

BIOGEOQUÍMICA DE LA INTERFAZ AGUA-SEDIMENTO EN ESTUARIOS

Adriana Tudurí

atuduri@fcien.edu.uy

Oceanografía química y Física

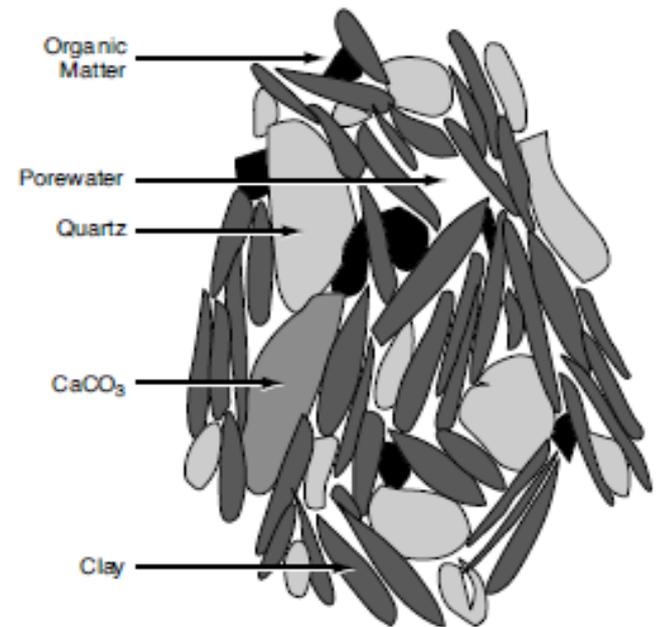
Importancia del agua en la biogeoquímica

- Por sus propiedades químicas y físicas, esta agua ha tenido una gran influencia en la continua evolución biogeoquímica de nuestro planeta.
- Es un excelente solvente.
- Es el agente de transporte más importante en la superficie de la Tierra.

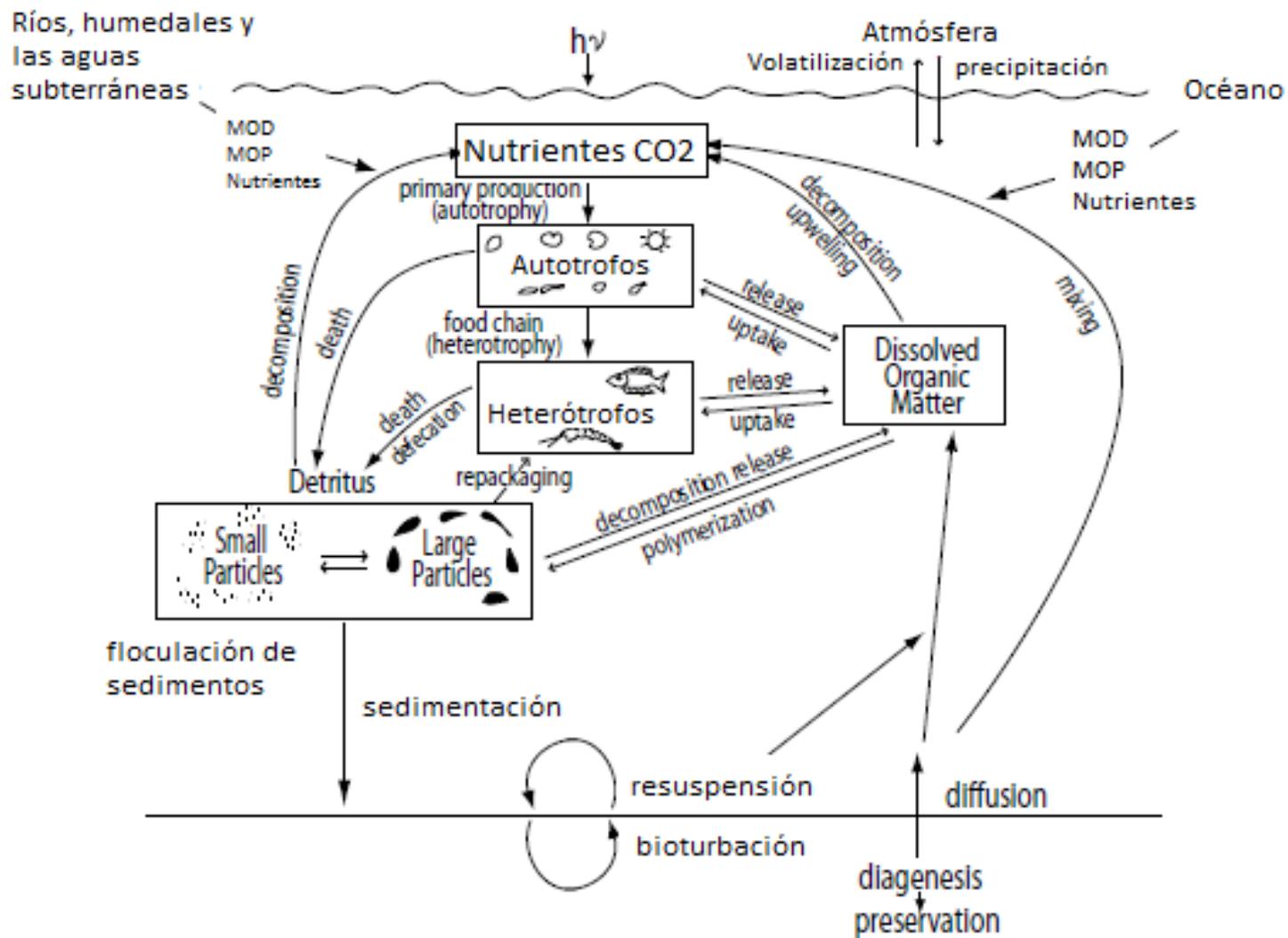


Sedimentos

- **Los sedimentos:** Partículas orgánica o inorgánica que forman capas no consolidadas en el fondo de los ecosistemas acuáticos. Consisten en partículas sólidas que forman una matriz con espacios (poros)
- Las partículas llegan al fondo principalmente al hundirse a través de la columna
- Las partículas consisten principalmente en arcilla, CaCO_3 , sílice SiO_2 , H_2O (agua intersticial) y materia orgánica
- **Interfaz sedimento-agua:** límite entre el sedimento del lecho bentónico y la columna de agua .



Ciclo de la materia orgánica estuarina (acoplamiento pelágico-bentónico)



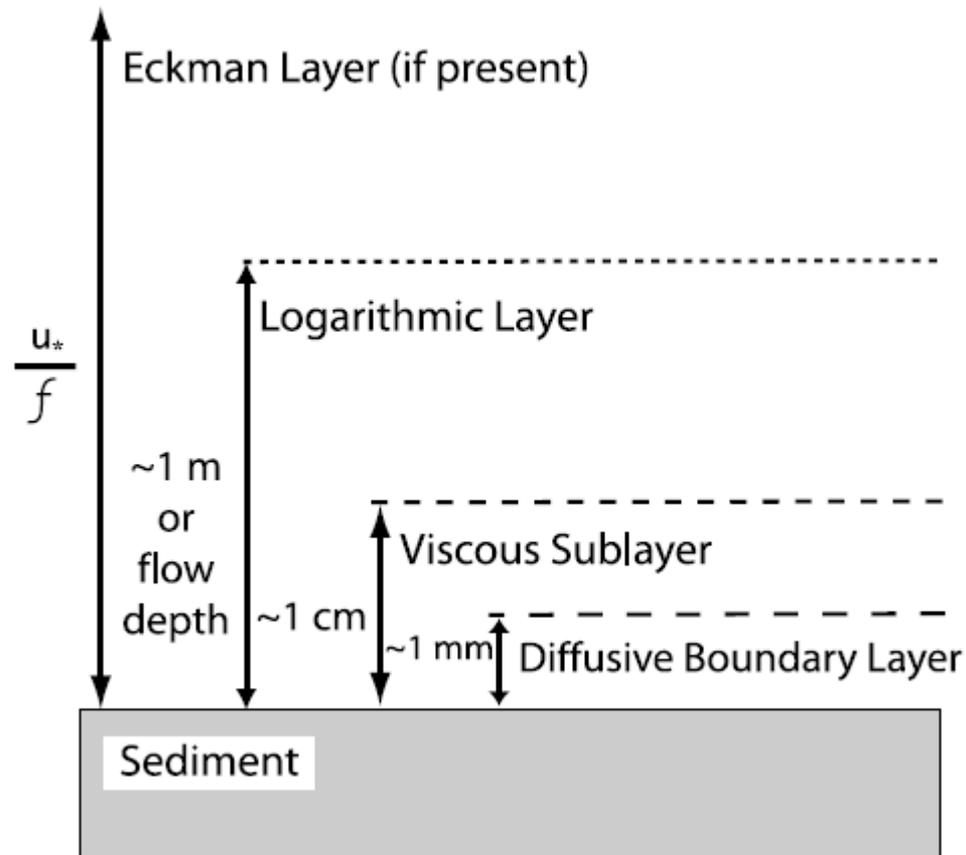
Diagenesis temprana

- El conjunto de procesos químicos, físicos y biológicos que alteran la cantidad y composición de la MO antes de su deposición en el fondo, o inmediatamente después de su incorporación a los sedimentos, en condiciones de baja temperatura y presión.
- Estos procesos diagenéticos de la materia orgánica tiene influencia sobre los ciclos de los elementos.

Capa límite bentónica

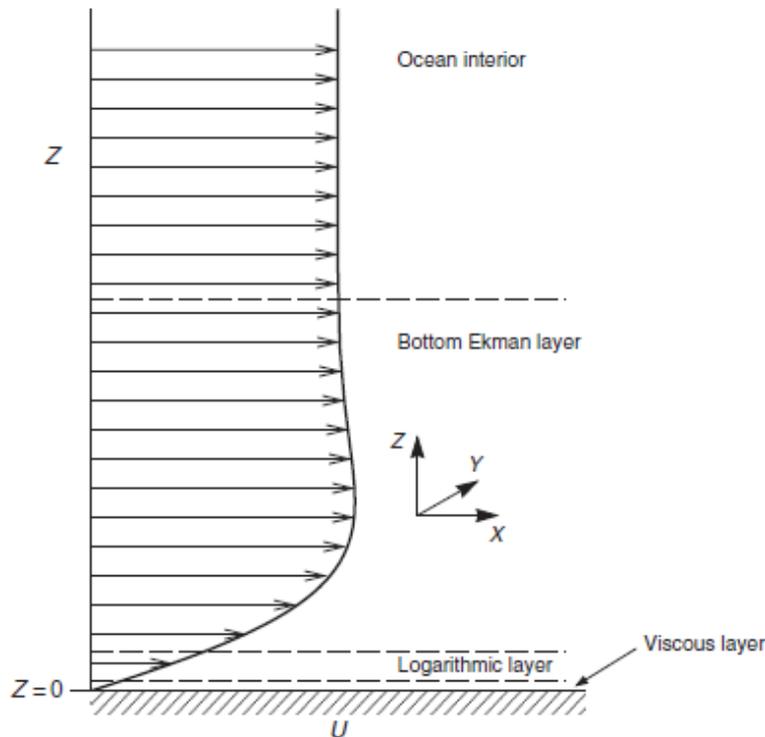
- "aquellas porciones de la columnas de agua y de los sedimentos que se ven afectadas la distribución de sus propiedades y procesos por la presencia de la interfaz sedimento-agua".
- Propiedades físicas
- Propiedades químicas
- Características biológicas

La capa límite bentónica



Capa de Ekman y logarítmica

- La capa de Ekman se produce a medida que el flujo se ve afectado por la rotación de la Tierra y la fricción del fondo.



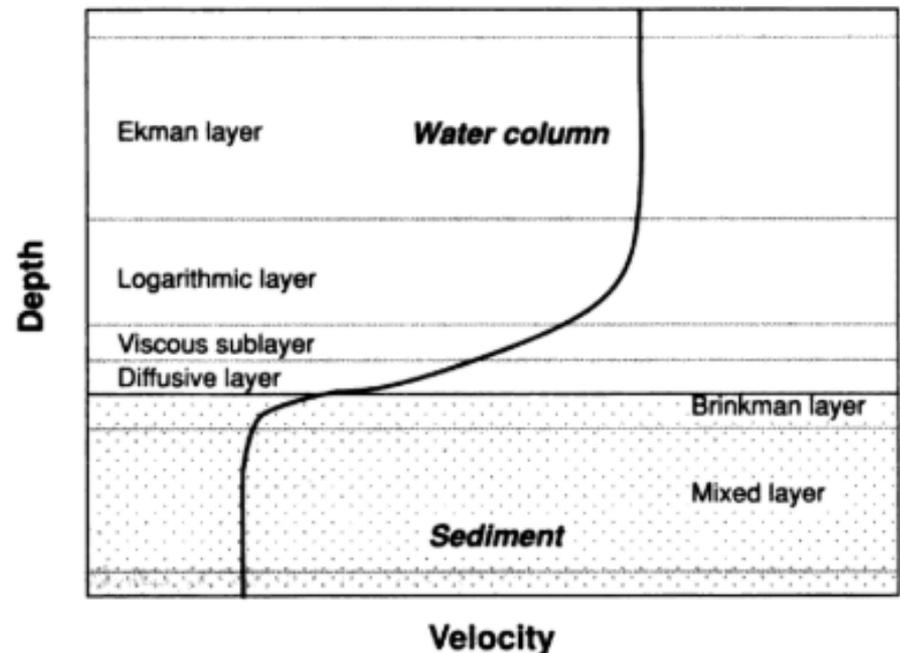
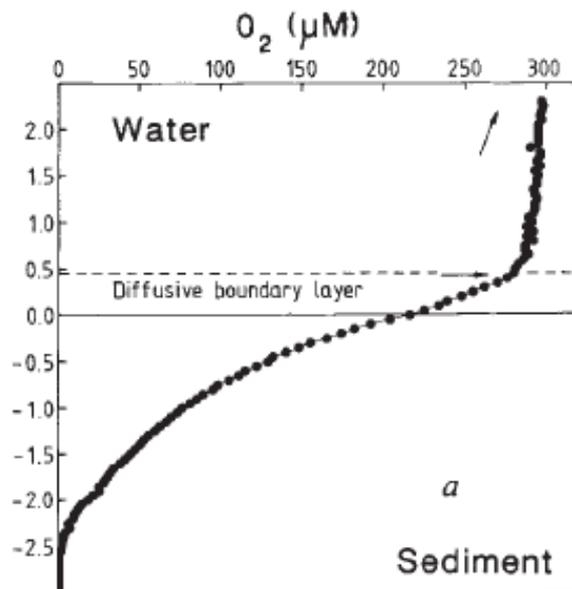
- La capa logarítmica predomina cuando el perfil de velocidad está bien descrito usando una función logarítmica (flujo turbulento)

Subcapa viscosa y difusiva

- Se forma una subcapa viscosa debido a la viscosidad (1cm)

Flujo laminar → disminuye el traslado de solutos por advección y más por la difusión

- Capa límite difusiva (1mm) → flujo neto de mayor a menor concentración



Agua de poro

- Es agua de mar atrapada en sedimentos a medida que las partículas se acumulan.
- **La porosidad** se define como la relación entre el volumen del espacio de los poros y el volumen total (húmedo + seco) del sedimento.
- La compactación reduce la distancia entre las partículas adyacentes y, por lo tanto, reduce la porosidad del sedimento

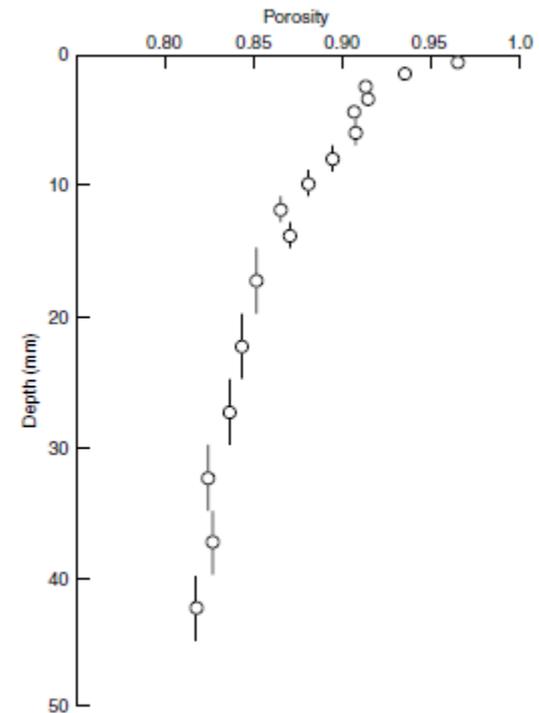
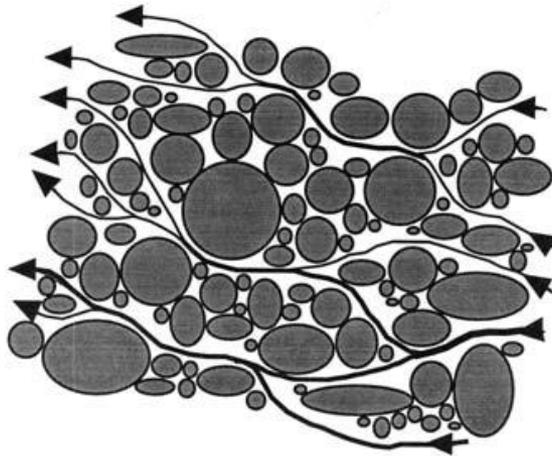


FIGURE 6.1.3: A typical vertical profile of porosity [Reimers et al., 1992].

Movimiento del agua entre sedimento

- A medida que la sedimentación continua aumenta la profundidad de una capa sedimentaria en relación con el fondo marino.
- El aumento de la presión conduce a la compactación de partículas → genera un flujo advectivo ascendente de agua porosa.
- Este flujo tiene el potencial de transportar solutos.



Difusión

- Los gradientes dan como resultado la difusión de solutos hacia y desde la columna de agua suprayacente, así como hacia y desde diferentes regiones de los sedimentos.
- Las moléculas no pueden seguir caminos rectos, sino que deben desviarse alrededor de las partículas

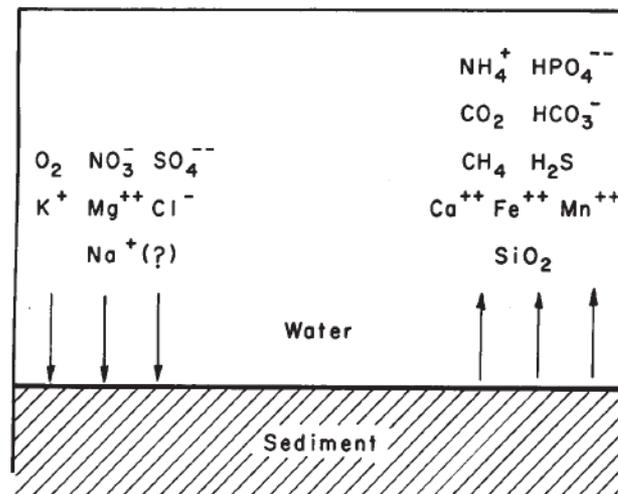


Fig. 10. Direction of fluxes (shown by arrows) expected for dissolved constituents between sea water and sediment pore waters.

Bioturbación y resuspensión

- Es la mezcla de sedimentos por el movimiento activo de las partículas por medio de la fauna bentónica como las almejas y los gusanos
- Procesos como la ingestión, la defecación y la construcción de madrigueras.
- Los procesos pueden ser selectivos
- Resuspensión y transporte lateral de partículas de sedimento por las corrientes y otros fenómenos

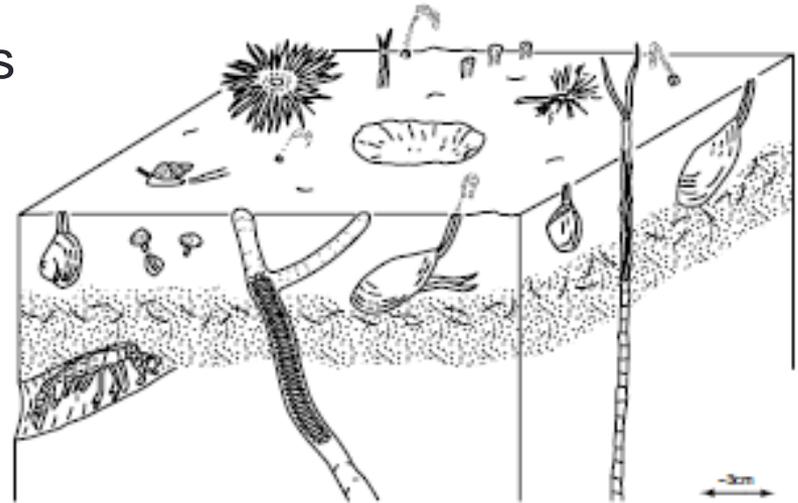


FIGURE 65.8 Schematic of sediment bioturbation processes. From Rouse [1990].

Descomposición de la materia orgánica y la fotosíntesis

oxidación

(respiración/degradación de la materia orgánica)



La descomposición aeróbica y la fotosíntesis son procesos opuestos de oxido-reducción.

Relación de Redfield para fitoplancton marino era
C106: N16: P1

Reacciones que sufre la MO en los sedimentos

<i>Reaction</i>	<i>Stoichiometry</i>
(1) Aerobic respiration	$OM + 150 O_2 \rightarrow 106 CO_2 + 16 HNO_3 + H_3PO_4 + 78 H_2O$
(2) Denitrification	$OM + 104 HNO_3 \rightarrow 106 CO_2 + 60 N_2 + H_3PO_4 + 138 H_2O$
(3) Manganese reduction	$OM + 260 MnO_2 + 174 H_2O$ $\rightarrow 106 CO_2 + 8 N_2 + H_3PO_4 + 260 Mn(OH)_2$
(4) Iron reduction	$OM + 236 Fe_2O_3 + 410 H_2O$ $\rightarrow 106 CO_2 + 16 NH_3 + H_3PO_4 + 472 Fe(OH)_2$
(5) Sulfate reduction	$OM + 59 H_2SO_4 \rightarrow 106 CO_2 + 16 NH_3$ $+ H_3PO_4 + 59 H_2S + 62 H_2O$
(6) Methane fermentation (methanogenesis)	$OM + 59 H_2O \rightarrow 47 CO_2 + 59 CH_4 + 16 NH_3 + H_3PO_4$

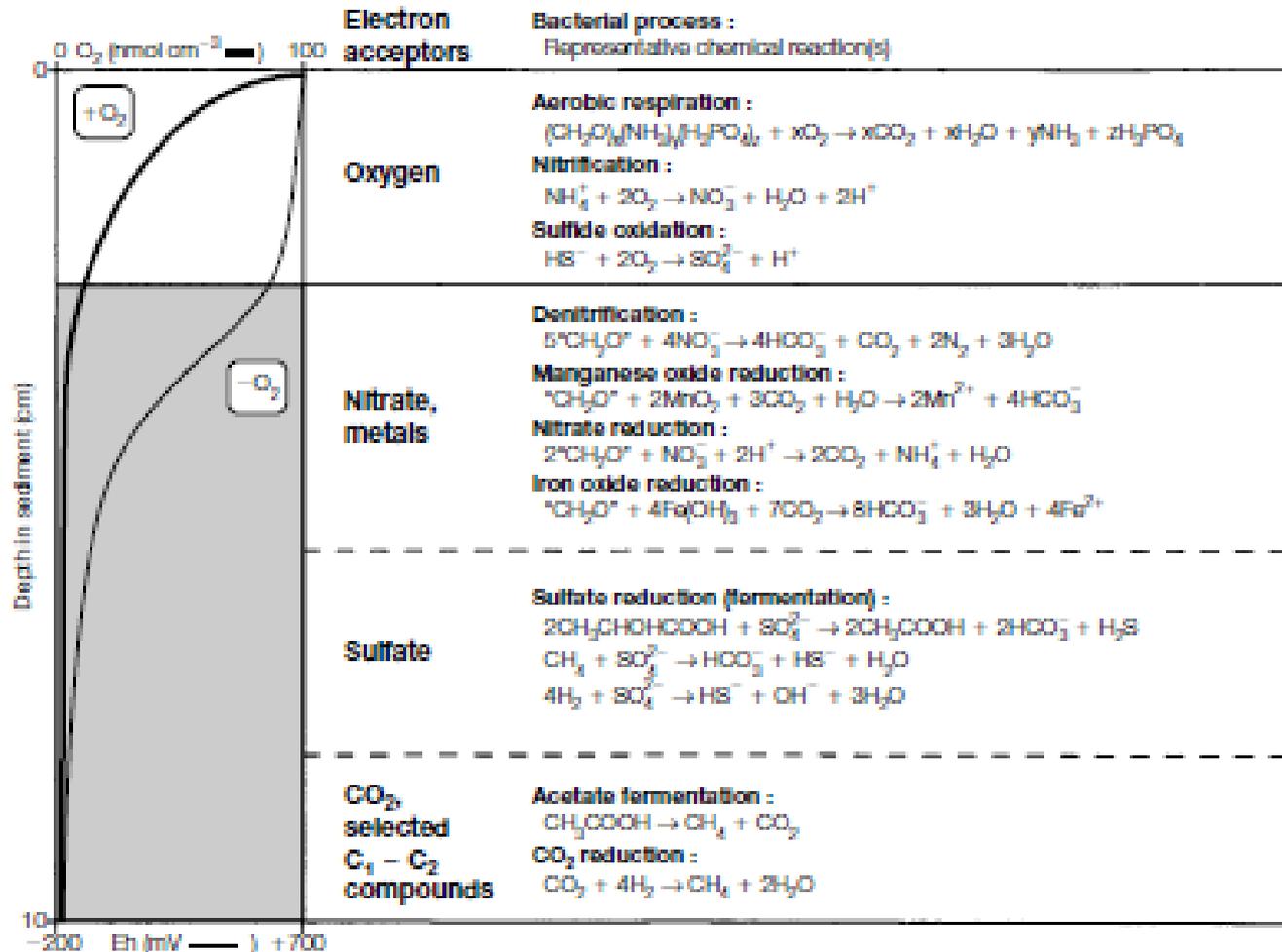
Reacciones que sufre la MO en los sedimentos

- Cuando la concentración de oxígeno disuelto es baja la materia orgánica es descompuesta por fuentes secundarias de oxígeno.
- Por convención, G es negativa para reacciones espontáneas.

Reaction	ΔG
Reduction of O ₂	
$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$	-29.9
Reduction of NO ₃ ⁻	
$2NO_3^- + 6H^+ + 6e^- \rightarrow N_2 + 3H_2O$	-28.4
Reduction of Mn ⁴⁺	
$MnO_2 + 4H^+ + 2e^- \rightarrow Mn^{2+} + 2H_2O$	-23.3
Reduction of Fe ³⁺	
$Fe(OH)_3 + 3H^+ + e^- \rightarrow Fe^{2+} + 3H_2O$	-10.1
Reduction of SO ₄ ²⁻	
$SO_4^{2-} + 10H^+ + 8e^- \rightarrow H_2S + 4H_2O$	-5.9
Reduction of CO ₂	
$CO_2 + 8H^+ + 8e^- \rightarrow CH_4 + 2H_2O$	-5.6

Disminución de la energía producida

Perfil de secuencia de aceptores de e⁻



Perfil de solutos disueltos en el agua de poro

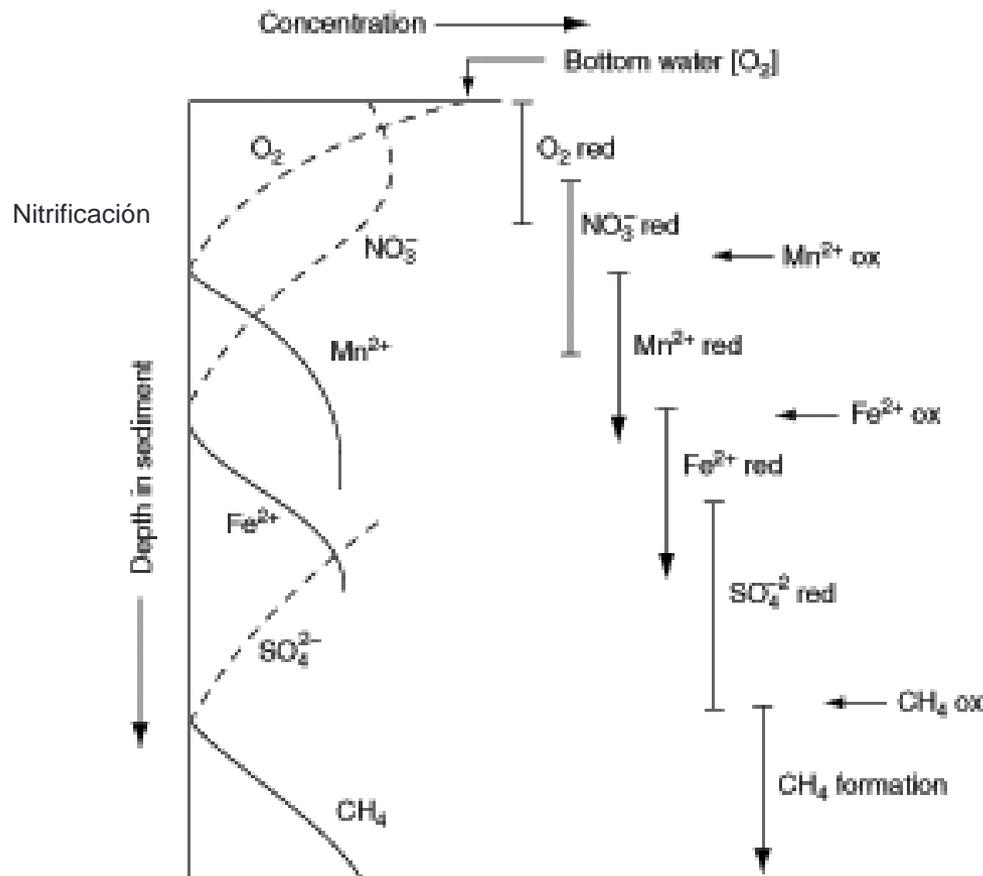
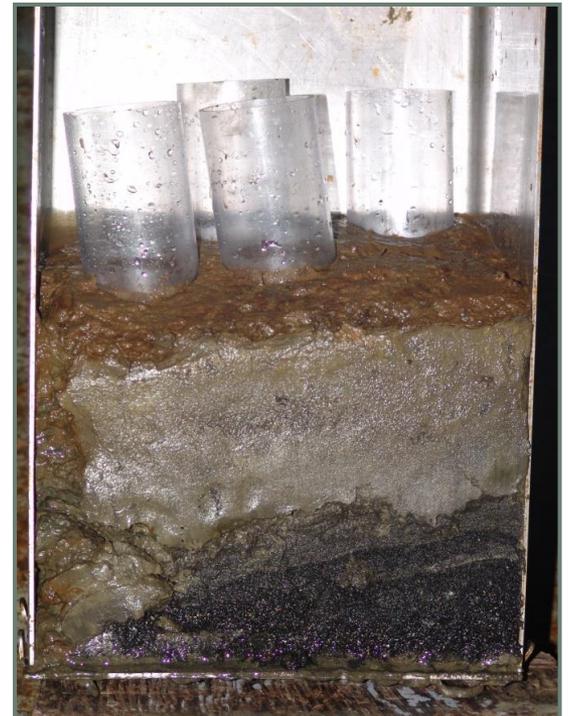


Figure 13.1 A schematic representation of the porewater profiles that have been observed to show the sequential use of electron acceptors during organic matter degradation. Modified from Froelich et al. (1979).

(Froelich et al., 1979)

Discontinuidad de potencial redox

- La profundidad de la capa de discontinuidad de potencial redox está asociada con una coloración distinta, indicativa de diferencias entre las condiciones óxicas y subóxicas.
- Esta zona es indicativo de las diferencias entre las formas óxica y reducida de complejos metálicos.



Condiciones redox en diferentes sistemas

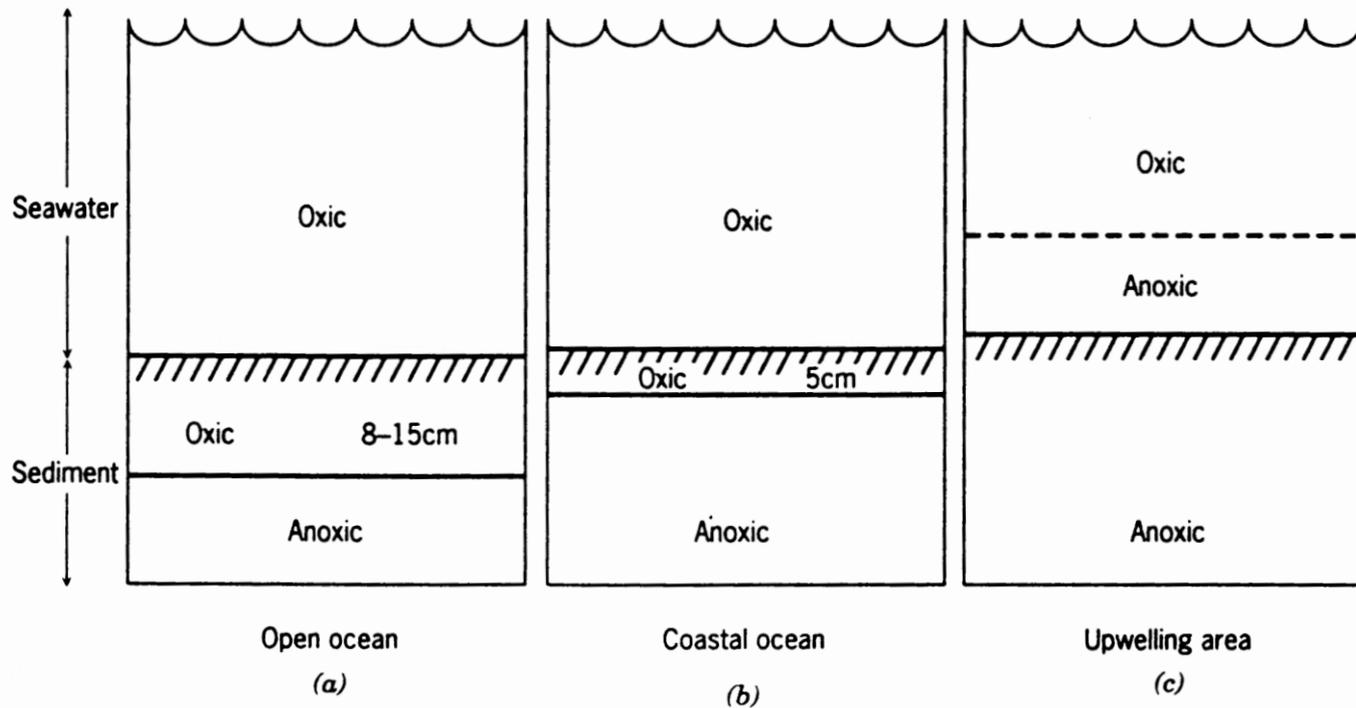


FIGURE 12.3. Redox conditions in the water column and sediments of the (a) open ocean, (b) coastal ocean, and (c) upwelling areas.

Efectos de la bioturbación sobre la secuencia de electrones

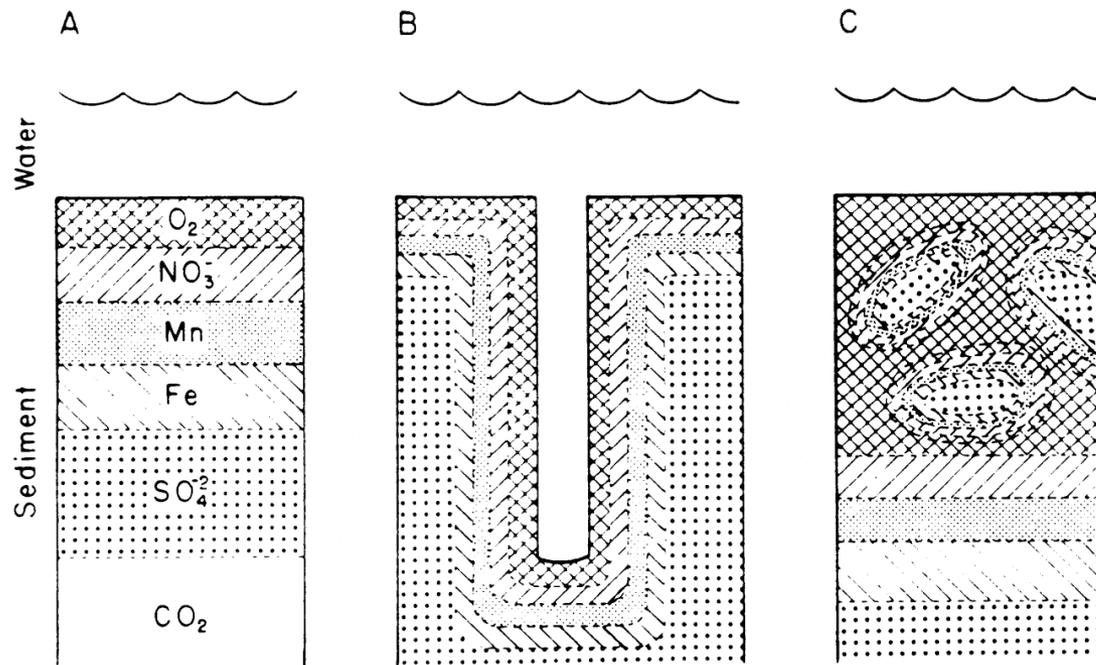
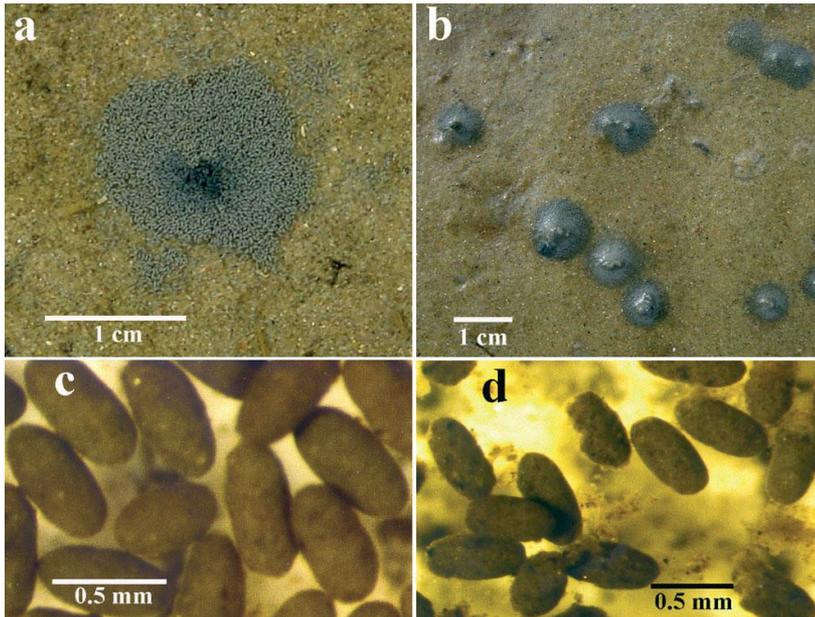


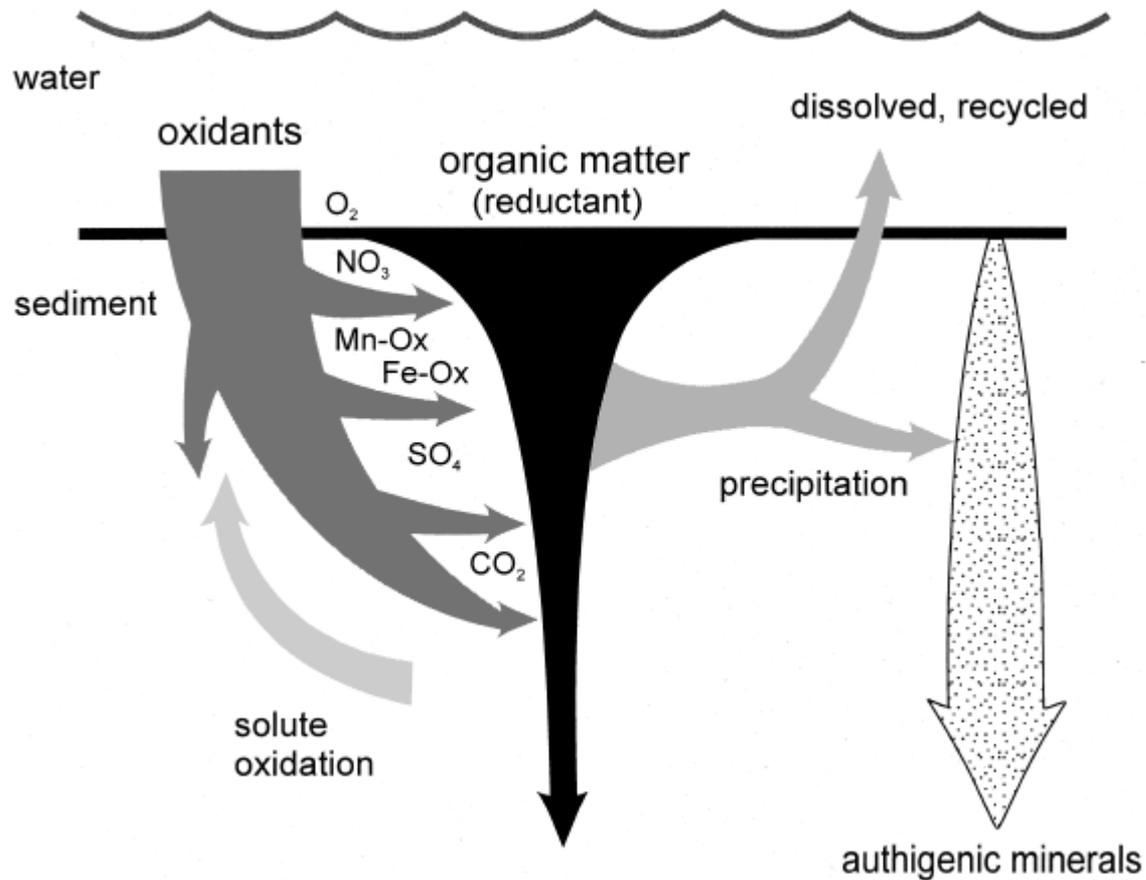
Figure 1. (A) Classically assumed vertical zonation of electron acceptor use in sediments. (B) Reaction zonation around irrigated burrow microenvironment. (C) Reaction geometries associated with fecal pellet microenvironments.

Efectos de pellets fecales disponibilidad de O₂



- *Heteromastus filiformis*
- Aumenta la permeabilidad de la capa superficial del sedimento y, por tanto, la degradación de la materia orgánica contenida en esa capa.
- La permeabilidad 2 órdenes de magnitud mayor que la de la superficie del sedimento no peletizado, que además tenía una porosidad un 30% menor.

Principales procesos diagenéticos

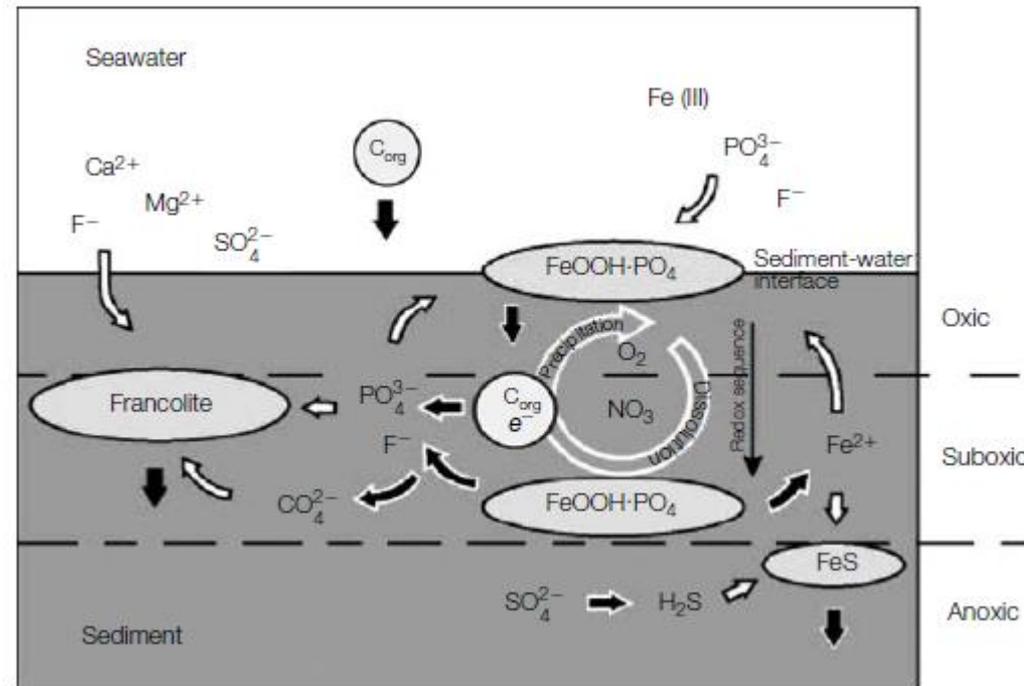


Reciclaje de nutrientes en sedimento

- Remineralización en sedimento y liberación a la columna
 - Reciclaje interno de nutrientes en el estuario (nitrógeno, fósforo etc.)
- Factores que contribuyen a la variabilidad del intercambio de nutrientes entre sedimentos y agua:
 - Estado redox de los sedimentos y la columna de agua suprayacente
 - Procesos adsorción / desorción, precipitación
 - Respiración microbiana y la excreción macro-meio-béntica
 - Minerales autigénicos
 - Resuspensión, bioturbación

Flujo de fósforo en la interfaz agua - sedimento

- P orgánico (particulado y soluble)
- PO_4^{3-} adsorción a Fe oxidado (particulado) se liberan en condiciones anaerobicas o en presencia de H_2S
- Minerales autigénicos de p (fluoroapatita de carbonato (CFA), estruvita y vivianita) permanece en el sedimento (particulado)
- minerales detríticos de P (eg.feldespatos)

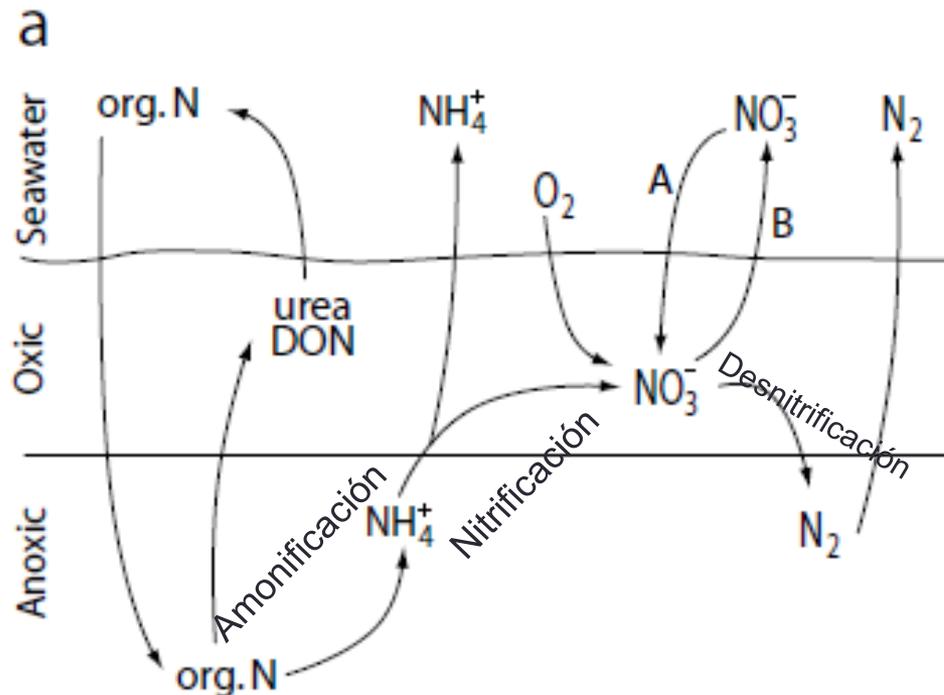


Flujo de nitrógeno en la interfaz agua sedimento

- Las principales vías del ciclo N en los sedimentos están fuertemente influenciadas por las condiciones redox en las aguas del fondo y los sedimentos

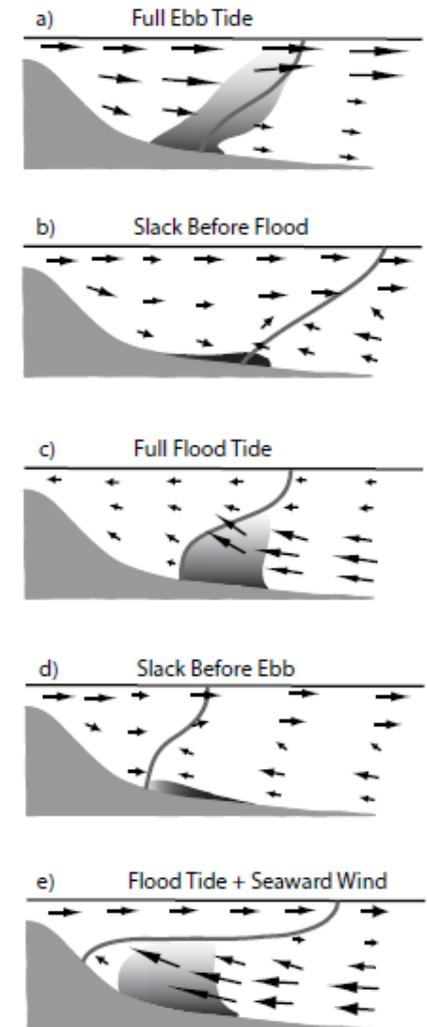
Nitrato (NO_3^-)

Amonio (NH_4^+)
DON(nitrógeno orgánico disuelto)



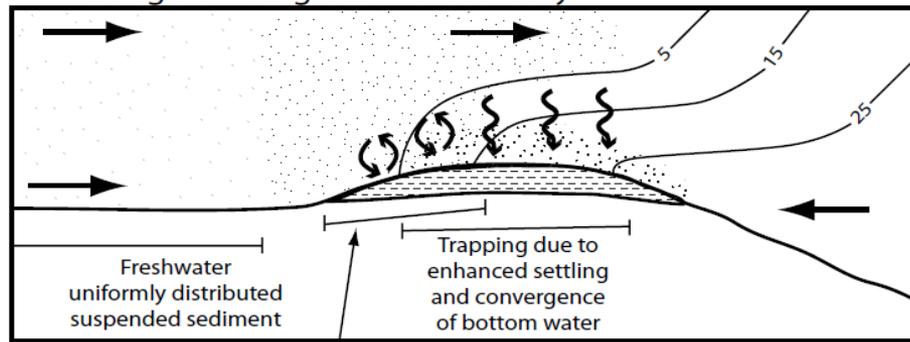
Máximo de turbidez de los estuarios

- Región donde las concentraciones de partículas suspendidas son considerablemente más altas (10–100 veces) que en los extremos adyacentes de ríos o costas en los estuarios.
- Se produce en el límite de intrusión de sal
- En estuarios meso y macromareales
- Controlada por la amplitud de las mareas, el volumen del flujo del río y la batimetría de los canales.



Formación del *mobile and fluid mud*

(a) Neap Tide - stratified fluid mud
Strong vertical gradient in salinity

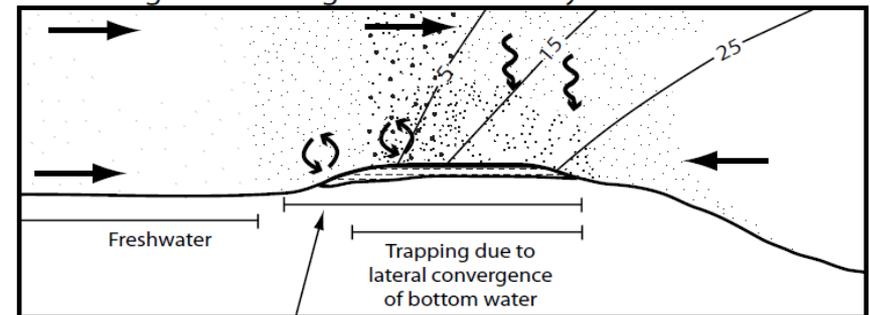


Transient resuspension due to migration of front, tidal variation in bed stress, and locus of trapping

- **Lodo móvil** → capa superior del lecho marino altamente porosa
- Ambas capas zona parte de la capa límite bentónica

- **Lodo fluido** → alta concentración de sedimento suspendido mayores a 10gL^{-1}

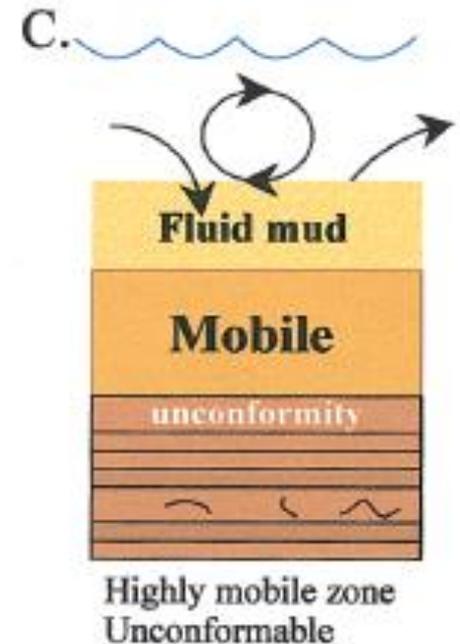
(b) Spring Tide - mixed fluid mud
Strong horizontal gradient in salinity



Resuspension of stratified fluid mud and seabed to form mixed fluid mud or moderate concentration suspension

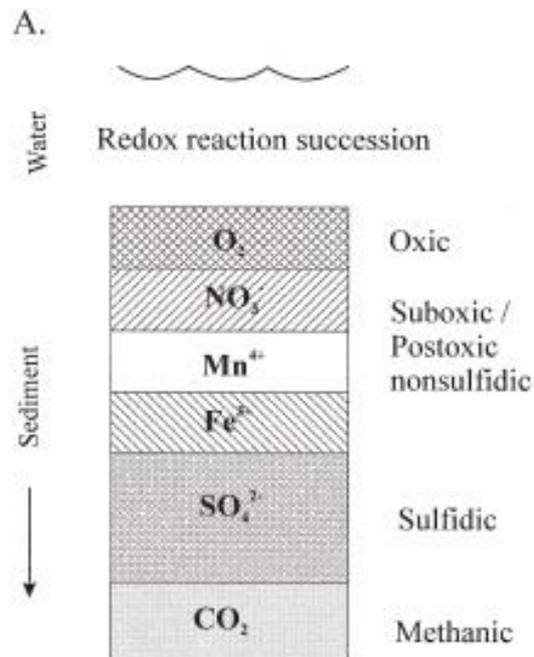
Características de los lodos móviles y fluidos

- Se forman en los estuarios donde la dinámica del río domina sobre los márgenes oceánicos (deltas Amazonas)
- En la cuña salina y en la plataforma adyacente.
- Promueve un mayor transporte de materiales orgánicos terrestres a través del margen continental.
- Aumentan los procesos de transformación diagenética de la materia orgánica
- Alta remineralización de la materia orgánica

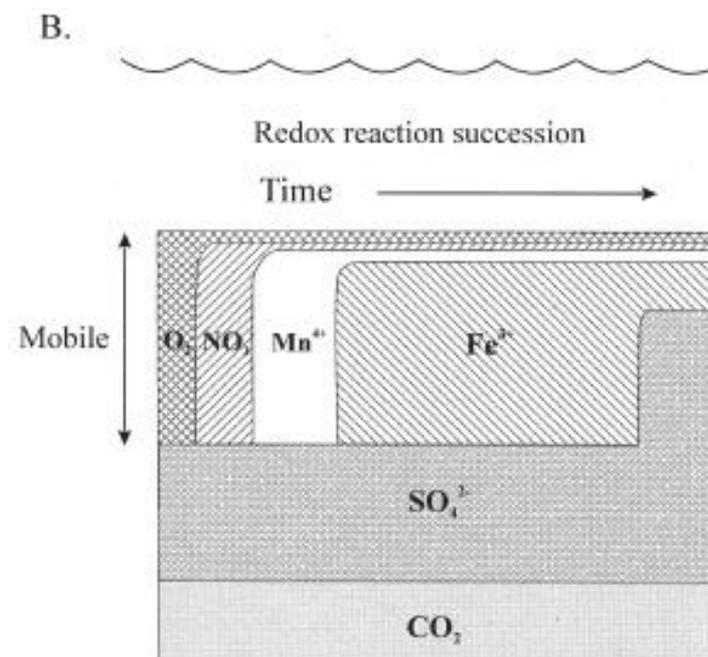


Zonación de las reacciones redox

- Clásica (estable)



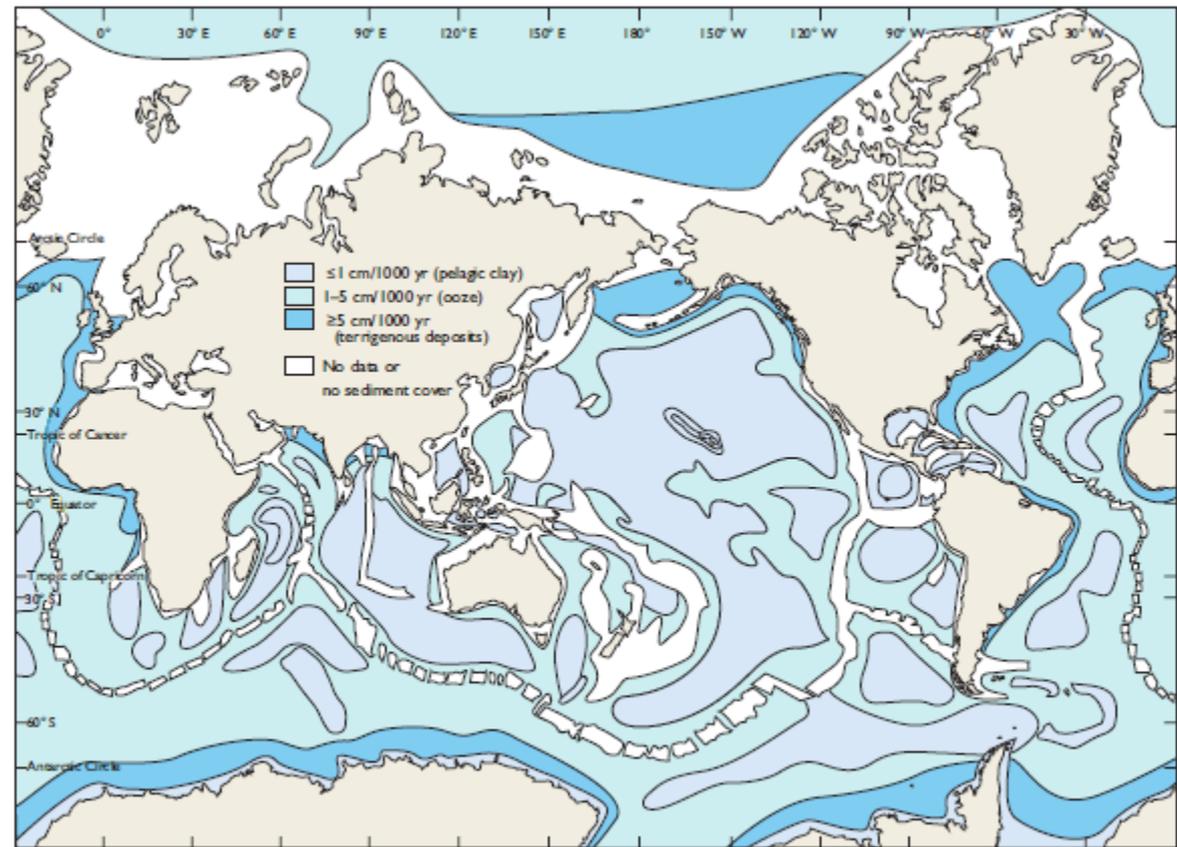
- Zona móvil (inestable)



La re-oxidación periódica o episódica y períodos prolongados de condiciones sub-oxicas

Tasa de sedimentación

- **zona costera**
normalmente oscila
entre 0.3 y 1.0 cm yr⁻¹
 - Los depósitos móviles
→ baja preservación
de la materia orgánica
a pesar de las altas
tasas de acumulación
de sedimentos
 - **océano profundo**
oscilan entre 0.1 y 1.0
cm kyr⁻¹ (1000 años)
- expansión relativa de
las zonas de reacción
óxicas y suboxicas



(b) SEDIMENTATION RATES

Bibliografía

- Ocean Biogeochemical Dynamics. 2006. Editores: Jorge L. Sarmiento y Nicolas Gruber
- Biogeochemistry of Estuaries. 2007. Editor: Thomas S. Bianchi
- Introduction to Marine Biogeochemistry. 2009. Editor: Susan Libes
- Invitation to Oceanography. 2009. Editor: Paul R. Pinet