

# *Limnología & Oceanografía*

**2018**

Ciclo Profundización

Licenciatura en Gestión Ambiental

# SOCIEDAD

AGROQUÍMICOS Y POTABILIDAD

## AGUAS DE MARZO

El episodio de la “floración algal” hace pertinente una mirada a fondo sobre la situación del Santa Lucía y otras fuentes de agua potable, cómo repercute la producción agropecuaria en el estado de éstas y la reacción de las autoridades públicas.



**Uruguay:**

país de recursos  
acuáticos

abundantes

y...de buena  
calidad?

DANIEL PANARIO x Ingeniero agrónomo

## “Hoy el filtrado de OSE es insuficiente para microcistinas y plaguicidas”

Experto de la Facultad de Ciencias recomienda instalar filtros en hogares para evitar absorción de contaminantes

MARÍA DE LOS ANGELES ORFILA  
twitter.com/orfilamaria

La capacidad de filtrado de OSE en el proceso de potabilización del agua es “insuficiente” para eliminar las sustancias



### Microcistina

La microcistina es una cianobacteria de efecto hepatotóxico y neurotóxico, aunque también da lugar a alteraciones gastrointestinales, reacciones alérgicas o irritación y sintomatología similar a la de la

sean registrados y hay que sacarla de la fuente de agua. Hay deslargo de otras causas. Por ejemplo, los transgénicos en maíz eran fantásticos hasta que un investigador francés demostró que producían cáncer en ratas supuestamente le dijeron que utiliz

## Vecinos se manifestaron por calidad del agua en Maldonado

Unas 70 personas se manifestaron frente a la Unidad Desconcentrada de OSE ingresaron al edificio en protesta por el agua que desde hace días tiene mal barroso.

### FOTOGALERÍA



Vecinos increparon a Jorge Hourcade, director de la UGD de OSE. Foto: Ricardo Figueredo.

# Expertos alertan por contaminación de todas las aguas superficiales del país

Aseguran que el tema no se limita al Río Santa Lucía o a la Laguna del Sauce. Advierten de los riesgos a la salud por el consumo de esa agua.



DIARIO DIGITAL

INFORMACIÓN AL INSTANTE

14 abril, 2016

## Convocan por la calidad del agua en La Paloma



Buscar ...

LO MÁS VISTO



la diaria

NOTICIAS OPINIÓN CULTURA COTIDIANA DEPORTE EMERGENTES ▼

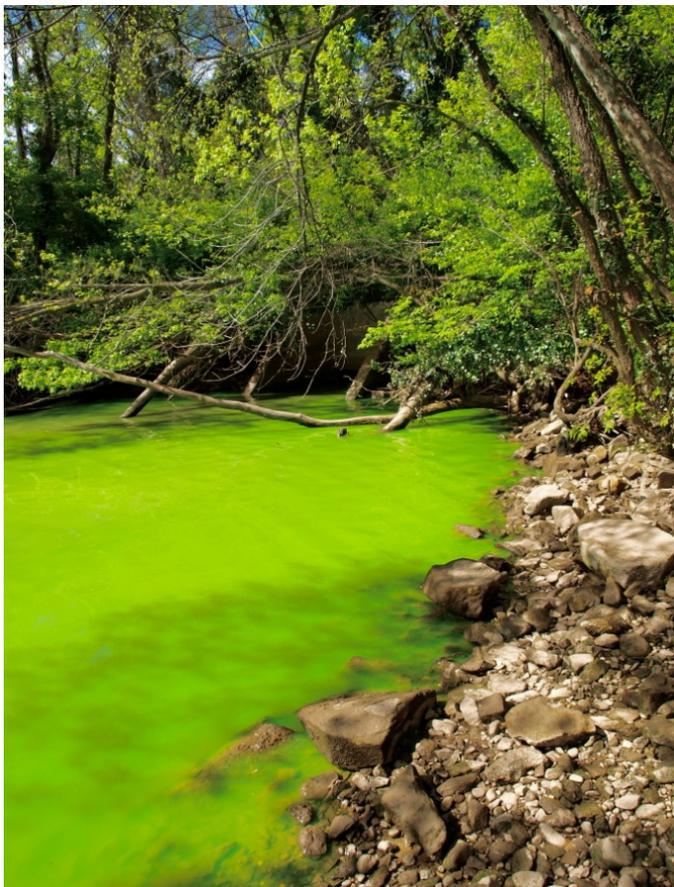
INSCRIBIRSE

SUSCRIBITE

## Una mirada a la reglamentación de la Ley de Riego

11 de julio de 2018 | Escribe: Ángel Segura, Danilo Calliari en Posturas | Foto: Ramiro Alonso

La Constitución de la República (Art. 47) y leyes vigentes (Ley de Aguas 18.610, Art. 18) establece que usuarios y sociedad civil participen en toda instancia de planificación, gestión y control de recursos hídricos, ambiente y territorio mediante un proceso democrático. La instancia organizada recientemente por el Poder Ejecutivo (PE) para recibir aportes sobre la ley de Riego (19.553) en



## Modulo 4 Eutrofización

Dra. Gissell Lacerot  
Ecología Funcional de Sistemas Acuáticos  
glacerot@gmail.com

## Contenidos Módulo 4

**12-10. Teórico 1. Eutrofización, estado trófico, conceptos clave: estequiometría, razón de Redfield, Ley del mínimo, ciclo del P. Evaluación Módulo 3.**

**16-10. Teórico 2. Conceptos clave, ciclo del N, oxígeno. Conceptos clave, consecuencias de la eutrofización, restauración y rehabilitación, interacciones con otros factores**

**19-10 Salida de campo y práctico (25-09). Arroyo Rocha y filtrado muestras.**

**23-10 Práctico. Análisis de muestras y cálculos.**

**26-10 Práctico. Análisis de resultados y discusión**

**30-10 Comienza módulo 5 (tentativo). 1eros 15 min: Evaluación del módulo 4**



NATURAL

estado trófico

Eutrofización: respuesta del ecosistema al aumento o enriquecimiento con nutrientes

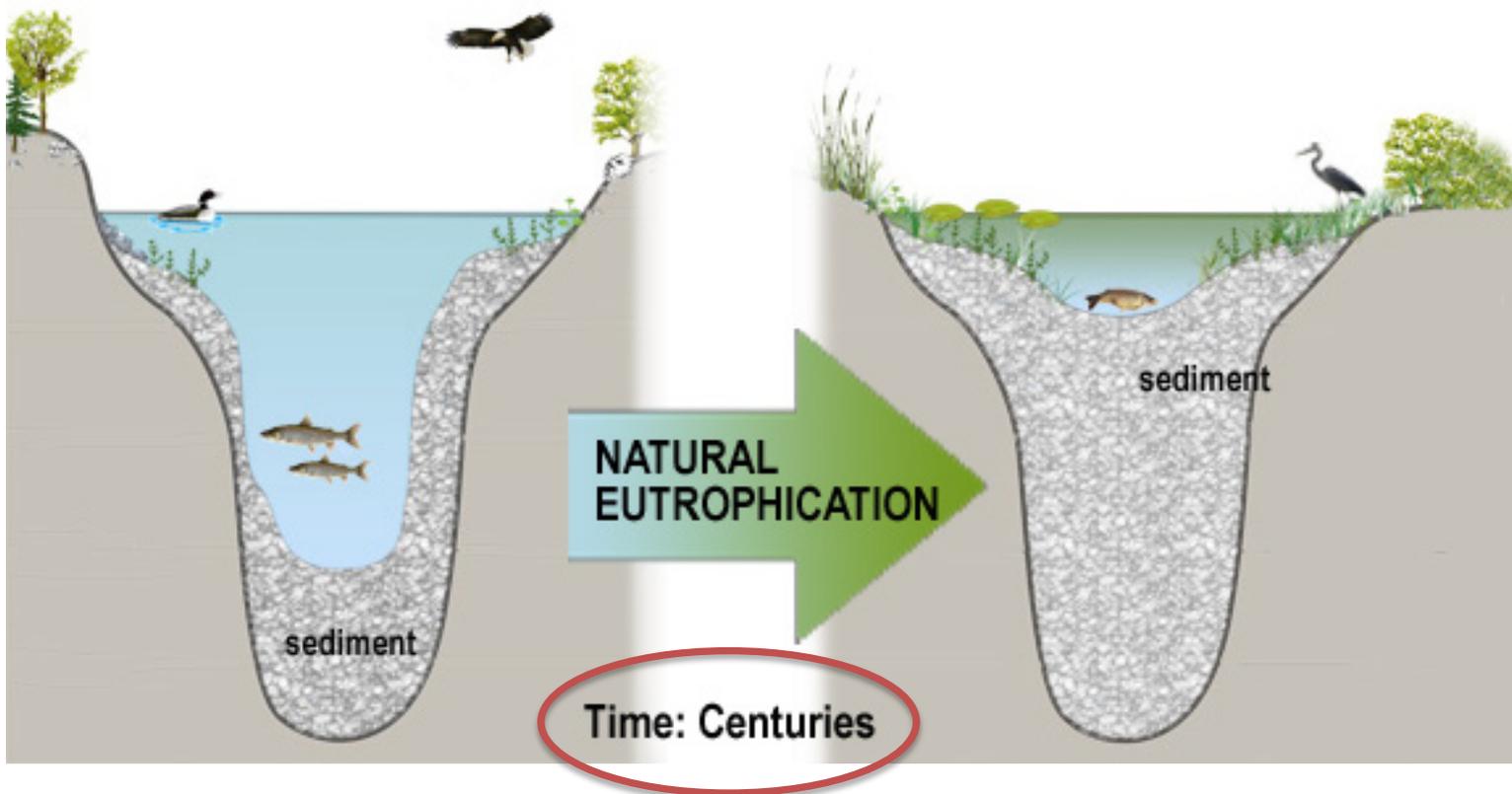


CULTURAL (antropogénica)

polución por nutrientes

# Eutrofización natural: definición

Proceso a través del cuál un cuerpo de agua recibe *nutrientes* y *sedimentos* desde la cuenca y se vuelve *más fértil* y *somero*



# Eutrofización natural: características

- proceso **natural** que ocurre a largo plazo (siglos)
- en lagos el área litoral aumenta, y con el tiempo puede transformarse en un ecosistema terrestre
- se lo conoce también como envejecimiento de los ecosistemas acuáticos

 se asocia con el **estado trófico** de un ecosistema (mas luego!)

# Eutrofización cultural: definición

- *Respuesta ecosistémica de un ambiente acuático a un incremento en la disponibilidad de nutrientes por causas humanas*



## Eutrofización cultural

- *La eutrofización consiste en forzar un sistema acuático desde el exterior, con la incorporación de más nutrientes, y también de materia orgánica, que alteran temporalmente las condiciones de equilibrio, induciendo desviaciones en las características del sistema, en su composición biótica y en su sucesión*  
(Margalef et al. 1976)
- *Miríada de respuestas biogeoquímicas y ecológicas, directas o indirectas a la fertilización antropogénica en ecosistemas de interfase tierra-mar*  
(Cloern 2001)

# Eutrofización cultural

*Enriquecimiento del agua por **nutrientes** causando un crecimiento acelerado de **algas** y otras formas vegetales el cual causa **perturbaciones** indeseables en el **balance de organismos** presentes en el sistema y en la **calidad de agua** (OSPAR 1998 fide Libes 2009)*



## Fuentes de incremento de nutrientes: **Nitrógeno y Fósforo**

- quema combustible fósil
- minería de fosforita
- fertilizantes (detergentes, fecas mascotas, bosta, agrofertilizantes)
- *feedlots* (amonio volatilizado)
- maricultura

### Vías de ingreso

- atmósfera
- lavado suelos y esorrentía
- volatilización de desechos animales
- aguas servidas



# Eutrofización cultural: fuentes puntuales y difusas (escorrentía)



# Consumo mundial de fertilizantes 1900-2000

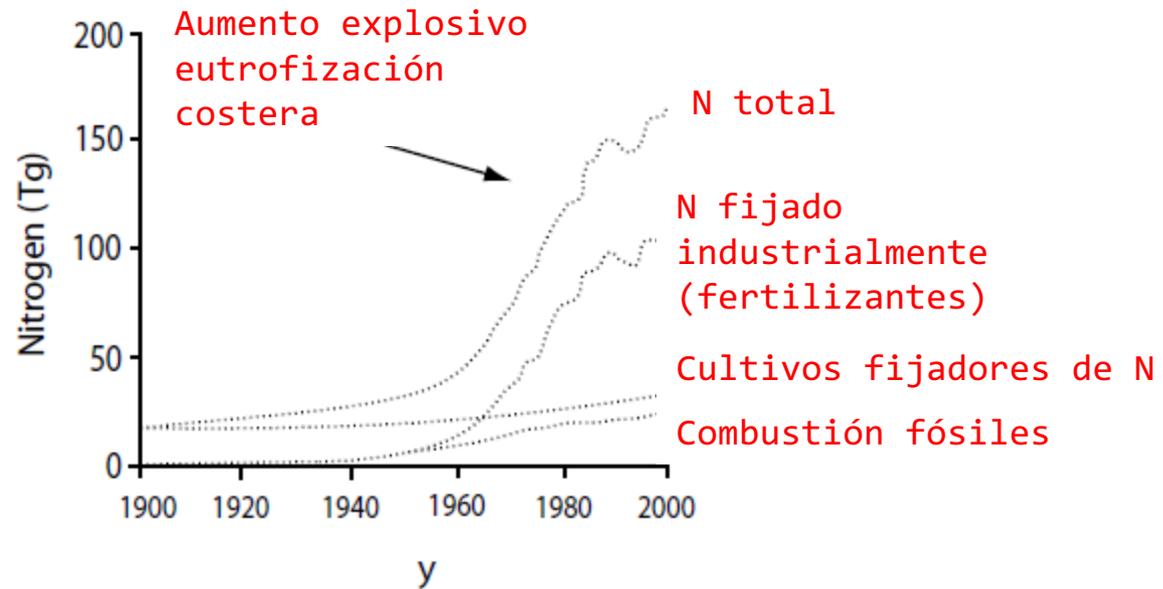
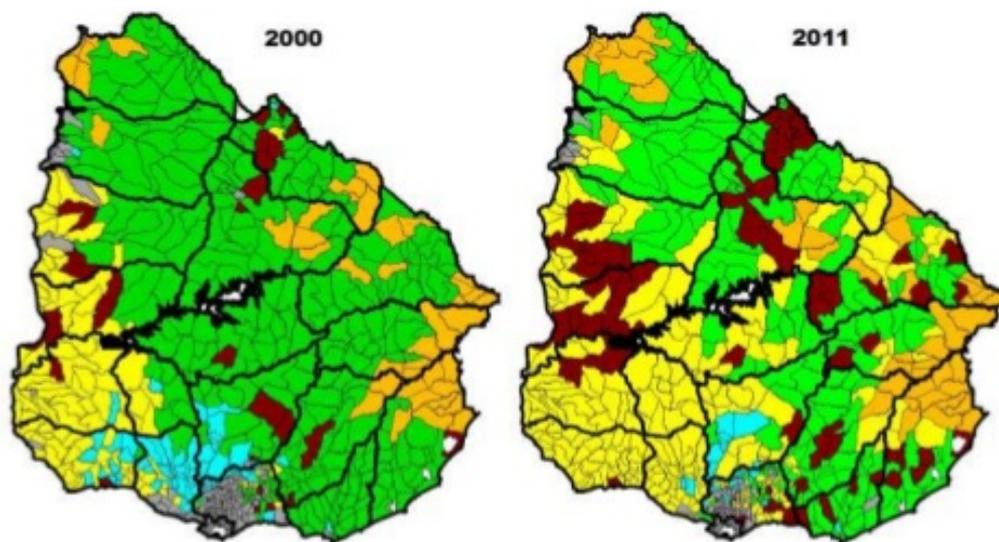


Figure 15.9 Historical linkages in the expansion of world fertilizer consumption, emission of nitrogen oxides (via fossil fuel combustion), and coastal eutrophication, between 1900 and 2000. (Modified from Boesch, 2002.)

# Usos de Suelo Uruguay

## Regiones agropecuarias en Uruguay en 2000 y 2011

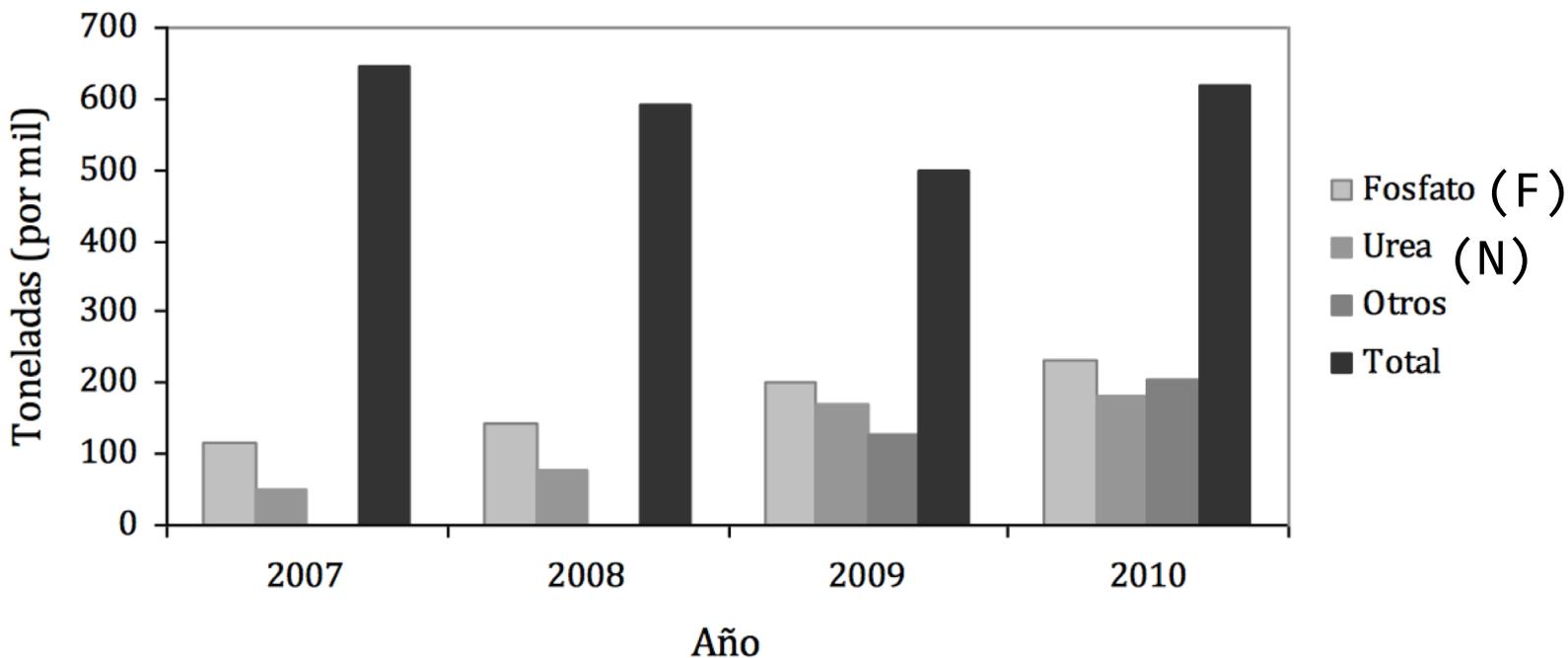


Fuente: elaborado por OPYPA-MGAP con base en los Censos Agropecuarios 2000 y 2011

REGIONES	Definición de las regiones
arroceras	superficie arrocera $\geq$ 3%
agrícolas de secano	superficie agrícola $\geq$ 5%
forestales	superficie forestal $\geq$ 15%
lecheras	No. total de vacunos lecheros por ha $\geq$ 0,3
ganaderas	sup. arroz < 3% y sup. agr. secano < 5% y sup. for < 15% y No. vac. lecheros/ha < 0,3
intensivas	todas las demás AE (incluyen horticultura, fruticultura, vid y citrus)

# Uso de fertilizantes en Uruguay

Año 2000: 300.000 toneladas



**Figura 3.** Fertilizantes importados en el período 2007 – 2010. Fuente: URUNET e Informe país ODA 2009<sup>4</sup>.

## ¿Qué es el Estado Trófico?

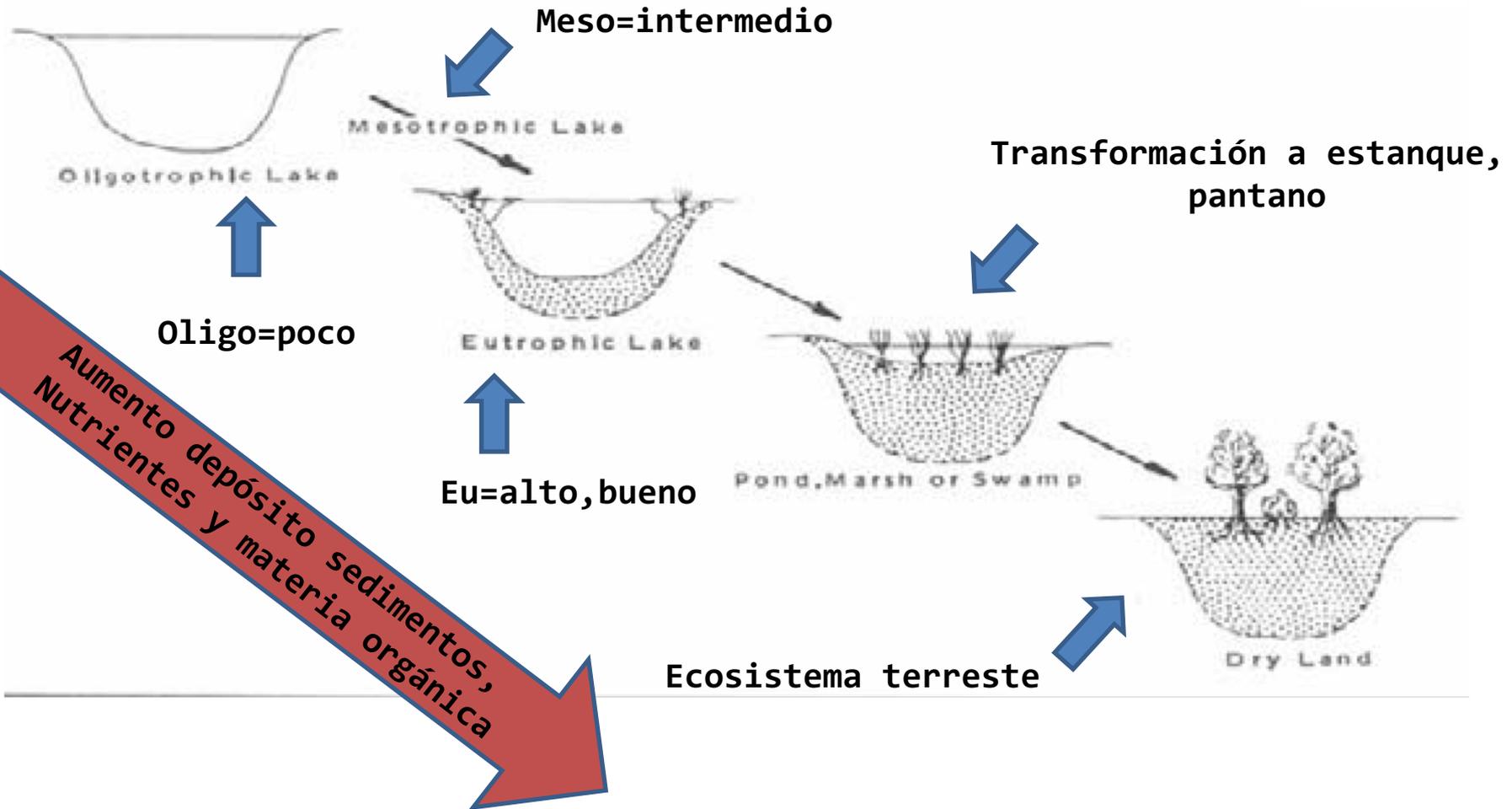
*Clasifica a los ecosistemas y permite compararlos*

*Medida de la **productividad** biológica de un cuerpo de agua estimada como la **biomasa** total de plantas y animales y asociada a la **calidad de agua***

# Estado trófico: describe la relación entre los nutrientes y aumento de la materia orgánica



Ecosistema acuático



Pasaje de un estado al otro mas rápido en eutrofización antropogénica

# Estado trófico: describe los posibles estados de un ecosistema acuático a lo largo del proceso de eutrofización

**Microtróficos** – muy claros y con muy baja biomasa de productores primarios, a menudo reciben aportes glaciales

**Oligotróficos** – claros y de color azul, bajos niveles de nutrientes y algas

**Mesotróficos** – moderados niveles de nutrientes y algas

**Eutróficos** – muy verdes y turbios, altos niveles de nutrientes y algas

**Hipertróficos** – niveles elevados de fósforo y nitrógeno. Raramente sustentables para usos ecosistémicos, albergan pocas especies

**Estado trófico:** La causa primaria del pasaje de un estado al otro es el aporte de fósforo y nitrógeno a una tasa mayor a la que el sistema acuático puede procesar

- Indicadores de estado trófico

  - Concentraciones de Nitrógeno y fósforo

  - Grado de turbidez (o transparencia)

  - Concentración de clorofila-a(proxi para biomasa algal)

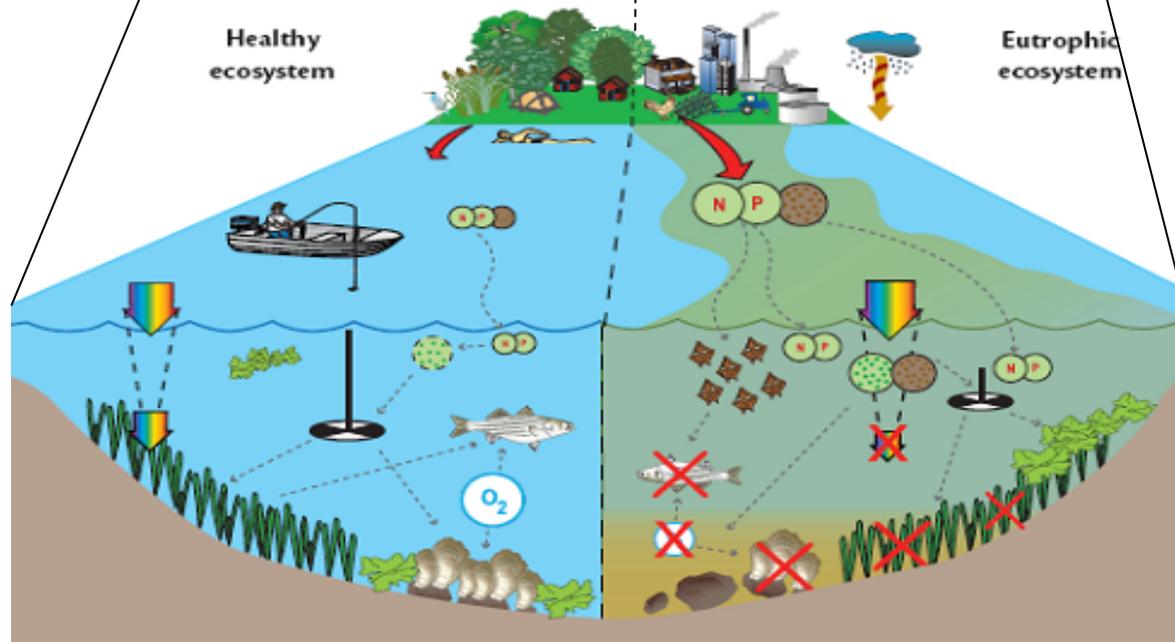
  - Concentración de oxígeno disuelto

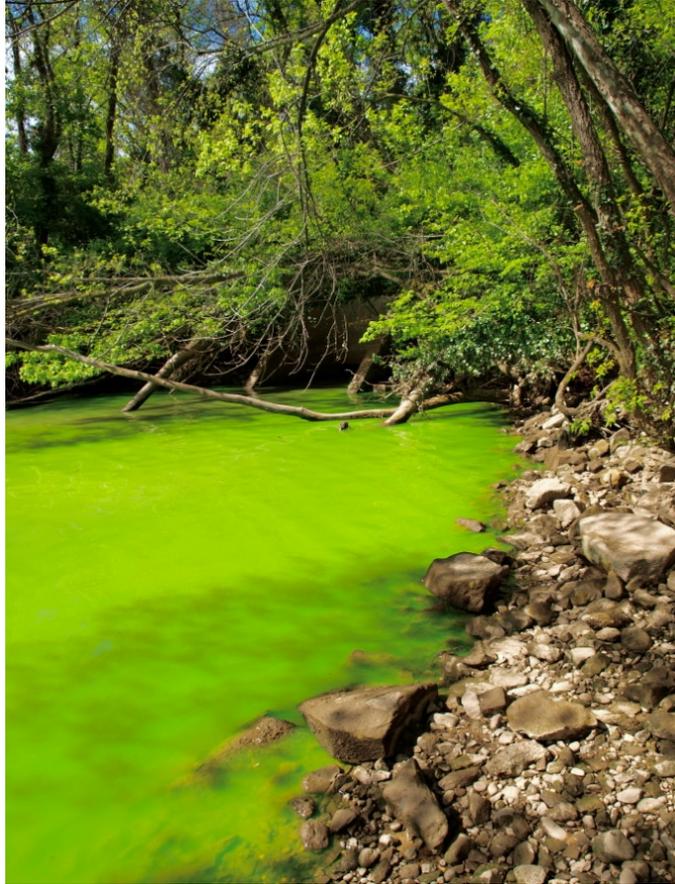
- Reflejan la dinámica anual en el ciclo de un ecosistema

- Conjunto de indicadores constituyen un **Índice de Estado Trófico** (mas luego!)



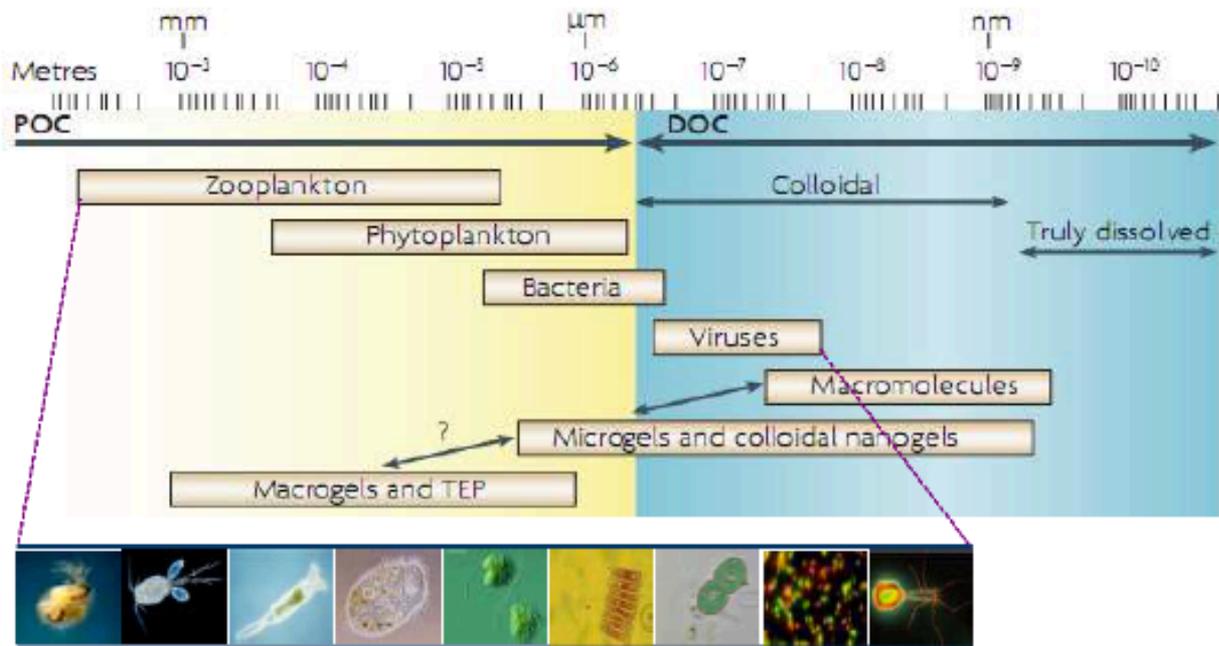
Característica	Oligotróficos	Eutróficos
<b>Abióticas</b>		
Contenido de oxígeno en el fondo	Alto todo el año	Bajo o ausente en verano
Fósforo total ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	21.3* (4.9 - 13.3**)	118.7* (48 - 189**)
Nitrógeno total ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	371 - 1180**	861 - 4081**
Transparencia (Disco de Secchi, m)	5.9 - 16.5**	1.5 - 4.0**
<b>Biológicas</b>		
Productividad de algal y plantas	Baja	Alta
Biomasa fitoplanctónica (Clorofila a, $\mu\text{g l}^{-1}$ )	3.6* (0.8 - 3.4**)	17.4* (6.7 - 31**)
Diversidad de especies	Alta	Media a baja
Floraciones algales	Rara	Frecuente
Cantidad relativa de cianobacterias	Baja	Alta
Grupos de fitoplancton característicos	Eucariotas (Algas verdes, Diatomeas, otros)	Cianobacterias
Vegetación litoral	Macrófitas sumergidas	Algas filamentosas
Biodiversidad del ecosistema	Baja a Alta	Baja
<b>Uso humano del recurso</b>		
Calidad de agua para recreación	Buena	Mala
Potabilización	Sencilla	Costosa; Compleja





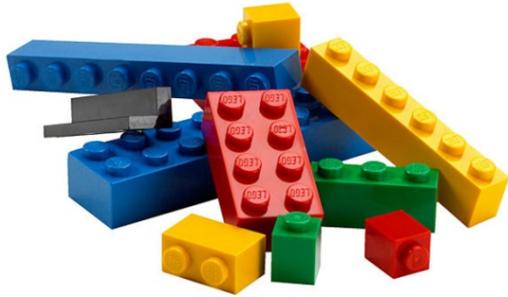
## Modulo 3 Eutrofización

Conceptos Clave

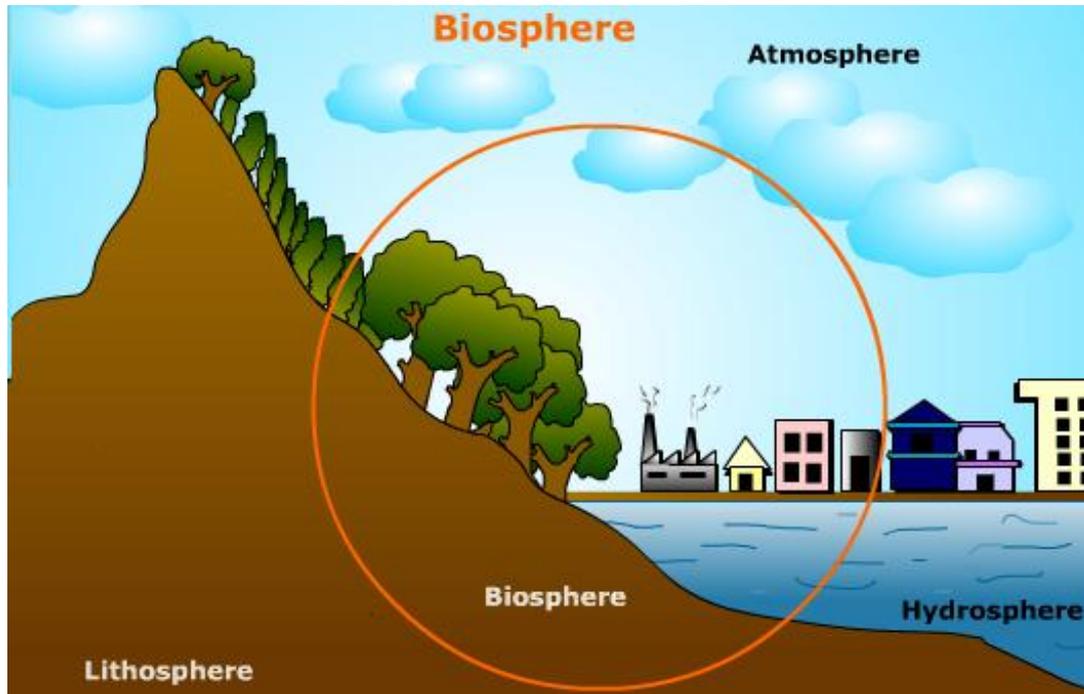


<b>DISUELTO</b>	<b>GASES</b>	$O_2$ , $CO_2$ , $N_2$		<b>SESTON</b>
	<b>NO GASEOSO</b>	<b>inorgánico:</b> iones	<b>(sales)</b>	
<b>0.45 <math>\mu M</math></b>		<b>orgánico: MOD</b>	<b>(prod. descomp. sust. húmicas)</b>	
<b>PARTICULADO</b>	<b>VIVO</b>	<b>organismos</b>	<b>PLANCTON</b>	<b>SESTON</b>
	<b>DETRITICO</b>	<b>orgánico: MOP</b>	<b>TRIPTON</b>	
		<b>inorgánico:</b> sales pr.		

# Estequiometría y razón de Redfield



- Los organismos están formados por los mismos elementos
- subset de elementos son **esenciales**
- los nutrientes son ciclados vía organismos en el ecosistema y por tanto la biota modula los ciclos biogeoquímicos



Carbono

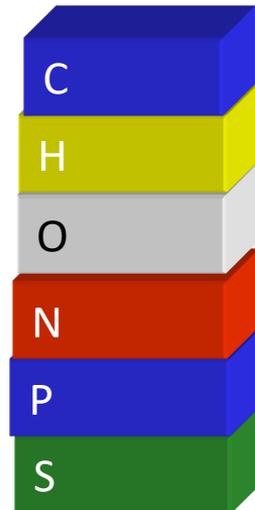
Hidrógeno

Oxígeno

Nitrógeno

Fósforo

Azufre

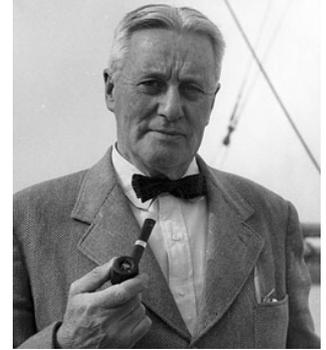




# Estequiometría y razón de Redfield

Richard C Redfield – oceanógrafo.

Comparó contenido de C, N y P del fitoplancton de aguas abiertas con la concentración de nutrientes disueltos en aguas superficiales y del océano profundo:



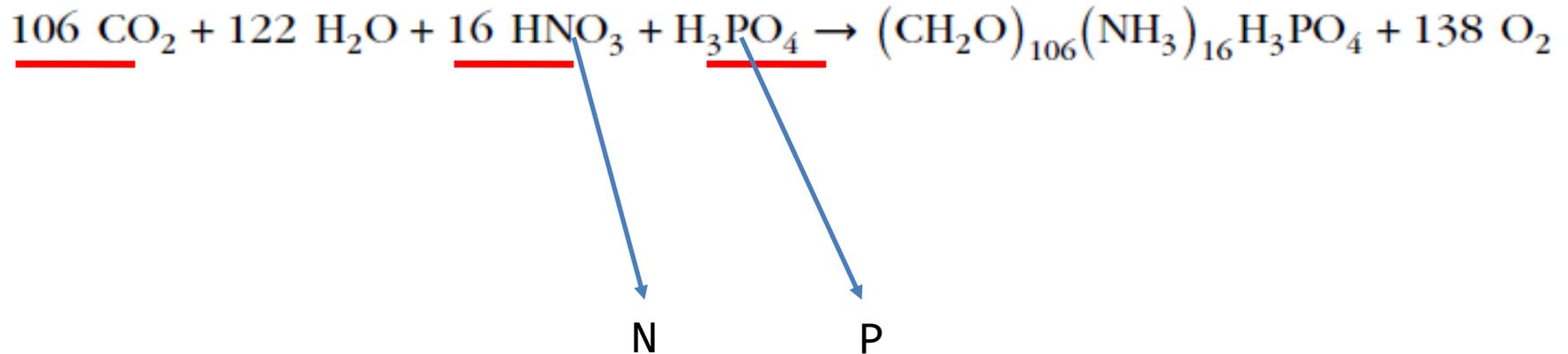
La composición elemental del plancton marino es llamativamente constante (y por lo tanto considerado como la composición de la materia orgánica planctónica promedio)

C	N	P
106	16	1



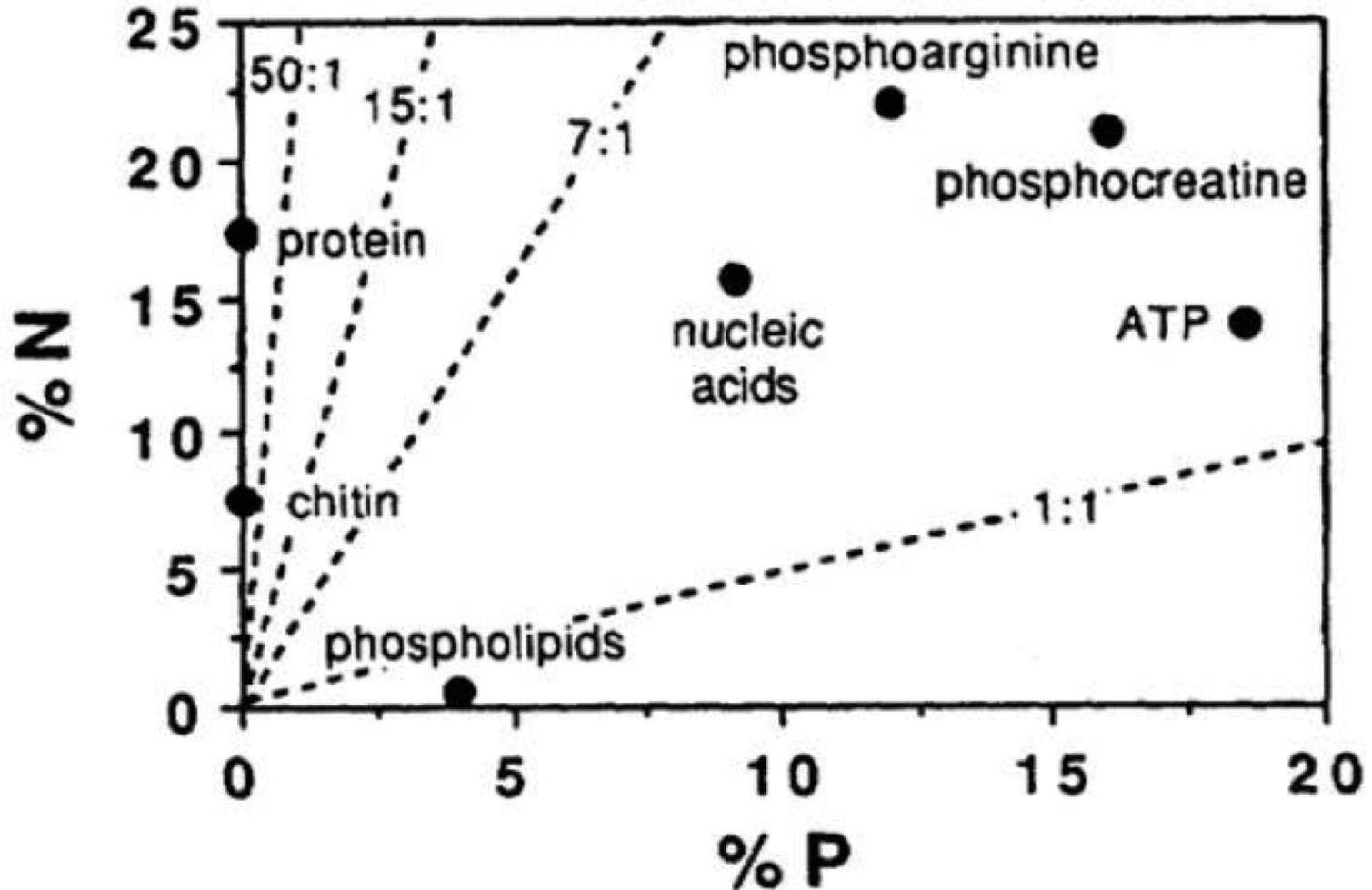
## Estequiometría y razón de Redfield

El **fitoplancton** origina MO vía fotosíntesis con la siguiente estequiometría:



Nutrientes (macronutrientes)  
(Pueden no estar en las cantidades necesarias)

# Diferencias en el contenido de N y P en las macromoléculas



**Table 1.6** Ideal chemical composition of phytoplankton tissue and relative abundance of major components by mass

	C	H	O	N	P	S	Si	Fe	References
Redfield atomic ratio (atomic stoichiometry rel to P)	106	263	110	16	1	0.7	trace	0.05	Stumm and Morgan (1981)
Redfield ratio by mass (stoichiometry rel to P)	41	8.5	57	7	1	0.7	trace	0.1	Stumm and Morgan (1981)
Redfield ratio by mass (stoichiometry rel to S)	60	12	81	10	1.4	1			Stumm and Morgan (1981)
Redfield ratio by mass (stoichiometry rel to C)	100			16.6	2.4				Stumm and Morgan (1981)
<i>Chlorella</i> (dry weight rel to C)	100			15	2.5	1.6	trace		Round (1965)
Peridinians (dry weight rel to C)	100			13.8	1.7		6.6	3.4	Sverdrup et al. (1942)
<i>Asterionella</i> (dry weight rel to C)	100			14	1.7		76		Lund (1965)
Medium (mol L <sup>-1</sup> )	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	<10 <sup>-5</sup>	Author's approximation but omitting dissolved nitrogen gas





# Estequiometría y razón de Redfield

## Razón o cociente de Redfield

- explica la proporción en que **C-N-P** son removidos (producción primaria) y re-incorporados al pool de nutrientes disueltos (respiración/ descomposición/ remineralización)
- permite evaluar limitación elemental de la producción (Ley del Minimo de Liebig)
- permite detectar alteraciones en el balance de nutrientes por efectos antrópicos



# Estequiometría y razón de Redfield

## LEY DEL MINIMO DE LEIBIG (1840)

*El crecimiento de un organismo estará determinado por aquel elemento que esté presente (suministro) en menor concentración con respecto a sus requerimientos (demanda)*

Liebig used the image of a barrel with unequal staves to explain how plant growth is limited by the element in shortest supply, just as the level of water in the barrel is limited by the shortest stave.

Mínimo

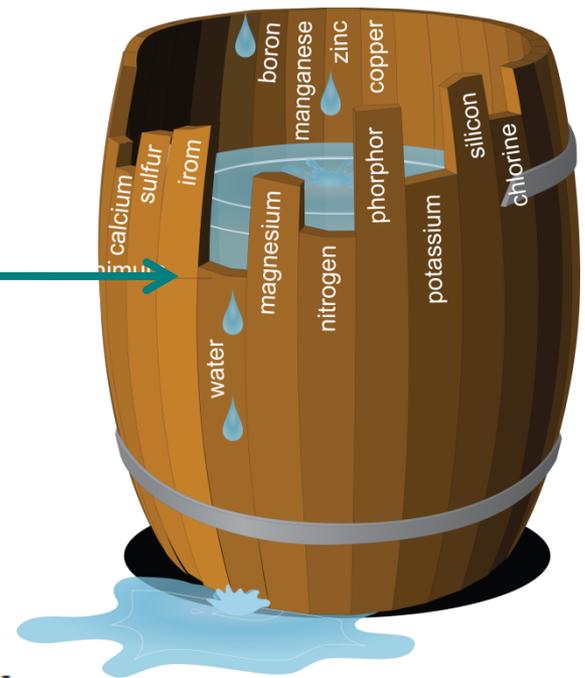


Fig. 2. Liebig's Law of the Minimum and the barrel analogy.

Hay elementos que limitan la producción biológica

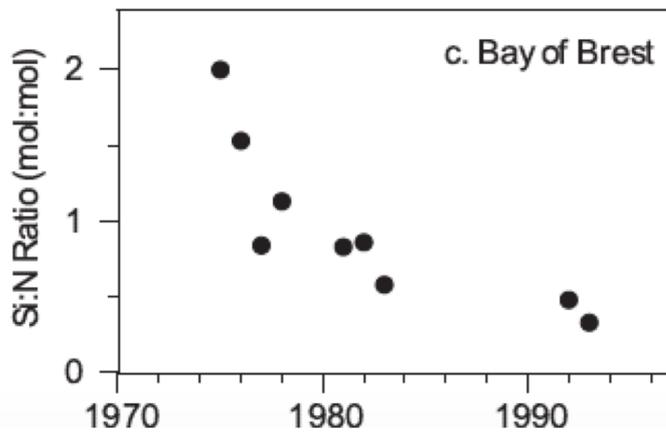
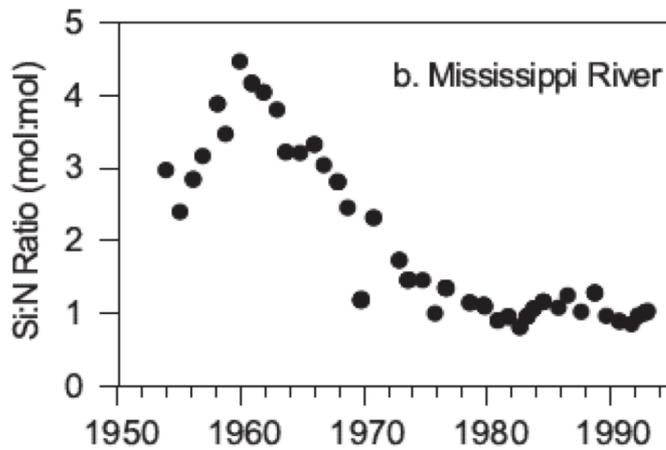
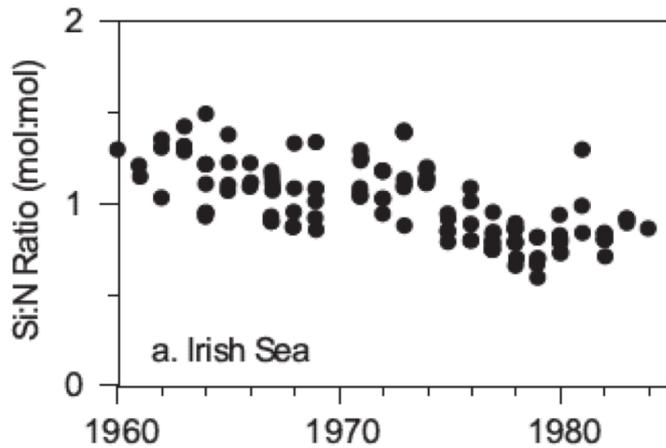
# Estequiometría y razón de Redfield

## Ejemplo: Hierro (micronutriente)

- Importante para producir clorofila (pigmento fotosintético)
- Lavado de suelos, desertificación, minería ha aumentado los niveles de Fe en zona costera
- No todas las especies requieren de las mismas concentraciones
- Incremento de Fe favorece especies que producen mareas rojas

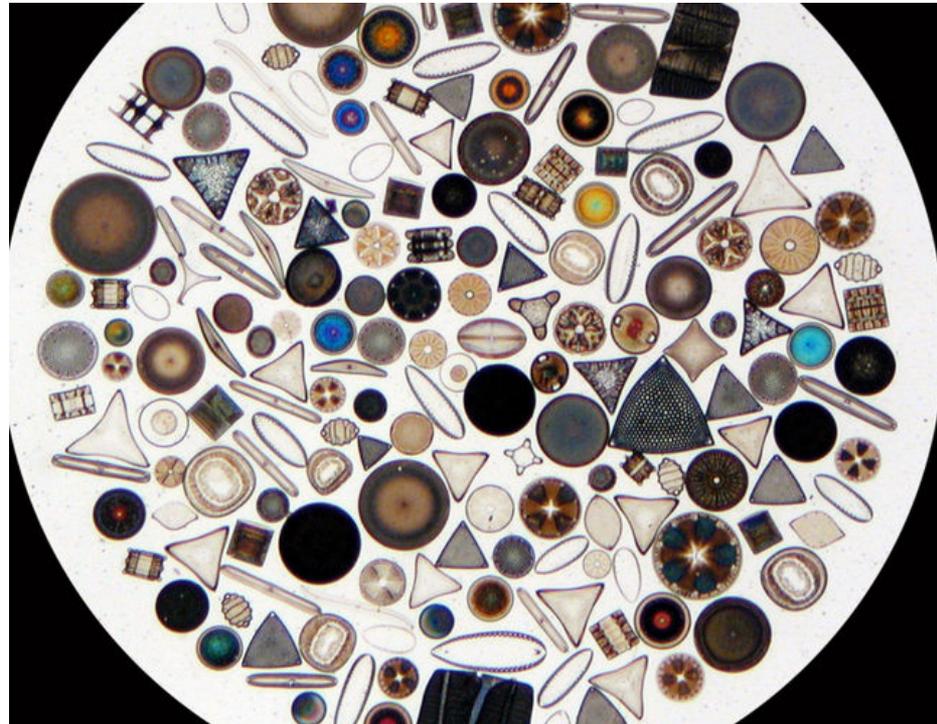
## Ejemplo: Sílice disuelto (SiD) (micronutriente)

- Importante para fitoplancton con frústulas de sílice: Diatomeas
- tiene origen natural (lavado de rocas)
- En zona costera razón de SiD ha disminuido
- Diatomeas agua dulce captan SiD y lo transforman en SiP (Si particulado) y cuando mueren SiP se acumula en los sedimentos
- Debido al represamiento de ríos, el SiP no llega a la costa
- Esta disminución de Si favorece la aparición de cianobacterias



Disminución Si  
Frustulas diatomeas

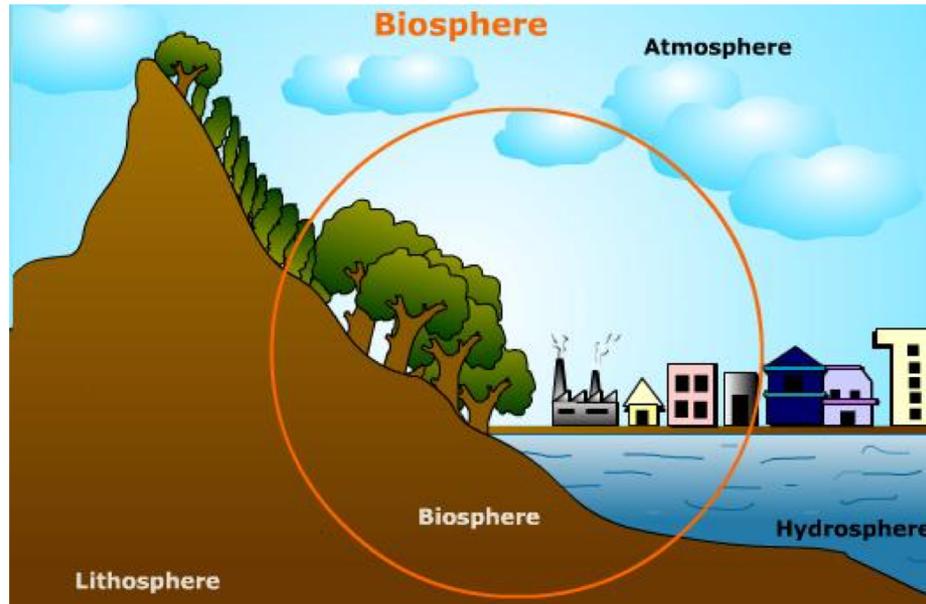
Recambio especies de  
fitoplancton:  
Cianobacterias por  
diatomeas





## ¿Qué son los ciclos biogeoquímicos?

**Movimiento** de **elementos químicos** (ej. carbono, nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, azufre, fósforo) entre los **seres vivos** y el **ambiente** (atmósfera, agua, suelo, sedimentos) mediante una serie de procesos de **producción y destrucción** que involucran cambios en los **estados de oxidación** de los elementos



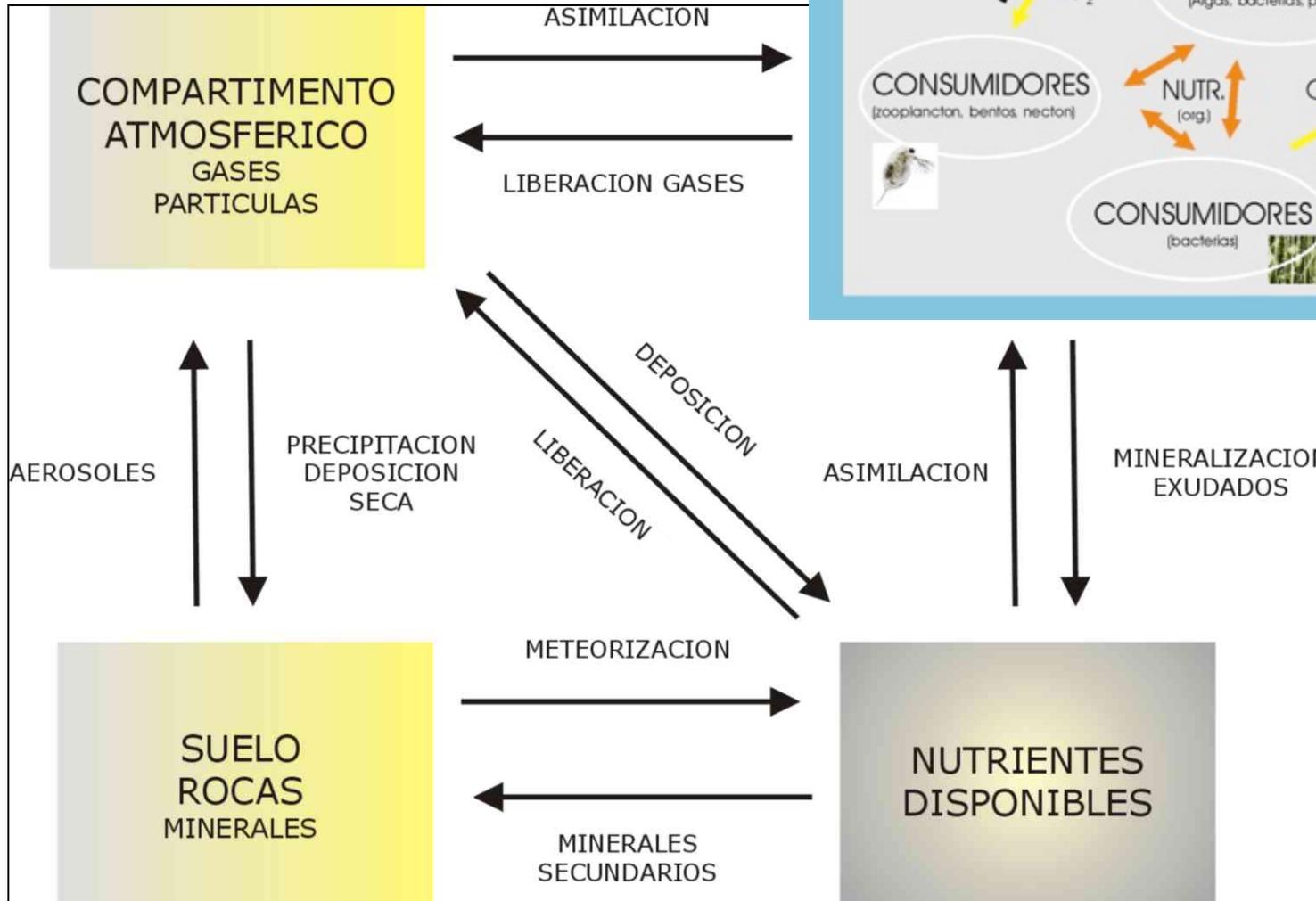
El término ciclo biogeoquímico se deriva del movimiento *cíclico* de los elementos que forman los organismos biológicos (*bio*) y el ambiente geológico (*geo*) e intervienen en un *cambio químico*.

# Importancia de los ciclos biogeoquímicos

- La mayor parte de las sustancias químicas de la tierra no están en formas biodisponibles.
- Gracias a los ciclos biogeoquímicos, los elementos se encuentran disponibles para ser usados una y otra vez por otros organismos; sin estos ciclos los seres vivos se extinguirían
- Existen dos grandes tipos de ciclos:
  - **Gaseosos**: el principal reservorio del elemento es la atmósfera. Son ciclos relativamente rápidos. Ciclos del carbono, oxígeno y del **nitrógeno**
  - **Sedimentarios**: el principal reservorio se halla en los sedimentos (geosfera). Son ciclos lentos por la dificultad de acceso a la reserva del elemento. Ciclos del **fósforo** y del azufre

# CICLO BIOGEOQUIMICO

VIAS ESPECIFICAS POR LAS CUALES LOS ELEMENTOS ESENCIALES PARA EL CRECIMIENTO CIRCULAN ENTRE EL AMBIENTE Y LOS ORGANISMOS



Estructura trófica



## Ciclo del Fósforo

15
P
30.97

## Importancia

- Papel importante en el metabolismo
- es el macronutriente menos abundante y generalmente limita la Producción Primaria en agua dulce
- constituyente

de material genético (ADN, ARN)

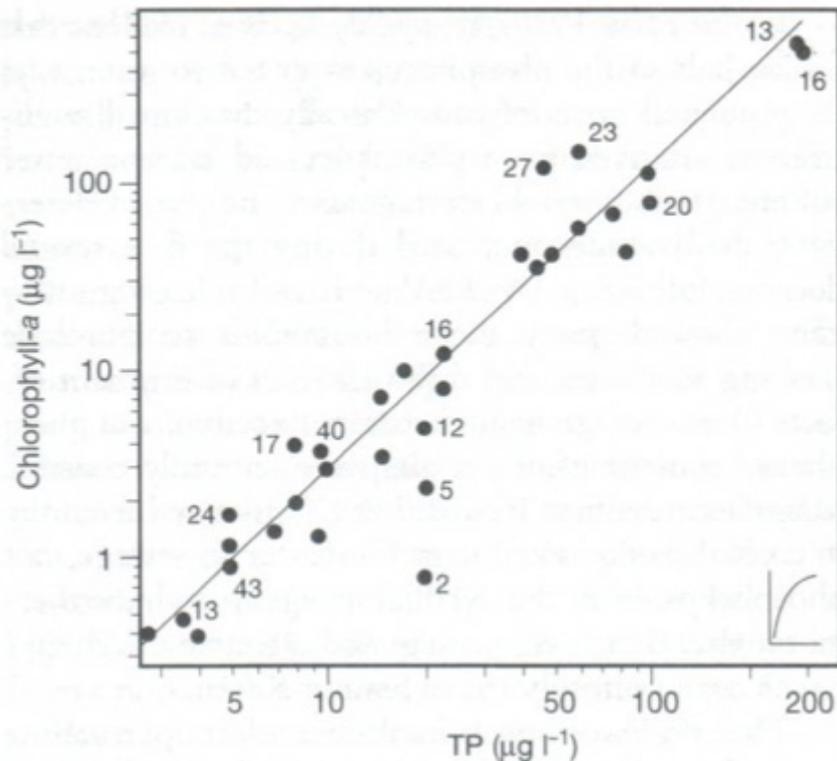
membranas celulares (fosfolípidos)

moléculas que aportan energía (ATP)

ortofosfato ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) más abundante en agua dulce

ácido fosfórico ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ) más abundante en agua marina

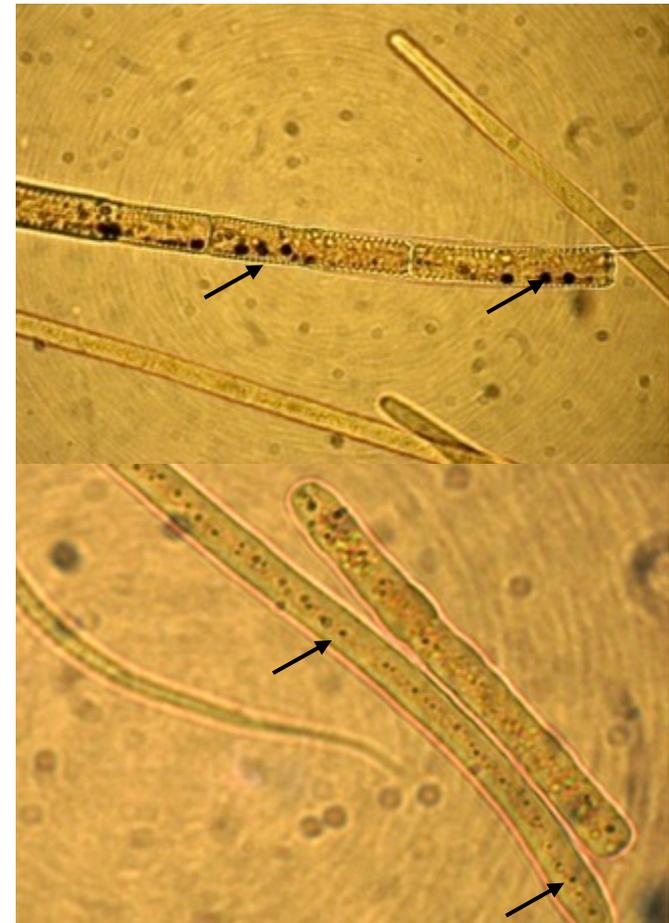
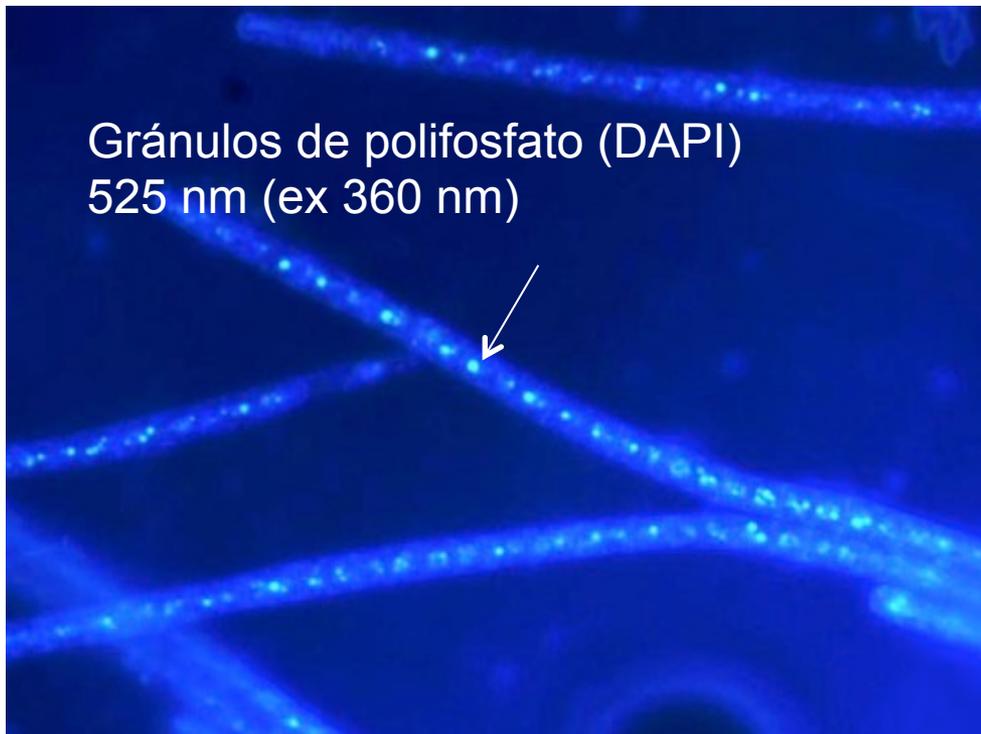
➤ Es el elemento **más escaso** de la corteza terrestre de los requeridos por los productores → **limitante** (mayor relación entre demanda y suministro).

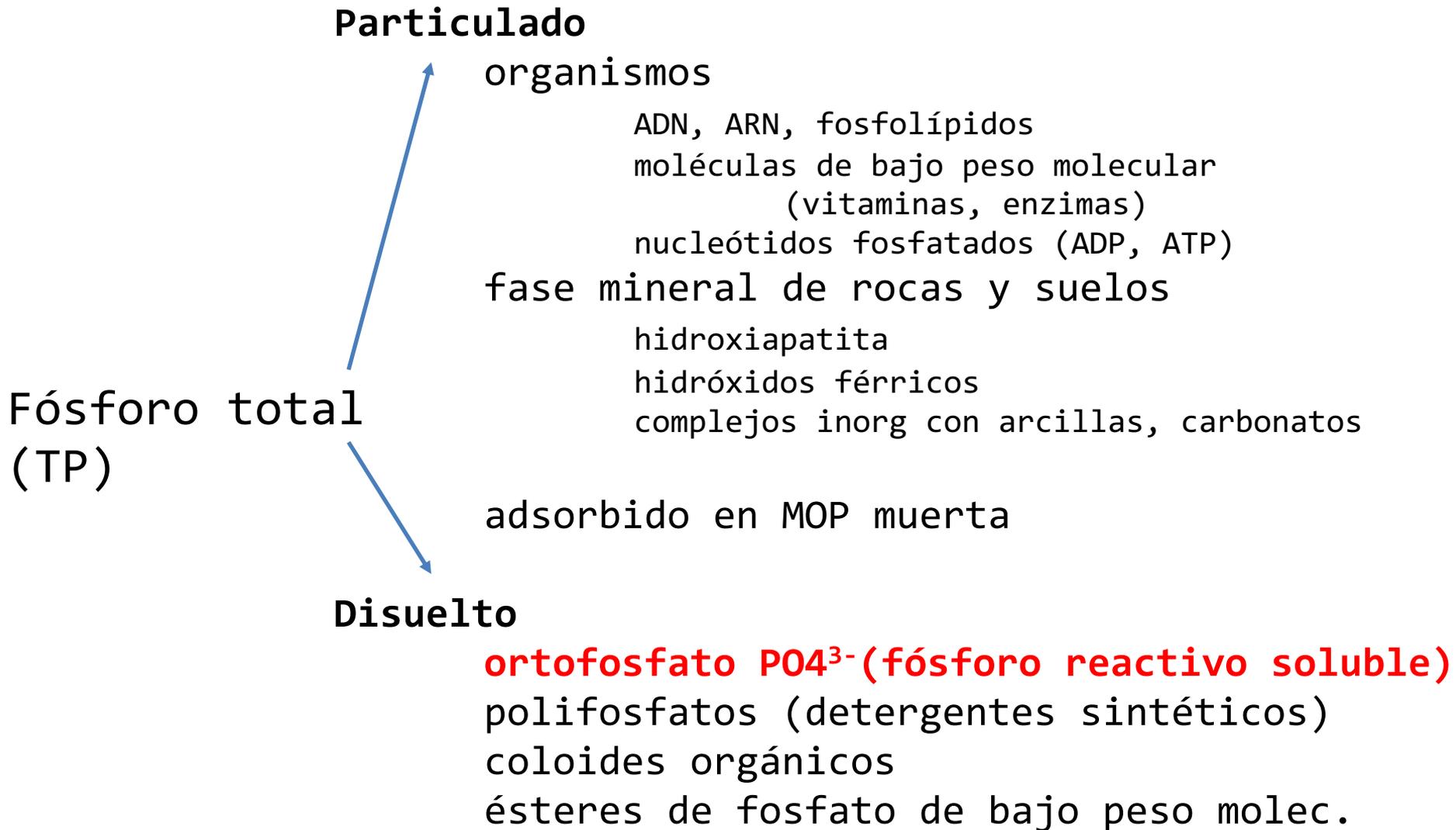


	$\Delta F^\circ$	$\Delta H^\circ$
CO <sub>2</sub> g	-94,26	-94,05
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> aq	-126,22	-161,63
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> aq	-140,31	-165,18
SO <sub>2</sub> g	-71,79	-70,96
SO <sub>3</sub> g	-88,52	-94,45
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> aq	-177,34	-216,90
NO <sub>2</sub> g	12,39	8,09
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> aq		-25,4
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> aq	26,41	-49,37
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> aq	-245,1	-306,9
CH <sub>4</sub> g	-12,14	-17,89
H <sub>2</sub> S g	-7,89	-4,81
HS <sup>-</sup> aq	3,01	-4,22
S <sup>2-</sup> aq	20,0	10,0
NH <sub>3</sub> g	-3,97	-11,04
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> aq	-19,0	-31,74

PO<sub>4</sub>; unica forma ecologicamente relevante

Esencial para el crecimiento; puede almacenarse en gránulos de polifosfato



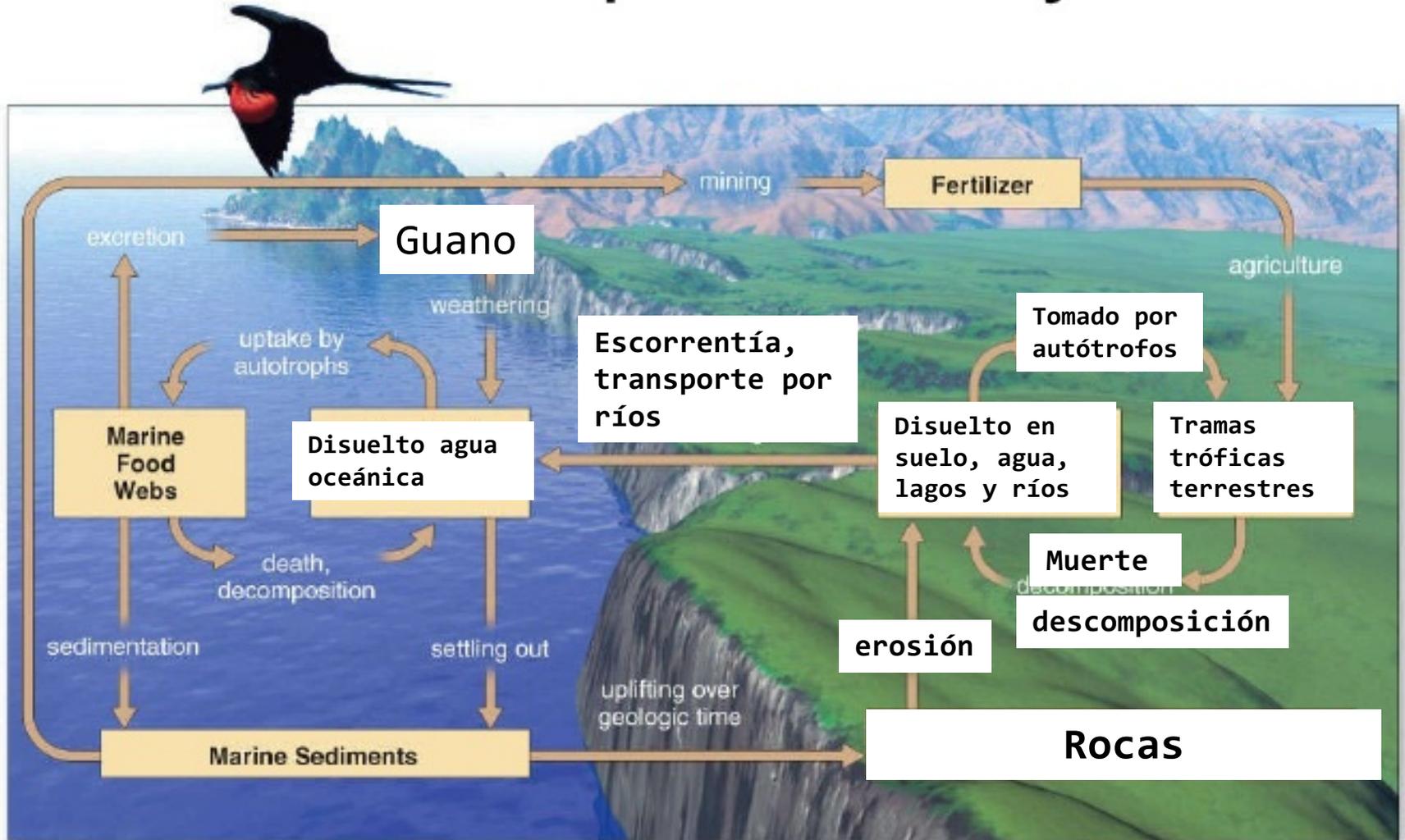


## Reservorios de P

- Mayor reservorio: rocas sedimentarias oceánicas
- Apatita  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})$
- Excrementos aves marinas, guano



# The Phosphorous Cycle

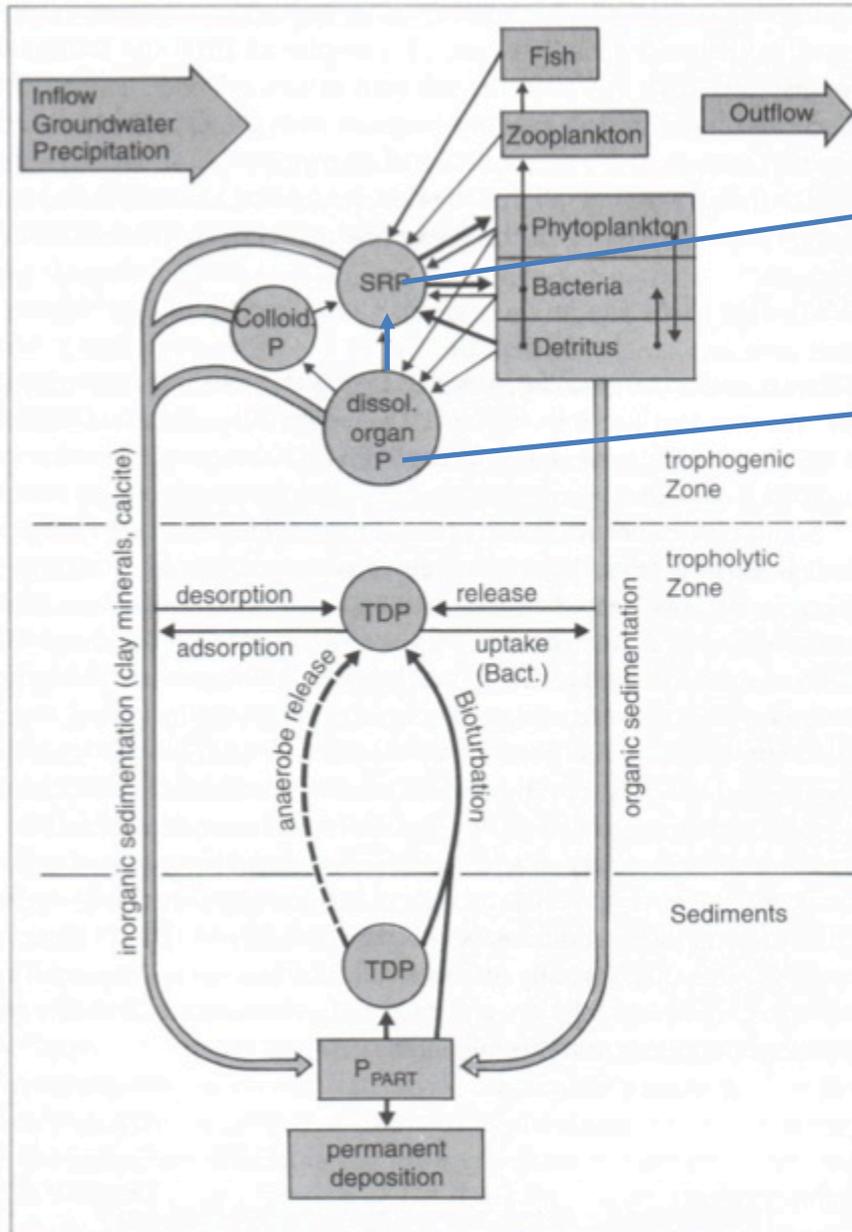


# The Phosphorous Cycle



# CICLOS - FOSFORO

Lagos, ríos, océanos



SRP=FRS=fósforo reactivo soluble

Fósforo orgánico disuelto

Captura fósforo por sedimentos

## Carga interna de P en ambientes continentales

$$[P]_{\text{sed}} \gg [P]_{\text{agua}}$$

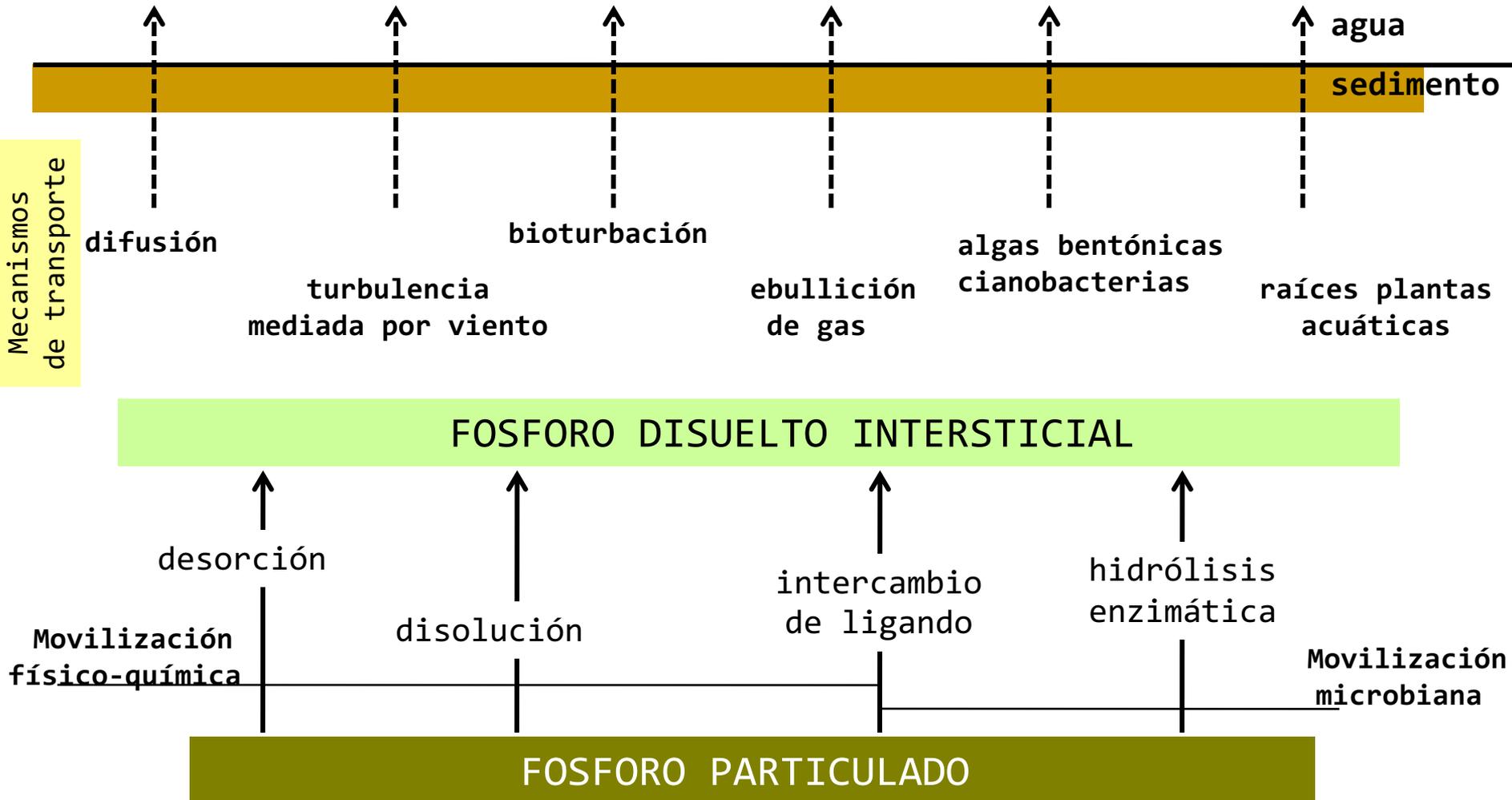
Intercambio de P entre sedimento y agua suprayacente en un cuerpo de agua.

- Depende de factores físicos, químicos y biológicos
- Depende de la capacidad del sedimento de retener P y de las condiciones agua suprayacente
- Biota dentro del sedimento que afecta el equilibrio de las especies químicas de P

# Vías de llegada del P al sedimento

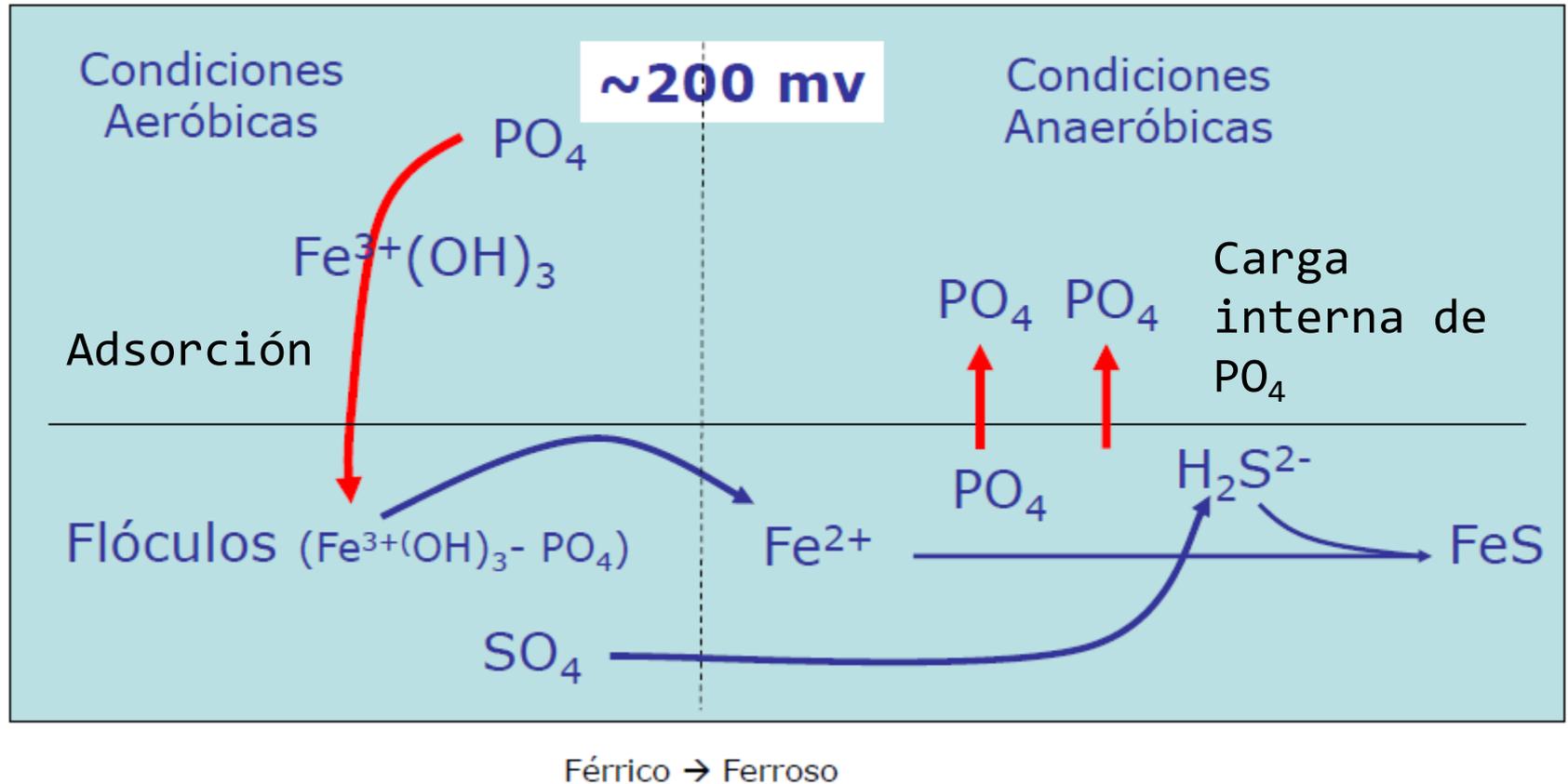
- 1) Minerales de P desde la cuenca
- 2) Adsorción o precipitación con compuestos inorgánicos
  - captación con Fe y Mn
  - adsorción con arcillas
  - asociados a carbonatos
- 3) Asociado a MO alóctona
- 4) Asociado a MO autogénica
- 5) Incorporación a algas y plantas

# Movilización del P



Procesos involucrados en la movilización del P desde reservorio particulado a estado disuelto en agua intersticial en sedimentos y transporte a través de a interfase agua-sedimentos hacia agua suprayacente

# MOBILIZACION NO-BIOLÓGICA DE $PO_4$ DESDE SEDIMENTOS

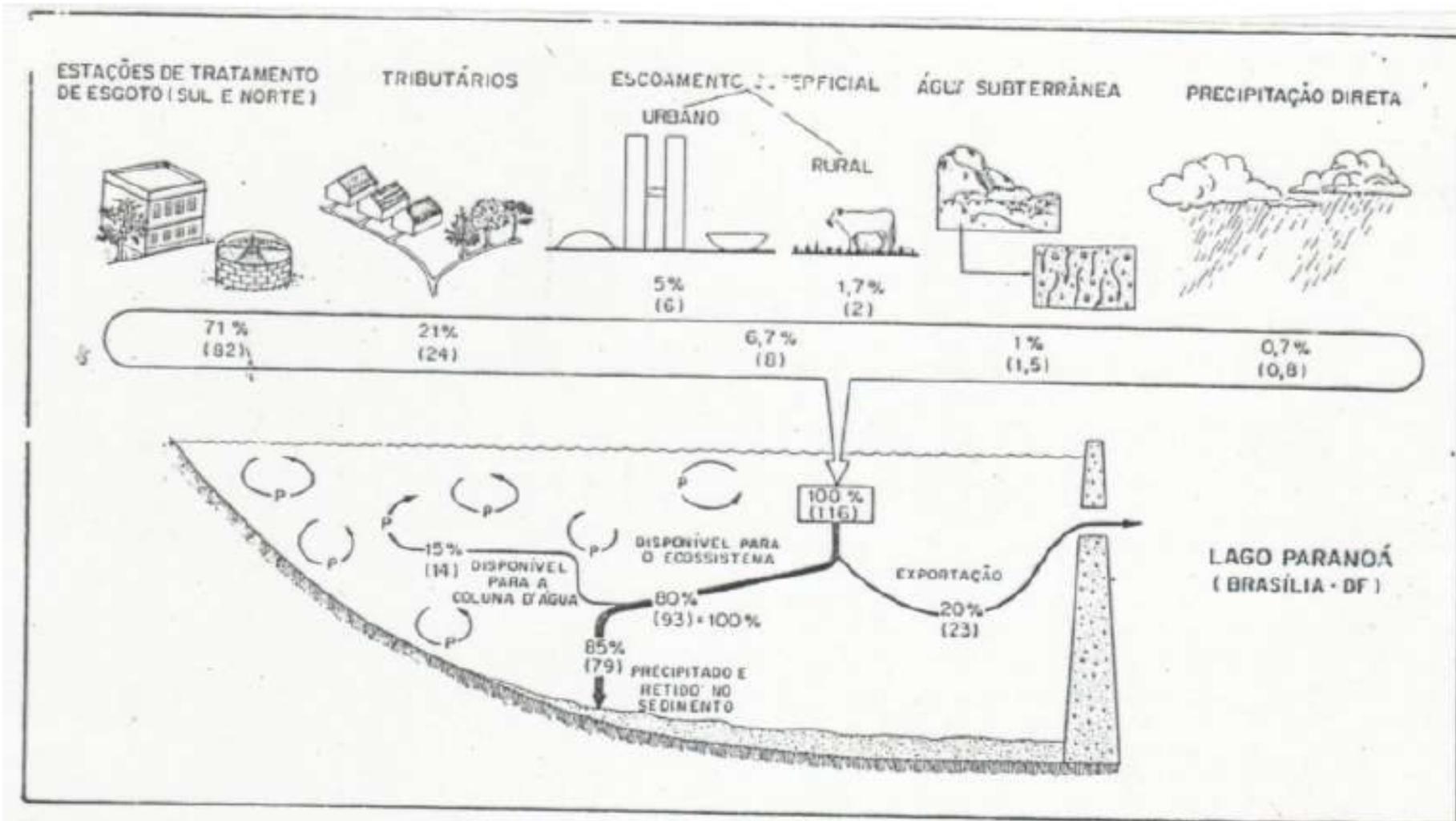


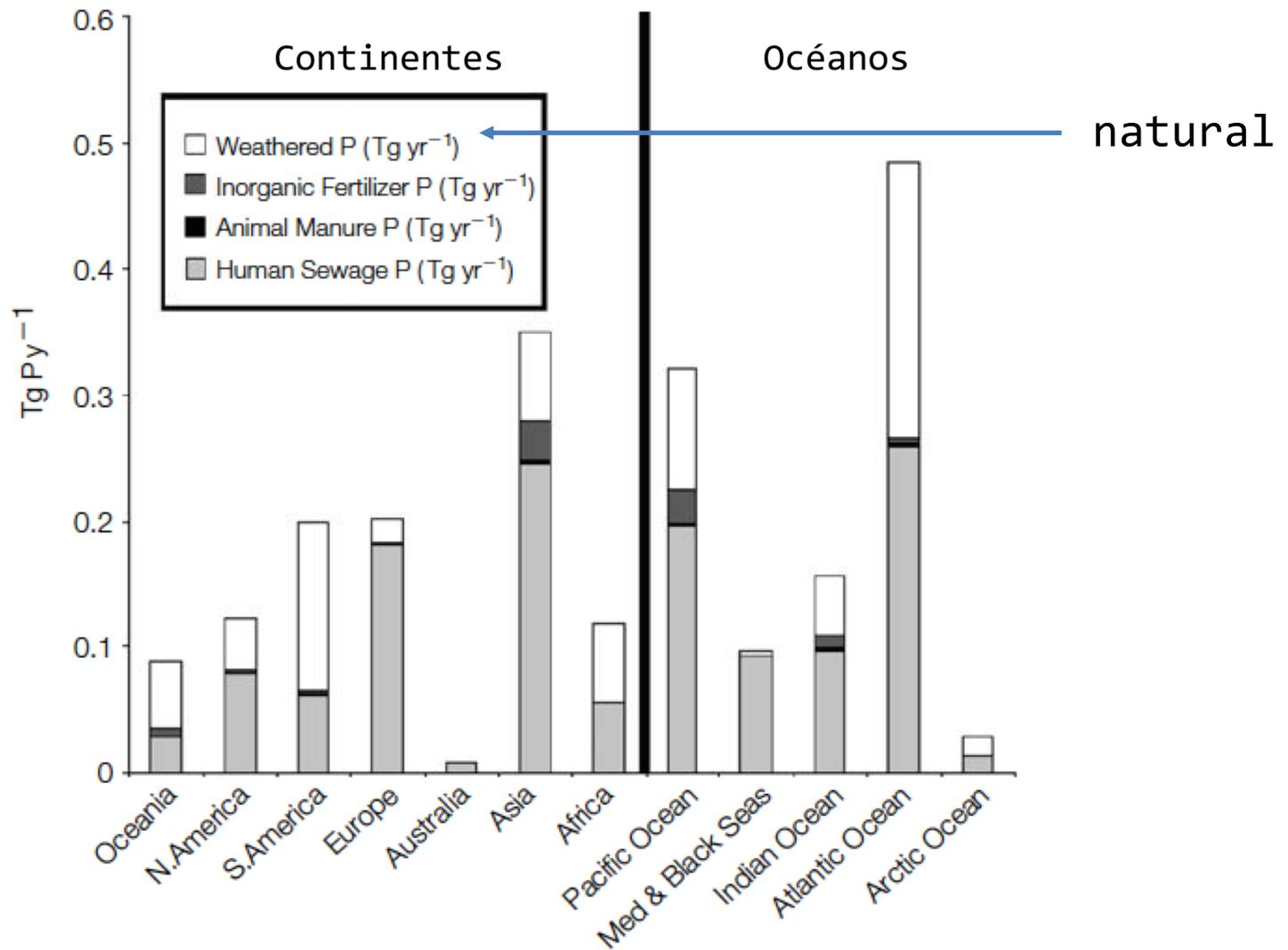
La liberación de P desde los sedimentos puede ser importante si la concentración de sulfato aumenta por acción natural o antropogénica principalmente en lagos oligotróficos

# The Phosphorous Cycle



# FUENTES DE FÓSFORO





**FIGURE 24.22**

River export of DIP (TgPy<sup>-1</sup>) from continents and to ocean basins as estimated from the Global Nutrient Export from Watersheds model. The “weathered P” represents the natural input. Source: From Harrison, J. A., et al. (2005). *Global Biogeochemical Cycles* 19, GB4S03.

# Diagnóstico calidad aguas superficiales

## CONTAMINACIÓN por NUTRIENTES (Eutrofización) Concentración de Fósforo Total

Sistemas Lóticos  
(ríos y arroyos)  
verano-otoño 2009

Clasificación de las muestras de agua según su concentración de fósforo total ( $\mu\text{g/L-P}$ ).

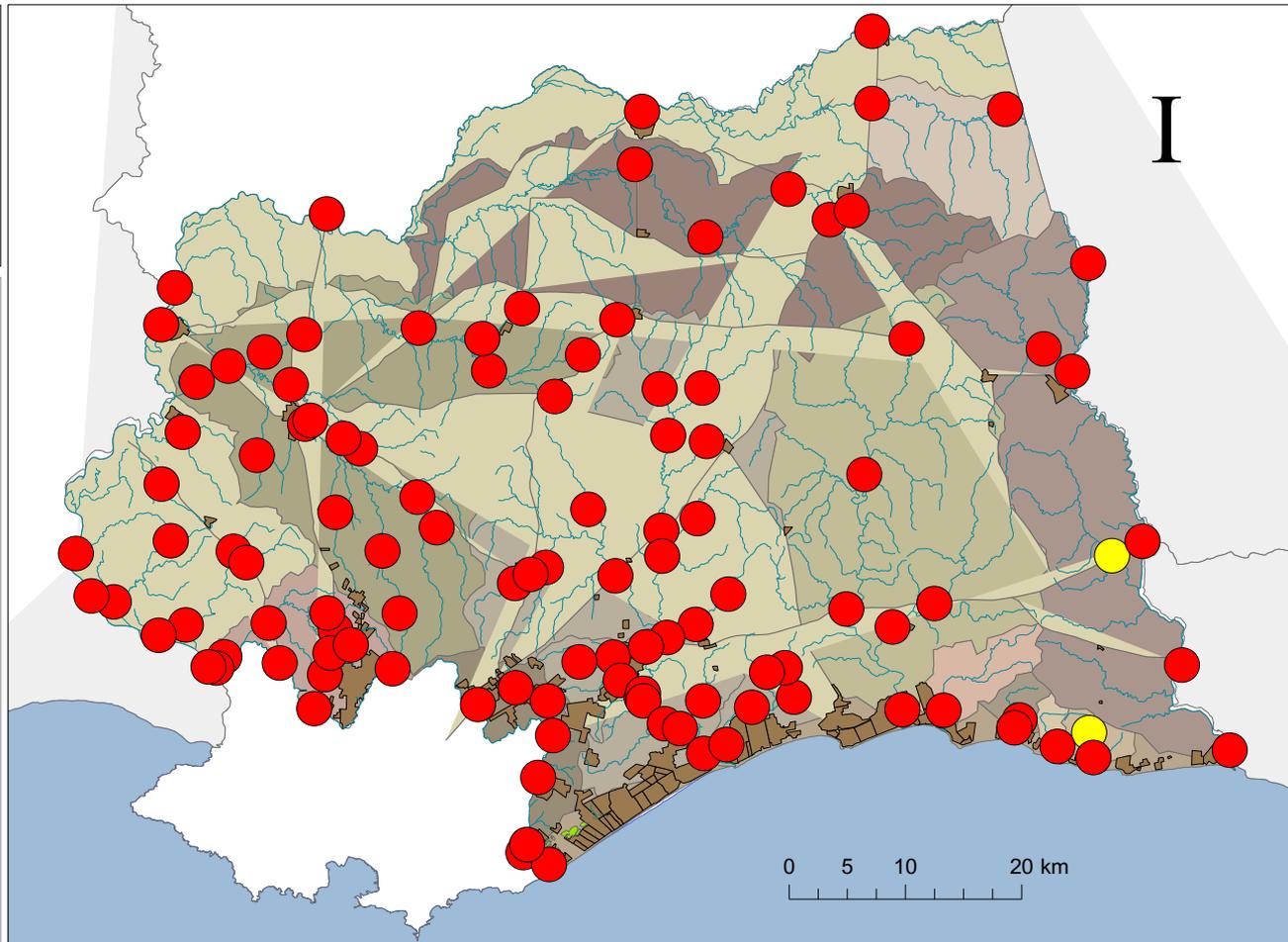
Ninguna muestra cumplió el estándar ambiental (Clase 3, Dec. 253/79,  $< 25 \mu\text{g/L-P}$ ).

Los círculos amarillos representan los valores que sin cumplir con la normativa actual, cumplirían con la propuesta modificativa del Decreto 253/79, aún no aprobada ( $< 100 \mu\text{g/L-P}$ ).

Los círculos rojos representan los puntos que exceden los  $100 \mu\text{g/L-P}$ .

Nivel de incumplimiento Decreto 253/79:  
100% de las muestras.

Nivel de incumplimiento propuesta modificativa: 98,3% de las muestras.



## Línea de Base: PEDCA

Plan Estratégico Departamental de Calidad de Agua  
Comuna Canaria

Centros Poblados

Fósforo Total:  
( $\mu\text{g/L-P}$ )

< 25  
25 - 100  
> 100



Fecha muestreo: 12/02/2009-21/03/2009

Equipo responsable: Goyenola, G.; Acevedo, S.; Machado, I.

Convenio Facultad de Ciencias-DGGA/IMC

Procesamiento de muestras: Lic. Soledad García

Dibujo generado por: G. Goyenola (Lic., MSc), (v.15/04/2010)

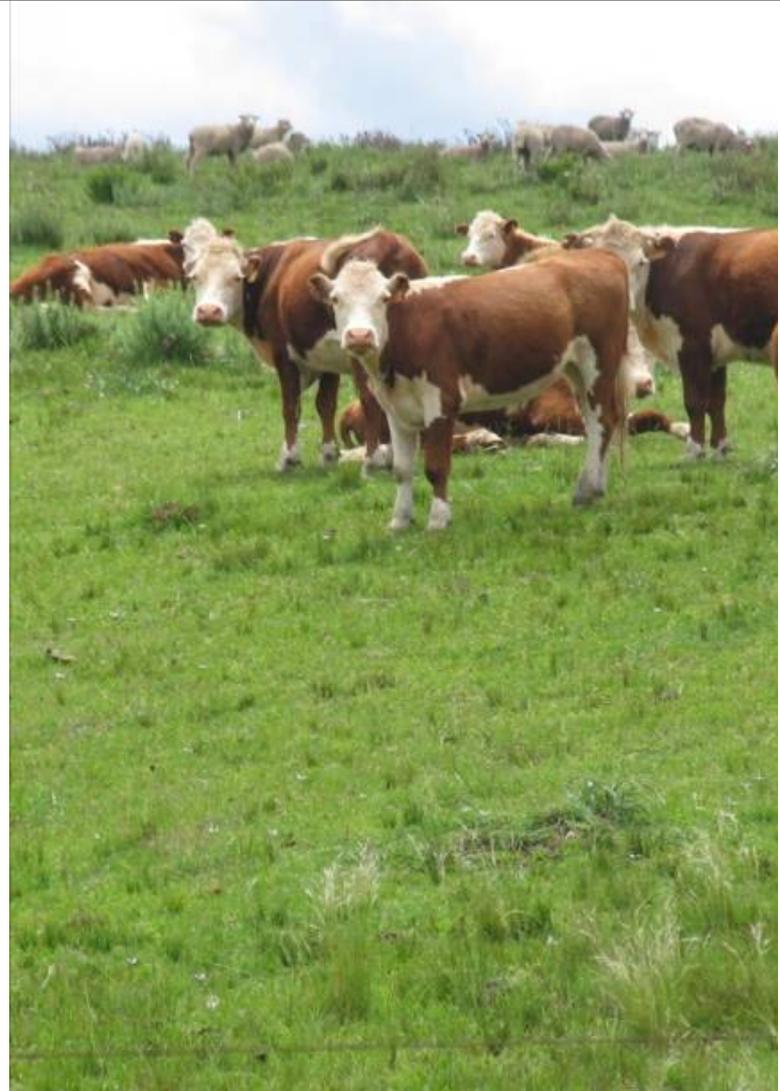
Chequeado por: S. Acevedo (Ing. Qca)

# Efecto de la intensificación agrícola en la calidad de agua

**Agro intensivo: mayor impacto**



**Ganadero extensivo: menor impacto**



# Efecto de la intensificación agrícola en calidad del agua: Fósforo total en arroyos de microcuencas modelo

