

Lección 4. Tipología y origen de los materiales presentes en el agua

Materiales particulados y en disolución. Métodos de estudio. La salinidad. Los elementos conservativos. Tipología de las aguas continentales en función de la salinidad. Adaptaciones de los organismos a la salinidad. El oxígeno: solubilidad, difusión y distribución espacio-temporal en los ecosistemas de aguas continentales. La respiración de los organismos acuáticos. El pH y el potencial redox. La alcalinidad: su importancia en los ecosistemas acuáticos.



<http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/1ESO/hidrosfe/Imagenes/tierra.jpg>

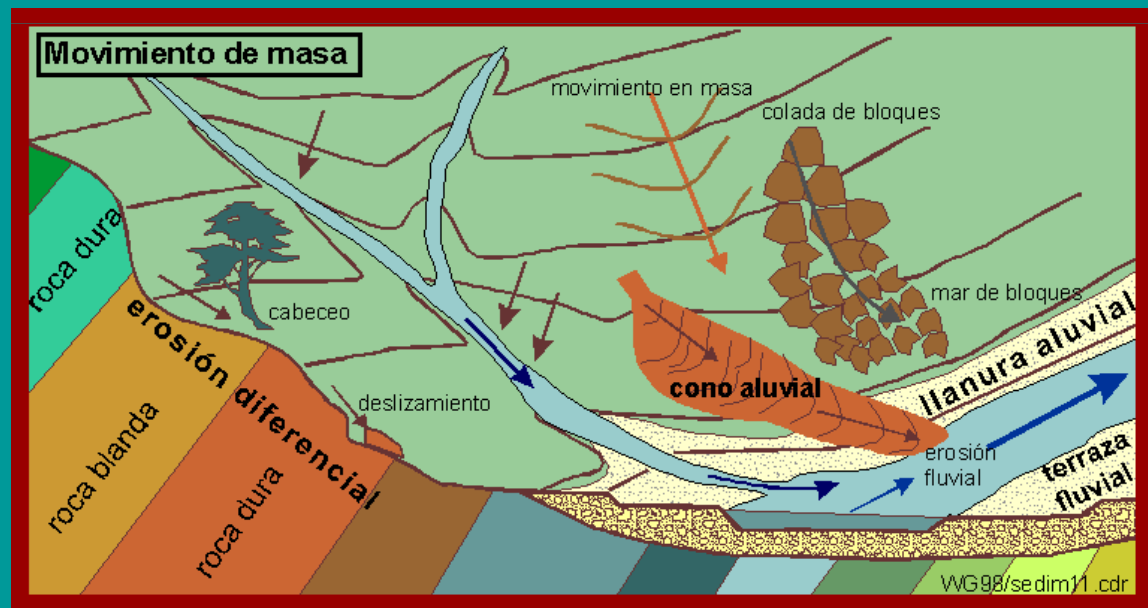
El ciclo hidrológico cuando interacciona con la materia produce fenómenos como:

- Descomposición de las rocas
- Erosión del suelo
- Formación de suelos
- Sedimentación

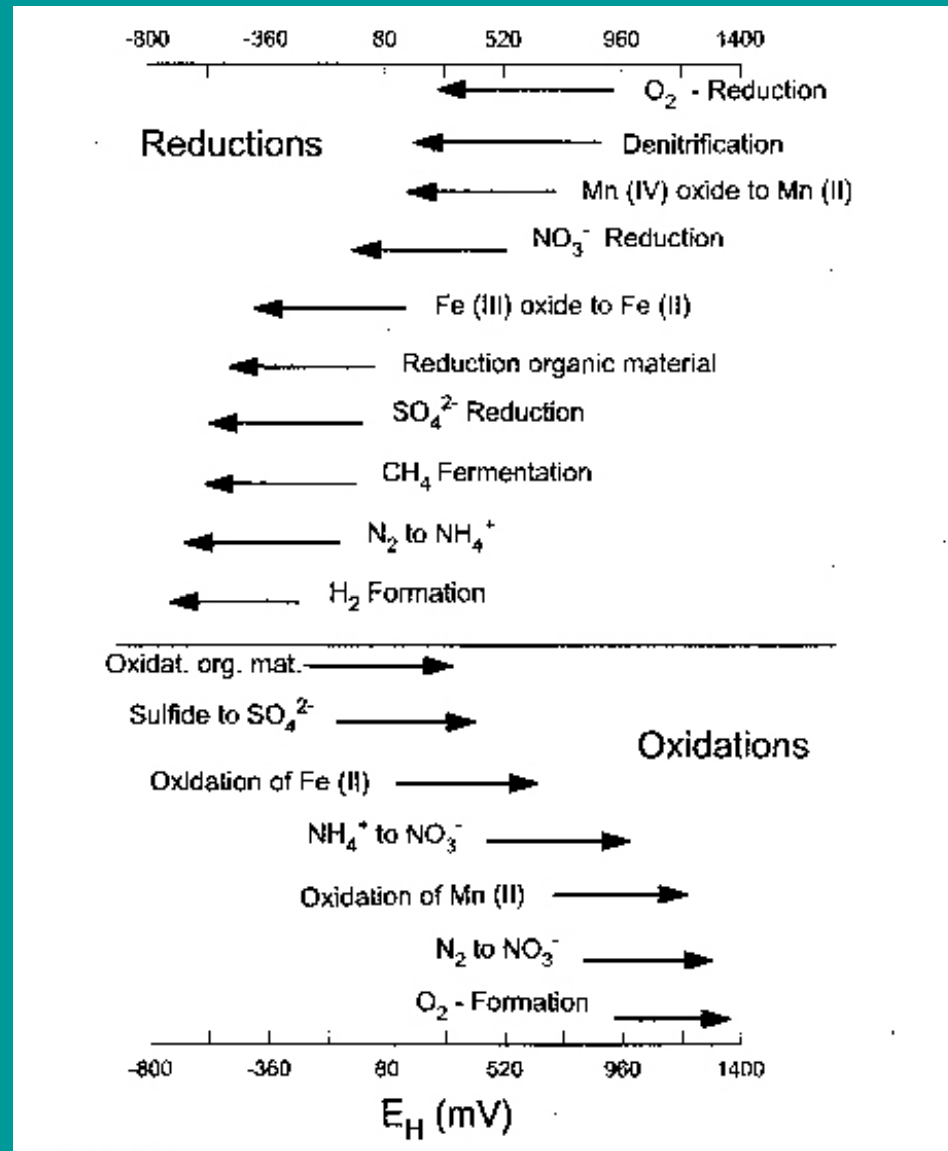
Tanto en la naturaleza como en el laboratorio los procesos químicos que ocurren son de igual naturaleza, como por ejemplo reacciones de:

- precipitación-disolución
- oxidación-reducción
- Reacciones ácido-base
- Interacciones, etc

<http://www.geovirtual.cl/geologiageneral/ggcap05a.htm>



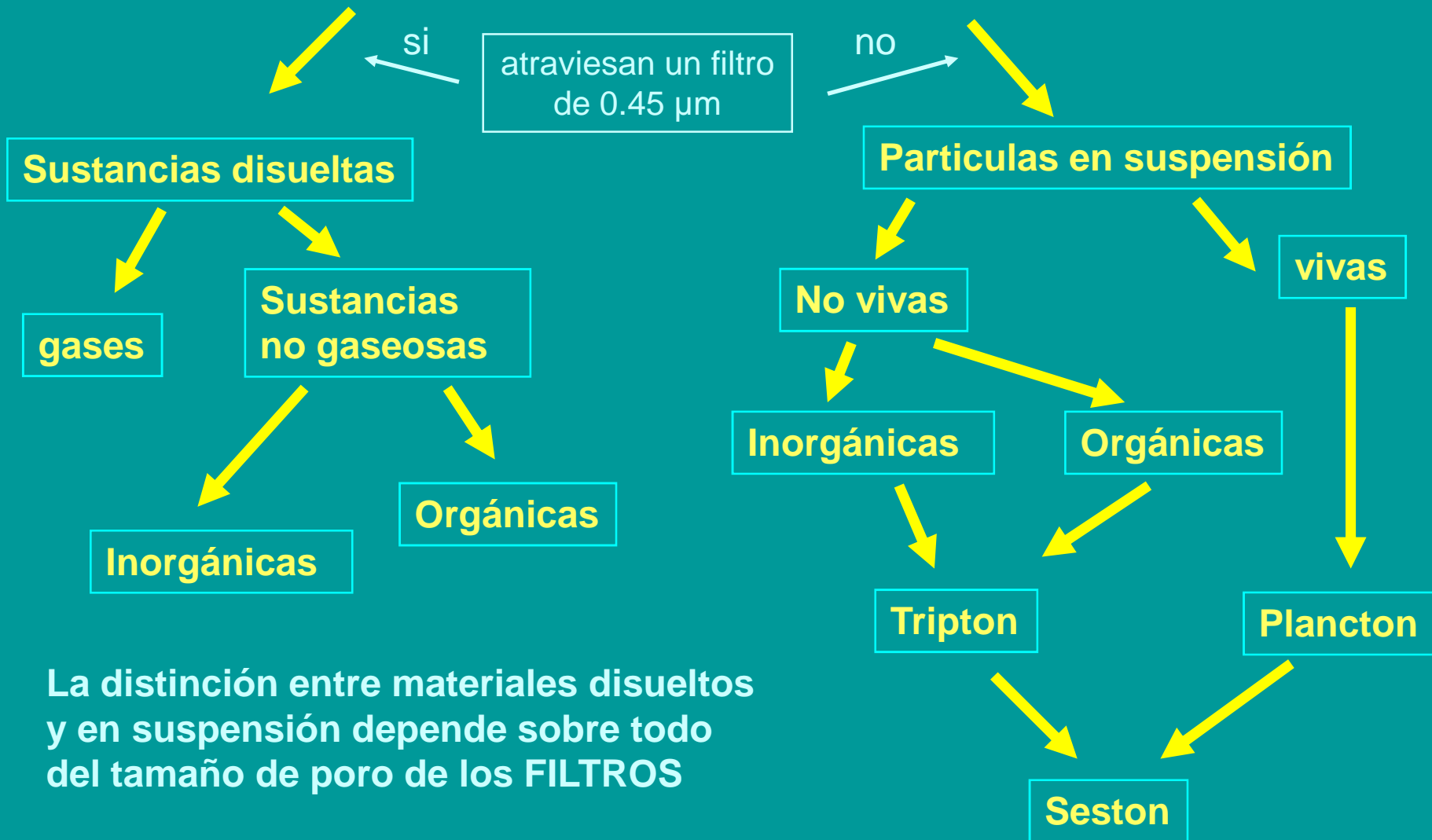
Lección 4. Tipología y origen de los materiales presentes en el agua



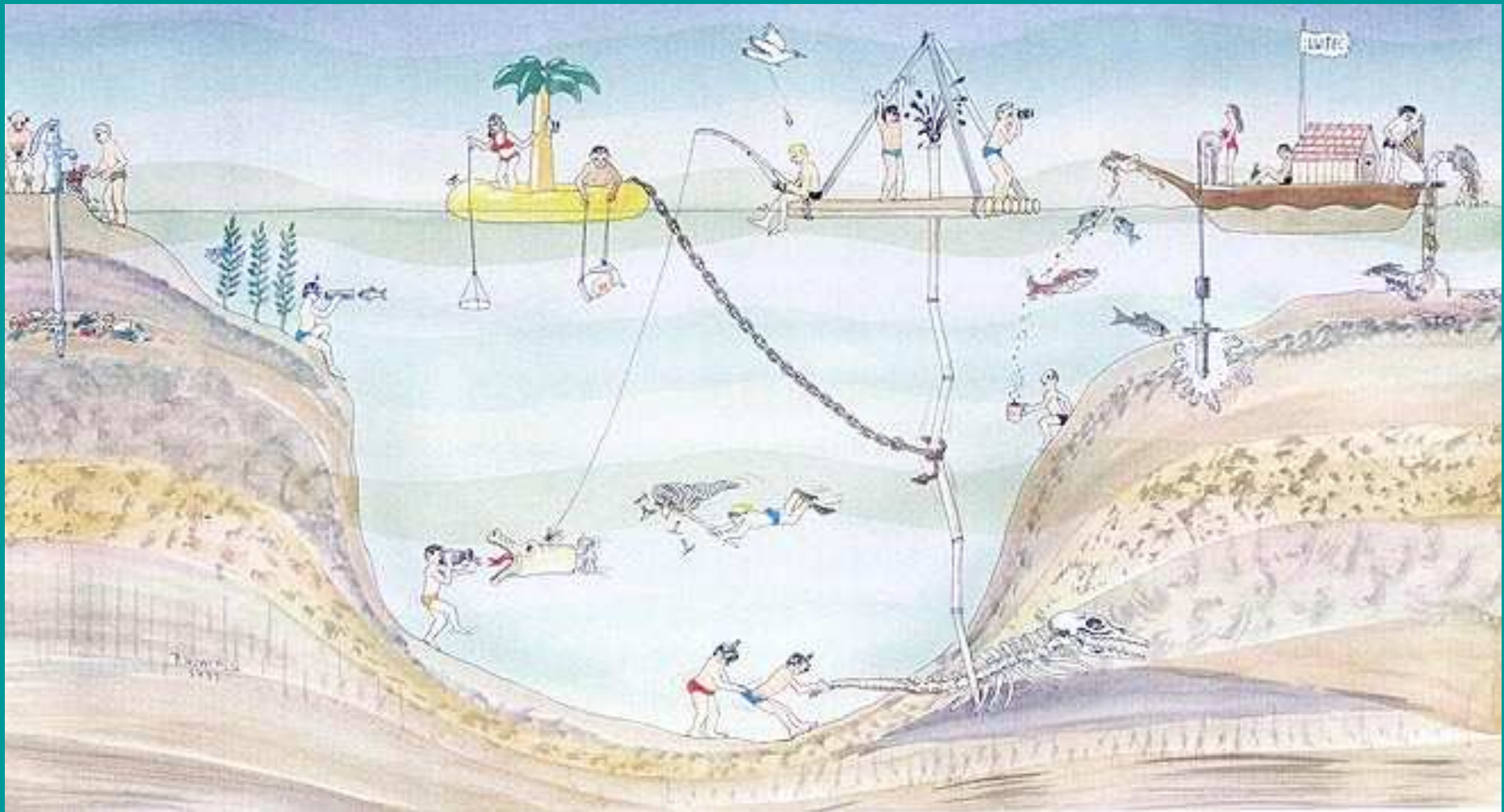
Como ejemplo, en esta grafica se presentan algunas transformaciones químicas mediadas por microorganismos y dibujadas para mostrar la energía producida, expresada como la diferencia entre la punta y el final de la flecha y el potencial redox requerido para realizar la transformación completa.

(redrawn from W. Stumm, and J. J. Morgan, *Aquatic Chemistry: An Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters*. Copyright © 1981 John Wiley & Sons, Inc. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.).

Materiales químicos presentes en el agua

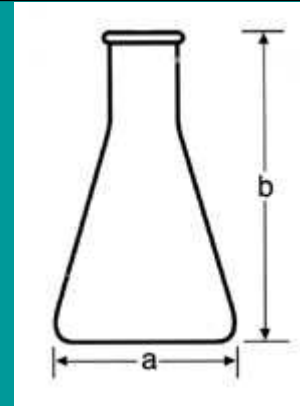


Métodos de estudio: ¿Cómo se toman las muestras?



Materiales

- plástico o
- vidrio de alta calidad
- no reactivos y
- que no evaporen el agua



¿Qué medimos?

- se pueden medir elementos. P.e. O_2 disuelto; calcio, etc
- se pueden medir moléculas. P.e. Nitratos (NO_3), Fosfatos (PO_4)

Métodos de análisis:

- aparatos
- volumetrías
- colorimetrías

Medidas:

- g/l ó mg/l
- $\mu\text{g/l}$
- ppm
- Equivalentes/l.....



¿Cuánto cambia la composición del agua de lluvia después de correr por el suelo?

Composición del agua dulce de Hubbard Brook, New Hampshire (USA).
Concentraciones medias entre 1963-74.

	Agua de lluvia	Agua de escorrentía	Circulación por terreno deforestado
	% equivalentes	% equivalentes	% equivalentes
Ca ²⁺	7.9	47.9	60
Mg ²⁺	3.25	18.2	19.5
Na ⁺	5.16	25.3	9.75
K ⁺	1.77	3.44	12.4
H ⁺	71.58	6.96	
NH ₄ ⁺	12.06	1.83	
SO ₄ ²⁻	59.7	76.9	14.9
NO ₃ ⁻	23.5	18.9	
Cl ⁻	13.2	9.04	4.5
HCO ₃ ⁻	0.097	8.85	

¿Qué ocurre en cada caso?

¿Cuánto se diferencia el agua dulce del agua de mar?

	Agua marina	Agua dulce
	% equivalentes	% equivalentes
Ca ²⁺	3.42	63.5 – 68.2
Mg ²⁺	17.6	17.4 – 25.4
Na ⁺	77.2	4.5 – 15.7
K ⁺	1.65	1.9 – 3.4
SO ₄ ²⁻	9.3	10 - 16
Cl ⁻	90.3	3.9 – 10.1
HCO ₃ ⁻	0.39	73.9 – 85.4

¿Cuál es la composición dominante en cada ecosistema?

La salinidad

- La cantidad de sólidos disueltos en un kg de agua, expresado en g es la **SALINIDAD**
- La salinidad de las aguas continentales está determinada fundamentalmente por
 - 4 aniones: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+
 - 3 cationes: $\text{CO}_3^{=}$, $\text{SO}_4^{=}$, Cl^-

Aguas blandas contienen baja concentración de sales: drenaje de rocas ígneas.

Aguas duras contiene altas concentraciones de sales: drenaje de terrenos calizos



DISTRIBUCIÓN DE LOS IONES PRINCIPALES



Aguas dulces y duras: $\text{CO}_3^{=} > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{=}$

Terrenos blandos : $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{=} > \text{CO}_3^{=}$

Terrenos con cloruros: $\text{Cl}^- > \text{CO}_3^{=} > \text{SO}_4^{=}$



Secuencia de precipitación:

CO_3Ca (calcita) \rightarrow CO_3Mg (Dolomita : $(\text{CO}_3)_2 \text{CaMg}$) \rightarrow $\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (yeso)

- La salinidad muestra una relación positiva y altamente significativa con la Conductividad eléctrica, que se define como la cantidad de electricidad transportada de un electrodo a otro en un segundo a través de una sección de un cm^2 , a una diferencia de potencial de un voltio y se expresa en $\mu\text{Siemens/cm}$ (NO se cumple a altas salinidades).
- Los sólidos totales disueltos (STD) es otra medida equivalente a la salinidad y se obtiene filtrando una muestra de agua, evaporando el filtrado ($<100^\circ\text{C}$) y midiendo el peso seco.
- La salinidad de las aguas continentales depende de:
 - Escorrentía
 - **Geología de la cuenca de drenaje (incluida la edad de los materiales)**
 - Tamaño de la cuenca
 - Distancia al mar
 - **Las entradas atmosféricas (precipitación)**
 - **Procesos de evaporación-precipitación**

La salinidad de las aguas continentales varía entre 0 y 339 g / l

Se admite que a partir de 3 – 3.5 g / l las aguas son salinas.

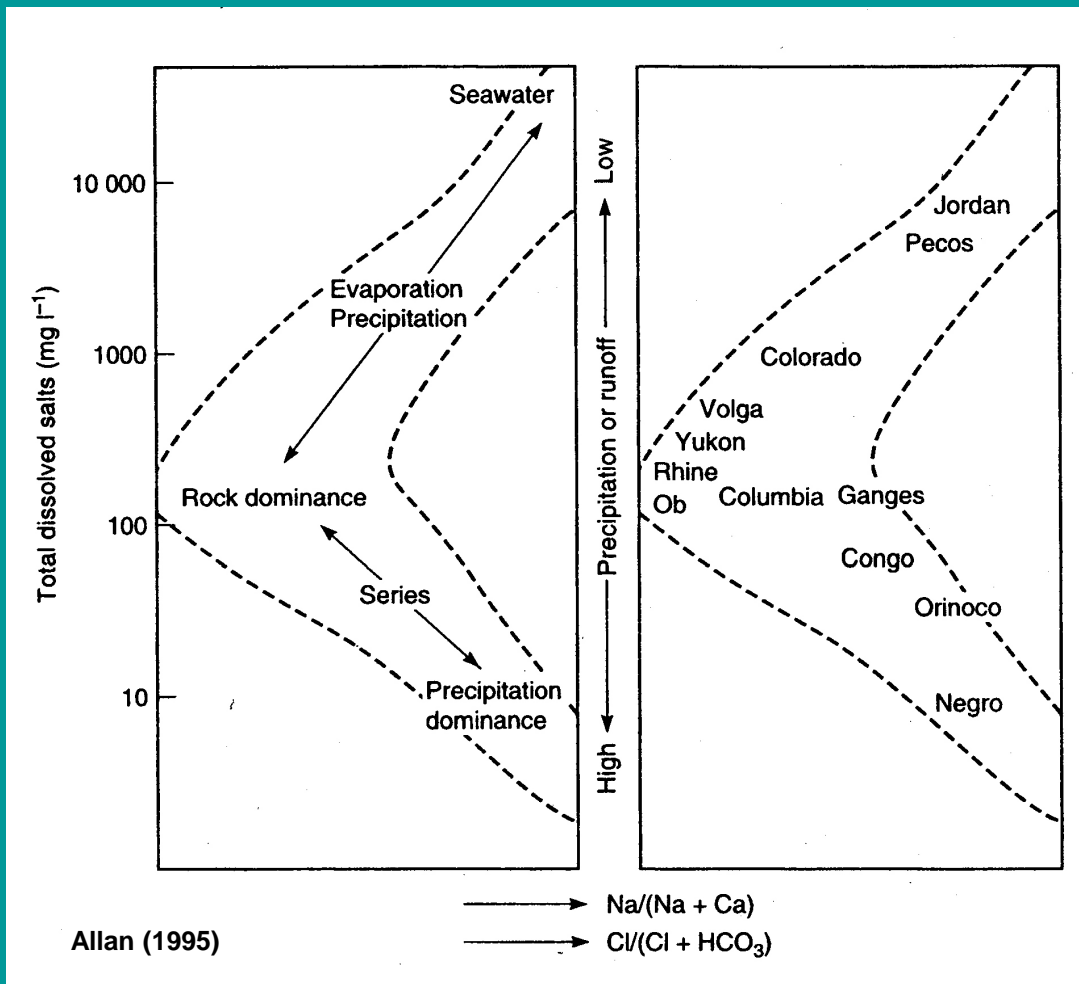
Lección 4. Tipología y origen de los materiales presentes en el agua



http://www.kalipedia.com/kalipediamedia/cienciasnaturales/media/200704/17/tierrayuniverso/20070417klpcnatun_75.les.SCO.jpg

En el Mar Muerto la concentración de sales es aproximadamente de 350 g/l

Lección 4. Tipología y origen de los materiales presentes en el agua



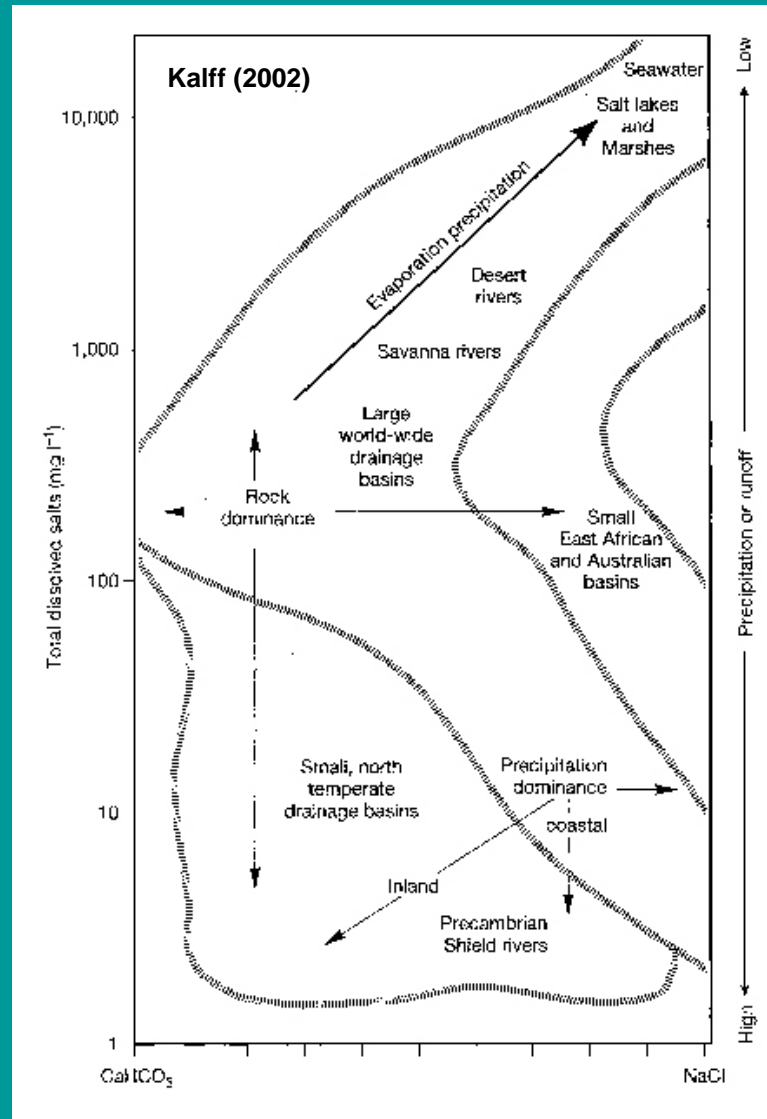
Clasificación de las aguas continentales del mundo basada en el ratio sodio/calcio y cloruros/bicarbonatos, en relación con el total de sales disueltas (STD).

En el centro se localizan las aguas cuya composición depende del material geológico dominante. De izquierda hacia la derecha del brazo inferior se localizan las aguas de baja salinidad (la mayoría de los grandes ríos del mundo). En este brazo la concentración de sales depende de las lluvias (altas precipitaciones). En el otro brazo se localizan los ríos de alta salinidad de las regiones más áridas de la Tierra, donde la evaporación es el proceso dominante.

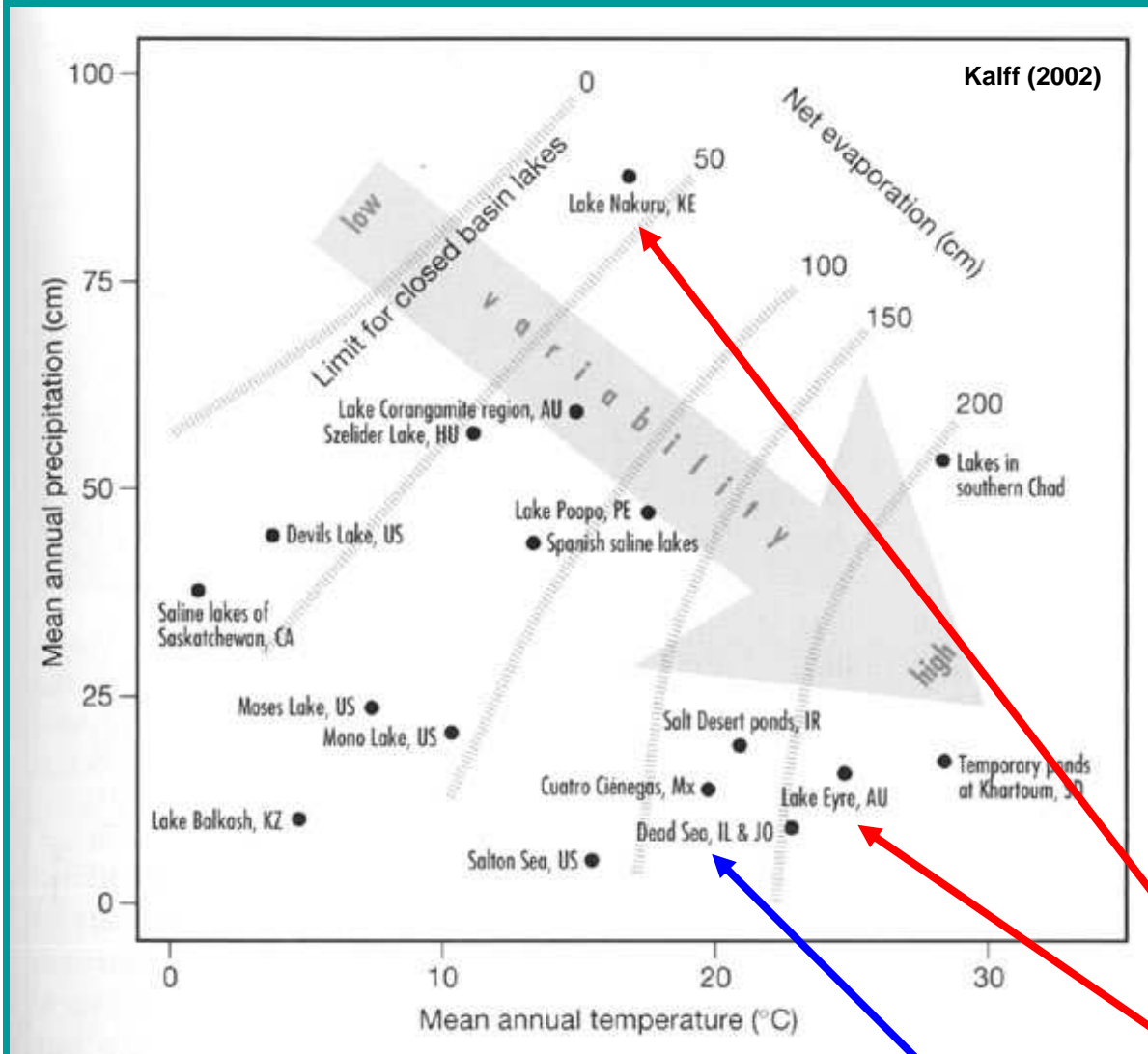
De izquierda a derecha la dominancia del Na y el Cl frente al Ca y el bicarbonato es evidente (Gibbs, 1970 y Payne, 1986).

Lección 4. Tipología y origen de los materiales presentes en el agua

Esta gráfica es una modificación de la anterior, cuando se le incluyen muchos más datos sobre ríos de otras partes del mundo. Nota como el esquema se desvirtúa bastante.



Distribución de lagos salinos



Distribución de lagos de cuencas cerradas en función de la precipitación media anual, la temperatura y la evaporación neta. El incremento de la temperatura y la evaporación, junto con precipitaciones escasas y altamente variables en zonas áridas, incrementan la variación estacional y anual en la concentración salina y en el tamaño de los lagos, típicamente someros. Sin embargo, las variaciones de las precipitaciones a una escala mayor de tiempo, permiten la desecación total de lagos someros como el lago Nakuru (Kenia) o el lago Eyre (Australia).

Mar Muerto

Lección 4. Tipología y origen de los materiales presentes en el agua

Salinidad (g/l) y principales iones (entre paréntesis su concentración en %) en algunos lagos salinos. Observar la alta variabilidad tanto en la salinidad como en la composición iónica.

Lake/Sea	Salinity (g l ⁻¹)	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃	+CO ₃
Redberry (CA)	18	1.9 (29.2)	0.2 (1.7)	0.1 (1.8)	2.3 (67.4)	0.2 (2.2)	12.5 (93.1)	0.6 (3.2)	0.1 (1.5)
Van (TR)	23	8.1 (94.8)	0.4 (2.8)	0.0 (0.1)	0.1 (2.4)	5.9 (44.6)	2.4 (13.6)	2.4 (10.7)	3.5 (31.1)
Seawater	35	10.8 (77.0)	0.4 (2.0)	0.4 (4.0)	1.3 (18.0)	19.4 (90.0)	2.7 (9.3)	0.1 (0.4)	0.0 (0.0)
Bogoria (KE)	36	14.4 (98.6)	0.3 (1.2)	0.0 (0.2)	0.0 (0.0)	3.4 (14.1)	0.2 (0.6)	17.7 (85.3)	
Gallocanta (ES)	40	7.9 (53.1)	0.2 (1.0)	0.3 (2.6)	3.4 (43.3)	18.1 (71.3)	9.7 (28.3)	0.0 (0.0)	0.1 (0.3)
Soda (US)	82	20.0 (71.4)	1.5 (3.2)	0.6 (2.6)	3.4 (22.7)	4.1 (9.5)	50.4 (86.2)	1.5 (2.0)	0.8 (2.3)
Mono (US)	89	29.5 (96.9)	1.5 (2.9)	0.0 (0.0)	0.0 (0.2)	17.6 (32.6)	10.3 (14.1)	11.2 (12.0)	18.9 (41.3)
Eyre (AU)	116	45.8 (96.4)	0.0 (0.0)	0.9 (2.3)	0.3 (1.3)	68.0 (95.9)	2.9 (4.1)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
Dead Sea (IR, JO)	295	38.5 (29.7)	6.5 (2.9)	16.4 (14.5)	36.1 (52.8)	196.9 (98.7)	20.6 (0.2)	0.2 (0.1)	0.0 (0.0)
Great Salt Lake (US)	332	105.4 (80.6)	6.7 (3.0)	0.3 (0.3)	11.1 (16.0)	181.0 (89.8)	27.0 (9.9)	0.5 (0.2)	0.3 (0.2)
Don Juan (AQ)	339	11.5 (7.9)	0.2 (0.7)	114.0 (90.4)	1.2 (1.6)	212.0 (100.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)

España

Source: From Hammer 1986.

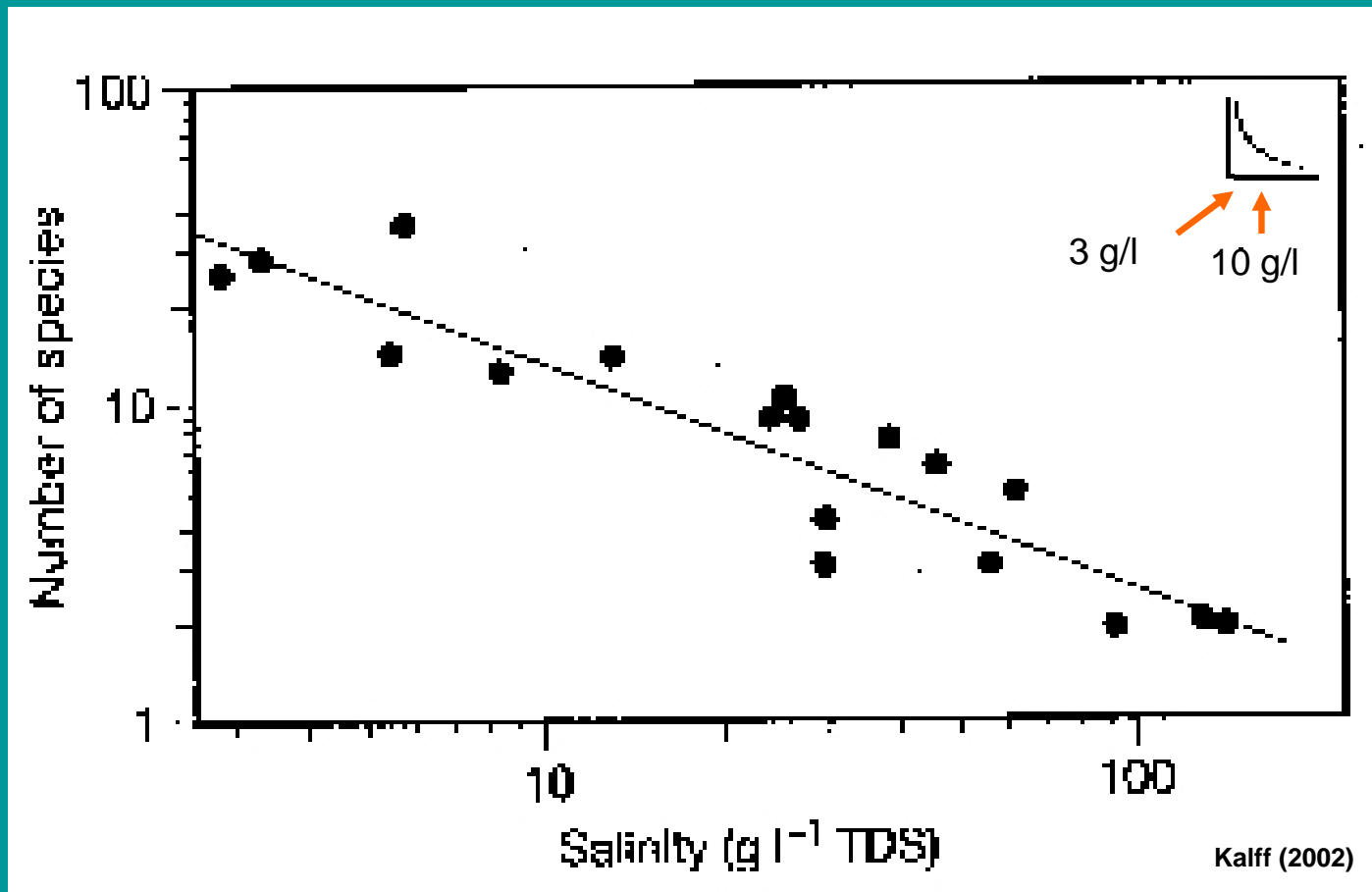
Kalff (2002)

Se han hecho muchos intentos por buscar valores para distinguir las aguas dulces de las salinas.

En general se admite que:

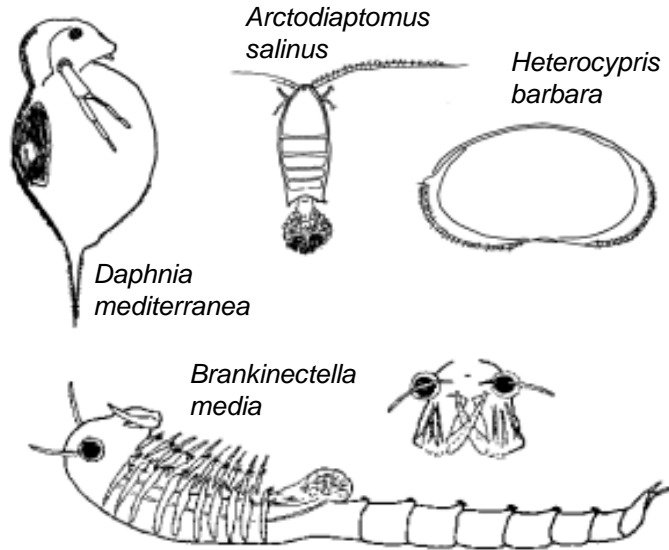
- Las aguas salinas son aquellas que tienen una salinidad superior a 3 g/l (5.500 μ S/cm) a 25 °C .**
- Las aguas dulces tienen una salinidad inferior a 0.5 g/l (670 μ S/cm a 25 °C).**
- Las aguas subsalinas están entre estos dos valores.**

- El agua de mar tienen una salinidad entre 33 y 35 g/l**



Relación entre el logaritmo de la riqueza de especies de macrobentos y la salinidad (expresada como sólidos totales disueltos) de 18 lagos en Canadá. Observa, en la parte derecha y arriba de la figura, como entre 3 y 10 g/l de salinidad disminuye rápidamente la riqueza de especies y como lo hace más despacio a partir de los 10 g/l.

Lección 4. Tipología y origen de los materiales presentes en el agua

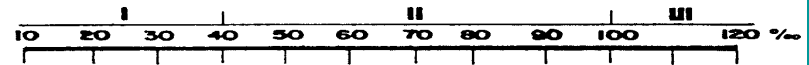


Hasta 80 g/l de salinidad podemos encontrar fauna y flora especializada

Montes & Martino (1987)



CLASES DE SALINIDAD



VEGETACION ACUATICA

Macrofitos

R. drepanensis (RD)

A. filiformis (AF)

Carofitos

L. papulosum (LP)

T. glomerata (TG)

C. Galloides (CG)

Hepatica

R. Helicophylla (RH)

Ruppia drepanensis

Althenia filiformis

Lamprotamium papulosum

Tolypella glomerata

Chara galloides

Riella helicophylla

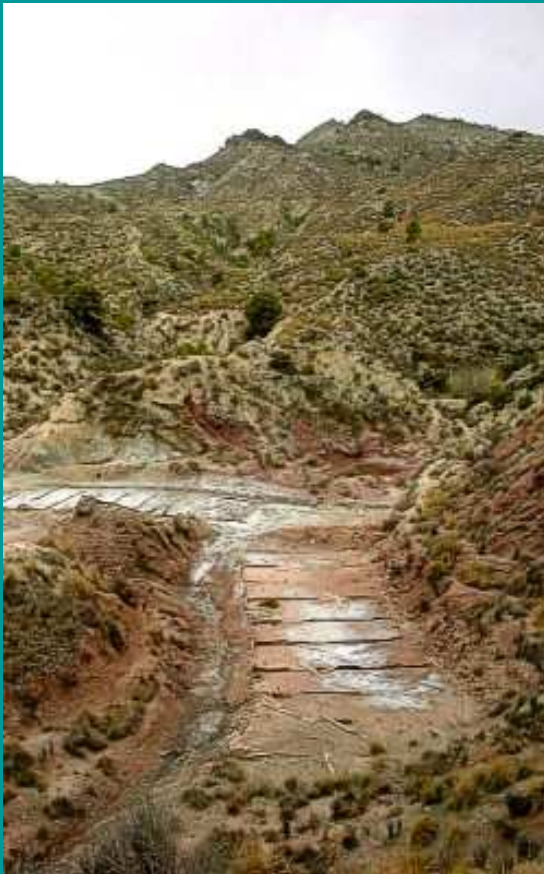
Lección 4. Tipología y origen de los materiales presentes en el agua

A partir de 100 g/l hasta > 300 g/l

Tapetes
microbianos

Dunaliella
salina

http://www.bvs.sld.cu/revistas/far/vol34_2_00/far09200.htm



El oxígeno: solubilidad y difusión:

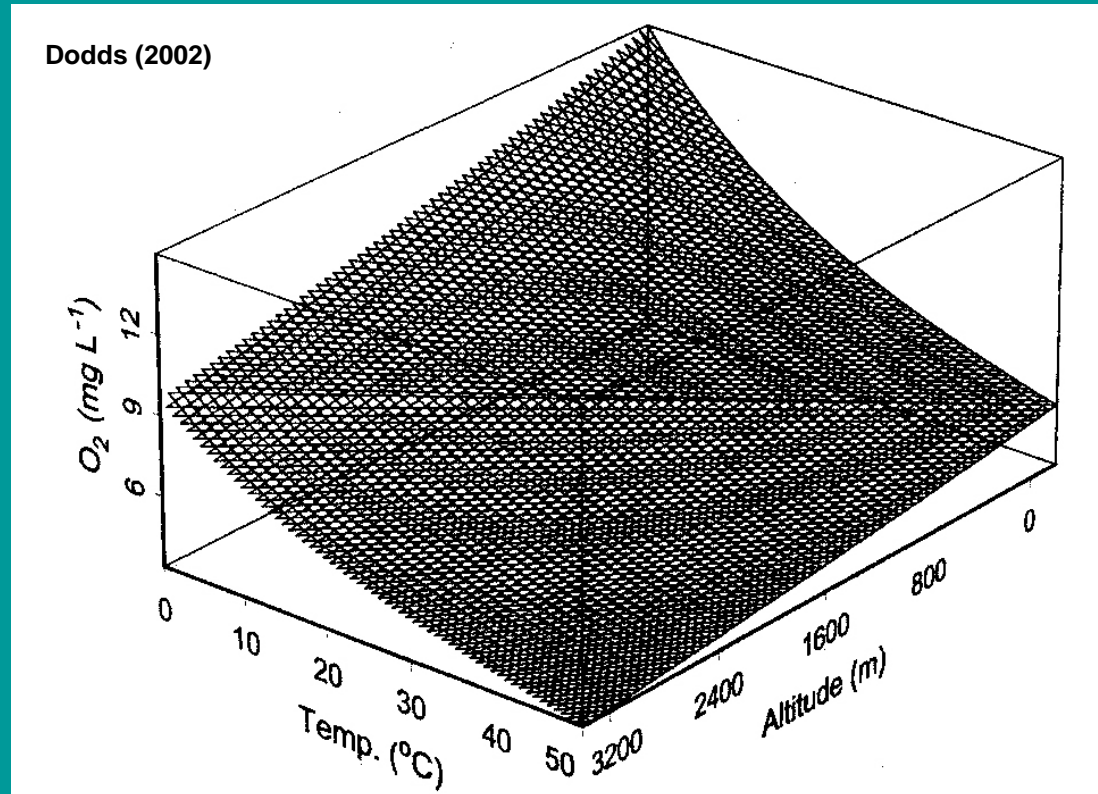
Las aguas superficiales contienen : 15-25 ppm N₂
8-14 ppm O₂

- El nitrógeno es menos soluble que el oxígeno
 - La presión parcial del nitrógeno es 3 veces superior a la del oxígeno
 - No cambia su estructura química al disolverse en el agua
 - El CO₂ cuando entra en contacto con el agua → CO₃H₂
 - Método de estudio: Winkler
- Solubilidad del oxígeno es directamente proporcional a la presión parcial del mismo e inversamente proporcional a la temperatura.

<http://www.lenntech.com/espanol/Por-que-es-importante-el-oxigeno-disuelto-en-el-agua.htm>

<http://www.esf.edu/efb/schulz/Limnology/dissolvedgas.html>

•Depende de la **Temperatura**, de la **Altitud** y de la **Salinidad**



- La solubilidad del oxígeno disminuye al aumentar la temperatura.
- Aumenta al hacerlo la presión atmosférica (a mayor altitud menor solubilidad).
- Aumenta con la profundidad.
- Disminuye con la salinidad.
- La concentración de oxígeno en el agua puede exceder el nivel de saturación.

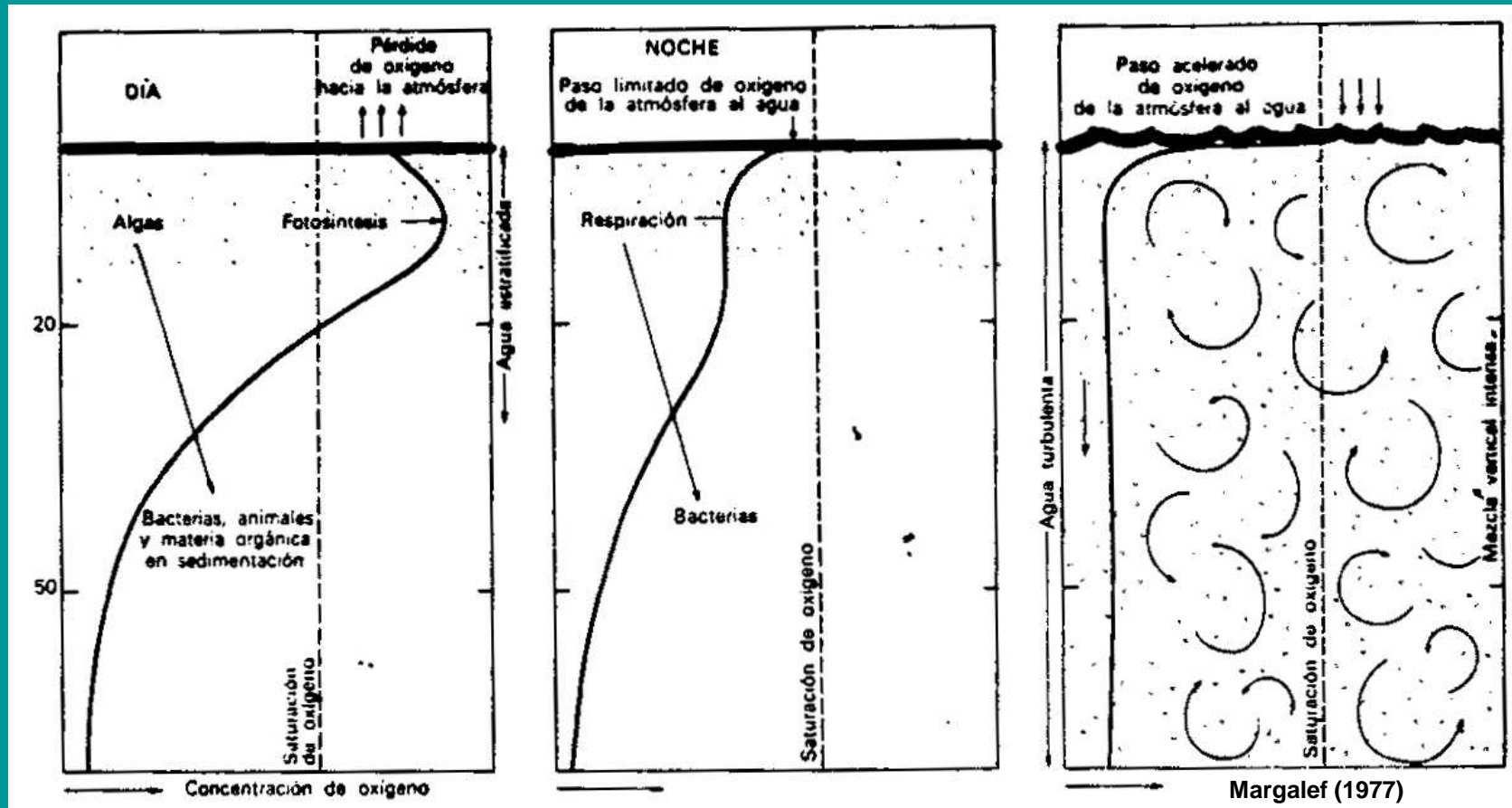
Concentraciones de saturación del oxígeno disuelto como una función de la temperatura del agua y la altitud. La ecuación que describe la curva es:

$$\ln(O_2) = 2.692 - 1.27 \times 10^{-4} (\text{altitud}) - 6.15 \times 10^{-10} (\text{altitud})^2 - 0.0286 (\text{temperatura} + 2.72 \times 10^{-4} (\text{temperatura})^2)$$

donde $O_2 = \text{mg/l}$, $\text{altitud} = \text{m}$; y $\text{temperatura} = ^\circ\text{C}$

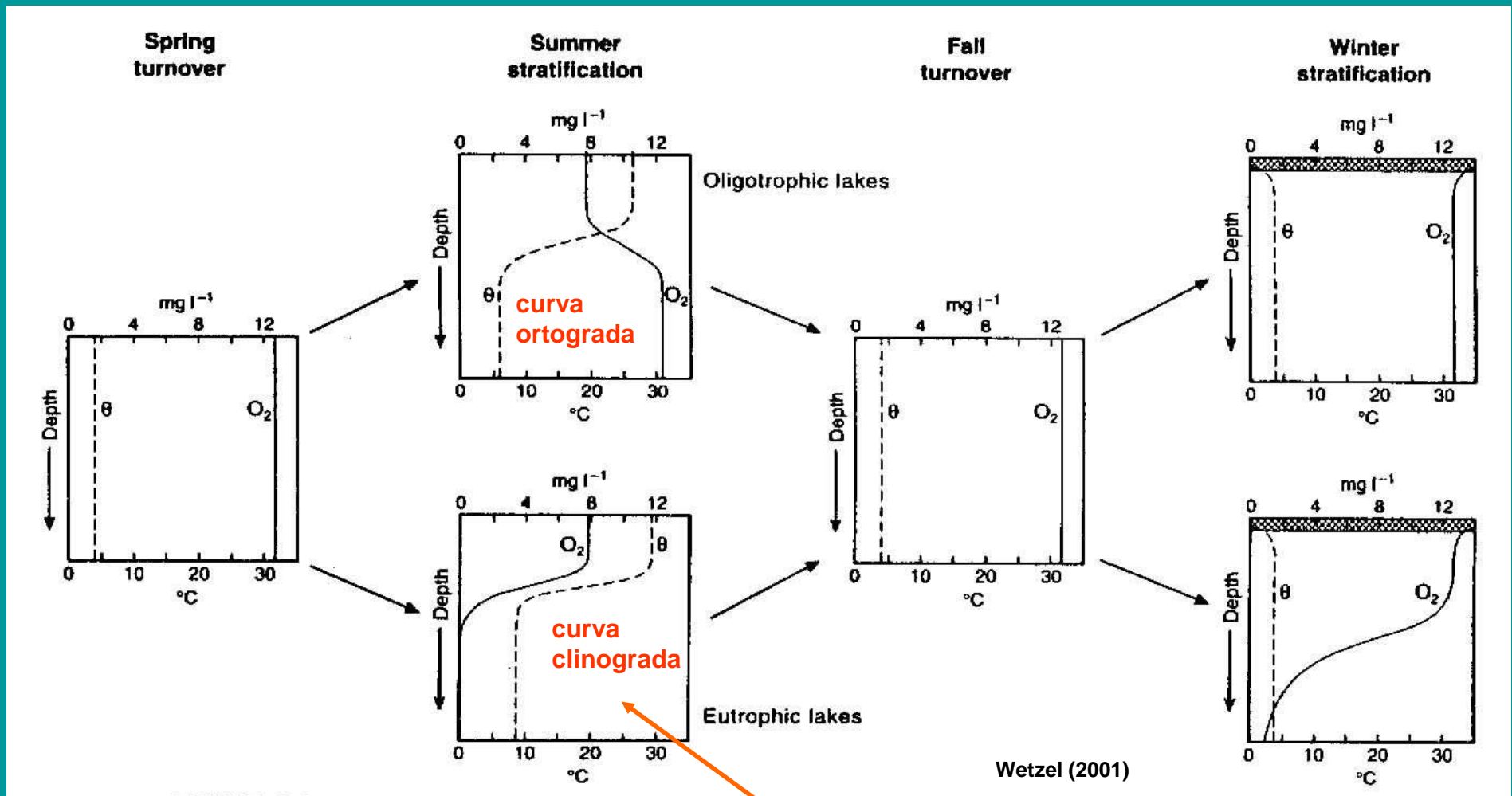
El grado de difusión: depende de la turbulencia. Suponiendo un agua inicialmente desprovista de oxígeno, al cabo de un año la concentración a una profundidad de 6 m sería de 0.25 ml/l

Distribución espacio-temporal del oxígeno en los ecosistemas de aguas continentales



Perfiles verticales de la distribución de oxígeno en un agua con gran consumo de O_2 por parte de bacterias y organismos acuáticos. Los dos ejemplos de la izquierda corresponden a día y noche de un agua estratificada, con una capa superior iluminada rica en algas. En el ejemplo de la derecha, existe una elevada turbulencia que tiende a uniformizar el gradiente vertical de oxígeno a la vez que dispersa a las algas.

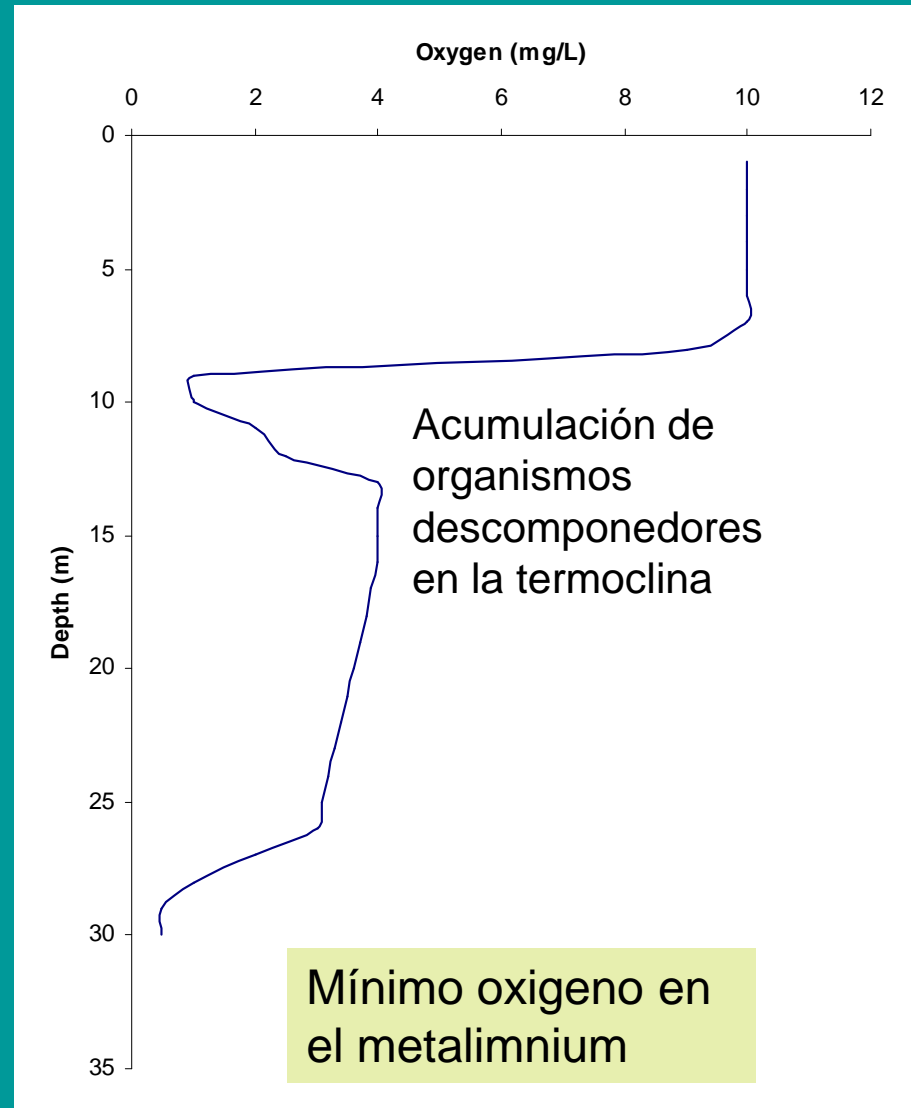
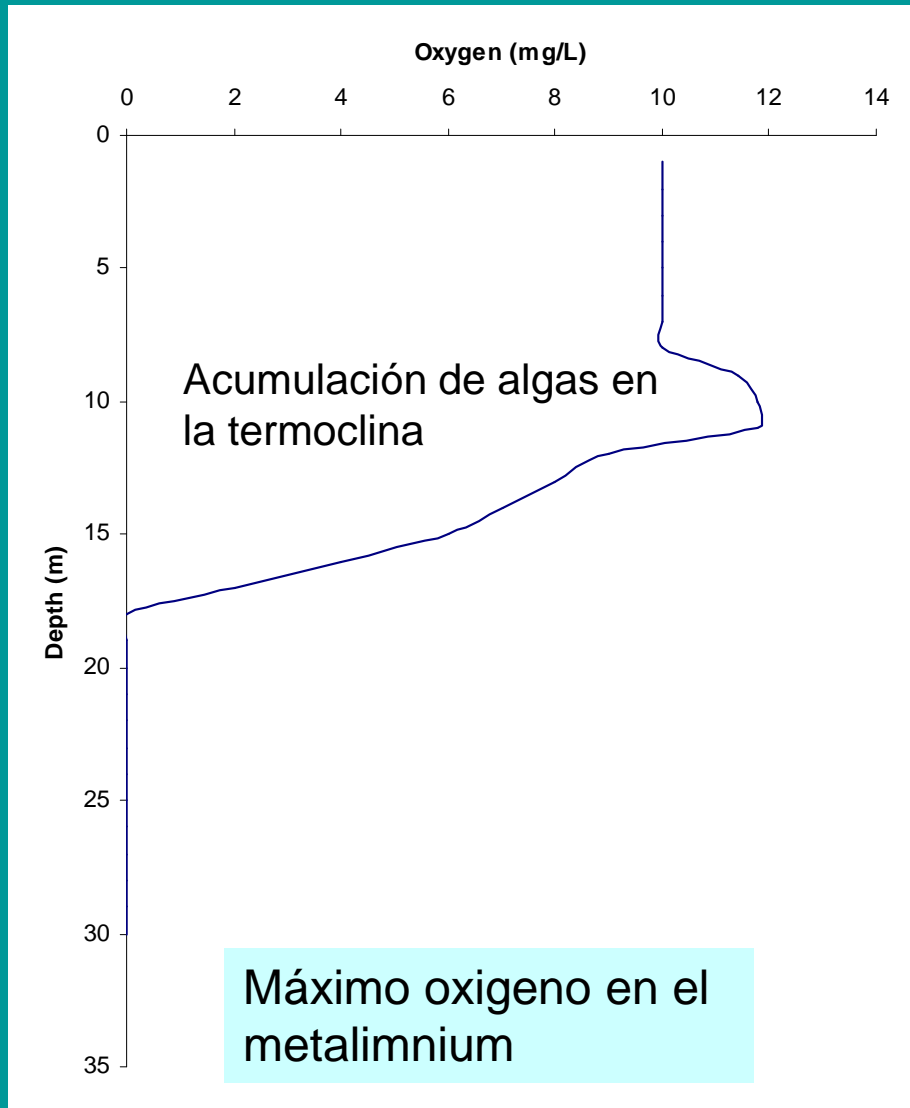
Lección 4. Tipología y origen de los materiales presentes en el agua



<http://www.meumundo.americaonline.com.br/jlvcouto/tem.htm>

Distribución vertical ideal de las concentraciones de oxígeno y temperatura durante las cuatro estaciones del año en dos lagos dimícticos: uno oligotrófico y otro eutrófico

Una curva **heterograda** de oxígeno produce un pico a una profundidad intermedia

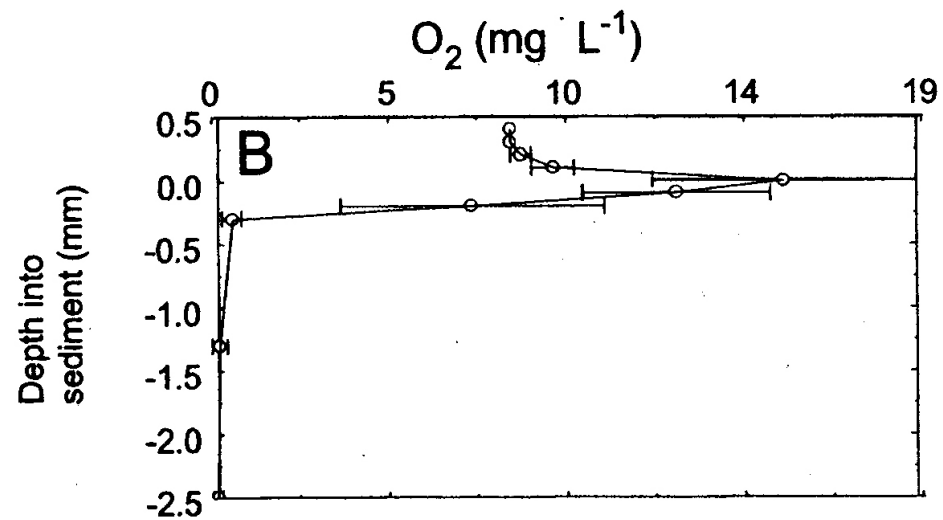
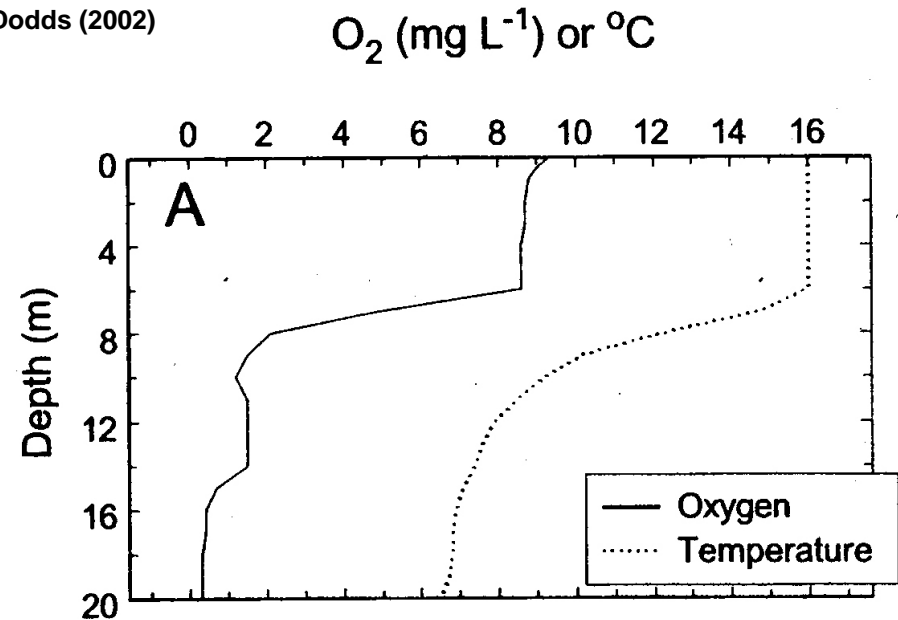


Lago de Oregón, Octubre, a media mañana

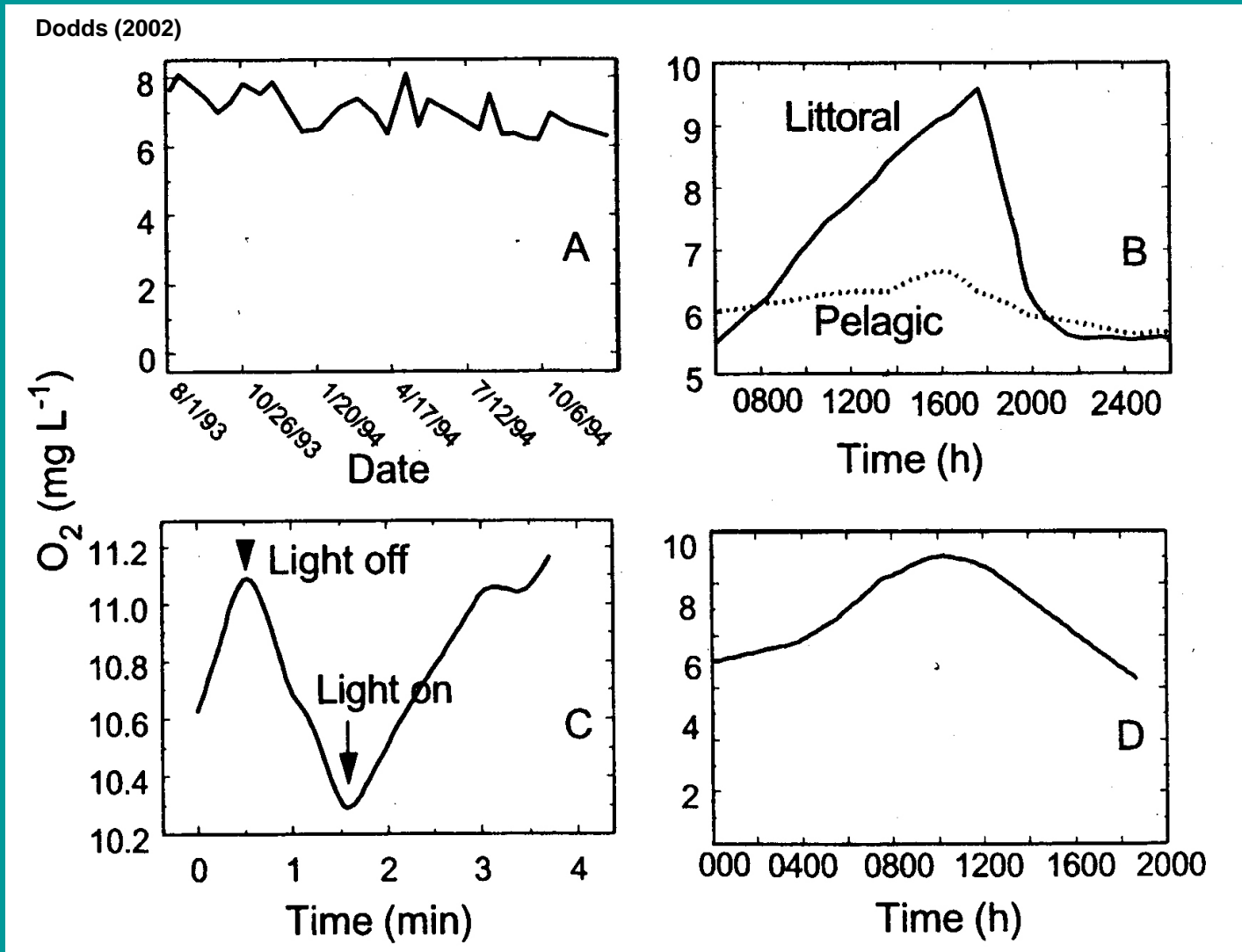
Río Saskatchewan en una zona con alta densidad de vegetación, en junio al medio día

Observa, en el lago, la escasez de oxígeno en el hipolimnium y la posibilidad de que haya fotosíntesis entre los 10 y 14 m de profundidad que causa un leve aumento del oxígeno. En el río se observa una sobresaturación en la superficie del sedimento.

Dodds (2002)



Lección 4. Tipología y origen de los materiales presentes en el agua



Variación temporal del oxígeno en: (A) aguas subterráneas de Kansas, (B) zonas pelágica y litoral de un lago en Indiana, (C) una comunidad de perifiton, (D) en un río.

Observa la escala de tiempo a la que ocurre cada fenómeno.

La respiración de los organismos acuáticos

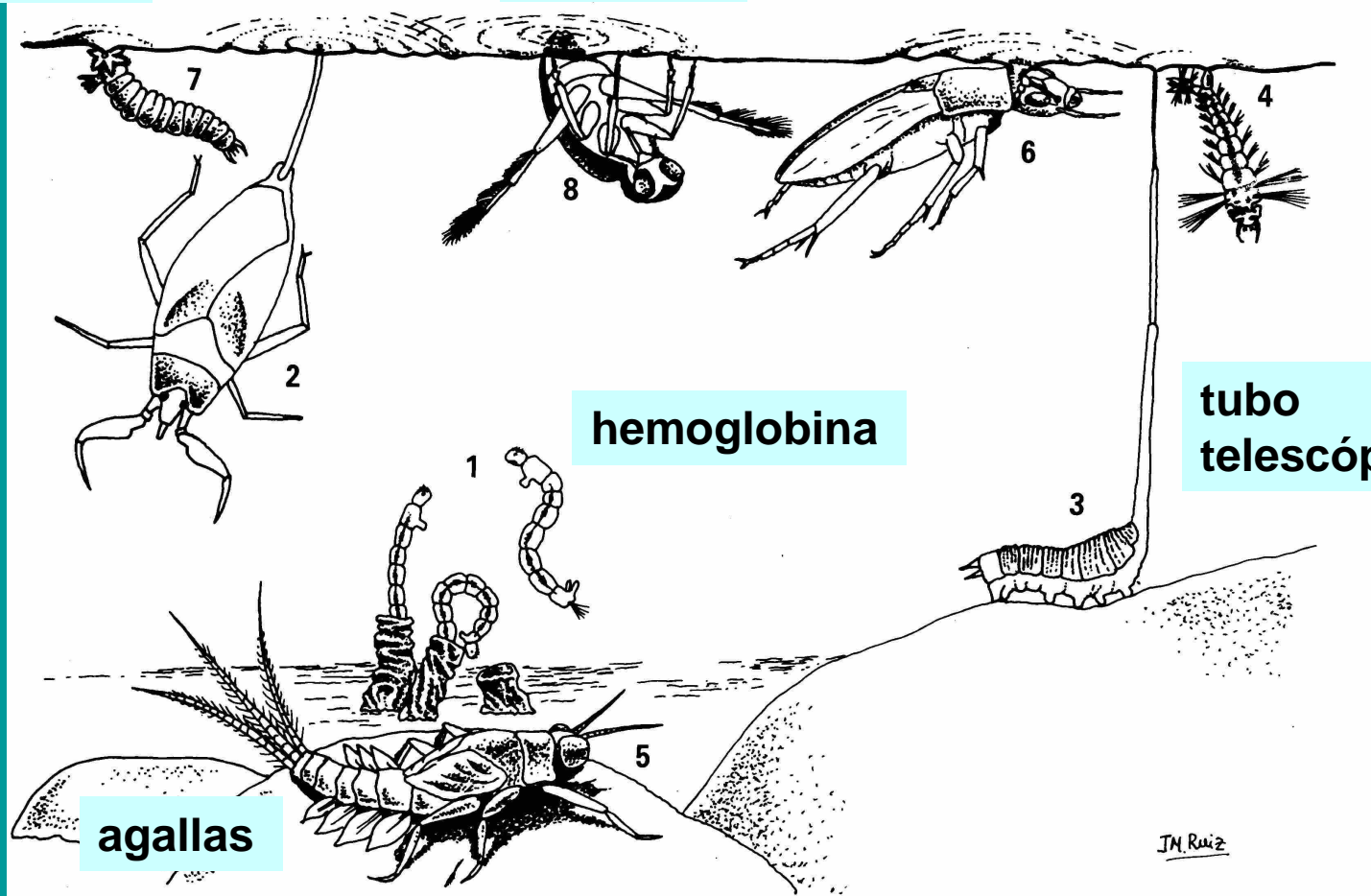
espiraculo

sifón y
espiraculo

plastron
permanente

plastron

espiraculos



hemoglobina

tubo
telescópico

agallas

El pH

$H_2O \rightarrow H^+ + OH^-$ (constante de disociación del agua = 10^{-14} ; $\rightarrow 10^{-7}$ iones.g/l H^+ y OH^-)

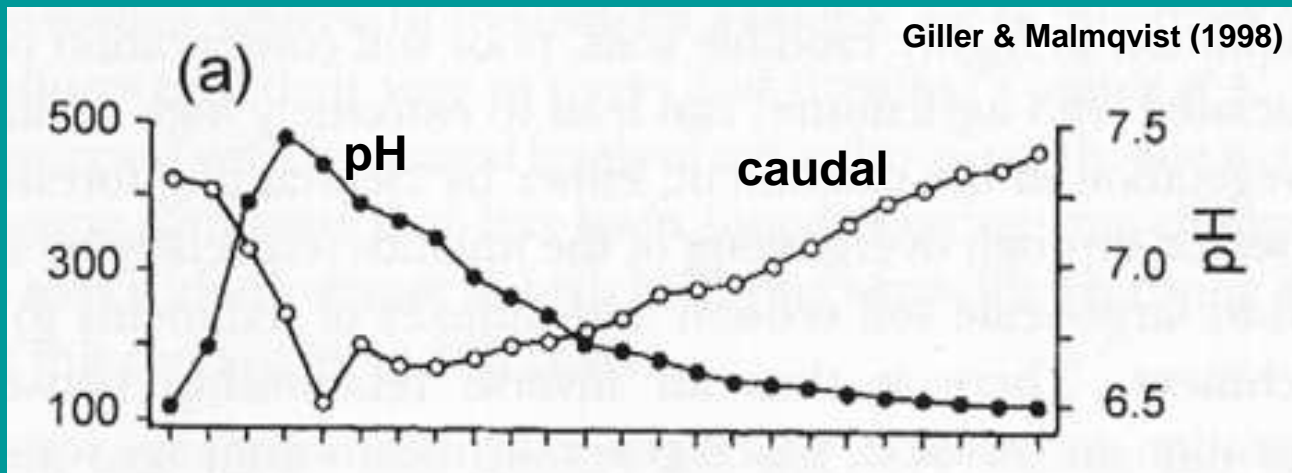
Los H^+ no existen en disolución, se unen a moléculas de agua para formar puentes de H

$pH = \log 1/H^+$ *p* del pH es el potencial de actividad del ión H^+

En agua dulce $pH = 6.5 - 8.7$

Hay aguas ácidas, volcánicas, o de drenaje de minas, con $pH < 3$

Hay aguas alcalinas, muy ricas en sódio con $pH > 9$



Cambios episódicos en la química del agua asociados a las riadas.

El potencial redox:

Oxidación = pérdida de electrones

Reducción = ganancia de electrones.

Elementos oxidantes = capaces de captar electrones : Cl, O, S

Elementos reductores = capaces de ceder electrones : Ca, K, Mg, Na

Un sistema de oxidación-reducción puede actuar en uno u otro sentido dependiendo de la condiciones del medio, pH, temperatura, etc.

Potencial red-ox (Eh) = presión eléctrica existente en un líquido como resultado de las concentraciones respectivas de oxidantes y reductores.

A pH neutro y 25 °C la mayoría de las aguas tiene Eh = 500 mV

En estas condiciones la mayoría de nutrientes y metales están en forma oxidada y son estables.

Si se produce una bajada en la concentración de oxígeno, se producen reacciones de reducción, por ejemplo:

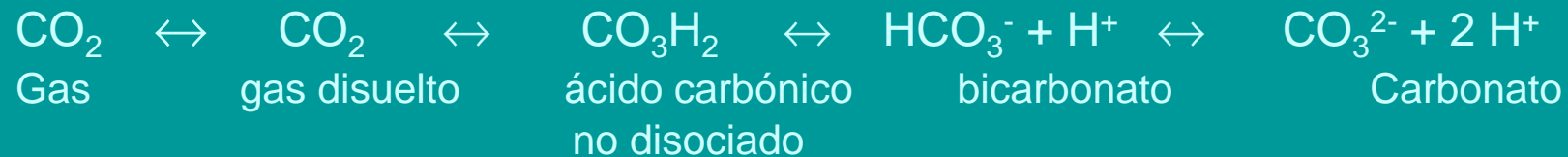


El gradiente vertical de potencial red-ox depende de:

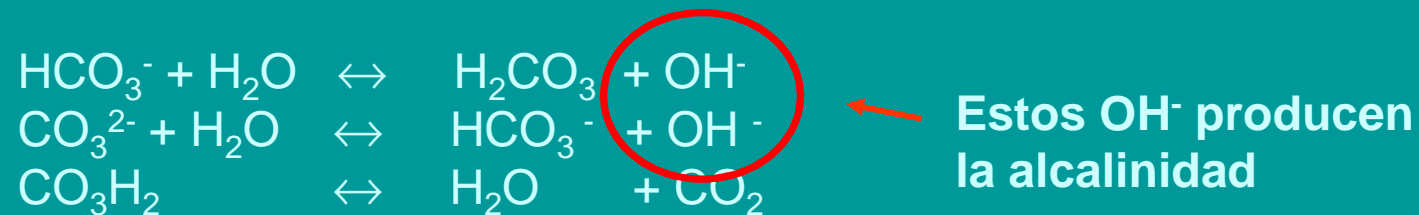
- Sedimentación de la materia orgánica
- difusión del oxígeno hacia abajo

La alcalinidad: su importancia en los ecosistemas acuáticos

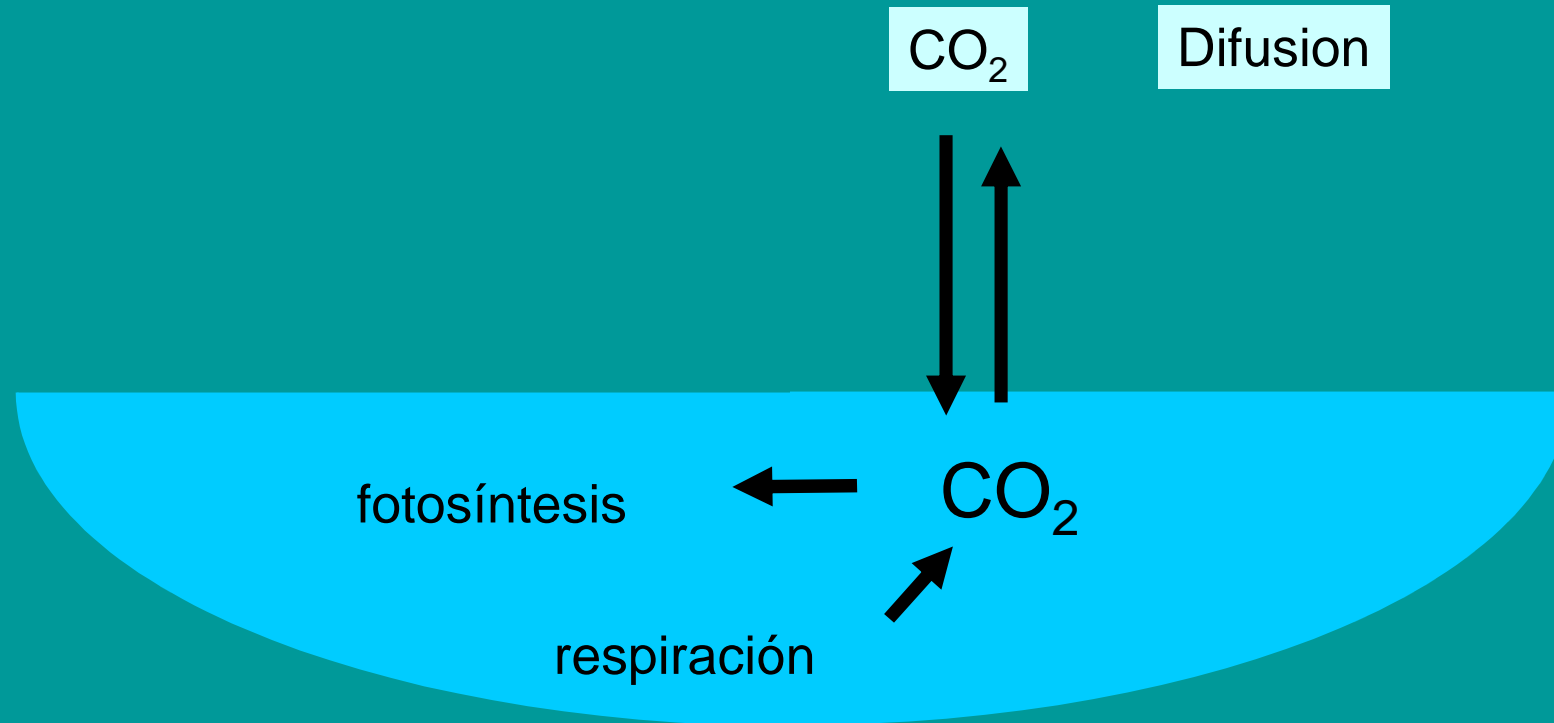
- Se refiere a la capacidad de neutralizar la acidez del agua, o la cantidad de ácido necesario para neutralizar los OH⁻, aunque no necesariamente ácidos.
- La alcalinidad en el agua se debe a bicarbonatos, carbonatos e hidroxidos. Se expresa en mg / l o miliequivalentes/l
- El sistema carbónico-carbonatos es el principal mecanismo tamponador de las aguas, con lo que está ligado al pH del agua.



Una vez establecido el equilibrio los iones bicarbonato y carbonato se disocian



Flujo del dióxido de carbono (CO_2)



El dióxido de carbono no solo se disuelve en el agua, también reacciona con ella.

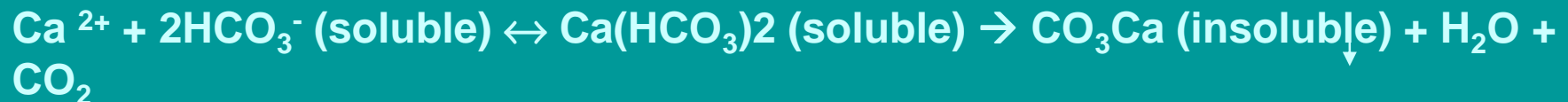
- La fotosíntesis y la respiración son los procesos que más influyen en las cantidades de CO_2 en el agua.

- Durante cortos periodos de tiempo de elevada fotosíntesis puede haber una limitación de CO_2 por demanda de las plantas

- En aguas duras puede haber una precipitación de Carbonato cálcico en periodos de intensa fotosíntesis:



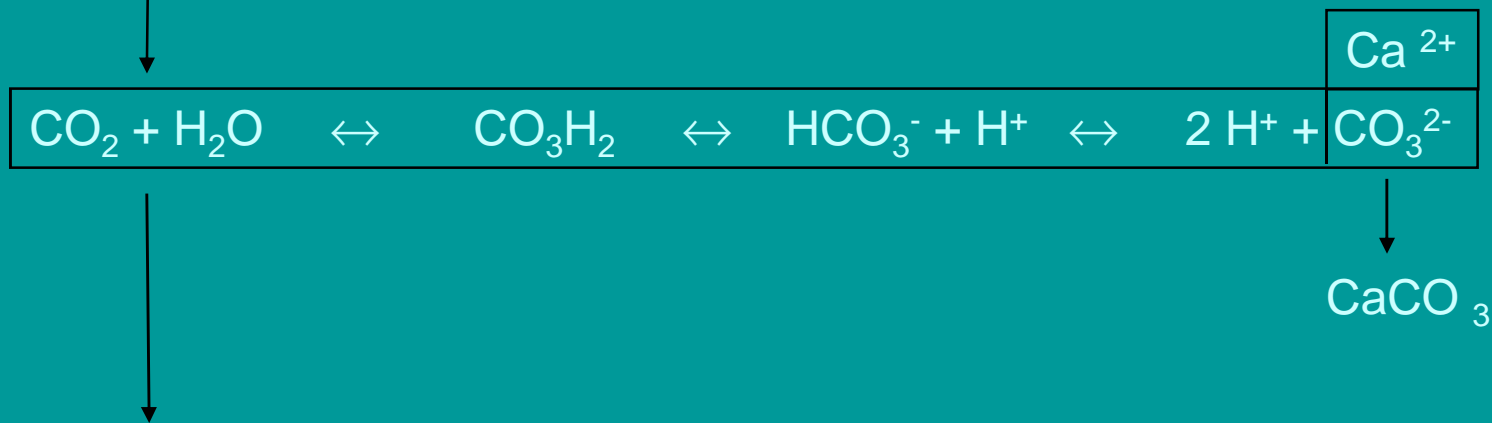
Entonces:



Si el CO_2 es consumido en la fotosíntesis \rightarrow Precipita del carbonato rodeando a las plantas.

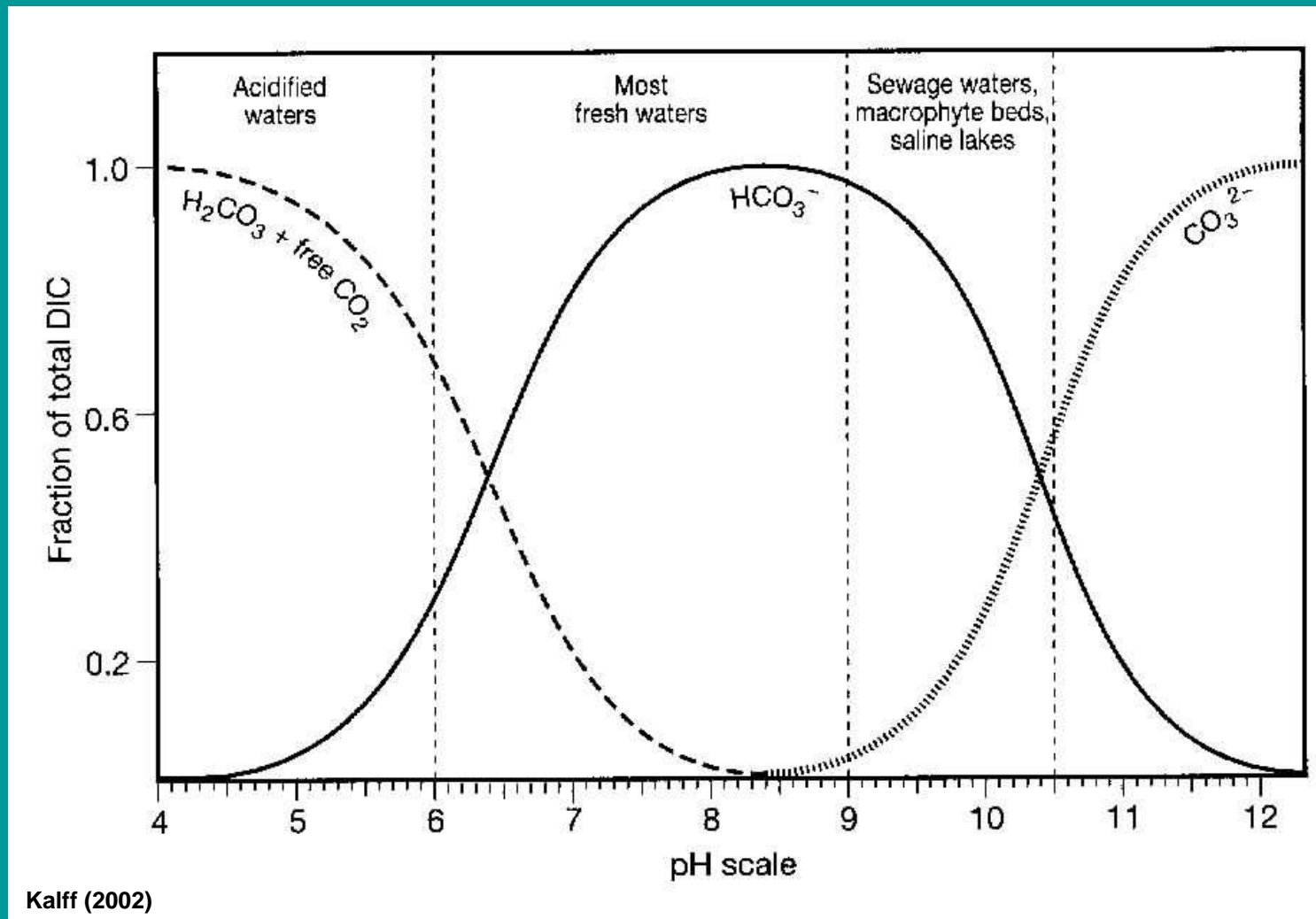
Lección 4. Tipología y origen de los materiales presentes en el agua

Entrada de CO_2 (produce H^+ , disminuye pH, más ácido)



El CO_2 consumido en la fotosíntesis (consume H^+ , incrementa pH)

Lección 4. Tipología y origen de los materiales presentes en el agua



Distribución de las distintas formas de carbono inorgánico en ríos y lagos con cambios en el pH. Observa que a pH de 6-8 el bicarbonato es la forma dominante. El CO_2 y el ácido carbónico dominan a pH bajo, mientras que en sistemas salinos con pH muy altos dominan una mezcla de iones bicarbonato y carbonatos.

Lección 4. Tipología y origen de los materiales presentes en el agua

Velocidades de reacciones en ambas direcciones	rápida	lenta	muy rápida	muy rápida
	CO_2 Gas	CO_2 gas disuelto	CO_3H_2 ácido carbónico no dissociado	$\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \leftrightarrow \text{CO}_3^{2-} + 2 \text{H}^+$ bicarbonato Carbonato
Cantidad de C disponible	mucha	muy poca	poca	bastante

H_2O