

# Tema 13:

# Biogeoquímica de lagos, ríos y humedales

**Salvador Sánchez Carrillo**

Departamento de Biogeoquímica y Ecología Microbiana

Museo Nacional de Ciencias Naturales-CSIC

email: [sanchez.carrillo@mncn.csic.es](mailto:sanchez.carrillo@mncn.csic.es)

# Índice

- Introducción
- Diferencias en los procesos biogeoquímicos de lagos, ríos y humedales
- Flujos de nutrientes en lagos, ríos y humedales
- Escenarios de cambio global y efectos en los balances de C, N y P en lagos, ríos y humedales

# **Introducción**

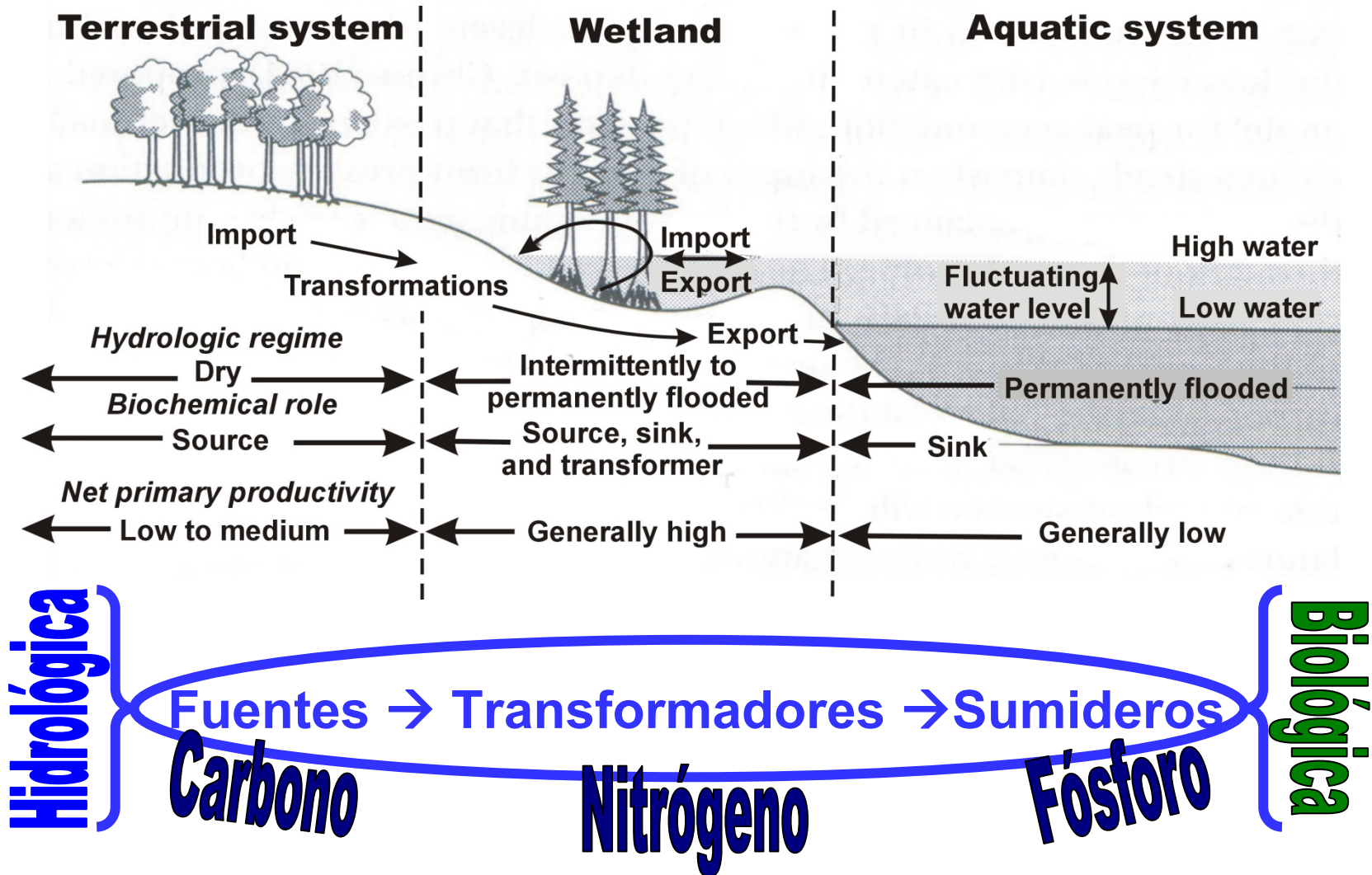
- **Los ecosistemas acuáticos continentales (ríos, humedales y lagos) reciben, transforman y transportan nutrientes desde los ecosistemas terrestres (también intercambian).**
- **Transformaciones biogeoquímicas son mucho más intensas (tasa) a pesar de su superficie global más reducida.**
- **Actúan como transformadores, fuentes o sumideros de nutrientes en función de sus características hidrológicas, geomorfológicas, ecológicas e hidroquímicas.**
- **Productividad primaria neta y tasas de acumulación orgánica difieren entre ecosistemas (+ humedales –ríos).**
- **Producción secundaria depende de fuentes orgánicas alóctonas**
- **Reciclado interno (carga interna, en sedimentos) es un elemento clave en el funcionamiento biogeoquímico de estos ecosistemas**
- **Limites difusos entre ecosistemas**

# Introducción

The value of the world's ecosystem services (1994 US \$)  
(by Robert Costanza (U. Maryland) et al. NATURE, Vol 387 page 253-260)

Biome	%globe	%land	\$/ha/Yr	NPP <sub>gC/m<sup>2</sup>/y</sub>
Marine	70.3	\	577	69
Open ocean	64.3	\	252	57
Coastal	6.0	\	4,052	162
Estuaries	0.3	\	22,832	810
Coral reefs	0.1	\	6,075	900
Terrestrial	29.7	100.0	804	324
Tropical forest	3.7	12.4	2,007	900
Temperate/boreal	5.7	19.3	302	500
Grass/rangelands	7.6	25.4	232	280
Wetlands	0.6	2.2	14,785	1,125
Tidal marsh	0.3	1.1	9,990	1,150
Swamps	0.3	1.1	19,580	1,100
Lakes/rivers	0.4	1.3	8,498	225
Desert	3.7	12.6	\	32
Tundra	1.4	4.8	\	65
Ice/rock	3.2	10.7	\	1.5
Cropland	2.7	9.1	92	290
Total	100.0	\	\	

# Diferencias biogeoquímicas



# Diferencias biogeoquímicas

## Procesos biogeoquímicos en ríos

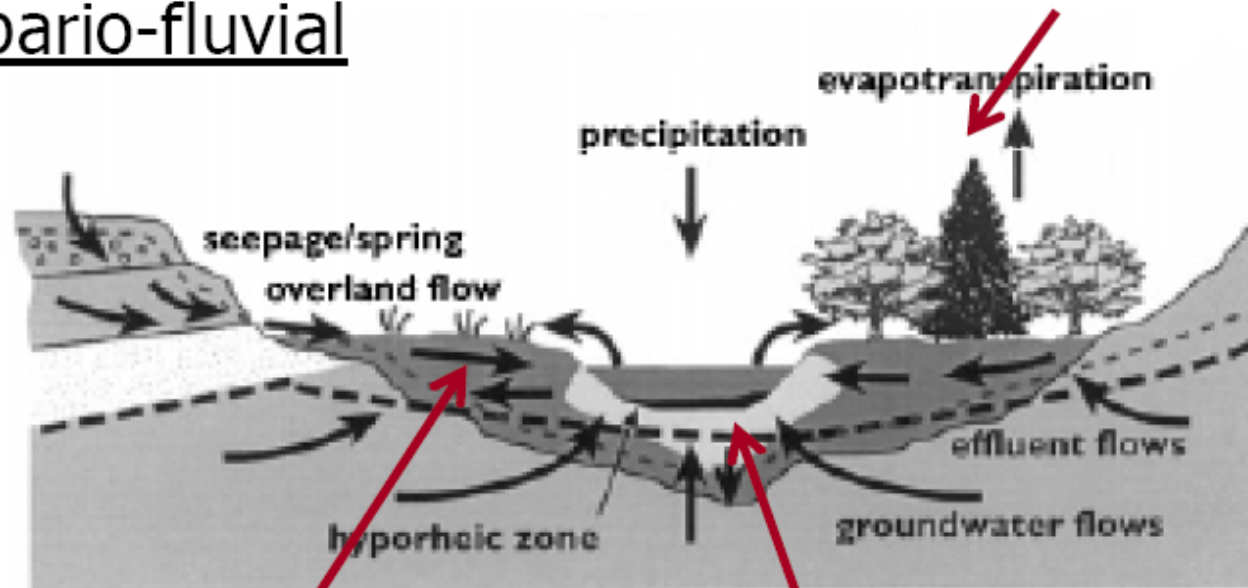
- ↑↑ Subsidios externos de nutrientes (alóctonas - terrestres), naturales o antrópicos (aguas residuales tratadas o sin tratar)
  
- Flujo unidireccional
  - ↑ velocidad de corriente
  - ↓ tiempos de retención
  - ↑ turbulencia
  
- **ESPIRAL DE NUTRIENTES**
  - ↑↑ Intercambios con zona hiporréica
  - Dependencia del flujo subsuperficial (hiporréico)
  - Dependencia de condiciones del tramo del río (interacciones disponibilidad de luz + morfología del canal)
  - Dependencia del clima (sequías/inundaciones)
    - \*Longitud espiral ↑↑↑ después de inundación
  
- **INDEPENDENCIA PRODUCCIÓN PRIMARIA → HETEROTROFÍA**

# Diferencias biogeoquímicas

## Procesos biogeoquímicos en ríos

Ecosistema  
ripario-fluvial

zona riparia



zona  
parafluvial

zona  
hiporreica

# Diferencias biogeoquímicas

## Procesos biogeoquímicos en ríos

$S$  = longitud de la espiral

$S_W$  = distancia de asimilación ("uptake length")

$S_B$  = distancia de recambio ("turnover length")

### La espiral de nutrientes

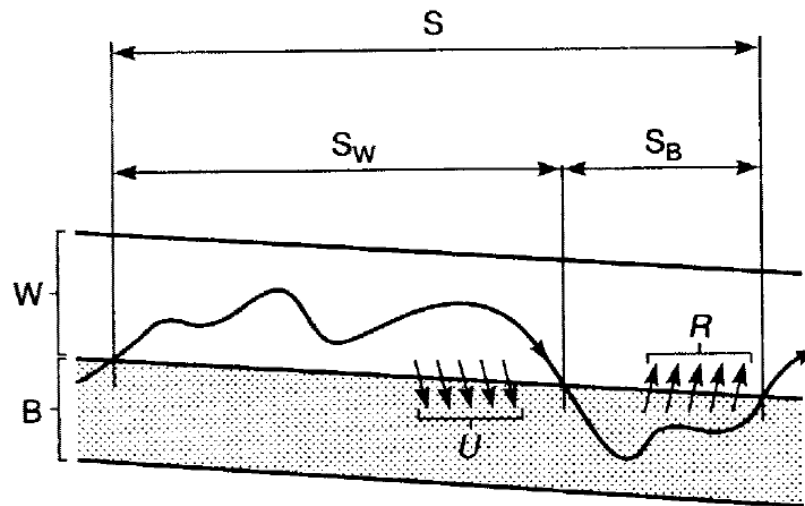
(Webster y Patten, 1979)

$$S = S_W + S_B$$

$U$  = Flujo de asimilación

$R$  = Flujo de retención

$S_W$  es un indicador de la eficacia de retención de nutrientes por el sistema





# Diferencias biogeoquímicas

## Procesos biogeoquímicos en ríos

### ¿¿Cómo se mide la longitud de la espiral de nutrientes??

- Se confina el flujo de agua en un punto determinado un canal.
- Se inyecta una solución con un nutriente en el agua ( $\text{NH}_4^+$  como  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  como  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{NO}_3^-$  como  $\text{NaNO}_3$ ) y se observan los cambios de concentración aguas arriba y aguas abajo en diferentes estaciones de muestreo pasado un tiempo (cuando la sustancia llega al punto de observación y después)
- Para asegurarnos que ocurre una dilución correcta se añade un trazador conservativo (CINa, IBr, Rodamina) simultáneamente.
- El enriquecimiento se hace a la menor concentración posible (pero que podamos detectarlo) para evitar una posible saturación de la asimilación bentónica.
- Se tiene que conocer perfectamente el funcionamiento hidrológico del río (flujo base y dimensiones del canal)



# Diferencias biogeoquímicas

## Procesos biogeoquímicos en ríos

### ¿¿Cómo se mide la longitud de la espiral de nutrientes??

La distancia de asimilación (uptake length) se calcula:

$$S_w = \frac{x}{\ln \left( \frac{C_{Nut-Up}}{C_{Nut-Do}} \right) - \ln \left( \frac{C_{Con-Up}}{C_{Con-Do}} \right)}$$

x: longitud del tramo

C<sub>Nut-Up</sub> y C<sub>Nut-Do</sub>: concentraciones de nutrientes en las estaciones aguas arriba y aguas abajo

C<sub>Con-Up</sub> y C<sub>Con-Do</sub>: concentraciones de los trazadores en las mismas estaciones



# Diferencias biogeoquímicas

## Procesos biogeoquímicos en ríos

### ¿¿Cómo se mide la longitud de la espiral de nutrientes??

Para corregir el efecto del caudal, estimamos la velocidad de asimilación que considera la demanda bentónica de nutrientes relativa al abastecimiento:

$$V_f (ms^{-1}) = \frac{Q}{w \cdot S_w}$$

Q= caudal (m<sup>3</sup>/s)

w= ancho del canal (m)

S<sub>w</sub>= longitud de asimilación (m).

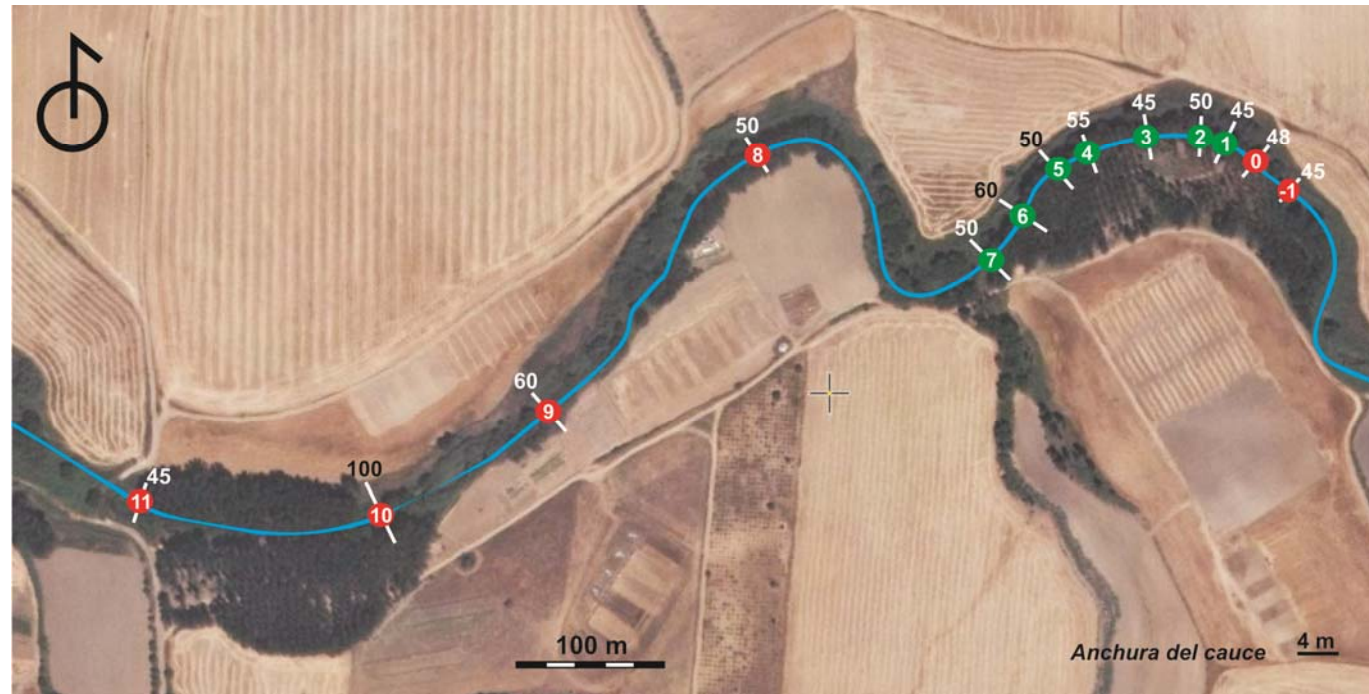


# Diferencias biogeoquímicas

## Procesos biogeoquímicos en ríos

### Espiral de nutrientes

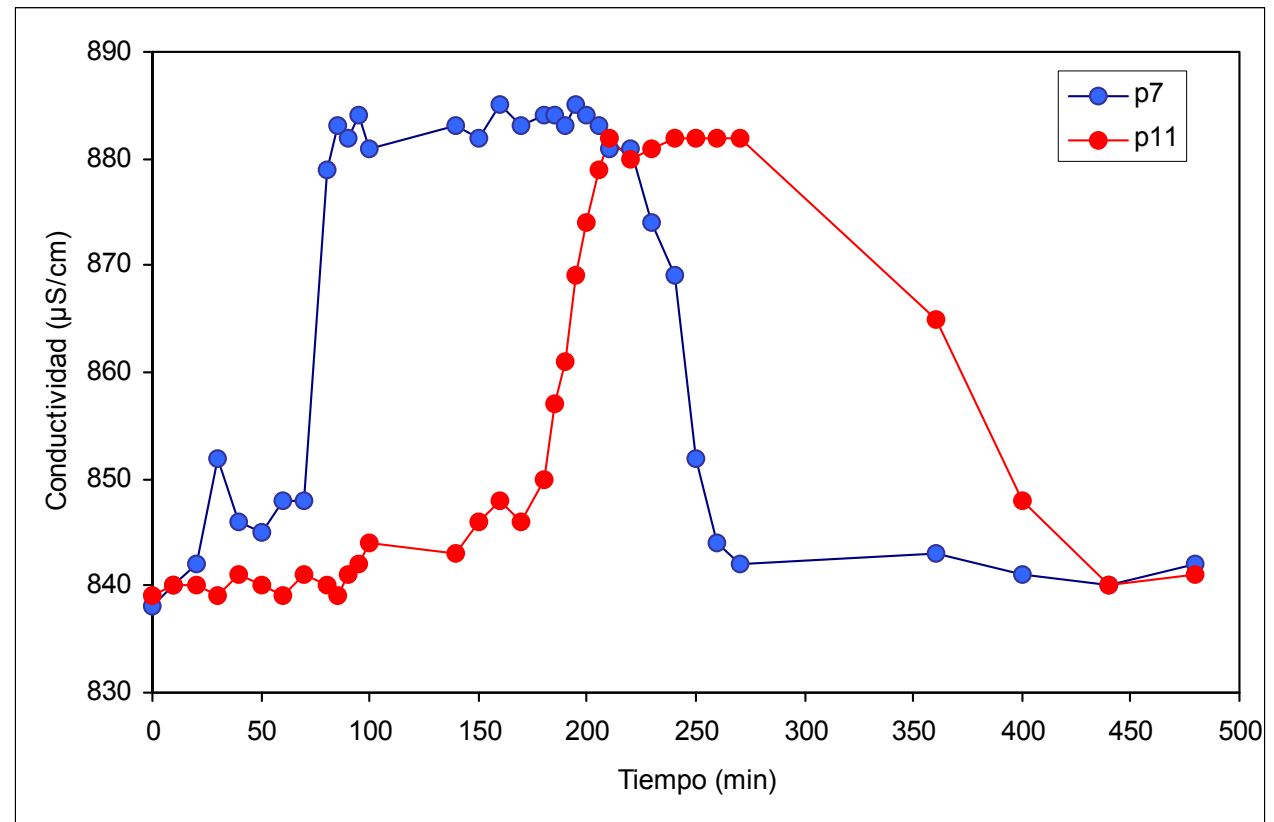
<i>Rio:</i>		<i>Disolucion:</i>	
Temp	13,80 °C	Vol	120,00 l
pH	8,2	NaCl	36,00 g
Caudal	122,00 l/s	NH <sub>4</sub> Cl	1067,00
Veloc	0,17 m/s	Tasa inyec	30,00 l/h
Prof	0,5 m		



# Diferencias biogeoquímicas

## Procesos biogeoquímicos en ríos

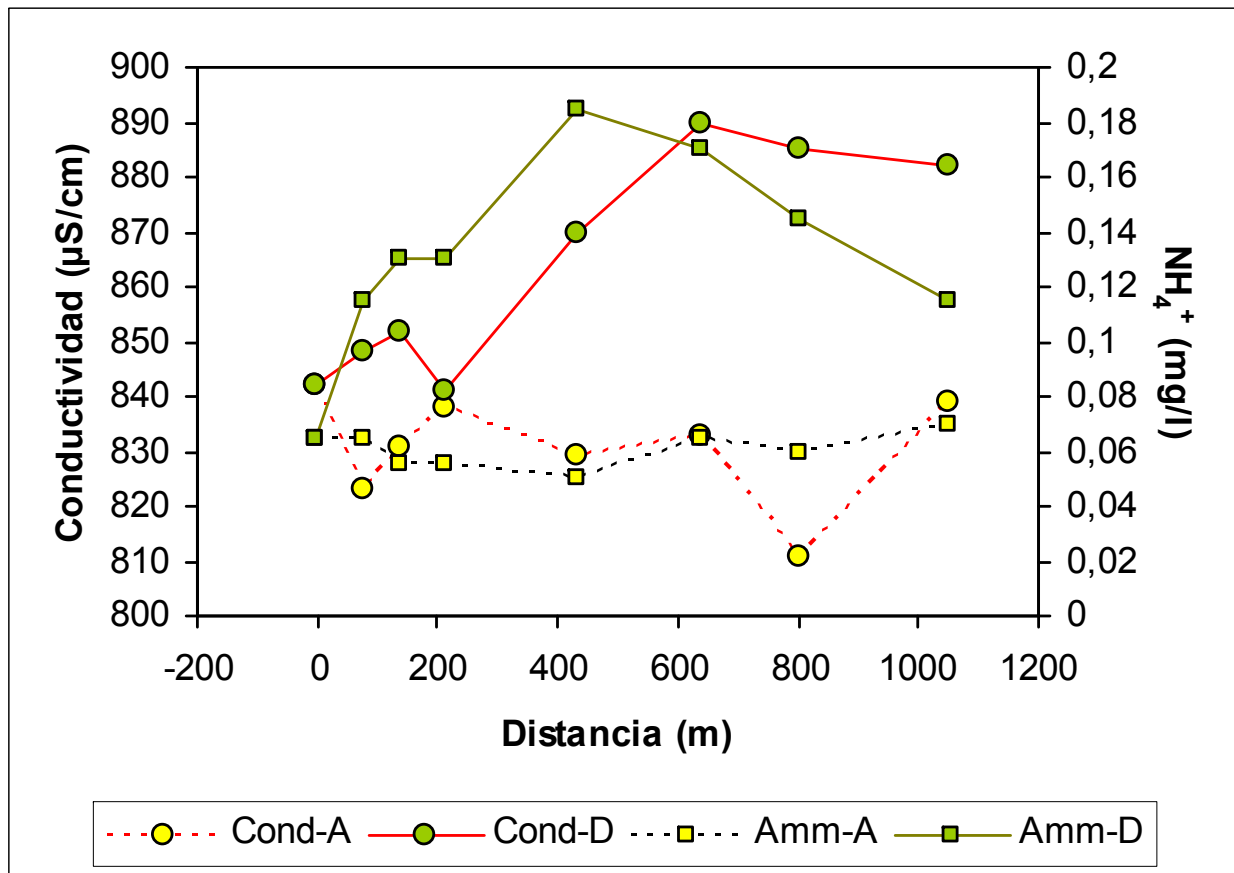
### Espiral de nutrientes



# Diferencias biogeoquímicas

## Procesos biogeoquímicos en ríos

### Espiral de nutrientes



# Diferencias biogeoquímicas

## Procesos biogeoquímicos en ríos



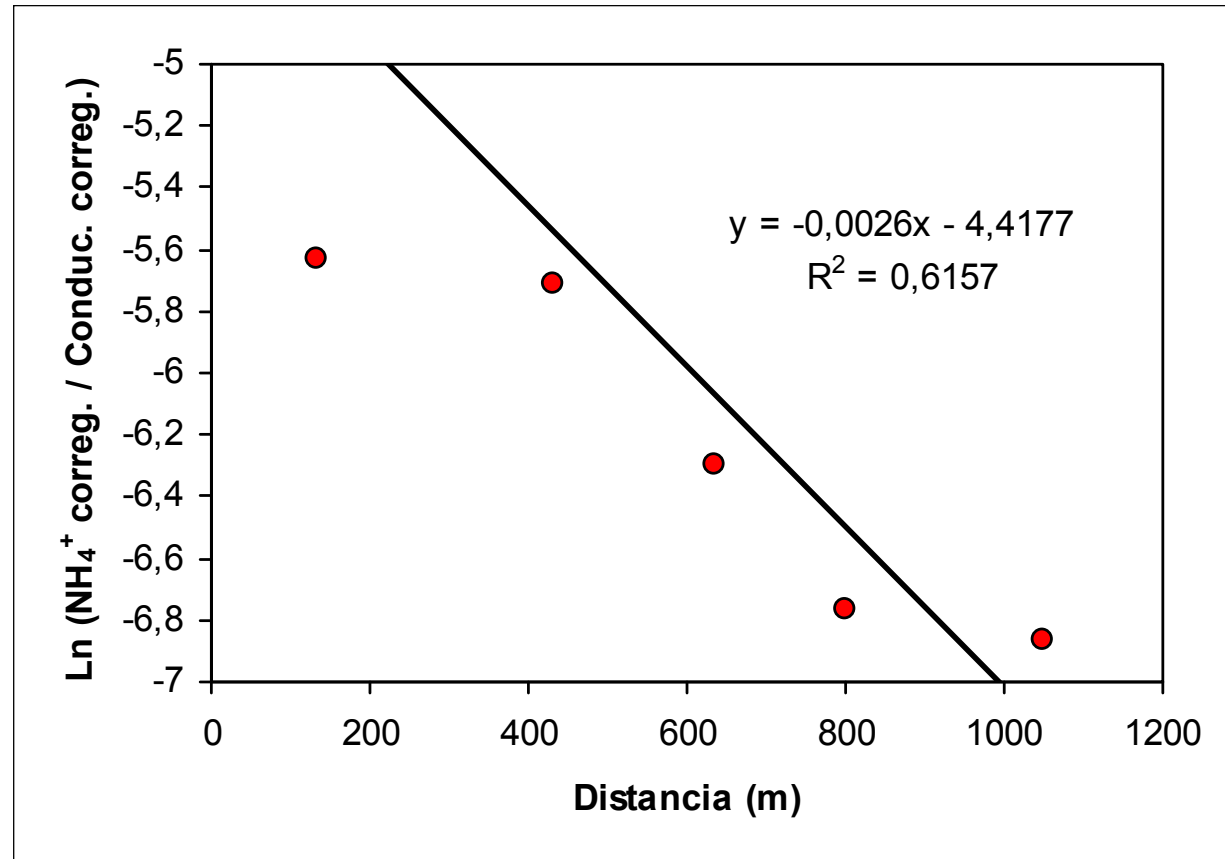
- **Tasa de retención ( $K_c$ ):** pendiente de la regresión lineal entre los valores logarítmicos del cociente de las concentraciones y la distancia (m)
- **Distancia de asimilación  $S_w = 1/K_c$**
- **Velocidad de asimilación  $V_f = (Q \cdot K_c) / W$**
- **Tasa de asimilación  $U = V_f N_b$**

donde  $Q$  es el caudal ( $m^3/min$ ),  $W$  es la anchura media del río en (m) y  $N_b$  es la concentración basal de nitrógeno antes de su liberación (mg/L).

# Diferencias biogeoquímicas

## Procesos biogeoquímicos en ríos

### Espiral de nutrientes

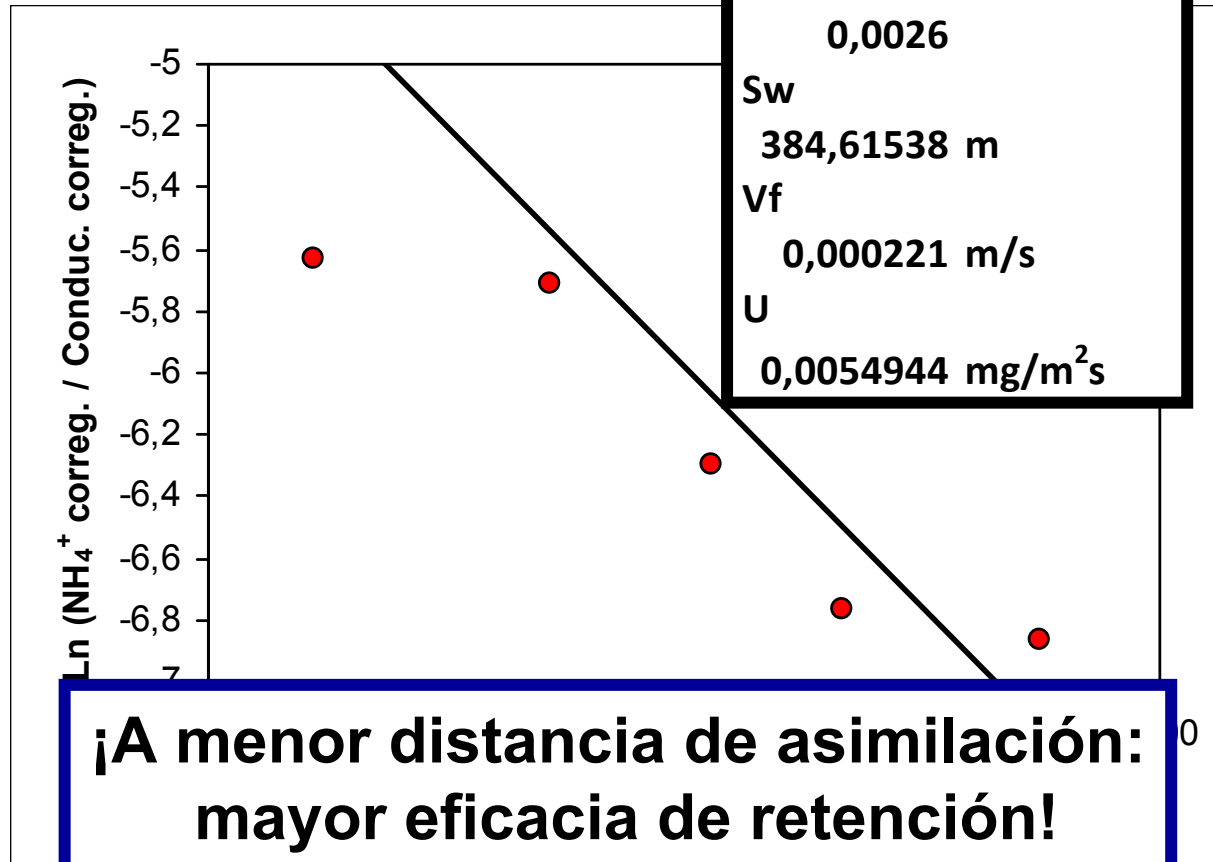




# Diferencias biogeoquímicas

## Procesos biogeoquímicos en ríos

### Espiral de nutrientes



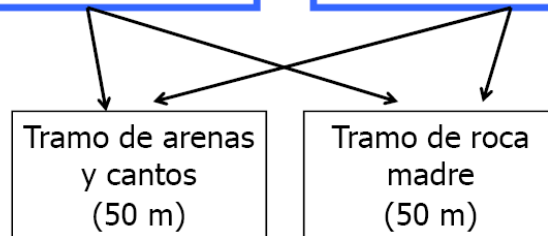
# Diferencias biogeoquímicas

## Procesos biogeoquímicos en ríos

### Espiral de nutrientes

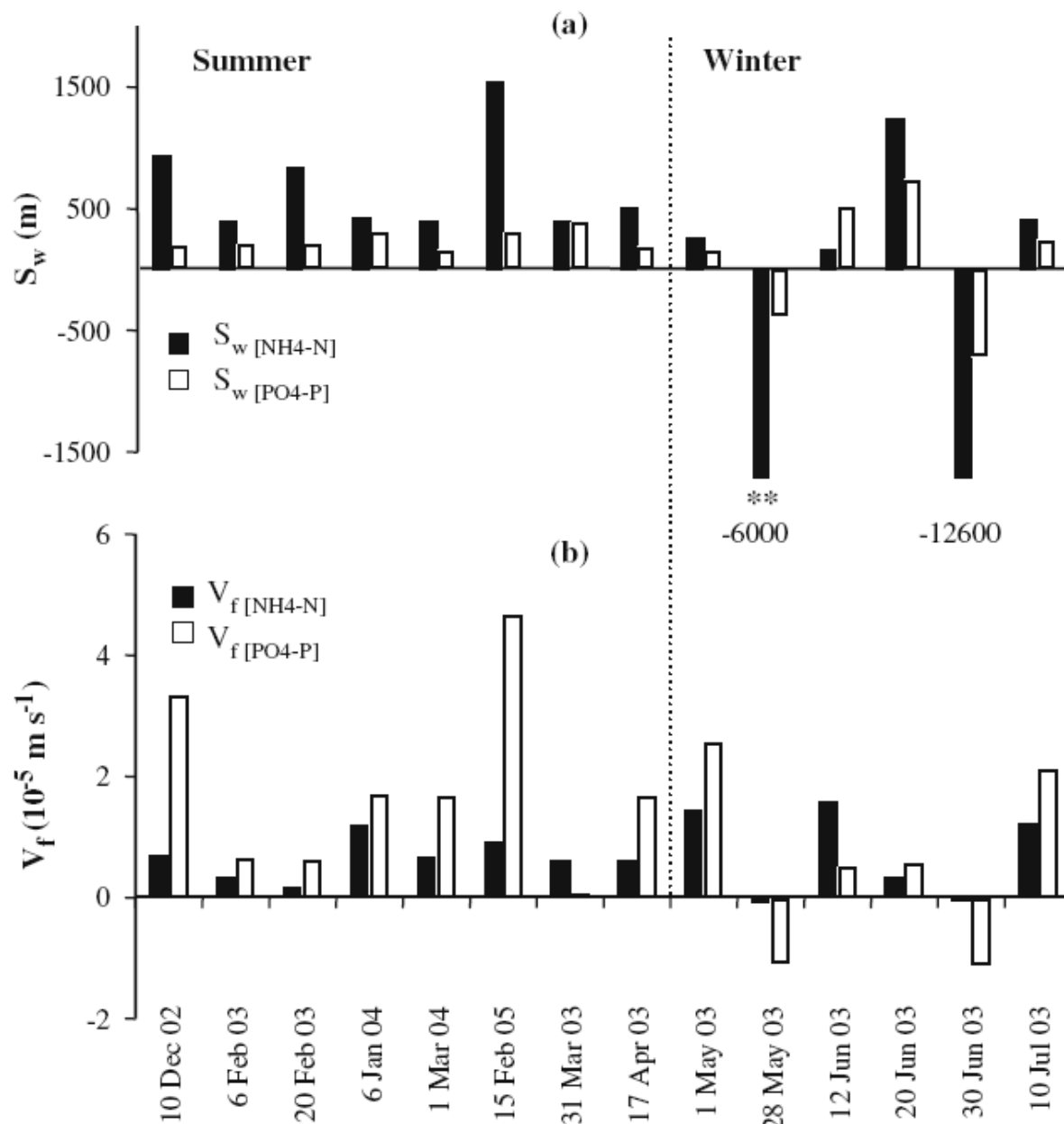
**La Solana**  
cuenca calcárea  
vegetación riparia: *Salix* sp.  
cobertura riparia = 0 - 53 %  
Intensidad luminosa = 293-654  
( $\mu\text{mol photons.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ )

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



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

**¡A menor distancia de asimilación:  
mayor eficacia de retención!**



Sin embargo, esta técnica no es capaz de discriminar los patrones estacionales por la falta de sensibilidad o porque no capta la variabilidad inherente en las condiciones del flujo

Figure 1. a Uptake length ( $S_w$ , in m) and b uptake velocity ( $V_f$ , in m/s) in summer and winter. Two negative values for  $S_w$ [ $\text{NH}_4\text{-N}$ ] (marked with asterisk) were from experiments conducted seven days after flood events.

(Hanafi et al. (2006):  
Water Air Soil Poll.  
DOI: 10.1007/s11267-  
006-9054-1)

# Diferencias biogeoquímicas

## Procesos biogeoquímicos en ríos

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

Valores medios/hora (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>

(Figura 34)

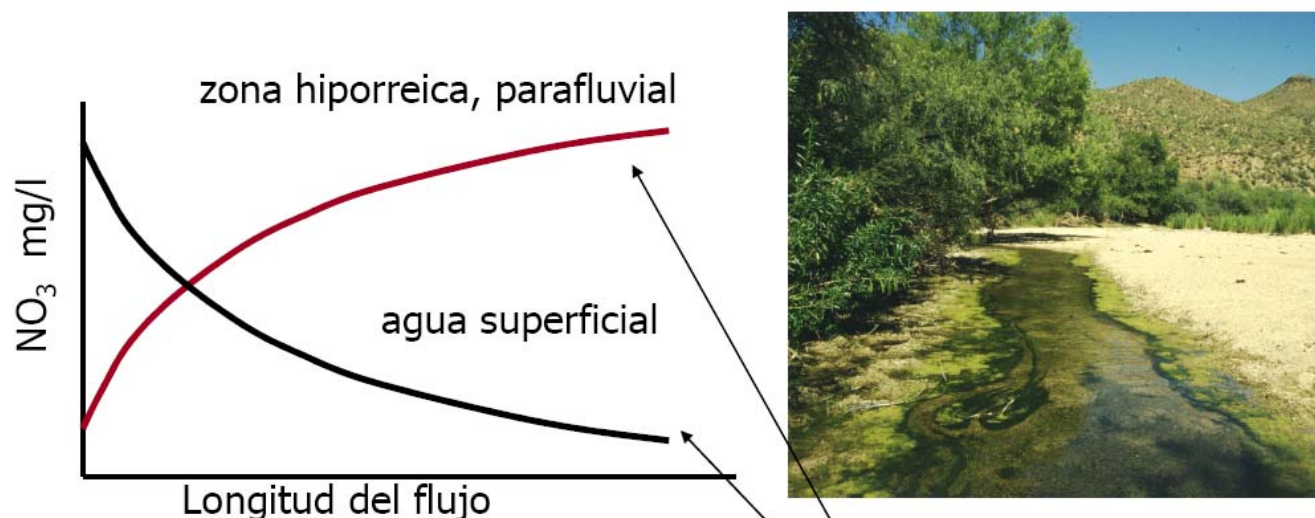


**Sycamore Creek** (Arizona, USA)  
Grimm y Fisher, 1984

El hiporreos concentra las tasas de R más altas:  
El hiporreos condiciona el metabolismo del sistema

# Diferencias biogeoquímicas

## Procesos biogeoquímicos en ríos



	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)

(extraído de Valett et al., 1994) **(Figura 35)**

### 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)

# Diferencias biogeoquímicas

## Procesos biogeoquímicos en ríos

### Factores que afectan a la espiral de nutrientes

#### Factores abióticos

- **Procesos Físico-Químicos**
  - adsorción – (fósforo en sedimentos de grano fino como arcillas)
  - hidrología – Caudal
    - bajo flujo = almacén
    - alto flujo = exportación
  - mecanismos de retención
    - zona hiporreica
    - presas

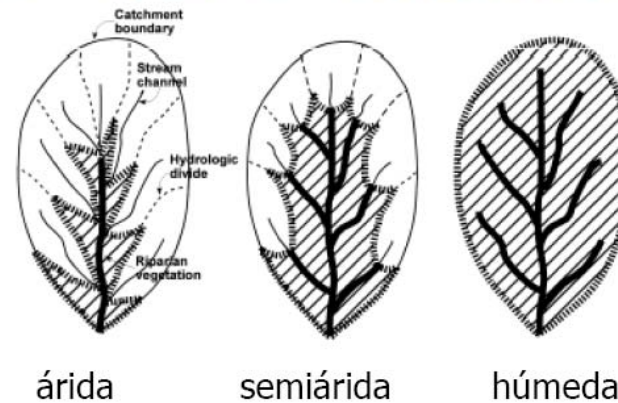
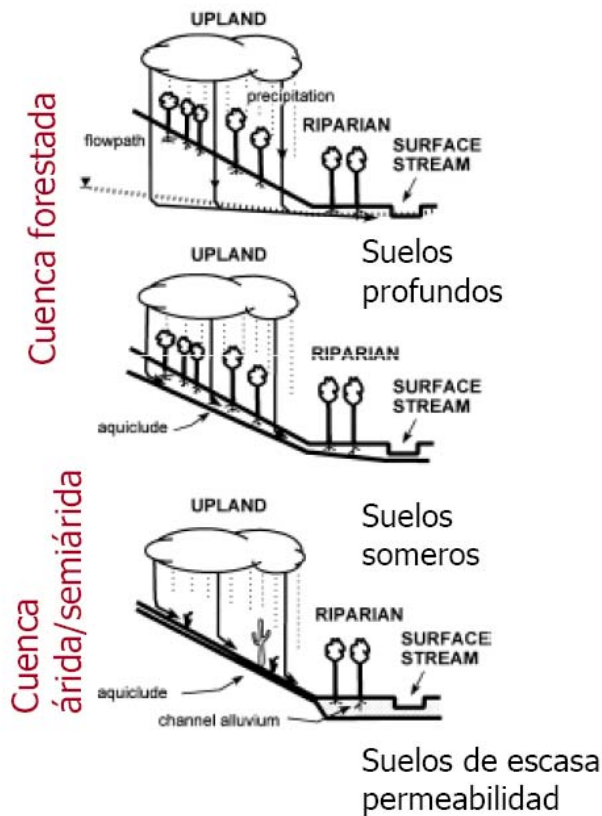
#### Factores bióticos

- **Asimilación por...**
  - organismos autótrofos
    - perifiton
    - macrofitos
  - Microbios
    - bacterias
    - hongos
- **Procesado por...**
  - Macro-heterótrofos (animales)
    - alimentación
    - residuos
    - excrección
    - emigración

# Diferencias biogeoquímicas

## Procesos biogeoquímicos en ríos

### el bosque de ribera y la cuenca de drenaje



Niveles de intercepción de la escorrentía superficial por el bosque de ribera

(Extraído de : Fisher et al.1998. Material spiraling in stream corridors: a telescoping ecosystem model. *Ecosystems* 1:19-34)

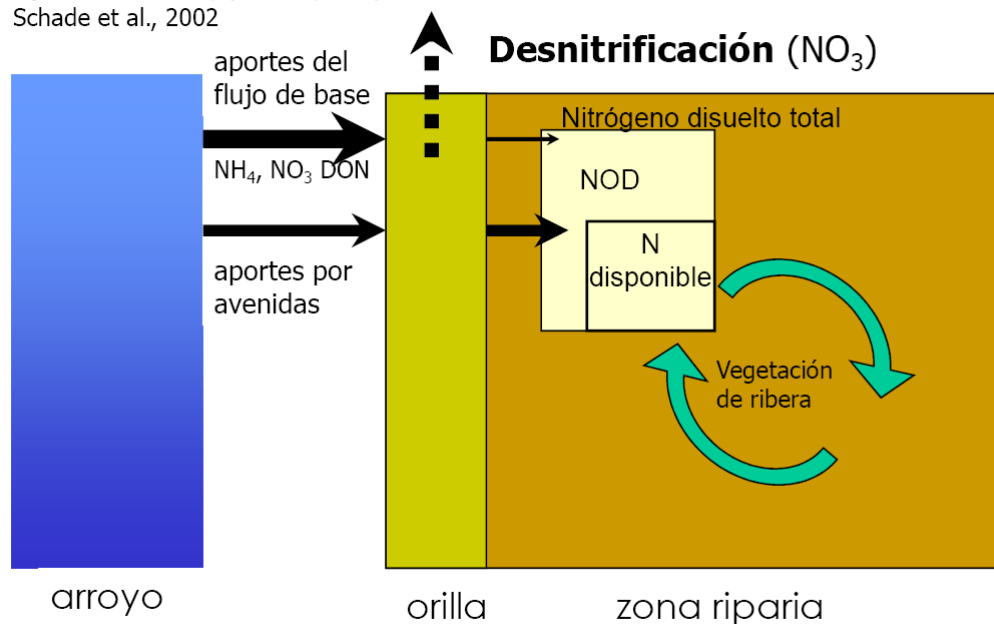
# Diferencias biogeoquímicas

## Procesos biogeoquímicos en ríos

### Modelo conceptual de la dinámica del N en la zona riparia

Sycamore Creek, (Arizona, USA)

Schade et al., 2002



- El N que transporta el río es desnitrificado en primeros metros de la orilla
- Sólo en los momentos de avenida, el N que transporta la inundación llega a la zona ribereña y es usado por la vegetación
- Las crecidas suponen un aporte adicional de nutrientes (N) al bosque de ribera

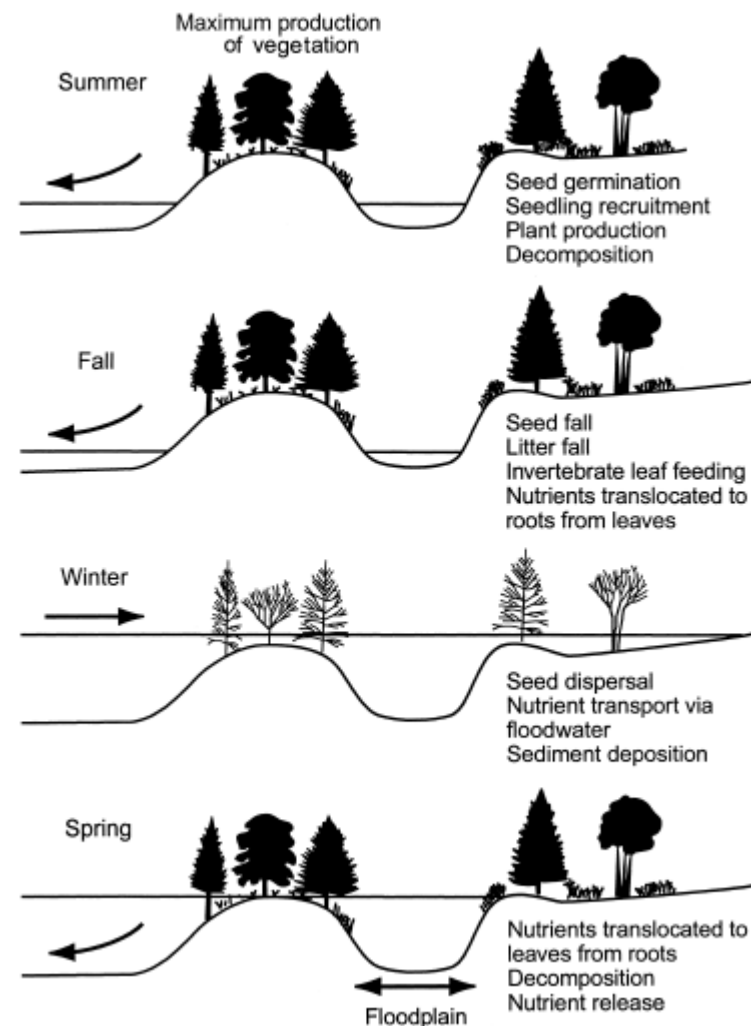


# Diferencias biogeoquímicas

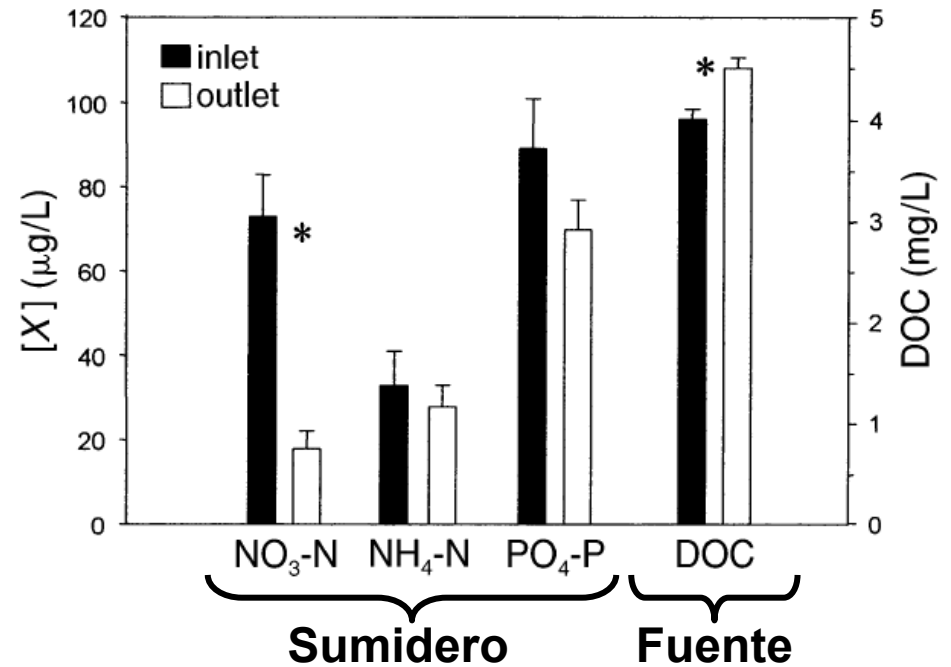
## Procesos biogeoquímicos en ríos: flujos bidireccionales

### Concepto de pulsos de inundación:

- ✓ Avenidas e inundaciones son fundamentales para el funcionamiento biogeoquímico de ríos y humedales
- ✓ Conforme se incrementa el grado de interacción entre el río y su llanura de inundación aumenta la productividad del ecosistema



# Flujos bidireccionales



Analyte	Retention (%)	Corrected* retention (%)
Water		
1994 (m <sup>3</sup> )	39	na
1995 (m <sup>3</sup> )	61	na
Materials		
TSS (Mg)	93	na
NH <sub>4</sub> -N (kg)	41	2
NO <sub>3</sub> -N (kg)	87	79
TIN (kg)	74	58
PO <sub>4</sub> -P (kg)	50	17
DOC (Mg)	31	-14

\*Considerando pérdidas a aguas subterráneas

**Pero cuidado:**  
**Balance por flujo subsuperficial entre llanura de inundación y aguas subterráneas (a través de zona hiporreica y no saturada) resulta difícil de establecer (Lamontagne et al. 2006)**

# Diferencias biogeoquímicas

## Procesos biogeoquímicos en lagos y humedales

### Lagos

### Humedales

<b>Fito+Perif+Macrófitos</b>	<b>PP</b>	<b>Macrófitos</b>
<b>Altos a muy altos</b>	<b>Tiempos retención</b>	<b>Altos</b>
<b>Estratificación</b>	<b>Hidrodinámica</b>	<b>↓↓ vel. flujo (emergentes)</b>
<b>Media, alta o muy alta</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Muy baja o baja</b>
<b>Baja</b>	<b>Variación del nivel*</b>	<b>Alta</b>
<b>Media-alta</b>	<b>Entrada alóctonos</b>	<b>Alta</b>
<b>En fondo y sedimentos</b>	<b>Anoxia</b>	<b>En sedimento</b>
<b>Alta</b>	<b>Reciclado de nutrientes</b>	<b>Muy Alta</b>
<b>Epilimnion/sedimento</b>	<b>Área activa biogeoquim</b>	<b>Sedimento</b>
<b>Nunca o casi nunca**</b>	<b>Exposición sedimento</b>	<b>Muy frecuente</b>

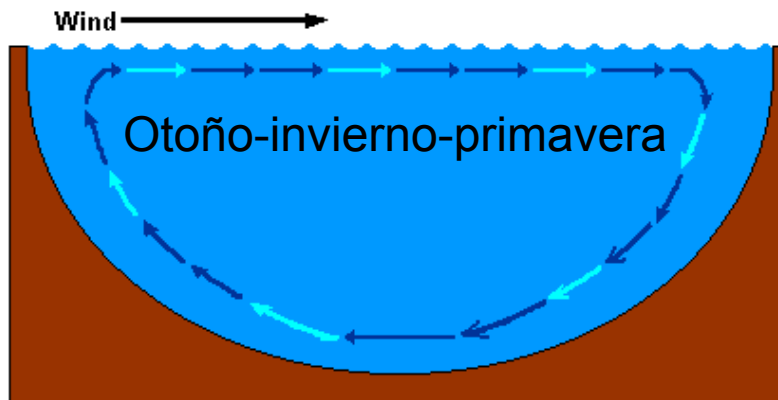
\*Considerando la profundidad total del sistema

\*\*Fracciones del litoral únicamente

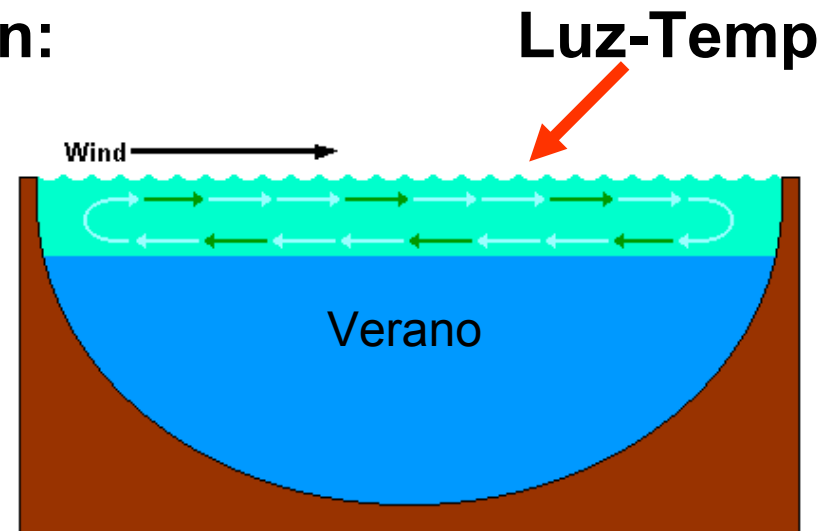
# Diferencias biogeoquímicas

## Procesos biogeoquímicos en lagos y humedales

Efectos de la estratificación:



**Figure 1** Complete mixing of water can occur when all water within the lake is generally the same temperature. Wind helps to drive this process.



**Figure 3** During summer density differences act as a barrier to complete mixing of the lake. This deprives the lake bottom of oxygen.

**Oxígeno  
Nutrientes**

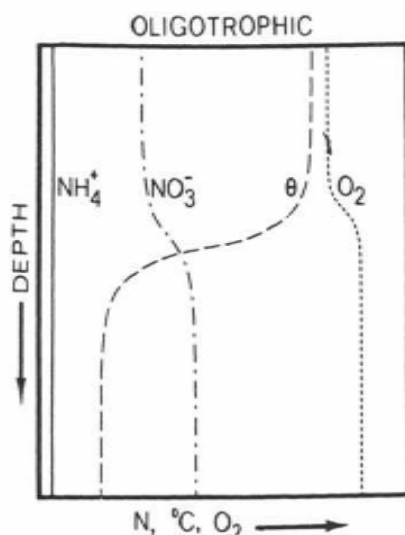
Agotamiento de nutrientes en epilimnion obliga a ↑↑ tasas de reciclado por procesos internos para mantener productividad

# Diferencias biogeoquímicas

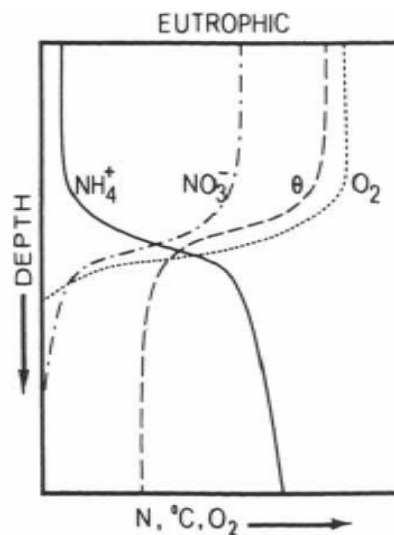
## Procesos biogeoquímicos en lagos y humedales

### Productividad y nutrientes en lagos

#### Nitrógeno

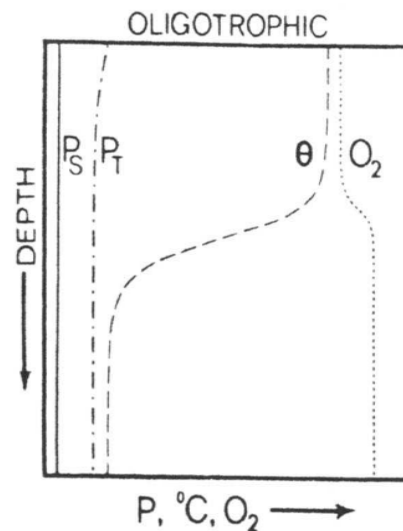


Nitrificación

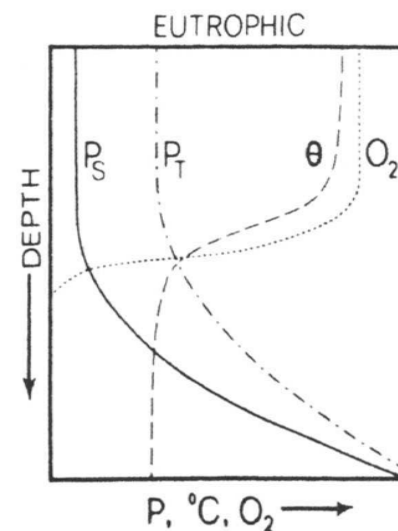


Desnitrificación  
DRNA?

#### Fósforo



Altas tasas de  
reciclado de  $P_S$



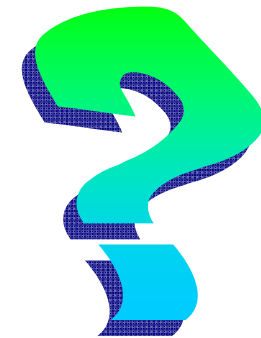
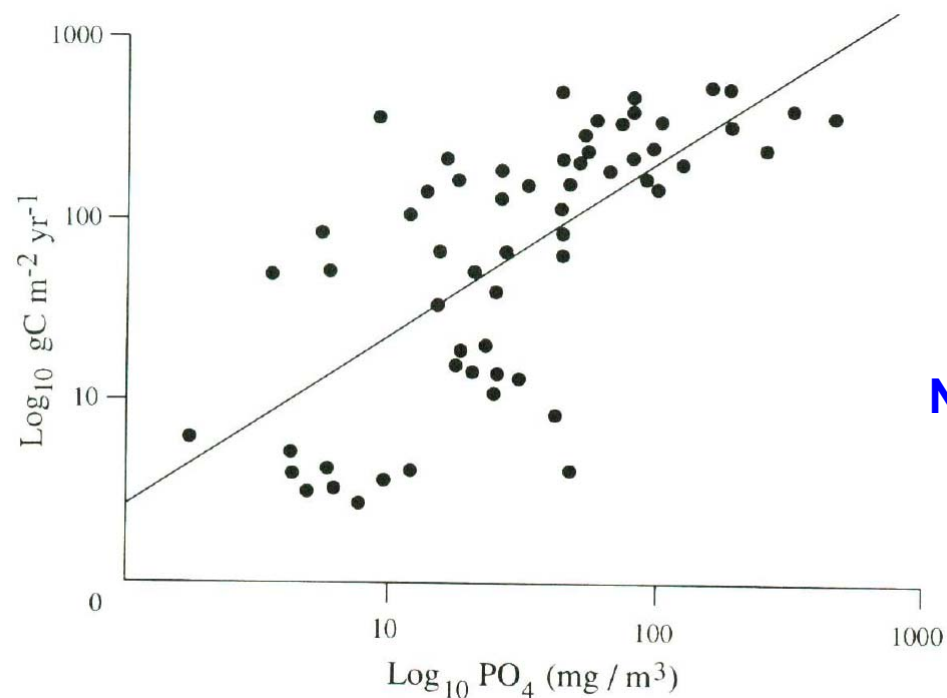
Liberación de  $P_S$   
desde sedimento

# Diferencias biogeoquímicas

## Procesos biogeoquímicos en lagos y humedales

Limitación de la productividad en lagos (fitoplancton): P (N)

$$\text{NPP} = 50\text{-}500 \text{ g C m}^{-2} \text{ y}^{-1}$$

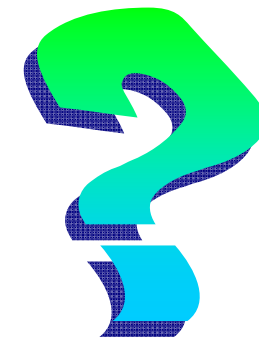
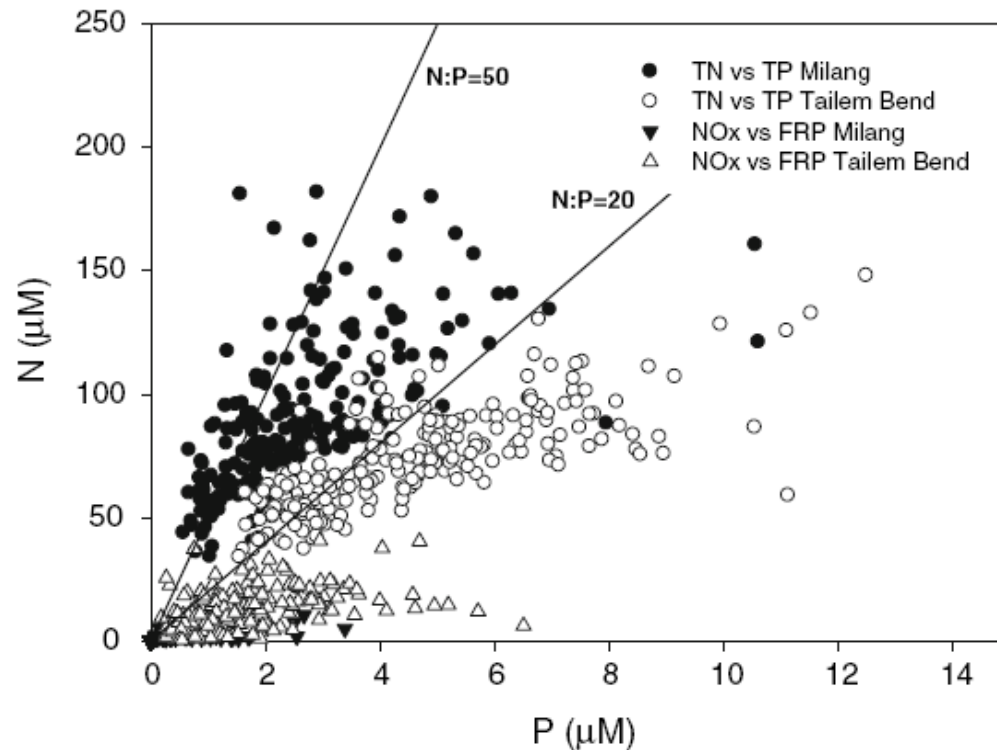


**N-limitante en lagos  
semiáridos???**

**Figure 7.10** Relationship between net primary production and the phosphorus concentration of lakes of the world. From Schindler (1978).

# Diferencias biogeoquímicas

## Procesos biogeoquímicos en lagos y humedales



**N-limitante en lagos semiáridos???**

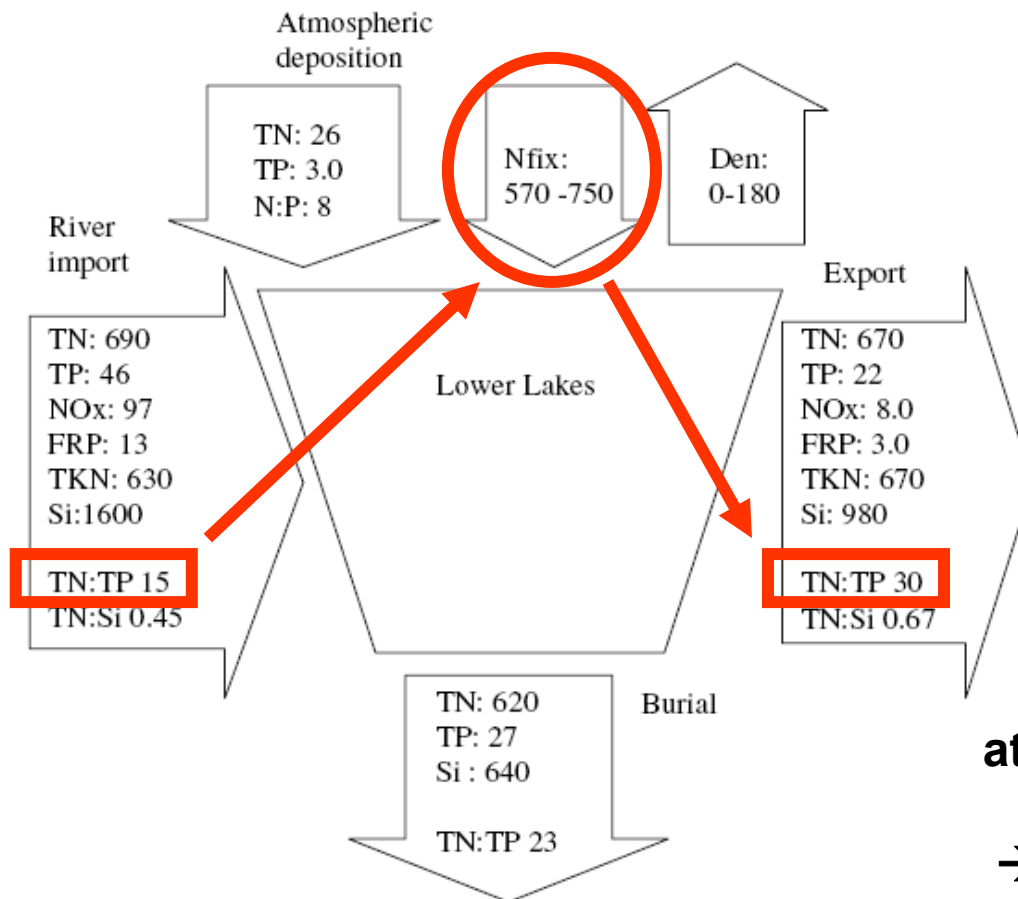
**Fig. 4** Plots of  $\text{NO}_x$  versus FRP (filterable reactive phosphorus) and TN (total nitrogen) versus TP (total phosphorus) for Tailem Bend on the River Murray and Milang on the Lower Lakes. Solid lines denote N:P ratios of 20 and 50 which denote the ratios below and above which N and P limitation are expected to occur respectively (Guildford and Hecky 2000)



(Cook et al. (2010): Biogeochemistry 99:49–63)

# Diferencias biogeoquímicas

## Procesos biogeoquímicos en lagos y humedales



**Fig. 6** An approximate budget for N and P in the Lower Lakes spanning the years 1979–1996. Quantities shown are the average annual rate normalised to the surface area of the lake over the 17 year study period with units in  $\text{mmol m}^{-2} \text{ year}^{-1}$ . TN denotes total nitrogen, TP denotes total phosphorus, FRP denotes filterable reactive phosphorus, TKN denotes total Kjeldahl nitrogen, Den denotes denitrification and Nfix denotes nitrogen fixation. Please refer to discussion section ‘nitrogen’ for details of how nitrogen fixation and denitrification were estimated

**En clima semiárido mayor dependencia de las fuentes de N atmosféricas que en clima templado y mayores tasas de desnitrificación → ¿esto puede explicar N-limitación?**



# Diferencias biogeoquímicas

## Procesos biogeoquímicos en lagos y humedales

### Productividad en humedales

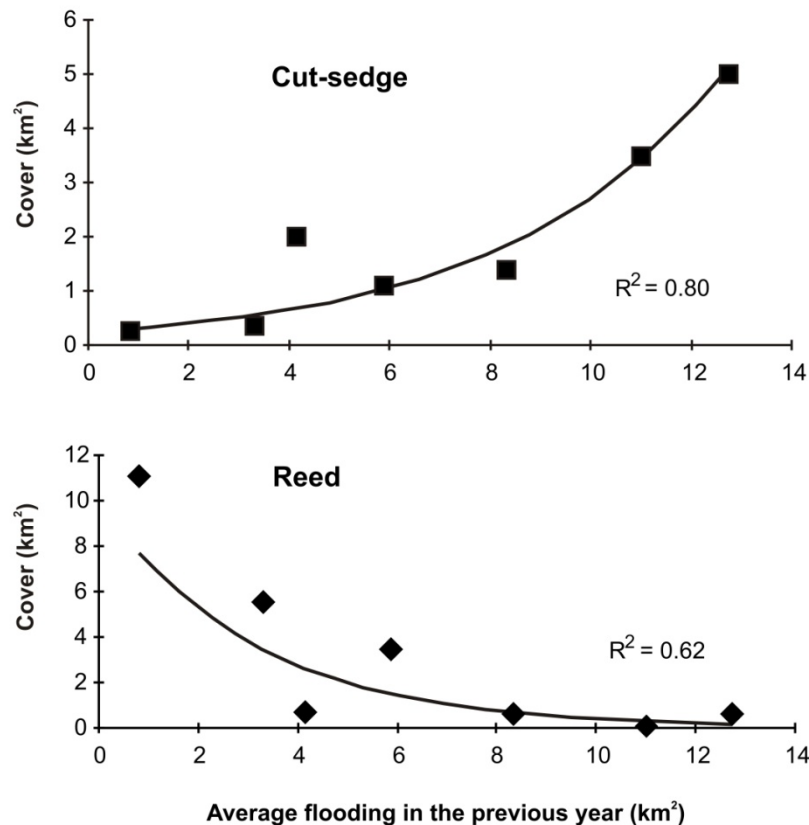
Producción fitoplancton=  $200-500 \text{ g C m}^{-2} \text{ y}^{-1}$   
Producción macrófitos=  $1000-3000 \text{ g C m}^{-2} \text{ y}^{-1}$

**Comparativamente más importante la producción de macrófitos, que determinan el funcionamiento biogeoquímico del ecosistema**

# Diferencias biogeoquímicas

## Procesos biogeoquímicos en lagos y humedales

### Productividad en humedales: limitantes de macrófitos (I)

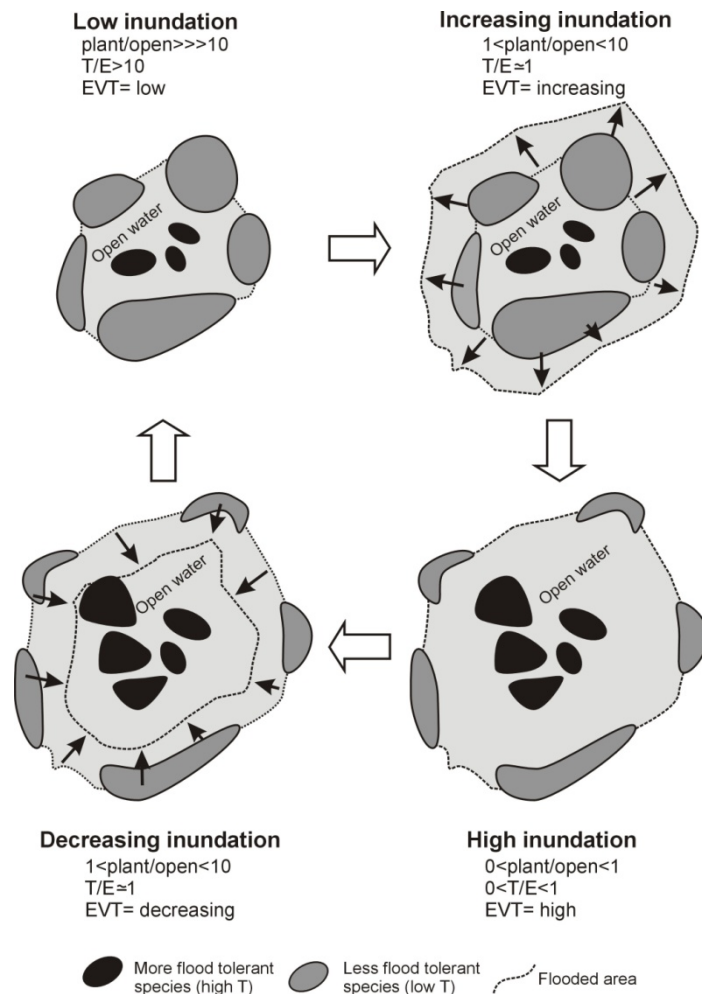


El primer limitante es la **hidrología**:  
Dependencia de las condiciones  
hidrológicas previas (desfase)

# Diferencias biogeoquímicas

## Procesos biogeoquímicos en lagos y humedales

### Productividad en humedales: limitantes de macrófitos (II)



El segundo es la **tolerancia a la inundación** de las diferentes especies de macrófitos y su **competencia**

# Diferencias biogeoquímicas

## Procesos biogeoquímicos en lagos y humedales

### Productividad en humedales: limitantes de macrófitos (III)

Mean N:P:K ratios for *M. spicatum* shoots offshore of point and diffuse sources of runoff and for all sites combined at six times during the 1975 growing season

Date (1975)	Point source N: P: K	Diffuse source N: P: K	All sites N: P: K
1 May	6.7: 1.0: 4.9	9.3: 1.0: 9.1	7.3: 1.0: 5.9
4 June	10: 1.0: 7.9	10: 1.0: 11	10: 1.0: 9.3
30 June	4.9: 1.0: 4.4	15: 1.0: 14	6.4: 1.0: 6.5
30 July	6.9: 1.0: 7.1	19: 1.0: 19	8.7: 1.0: 9.4
26 August	3.8: 1.0: 3.4	5.6: 1.0: 5.1	4.1: 1.0: 3.7
23 September	10: 1.0: 13	12: 1.0: 19	11: 1.0: 14

El tercero es el **nutriente limitante (N o P)**

# Diferencias biogeoquímicas

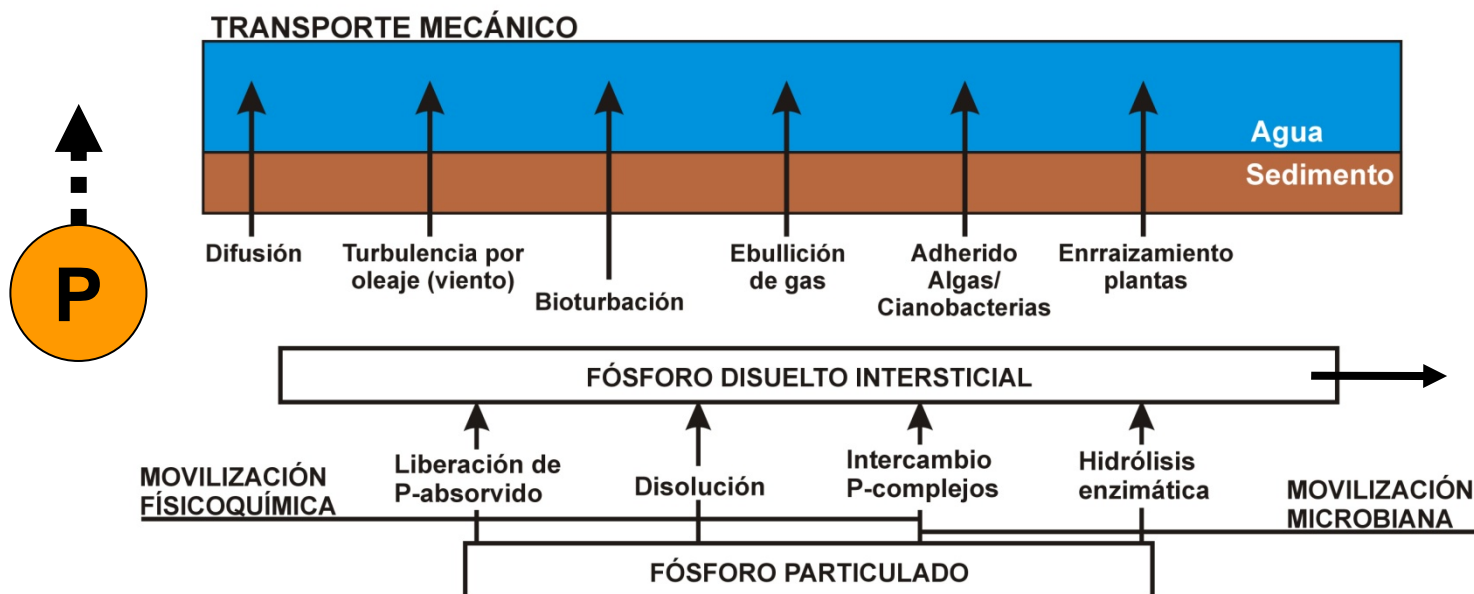
## Procesos biogeoquímicos en lagos y humedales

- Los tiempos de retención del agua altos en lagos y humedales contribuyen a una mayor tasa de transformación de los nutrientes.
- Las condiciones anaerobias de la interfase agua-sedimento y del sedimento permiten la gasificación de C y N ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2$ , NO y  $\text{N}_2\text{O}$ ) y la liberación de P (como  $\text{PO}_4^{3-}$ ).

# Diferencias biogeoquímicas

## Procesos biogeoquímicos en lagos y humedales

### El caso de la movilidad del fósforo



**Nota curiosa:** recientemente se ha citado que si aumenta la desnitrificación (oxidación de MO por  $\text{NO}_3^-$ )  $\downarrow$  liberación P desde el sedimento. Si esto es un criterio generalizado está por comprobar.

# Diferencias biogeoquímicas

## Procesos biogeoquímicos en lagos y humedales

### Capacidad de sorción de P en lagos y humedales

- **En condiciones oxigenadas** el equilibrio de intercambio de P es unidireccional hacia los sedimentos
- Ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) es oxidado a férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ ) y éste forma  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  ó  $\text{FePO}_4$  si el fosfato está presente. Ambos son relativamente insolubles y precipitan en el sedimento.
- Además el  $\text{PO}_4^{3-}$  también es adsorbido en  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  coloidal
  
- **En condiciones reductoras, durante la estratificación:**
  - En la interfase agua-sedimento, el férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ ) es reducido a ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ), que es más soluble, liberando  $\text{PO}_4^{3-}$ .
  - El hipolimnion actúa como una trampa de ( $\text{Fe}^{2+}$ ), que no difunde hacia la superficie.
- **Cuando hay mezcla y vuelven las condiciones oxidantes:**
  - El  $\text{PO}_4^{3-}$  es mezclado en la columna de agua y rápidamente asimilado por las algas (bloom algal)
  - $\text{PO}_4^{3-}$  rápidamente forma  $\text{FePO}_4$  o se adsorbe al  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ .

# Diferencias biogeoquímicas

## Procesos biogeoquímicos en lagos y humedales

Reciclado y asimilación de P en lagos y humedales

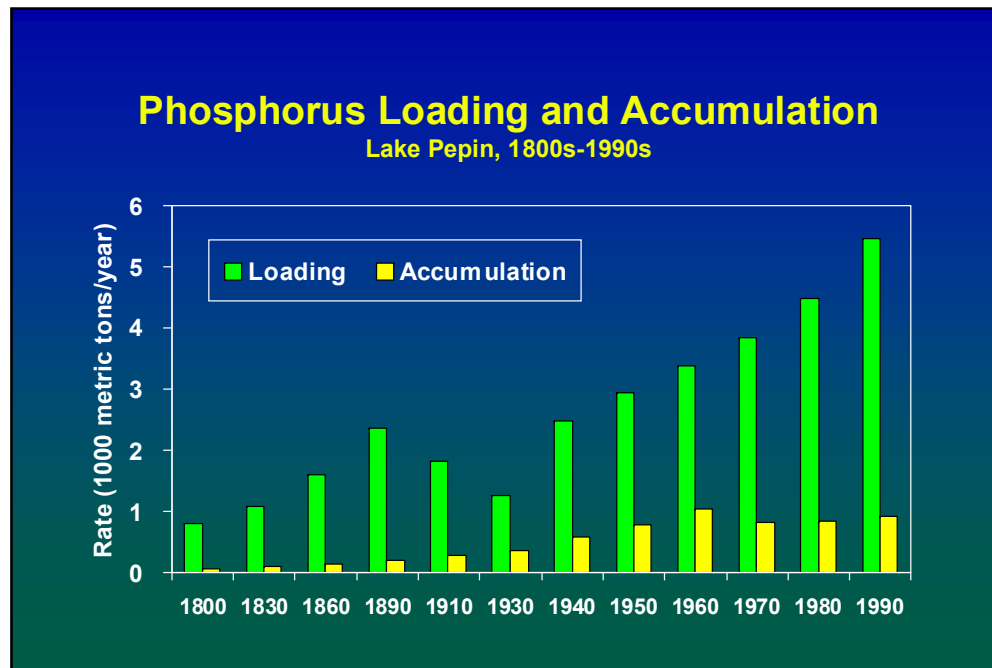
- P es excretado por peces y zooplancton (también el fitoplancton). Ese P es ~50%  $\text{PO}_4^{3-}$  y ~50% orgánico
- En algunos casos, la excreción del zooplancton puede suplir la demanda diaria del fitoplancton
- Si hay exceso de P este será retenido en el sedimento (depende de las existencias de  $\text{Fe}^{3+}$ ) o exportado a las aguas superficiales.
- Si hay defecto de P, el fitoplancton dependerá de la cinética del  $\text{Fe}^{3+}$  en relación a los cambios de OD
- Los macrófitos absorben  $\text{PO}_4^{3-}$  a través de las hojas (cuando la concentración en el agua es alta) o, generalmente, desde el agua intersticial por las raíces
- Los macrófitos pierden fósforo por excreción directa o al descomponerse



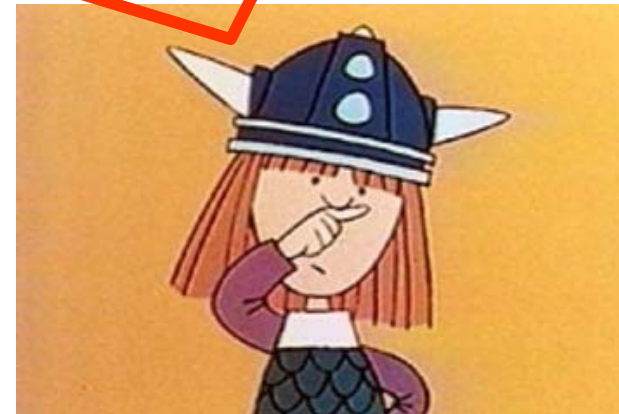
# Diferencias biogeoquímicas

## Procesos biogeoquímicos en lagos y humedales

### La carga interna de P y el metabolismo de los ecosistemas



Aumenta la carga de P y aumenta la acumulación. Pero aunque se mantenga la acumulación a esas tasas ¡¡sigue elevándose la carga!!



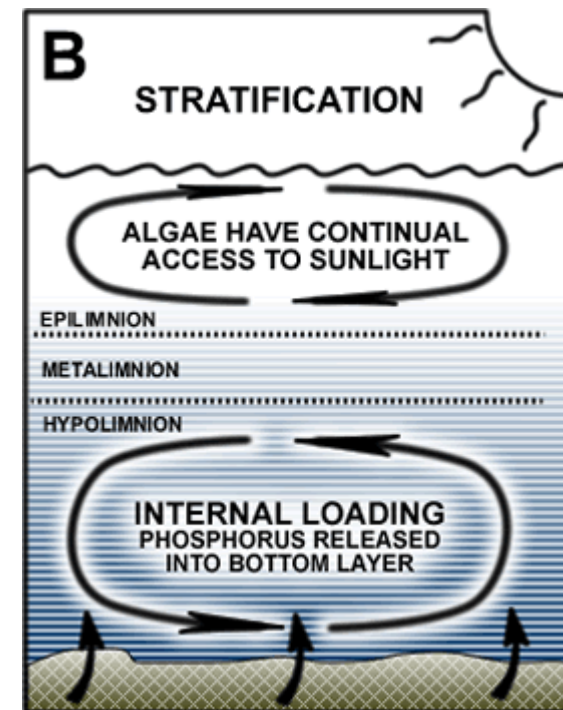
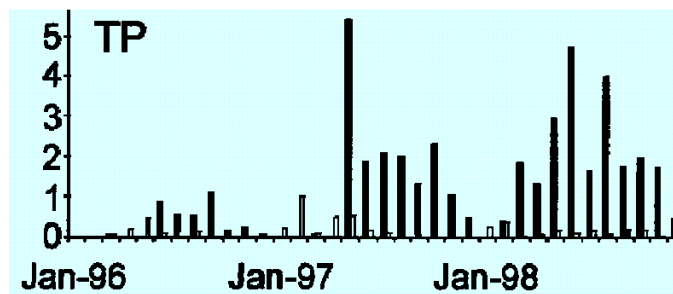
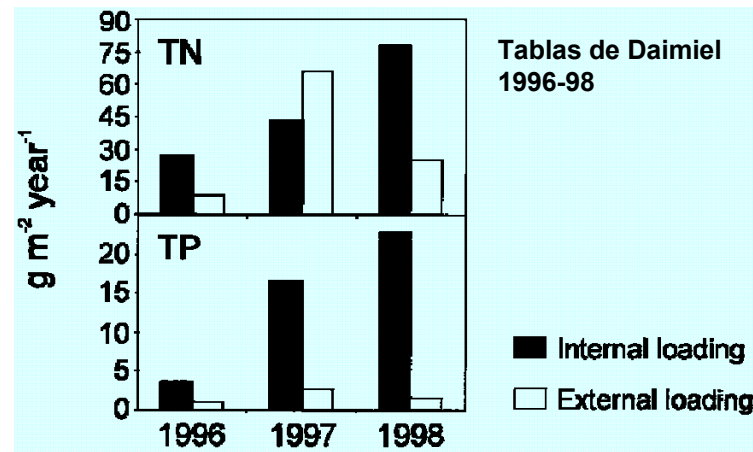
# Diferencias biogeoquímicas

## Procesos biogeoquímicos en lagos y humedales

### La carga interna de P y el metabolismo de los ecosistemas

↑ carga de P → ↑ sedimentación → ↑ carga interna

Claro, ¡ijijiji...  
ya lo tengo:  
¡la carga  
interna!



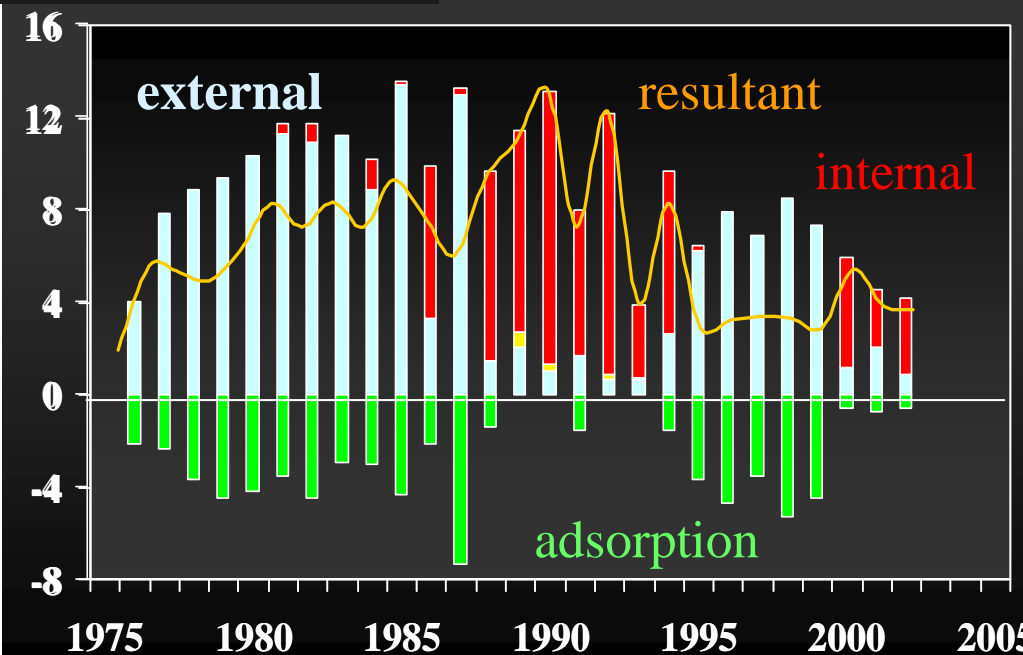
# Diferencias biogeoquímicas

## Procesos biogeoquímicos en lagos y humedales

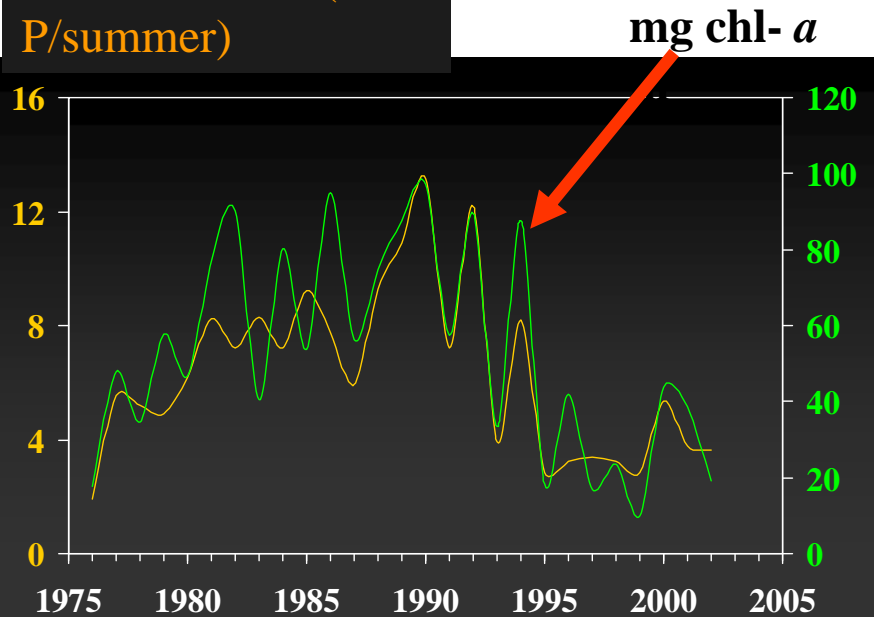
### La carga interna de P y el metabolismo de los ecosistemas

Efectos: puede proporcionar más P al fitoplancton en verano que la externa

tons P (summer)<sup>-1</sup>



Resultant load (tons P/summer)

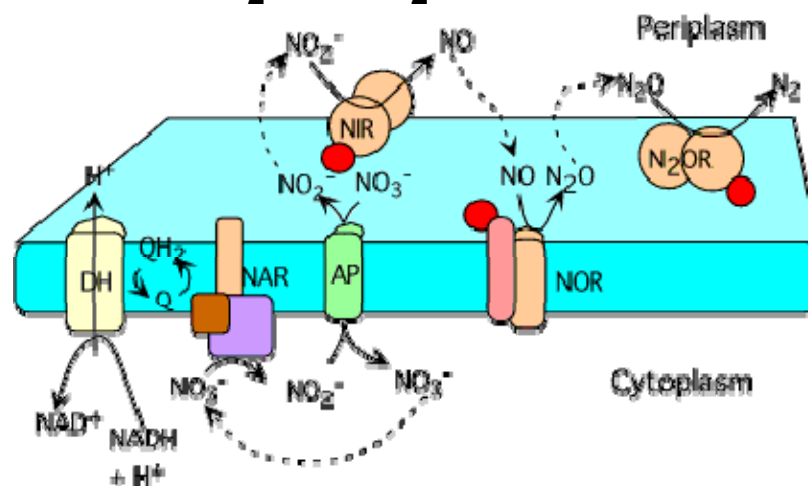


Summer = July to September

# Diferencias biogeoquímicas

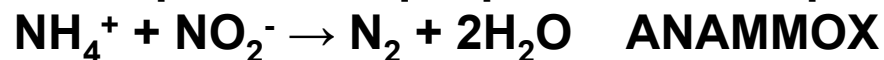
## Procesos biogeoquímicos en lagos y humedales

La desnitrificación, la principal vía de eliminación del N hacia la atmósfera, es realizada eficientemente en lagos y humedales



Desnitrificación en la membrana. NADH dehydrogenase complex (DH), nitrate reductase (NAR), nitrite reductase (NIR), NO reductase (NOR), and N<sub>2</sub>O reductase (N<sub>2</sub>OR)

Otros procesos que pueden ser importantes:



# Diferencias biogeoquímicas

## Procesos biogeoquímicos en lagos y humedales

La desnitrificación, la principal vía de eliminación del N hacia la atmósfera, es realizada eficientemente en lagos y humedales

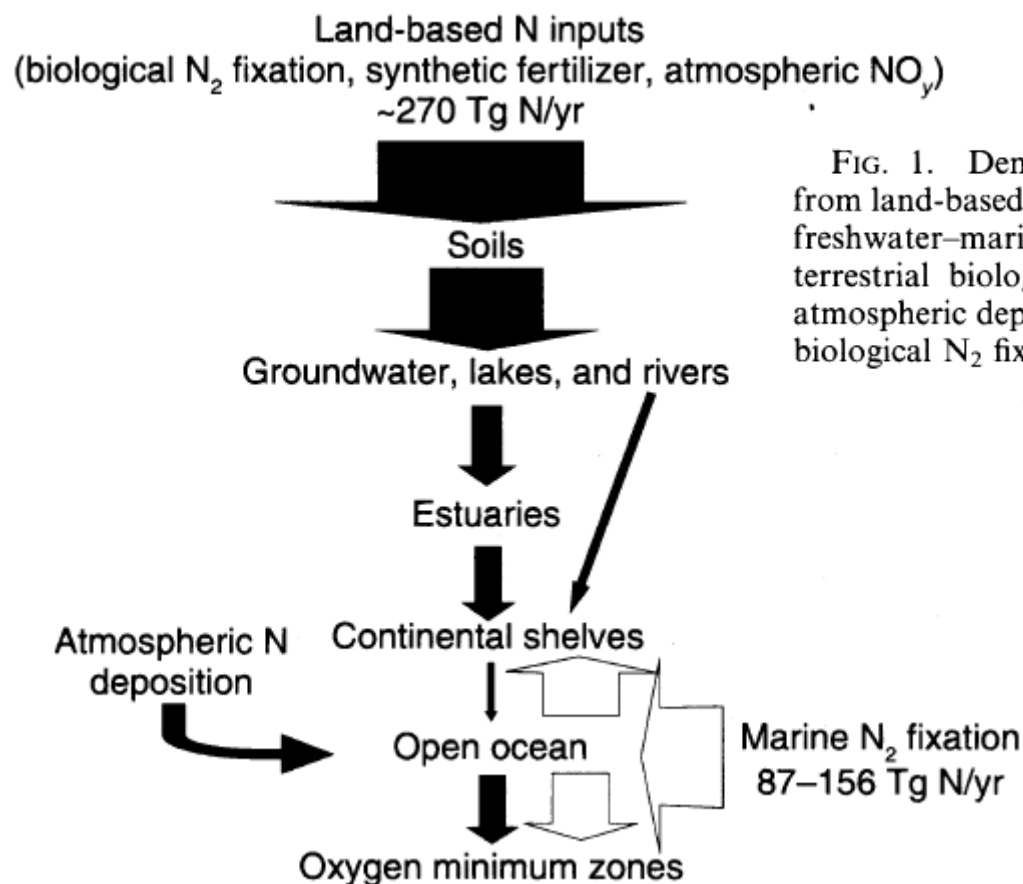


FIG. 1. Denitrification decreases N transfers originating from land-based and marine sources throughout the terrestrial–freshwater–marine continuum. Land-based sources include terrestrial biological N<sub>2</sub> fixation, synthetic N fertilizer, and atmospheric deposition of NO<sub>y</sub>; the dominant marine source is biological N<sub>2</sub> fixation occurring in the marine environment.

\*(en suelo se incluye humedales)

# Diferencias biogeoquímicas

## Procesos biogeoquímicos en lagos y humedales

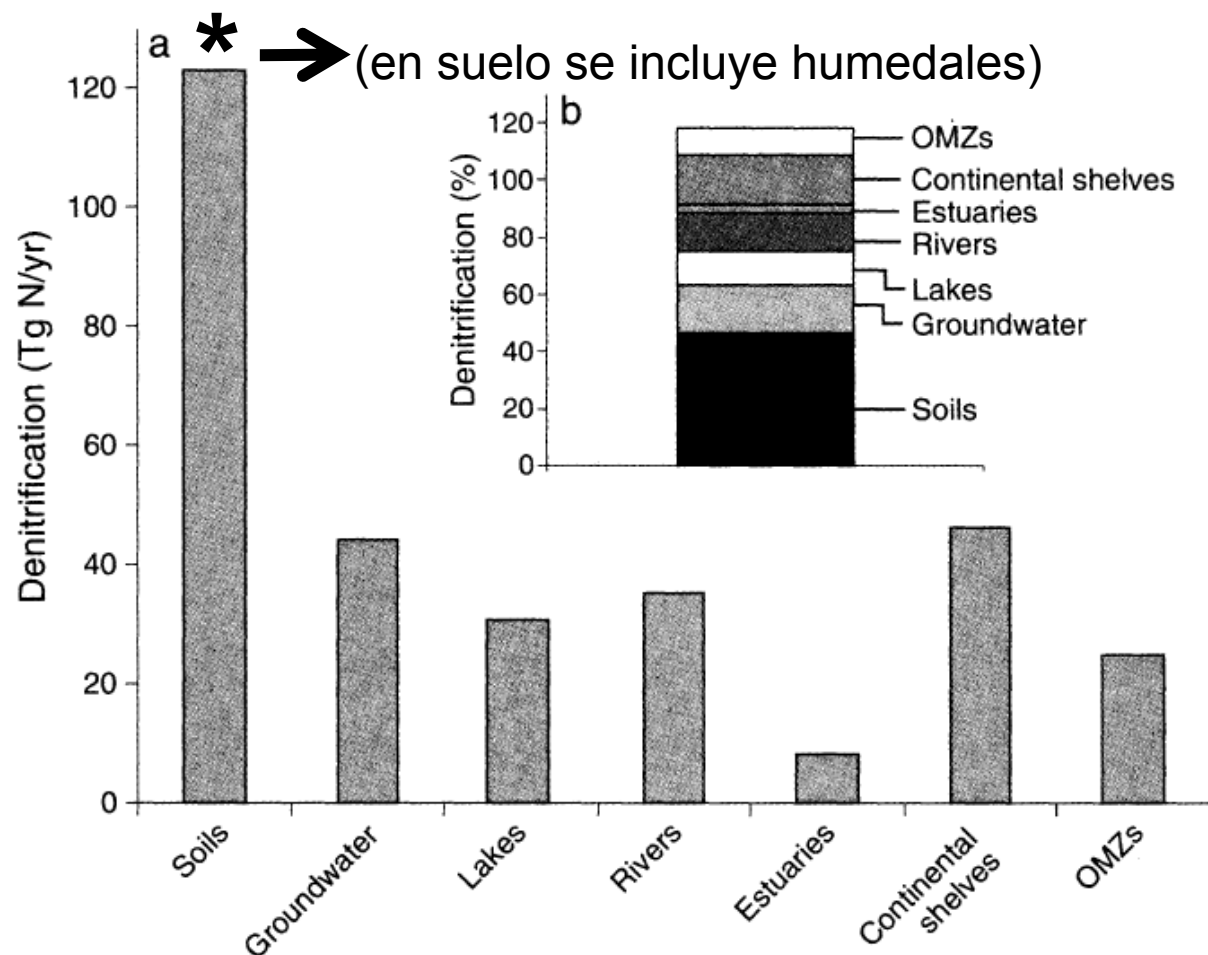


FIG. 7. Denitrification of land-based N sources in terrestrial, freshwater, and marine ecosystems globally in terms of (a) Tg N/yr denitrified and (b) percentage of land-based N sources (270 Tg N/yr) denitrified for each system. OMZs are oxygen minimum zones in the ocean.

(Seitzinger et al. (2006): Ecological Applications, 16: 2064-2090)

# Diferencias biogeoquímicas

## Procesos biogeoquímicos en lagos y humedales

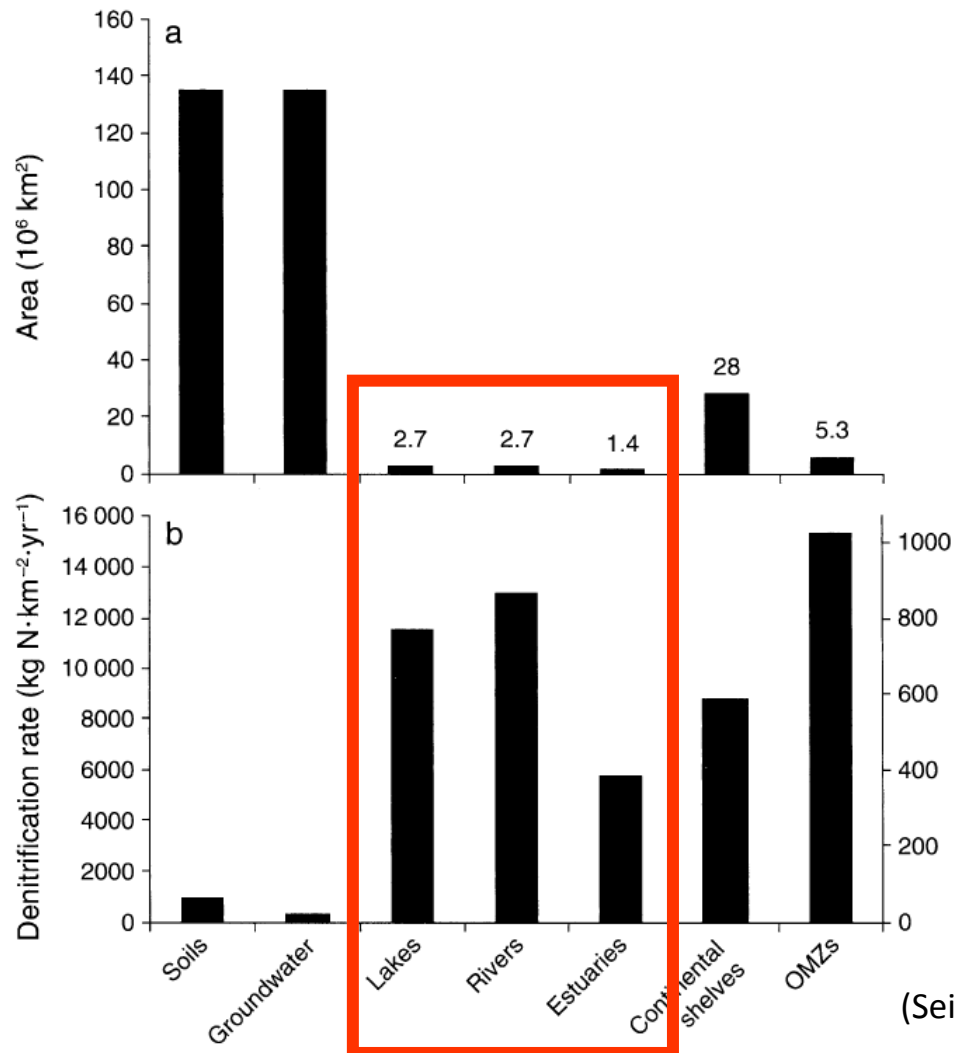


TABLE 1. Denitrification of land-based N sources based on spatially distributed estimates.

System	Denitrification (Tg N/yr)
<b>Terrestrial</b>	
Soils	124 (65–175) <sup>†</sup>
<b>Freshwater</b>	
Groundwater	44 (>0–138) <sup>‡</sup>
Lakes and reservoirs	31 (19–43)
Rivers	35 (20–35)
Subtotal	110 (39–216)
<b>Marine</b>	
Estuaries	8 (3–10)
Continental shelves	46 (>0–70) <sup>§</sup>
Oxygen minimum zones	25 (>0–30?) <sup>¶</sup>
Subtotal	79 (3–145)

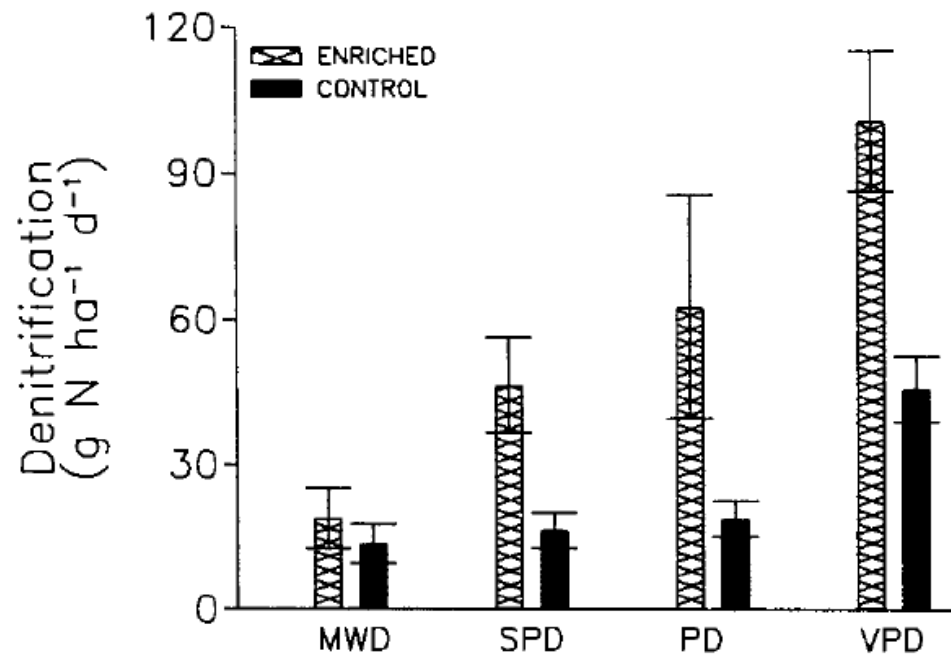
(Seitzinger et al. (2006): Ecological Applications, 16: 2064-2090)

FIG. 11. (a) Surface area by system type and (b) average per-area denitrification rate for each system at the global scale.

# Diferencias biogeoquímicas

## Procesos biogeoquímicos en lagos y humedales

La desnitrificación, la principal vía de eliminación del N hacia la atmósfera, es realizada eficientemente en lagos y humedales



y se incrementa con potenciales redox muy negativos y con el enriquecimiento de nutrientes

**Fig. 2. Mean denitrification rates over 15 sampling dates between March 1991 and March 1992 in four soil types in enriched and control sites. Values are mean (standard error).**

MWD = moderately well drained, SPD = somewhat poorly drained, PD = poorly drained, VPD = very poorly drained.

(Hanson et al. (1994): J. Environ. Qual. 23 :917-922)



# Diferencias biogeoquímicas

## Procesos biogeoquímicos en lagos y humedales

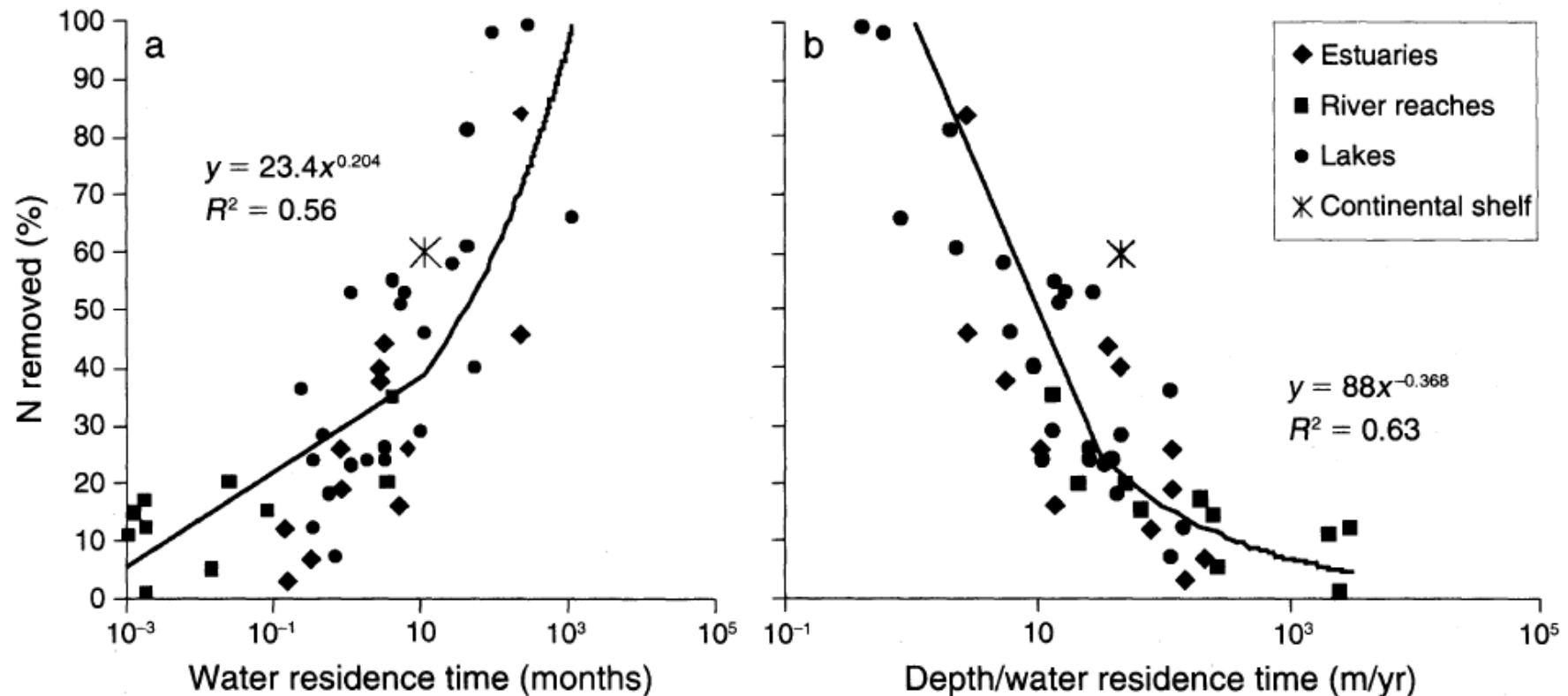


FIG. 5. Relationship between the percentage of N removed and (a) water residence time (mo) or (b) depth/water residence time (m/yr) for lakes, river reaches, estuaries, and continental shelves. Data sources: lakes, Ayers (1970) [cited by Schelske (1975)], Kaushik and Robinson (1976), Andersen (1977), Calderoni et al. (1978), Robinson et al. (1979), Kelley et al. (1987), Dillon and Molot (1990), Garnier et al. (1999); rivers, Hill (1979, 1981, 1983), Cooper and Cooke (1984), Cooke and White (1987), Christensen and Sorensen (1988), Seitzinger (1988), Christensen et al. (1990), Seitzinger (1991), Burns (1998); estuaries, Nixon et al. (1996); continental shelf, Fennel et al. 2006.

# Diferencias biogeoquímicas

## Fuentes de nutrientes

**Table 7.5** Sources of Nitrogen and Phosphorus  
as Percentages of the Total Annual Input to  
Lake Ecosystems<sup>a</sup>

	Precipitation		Runoff	
	N	P	N	P
Oligotrophic lakes	56	50	44	50
Eutrophic lakes	12	7	88	93

<sup>a</sup> From Likens (1975a).

# Diferencias biogeoquímicas

## Fuentes de nutrientes

**Table 7.4** Input–Output Balance (tons/yr) for Cayuga Lake, New York, 1970–1971, and Rawson Lake, Ontario, 1970–1973<sup>a</sup>

Element	Precipitation input	Runoff input	Total input	Discharge output	Percent retained
Cayuga Lake					
Phosphorus	3	167	170	61	64
Nitrogen	179	2,565	2,744	513	81
Potassium	19	3,480	3,499	3,969	-12
Sulfur	313	24,671	24,984	31,983	-22
Rawson Lake					
Phosphorus	0.018	0.017	0.035	0.010	71
Nitrogen	0.339	0.346	0.686	0.275	-60
Carbon	2.435	19.005	21.440	10.074	53
Potassium	0.059	0.442	0.501	0.434	13
Sulfur	0.055	0.362	0.416	0.331	20

<sup>a</sup> From Likens (1975a).

# Diferencias biogeoquímicas

## Fuentes de nutrientes

### Importancia de subsidios terrestres en ecosistemas acuáticos

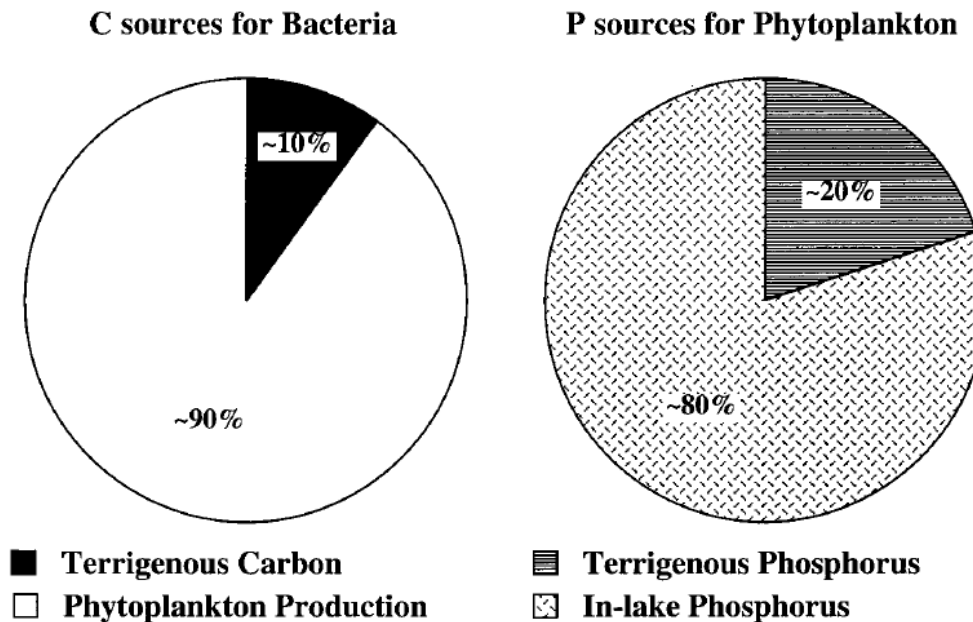
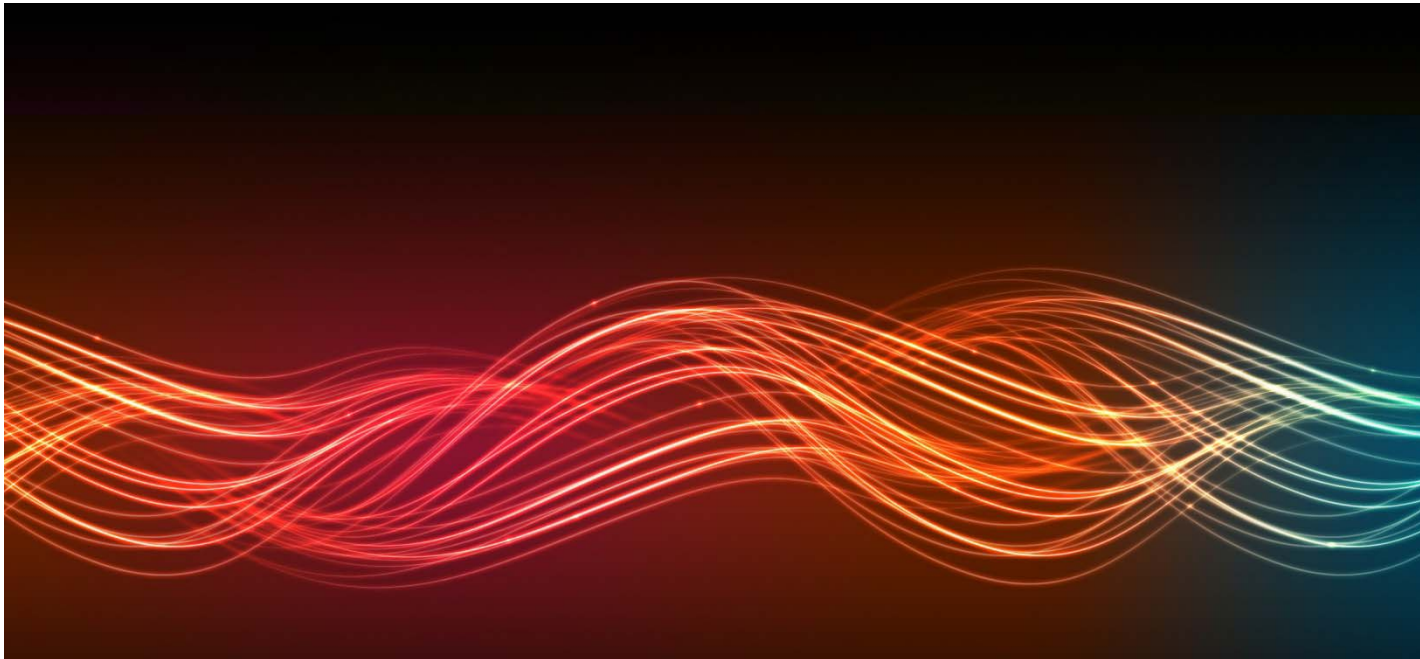
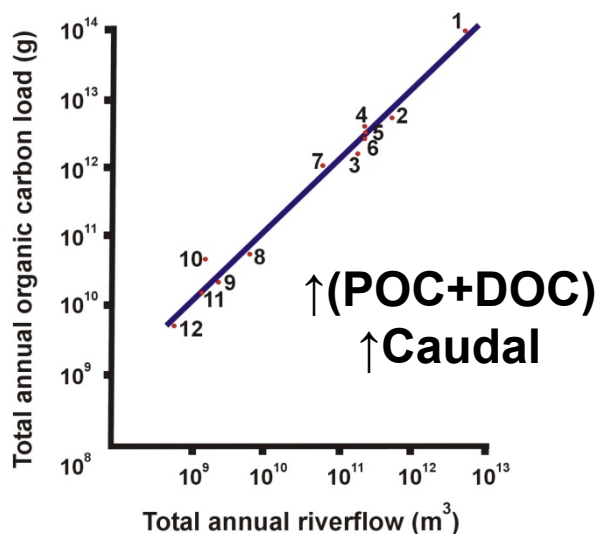


Figure 4. Conceptual diagram of the proportions of annual bacterial metabolism and phytoplankton production that are supported by in-lake primary production and terrigenous inputs in the euphotic zone of southern Lake Michigan.

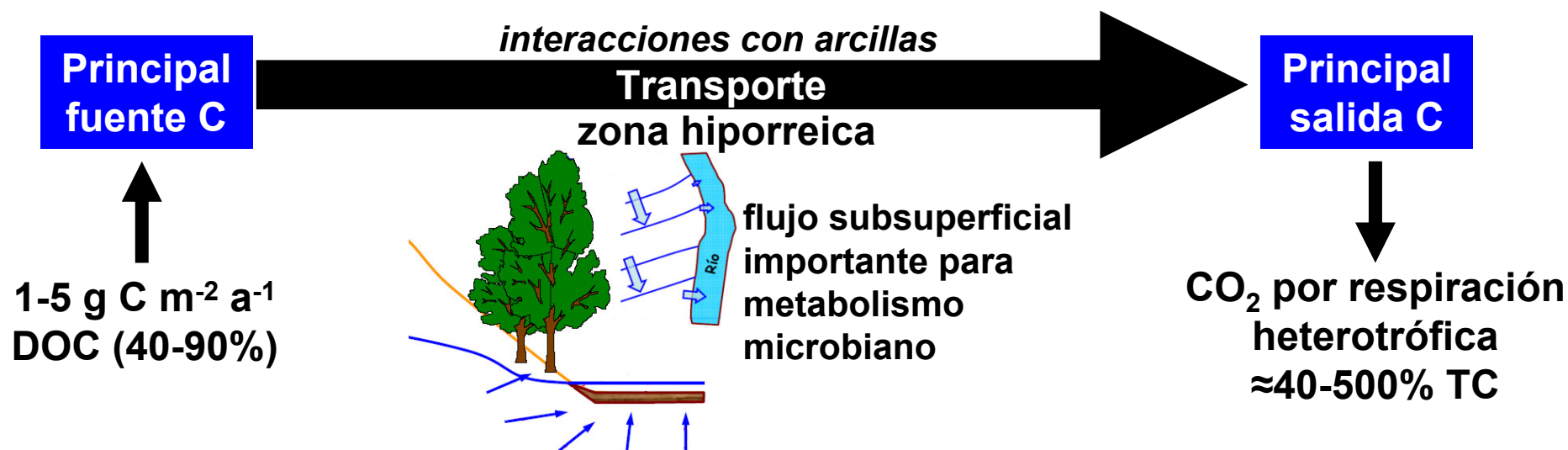


**Flujos biogeoquímicos de  
carbono, nitrógeno y fósforo  
en sistemas acuáticos**

# Flujos biogeoquímicos: C en ríos

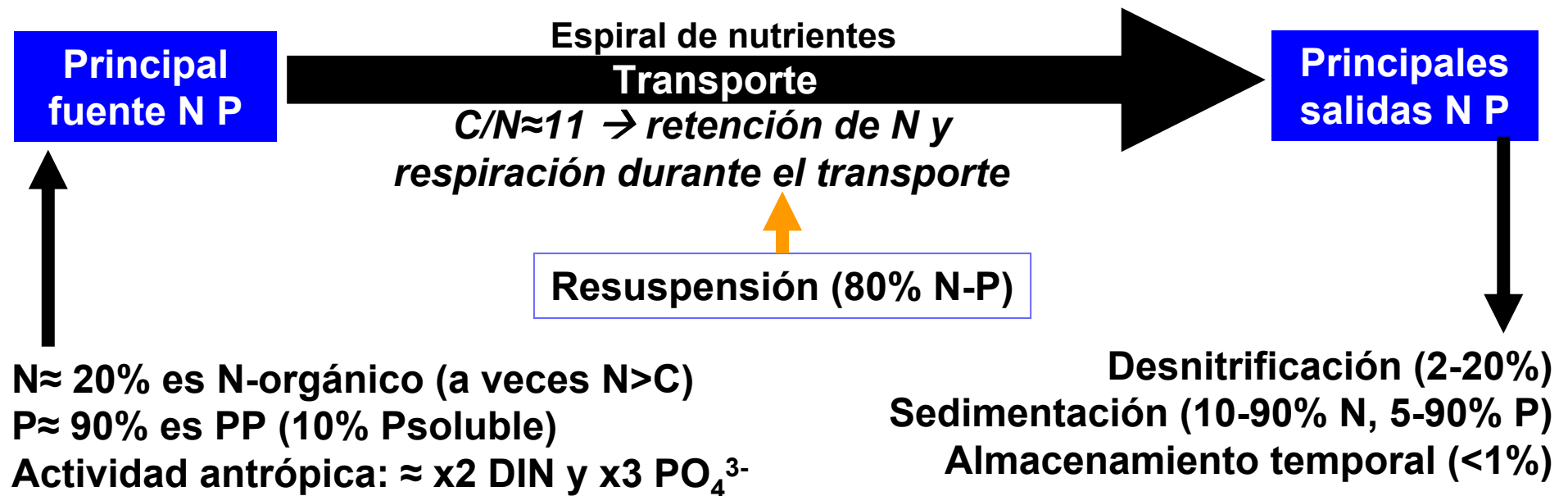


(60% TOC<sub>in</sub> es POC alóctono)



Martin-Mousset et al. (1997): *Water Research*, 31: 541-553; Semkin et al. (1994): *Biogeochemistry of Small Catchments: a tool for Environmental Research*. pp. 163-187; Meyer (1994): *Microbial Ecology*, 28: 195-199; Mann y Wetzel (1995): *Biogeochemistry*, 31: 99-120; Worrall et al. (2006): *Journal of Hydrology*: 321: 311-325; Tardy et al. (2005): *Applied Geochemistry*, 20: 1746-1829. Warnken y Santschi (2004): *Science of Total Environment*, 329: 131-144; Mayorga et al. (2005): *Nature*, 436: 538-541. Sophocleous (2002): *Hydrogeology Journal*, 10: 52-67.

# Flujos biogeoquímicos: N y P en ríos



Seitzinger et al. (2002): *Biogeochemistry*, 57/58: 199–237; Kronvang et al. (1999): *Aquatic Ecology*, 33: 29–40; Venhor et al. (2005): *Water Science and Technology*, 51: 19–29. Newbold et al. (1982): *American Naturalist*, 120: 628–652; Newbold et al. (1983): *Ecology*, 64: 1249–1265.

# Flujos biogeoquímicos: N y P en ríos

## EL FLUJO DE NUTRIENTES EN CUENCAS SEMIÁRIDAS es MUY VARIABLE

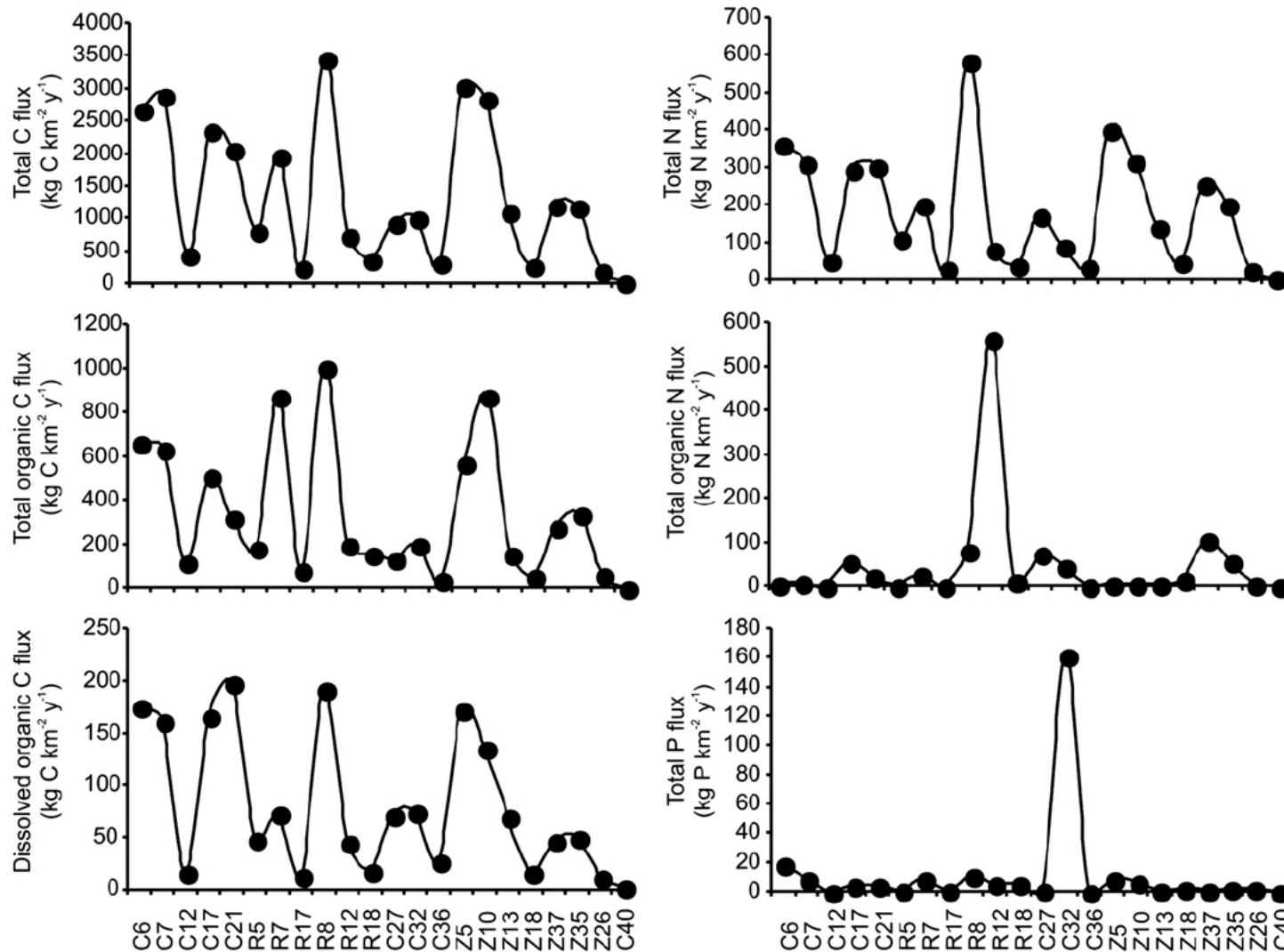
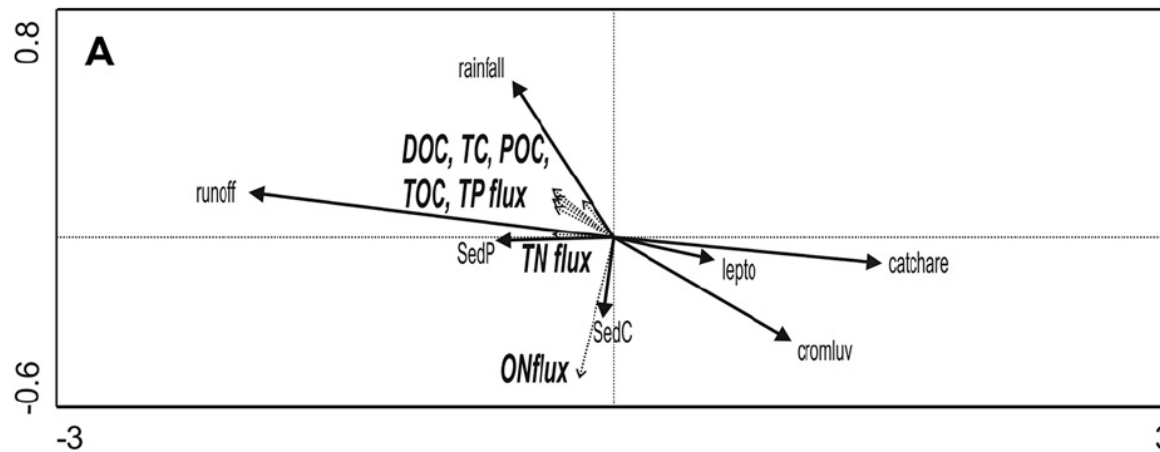
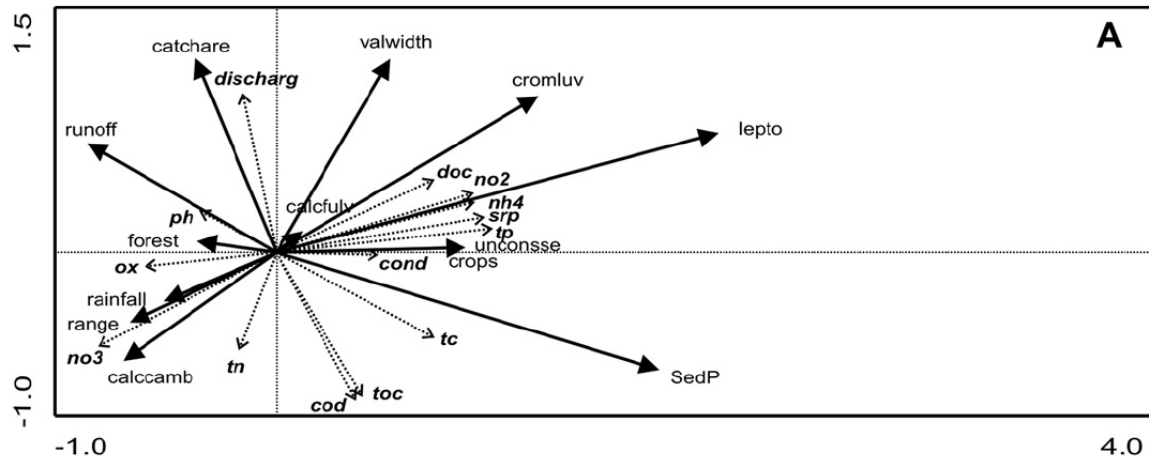


Fig. 5. Annual nutrient fluxes in the Gígüela subbasin during the study period. Sampling stations are arranged in the upstream-downstream gradient from left to the right.



# Flujos biogeoquímicos: N y P en ríos

## FLUJO DE NUTRIENTES EN CUENCAS SEMIÁRIDAS



La concentración de nutrientes (arriba) y el flujo (abajo) en ríos semiáridos responden a variables hidrológicas (lluvia, escorrentía, tamaño de la cuenca) y a los tipos de suelos

# Flujos biogeoquímicos: N y P en ríos

## FLUJO DE NUTRIENTES EN CUENCAS SEMIÁRIDAS

### Cuencas templadas (húmedas)

Dependen más de las características de la cuenca (LULC, pendiente y características del ecotono)



### Cuencas semiáridas

Dependen más de la hidrología (intensidad precipitaciones, escorrentía, etc.)



¿Por qué?

# Flujos biogeoquímicos: C en lagos y humedales

## Lagos

≈ 10-50%  
0.5-600 g C m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>  
10-20 g C m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>  
Bajas  
Sumideros (+ con actividad antrópica)

Subsidios terrígenos C  
NPP  
Sedimentación C  
Emisiones CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>  
Almacenamiento C

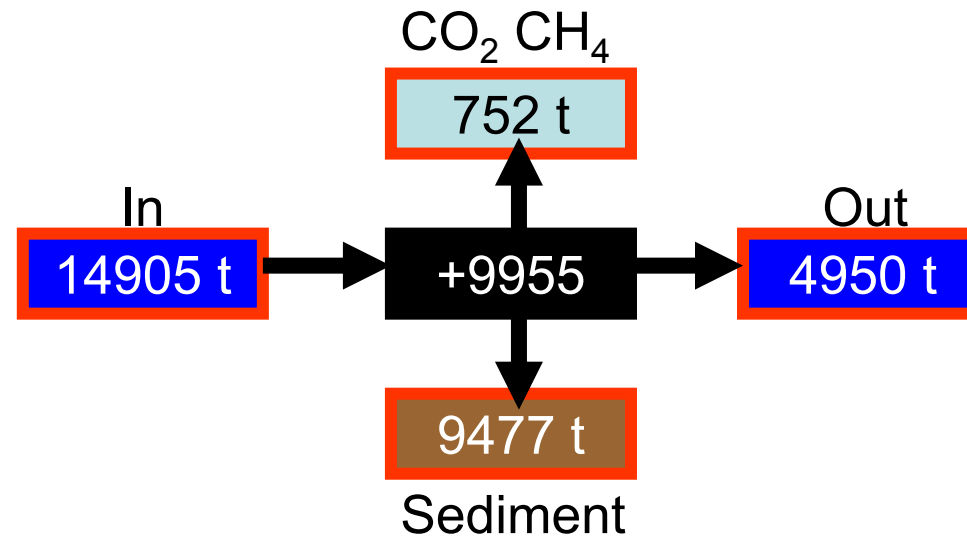
## Humedales

Variable (0-80%)  
1000-6000 g C m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>  
8-5000 g C m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>  
Altas (metano)  
Variable (fuentes con actividad antrópica)

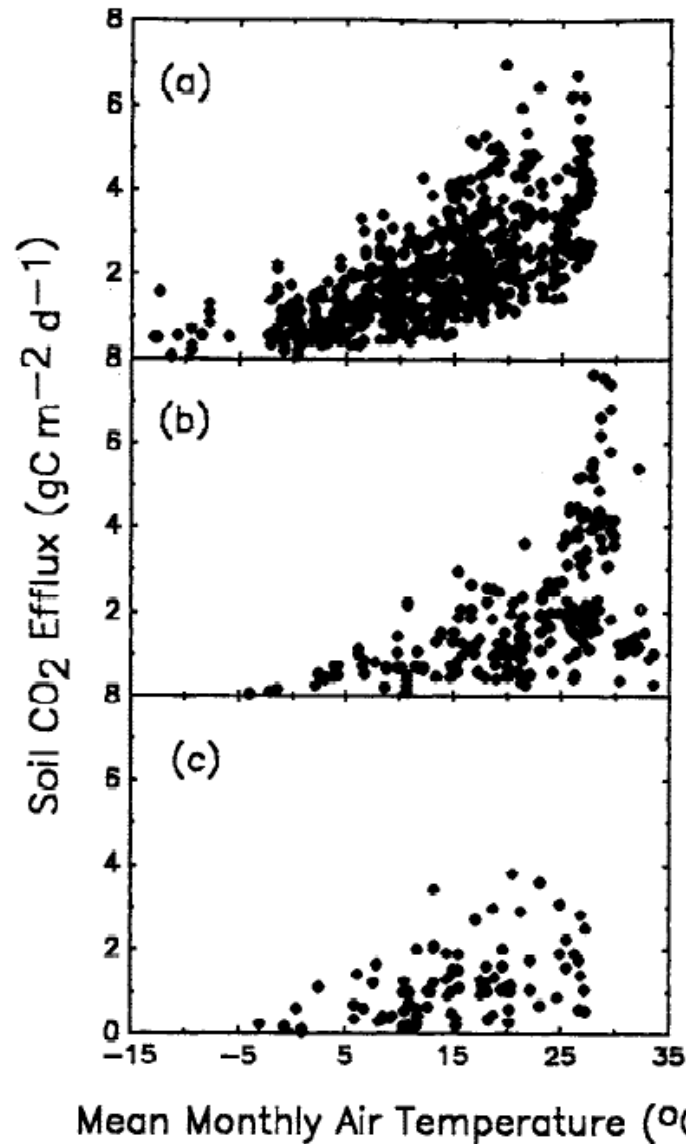
Evans (1994): *Hydrobiologia*, 284: 5-12; Sánchez-Carrillo et al. (2001): *Wetlands*, 21: 67-79; Sánchez-Carrillo y Alvarez-Cobelas (2001): *Water Air & Soil Pollution*, 131: 97-118; Mistch y Gosselink (2000): *Wetlands* 3rd Edition, Wiley; Schauser et al. (2006): *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica*, 34: 325-332; Newman et al. (2001): *Biogeochemistry*, 54: 229-250, Ullah et al. (2005): *Biogeochemistry*, 73: 499-513; Krivtsov y Sigee (2005): *Biogeochemistry*, 74: 205-230; Wetzel (2001): *Limnology*, Elsevier.

# Flujos biogeoquímicos: C en lagos y humedales

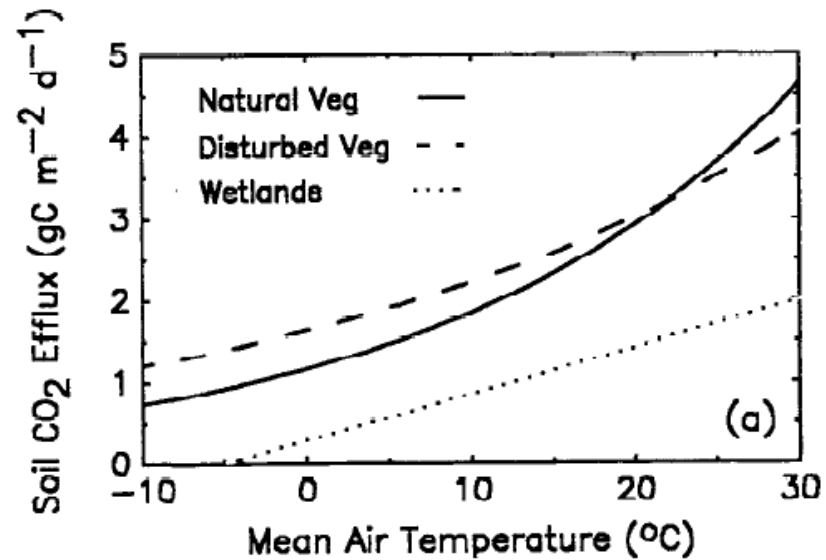
Ejemplo: Lago subtropical eutrófico "Lake Donghu "  
Yang et al (2008) Envi Pollution 151:559-568



# Flujos biogeoquímicos: C en lagos y humedales

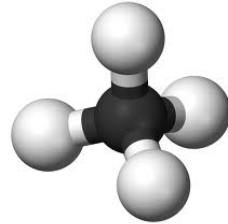


**Figure 1.** Data Used to Develop the Soil CO<sub>2</sub> Emission Models. Data sources are listed in the appendix. (a) All data from moist biomes with no dramatic dry season. (b) All data from sites having a distinct dry season. (c) All data from wetland sites. All points represent field-measured rates of total in situ soil CO<sub>2</sub> emissions.



(Raich & Potter (1995): Global Biogeochem Cycles, 9: 23-36)

# Flujos biogeoquímicos: C en lagos y humedales



**Los humedales tienen la capacidad de retener mucho carbono, sin embargo, incluyendo a los arrozales, contribuyen entre el 15 y 45% a las emisiones globales de CH<sub>4</sub>**

(Prather et al. (1995):In: Houghton JT,Meira Filho LG, Bruce J, Hoesung Lee Callander BA, Haites E & Maskell K (Eds) Climate change 1994. Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC IS92 Emissions Scenarios (pp 73–126). Cambridge University Press, Cambridge, UK)

# Flujos biogeoquímicos: C en lagos y humedales

Sin embargo, se estima que gran parte del metano (1-90%) es consumido por bacterias metanotróficas para producir CO<sub>2</sub> en condiciones aeróbicas (probablemente también en condiciones anaeróbicas)

*Table 3.* Comparison between rates of methane production, aerobic carbon dioxide production and anaerobic carbon dioxide production.

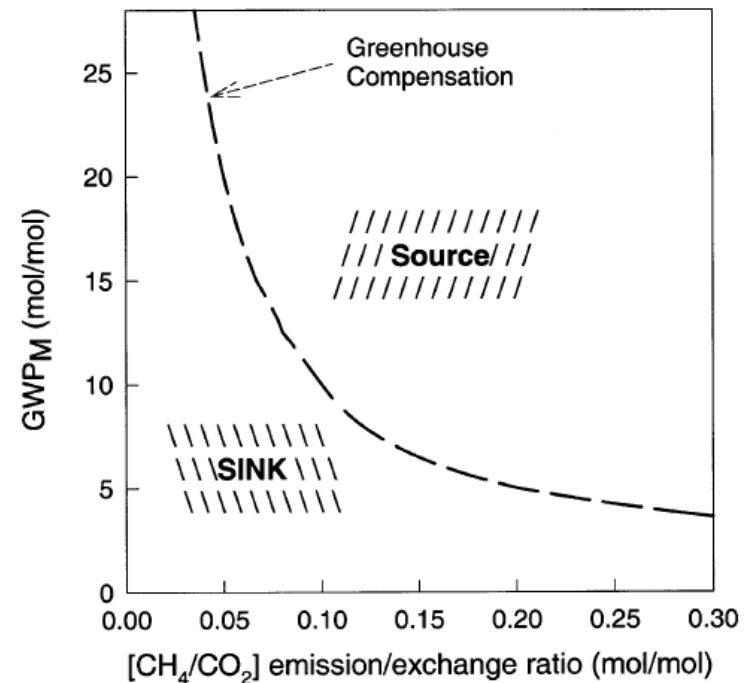
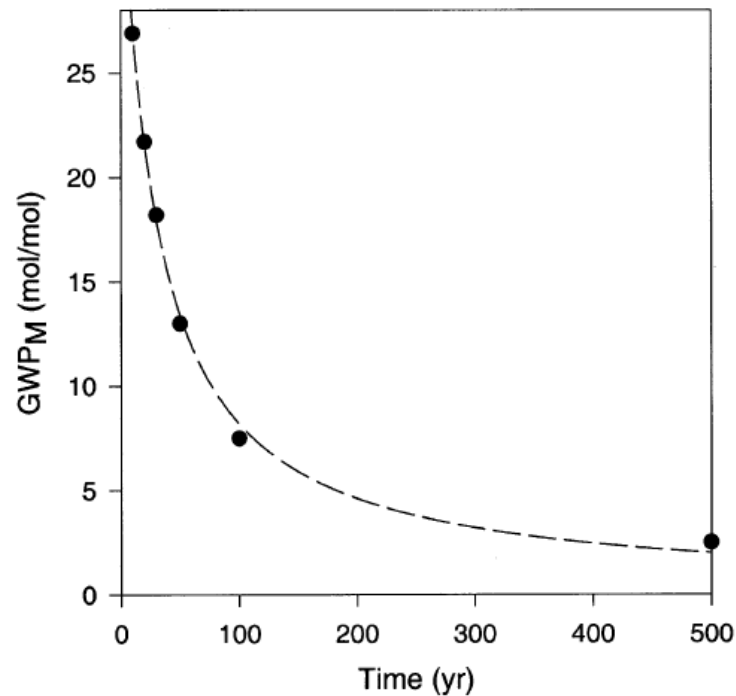
Sample source	aer CO <sub>2</sub> / anaer CO <sub>2</sub> mol:mol	anaer CO <sub>2</sub> / anaer CH <sub>4</sub> mol:mol
Oligotrophic peat	1.6–2.7 <sup>1</sup>	4–882 <sup>1–4</sup>
Minerotrophic peat	2.7 <sup>1</sup>	0.6–630 <sup>1–7</sup>
Paddy soil <sup>10</sup>		1–594
Drained peat soil, 4 day incubation <sup>8</sup>	4.8 ± 3.1	
<i>Sphagnum</i> <sup>9</sup>	1.4 <sup>a</sup>	
Plant material in mineral soils <sup>11(a),12,13</sup>	2–8	
Various peat soils <sup>14</sup>	2.5 (1–5)	

<sup>1</sup> Bridgham and Richardson (1992), <sup>2</sup> Updegraff et al. (1995), <sup>3</sup> Yavitt et al. (1988), <sup>4</sup> Yavitt and Lang (1990), <sup>5</sup> Amaral and Knowles (1994), <sup>6</sup> Yavitt et al. (1987), <sup>7</sup> Schimel (1995), <sup>8</sup> Glenn et al. (1993), <sup>9</sup> Tenney and Waksman (1930), <sup>10</sup> Tsutsuki and Ponnampereuma (1987), <sup>11</sup> Bhaumik and Clark (1947), <sup>12</sup> Broadbent and Stojanovic (1952), <sup>13</sup> Parr and Reuszer (1959), <sup>14</sup> Moore and Dalva (1997);  
<sup>a</sup> anaerobiosis established by submergence.

(Segers (1998): Biogeochemistry 41: 23-51)

# Flujos biogeoquímicos: C en lagos y humedales

**Ejemplo: Balance de carbono en humedales considerando el calentamiento potencial del CH<sub>4</sub>**



GWP<sub>M</sub>(CH<sub>4</sub>): *Global warming potential of methane*

Relativo a la mayor absorción de radiación infrarroja por CH<sub>4</sub> (x 25)

20 años: x 21.8 el del CO<sub>2</sub>

100 años: x 7.6 “

500 años: x 2.6 “

Por un mayor tiempo de vida del CO<sub>2</sub> comparado con CH<sub>4</sub>

Whiting & Chanton (2001)  
Tellus 53B:521-528



# Flujos biogeoquímicos: C en lagos y humedales

## Ejemplo: Balance de carbono en humedales considerando el calentamiento potencial del CH<sub>4</sub>

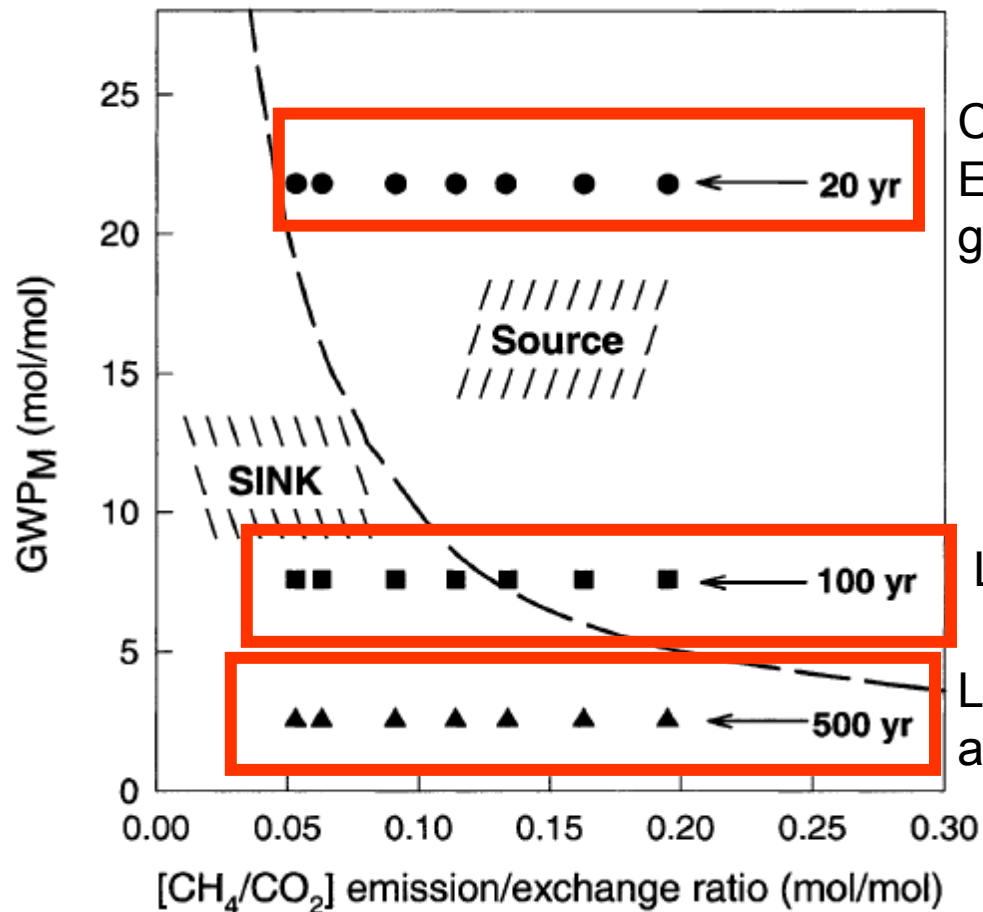
Table 1. Annual exchange of CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> in several wetlands ranging from the near-subtropics to the boreal plain

Site	Date	CH <sub>4</sub> (mole m <sup>-2</sup> yr <sup>-1</sup> )	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub> /CO <sub>2</sub> (mole/mole)	Compensation point (GWP <sub>Mcp</sub> )
Florida <i>Typha</i>	1992	4.3	81.5	0.05	18.9
Florida <i>Typha</i>	1993	6.0	94.9	0.06	15.9
Virginia <i>Typha</i>	1992–'93	6.8	74.7	0.09	11.0
Virginia <i>Peltandra</i>	1992–'93	11.0	96.5	0.11	8.8
Can. Boreal Fen	1994	4.6	34.5	0.13	7.5
Can. Boreal Fen	1995	2.2	11.2	0.20	5.1
Can. Boreal Fen	1996	3.7	22.8	0.16	6.1

We have adopted the convention of expressing CH<sub>4</sub> emission from the wetland as a positive number, while uptake of CO<sub>2</sub> (net ecosystem production encompassing diel and annual variation in photosynthesis, plant respiration, and soil community respiration) is also positive. CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub> is the molar ratio of CH<sub>4</sub> emitted to CO<sub>2</sub> taken up. The compensation point is the value of GWP<sub>M</sub> (y-axis, Figs. 2, 3) where the global warming equivalents of CO<sub>2</sub> uptake offsets the global warming equivalents of CH<sub>4</sub> emitted from each wetland.

# Flujos biogeoquímicos: C en lagos y humedales

**Ejemplo: Balance de carbono en humedales considerando el calentamiento potencial del CH<sub>4</sub>**



Corto plazo:  
Escala de cambios atmosféricos  
globales y calentamiento de océanos

Largo plazo: vida media del CO<sub>2</sub>

Largo plazo: cambio global asociado  
a cambios en la circulación oceánica

# Flujos biogeoquímicos: C en lagos y humedales

**El problema de la conversión de humedales en tierras de cultivo**  
**Hipótesis: el C almacenado en el suelo de los humedales es liberado a la atmósfera y se acentúan las emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>**

**Table 1.** Net biome productivity in forest, agricultural, and peat sectors. Positive fluxes mean net uptake; negative is net loss of C. Numbers within parentheses represent one standard deviation. For each ecosystem, the total area is also given.

En Europa

	Area (Mha)	NBP (Tg C a <sup>-1</sup> )	Ref. nos.
<i>Forest sector</i>			
Forests	339 (7)	363 (159)	(10, 15–19)
Other wooded land	50 (17)	14 (7)	(10)
Subtotal		377 (159)	
<i>Agricultural sector</i>			
Croplands	326 (32)	–300 (186)	(15, 24)
Grasslands	151 (36)	101 (133)	(15, 24)
Subtotal		–199 (229)	
<i>Peat sector</i>			
Undisturbed peat lands	39 (6)	13 (7)	(28–30)
Drained peat lands	16 (4)	–30 (15)	(29–31)
Peat extraction		–50 (10)	(29, 30)
Subtotal		–67 (19)	
Total		111 (279)	

(Janssens et al. (2003): Science 300, 1538 )

# Flujos biogeoquímicos: C en lagos y humedales

## El caso de China

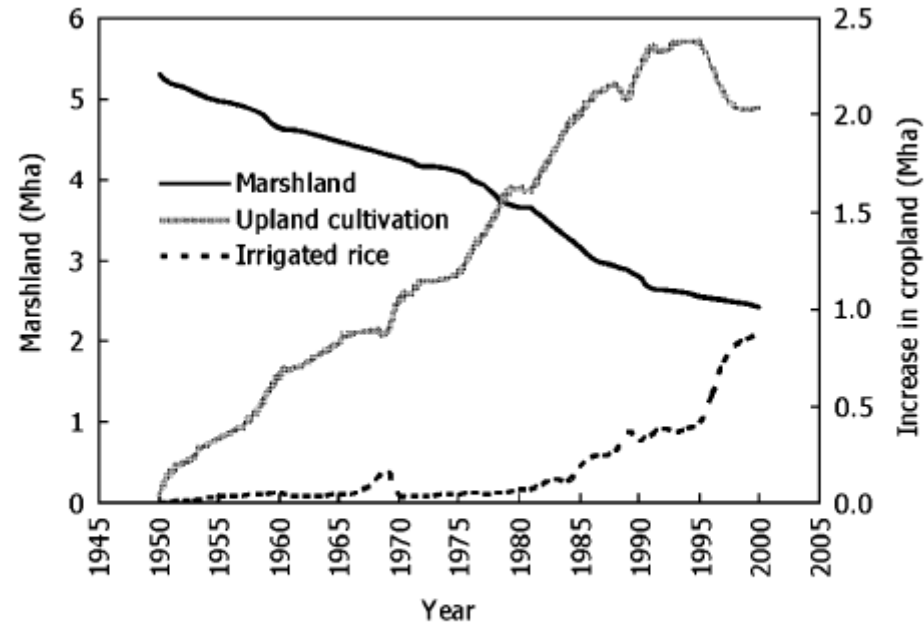


Fig. 1 Conversion of marshland to croplands in northeast China.

# Flujos biogeoquímicos: C en lagos y humedales

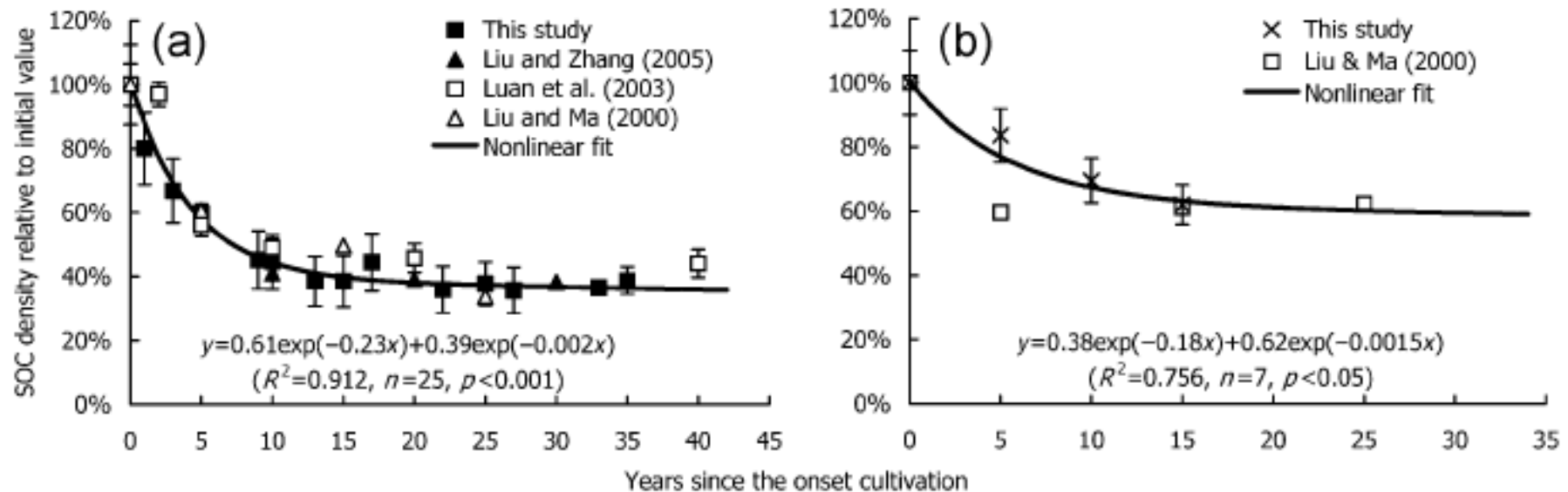


Fig. 2 Nonlinear fit on the observed changes in soil organic carbon density (SOCD): (a) 0–20 cm depth; (b) 20–40 cm depth. The observed SOCD from different data sources was normalized by  $SOC D_t / SOC D_0$  to generate a comparable data series.  $SOC D_0$  and  $SOC D_t$  are the soil organic carbon densities in the pristine marshland and cropland at  $t$  years since the onset cultivation, respectively.

# Flujos biogeoquímicos: C en lagos y humedales

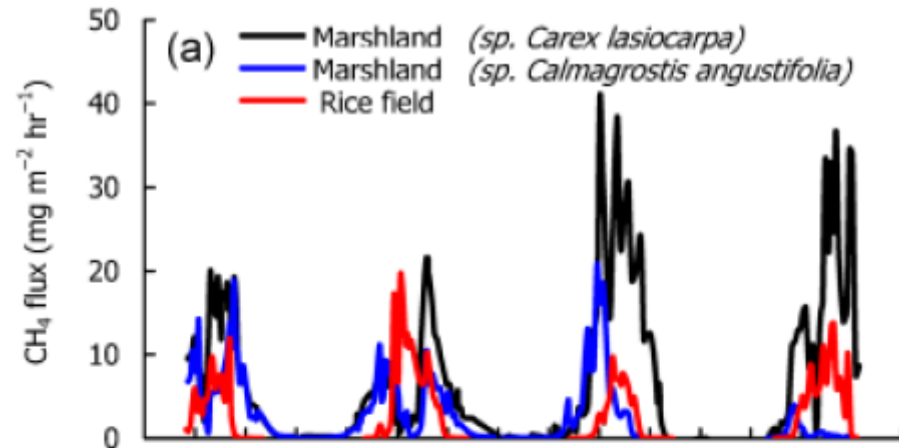
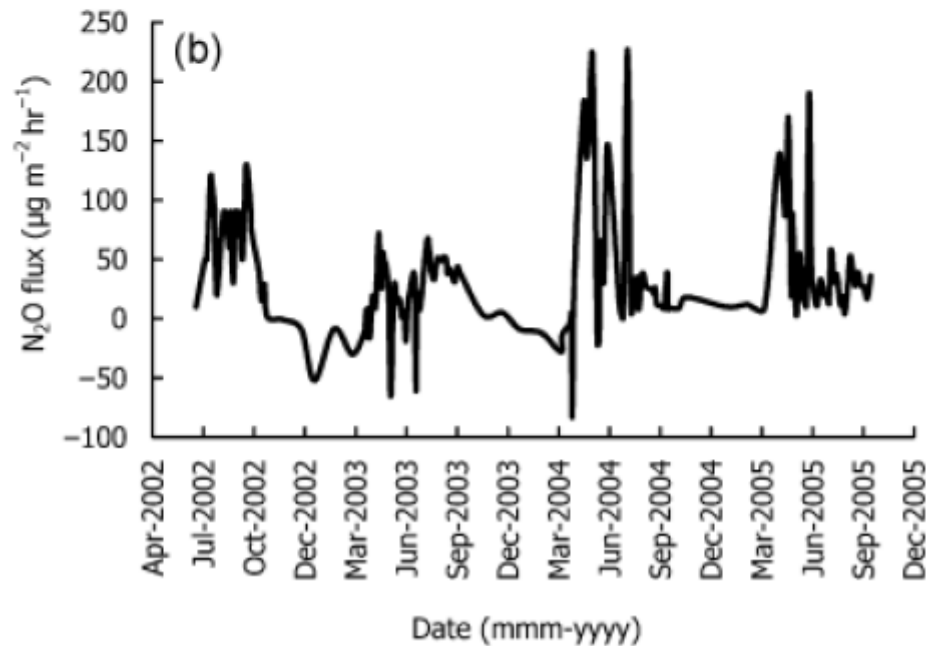
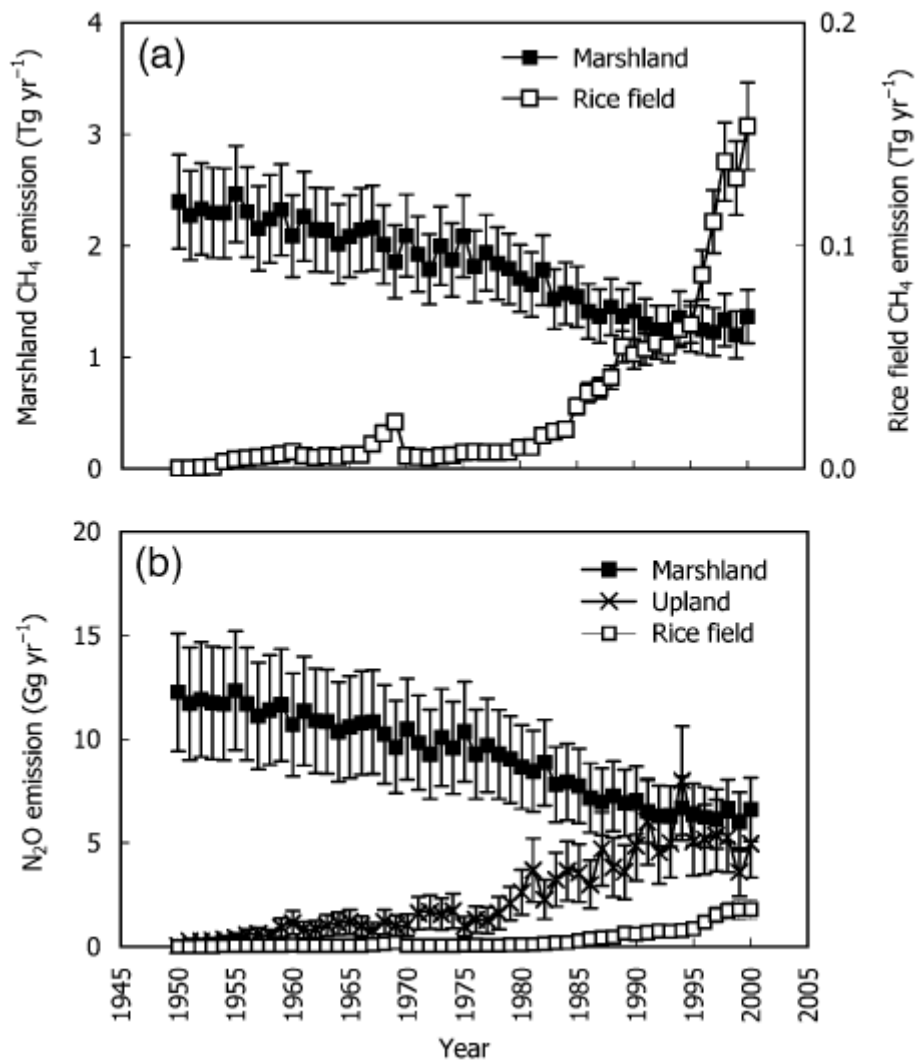


Fig. 4 Seasonal variations in observed greenhouse gas emission and meteorological parameters in northeast China



(Huang et al. (2010): Global Change Biology16: 680–695)

# Flujos biogeoquímicos: C en lagos y humedales



**Fig. 5** Estimated greenhouse gas emission attributed to wetland conversion in northeast China: (a) CH<sub>4</sub> emission from marshland and rice field; (b) N<sub>2</sub>O emission from marshland and croplands. The vertical bars represent the upper and lower estimates of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emissions, which were computed by annual mean flux [Eqns (8) and (9)] plus and minus SE, respectively. The SE for CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emission in marshland is area-weighted, and that for N<sub>2</sub>O emission in croplands was determined from the SE of the regression coefficients in Eqns (6) and (7), respectively. See text for the SE values.

# Flujos biogeoquímicos: C en lagos y humedales

**Table 5** CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> balance attributed to wetland conversion in the United States and northeast China

Decade	Wetland conversion (Mha)	CO <sub>2</sub> (Tg)	CH <sub>4</sub> * (Tg)	CH <sub>4</sub> * (Tg CO <sub>2</sub> _eq)		Balance (Tg CO <sub>2</sub> _eq)	
				20-year	100-year	20-year	100-year
USA							
1951–1960	6.3	1272	–7	–503	–175	769	1097
1961–1970	4.2	1523	–17	–1247	–433	277	1090
1971–1980	3.1	1177	–24	–1758	–610	–581	567
1981–1990	2.0	840	–29	–2111	–733	–1271	107
1991–2000	1.7	670	–33	–2378	–826	–1708	–156
Σ	17.2	5482	–111	–7996	–2776	–2514	2706
Northeast China							
1951–1960	0.70	124	–0.8	–60	–21	64	103
1961–1970	0.37	130	–3.2	–233	–81	–103	49
1971–1980	0.60	153	–5.1	–367	–127	–214	26
1981–1990	0.87	263	–8.5	–615	–214	–352	49
1991–2000	0.36	192	–10.2	–737	–256	–545	–64
Σ	2.91	862	–28.0	–2012	–699	–1150	163

\*Wetland CH<sub>4</sub> emissions relative to 1950.

CH<sub>4</sub>, methane.



# Flujos biogeoquímicos: C en lagos y humedales

**Table 4** Decadal variations in global warming potential attributed to marshland conversion

Decade	Land use	Global warming potential (Tg CO <sub>2</sub> _eq. yr <sup>-1</sup> )							
		20-year time horizon				100-year time horizon			
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	Σ	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	Σ
1950s	Cropland	11.43	0.23	0.13	181.30	11.43	0.08	0.13	72.82
	Marshland		166.12	3.39			57.68	3.50	
1960s	Cropland	12.97	0.65	0.31	167.56	12.97	0.23	0.32	68.96
	Marshland		150.56	3.07			52.28	3.16	
1970s	Cropland	15.33	0.47	0.45	156.96	15.33	0.16	0.46	66.72
	Marshland		137.91	2.80			47.89	2.88	
1980s	Cropland	26.33	1.89	1.07	142.25	26.33	0.68	1.10	68.87
	Marshland		110.71	2.25			38.44	2.32	
1990s	Cropland	19.22	6.30	1.84	122.21	19.22	2.19	1.90	57.52
	Marshland		92.99	1.86			32.29	1.92	

N<sub>2</sub>O, nitrous oxide; CH<sub>4</sub>, methane.

GWP<sub>M</sub> (CH<sub>4</sub>): *Global warming potential of methane*

Relativo a la mayor absorción de radiación infrarroja por CH<sub>4</sub> (x 25)

20 años: x 21.8 el del CO<sub>2</sub>

100 años: x 7.6 “

500 años: x 2.6 “

} Por un mayor tiempo de vida del CO<sub>2</sub> comparado con  
CH<sub>4</sub>

(Huang et al. (2010): Global Change Biology16: 680–695)

# Flujos biogeoquímicos: N y P en lagos y humedales

## Lagos

<p><b>Externa (IL 0-40%)</b>            ↑↓ <b>Redox (eutrofización)</b>  <b>Norg</b> → <math>\text{NH}_4^+</math> → <math>\text{NO}_3^-</math> → <math>\text{N}_2</math>            (20% / 40%) <math>E_{\text{tot}}/S_{\text{tot}}</math>  <b>0.4-185 g N m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup> (agua)</b>  <b>60-80%</b>  <b>&lt;1</b></p> <p><b>&gt;1</b>  <b>60-80%</b>  <b>15-90%</b></p> <p><b>PP-bucle microbiano</b></p>	<p><b>Carga externa/interna N, P</b>  <b>Transform. anaeróbicas</b>  <b>N transformación ppal</b>  <b>Fijación/desnitrificación</b>  <b>Tasa desnitrificación</b>  <b>N Retención (sedimento)</b>  <b><math>\text{N}_2\text{O}/\text{N}_2</math></b></p> <p><b>P-org/ <math>\text{PO}_4^{3-}</math></b>  <b>P Retención (sedim.)</b>  <b>P resuspensión</b></p> <p><b>Control ciclo N y P</b></p>	<p><b>Interna (IL 40-80%)</b>            ↓↓↓ <b>Redox(sedimento)</b>  <math>\text{NO}_3^-</math> → <math>\text{N}_2</math>            (1% / 60%) <math>E_{\text{tot}}/S_{\text{tot}}</math>  <b>≈ 400 g N m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup> (sedim)</b>  <b>40-90%</b>  <b>&lt;1</b></p> <p><b>&gt;1</b>  <b>60-99%</b>  <b>60-90%</b></p> <p><b>Bucle microbiano</b></p>
--	---	---

## Humedales

Evans (1994): *Hydrobiologia*, 284: 5-12; Sánchez-Carrillo et al. (2001): *Wetlands*, 21: 67-79; Sánchez-Carrillo y Alvarez-Cobelas (2001): *Water Air & Soil Pollution*, 131: 97-118; Mistch y Gosselink (2000): *Wetlands* 3rd Edition, Wiley; Schauser et al. (2006): *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica*, 34: 325-332; Newman et al. (2001): *Biogeochemistry*, 54: 229-250, Ullah et al. (2005): *Biogeochemistry*, 73: 499-513; Krivtsov y Sigee (2005): *Biogeochemistry*, 74: 205-230; Wetzel (2001): *Limnology*, Elsevier.

# Flujos biogeoquímicos: N y P en lagos y humedales

## Retención de N y P en un lago semiárido

Approximate budgets of nitrogen and phosphorus for the lake Wingra ecosystem

Budget component	Nitrogen	Phosphorus
<b>Annual imports (kg)</b>		
Precipitation	+1,140	+34
Surface runoff	+6,950	+1,500
Springs	+5,580	+99
Groundwater	+1,530	0
Dry fallout	+2,140	+110
<b>Total import</b>	<b>+17,340</b>	<b>+1,743</b>
<b>Annual exports (kg)</b>		
Outlet discharge	-2,480	-144
Groundwater	-250	-7
<b>Total export</b>	<b>-2,730</b>	<b>-151</b>
<b>Annual net balance (kg)</b>	<b>+14,610</b>	<b>+1,590</b>
<b>Potential removal by harvesting at time of maximum potential P removal:</b>		
kg	2,400	580
% of annual net balance	16.4%	37.4%
<b>Potential removal by harvesting at time of maximum potential N removal:</b>		
kg	2,700	240
% of annual net balance	18.5%	15.5%

(Carpenter & Adams (1977):  
Aquat. Bot. 3: 239-255)

# Flujos biogeoquímicos: N y P en lagos y humedales

Retención de N en lagos y humedales en función de la carga

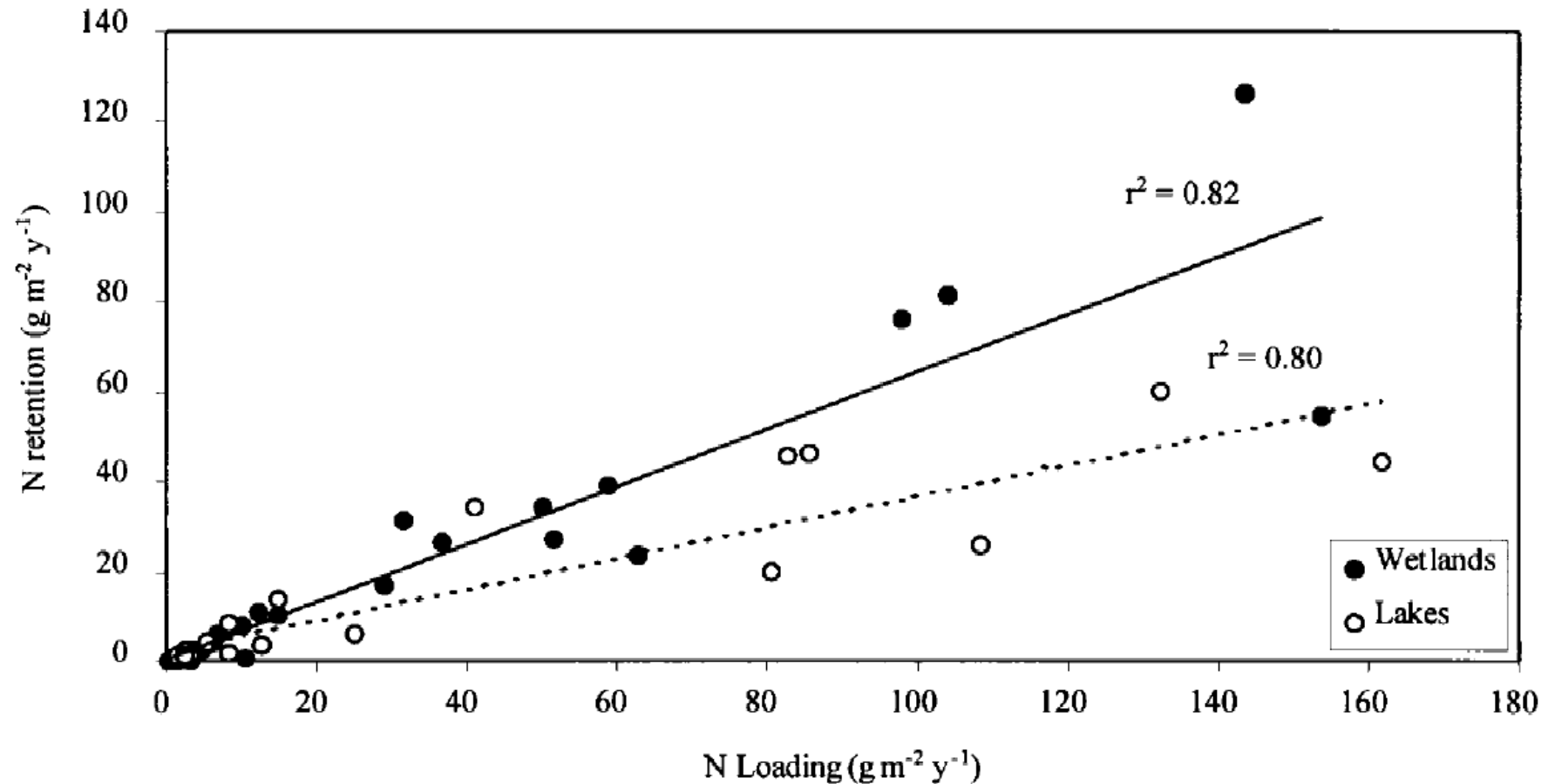


Figure 1. Nitrogen retention as a function of nitrogen loading in wetlands and lakes.

# Flujos biogeoquímicos: N y P en lagos y humedales

Retención de N en lagos y humedales en función de la carga

Table 3. Regression equations describing the relationship between nitrogen retention (y) and load (x) in wetlands, lakes and rivers

	<i>n</i>	Regression equation	<i>r</i> <sup>2</sup>	SEE	<i>p</i>
Wetlands	23	$y = 0.42 + 0.64x$	0.82	13.8	<0.001
Lakes	23	$y = 2.53 + 0.34x$	0.80	8.3	<0.001
Rivers	5	$y = 145.6 + 0.02x$	0.10	206.0	>0.050
Wetlands, lakes and rivers	43	$y = (10^{(1.00(\log(x/\text{water discharge}) - 0.39)}) / (\text{water discharge}))$	0.92	0.4	<0.001

# Flujos biogeoquímicos: N y P en lagos y humedales

Retención de N en ecosistemas acuáticos  
en función de la carga

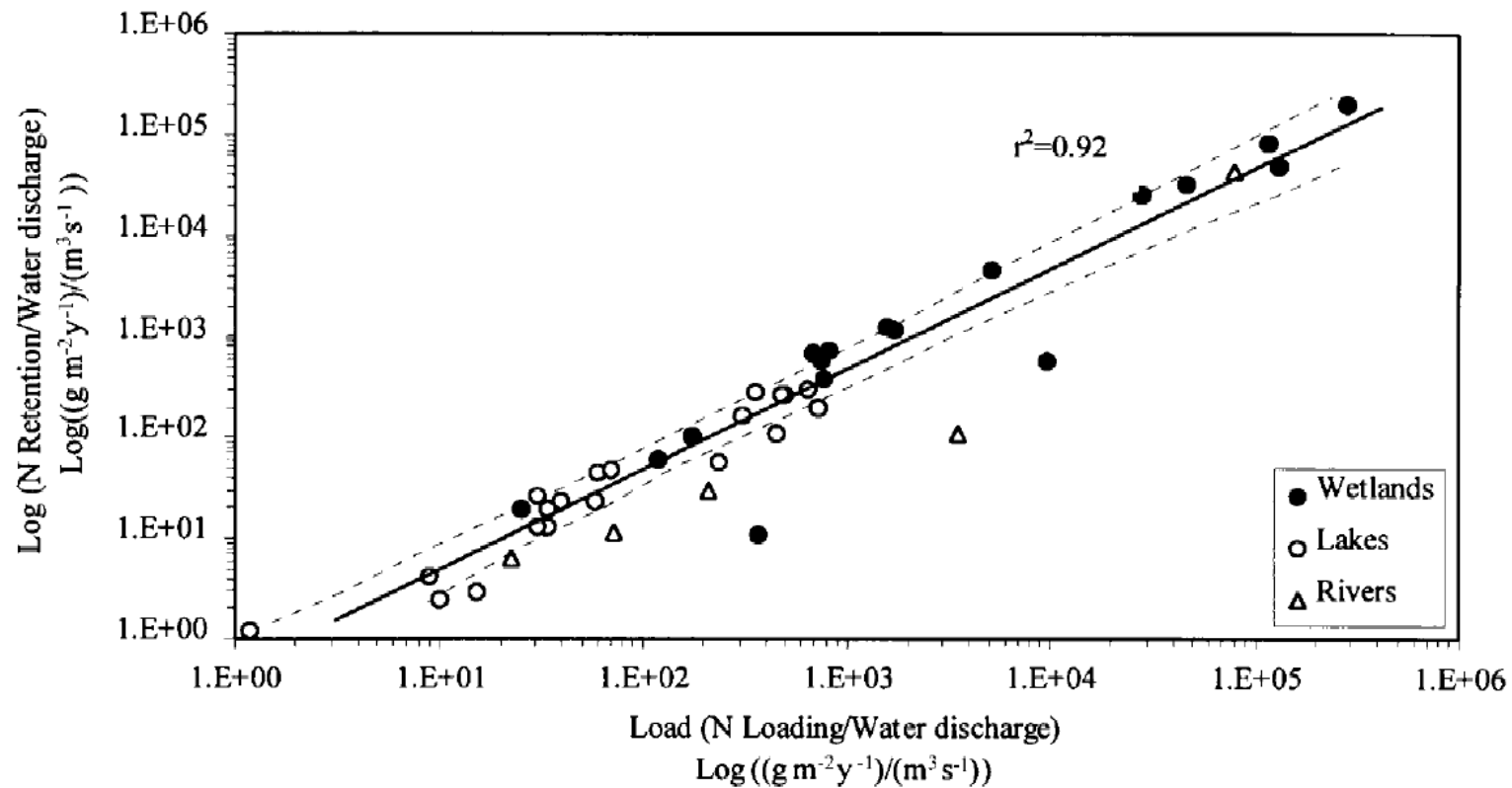
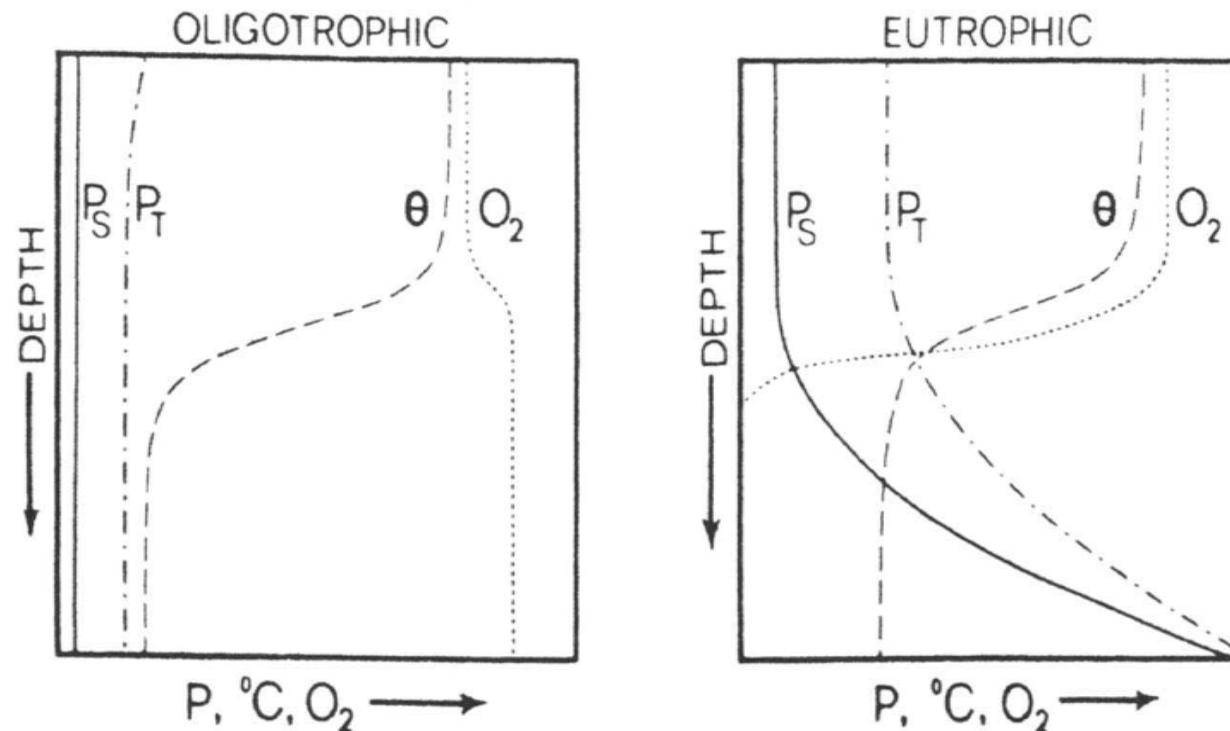


Figure 2. Log nitrogen retention standardized for water discharge as a function of log nitrogen loading standardized for water discharge in wetlands, lakes and rivers. Dotted lines indicate the 95% confidence interval about the mean.

# Flujos biogeoquímicos: N y P en lagos y humedales

Movilidad del P en lagos y humedales

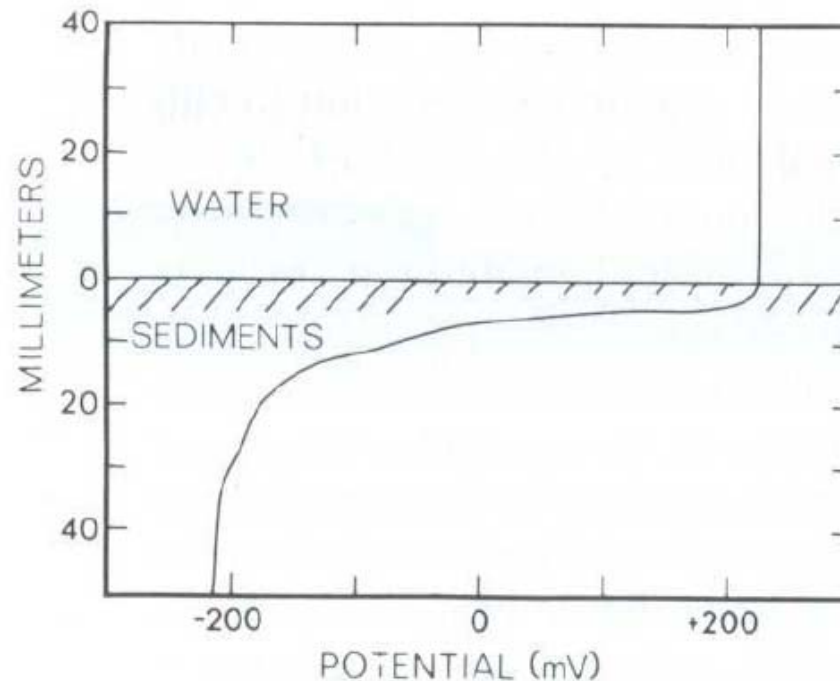


**Recordando: el incremento en la concentración de P en el hipolimnion es cerca de los sedimentos, donde el O<sub>2</sub> se reduce (principalmente durante la estratificación estival)**

# Flujos biogeoquímicos: N y P en lagos y humedales

## Movilidad del P en lagos y humedales

La carga orgánica del lago controla la actividad microbiana, la cual controla el potencial redox y la disponibilidad de fósforo





# Flujos biogeoquímicos: N y P en lagos y humedales

## Capacidad de sorción de P en suelos de humedales

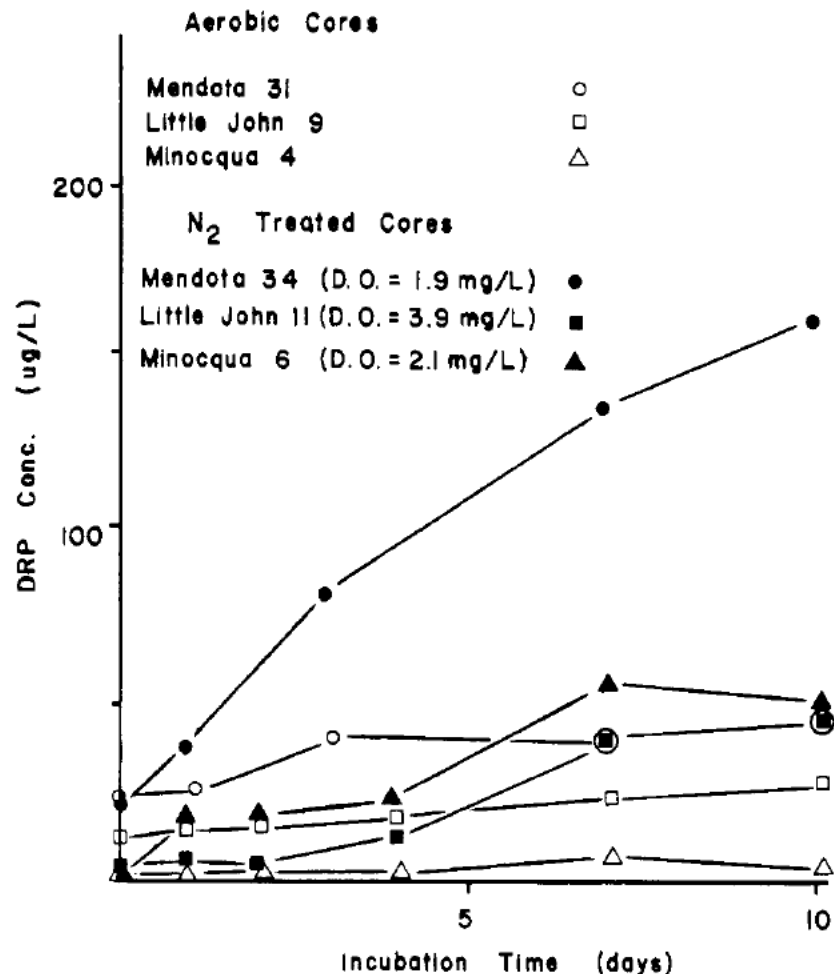


Figure 2. Effect of oxygen concentrations on DRP release from sediment cores

(Holdren & Armstrong (1980) Envi. Sci. Tech. 14: 79-87)

# Flujos biogeoquímicos: N y P en lagos y humedales

Capacidad de sorción de P en suelos de humedales

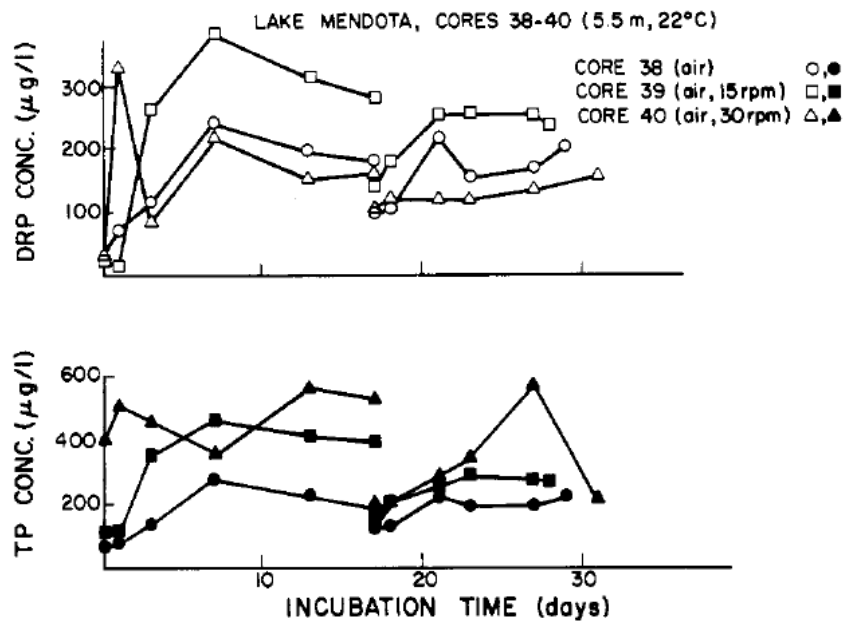


Figure 3. Effects of stirring on P release from sediment cores

# Flujos biogeoquímicos: N y P en lagos y humedales

Capacidad de sorción de P en suelos de humedales

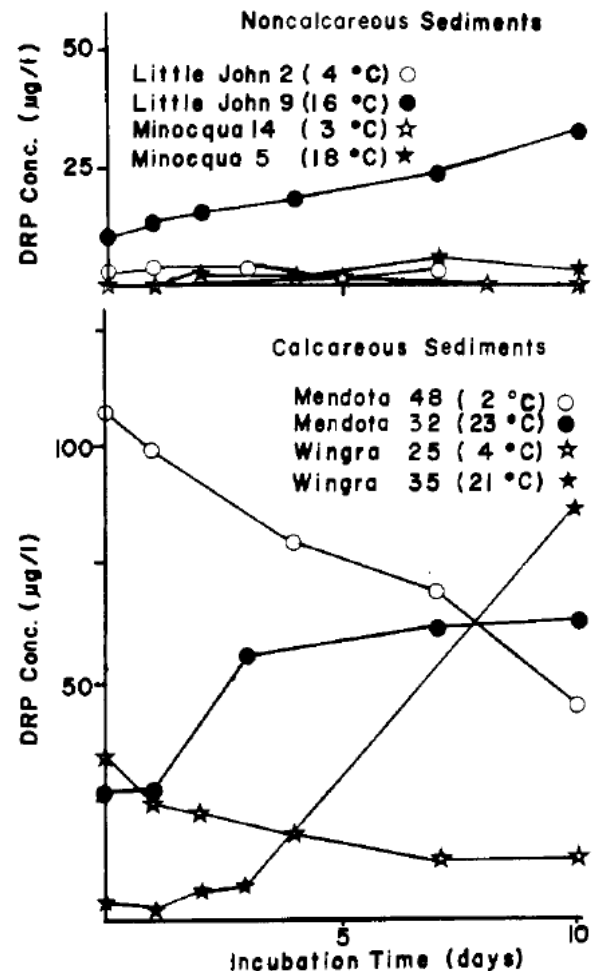


Figure 4. Effect of temperature on DRP release from sediment cores

(Holdren & Armstrong (1980): Envi. Sci. Tech. 14: 79-87)

# Flujos biogeoquímicos: N y P en lagos y humedales

Capacidad de sorción de P en suelos de humedales

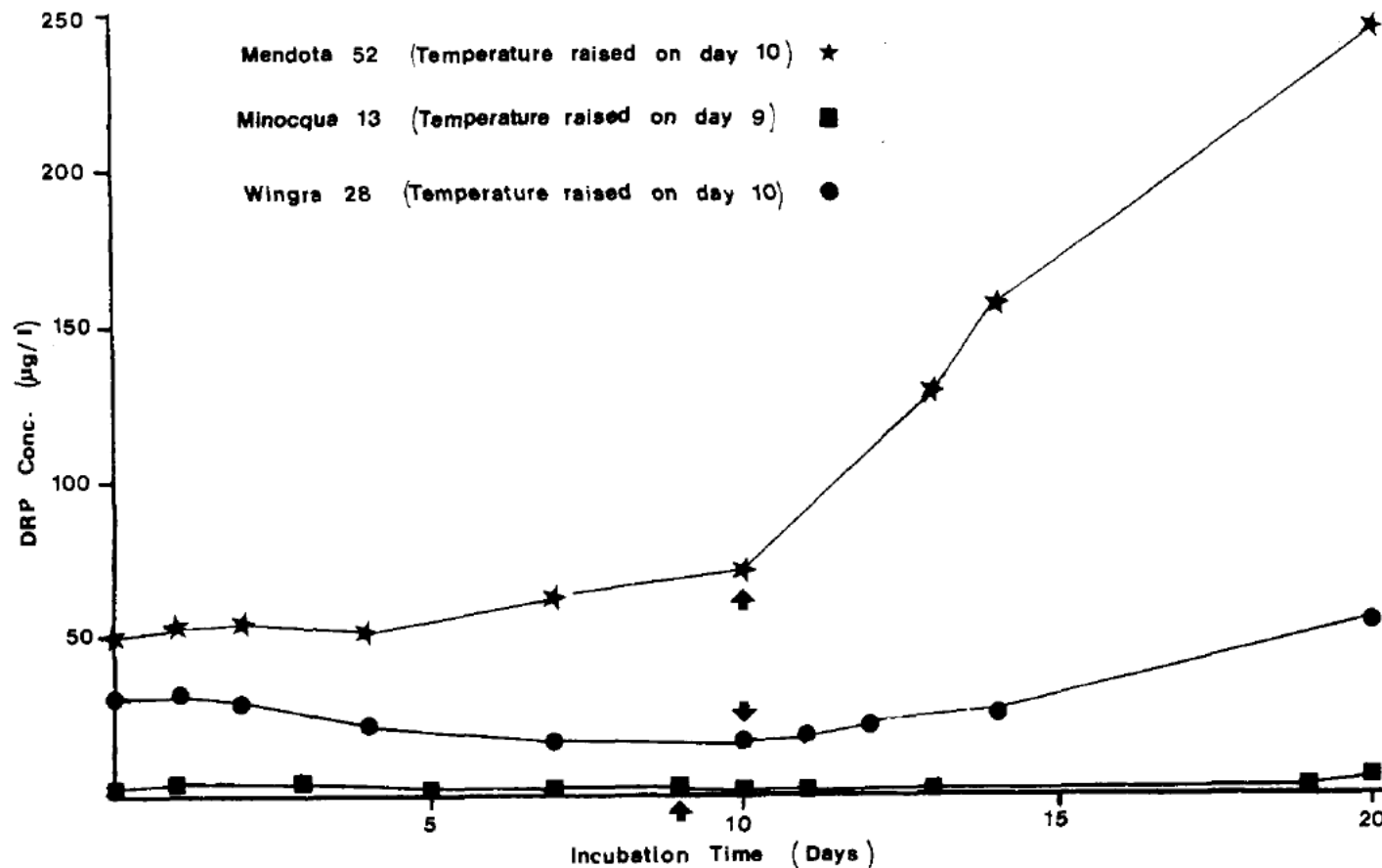
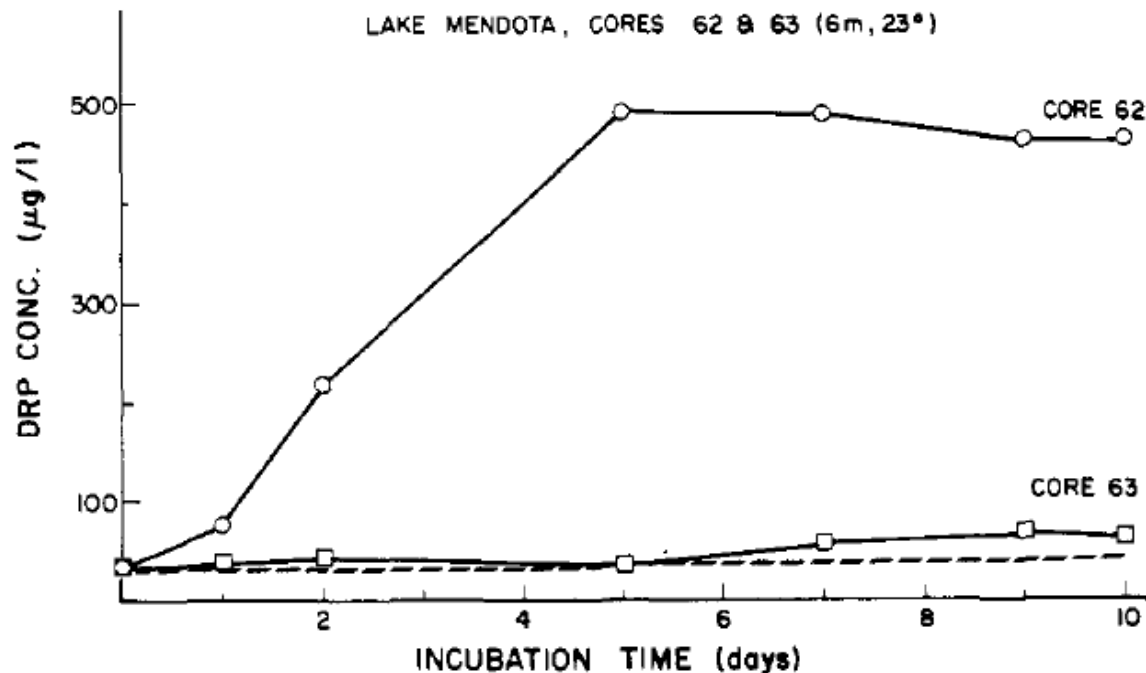


Figure 5. Effect of temperature increases on DRP release from sediment cores

(Holdren & Armstrong (1980): Envi. Sci. Tech. 14: 79-87)

# Flujos biogeoquímicos: N y P en lagos y humedales

Capacidad de sorción de P en suelos de humedales



**Figure 7.** Release of DRP from untreated (62) and formalin-treated (63) cores containing high numbers of tubificids and chironomid larvae. The dashed line indicates expected diffusional P release assuming  $D = 1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$

# Flujos biogeoquímicos: N y P en lagos y humedales

Capacidad de sorción de P en suelos de humedales

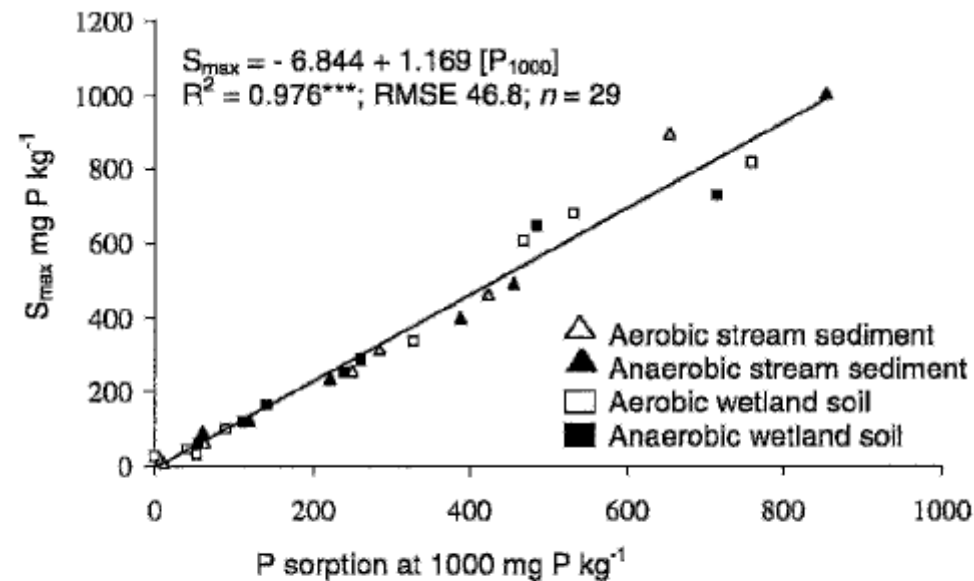


Figure 2. Relationship between P sorption maximum ( $S_{\max}$ ) determined for stream sediments and wetland soils incubated under aerobic and anaerobic conditions with P sorption at 1000 mg P per kg of soil.

# Flujos biogeoquímicos: N y P en lagos y humedales

## Capacidad de sorción de P en suelos de humedales

Table 5. Pairwise correlation coefficients of soil physicochemical properties with P sorption/desorption under ambient and saturated P conditions (n = 49).

Soil parameters	Ambient P conditions				Saturated P conditions			
	P sorbed		P desorbed		P sorbed		P desorbed	
pH	0.101	NS	0.150	NS	-0.205	NS	0.170	NS
Bulk density, g cm <sup>-3</sup>	-0.683	***	0.463	**	-0.657	***	0.712	***
Organic matter, %	0.684	***	-0.442	**	0.698	***	-0.576	***
Total P, mg kg <sup>-1</sup>	0.401	**	-0.311	NS	0.805	***	-0.483	***
TP, g m <sup>-2</sup>	0.052	NS	-0.299	NS	0.777	***	-0.375	**
KCl-Ca, mg kg <sup>-1</sup>	0.555	***	-0.388	*	0.648	***	-0.517	***
KCl-Mg, mg kg <sup>-1</sup>	0.772	***	-0.369	*	0.414	**	-0.471	***
HCl-Ca, mg kg <sup>-1</sup>	0.466	***	-0.329	*	0.636	***	-0.462	***
HCl-Mg, mg kg <sup>-1</sup>	0.795	***	-0.385	*	0.446	**	-0.495	***
HCl-Al, mg kg <sup>-1</sup>	0.190	NS	-0.288	NS	0.838	***	-0.443	***
HCl-Fe, mg kg <sup>-1</sup>	0.712	***	-0.396	NS	0.682	***	-0.562	***
Ox-P, mg kg <sup>-1</sup>	0.216	NS	-0.223	NS	0.716	***	-0.354	**
Ox-Al, mg kg <sup>-1</sup>	0.093	NS	-0.260	NS	0.842	***	-0.408	***
Ox-Fe, mg kg <sup>-1</sup>	0.647	***	-0.357	*	0.680	***	-0.540	***

† = Not significant.

\*, \*\*, \*\*\* is significance at the p = 0.05, 0.01, and 0.001 level.

# Flujos biogeoquímicos: N y P en lagos y humedales

Capacidad de sorción de P en suelos de humedales

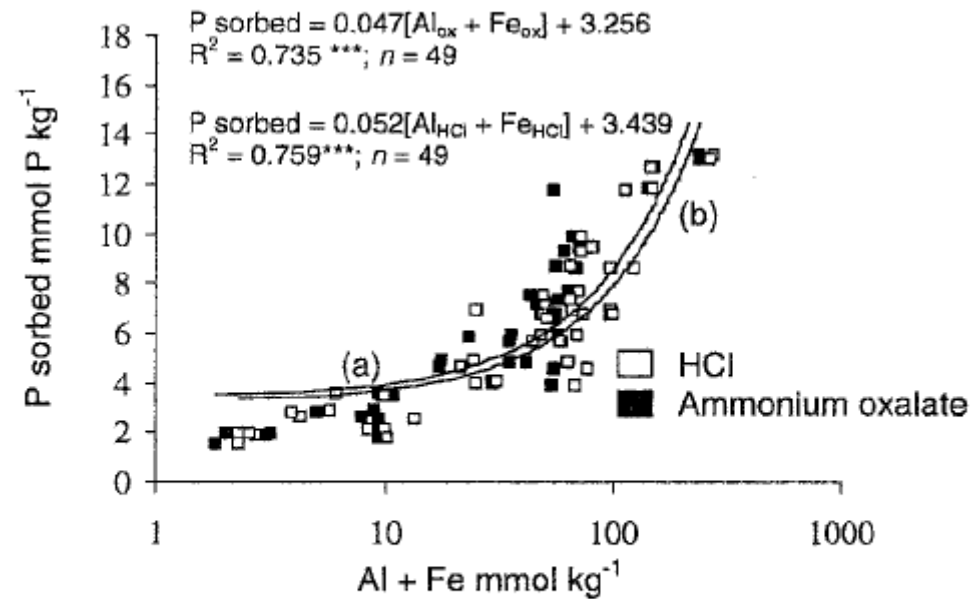


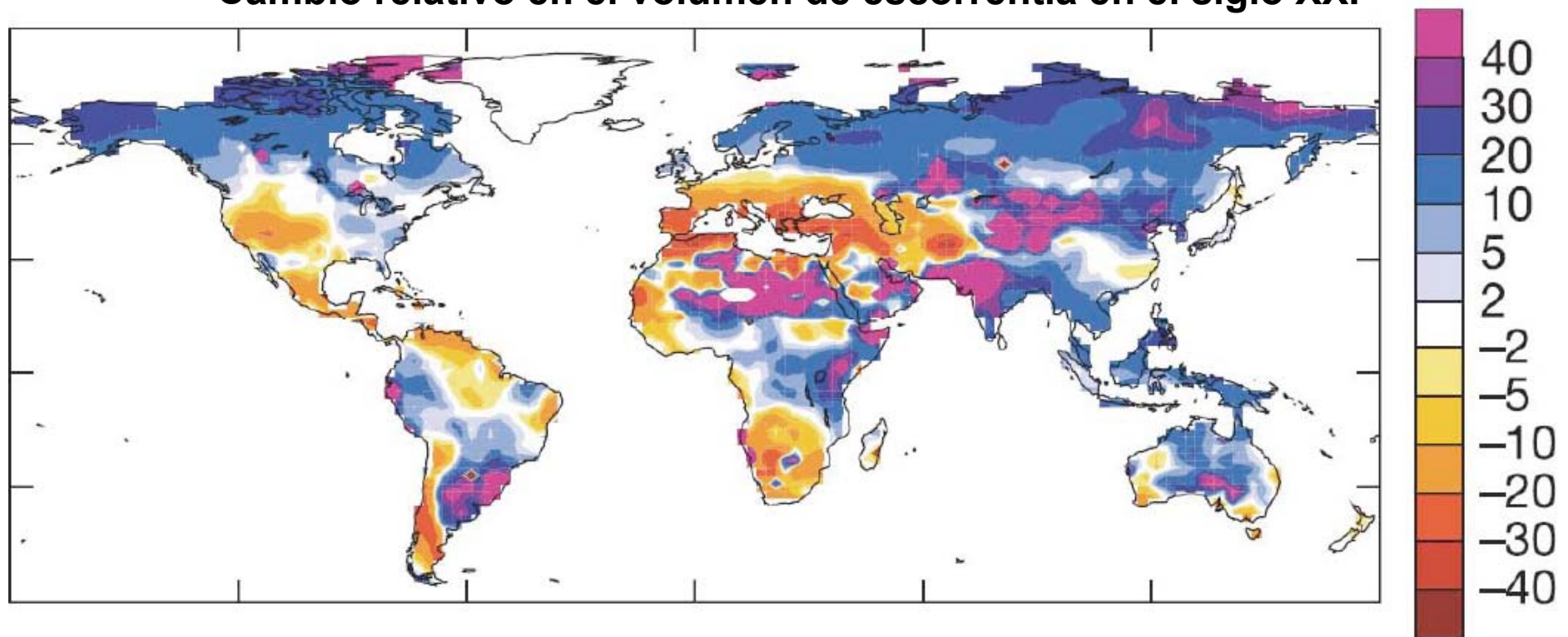
Figure 3. Graph of P sorbed at saturated P conditions (1000 mg P kg<sup>-1</sup>) with Al and Fe extracted with 1 M HCl (a) and 0.2 M ammonium oxalate (b).



# Cambio global y efectos en biogeoquímica de nutrientes en ríos, lagos y humedales

**1<sup>er</sup> condicionante:  
cambio en el régimen hidrológico y ↑ temperatura**

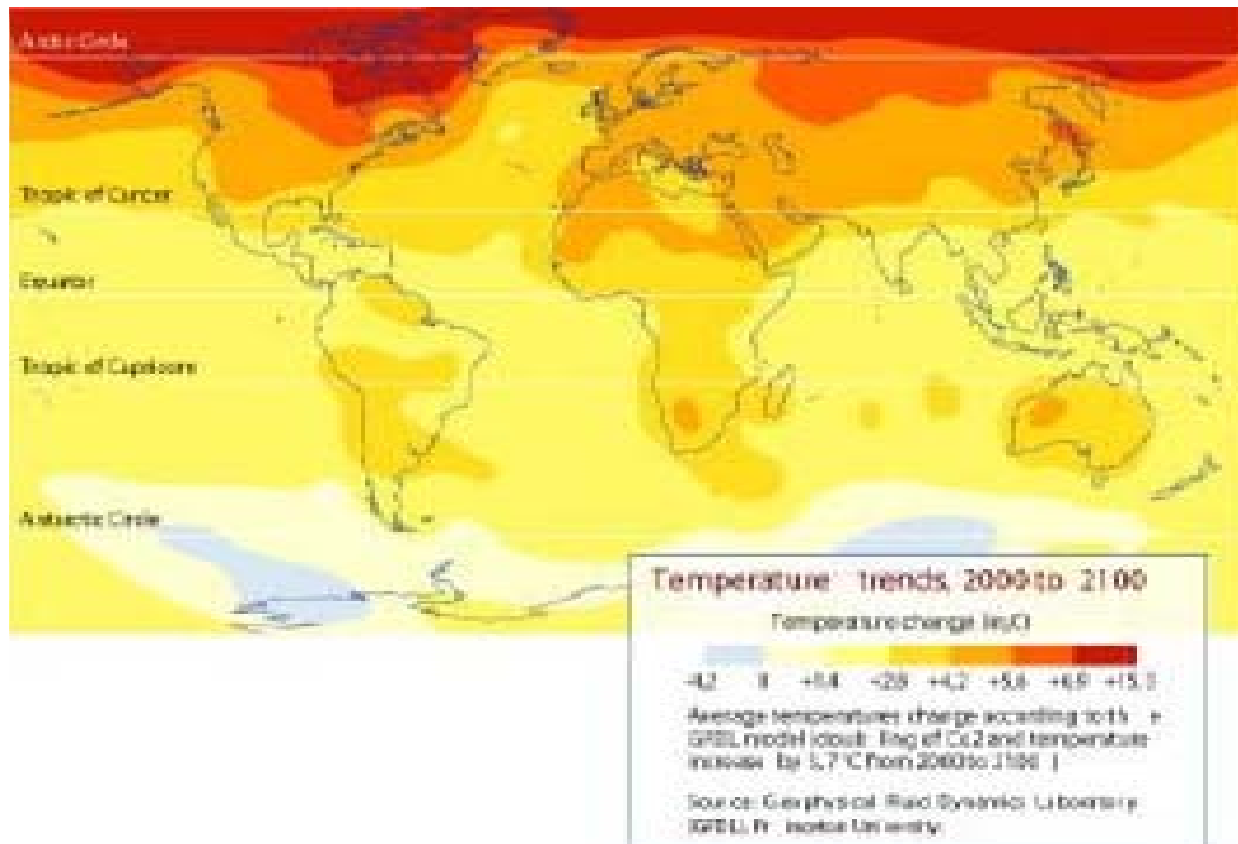
**Cambio relativo en el volumen de escorrentía en el siglo XXI**



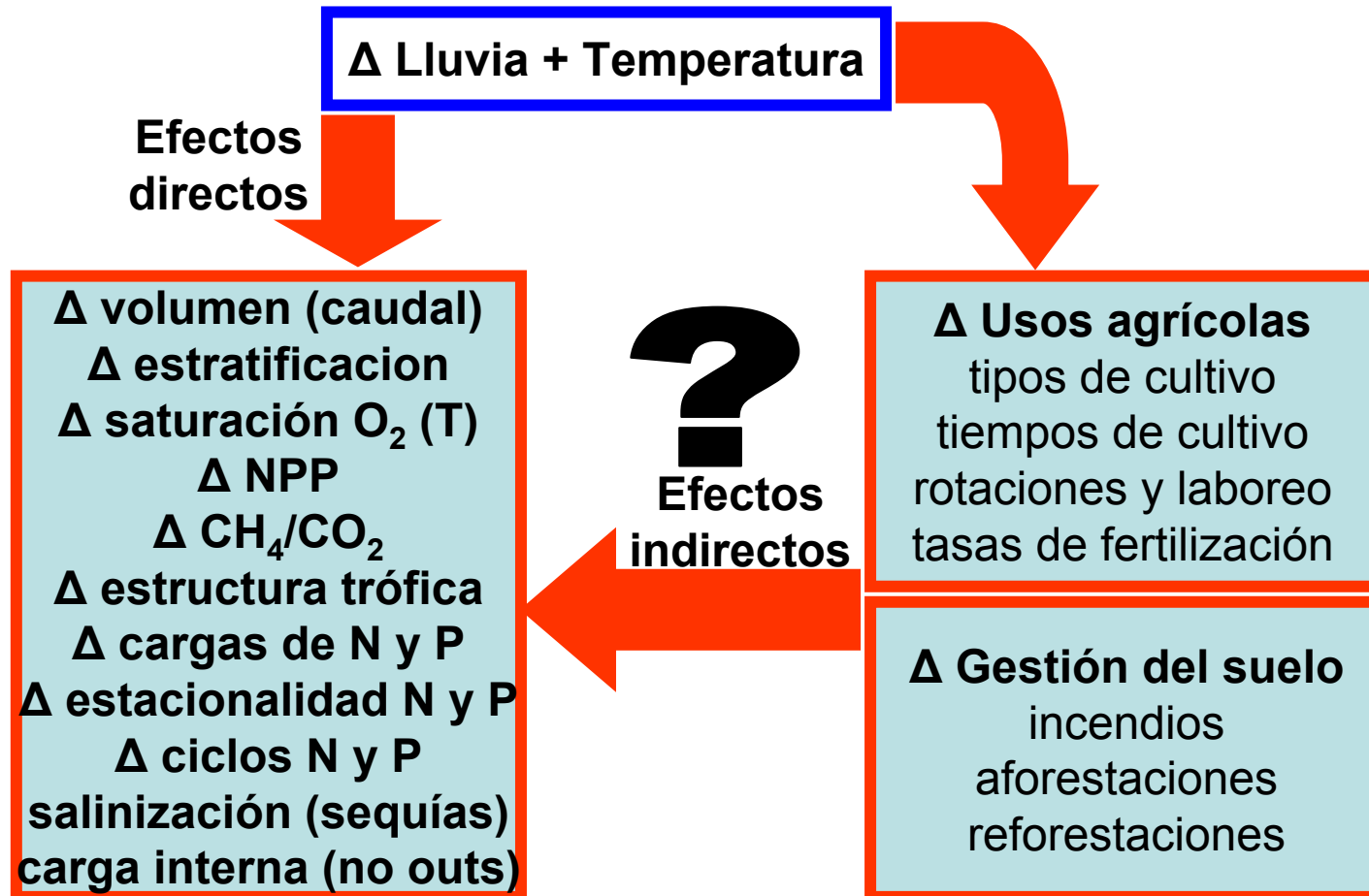
(Milly, Dunne and Vecchia, *Nature*, 2005)

# Cambio global y efectos en biogeoquímica de nutrientes en ríos, lagos y humedales

**1<sup>er</sup> condicionante:  
cambio en el régimen hidrológico y ↑ temperatura**

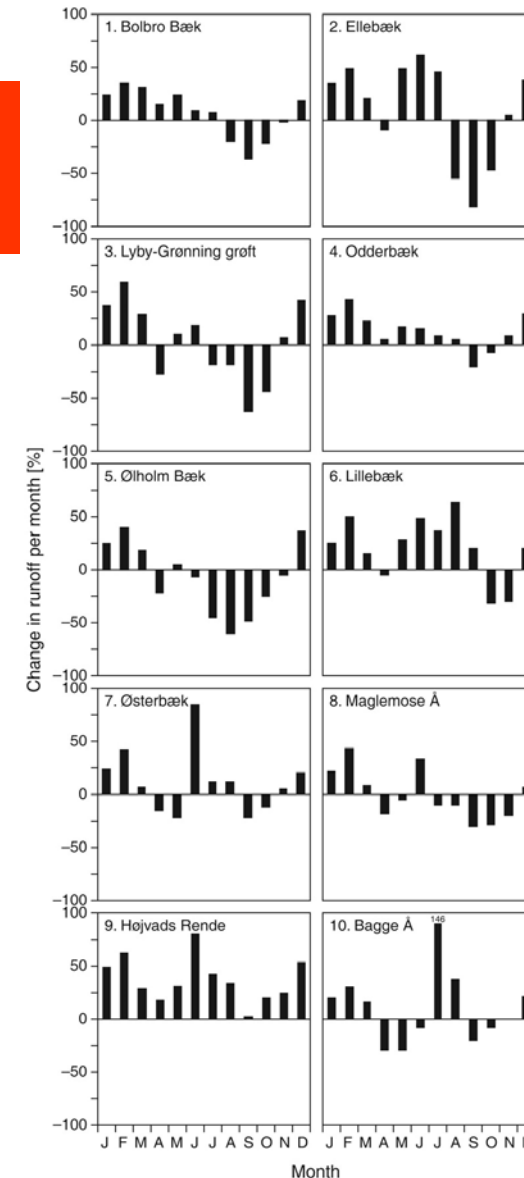
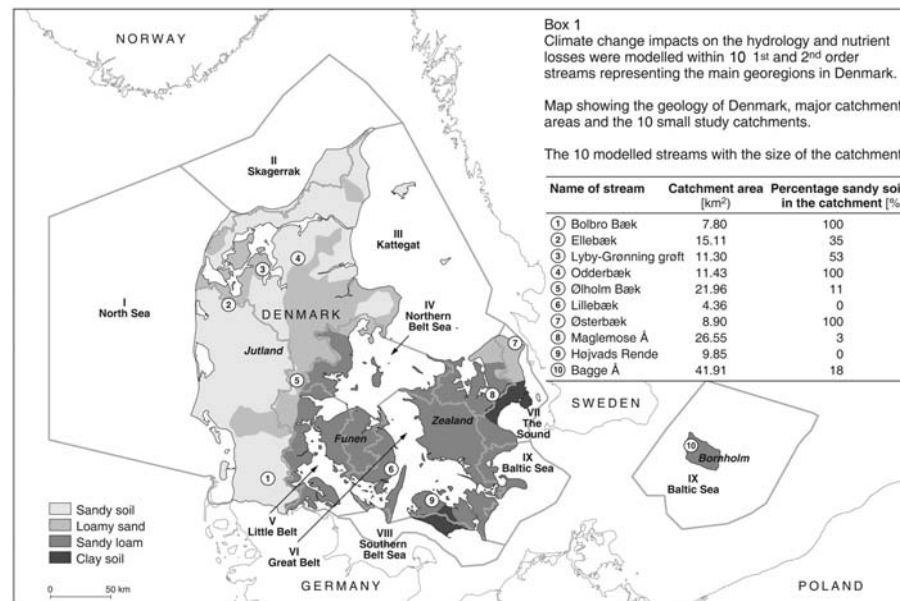


# Cambio global y efectos en biogeoquímica de nutrientes en ríos, lagos y humedales



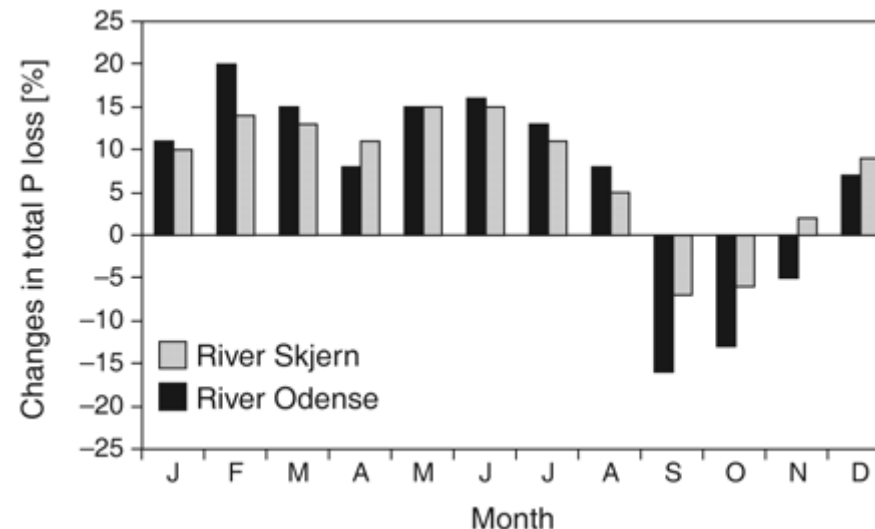
# Cambio global y efectos en biogeoquímica de nutrientes en ríos, lagos y humedales

## Cambios en la escorrentía en 10 cuencas danesas



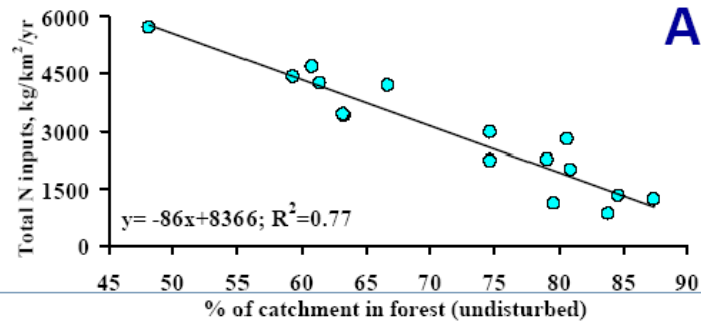
# Cambio global y efectos en biogeoquímica de nutrientes en ríos, lagos y humedales

Cambio en las pérdidas de P desde fuentes difusas a los dos principales ríos daneses

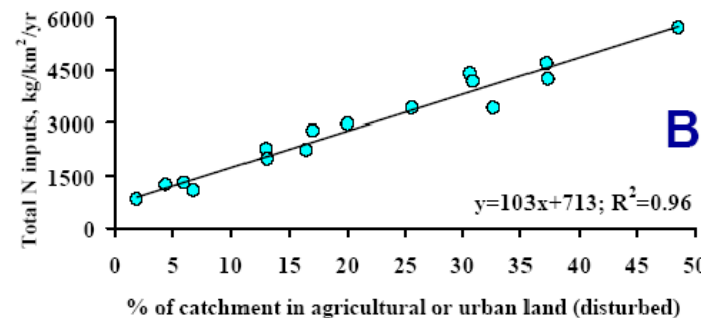


# Cambio global y efectos en biogeoquímica de nutrientes en ríos, lagos y humedales

**N inputs are related to landuse**

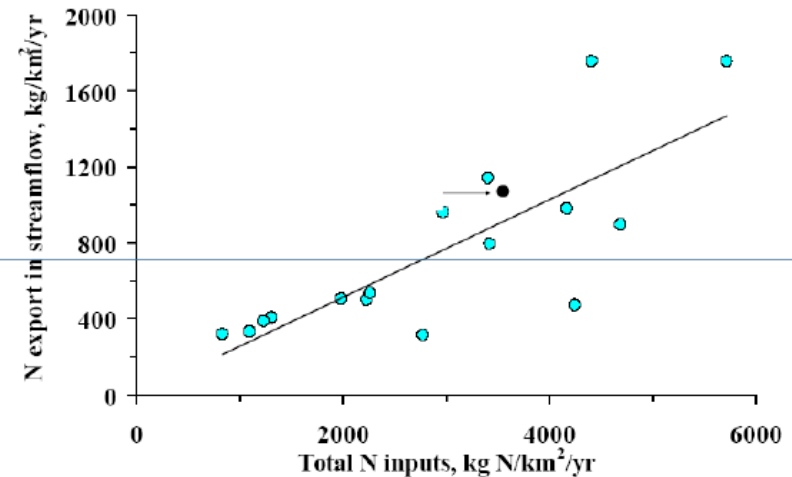


**A**



**B**

**N inputs are related to riverine export**



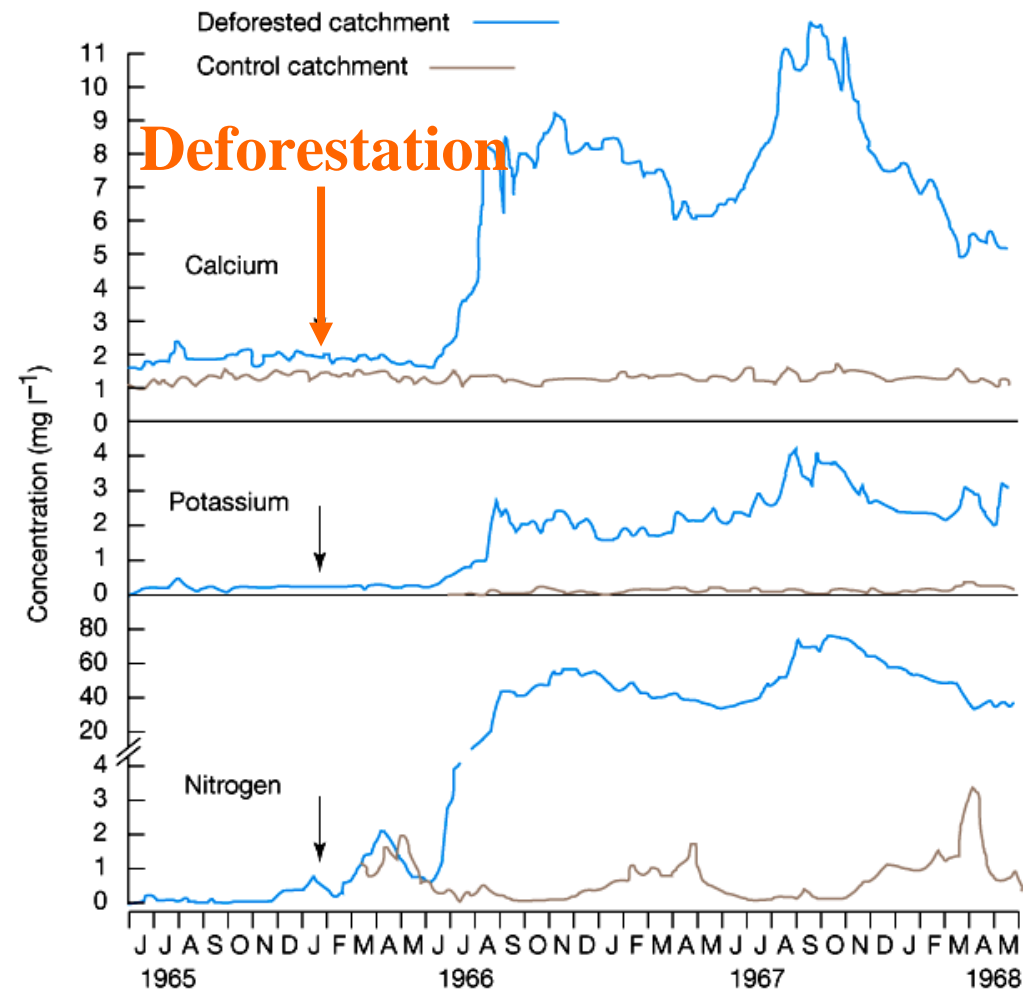
las entradas de nitrógeno en relación con las cantidades de nitrógeno exportadas por los grandes ríos

**A:** relación entre las entradas de nitrógeno total y % de terreno forestal (cuencas no perturbadas)

**B:** relación entre las entradas de nitrógeno total y el % de suelo agrícola o urbano (cuencas perturbadas)

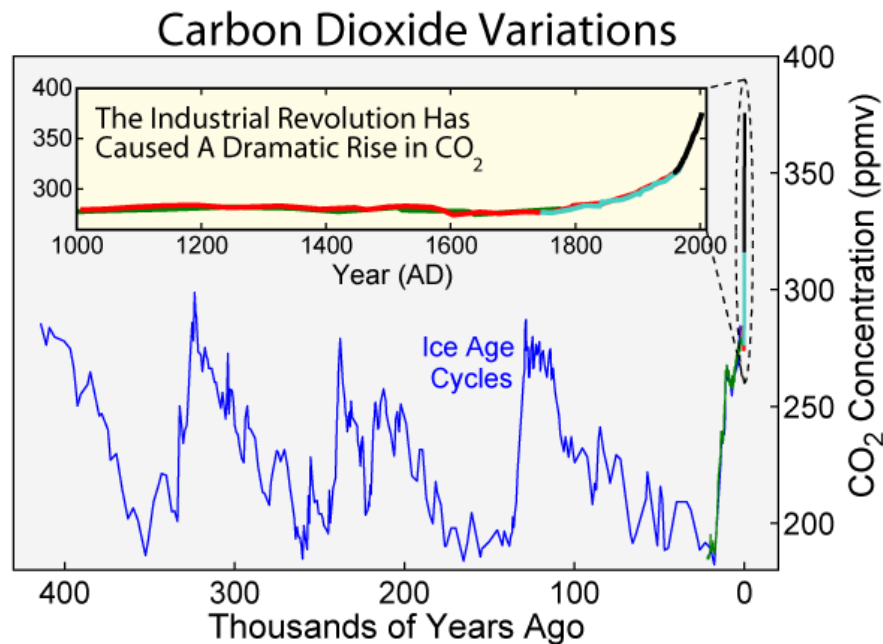
# Cambio global y efectos en los balances de nutrientes en ríos, lagos y humedales

Efecto de la deforestación en la concentración de macronutrientes en el agua a la salida de una cuenca hidrográfica

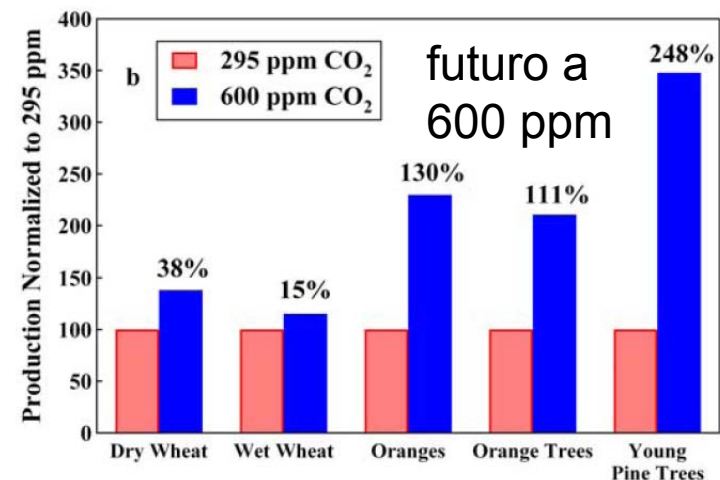
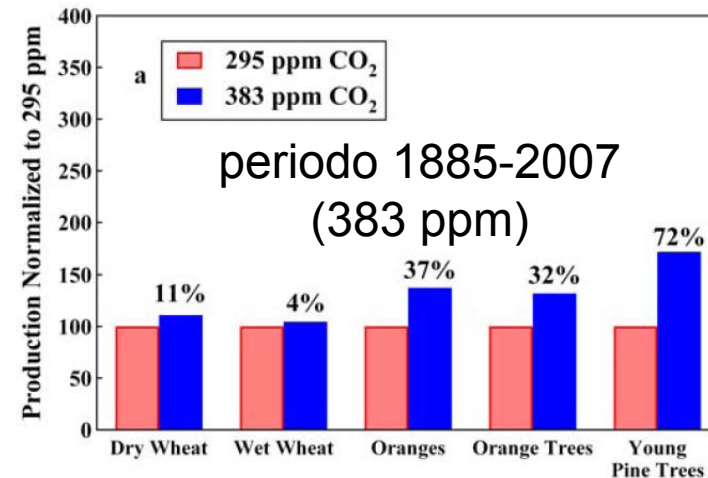


# Cambio global y efectos en los balances de nutrientes en ríos, lagos y humedales

2º condicionante: aumenta CO<sub>2</sub> atmosférico



Efectos en producción vegetal:



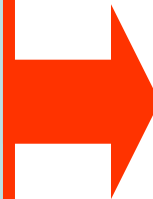


# Cambio global y efectos en los balances de nutrientes en ríos, lagos y humedales

↑ CO<sub>2</sub> atmosférico

Efectos muy poco estudiados en ecosistemas acuáticos (mayoría lab exp)

Producción macrófitos  
Producción fitoplancton  
Ciclo Nitrógeno  
Ciclo Fósforo  
Actividad microbiana  
CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub>



↑ (sólo laboratorio)  
↑ (muy poco estudiada) (M)  
↑ reciclado y ↑ eficiencia (T)  
↑ Activ. fosfatasa (P<sub>org</sub>->P<sub>inorg</sub>) (T)  
↑ (T)  
?

(M): extrapolación de ecosistemas marinos

(T): extrapolación de ecosistemas terrestres (mayormente agrícolas)

mucha más info: <http://www.co2science.org>

# Cambio global y efectos en los balances de nutrientes en ríos, lagos y humedales

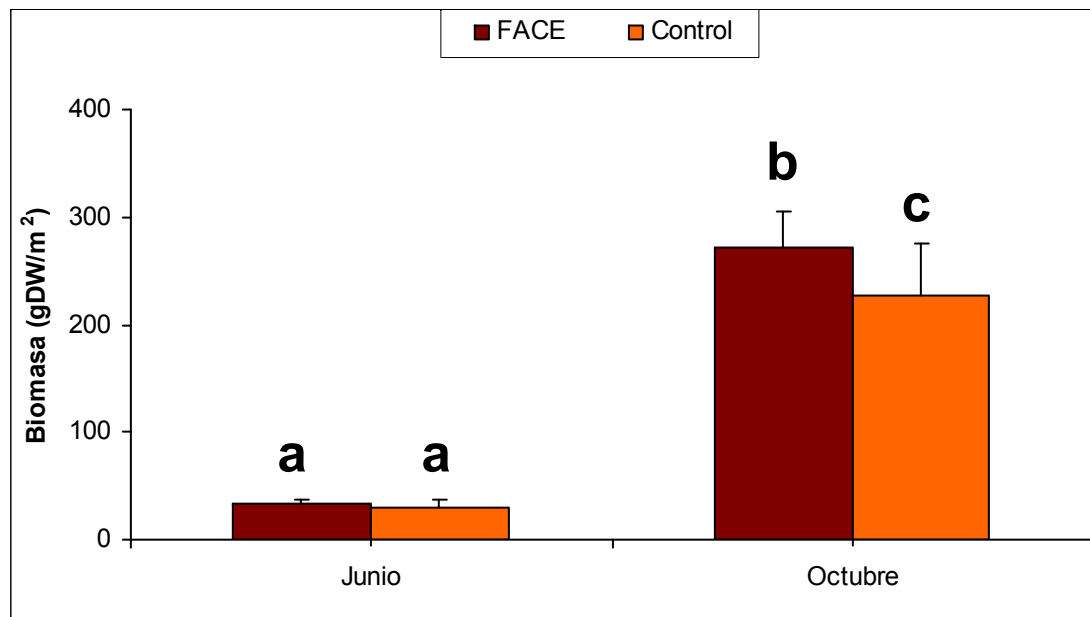
FACE en Las Tablas:  $\uparrow$  CO<sub>2</sub> atmosférico =550 ppm



# Cambio global y efectos en los balances de nutrientes en ríos, lagos y humedales

↑ CO<sub>2</sub> atmosférico

- Biomasa vegetal

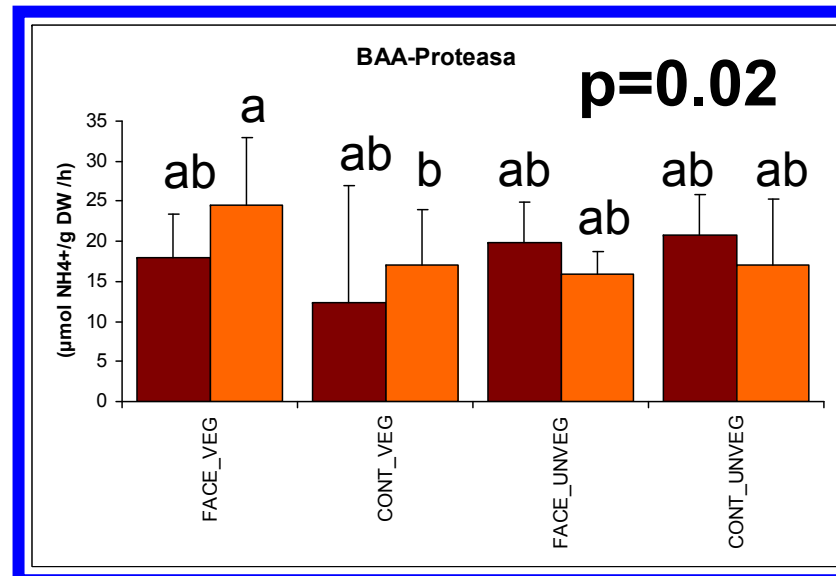
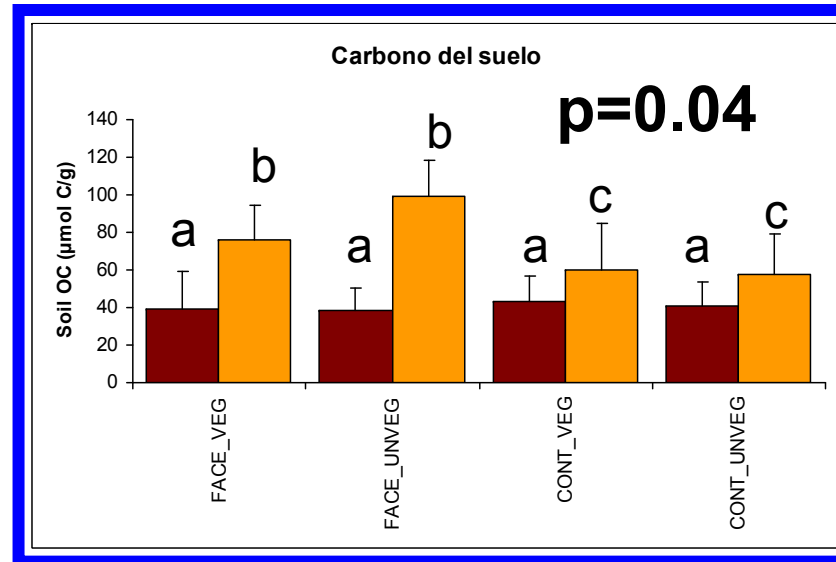
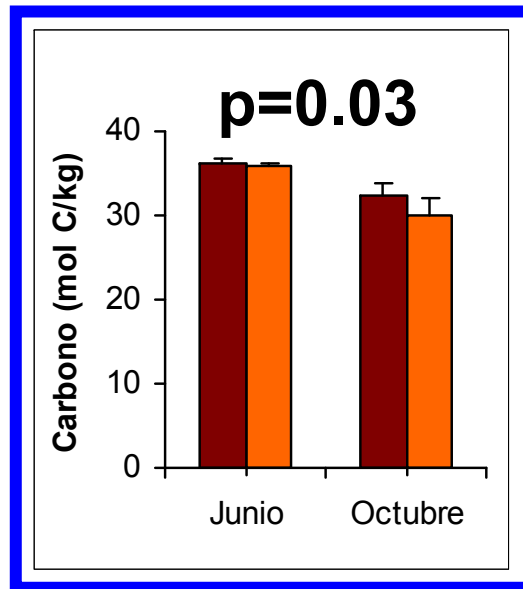


**ANOVA  $F_{4,12}=8.851$ ;  $p<0.001$**

# Cambio global y efectos en los balances de nutrientes en ríos, lagos y humedales

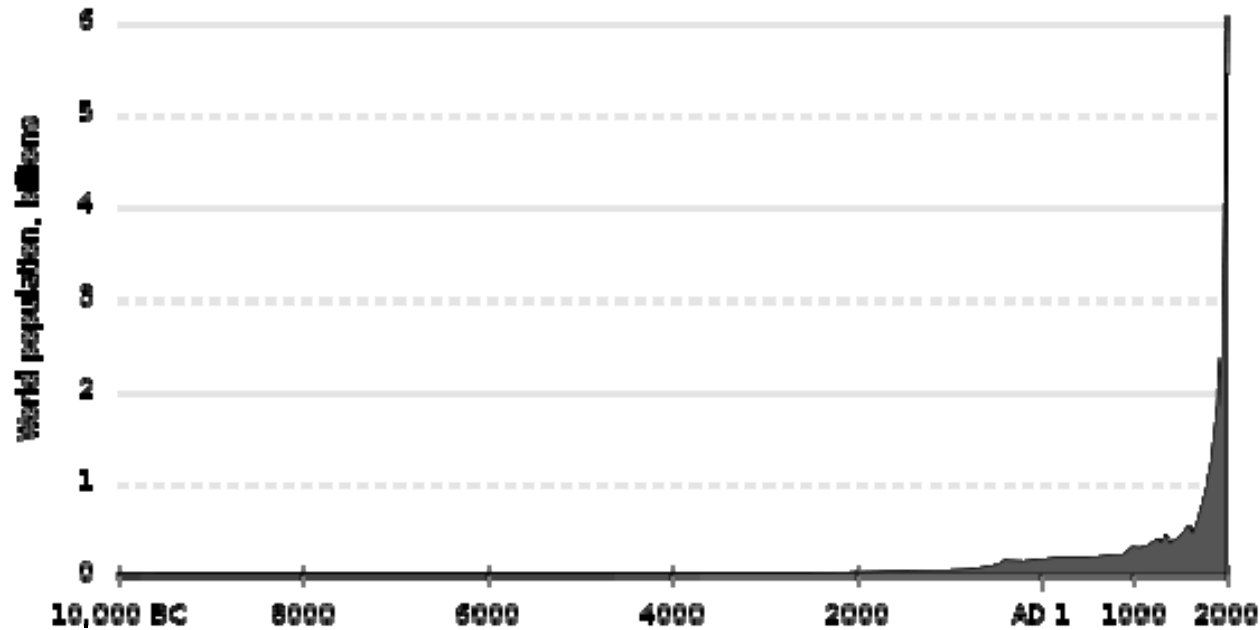
↑ CO<sub>2</sub> atmosférico

C.foliar

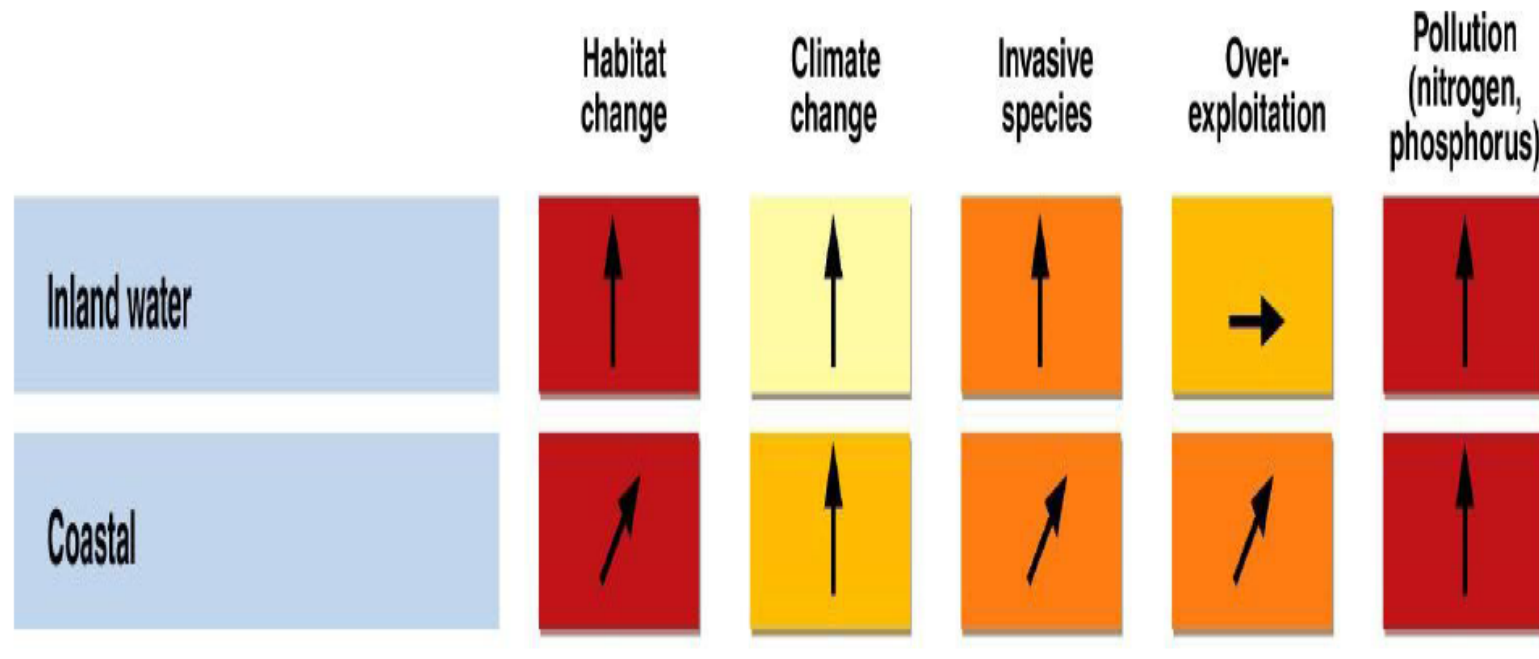


# Cambio global y efectos en los balances de nutrientes en ríos, lagos y humedales

3º condicionante: aumenta población



# Cambio global y efectos en los balances de nutrientes en ríos, lagos y humedales



Driver's impact on biodiversity over the last century

Low  
Moderate  
High  
Very high

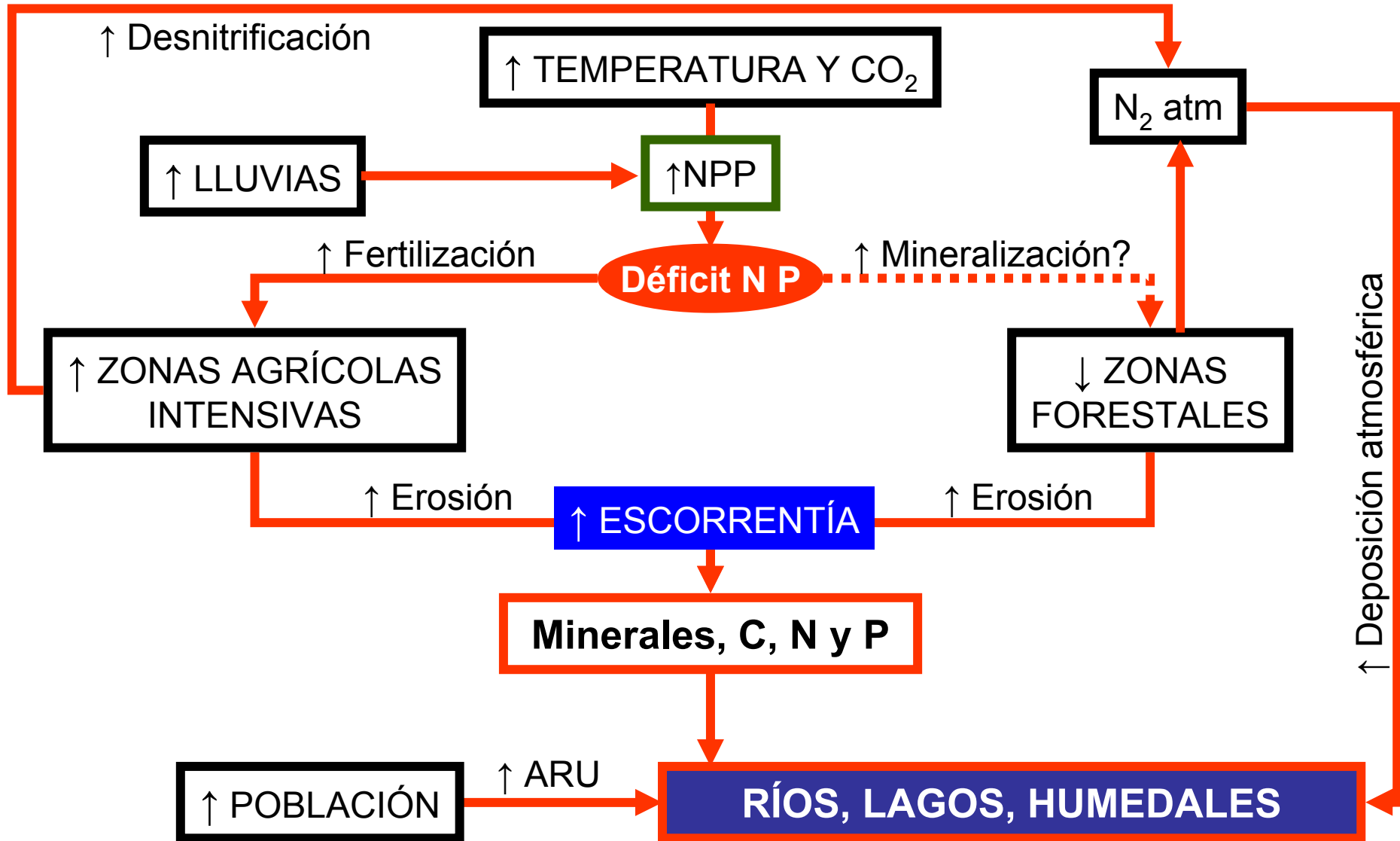
Driver's current trends

Decreasing impact  
Continuing impact  
Increasing impact  
Very rapid increase of the impact

Source: Millennium Ecosystem Assessment

# Cambio global y efectos en balances de nutrientes

## Caso 1 - entradas



# Cambio global y efectos en balances de nutrientes

## Caso 2 - entradas

