = 0 - 53 %  
Intensidad luminosa = 293-654  
( $\mu\text{mol photons.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ )

#### Riera Major

cuenca silíceo  
vegetación riparia: *Alnus* sp  
cobertura riparia = 34-70 %  
Intensidad luminosa = 171-327  
( $\mu\text{mol photons.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ )

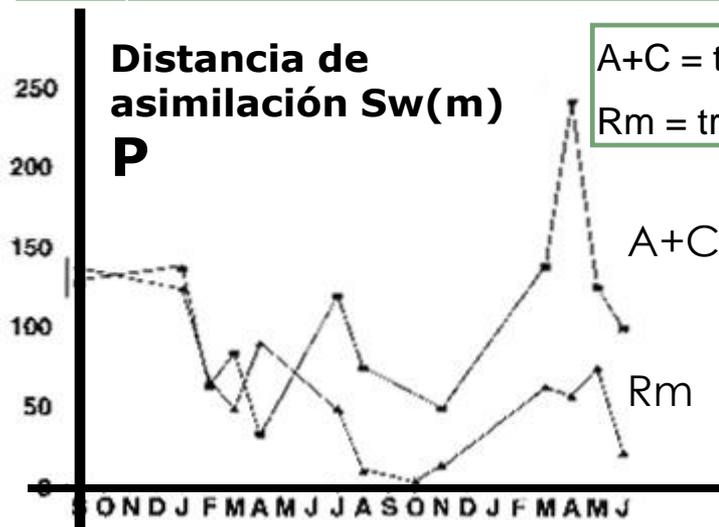
Distancia de asimilación del P	
La Solana	88 ± 12 m (n=25)
Riera Major	174 ± 20 m (n=24)
Distancia de asimilación del NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	
La Solana	118 ± 28 m (n=25)
Riera Major	129 ± 18 m (n=24)

La distancia de retención de nutrientes es **menor** en la Solana para ambos nutrientes que en el caso de la Riera Major, por tanto La Solana presenta una **mayor eficiencia** de retención para el N y P.

Valores medios de las distancias de asimilación (Sw) ("uptake length") estimadas durante el periodo del estudio

(Datos extraídos de Marti, E., y F. Sabater. 1999. High variability in temporal and spatial nutrient retention in mediterranean streams. *Ecology* 77(3)).

2. Los ciclos del N & P. Principales procesos implicados en el reciclado de nutrientes. Variabilidad espacial. La espiral de nutrientes, medidas y aplicaciones. La retención de N como indicador del estado de calidad del sistema.

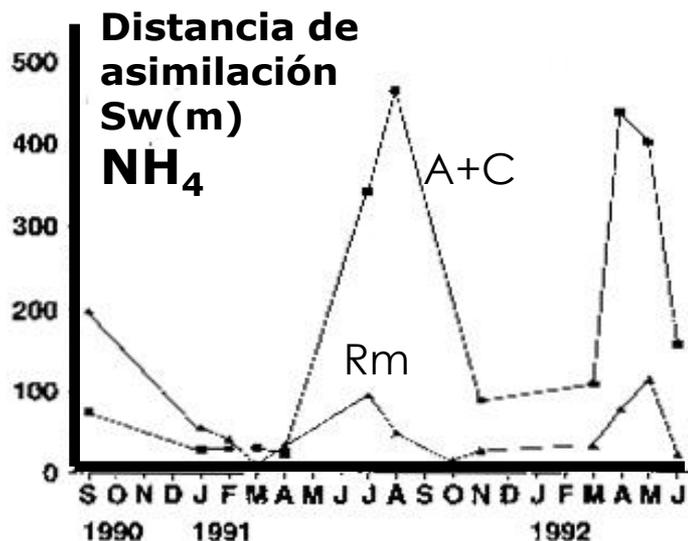


## Ejemplos de variación en el espacio y en el tiempo para un mismo arroyo

- La **eficiencia de retención** (Sw) del sistema difiere según el nutriente considerado

Sw (Julio, 1991)	
P	48 m
NH <sub>4</sub>	94 m
NO <sub>3</sub>	154 m

- La **eficiencia de retención** (Sw) varía en el tiempo
- La **eficiencia de retención** varía entre tramos



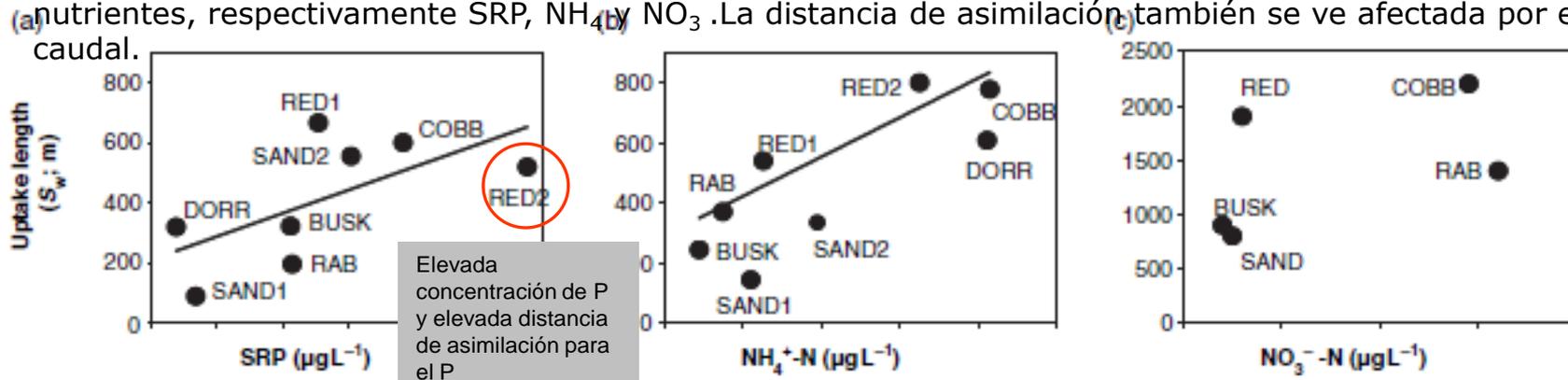
	A + C	Rm
P	119 m (19)	59 m (12)
NH <sub>4</sub>	182 m (51)	59 m (14)

(Datos extraídos de Marti, E., y F. Sabater. 1999. High variability in temporal and spatial nutrient retention in mediterranean streams. *Ecology* 77(3)).

## 2. Los ciclos del N & P. Principales procesos implicados en el reciclado de nutrientes. Variabilidad espacial. La espiral de nutrientes, medidas y aplicaciones. La retención de N como indicador del estado de calidad del sistema.

### Un ejemplo del efecto del impacto agrícola en la retención de nutrientes

En la tabla se muestran los valores de caudal (Q) y de concentración de distintos nutrientes (SRP = fósforo reactivo soluble y DOC = carbono orgánico disuelto) para diferentes arroyos, afectados por la agricultura. Unidos. Los arroyos RAB, RED, y COBB se encuentran entre los que presentan un mayor % de uso agrícola en sus cuencas vertientes (79-90 % , respectivamente). En la figura se observa como la longitud de asimilación ( $S_w$ ) para cada uno de los nutrientes, tiende a incrementar conforme la concentración de éste incrementa. En a, b y c se muestran los resultados de la  $S_w$  para los distintos nutrientes, respectivamente SRP,  $NH_4^+$  y  $NO_3^-$ . La distancia de asimilación, también se ve afectada por el caudal.



**Table 2** Discharge and water-column nutrient concentrations from 2002 sampling streams of the midwestern United States influenced by agricultural activity

Site	n	Q (L s <sup>-1</sup> )	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (µg L <sup>-1</sup> )	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (mg L <sup>-1</sup> )	SRP (µg L <sup>-1</sup> )	DOC (mg L <sup>-1</sup> )
BUSK	8	1.5 (0-7; 175)	12 (9-14; 18)	4.3 (3.2-6.1; 33)	11 (2-23; 70)	5.7 (0-9; 34)
SAND	12	7 (0.1-25.8; 104)	28 (6.6-83; 80)	0.2 (<0.01-0.4; 49)	6.2 (2-11.8; 52)	4.3 (2-7; 38)
RED	8	17 (0-53; 118)	144 (25-179; 117)	2.4 (0.8-4.1; 44)	262 (73-664; 106)	16.8 (11-24; 25)
RAB	12	63 (16-153; 74)	40 (3-143; 93)	5.1 (2.7-6.7; 23)	11 (3-28; 72)	4.8 (2-10; 55)
COBB	13	575 (96-2067; 160)	33 (31-197; 40)	4.7 (2.6-6.2; 90)	53 (3-599; 240)	6.2 (3-9; 69)

Extraído de Bernot M.J., J.L. Tank & M.B. David. 2006. Nutrient uptake in streams draining agricultural catchments of the midwestern United States. *Freshwater biology* 51, 499-509.

### 2. Los ciclos del N & P. Principales procesos implicados en el reciclado de nutrientes. Variabilidad espacial. La espiral de nutrientes, medidas y aplicaciones. La retención de N como indicador del estado de calidad del sistema.

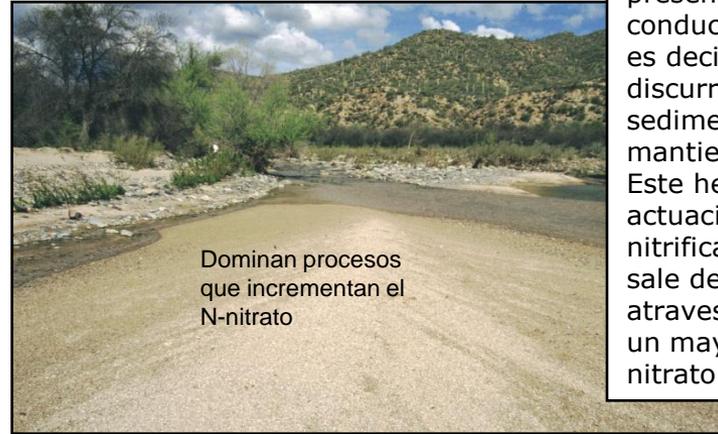
Como ya se ha comentado anteriormente, conforme al agua fluye entre los distintos compartimentos del ecosistema ripario-fluvial sufren importantes transformaciones conforme interactúan con los elementos bióticos y abióticos del sistema.

En unas ocasiones tanto el N como el P puede ser retenido (asimilación biótica o adsorción a los sedimentos) e incluso eliminado del sistema (p.e por desnitrificación) o transformados (p.e N-mineralización o nitrificación). En cualquier caso y dado que los sistemas naturales son heterogéneos, física y biológicamente, en escasos metros pueden darse múltiples de estos procesos, dando como resultado la variabilidad espacial de las concentraciones de nutrientes. Veremos a continuación algunos ejemplos.

# Lección 3. Los nutrientes: ciclos, balances y distribución espacial y temporal

## 2. Los ciclos del N & P. Principales procesos implicados en el reciclado de nutrientes. Variabilidad espacial. La espiral de nutrientes, medidas y aplicaciones. La retención de N como indicador del estado de calidad del sistema.

Si el agua subsuperficial fluye a través de materiales finos (de escasa conductividad hidráulica y por tanto poco oxigenados) y ricos en Fe, cuando esta rezuma al exterior el Fe disuelto ( $\text{Fe}^{2+}$ ) es rápidamente oxidado ( $\text{Fe}^{3+}$ ), como indica el color ocre de los rezumes. Los oxihidróxidos de Fe así formados adsorben el P presente en la columna de agua ( $\text{P}_{\text{Fe}} \sim (\text{OOH})\text{P}$



Dominan procesos que incrementan el N-nitrato

Las barras de arena presentan una elevada conductividad hidráulica, es decir, el agua que discurre a través de estos sedimentos gruesos se mantiene bien oxigenada. Este hecho favorece la actuación de las bacterias nitrificantes y el agua que sale de las barras, tras atravesarlas presentará un mayor contenido en N-nitrato



Dominan procesos que eliminan el N-nitrato

Bajo esta situación, donde predominan sedimentos finos (limos y arcillas) ricos en materia orgánica, el proceso es el contrario. En esta imagen dominan los sedimentos anóxicos y por tanto el proceso de desnitrificación, es decir eliminación de N-nitrato

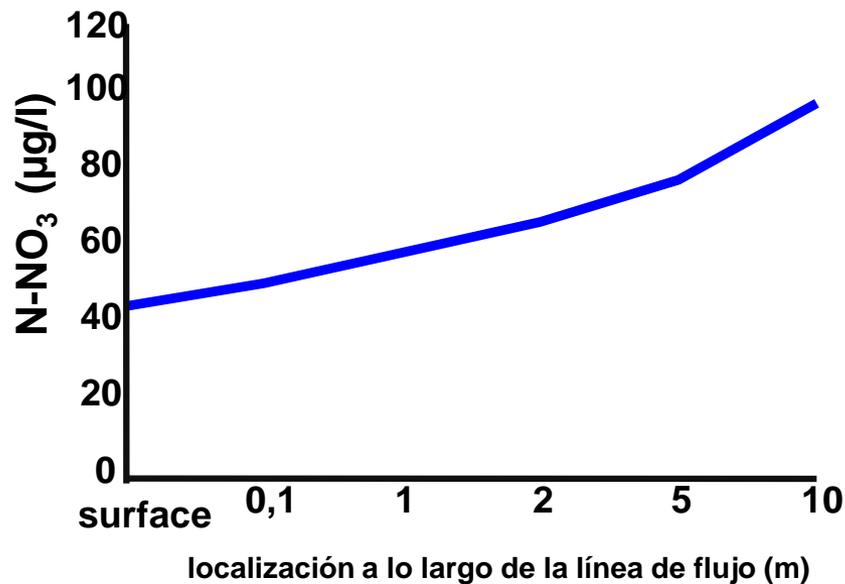
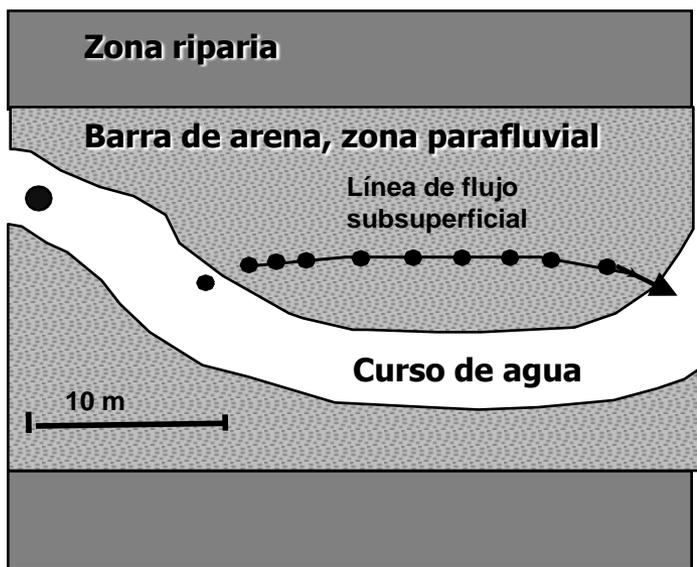
# Lección 3. Los nutrientes: ciclos, balances y distribución espacial y temporal

## 2. Los ciclos del N & P. Principales procesos implicados en el reciclado de nutrientes. Variabilidad espacial. La espiral de nutrientes, medidas y aplicaciones. La retención de N como indicador del estado de calidad del sistema.



Un ejemplo más del procesado biológico del N (nitrificación en este caso) a través de las barras de arena (zona parafluvial) en Sycamore Creek (Arizona, E.E.U.U.).

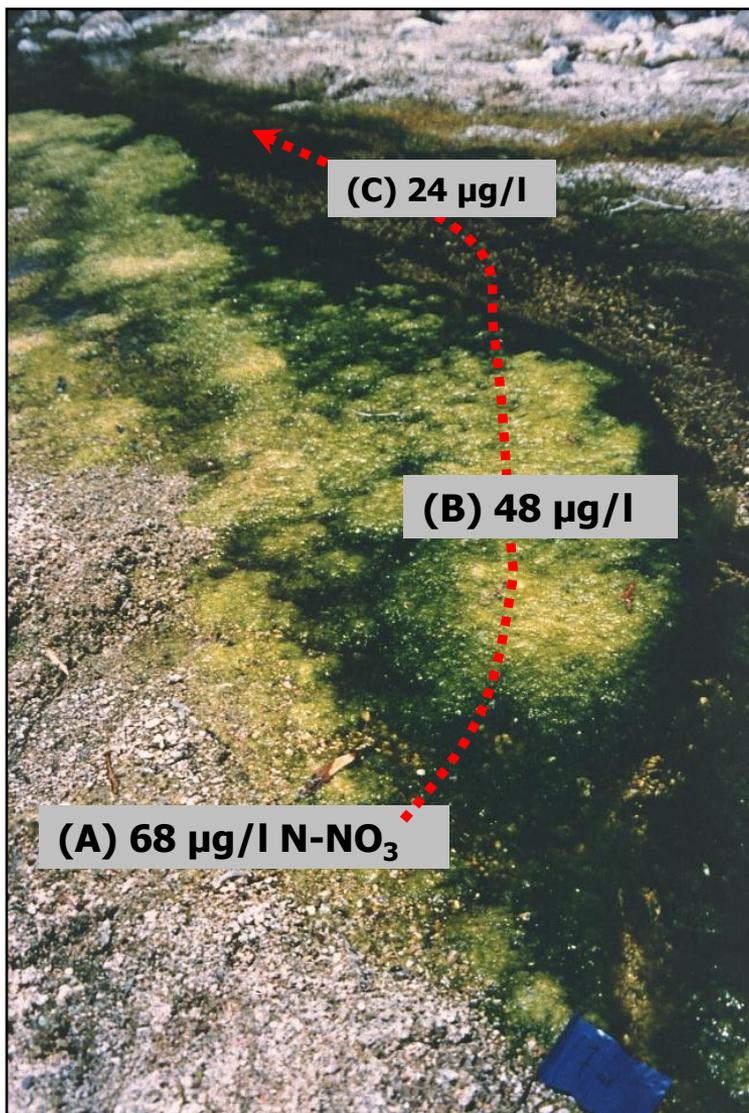
En la gráfica se observa como la concentración de N-nitrato incrementa conforme el agua discurre subsuperficialmente por la barra de arena, lo que constituye un mayor aporte de N-nitrato allí donde esta agua aflora superficialmente. En el caso particular del Sycamore Creeek, donde el N es el nutriente limitante este afloramiento de agua con mayor contenido en N-nitrato potencia el crecimiento de las algas (ver también próxima dispositiva)



Holmes, B.; Fisher S.G. & Grimm N.B. 1994. Parafluvial nitrogen dynamics in a desert stream ecosystem. *J. North. Am. Benthol. Soc.* 13, 468-78

## Lección 3. Los nutrientes: ciclos, balances y distribución espacial y temporal

2. Los ciclos del N & P. Principales procesos implicados en el reciclado de nutrientes. Variabilidad espacial. La espiral de nutrientes, medidas y aplicaciones. La retención de N como indicador del estado de calidad del sistema.



La **asimilación biológica**, en este caso por algas, es otro de los procesos importantes que explican las variaciones de las concentraciones de nutrientes en los medios acuáticos. En este caso se observa como la presencia de una elevada biomasa algal, estimulada por el aporte de N-nitrato actúa a su vez como “filtro” de N , (al asimilar parte de dicho N-nitrato), reduciendo su concentración en el agua superficial. Como consecuencia la disponibilidad de N-nitrato aguas abajo de esta mancha de algas se ve reducida.

- A. Concentración de N-nitrato analizada en el agua subsuperficial de la zona parafluvial
- B y C. Concentraciones de N-nitrato medidas en la columna de agua

## Lección 3. Los nutrientes: ciclos, balances y distribución espacial y temporal

### 2. Los ciclos del N & P. Principales procesos implicados en el reciclado de nutrientes. Variabilidad espacial. La espiral de nutrientes, medidas y aplicaciones. La retención de N como indicador del estado de calidad del sistema.

Al igual que en los ejemplos anteriores en Sycamore Creek un arroyo árido del desierto de Sonora (Arizona, EE.UU), en otras zonas áridas del Mediterráneo, como el sureste ibérico, cualquier proceso biótico o abiótico o cualquier aporte externo de agua, aun a escala muy local, influye en las concentraciones de nutrientes, incrementado su variabilidad espacial. En la imagen superior presencia de pequeños rezumes de agua subsuperficial ricos en N-amonio que incrementan la concentración de este nutriente en el agua (tabla)



	$\text{NH}_4\text{-N}^{\text{Oc}}$ ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )	$\text{NH}_4\text{-N}^{\text{Fe}}$ ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )
<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

rezumes

Los aportes locales de agua subterránea rica en P potencian el crecimiento de las algas en este río limitado por P



Río Chicamo, (Abanilla, Murcia). Gómez, 1995.

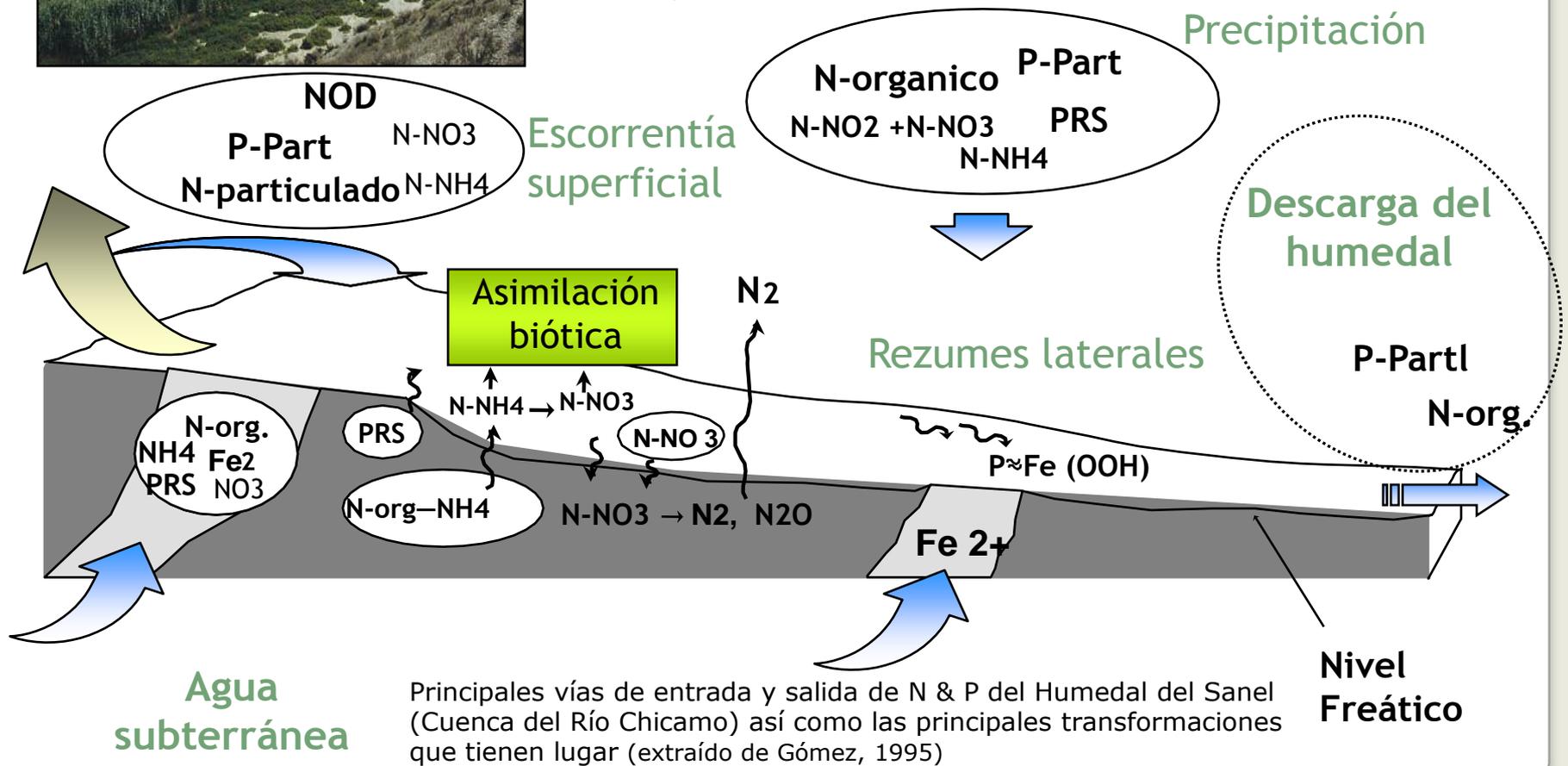
# Lección 3. Los nutrientes: ciclos, balances y distribución espacial y temporal

2. Los ciclos del N & P. Principales procesos implicados en el reciclado de nutrientes. Variabilidad espacial. La espiral de nutrientes, medidas y aplicaciones. La retención de N como indicador del estado de calidad del sistema.



## Un ejemplo de la dinámica de N & P en un humedal árido

Cuando en un sistema natural, de por sí heterogéneo, como ocurre en los humedales, se combinan diferentes tipos de sustrato, vegetación y aportes de agua (escorrentía, subterránea, etc) la dinámica de nutrientes resulta en un entramado de procesos bióticos y abióticos

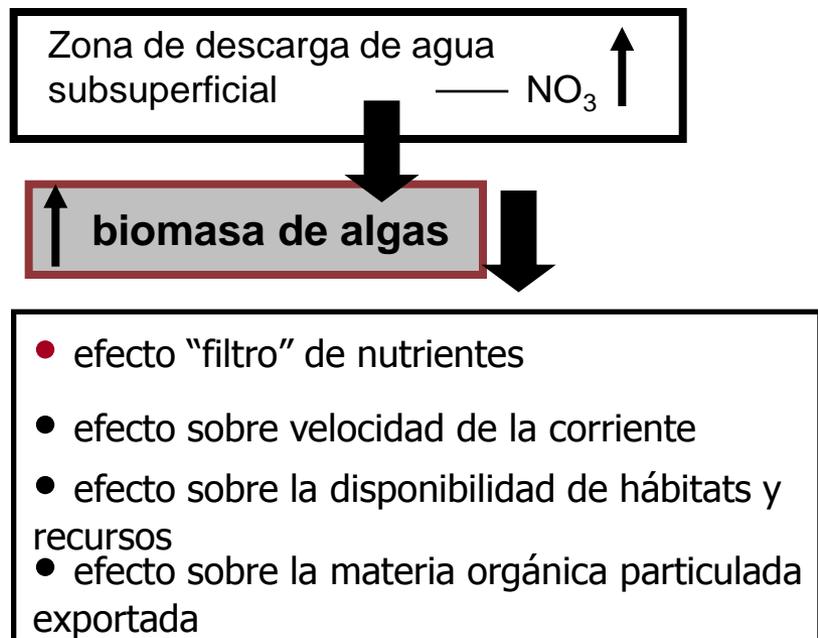


2. Los ciclos del N & P. Principales procesos implicados en el reciclado de nutrientes. Variabilidad espacial. La espiral de nutrientes, medidas y aplicaciones. La retención de N como indicador del estado de calidad del sistema.

## Mecanismos de heterogeneidad autogénica

La disponibilidad de nutrientes es esencial para el funcionamiento de los sistemas acuáticos. La variación espacial de éstos influye en otros compartimentos tróficos y procesos generando un incremento de la variabilidad interna del sistema (variabilidad autogénica).

Un claro ejemplo partiendo del caso ya comentado del N-nitrato en Sycamore Creek:



**Efecto sobre composición y estructura de las comunidades bióticas aguas abajo**

## 3. Variabilidad temporal en la disponibilidad de nutrientes. Efecto de las perturbaciones.

### Variabilidad temporal en sistemas lóticos

La variabilidad temporal en las concentraciones (disponibilidad) de nutrientes puede obedecer a distintas causas entre las que destacan dos grupos de factores:

• **Variaciones estacionales:** repercuten tanto en la hidrología como en la demanda biológica de nutrientes (periodos más productivos con mayor demanda de nutrientes frente a menos productivos; periodos de aporte de nutrientes, p. e incremento descomposición materia orgánica externa (hojarasca..etc).

• **Perturbaciones naturales**

Avenidas de agua  
Periodos de sequía

Éstas inciden en la variabilidad de la concentración de nutrientes, fundamentalmente, al producir cambios en tres aspectos

- Grado de interconexión entre subsistemas
- Ratio flujo superficial/flujo subsuperficial
- Otros : estado vegetación de ribera, colonización de lecho por vegetación, disponibilidad de materia orgánica...etc.

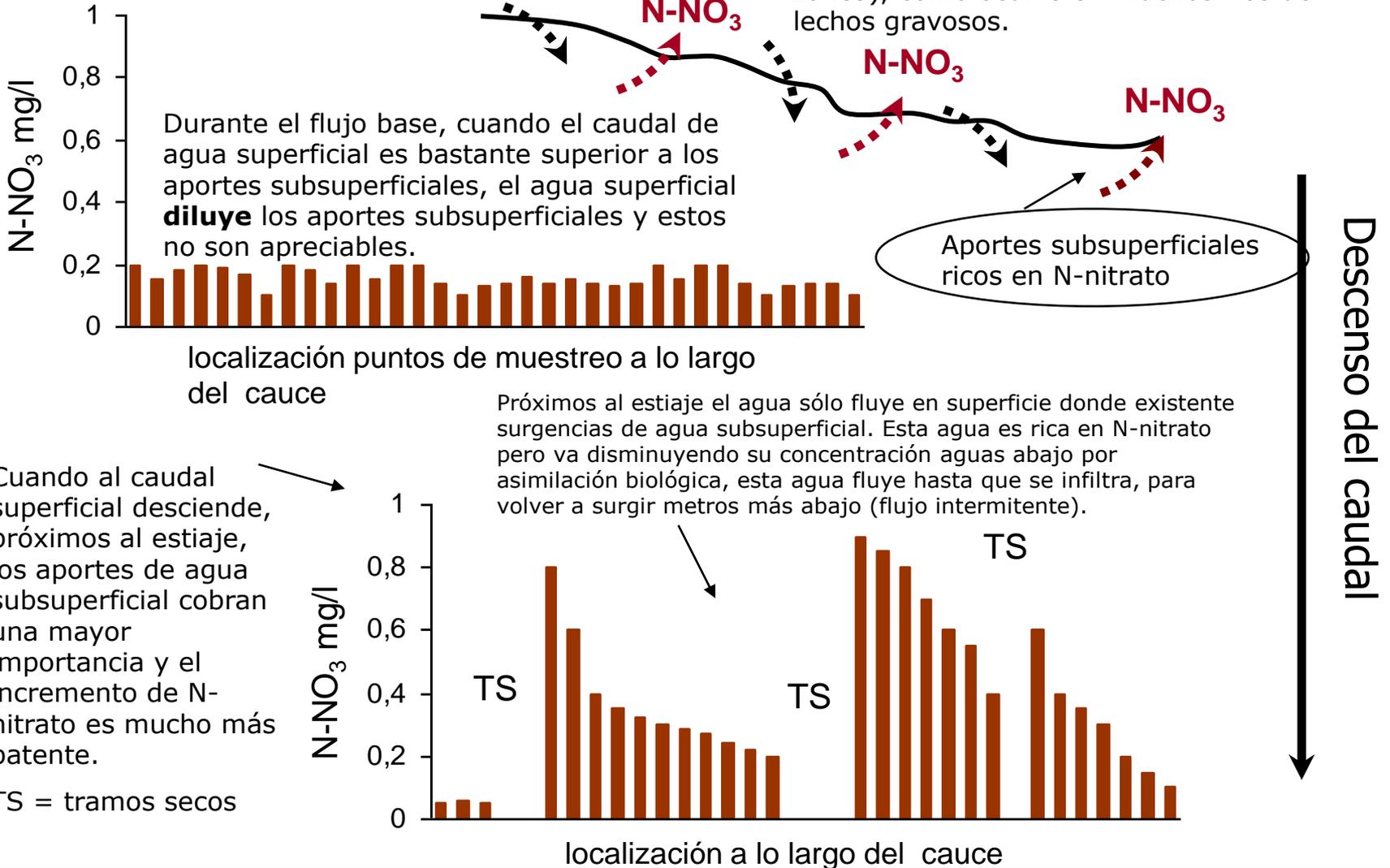
A continuación varios ejemplos.....



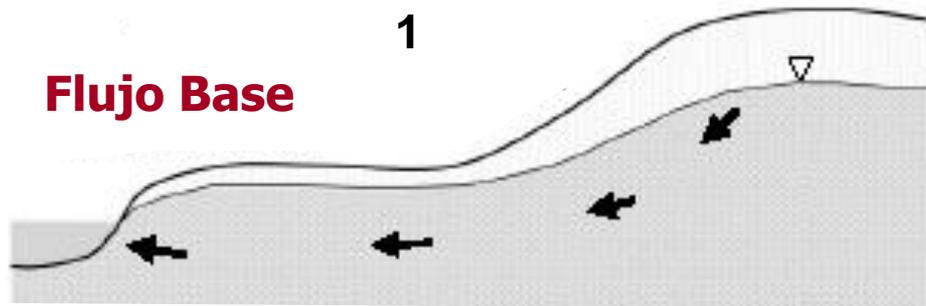
3. Variabilidad temporal en la disponibilidad de nutrientes. Efecto de las perturbaciones.

Relación flujo superficial/flujo subsuperficial

Pensemos en la existencia de surgencias en el lecho del cauce ricas en N-nitrato (*upwelling zones*), como ocurre en muchos ríos de lechos gravosos.

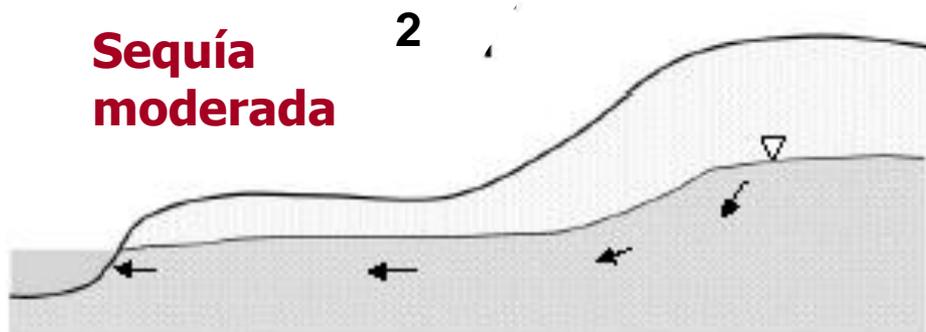


## 3. Variabilidad temporal en la disponibilidad de nutrientes. Efecto de las perturbaciones.



### Relación flujo superficial/flujo subsuperficial

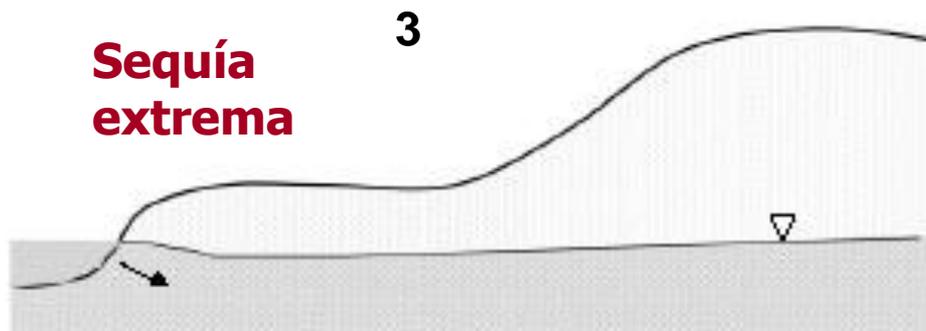
Extraído de :Dahm, C. N., M. A. Baker, D. I. Moore, and J. R. Tribault. 2003. Coupled biogeochemical and hydrological responses of streams and rivers to drought. *Freshwater Biology* 48:1219–1231.



1

↑ descarga de aguas subterráneas: **subsuperficial + acuíferos profundos**

↑ aportes de N-org, P-org + Carbono orgánico disuelto (COD)



2

↓ descarga de aguas subterráneas

↓ aportes de N-org, P-org + COD (limitación del metabolismo microbiano)

3

el agua superficial recarga el acuífero

↑ actividad autotrófica

### 3. Variabilidad temporal en la disponibilidad de nutrientes. Efecto de las perturbaciones.

#### Efecto de la colonización del lecho por la vegetación

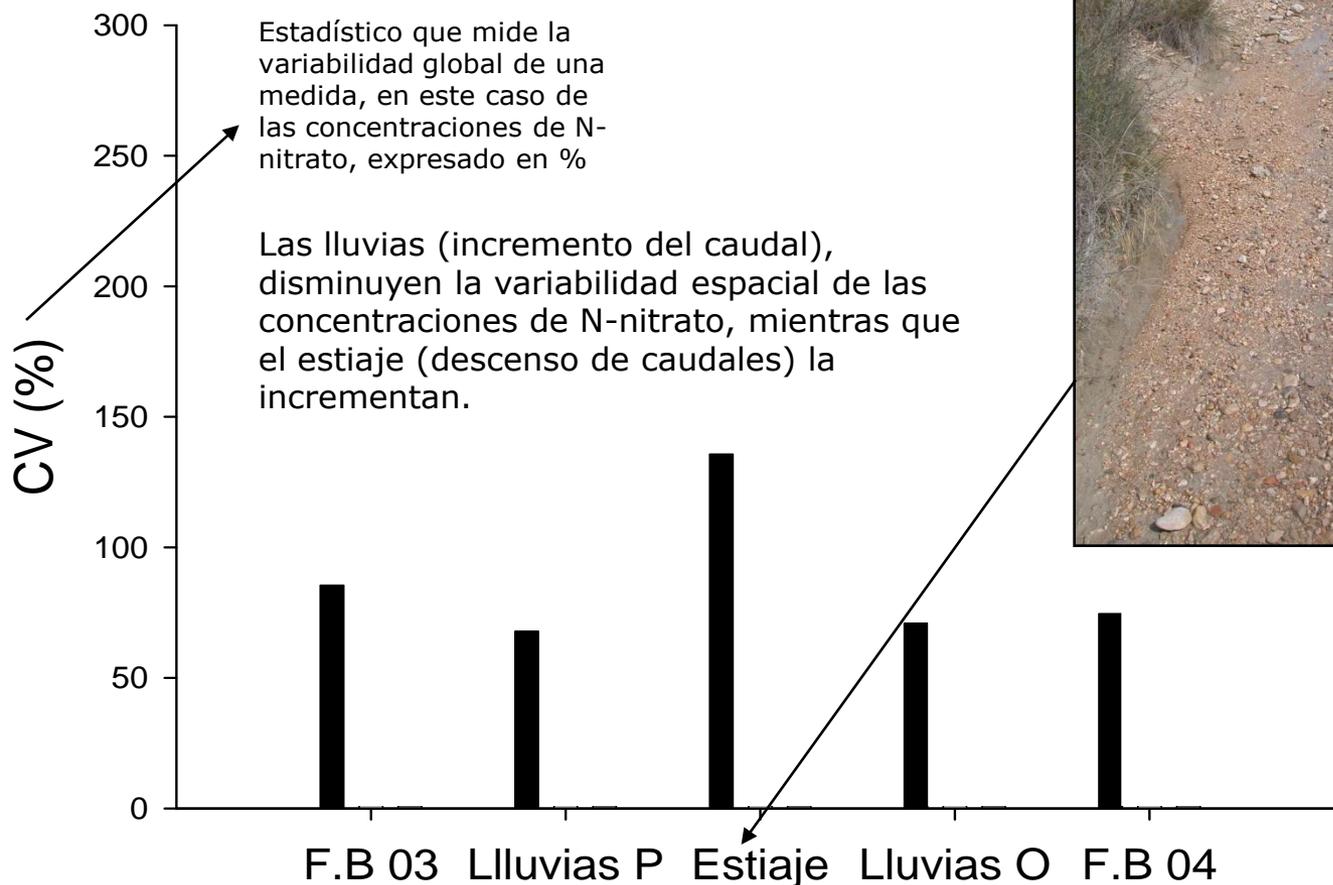
Durante los periodos de bajo caudal, las barras de arenas que quedan expuestas, las orillas o incluso zonas de ribera (anteriormente inundadas) pueden sufrir un proceso de colonización por la vegetación terrestre (riparia). Este crecimiento será mayor cuanto más prolongado sea el periodo de bajo caudal (este se intensificará próximo al estiaje). Lógicamente, la mayor asimilación de nutrientes por la vegetación creciente, así como las modificaciones que su crecimiento ejercen sobre los sedimentos (mayor contenido en materia orgánica, menor conductividad hidráulica, incremento de sólidos, etc) influirán en la concentración de nutrientes en el agua superficial del río o arroyo. Estos cambios serán más acentuados en ríos de zonas áridas o semiáridas, donde se producen importantes fluctuaciones de caudal.



**Tiempo tras una crecida**

3. Variabilidad temporal en la disponibilidad de nutrientes. Efecto de las perturbaciones.

### Análisis de la variabilidad del nitrógeno (N-NO<sub>3</sub>) en el Río Chicamo (García 2005) río árido del sureste ibérico



3. Variabilidad temporal en la disponibilidad de nutrientes. Efecto de las perturbaciones.

**Variación de nutrientes a lo largo de un ciclo diario**

Variabilidad diaria y anual de distintos parámetros físico-químicos medidos en un arroyo de características áridas. Río Chicamo (Sureste Ibérico).

	Diurnal cycles					Annual				
	n	Mean	Max.	Min.	SD	n	Mean	Max.	Min.	SD
Water temperature (°C)	276	18.8	34.0	9.6	6.0	118	19.1	30.5	7.0	5.7
Dissolved oxygen (mg L <sup>-1</sup> )	276	8.59	20.00	1.60	3.59	118	10.38	20.07	2.70	3.09
Saturation oxygen (%)	276	93.0	224.3	17.2	42.4	118	110.7	187.1	33.3	30.0
pH	248	7.93	9.17	6.48	0.37	113	7.90	8.64	7.00	0.33
Salinity (g L <sup>-1</sup> )	276	8.28	18.30	4.00	2.03	115	8.32	13.50	2.00	1.93
Conductivity 25 °C (µS cm <sup>-1</sup> )	276	13865	29155	4887	3050	115	13183	21684	2964	2594
Alkalinity (meq L <sup>-1</sup> )	132	5.87	12.26	2.11	2.24	93	5.09	10.95	0.83	1.87
N-nitrate (µg L)	48	1959.1	3599.3	422.3	710.6	119	3286.4	31170.3	30.8	4344.8
N-nitrite (µg L <sup>-1</sup> )	47	41.9	122.5	4.5	34.1	119	31.4	479.9	0.9	55.8
N-Ammonium (µg L <sup>-1</sup> )	45	329.4	3317.2	0.0	657.7	119	1269.3	29171.8	0.0	4046.2
SRP (µg L <sup>-1</sup> )	48	3.83	8.47	0.22	2.25	110	9.77	255.26	0.02	24.84

Junto a la escala **anual** (descrita anteriormente), tanto la **escala diaria** como la **interanual** (entre distintos años, no mostrada en esta tabla) son igualmente importante en la variabilidad de las concentraciones de nutrientes.

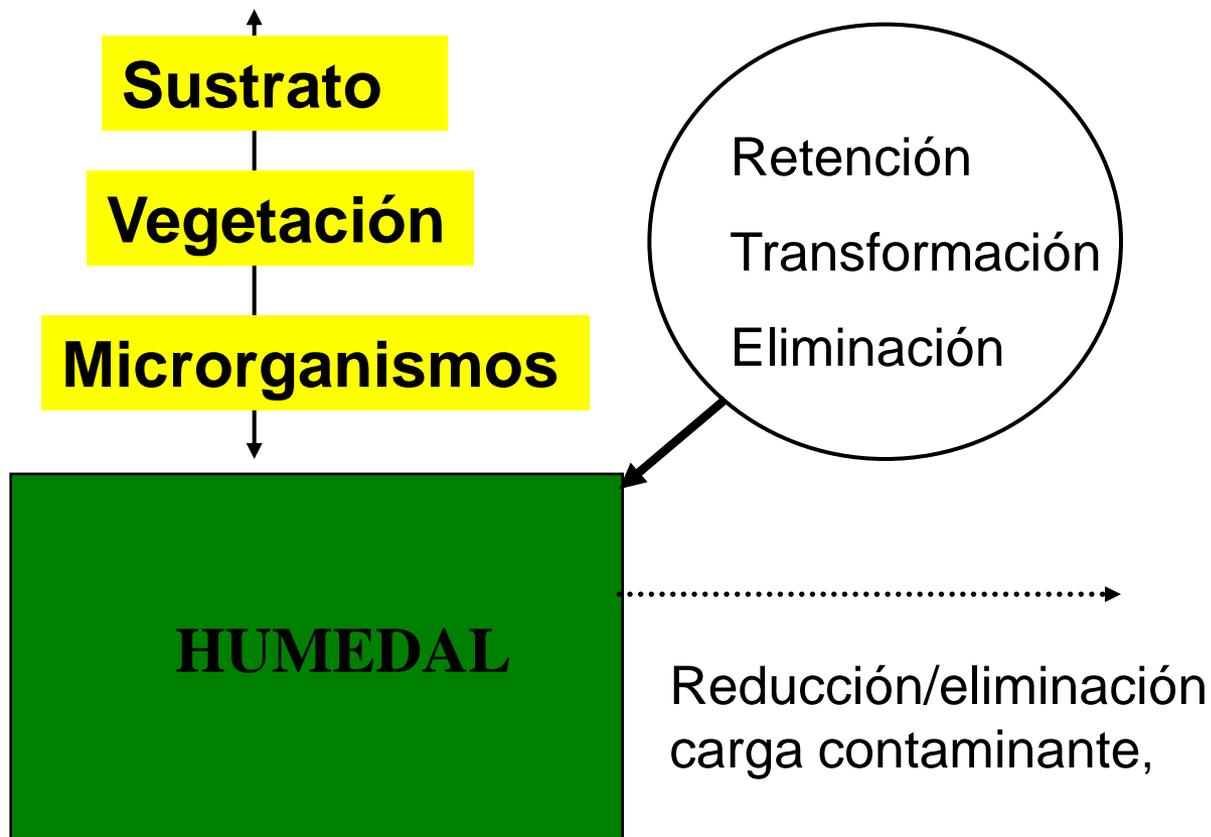
Extraído de : Vidal-Abarca, M.R., Suárez, M.L., Gómez, R., Moreno, J.L. and Guerrero, C. 200). Diel variations in physical and chemical parameters in a semi-arid stream in Spain (Chicamo Stream). *Verhandlungen der Internationalen vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 28, 1-5.

4. Algunas medidas para la mejora natural de la calidad del agua. Los sistemas naturales como "filtros verdes"

Esquema conceptual del funcionamiento de los humedales en la retención, transformación y eliminación de nutrientes

Como se ha expuesto con anterioridad, estos tres compartimentos juegan un papel fundamental en el procesado y eliminación de nutrientes de los sistemas acuáticos

**Carga contaminante**  
(DBO<sub>5</sub>, DQO, N, P, metales pesados, pesticidas, patógenos)



Reducción/eliminación carga contaminante,

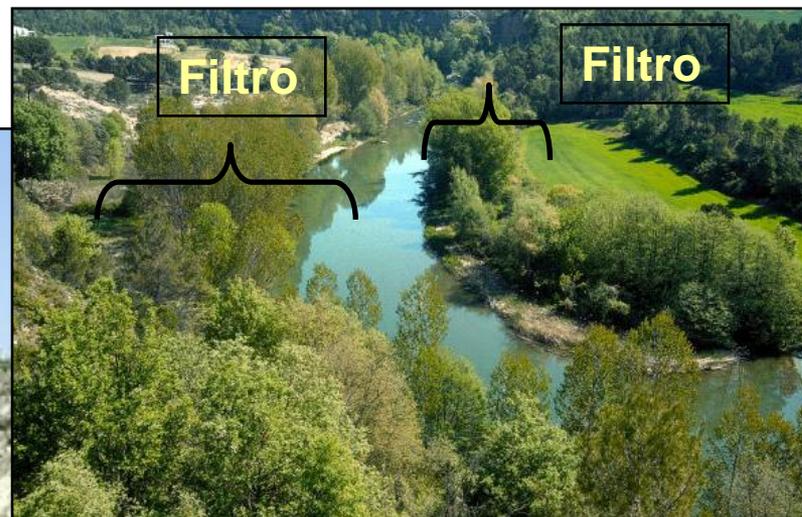
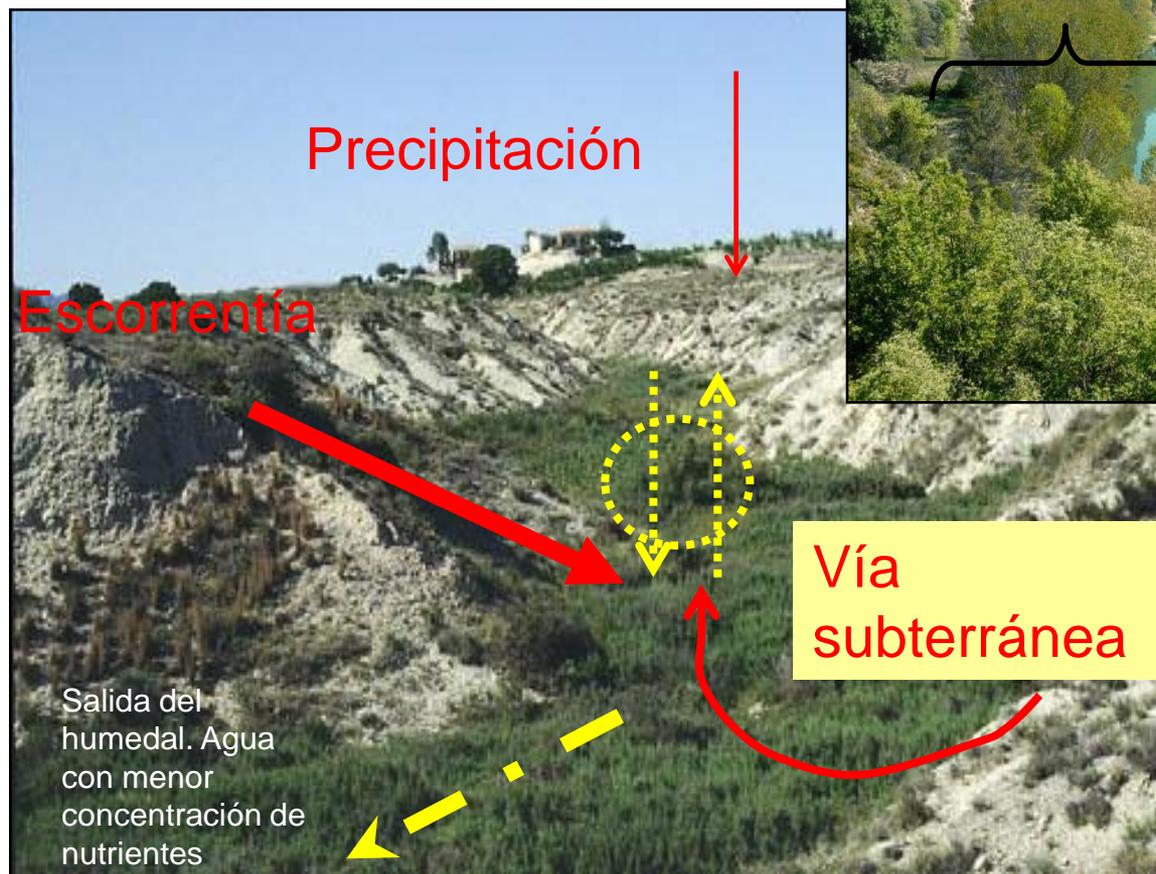
### 4. Algunas medidas para la mejora natural de la calidad del agua. Los sistemas naturales como "filtros verdes"

Los humedales asociados a sistemas de drenaje, como éstos de las imágenes, especialmente comunes en el sureste ibérico, presentan unas características y localización estratégica que les dotan de un elevado potencial para el control de la contaminación difusa, especialmente en cuencas agrícolas.



## 4. Algunas medidas para la mejora natural de la calidad del agua. Los sistemas naturales como "filtros verdes"

Los bosques de ribera, tanto de ríos como de lagos y lagunas, o la vegetación a orillas de un embalse (todos ellos incluidos en la definición de humedal), cumplen igualmente esta importante función "filtro de nutrientes".



Por ello la protección de los humedales a escala de cuenca constituye una herramienta básica para la gestión de la calidad del agua