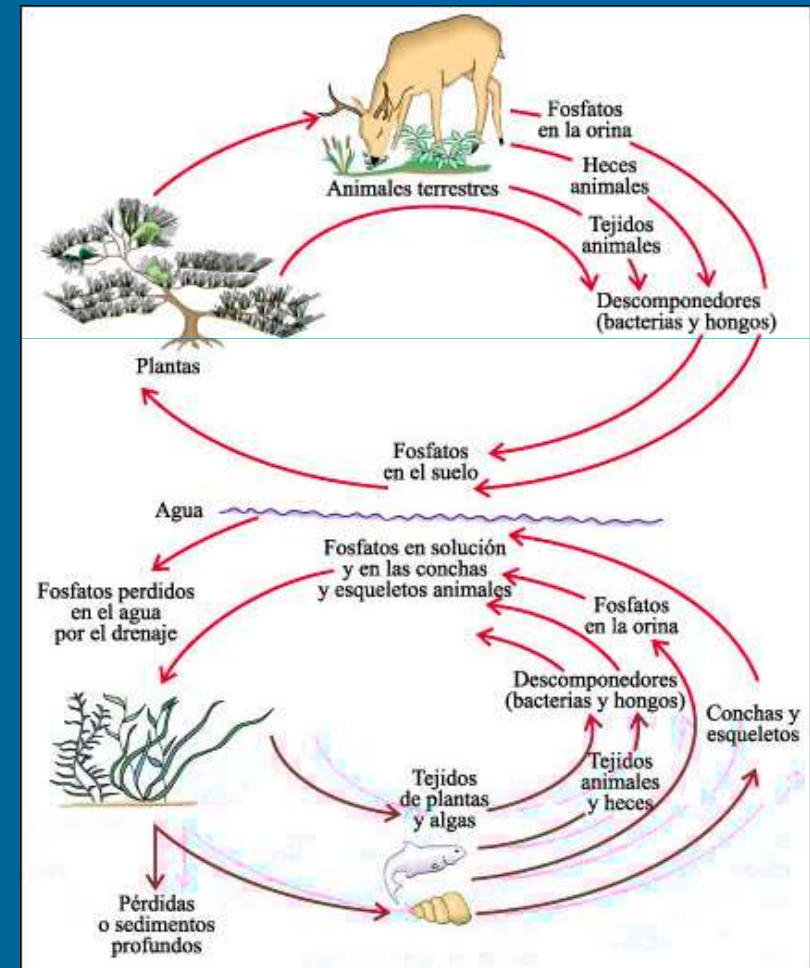


## Lección 5. Los nutrientes: nitrógeno y fósforo

Origen, medidas, distribución espacio-temporal. Ciclos y balances: La espiral de nutrientes. Relación N:P.

Lectura PDF: [Nutrientes](#)



Principales formas en las que se encuentran el nitrógeno y el fósforo en las aguas naturales:

## NITROGENO

$N_2$  gas

Nitrógeno inorgánico disuelto (NID)

- $NO_3^-$  nitrato
- $NO_2^-$  nitrito
- $NH_4^+$  amonio

Nitrógeno orgánico disuelto (NOD)

Nitrógeno orgánico particulado (NOP)

Nitrógeno  
disuelto total  
(NDT)

Nitrógeno total

## FOSFORO

Fósforo inorgánico disuelto (PID)

- $PO_4^{3-}$  ortofosfatos

Fósforo orgánico disuelto (POD)

Fósforo orgánico particulado (POP)

Fósforo inorgánico particulado (PIP)

Fósforo  
disuelto total  
(PDT)

Fósforo total

## FORMAS DEL NITRÓGENO EN EL AGUA

$N_2$  (gas)

$NO_3^-$   $NO_2^-$   $NH_4^+$  (Nitrógeno inorgánico)

$CO(NH_2)_2$  urea (Nitrógeno orgánico)

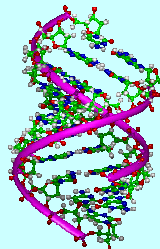
## FORMAS DEL FÓSFORO EN EL AGUA

### Orgánico

Ácidos nucleicos (ADN y ARN)

Enzimas, vitaminas, etc.

Nucleótidos: adenosinas (ADP y ATP)



### Fracciones del fósforo, no metabólicas

#### Fósforo particulado

P de los organismos

P adsorbido a complejos inorgánicos

P adsorbido a materia orgánica muerta

### Inorgánico

$PO_4^{3-}$  ortofosfato

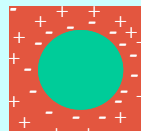
#### Fósforo inorgánico disuelto

$PO_4^{3-}$  (ortofosfato)

Polifosfatos de los detergentes sintéticos



P combinado con coloides

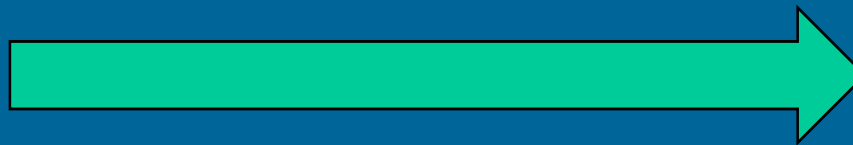


El nitrógeno se presenta en varios estados según su grado de oxidación.

Estados múltiples del N

-3	0	+3	+5
$\text{NH}_4^+$	$\text{N}_2$	$\text{NO}_2^-$	$\text{NO}_3^-$
Nitrógeno orgánico Amonio	Gas	Nitrito	Nitrato

reducido



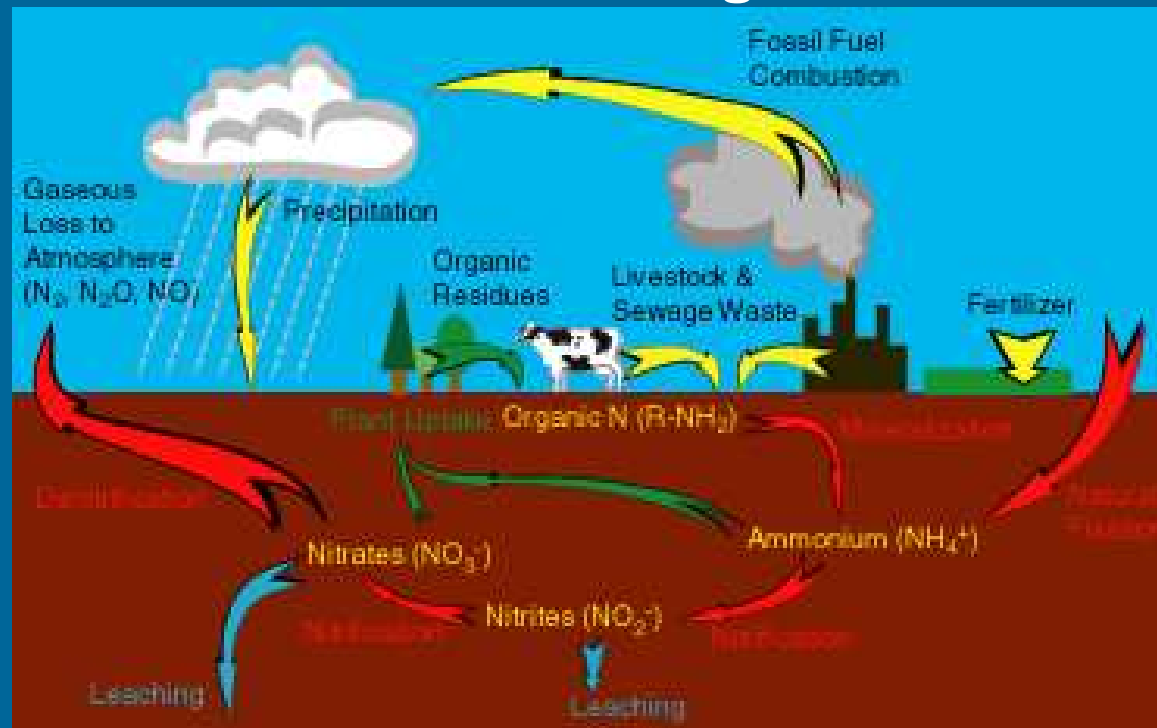
oxidado

<http://www.cst.cmich.edu/centers/mwrc/nitrogen.htm#The%20Nitrogen%20Cycle>

[http://www.visionlearning.com/library/module\\_viewer.php?mid=98&l=s&c3=](http://www.visionlearning.com/library/module_viewer.php?mid=98&l=s&c3=)

[http://users.rcn.com/jkimball.ma.ultranet/BiologyPages/N/NitrogenCycle.html#Nitrogen\\_Fixation](http://users.rcn.com/jkimball.ma.ultranet/BiologyPages/N/NitrogenCycle.html#Nitrogen_Fixation)

## ciclo del nitrógeno



<http://www.visionlearning.com/library/modules/mid98/Image/VLObject-2068-030815020825.jpg>

## FUENTES DE NITRÓGENO

### 1. Por precipitación



$N_2$  disuelto

Ácido nítrico

$NH_4^+$

$NO_3^-$

$NH_4^+$  adsorbido a la materia orgánica

### 2. Por escorrentía superficial y por agua subterránea

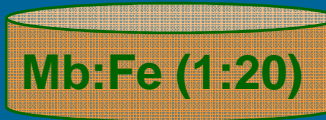
$NO_3^-$  escorrentía superficial

$NH_4^+$  producto final descomposición de materia orgánica

$NH_4^+ \longrightarrow NO_2^- \longrightarrow NO_3^-$

**3. Por fijación de N<sub>2</sub> atmosférico**

(en el agua y/o en el sedimento)



Cianofíceas (con heterocistes y nitrogenasa)

*Nostoc* sp.

*Anabaena* sp.

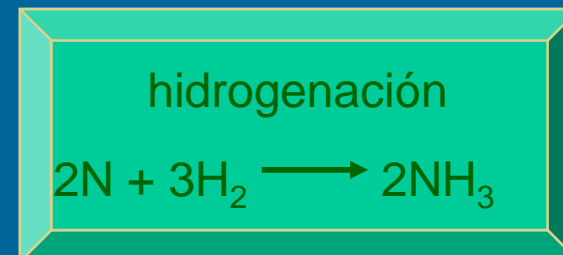
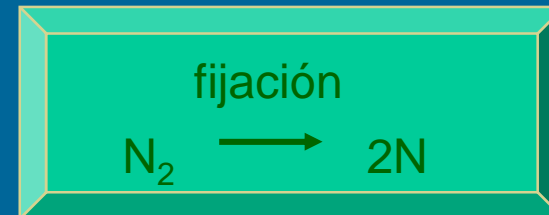
Bacterias (enzimas que reducen el O<sub>2</sub>)

Actúa en ausencia de O<sub>2</sub>

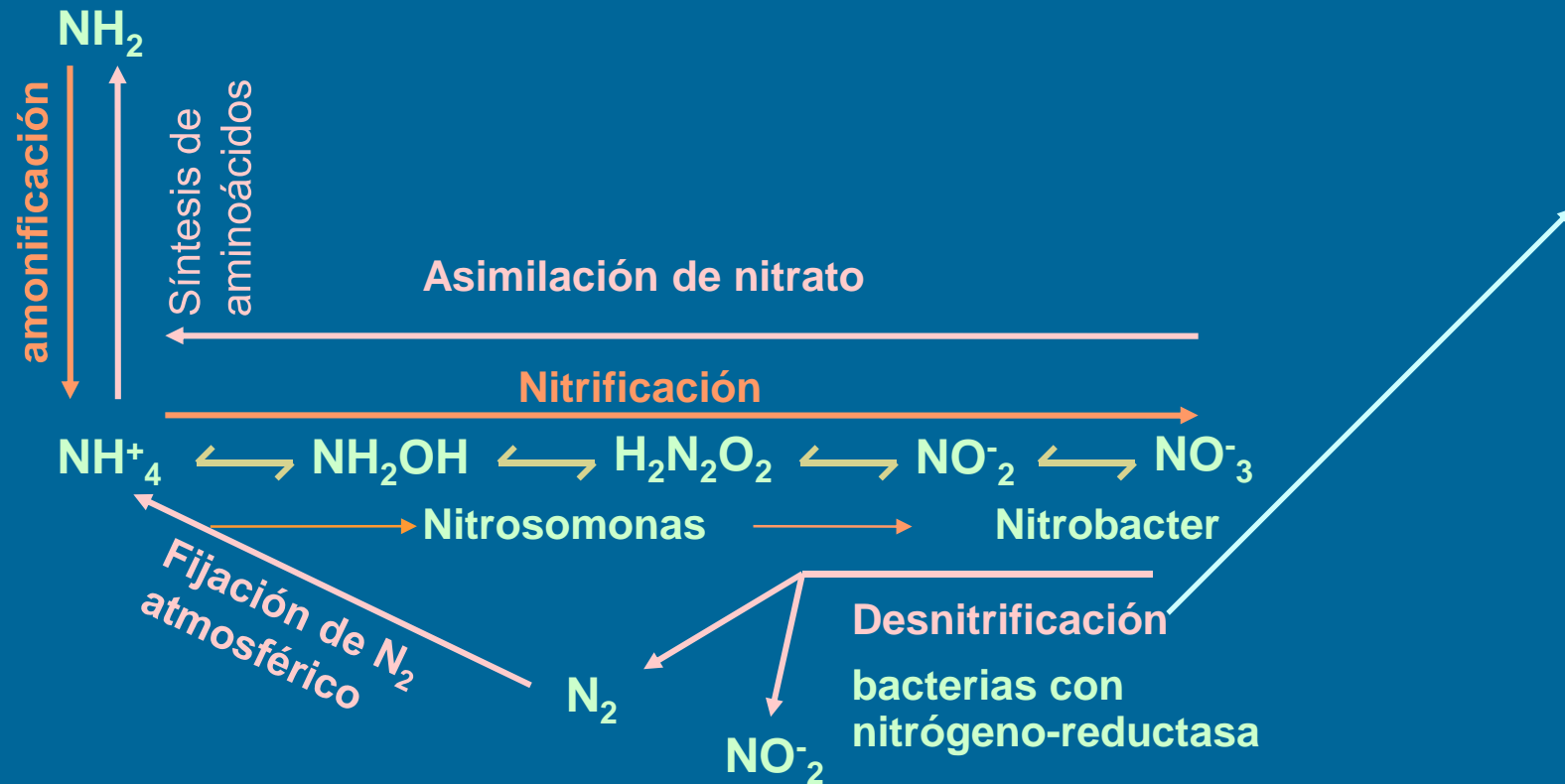
Los compuestos de N en el agua inactivan la enzima

En zonas anaerobias (hipolimnion)

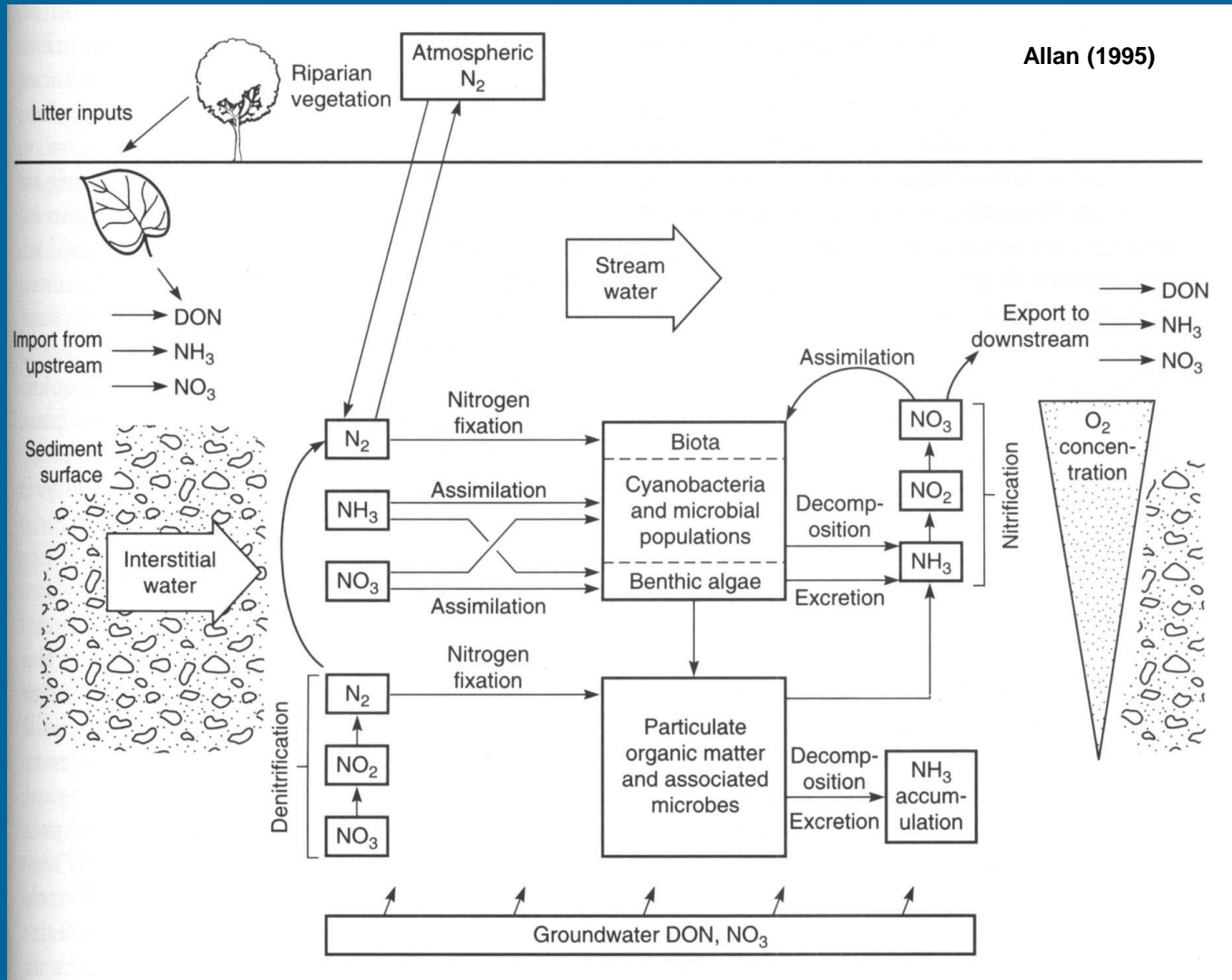
*Bacterias fijadoras de N<sub>2</sub> atmosférico*



Reacciones bioquímicas que explican la distribución de los compuestos del nitrógeno en el agua



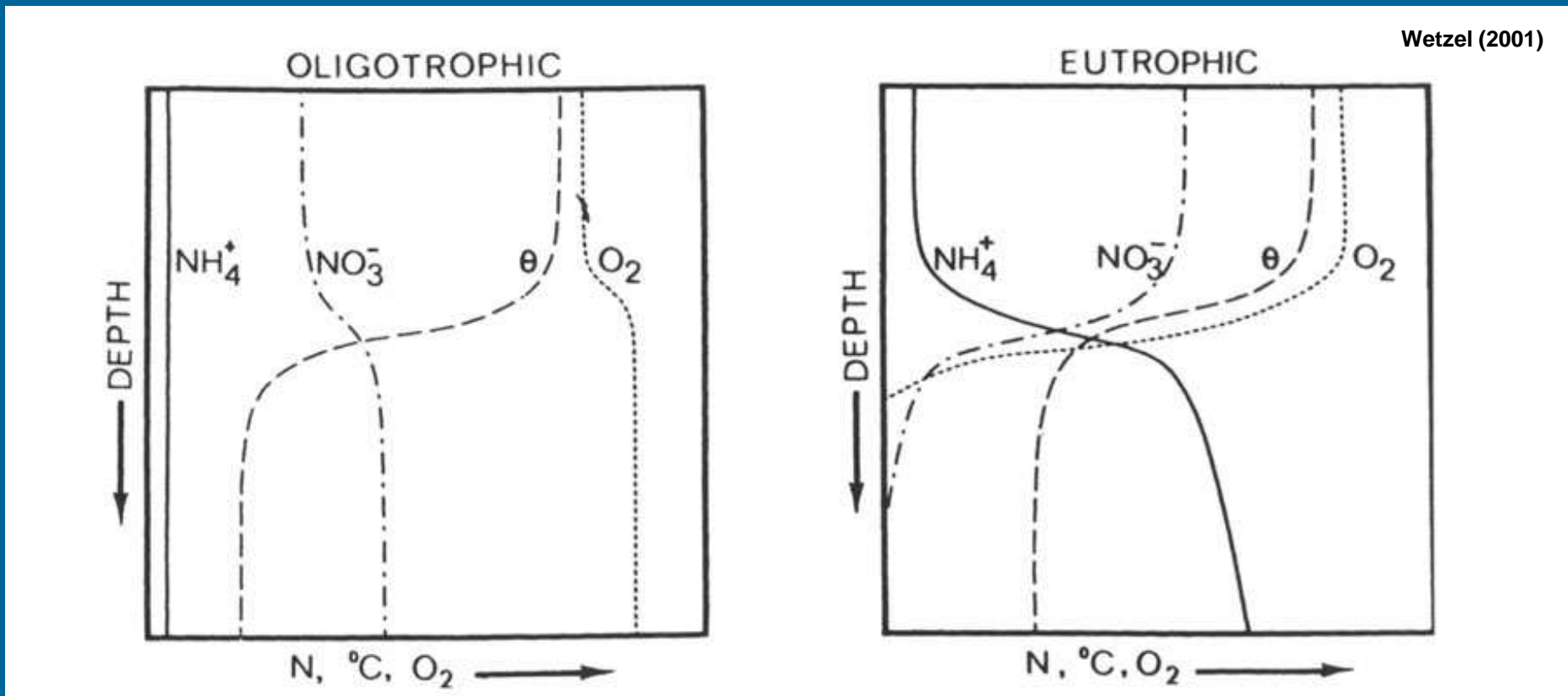




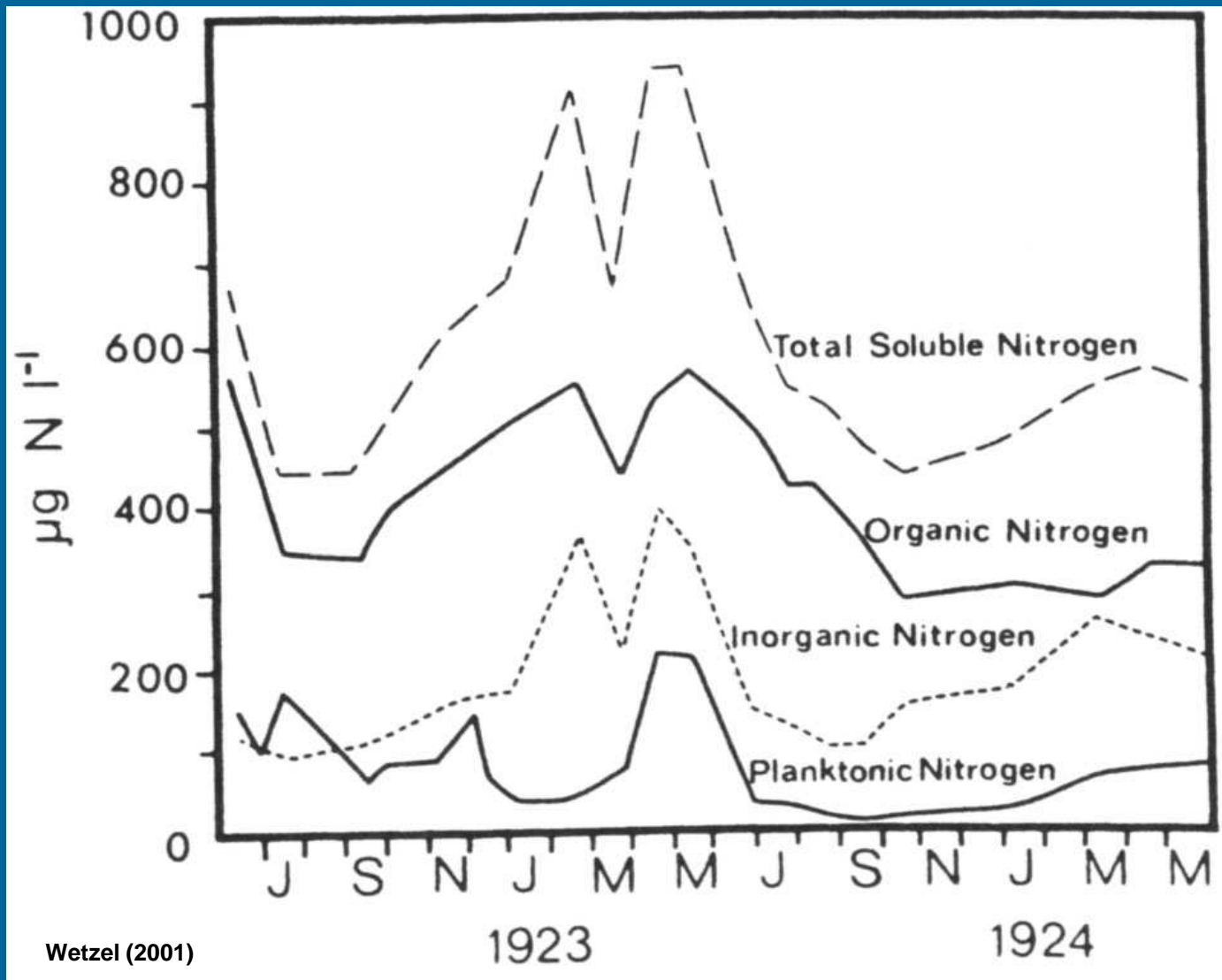
**Dinámica y transformaciones del nitrógeno en ríos.** El nitrógeno inorgánico disponible, está en forma de nitrato y amonio, el cual puede ser asimilado por los organismos acuáticos directamente. La excreción, la descomposición y la producción de exudados son las principales vías por la cual los elementos son reciclados a un estado inorgánico. Varias transformaciones realizadas por las bacterias añaden complejidad al ciclo del nitrógeno. Las cianobacterias y otros organismos son capaces de realizar la fijación de nitrógeno, transformando N<sub>2</sub> gas en amonio. La nitrificación, que tiene lugar bajo condiciones de aerobiosis y la desnitrificación que tiene lugar bajo condiciones anaerobias, influyen en la cantidad y disponibilidad del nitrógeno inorgánico disuelto.

**DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LAS FORMAS DE NITRÓGENO**

**Dependientes de la intensidad de descomposición de la materia orgánica**

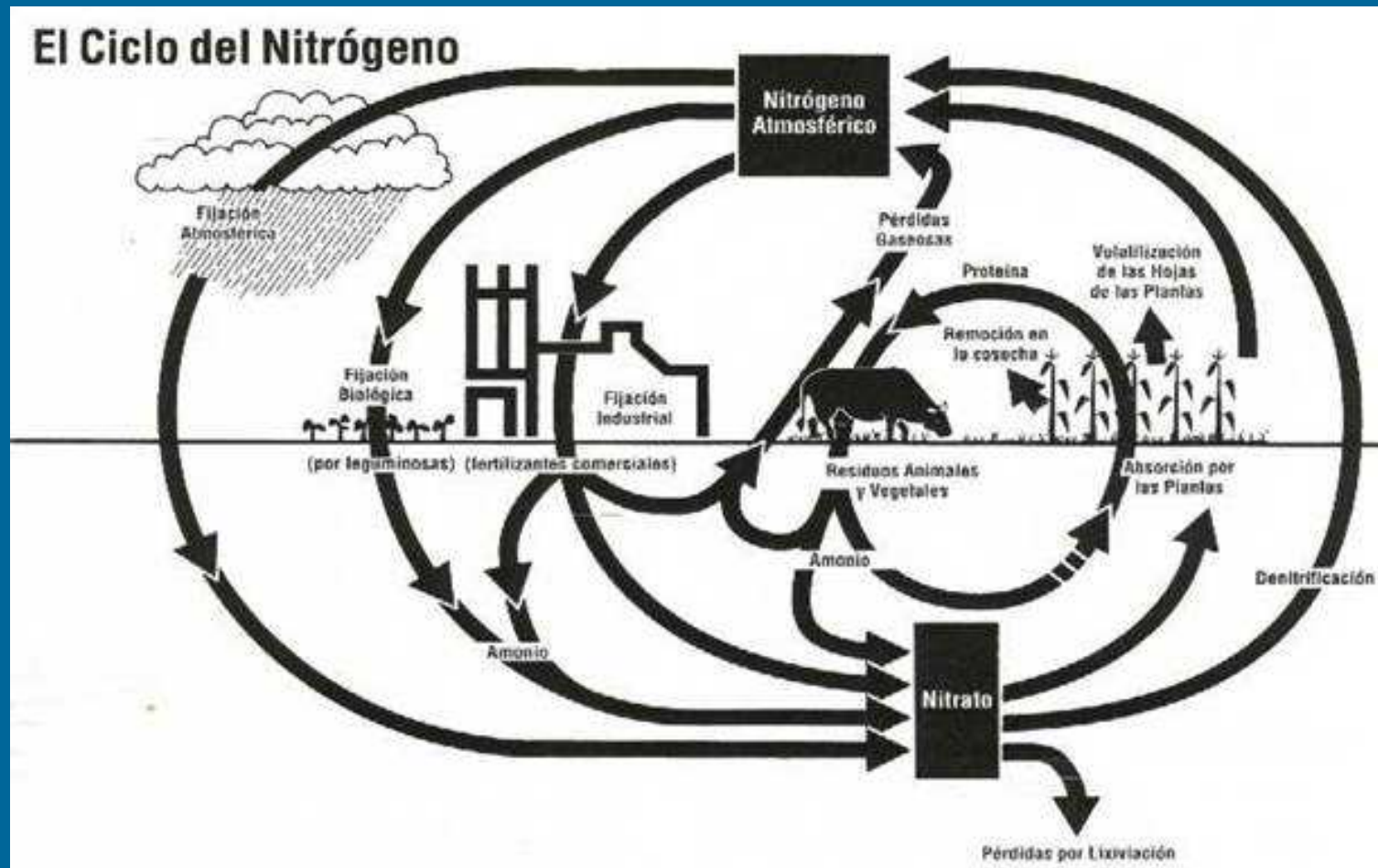


Esquema de la distribución vertical del amonio y nitrato en dos lagos estratificados, uno con muy baja producción (oligotrófico), el otro con alta producción (eutrófico).



Distribución estacional de las distintas formas de nitrógeno en el Lago Mendota (Wisconsin). En otoño se detectan los valores más bajos de nitrógeno que se incrementa en primavera y principios de verano cuando se alcanzan los máximos.

Las alteraciones humanas el ciclo del nitrógeno aceleran la velocidad de fijación en los paisajes y liberan nitrógeno a los ecosistemas acuáticos. Muchos de estos aportes proceden de los fertilizantes, la combustión de energías fósiles y el cultivo de leguminosas.

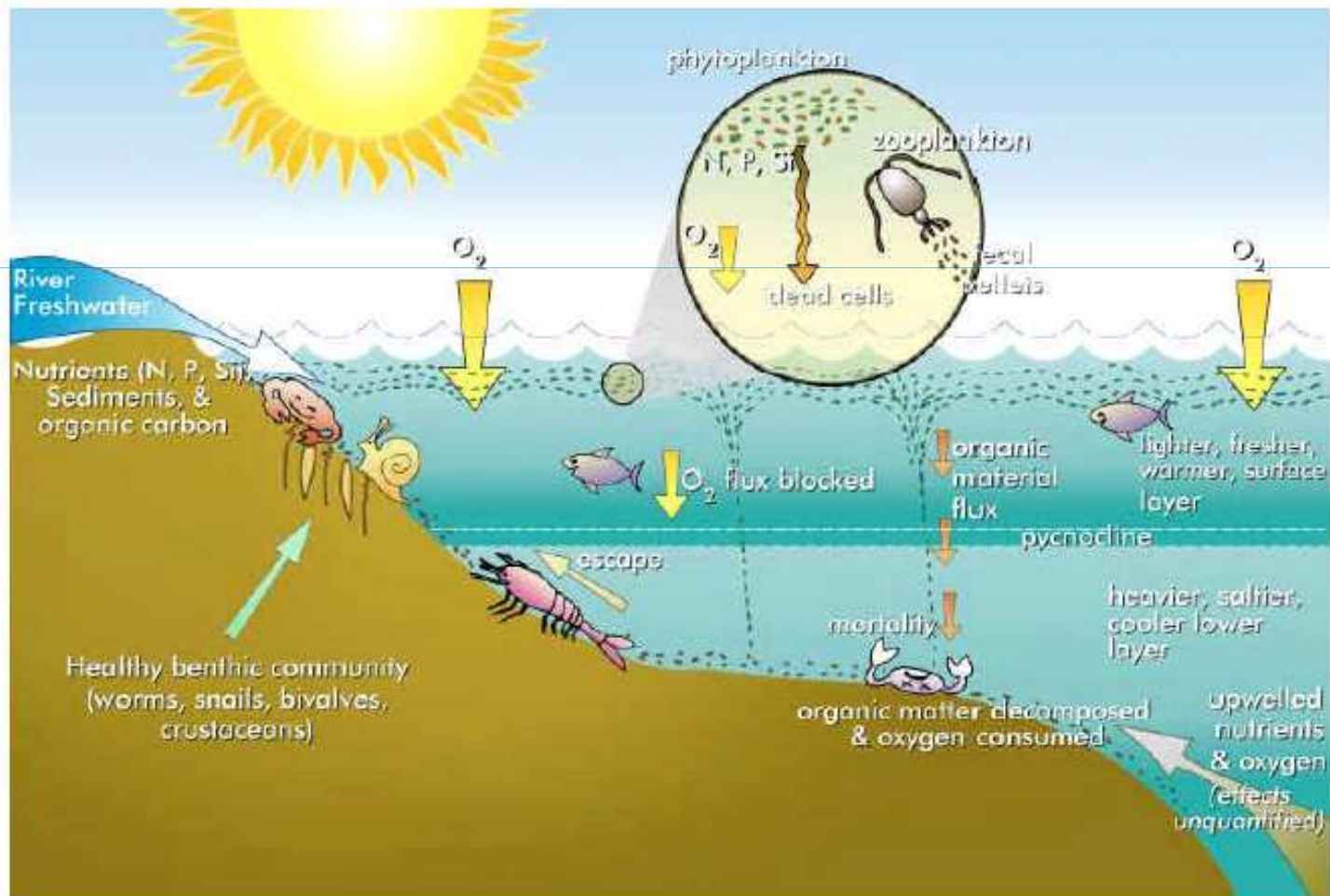




Una de las consecuencias es la eutrofización de los ecosistemas acuáticos.

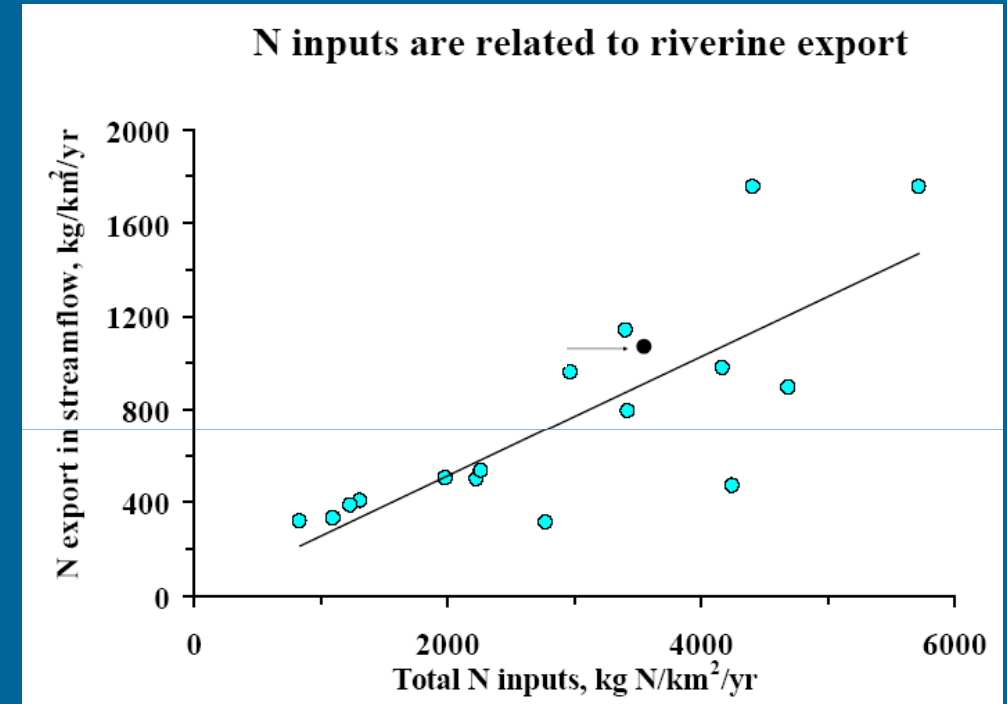
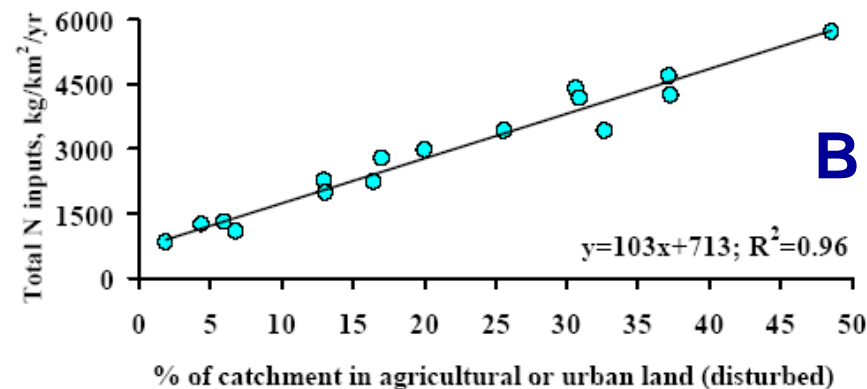
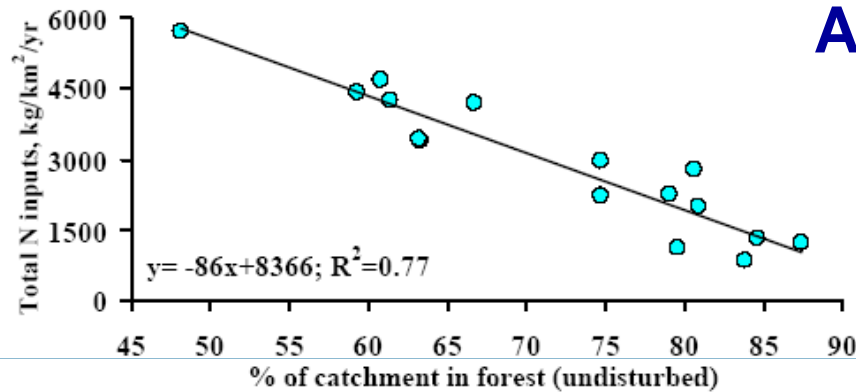
<http://www1.ceit.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgua/150Eutro.htm>

## Eutrophication



Las entradas de nitrógeno en los ecosistemas acuáticos está relacionada con los usos del suelo

**N inputs are related to landuse**



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

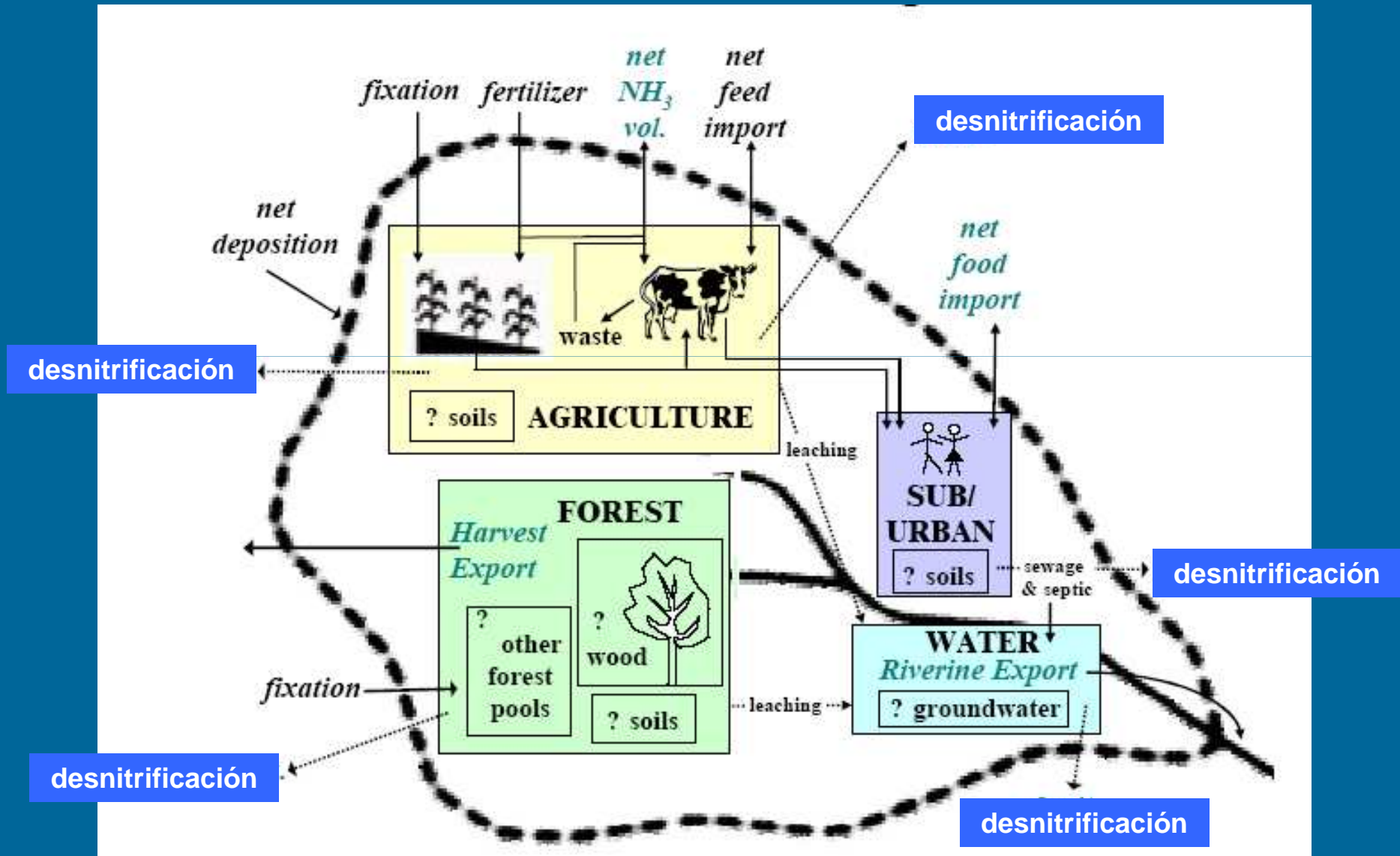
A: relación entre las entradas de nitrógeno total y % de terreno forestal (cuencas no perturbadas)

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

## PÉRDIDAS DE NITRÓGENO

- enterramiento de organismos en el sedimento
- Desnitrificación (pérdida en la atmósfera)
- $\text{NH}_4^+$  se volatiliza a pH alto
- N orgánico adsorbido en los sedimentos

Esquema representando las fuentes, almacenaje y pérdidas de nitrógeno en una cuenca de drenaje



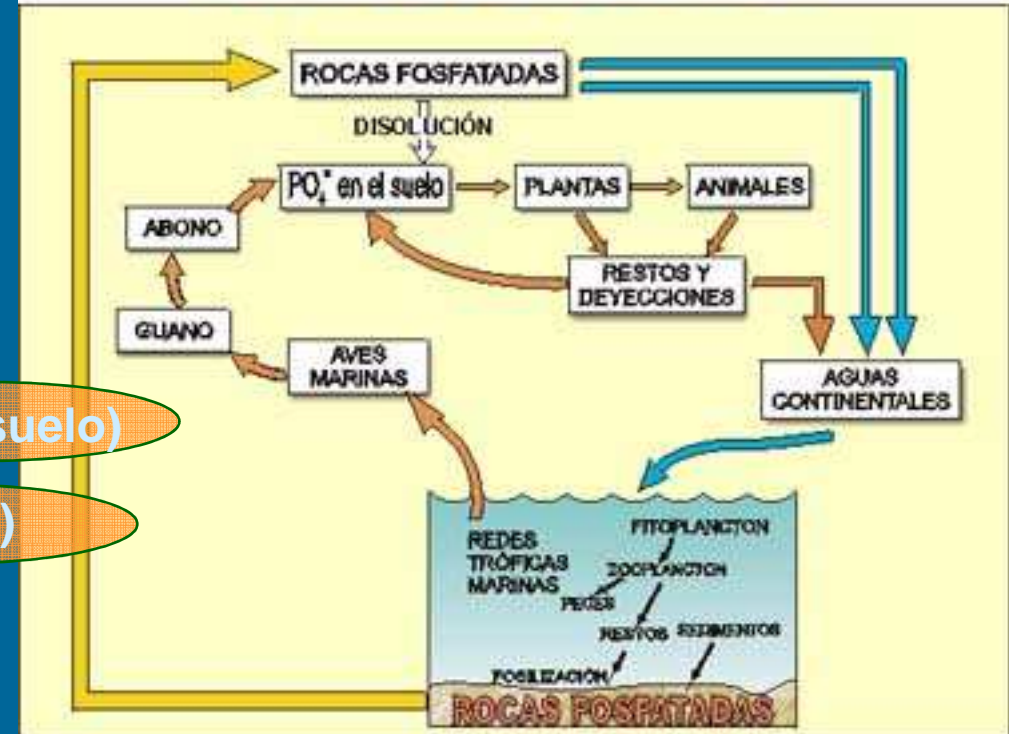


## FUENTES DE FÓSFORO

1. Por precipitación (escaso)
2. Por drenaje superficial (riadas, usos del suelo)
3. Por drenaje subterráneo (adsorción del P)

<http://www.enviroliteracy.org/article.php/480.html>

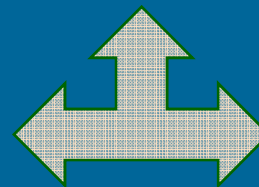
## CICLO DEL FÓSFORO



Extraído: <http://www.cadic.gov.ar/2007web/daniel/ciclo%20fosforo.JPG>

La concentración de P es proporcional a la densidad de población

Vertidos de procesado de alimentos



Detergentes

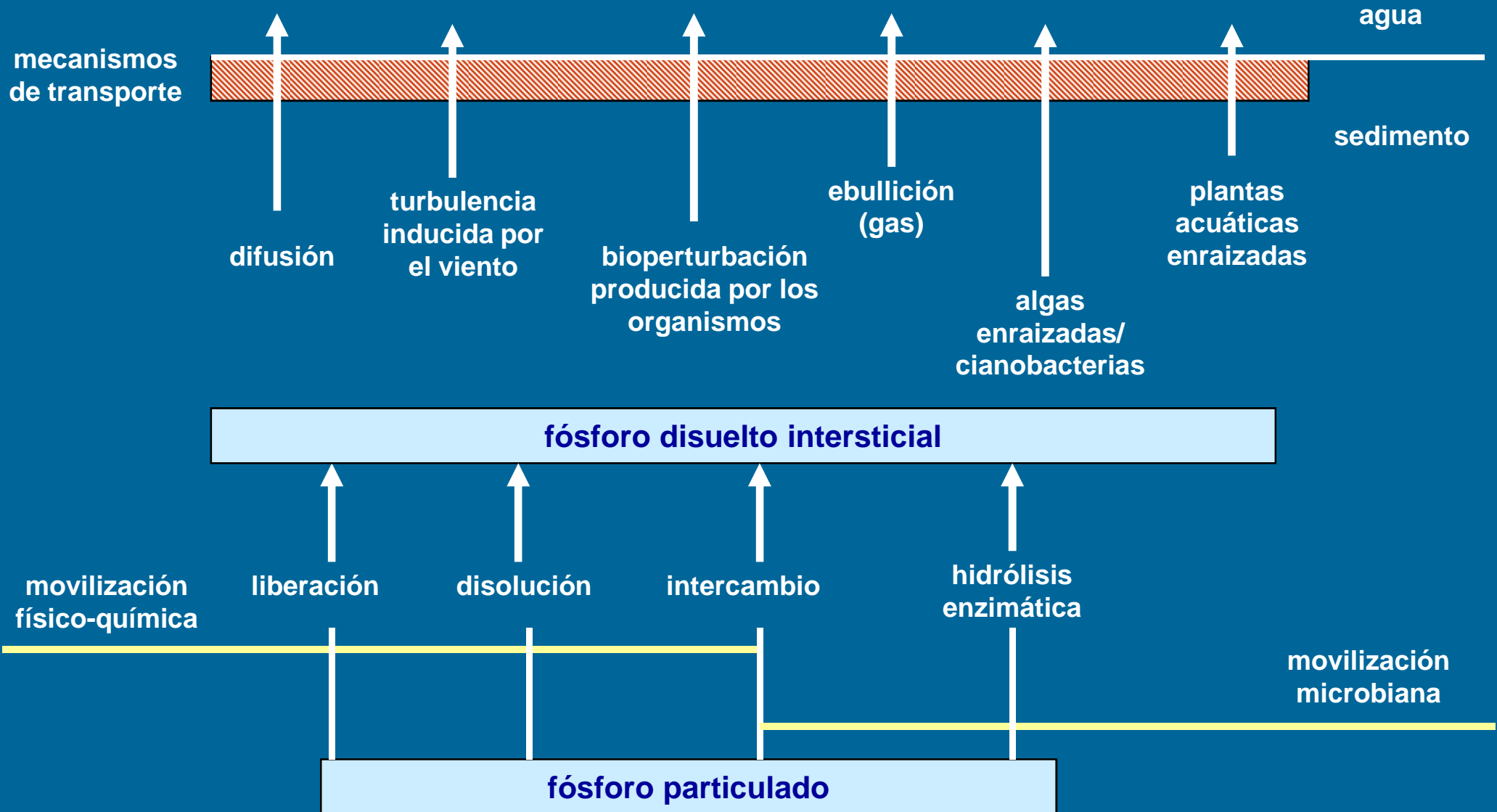
## PÉRDIDAS DE FÓSFORO

- **Sedimentación de P inorgánico**  
en parte, reciclado por detritívoros

- **Precipitación química (acumulación en sedimentos)**

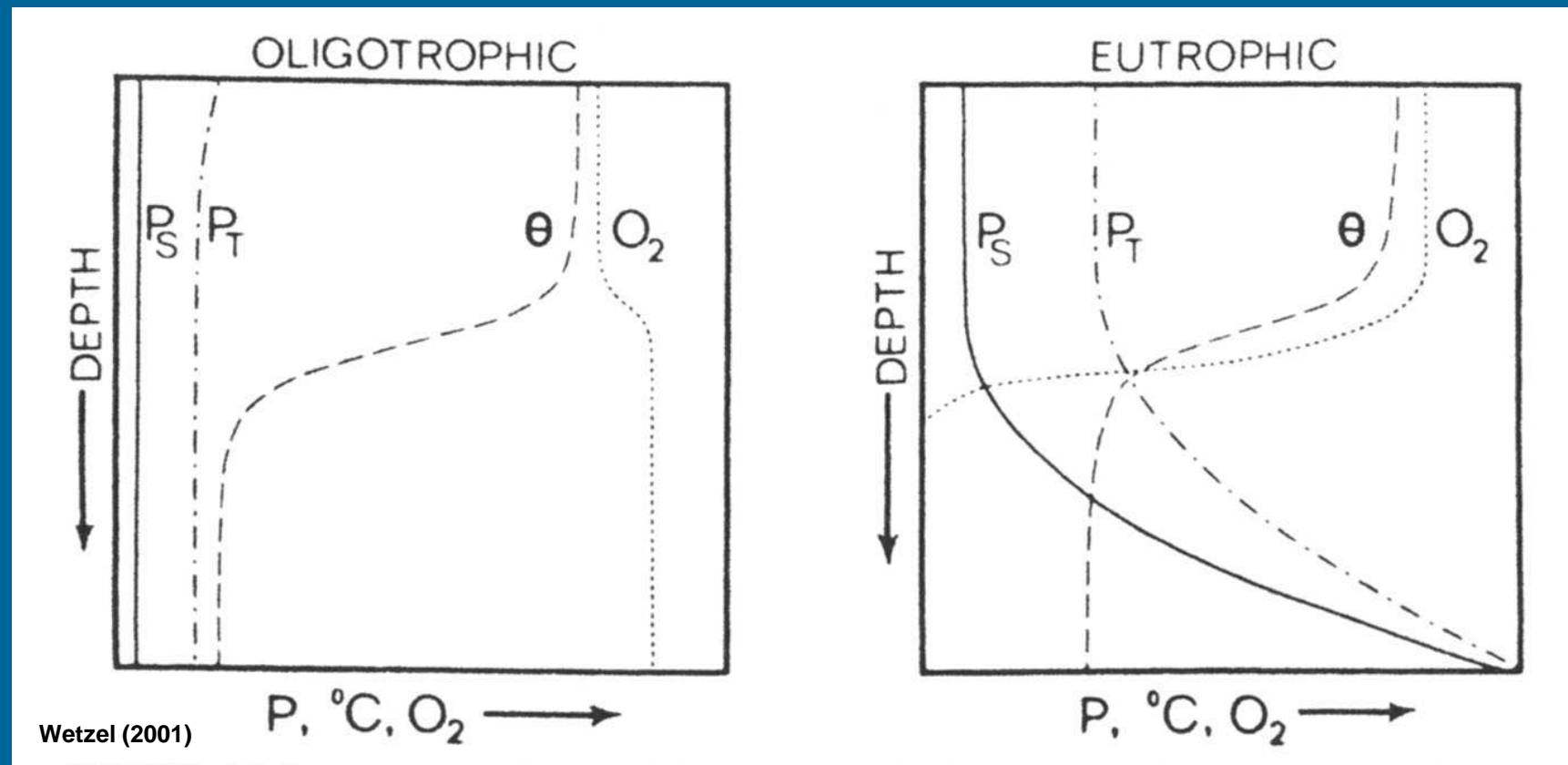


Procesos implicados en la movilización del fósforo desde la fase particulada a la disuelta en el agua intersticial del sedimento y transporte desde la interfase agua-sedimento al agua libre



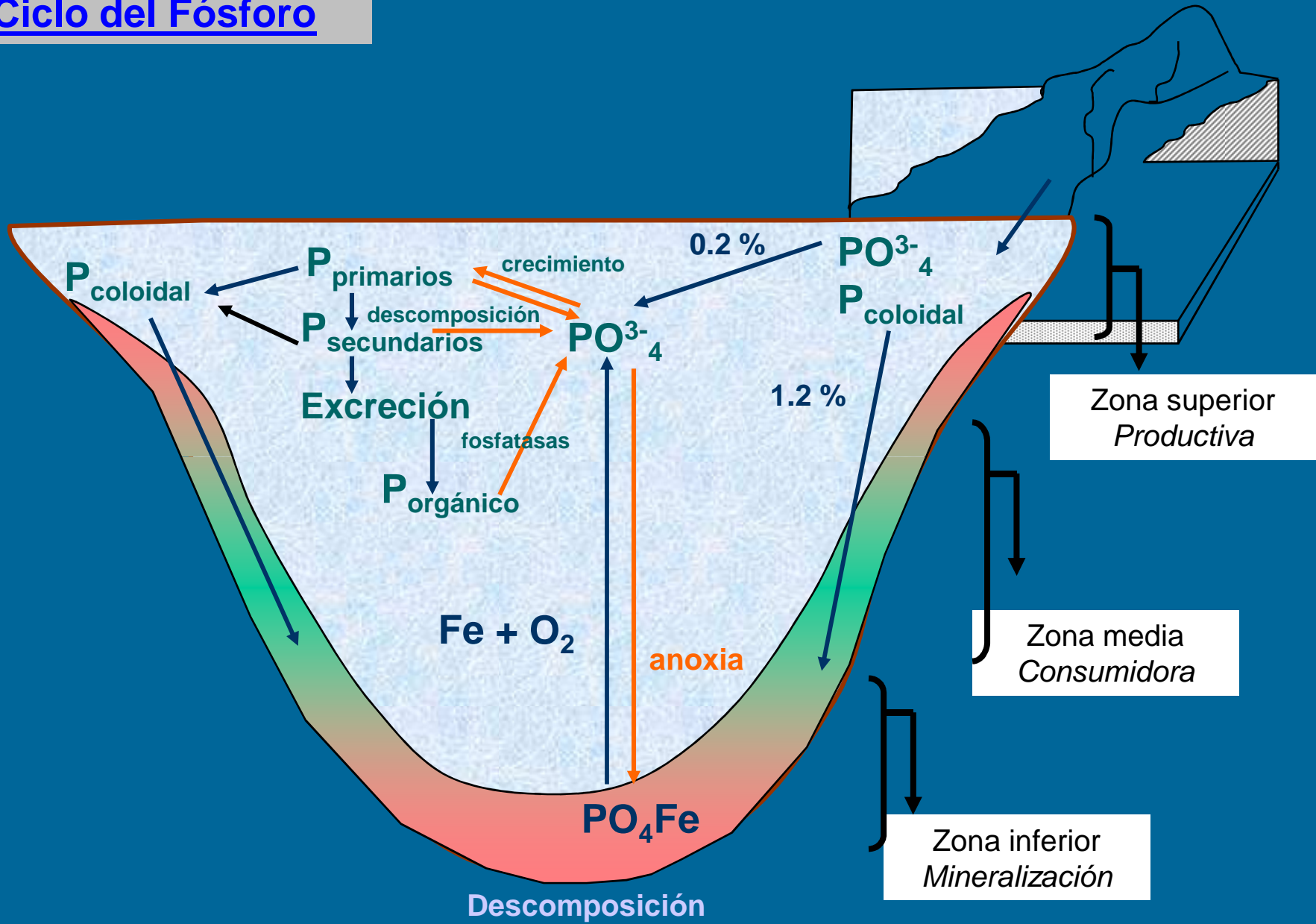
## DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DEL FÓSFORO

Consecuencia de la solubilización del P contenido en los sedimentos del fondo



Esquema de la distribución vertical del fósforo soluble (P<sub>s</sub>) y total (P<sub>t</sub>) en lagos estratificados. uno con muy baja producción (oligotrófico), el otro con alta producción (eutrófico).

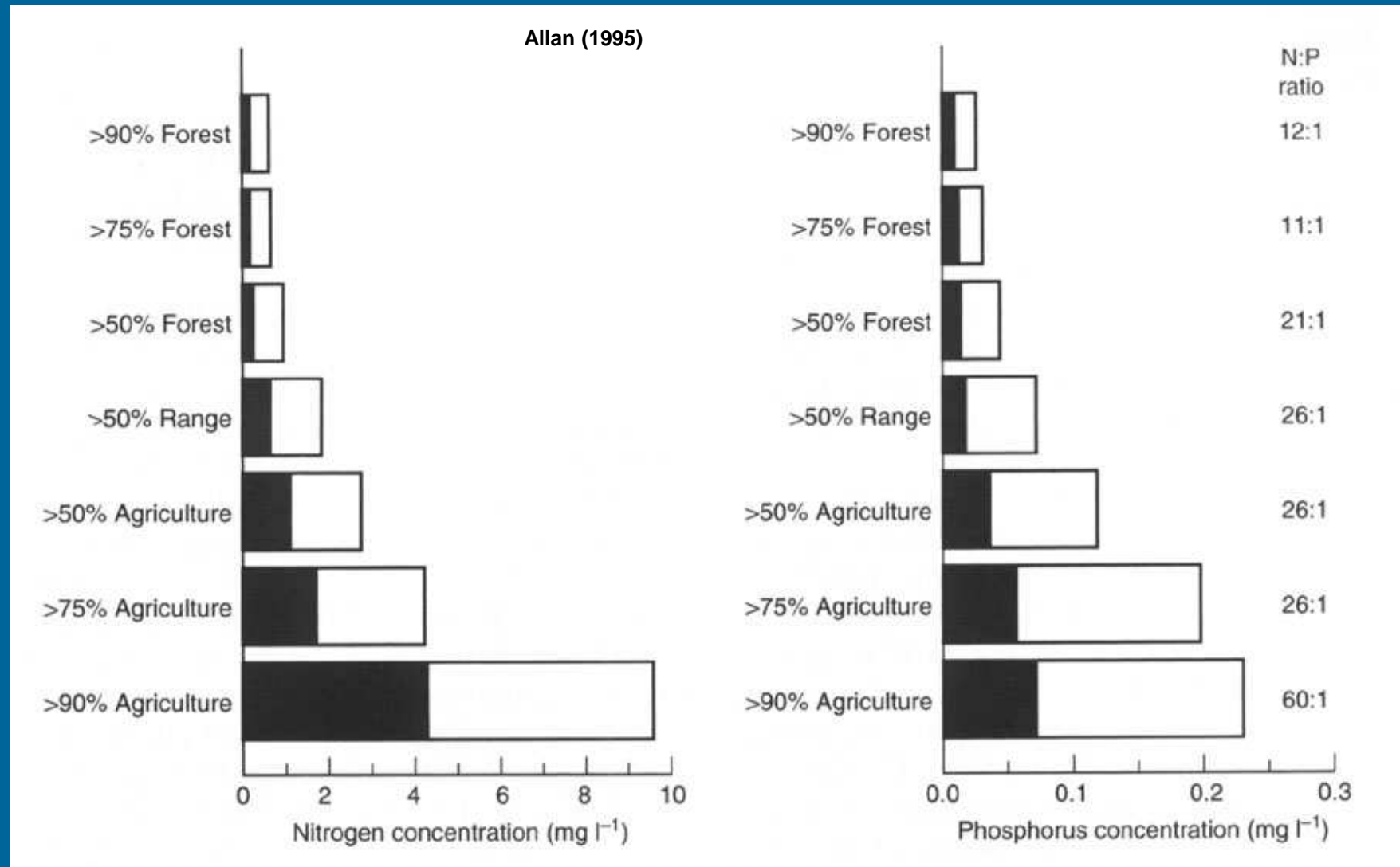
Ciclo del Fósforo



## La relación N:P

es un indicador del requerimiento de nutrientes por los productores primarios

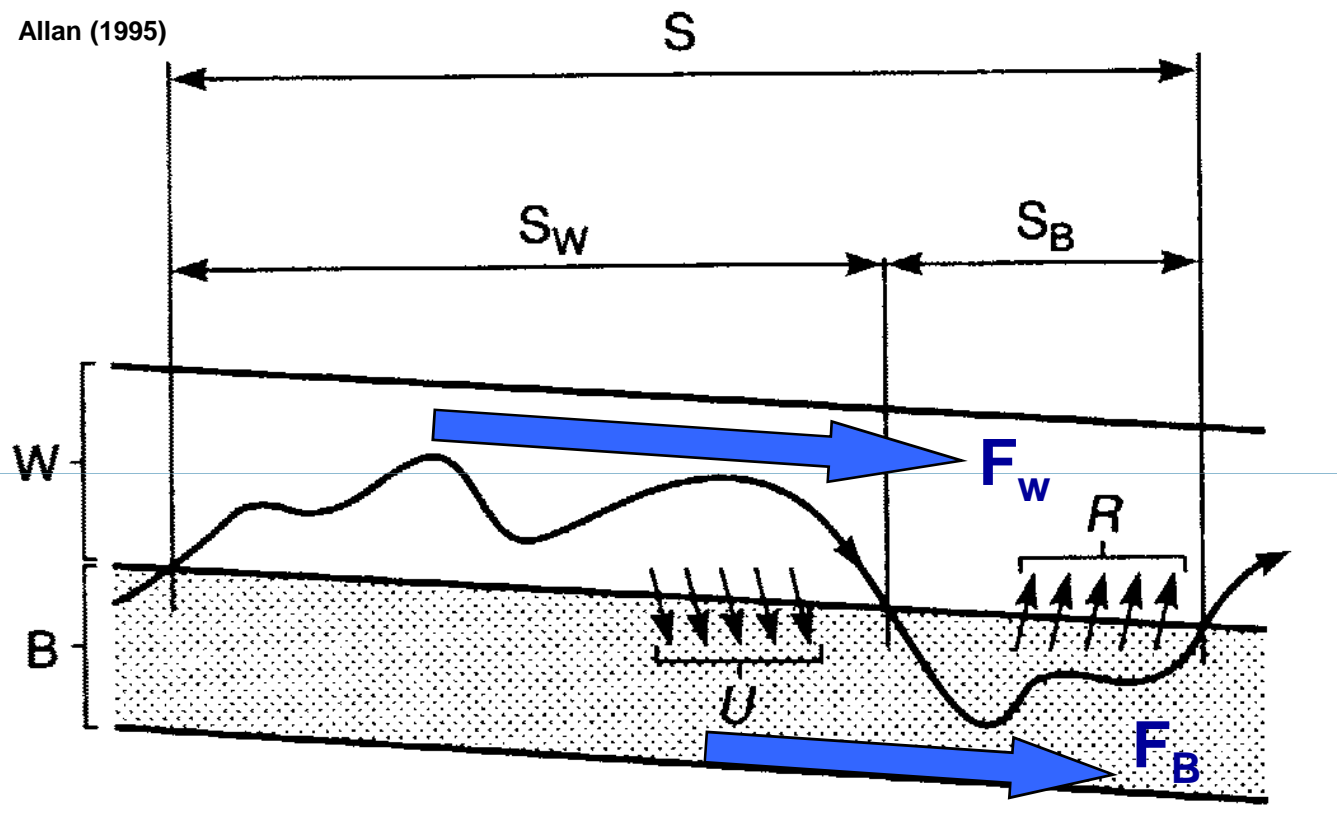




Concentraciones de nitrógeno y fósforo y la relación N:P, en pequeños ríos no contaminados de USA. La fracción inorgánica de ambos parámetros se presenta en negro.

# La espiral de nutrientes (Webster y Patten, 1979)

Allan (1995)



En los ríos, los nutrientes se mueven a favor de la corriente. En este movimiento pueden ser depositados en el fondo, o asimilados por los organismos durante un tiempo y luego ser liberado y volver a ir a favor de la corriente más abajo. Este movimiento recuerda al de una espiral, de ahí el nombre de este proceso: *Espiral de nutrientes*.

En el esquema se representa la espiral en dos componentes, el agua (W) y la biota (B). La longitud de la espiral ( $S$ ) es la distancia media que un átomo de un nutriente recorre río-abajo durante un ciclo a través de los dos compartimentos: agua y biota.

$S$  = suma de la distancia de asimilación ( $S_W$ ) y la distancia de recambio ( $S_B$ ) que se estima del flujo de nutrientes río-abajo ( $F_W$  y  $F_B$ ) y los flujos de asimilación ( $U$ ) y retención ( $R$ ).

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



## 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