

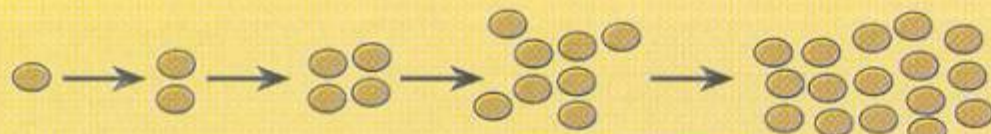
ECOLOGIA MICROBIANA

M.O. en sus ambientes

Ambiente: lo que rodea a un organismo
viviente —→

Factores físicos, químicos y biológicos.

Ecosistemas: comunidades de organismos
transforman y modifican el ambiente



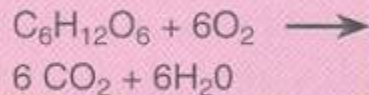
(a)

Individuo

Población

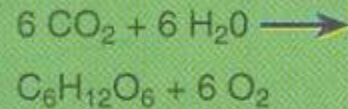
Comunidad 2

Zona óxica-
bacterias
quimioorganotrofas



Comunidad 1

Zona fótica-cianobacterias
y algas



Sedimentos

Zona anóxica

Comunidad 3

1. Gremio 1: bacterias metanógenas ($\text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4$)
bacterias homoacetógenas ($\text{CO}_2 \rightarrow \text{acetato}$)
2. Gremio 2: bacterias reductoras de sulfato ($\text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{H}_2\text{S}$)
bacterias reductoras de sulfuro ($\text{S}^0 \rightarrow \text{H}_2\text{S}$)
3. Gremio 3: bacterias desnitrificantes ($\text{NO}_3^- \rightarrow \text{N}_2$)
bacterias reductoras de hierro férrico ($\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$)
4. Gremio 4: bacterias fermentadoras (fermentación de azúcares, aminoácidos, ácidos grasos, etc.)

(b)

CICLOS BIOGEOQUÍMICOS

Cambios que experimenta un elemento químico a medida que se mueve en un ecosistema.

La ecología microbiana tiene dos grandes objetivos:

- Apreciar la biodiversidad de los M.O. y entender la interacción entre los diferentes grupos que componen la comunidad.
- Medir la actividad de los M.O. en la naturaleza y controlar sus efectos en el ecosistema.

ECOLOGÍA ES EL ESTUDIO DE LOS ORGANISMOS EN SUS AMBIENTES

El crecimiento de los M.O. en la naturaleza depende de los recursos disponibles (nutrientes) y de las condiciones de crecimiento (pH, T, humedad, luz, O₂, etc).

Los M.O. son muy pequeños por lo que sus hábitat también lo son.

La teoría ecológica dice que para cada organismo existe al menos un nicho, que es el principal, aquel en el que crece mejor, pero también puede crecer en otros con menos éxito.

EL MICROORGANISMO Y SU MICROAMBIENTE

Niveles nutritivos y velocidades de crecimiento

Superficie y biofilm

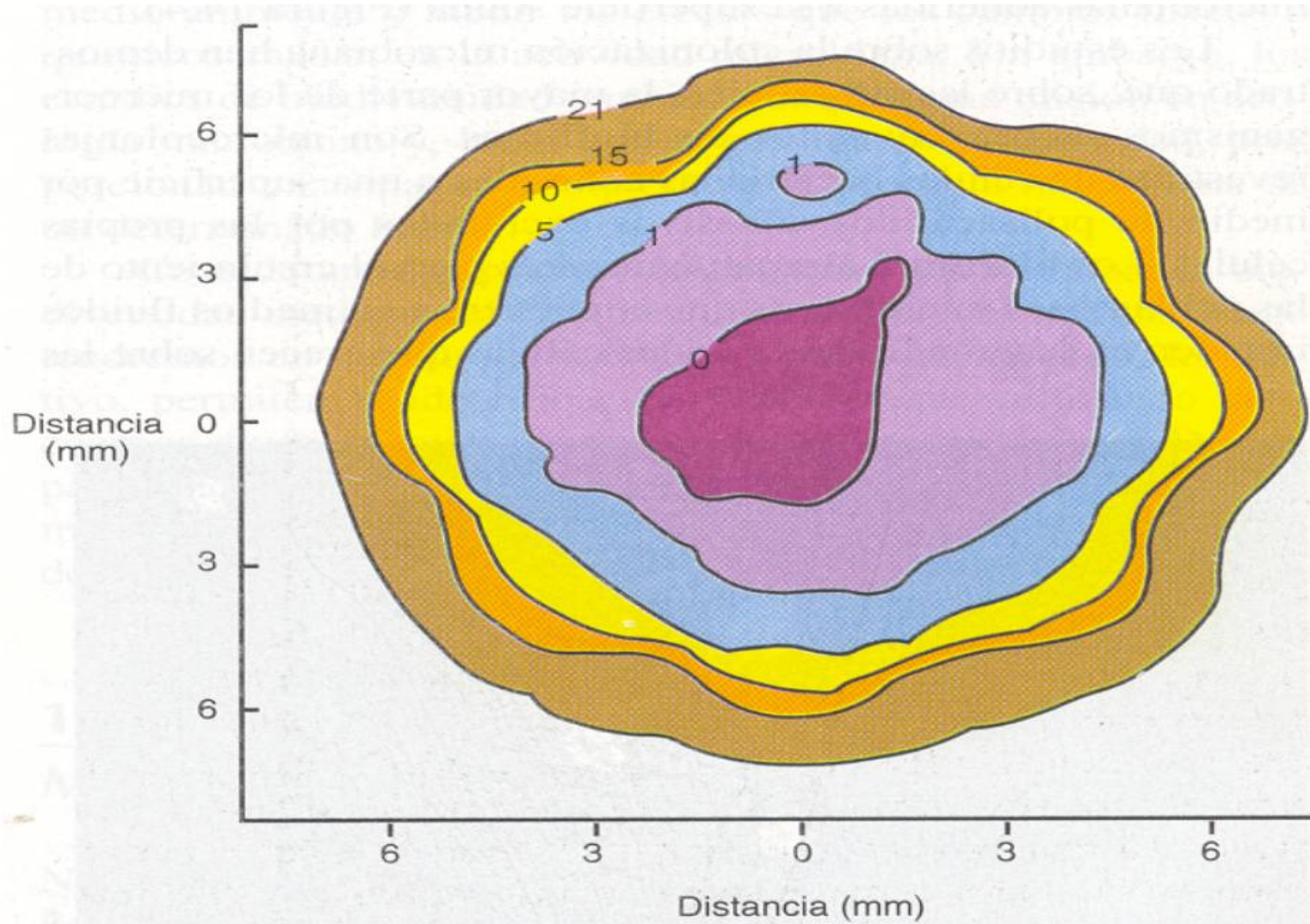
biofilm —→ adherencia a sólidos

Los biofilmes son microcolonias de células bacterianas revestidas de células bacterianas adheridas a una superficie por medio de polisacáridos adhesivos excretados por las mismas células.

Ejemplos

En minerales en biolixiviación, formación de la placa dental, corrosión de los barcos.

PERFIL DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DE OXÍGENO EN UNA MUESTRA DE SUELO



RELACIONES ENTRE LOS MICROORGANISMOS EN UN MICROAMBIENTE

- Competencia entre M.O. en un ambiente natural
- Colaboración metabólica (sintrofía)
- Ej.
- $\text{NH}_3 + \text{O}_2 \longrightarrow \text{NO}_2^-$ Nitrosomonas
- $\text{NO}_2^- + \text{O}_2 \longrightarrow \text{NO}_3^-$ Nitrobacter

MICROAMBIENTE NATURAL

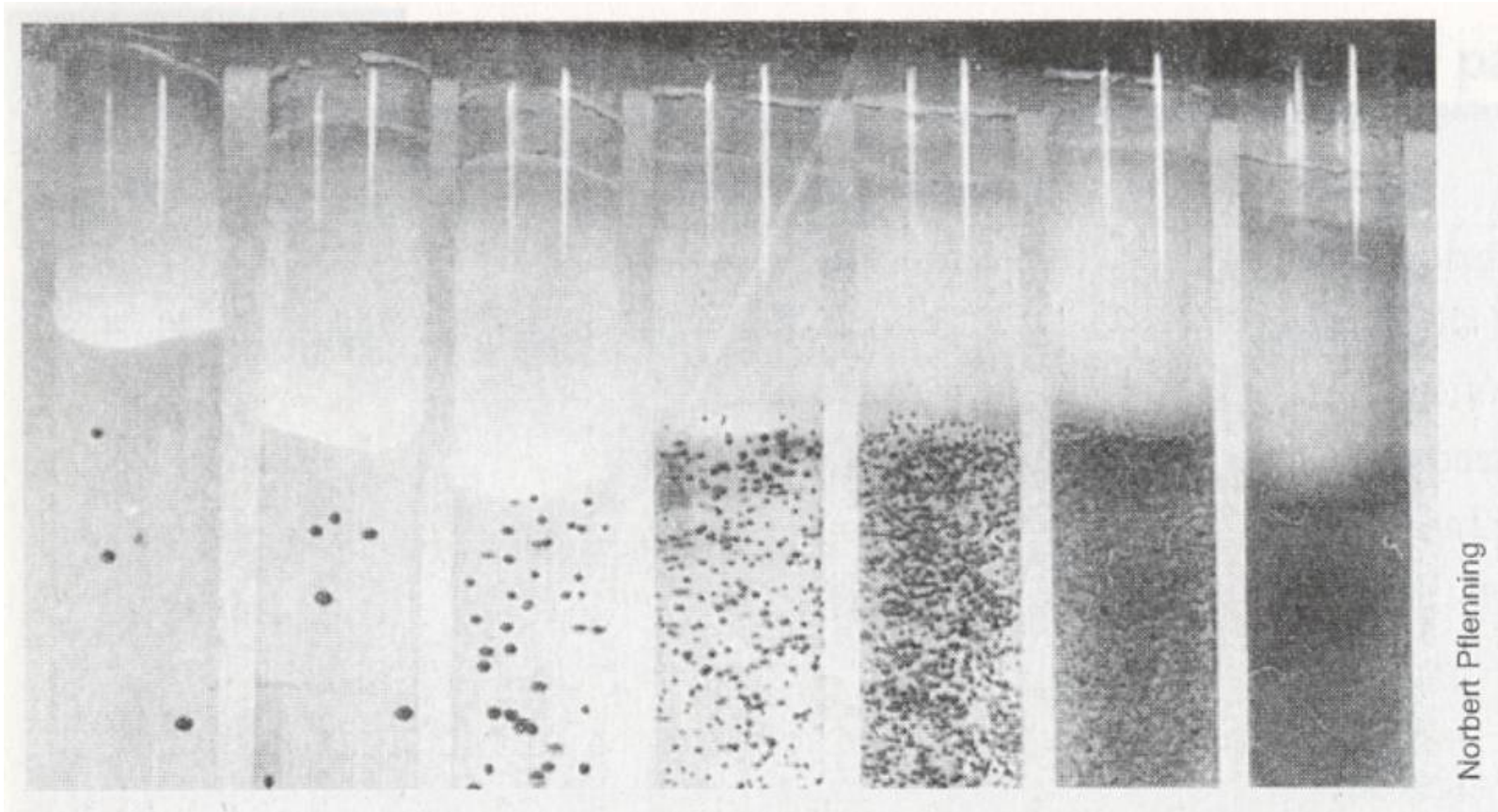
La producción de células en el ambiente es mucho menor que en el laboratorio, debido a algunas características del medio natural:

- Disponibilidad de nutrientes, suele ser baja.
- La distribución de dichos nutrientes a lo largo del hábitat microbiano no suele ser uniforme.
- Salvo raras excepciones los microorganismos no se encuentran en cultivos axénicos en los medios naturales, por lo que deben competir por los nutrientes.

MÉTODOS DE ENRIQUECIMIENTO Y AISLAMIENTO

- Se requiere un inóculo adecuado
- Dar condiciones selectivas (inhibidores de algunos)
- Existen numerosos métodos desarrollados para los diferentes tipos de M.O.
- Métodos de cultivos líquidos y sólidos (agar)
- Se ha demostrado que no todos los M.O. de un ecosistema son cultivables

CULTIVO POR DILUCIÓN DE CÉLULAS ANAERÓBICAS



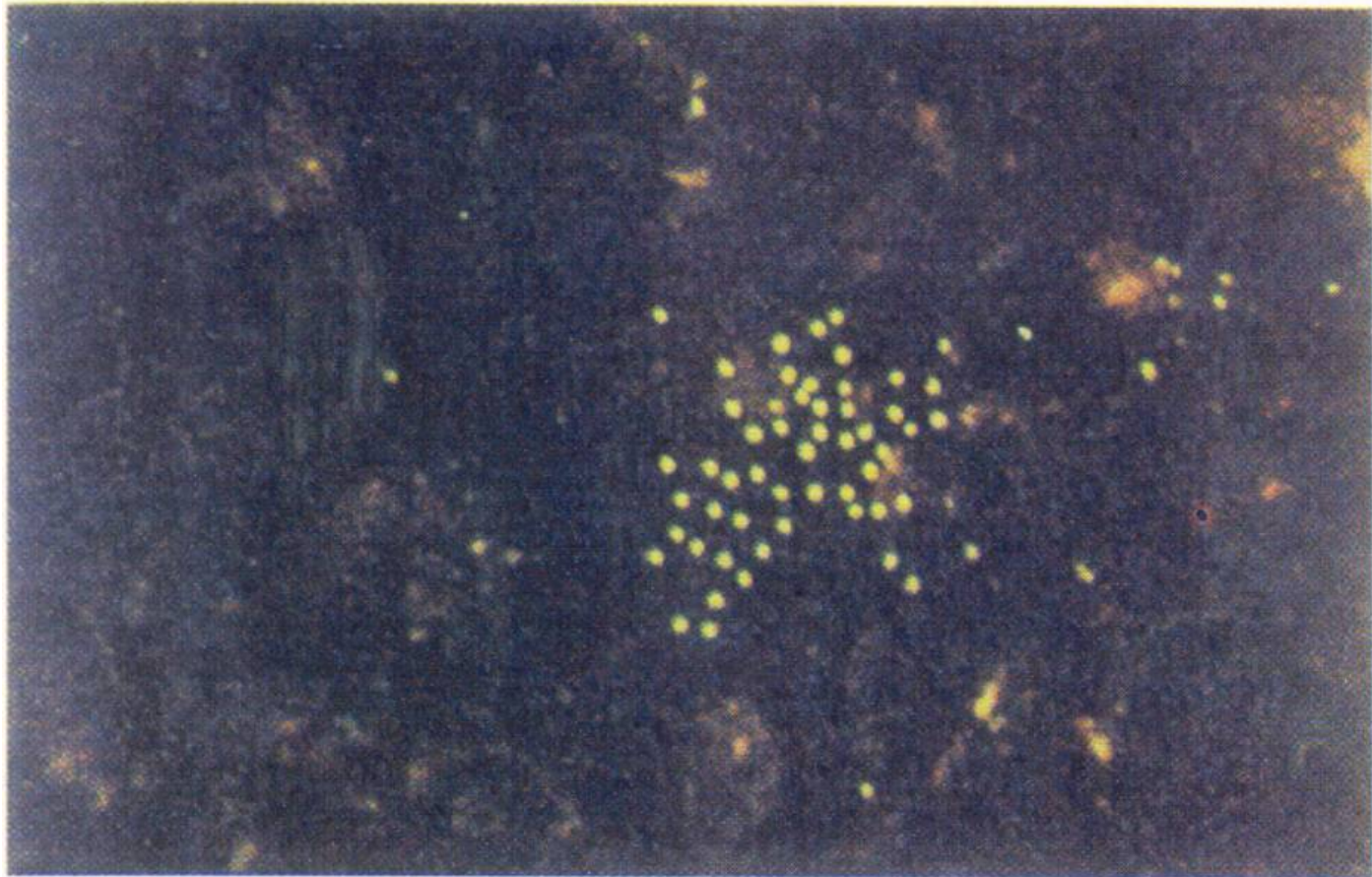
IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE MICROORGANISMOS

- Tinción y anticuerpos fluorescentes
Para teñir las células se utiliza naranja de acridina (se une al DNA y al RNA)

El uso de anticuerpos fluorescentes permite la identificación de un determinado M.O.

los cuales se unen específicamente a constituyentes de la superficie celular.

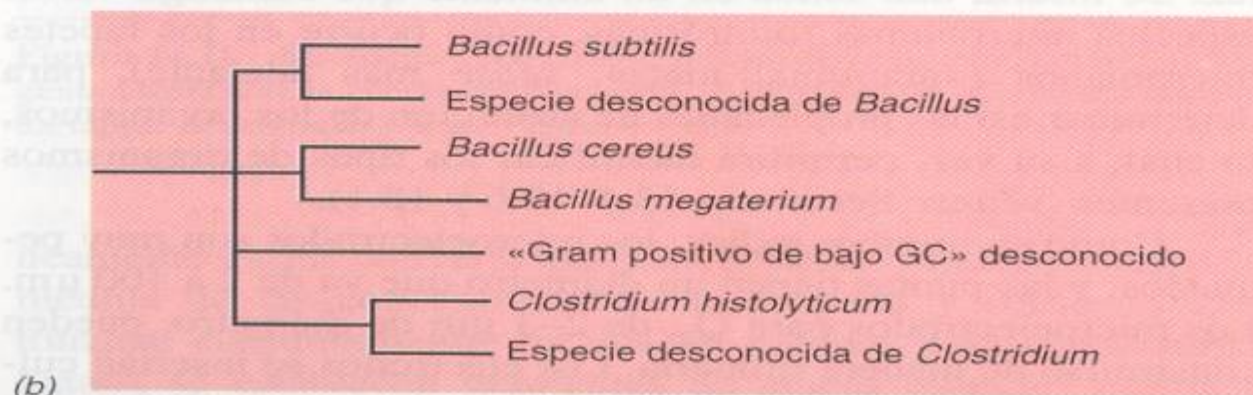
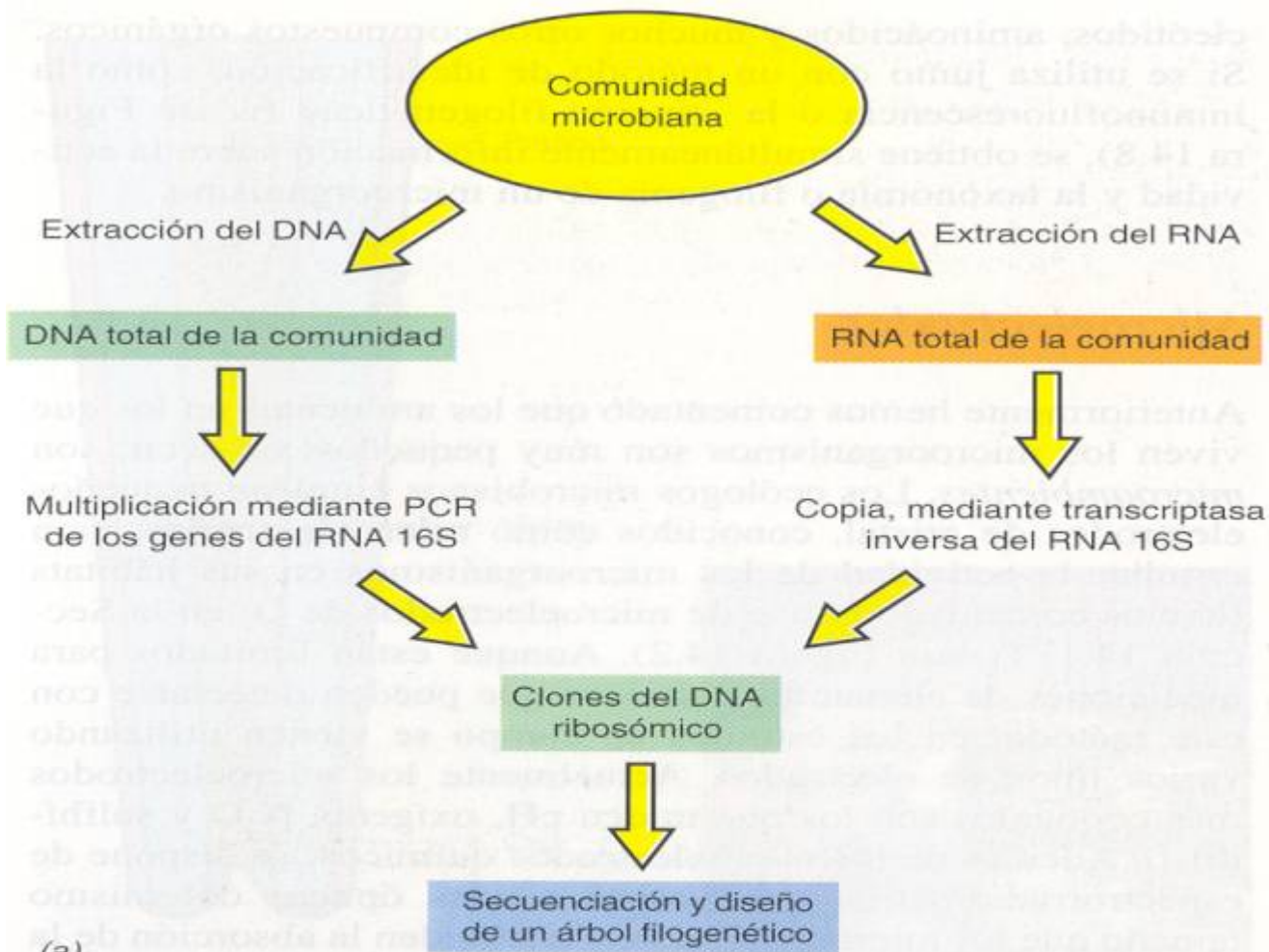
OBSERVACIÓN AL MICROSCOPIO DE CÉLULAS TEÑIDAS MEDIANTE ANTICUERPOS FLUORESCENTE



T. D. Brock

IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE MICROORGANISMOS

- Sondas de ácidos nucleicos: una sonda es un pequeño fragmento de DNA o RNA complementario, en secuencia de bases, a la parte de un gen con el cual puede hibridarse. RNA ribosómico
- Es una excelente metodología que sólo da cuenta de la existencia de los M.O. en una muestra pero no da cuenta de su actividad.



ACTIVIDAD MICROBIANA

- Uso de microelectrodos : pH, Oxigeno, H₂S
- Uso de radioisotopos
- Se utilizan compuestos que contienen (C¹⁴)
 - - autotrofos $^{14}\text{CO}_2 \longrightarrow \text{células}$
 - - reductores $\text{SO}_4^{=}\longrightarrow \text{H}_2\text{S}^{35}$
 - - metanogénicos $^{14}\text{CO}_2 \longrightarrow ^{14}\text{CH}_4$
 - - quimiolitotróficos
- glucosa $^{14}\text{C} \longrightarrow \text{incorp. C org.}$
- AA $^{14}\text{C} \longrightarrow \text{incorp. C org.}$

AMBIENTES ACUÁTICOS

- Fitoplancton (algas flotantes)
- Algas bénticas (unidas al fondo)
- Serían los productores primarios (fototróficos) luz (superficie)
- Actividad biológica en zonas mas cercanas a la costa:
- algas y cianobacterias,
- bacterias heterótrofas con metabolismo fermentativo y metabolismo anaeróbico

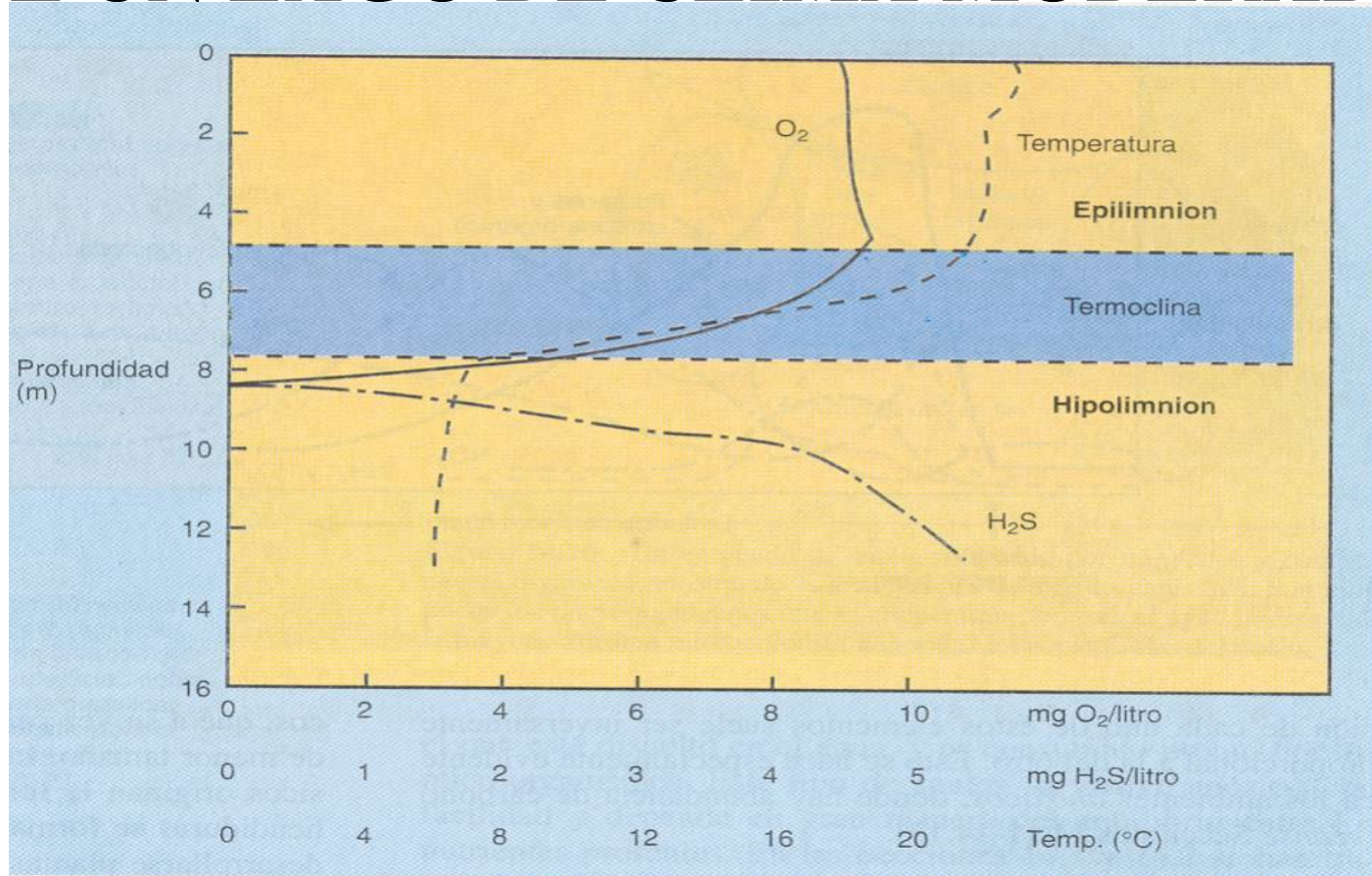
DISTRIBUCIÓN DE CLOROFILA EN MAR Y LAGOS EN COSTA ESTE DE USA



OXÍGENO EN LAGOS Y RIOS

- El oxígeno se encuentra en el aire en un 21%, su solubilidad en agua es limitada y el intercambio entre el oxígeno disuelto y el oxígeno atmosférico en las grandes masas de agua es bajo.
- La producción de oxígeno fotosintético en mares y lagos se lleva a cabo sólo en las capas mas superficiales donde llega la luz.
- La materia orgánica que no se consume en estos estratos superiores va a dar al fondo, donde se descompone por acción de los M.O. facultativos, que utilizan el oxígeno disuelto en el agua.

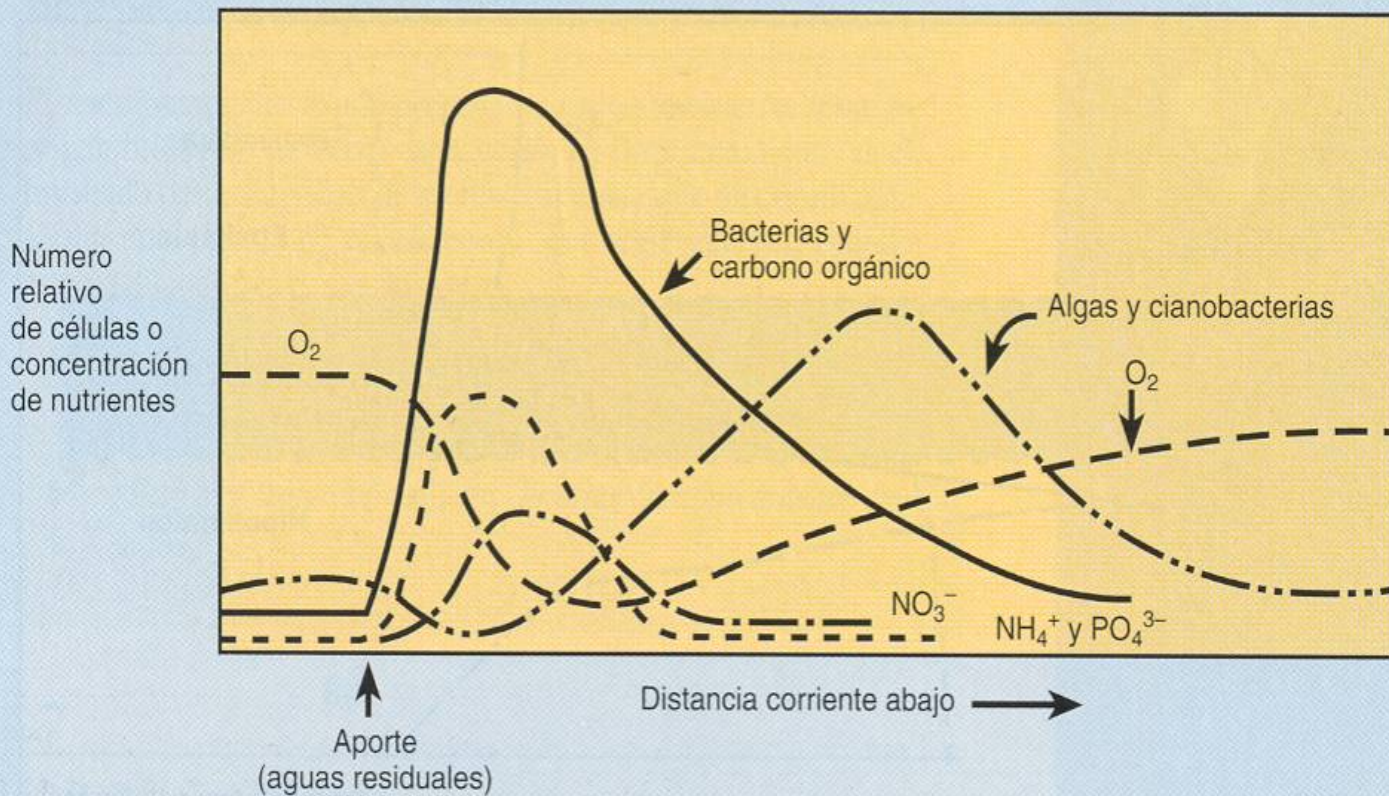
DESARROLLO DE CONDICIONES ANÓXICAS EN LAS PROFUNDIDADES DE UN LAGO DE CLIMA MODERADO



OXÍGENO EN LAGOS Y RIOS

- El oxígeno es de particular interés en especial en los ríos que reciben mucha materia orgánica procedente de aguas residuales y de contaminación industrial. Aunque existe una buena mezcla, se puede producir un déficit de oxígeno, si el aporte de materia orgánica es muy elevado. Esto no es conveniente para los animales, además se desarrollan M.O. anaeróbicos que pueden producir compuestos tóxicos como H_2S .

EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE AGUAS DE DESECHO, RICAS EN MATERIA ORGÁNICA EN UN RIO



DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO

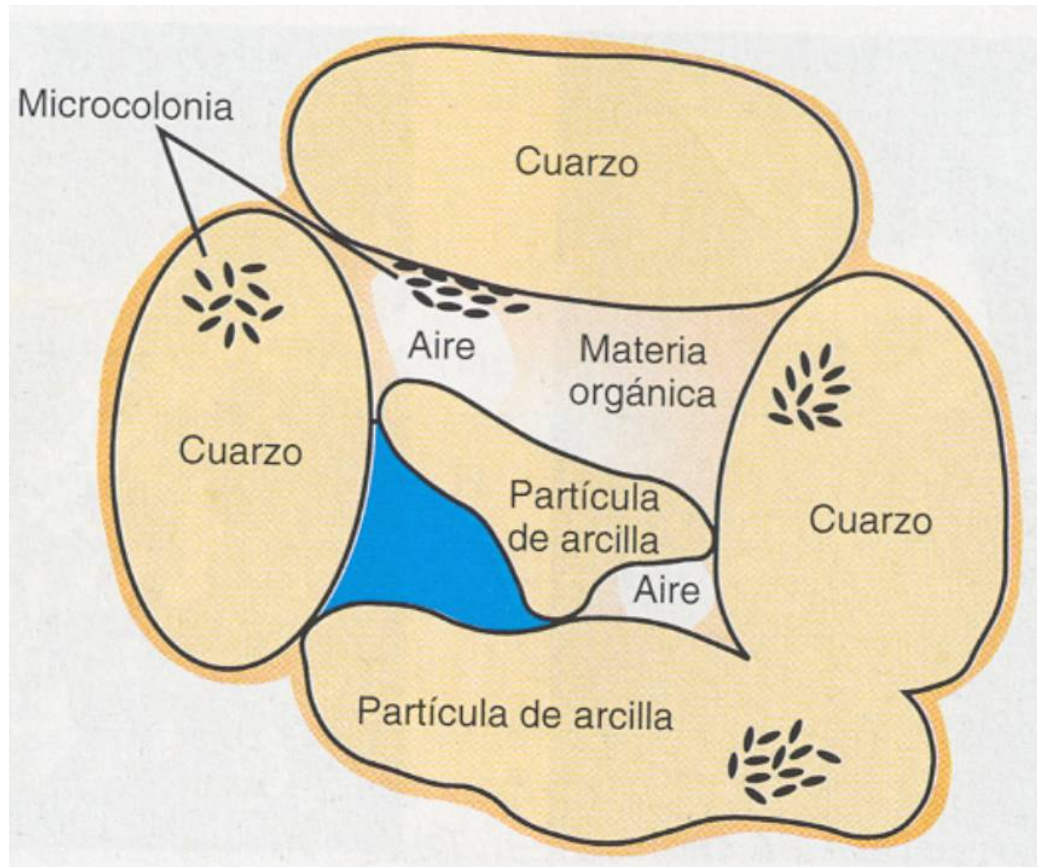
DBO₅: propiedad consumidora del oxígeno de un cuerpo de agua (por materia orgánica) (act. microbiana). Se determina mediante la aireación de una muestra de agua, sellándola e incubándola por 5 días.

- C.O.D.: demanda química de oxígeno, oxidación con dicromato de potasio.
- T.O.C.: Carbono orgánico total

AMBIENTES TERRESTRES

- Suelos se forman como resultado de la combinación de los procesos químicos, físicos y biológicos
- Suelos orgánicos: provienen de sedimentación en pantanos.
- Suelos minerales: provienen de las condiciones atmosféricas y otros materiales inorgánicos.
Estos son los predominantes.

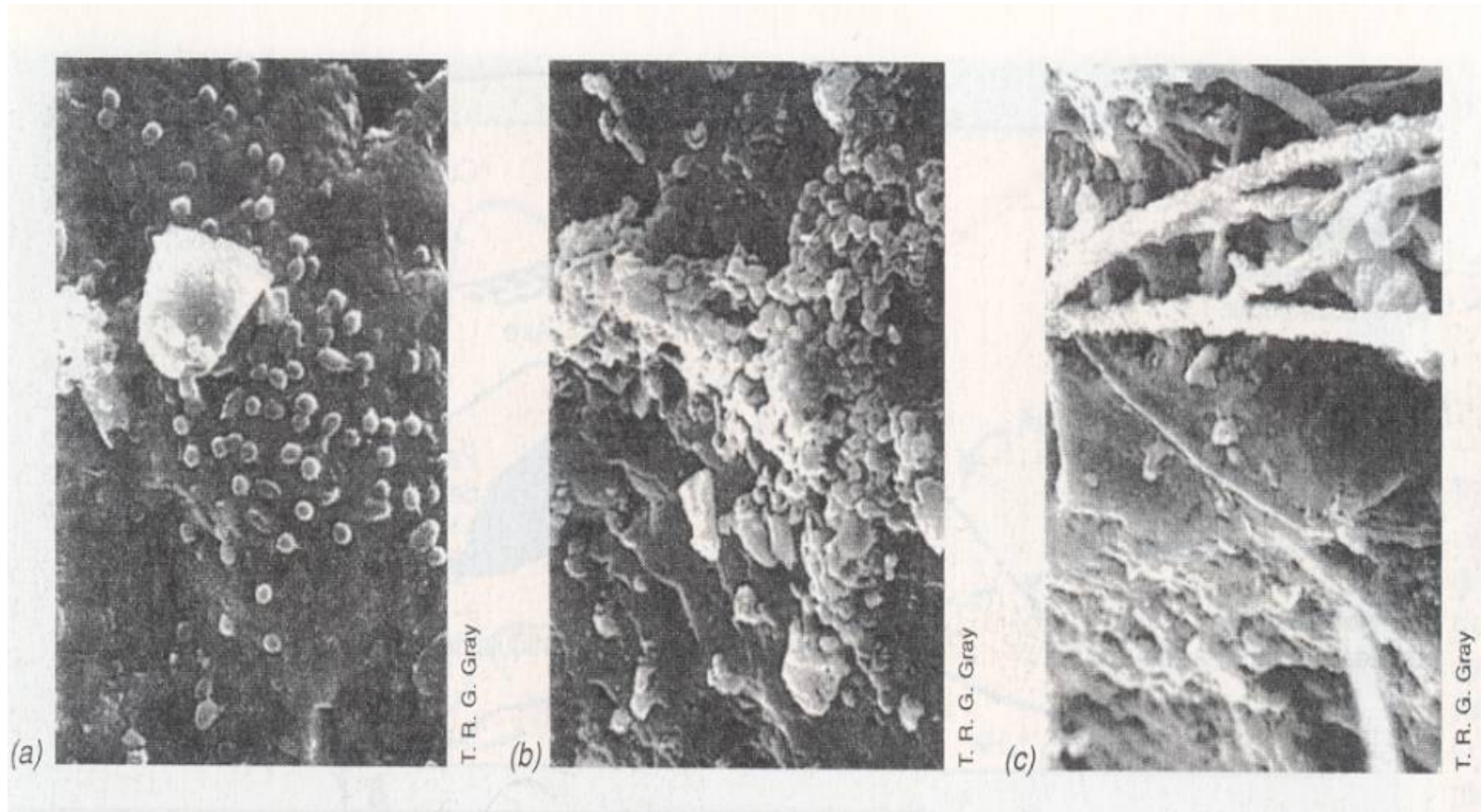
AGREGADO DE SUELO, INTEGRADO POR MINERALES Y COMPONENTES ORGÁNICOS



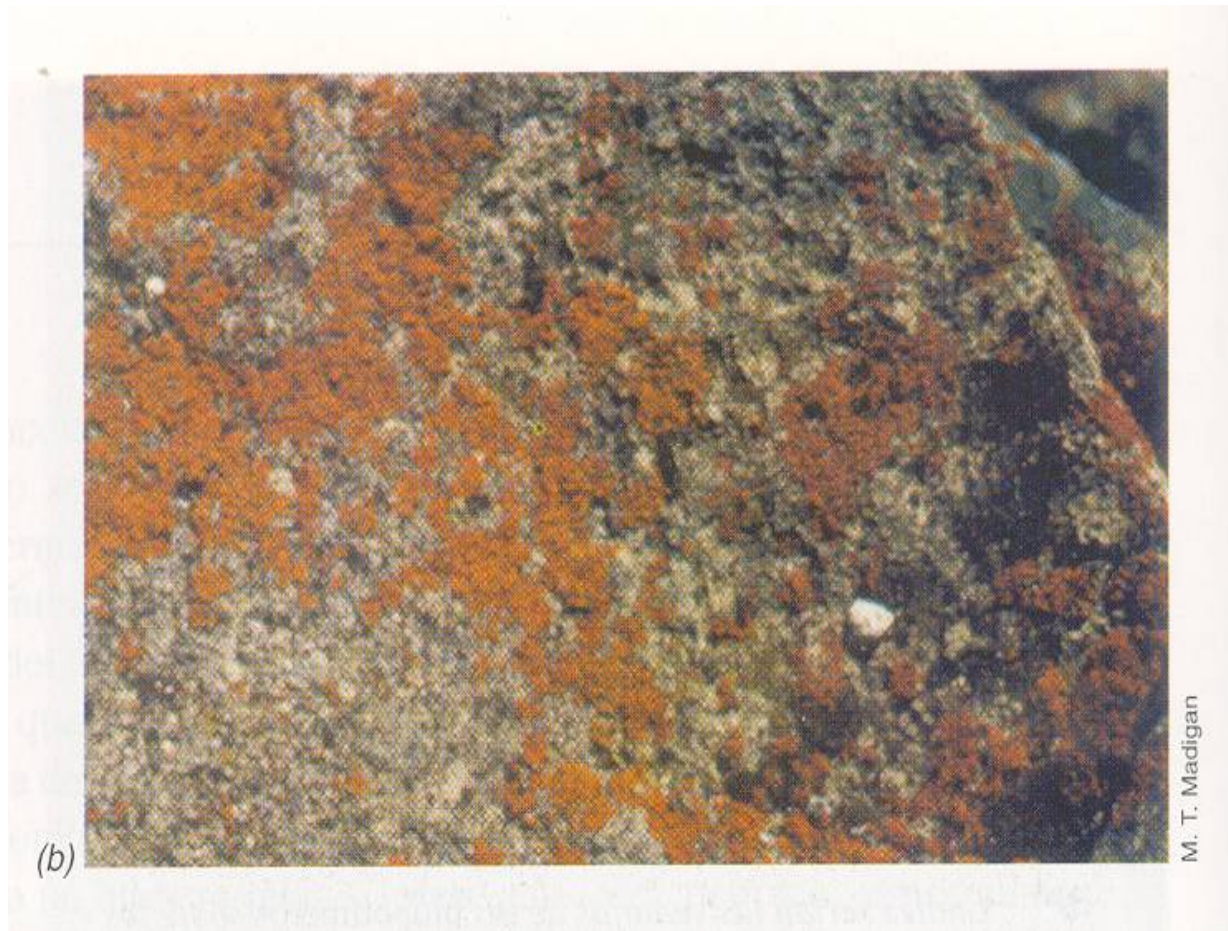
AMBIENTES TERRESTRES

- Algas – líquenes – hongos —→
muchos microambientes
- El factor mas importante que influye en la actividad microbiana en la tierra superficial es la disponibilidad de agua.

OBSERVACIÓN AL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE MICROORGANISMOS EN UNA PARTÍCULA DE SUELO



LIQUENES CUBRIENDO LA SUPERFICIE DE UNA GRAN ROCA



AMBIENTES TERRESTRES

- En la tierra profunda la disponibilidad de nutrientes es la que tiene mayor influencia.
- En algunos suelos los nutrientes inorgánicos son los mayores limitantes.
- Las algas y líquenes producen materia orgánica, lo que lleva al desarrollo de bacterias quimioorganotróficas y hongos. Estos pueden generar CO₂ por respiración de la materia orgánica, según:



AMBIENTES TERRESTRES

- El ácido carbónico es un agente importante en la disolución de las rocas.
- También algunos quimioorganótrofos producen ácidos orgánicos al ambiente los que causan disolución de las rocas en pequeños tamaños. Se producen grietas en las rocas y hendiduras en las cuales se pueden desarrollar lentamente plantas.

MICROBIOLOGIA DE EL MAR PROFUNDO

- Region fótica (hasta 300m)
(fototrofos)
- Hasta 1.000m se tiene actividad biológica
- Mas abajo: mar muerto
- Mar profundo: temperatura baja, presion alta, bajos niveles de nutrientes
- T a 100 m 2.3°C constante
- P 1atm por cada 10m, asi a 5.000 m 500 atm

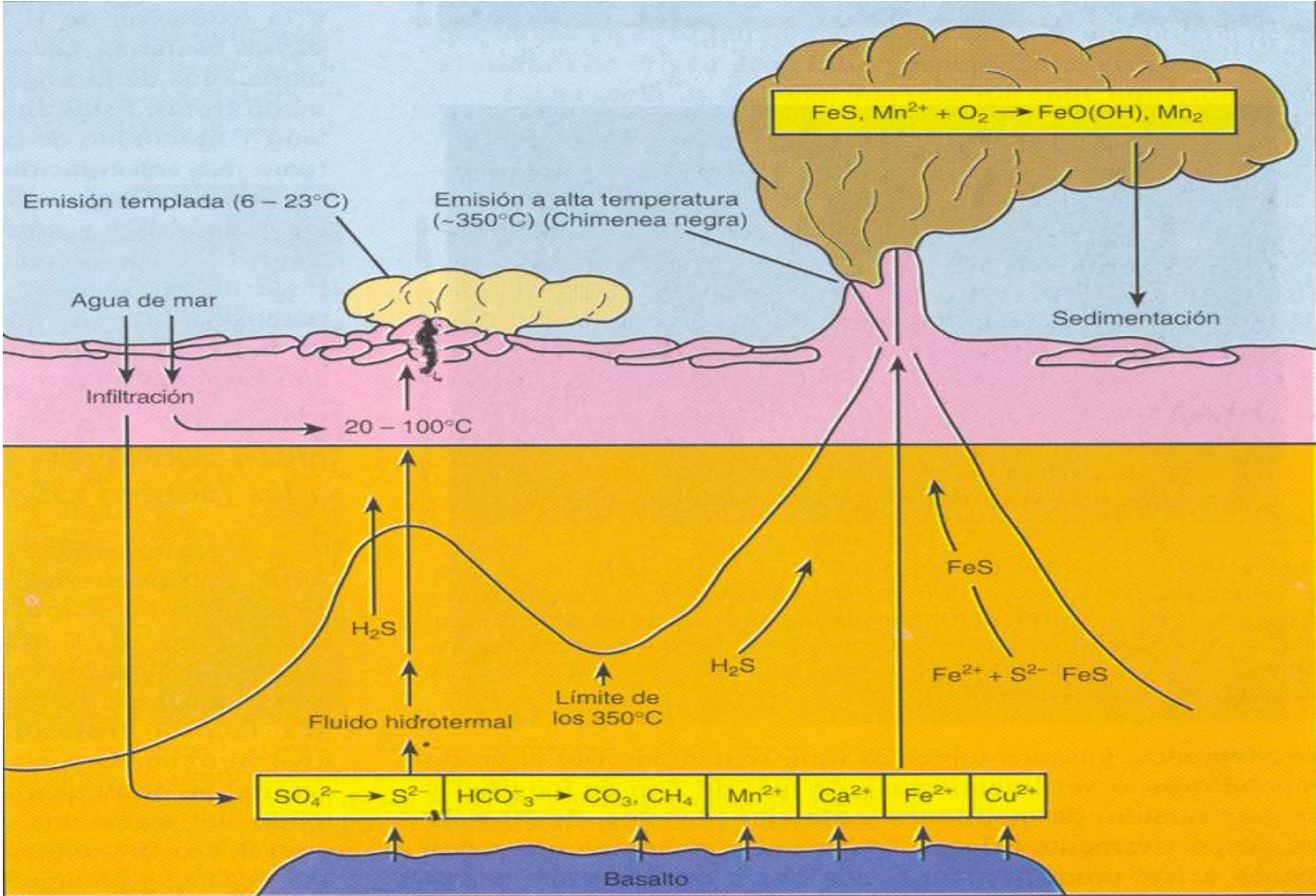
MICROBIOLOGIA DE EL MAR PROFUNDO

- Existen así M.O. barotolerantes y otros barofílicos (requieren alta presión) son además psicrófilos.
- Se sabe que la presión afecta la fisiología y la bioquímica celular
- Crecimiento lento por las bajas temperaturas
enzima – sustrato: más lento
- Proteínas superficiales diferentes para las bacterias no barófilas
- Mayor cantidad de ácidos grasos insaturados en membranas.

RESPIRADEROS HIDROTERMICOS

- Zonas de excepción a los psicrófilos, son zonas con manantiales termales de aguas profundas.
- Se encuentran animales invertebrados (gusanos, almejas, etc.)
- ¿Como viven sin materia orgánica?
- Bacterias litótrofas oxidantes de compuestos de S reducido, viven en simbiosis con animales, entregándoles materia orgánica para su desarrollo.

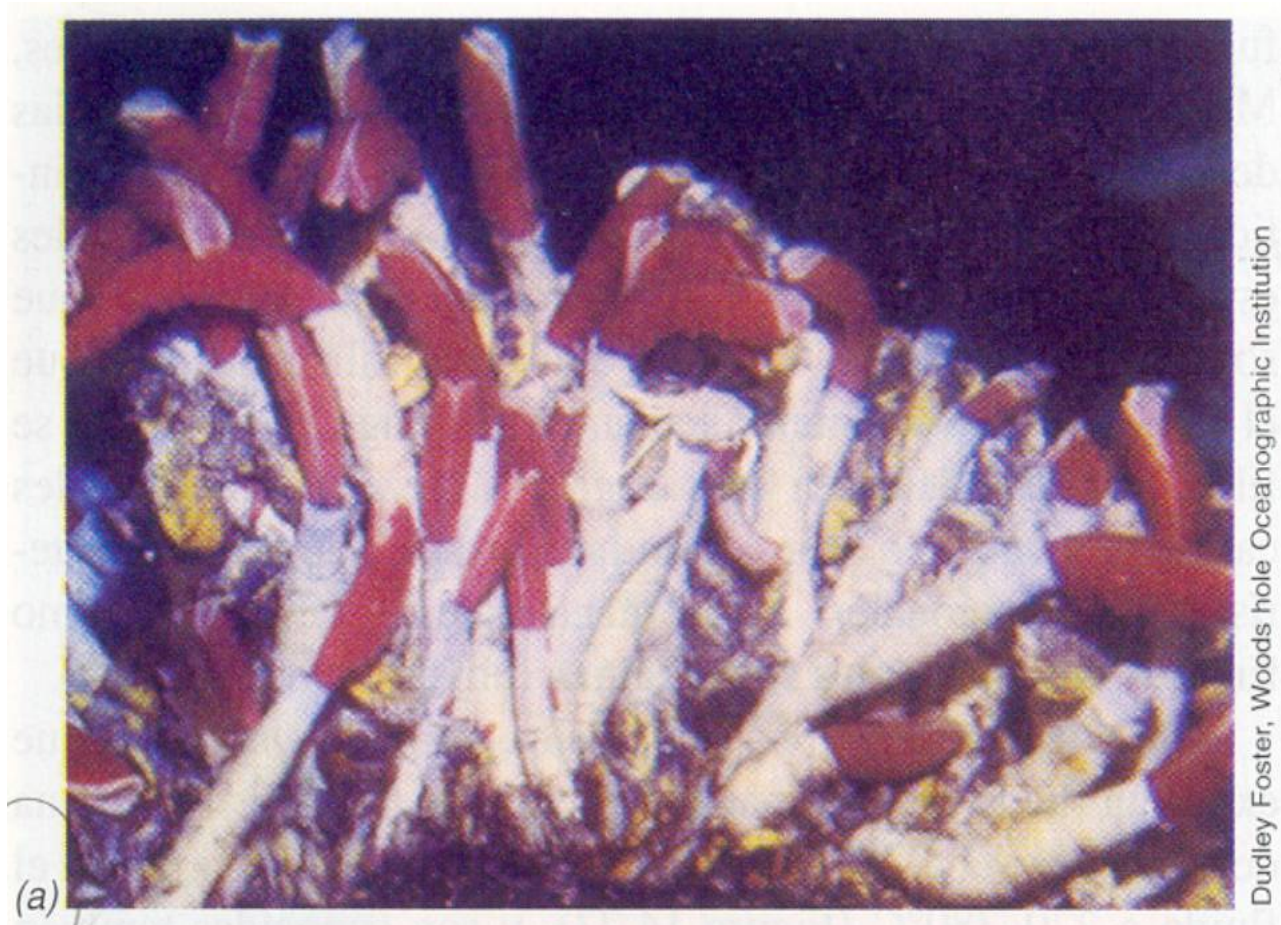
MORFOLOGÍA Y PRINCIPALES ESPECIES QUÍMICAS PRESENTES EN LAS FUENTES HIDROTERMALES TEMPLADAS Y EN LAS CHIMENEAS NEGRAS SUBMARINAS



CHIMENEAS NEGRAS LIBERANDO AGUA RICA EN SULFURO Y MINERAL A TEMPERATURAS DE 350°C



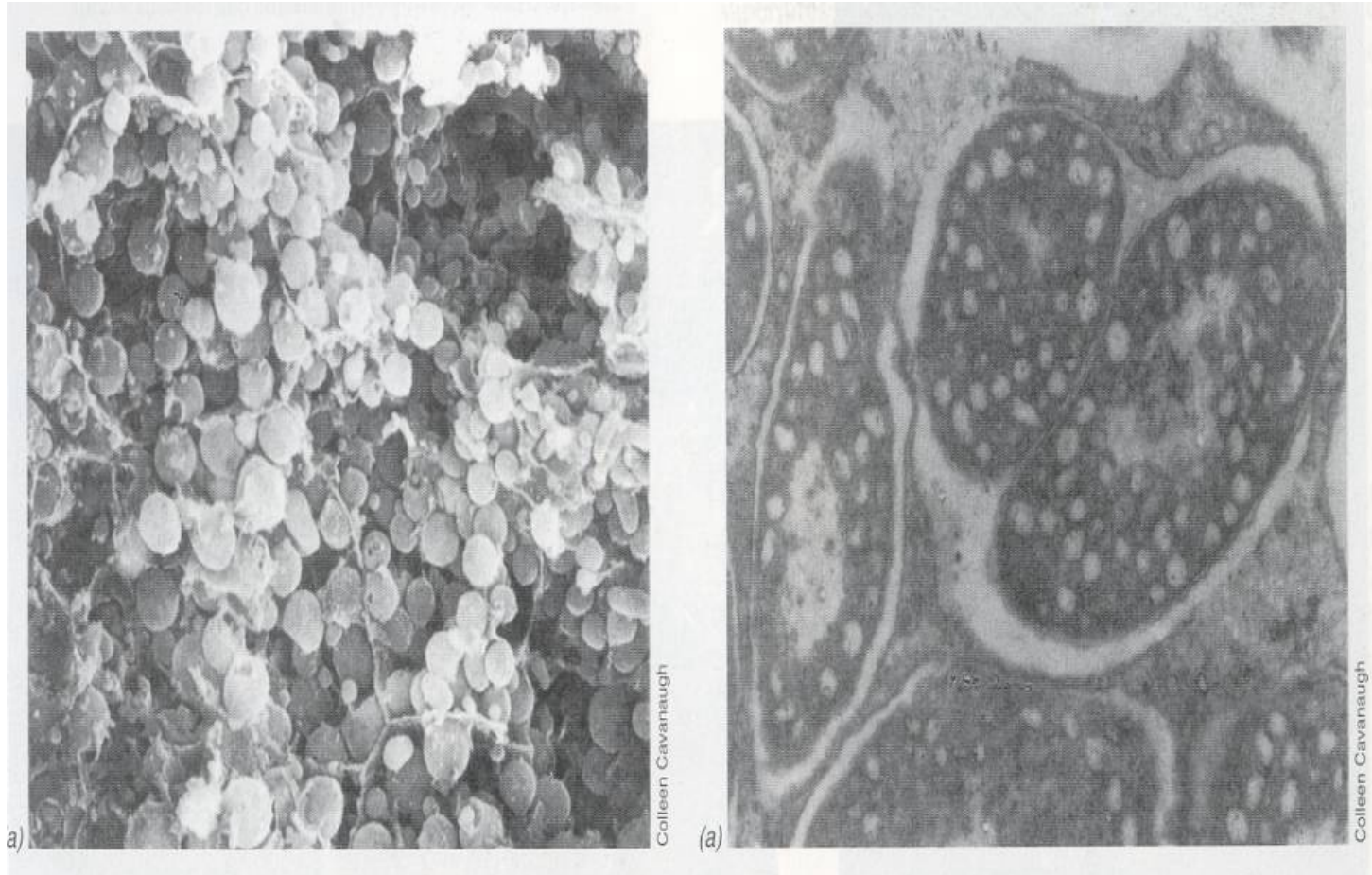
POGONÓFORO RIFIA, QUE VIVE EN FUENTES HIDROTERMALES SUBMARINAS



CHIMENEAS NEGRAS

- Fluido hidrotermico contiene sulfuros de hierro
- Se ha aislado litótrofos y organótrofos desde T° de 120 – 150°C o superiores: no
- Procariotas quimiolitótrofas para productividad primaria

BACTERIAS QUIMIOLITÓTROFAS OXIDADORAS DE AZUFRE ASOCIADAS AL TEJIDO DEL TROFOSOMA DE POGONÓFOROS DE FUENTES HIDROTERMALES SUBMARINAS



PROCARIOTAS QUIMIOLITOTROFAS PARA PRODUCTIVIDAD PRIMARIA

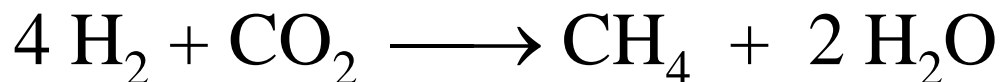
	donador e ⁻	aceptor e ⁻
• Bact. azufre oxid	HS ⁻ , S, S ₂ O ₃ ⁼	O ₂ , NO ₃ ⁻
• Bact. nitrificantes	NH ₄ ⁺ NO ₂ ⁻	O ₂
• Bact. sulfato reduct	H ₂	S, SO ₄ ⁼
• Arq. metanogenicas	H ₂	CO ₂
• Bact. oxid.	H ₂	O ₂ NO ₃ ⁻
• Bact. oxid. Fe, Mn ⁺²	Fe ⁺² , Mn ⁺²	O ₂
• Bact. metilotrofas	CH ₄ , CO	O ₂

Utilizan el ciclo de Calvin

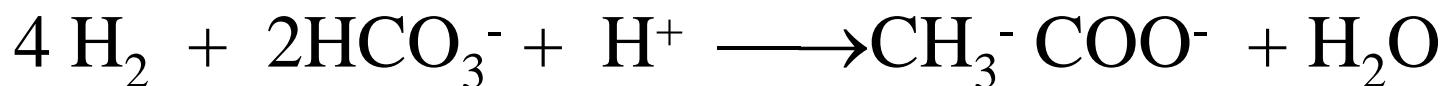
VIDA MICROBIANA EN PROFUNDIDADES DE LA TIERRA

- Bacterias quimioorganotróficas viables en varios miles de metros por debajo del suelo (superficie)
- Basaltos: rocas volcánicas ricas en Fe (1.500m)
- Bacterias quimiolitotróficas anaeróbicas:

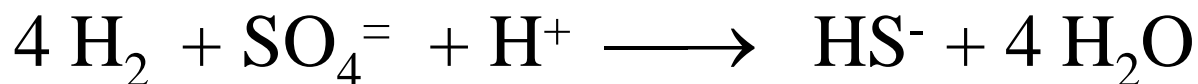
Metanogénicas:



Homoacetogénicas



Sulfato reductoras

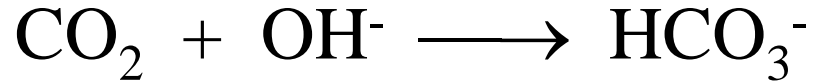


VIDA MICROBIANA EN PROFUNDIDADES DE LA TIERRA

- Todas estas bacterias requieren H_2 , el que es producido normalmente por degradación de la materia orgánica por bacterias anaeróbicas.
- En los basaltos se encuentra muy poca materia orgánica, por lo que se ha postulado y demostrado experimentalmente que el H_2 proviene de la siguiente reacción:
- $FeO + H_2 \longrightarrow H_2 + FeO_{3/2}$
- Así estos procariotas utilizarían compuestos originados químicamente, por lo que los metanógenos, los homoacetogénicos y las sulfato reductoras serían productores primarios.

CICLO DEL CARBONO

Aire 0.03% CO₂



[HCO₃⁻] = 0.002M en aguas oceánicas

Fijación de CO₂ en océanos: 12 X 10¹⁰ ton
anuales

Fijación de CO₂ en la tierra: 1.6 X 10¹⁰ ton
anuales

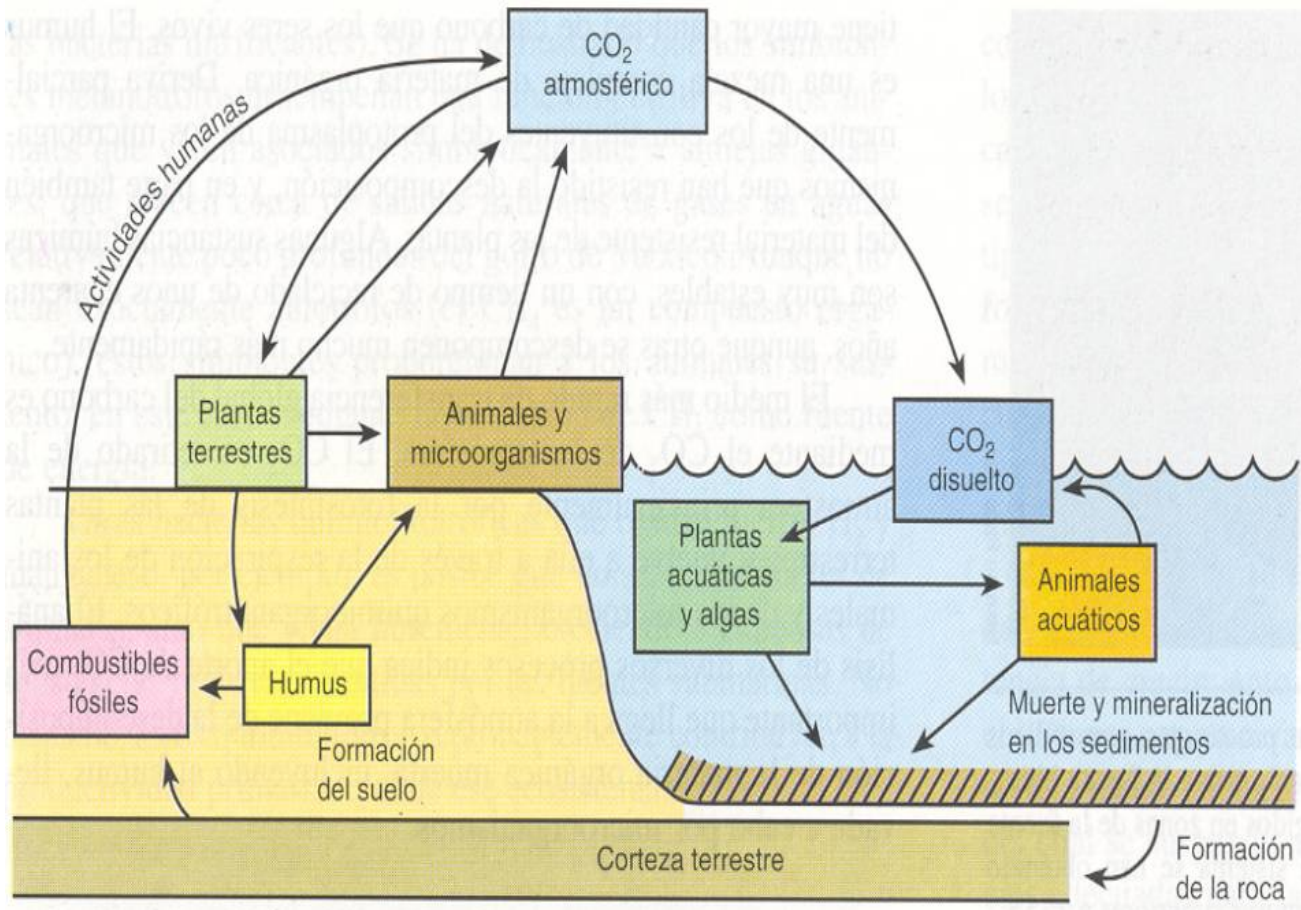
CICLO DEL CARBONO

CO₂ UTILIZADO POR AUTOTROFOS

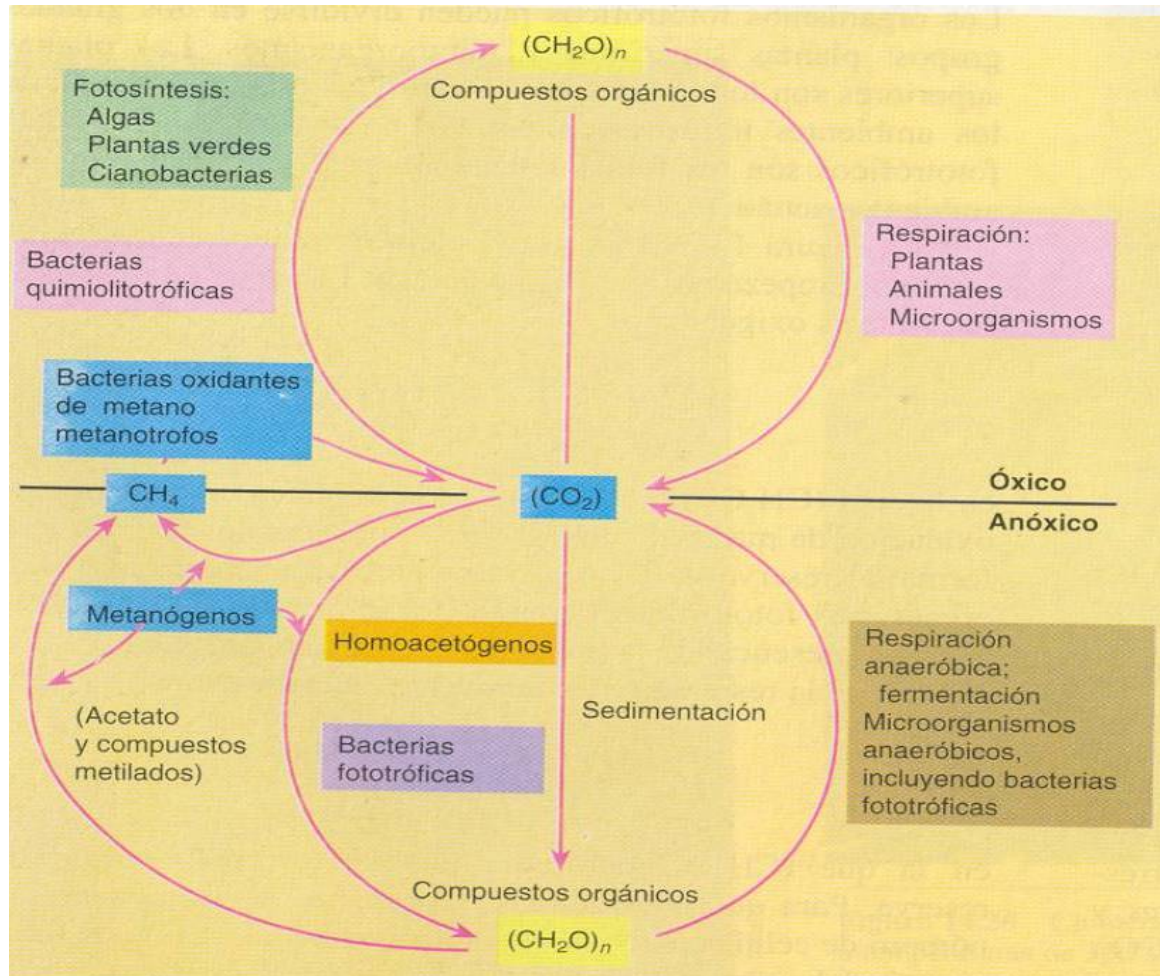
FOTOSINTÉTICOS

QUIMIOLITOTROFOS

CICLO DEL CARBONO



CICLO DE OXIDOREDUCCIÓN DEL CARBONO



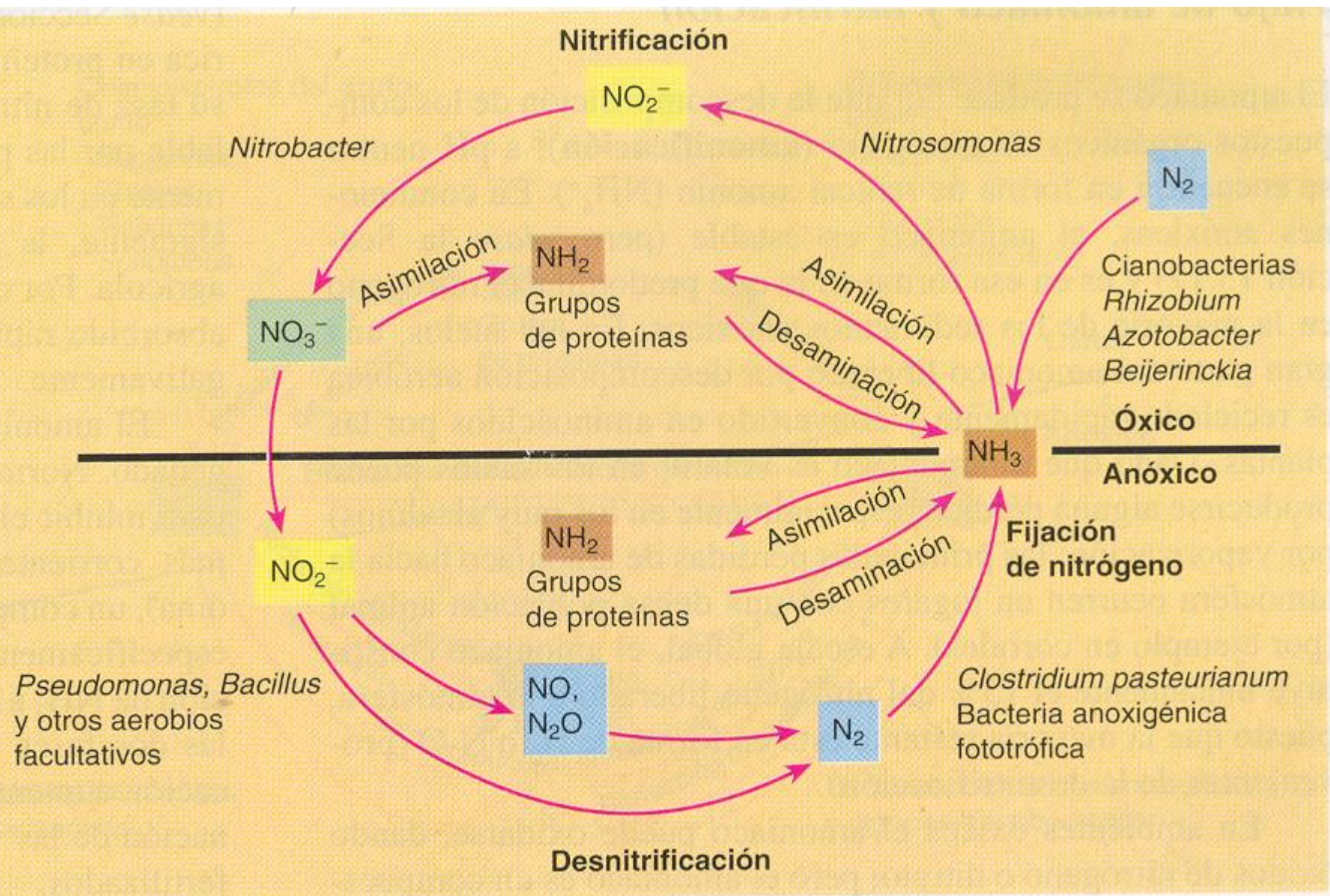
MINERALIZACION

Células muertas + bacterias y hongos +
O₂ (materia orgánica) por Respiración
Aeróbica → material celular + CO₂

Células muertas + bacterias y hongos
(anaeróbicos) por fermentación o
Respiración Anaeróbica → material
celular + CH₄

CICLO BIOGEOQUÍMICO DEL NITRÓGENO

- Nitrógeno es uno de los componentes principales de las biomoléculas, siempre en la forma de -NH_2 .
- Varias de las reacciones clave de óxidoreducción del nitrógeno que tienen lugar en la naturaleza las llevan a cabo casi exclusivamente los microorganismos, por lo que su participación en el ciclo del nitrógeno es de gran importancia.
- N_2 es la forma más estable y su reservorio se encuentra en la atmósfera (78%).

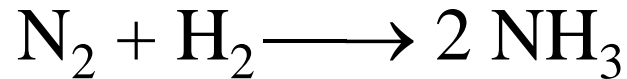


CICLO BIOGEOQUÍMICO DEL NITRÓGENO

- Las principales reacciones del ciclo del nitrógeno tienen relación con los compuestos más importantes de éste en la naturaleza:
- Fijación del Nitrógeno
- Nitrificación y Desnitrificación
- Amonificación

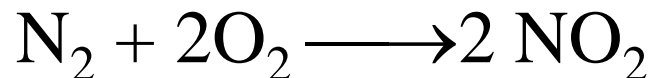
FIJACIÓN DEL NITRÓGENO

- Implica reacciones de transformación de N en compuestos nitrogenados.
- La más importante de las reacciones es la fijación biológica (85%) dada por:

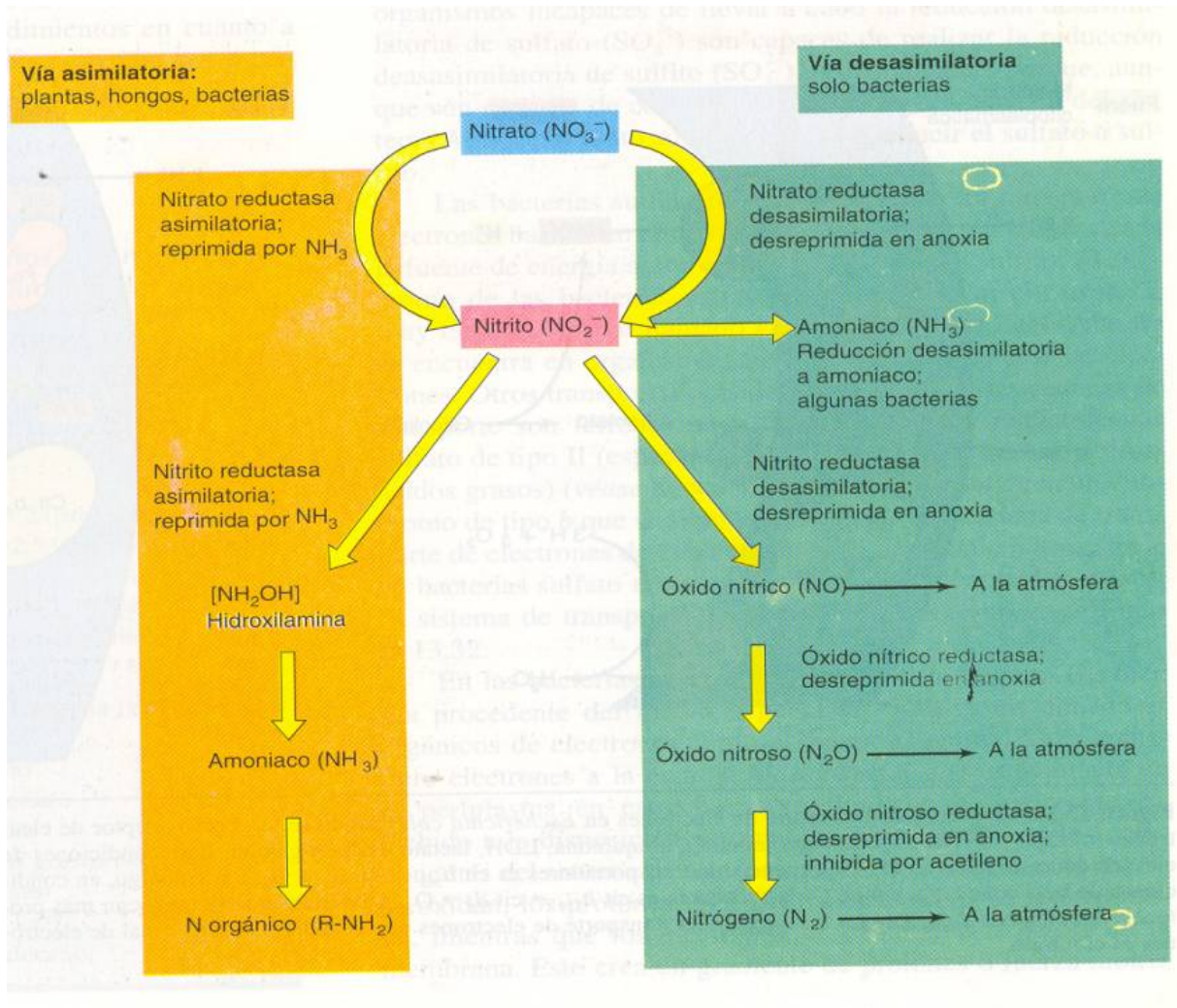


Realizada por M.O. de vida libre (bacterias y algas) o simbióticos (viven en simbiosis con leguminosas).

- Otras reacciones, no biológicas, son la formación de óxidos de nitrógeno, por combustión a alta temperatura:



DESNITRIFICACIÓN



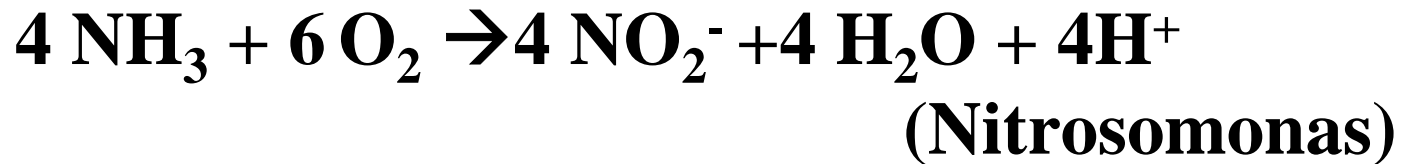
DESNITRIFICACIÓN

- En general el producto de la reducción desasimilatoria del nitrato es el nitrógeno (N_2) y este es el modo principal en que se forma N_2 biológicamente.
- Así la desnitrificación es un proceso perjudicial para la agricultura.
- Para el tratamiento de aguas residuales es un proceso benéfico ya que elimina el nitrato de las aguas, el que podría servir de nutriente a las algas, estimulando su crecimiento durante los tratamientos.

AMONIFICACIÓN

- Comp. nitrogenados formados por plantas y algas son utilizados por animales \longrightarrow NH_4^+ o NH_3 o ác. úrico o urea.
- El amoniaco (NH_3) se produce durante la descomposición de la materia orgánica. A pH neutro se encuentra como amonio (NH_4^+). En condiciones anóxicas el amoníaco es estable y en esa forma se encuentra en los sedimentos anóxicos.

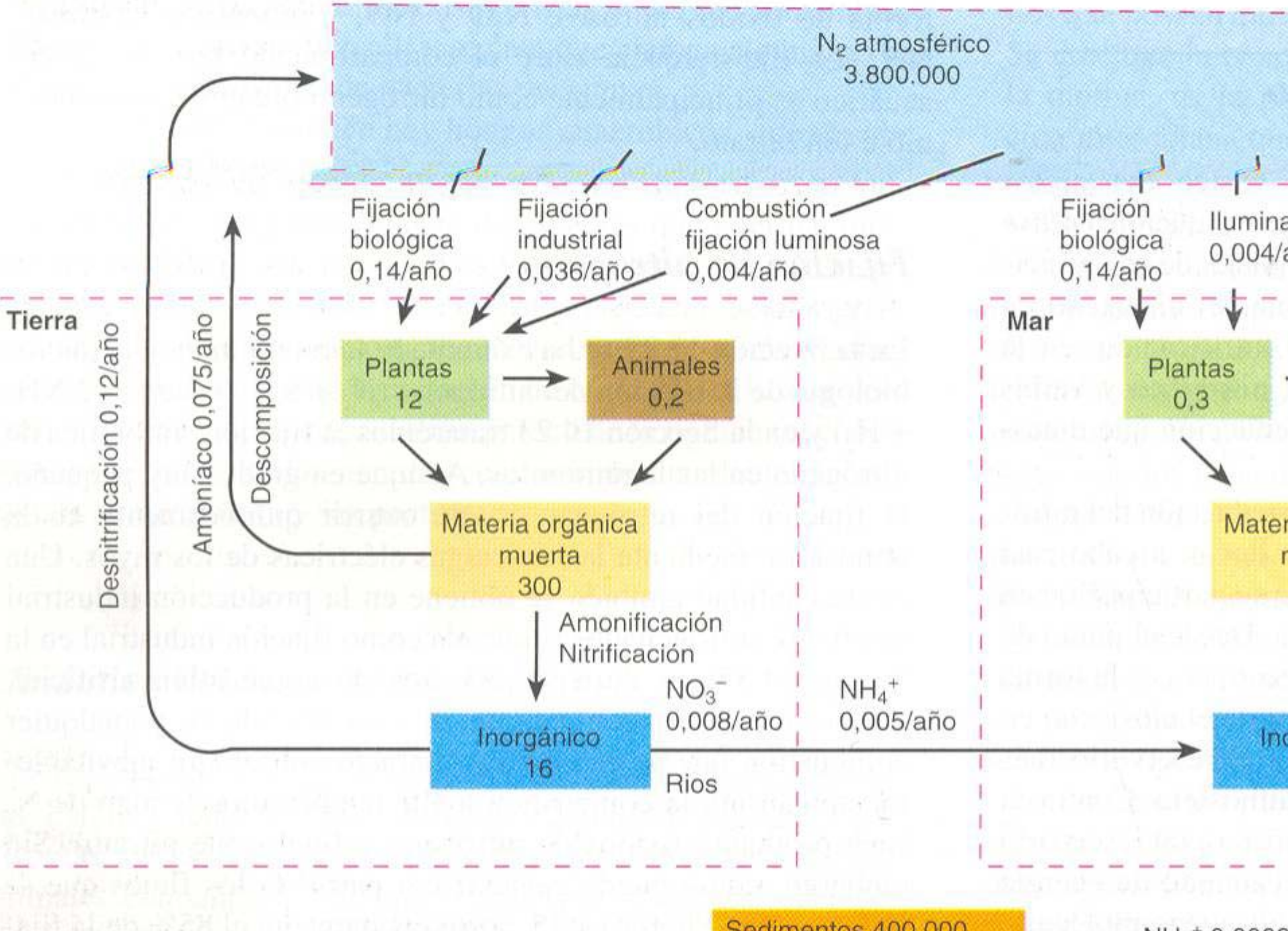
NITRIFICACIÓN



Bacterias quimioautotróficas, aeróbicas obligadas

Producen suelos ricos en nitratos

Como fertilizantes o abonos, soluciones diluidas de amonio.



CICLO BIOGEOQUÍMICO DEL AZUFRE

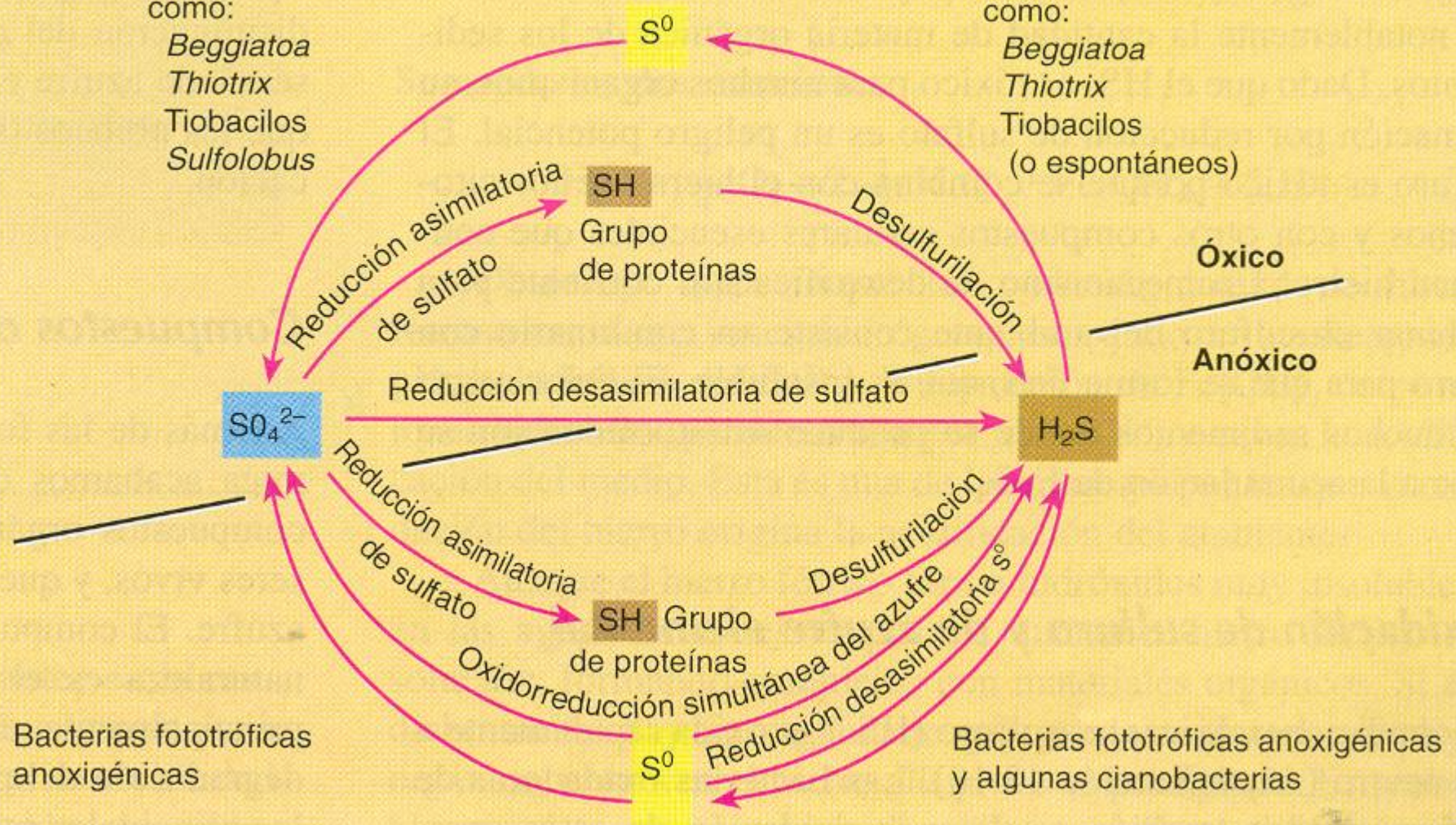
- La mayor parte del azufre se encuentra en forma de sulfatos en rocas (yesos) o sulfuros (pirita).
- Azufre presenta una gran variedad de estados de oxidación, por lo que existe una gran variedad de reacciones de transformación, tanto químicas como biológicas.
- Las reacciones biológicas más importantes son
 Oxidación de S y de sulfuros por bacterias.
 Reducción anaeróbica de sulfato.

Quimiolitotrofos del azufre
como:

Beggiatoa
Thiotrix
Tiobacilos
Sulfolobus

Quimiolitotrofos del azufre
como:

Beggiatoa
Thiotrix
Tiobacilos
(o espontáneos)



CICLO BIOGEOQUÍMICO DEL AZUFRE

- **Sulfato es uno de los iones mayoritarios presentes en el agua de mar y es usado por las bacterias sulfato reductoras.**
- **El producto final es el ácido sulfhídrico (H_2S) producto natural que participa en muchos procesos biogeoquímicos.**
- **Sulfato puede ser reducido también a $-\text{SH}$ por las plantas, hongos, procariontes, en la reducción asimilatoria (proceso aeróbico) pasando a formar parte del material celular.**

COMPUESTOS ORGÁNICOS DE AZUFRE

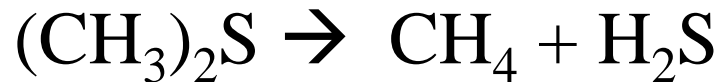
- Dimetilsulfuro ($\text{CH}_3\text{-S-CH}_3$) se origina en ambientes marinos como producto de la degradación del dimetilsulfonato, uno de los principales osmoreguladores de las algas marinas.
- Dimetilsulfuro puede ser utilizado por M.O. como fuente de energía y de carbono.
- Producción anual 45 millones de toneladas
- H_2S “ “ 90 “ “ “
- SO_2 de combustibles 50 “ “ “
- H_2S y SO_2 de actividad volcánica 0.7 “ “ “

COMPUESTOS ORGÁNICOS DE AZUFRE

- En la atmósfera el dimetil sulfuro se oxida:



- En hábitats anóxicos puede ser utilizado por bacterias anaeróbicas:



- Por bacterias fototróficas produciendo DMSO (dimetilsulfoxido)
- Como donador de electrones por bacterias quimioorganótrofas y quimiolitótrofas produciendo DMSO.
- Existen otros compuestos de azufre orgánico pero mucho menos importantes que el dimetilsulfuro.