



Ecología de Lagunas Costeras y Estuarios
1. Definición, origen y clasificación de los estuarios.

Laguna Szczecin, Polonia

Definición de estuario vs. los estuarios reales.

Aestus = calor, hervir, marea

Aetuarium = mareal

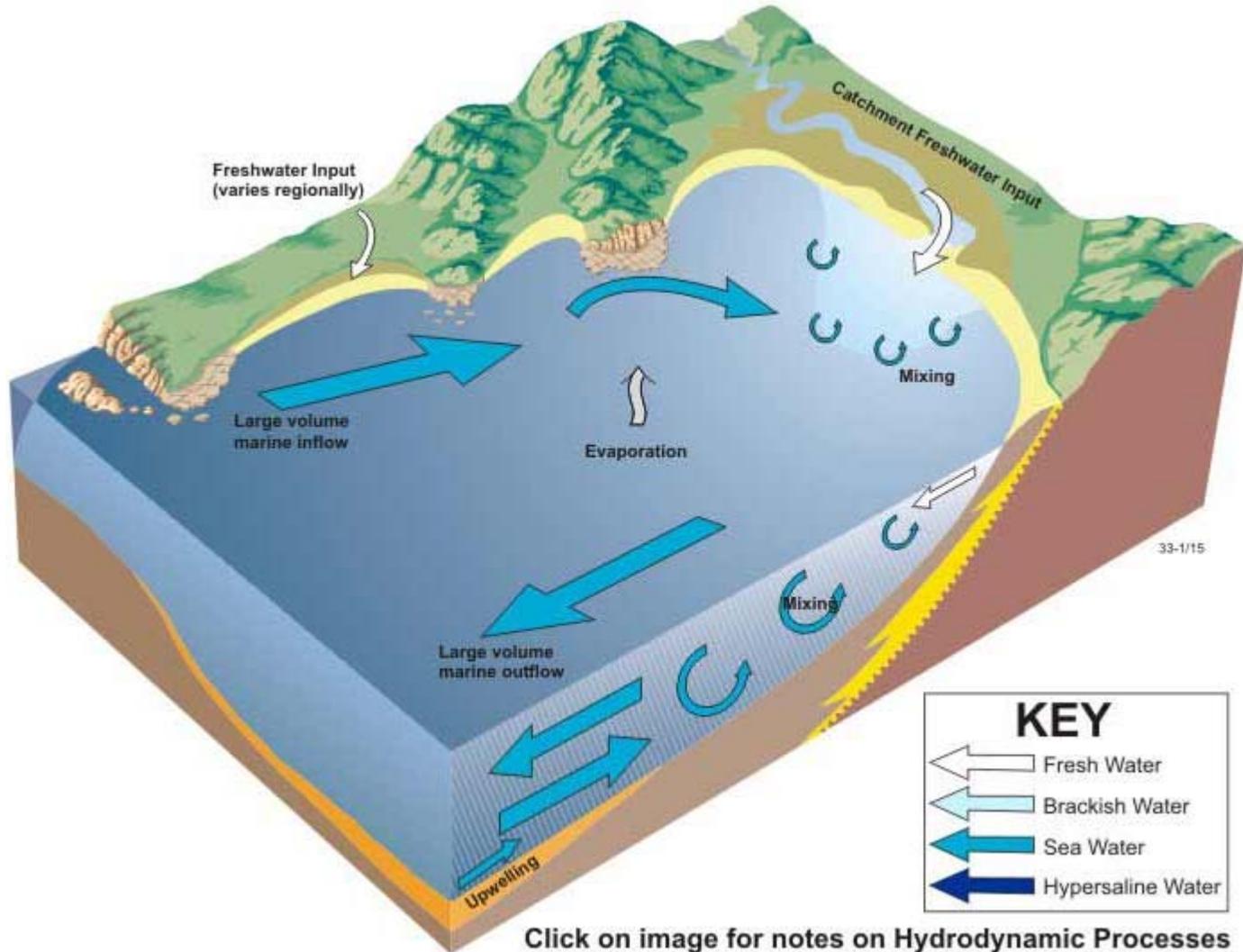
Boca de un gran río donde se unen la corriente de éste con la marea (*Diccionario Oxford*).

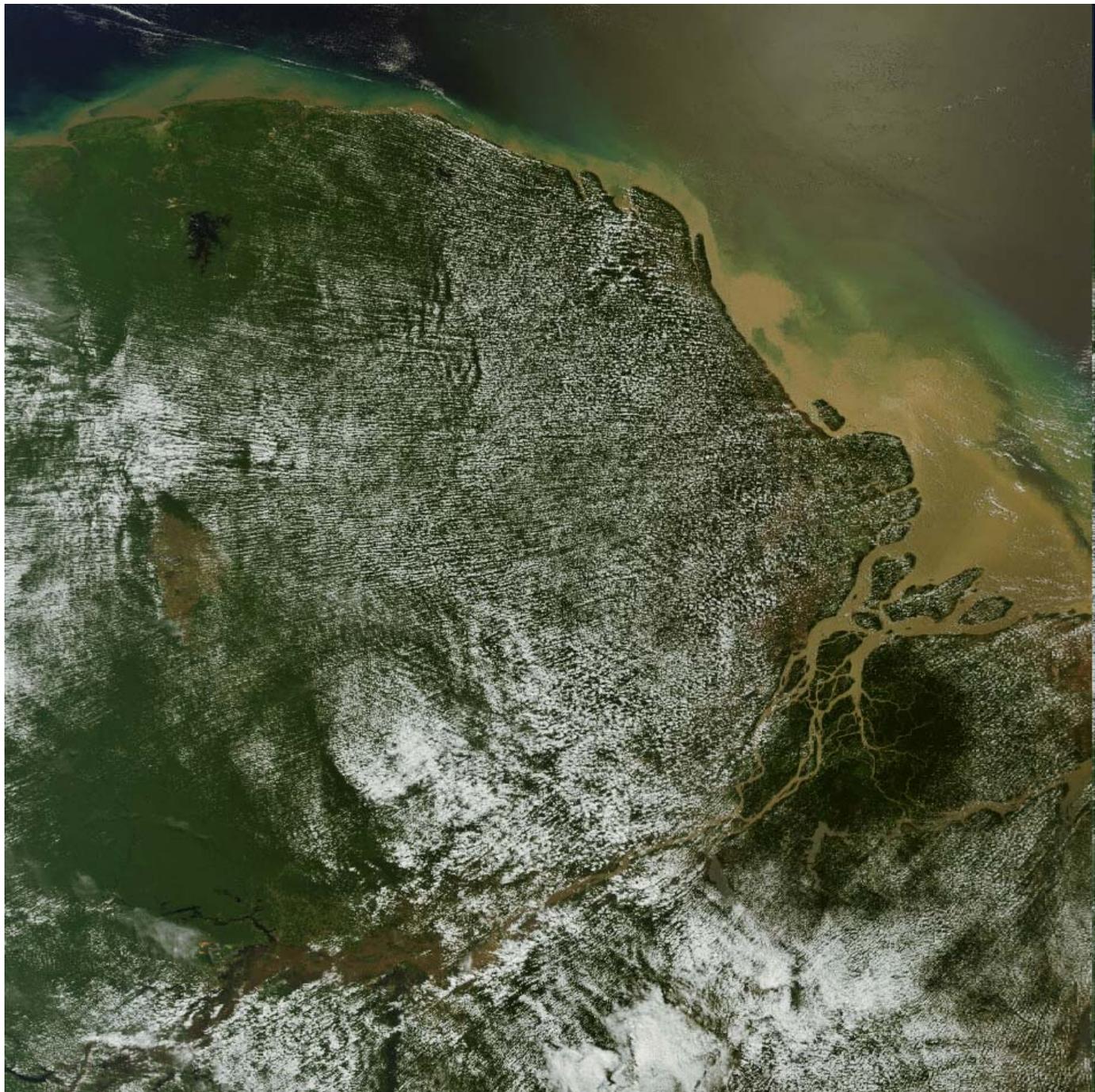
Un canal, como la boca de un río o lago, donde la marea y la corriente de un río se encuentran; de formas mas común, un brazo del mar y la parte final de un río. (b) En geografía física, una boca profunda de un río, producida por el hundimiento de tierra cerca de la costa (*Diccionario Webster*)

Cuerpo de agua costero semi-cerrado, con una conexión libre hacia el mar y con una cantidad medible de agua marina (Pritchard, 1952).



(a) Cuerpo de agua costero, semicerrado, (b) comunicado libremente con el oceano y (c) dentro del cual el agua de mar es diluida por el agua dulce continental (Cameron & Pritchard, 1963).







Río Lagartos Río Lagartos

© 2011 INEGI
Image © 2011 DigitalGlobe
Image © 2011 GeoEye
© 2011 Google

© 2007 Google™

Puntero 21°36'17.49" N 88°09'21.11" O elev. 3 m

Secuencia ||||| 100%

Alt. ojo 4.58 km

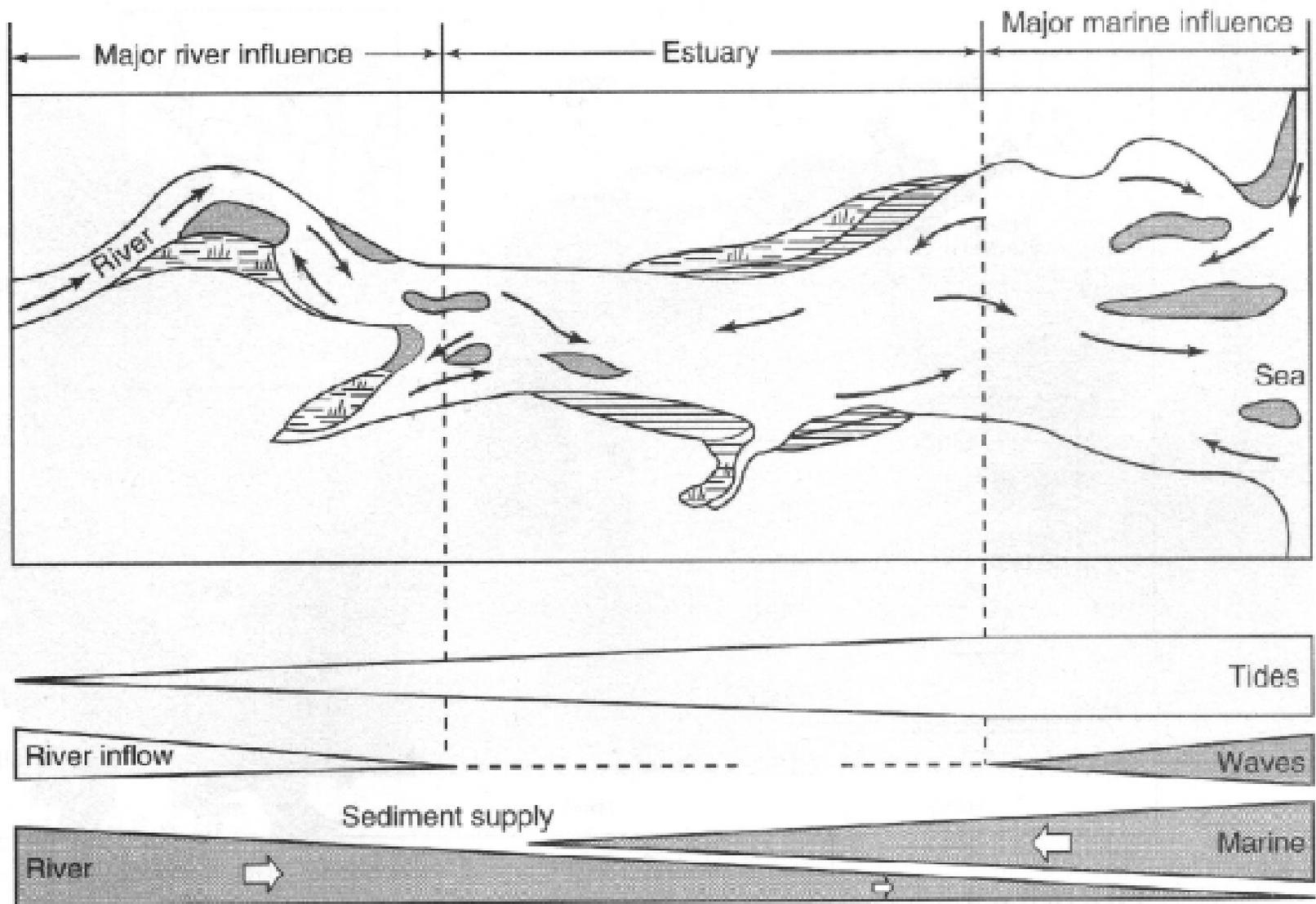


FIGURE 6.8

General diagram of an estuary including the major sections and sediment varieties.

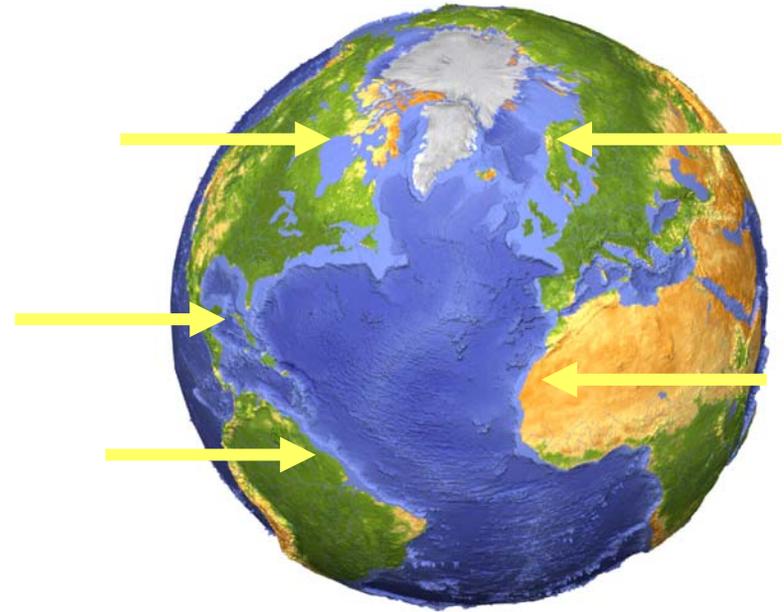
(After Nichols, M. M. and Diggs, R. B., 1985, In *Coastal Sedimentary Environments*, Springer-Verlag, New York, p. 158, Fig. 2.48)

Cuando el agua dulce entra a una cuenca semicerrada se establecen gradientes longitudinales de densidad que promueven un flujo de salida superficial de largo plazo y un ingreso neto profundo. De esta forma, el agua dulce es el principal elemento que determina la circulación.

Pero, ¿esta condición se cumple para todos los estuarios?



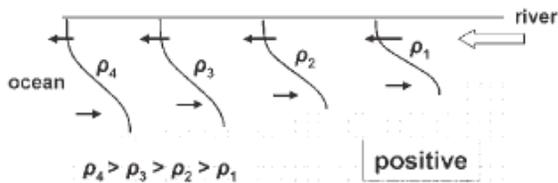
Este esquema se ajusta a un estuario de una zona templada, pero ¿qué pasa con los estuarios de cuencas áridas o tropicales?



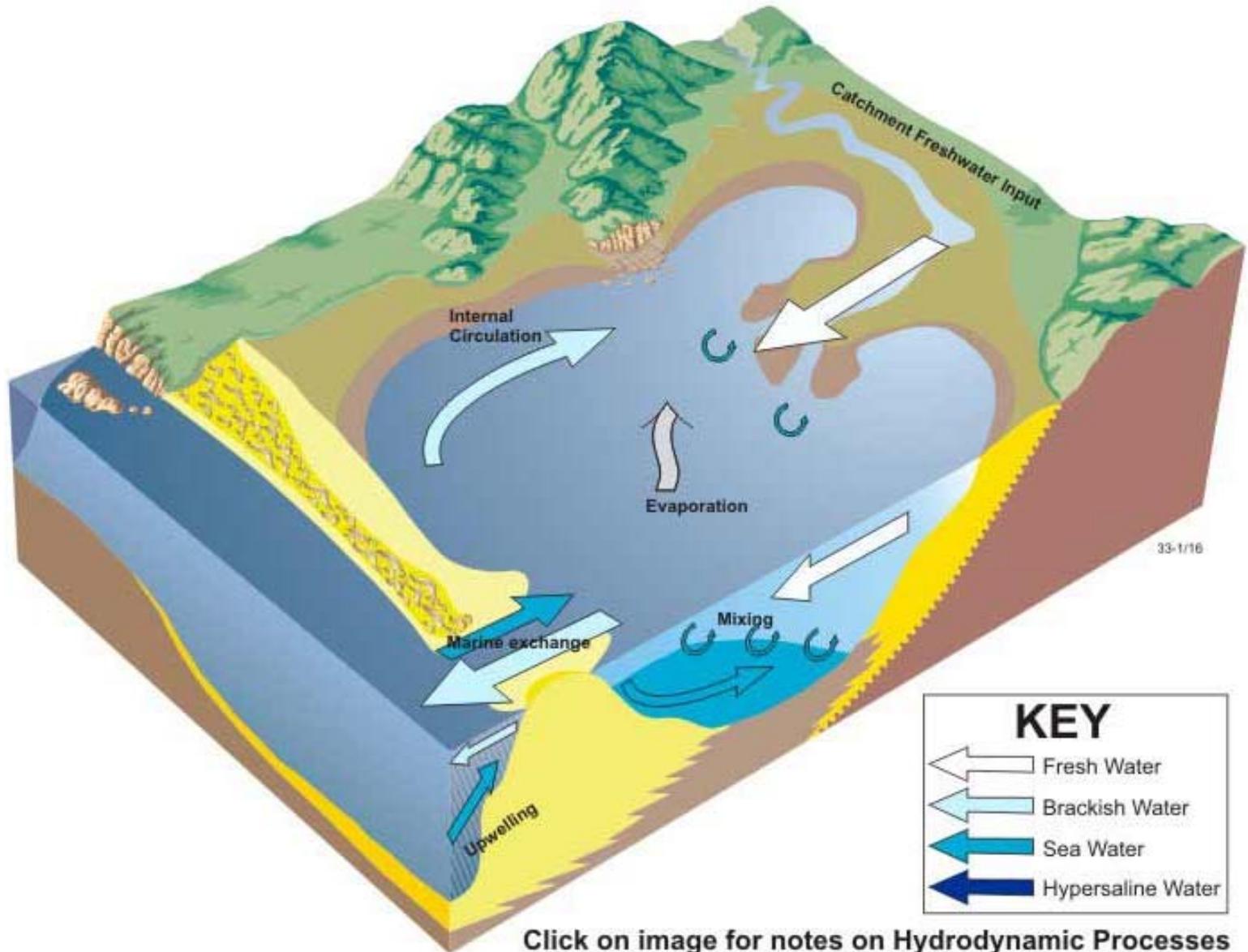
¿Qué pasa con los estuarios donde el balance de agua dulce con respecto al agua marina es distinto o variable?

Clasificación de estuarios con base al balance de agua: 3 tipos

1) Positivos. Aquellos donde la adición de agua dulce por ríos, lluvias o hielo en derretimiento supera la pérdida de esta agua por evaporación o congelamiento, generando así un gradiente longitudinal de densidad

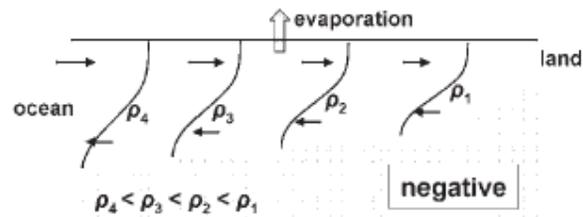


1) Hidrología positiva

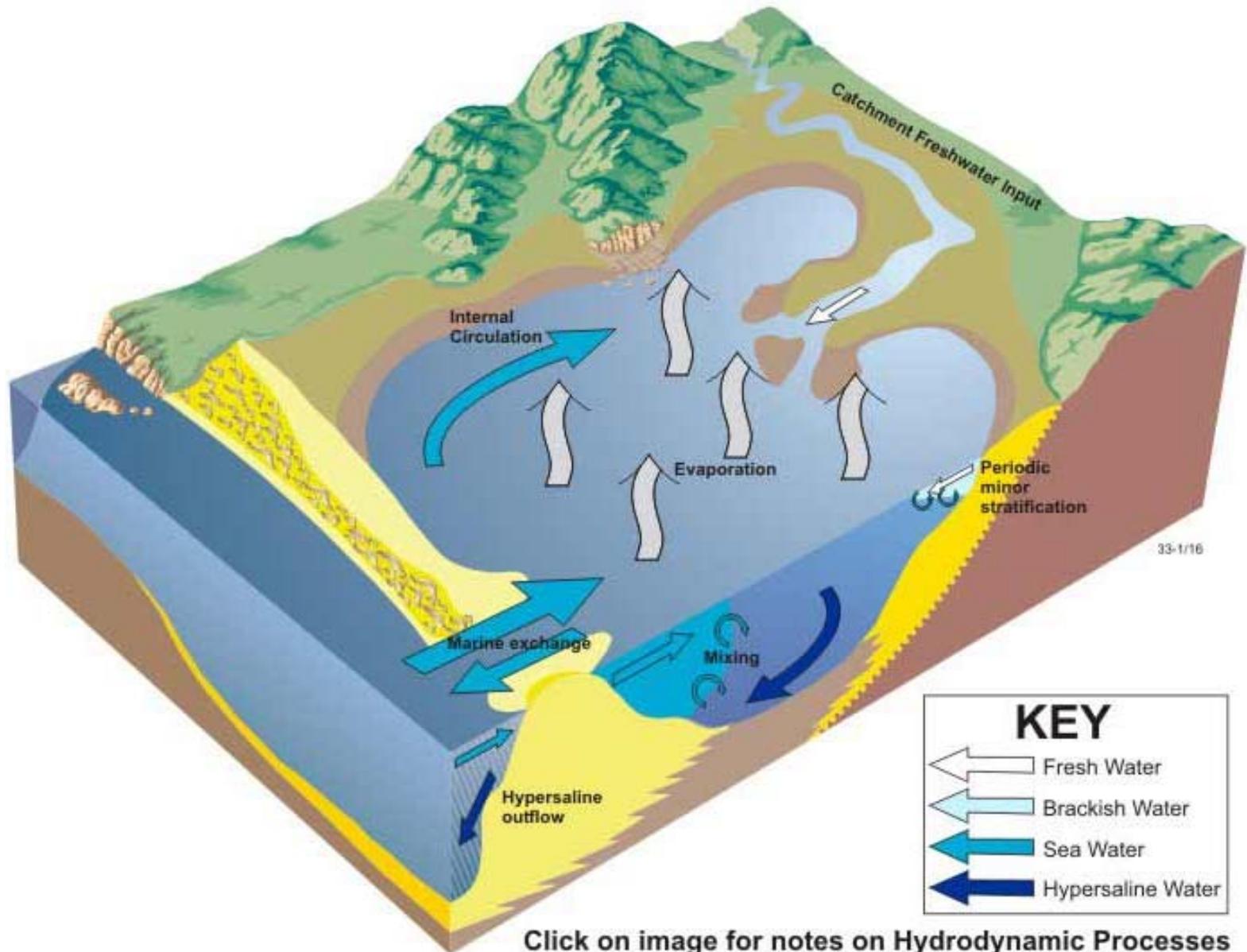


Clasificación de estuarios con base al balance de agua: 3 tipos

2) Inversos o negativos. Típicos de regiones áridas, donde las pérdidas de agua dulce por evaporación exceden las adiciones de la misma por precipitación

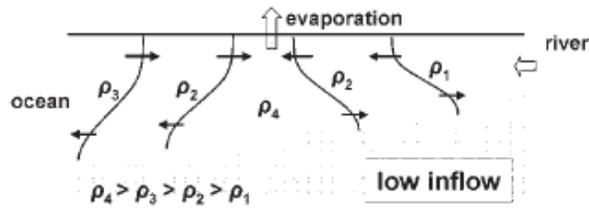


2) Hidrología negativa

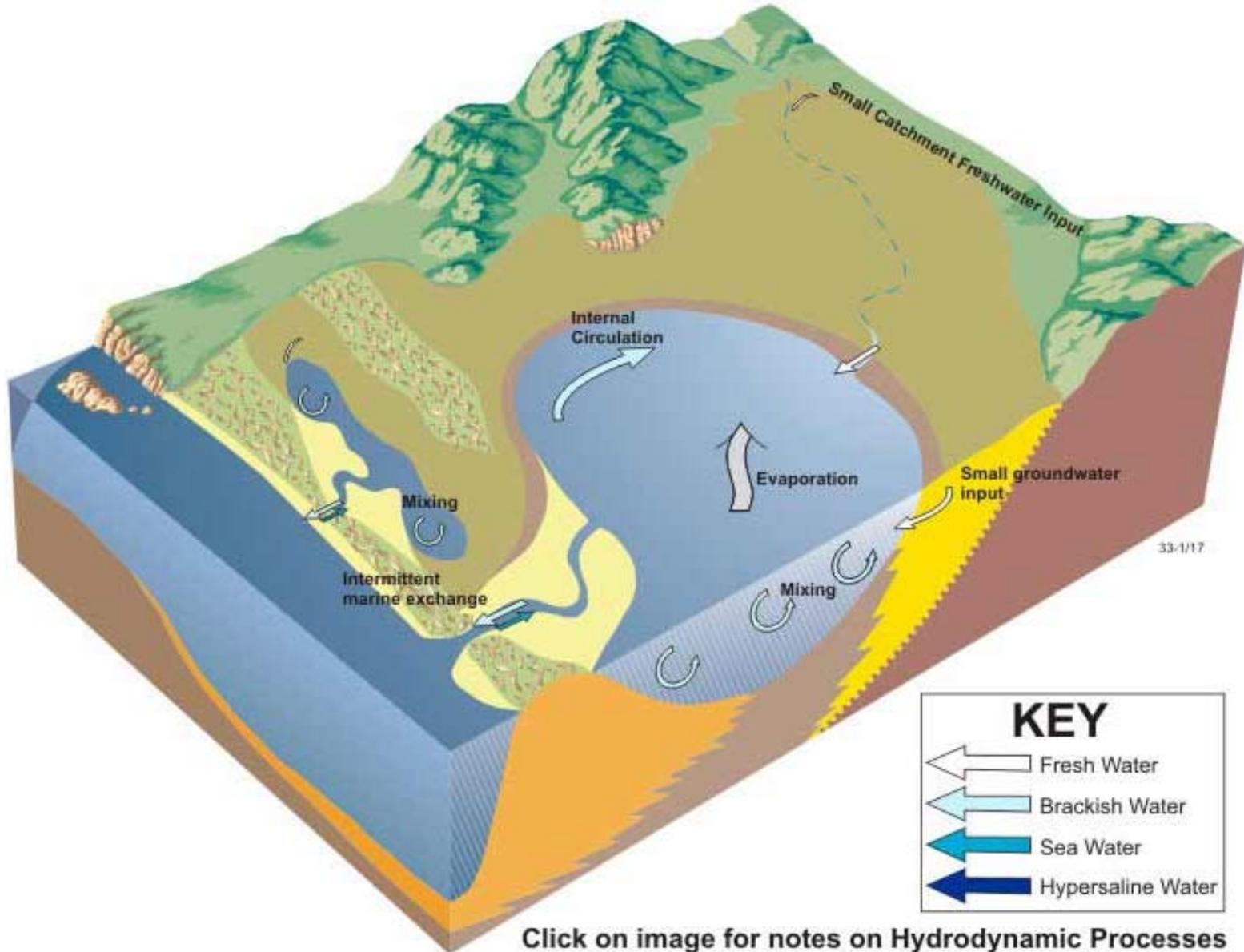


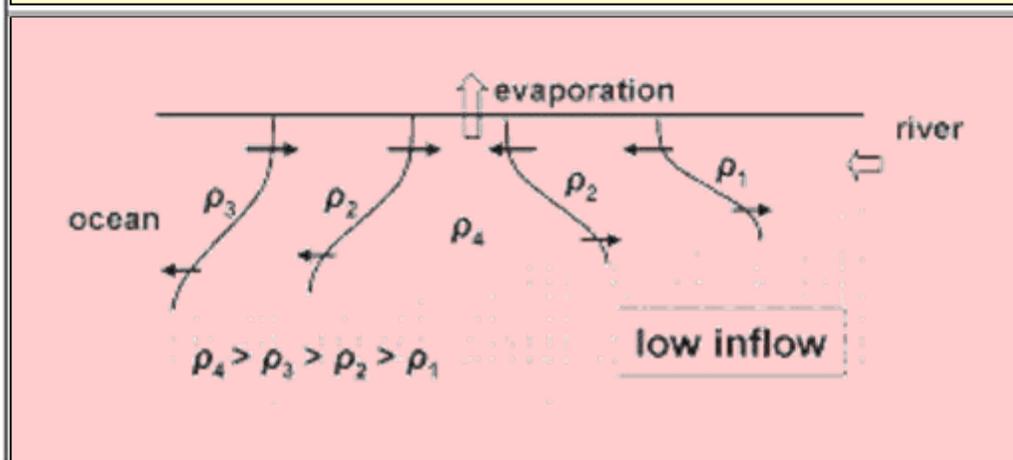
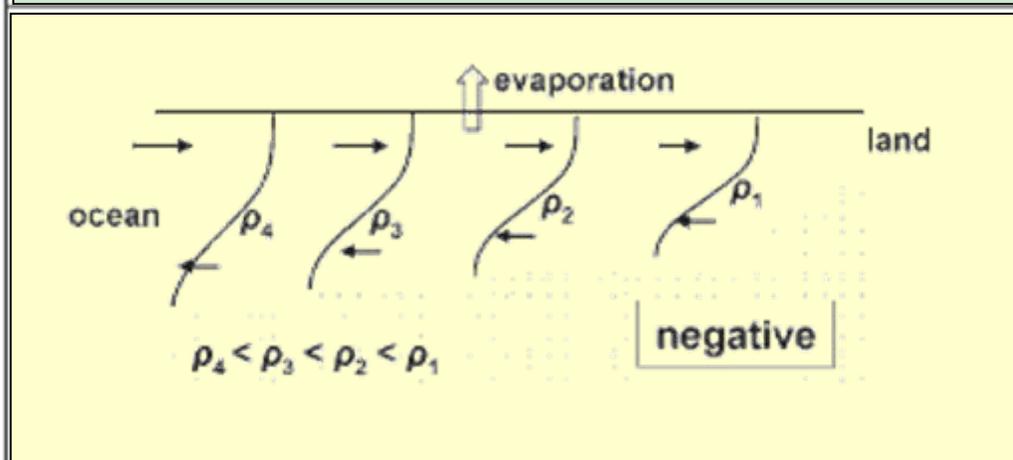
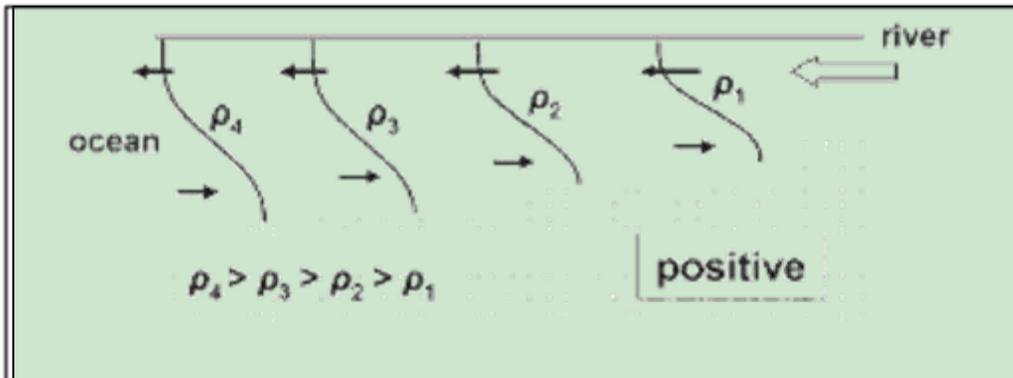
Clasificación de estuarios con base al balance de agua: 3 tipos

3) Flujo de entrada reducido. Presentes en regiones con elevadas tasas de evaporación pero con una influencia pequeña (algunos m³) de descarga de ríos. Durante los periodos secos y calidos se localizan zonas de máxima salinidad (*salt plug*).



3) Flujo de entrada reducido

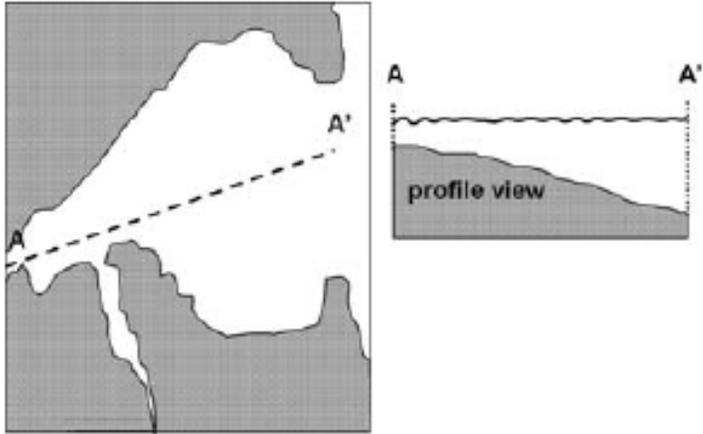




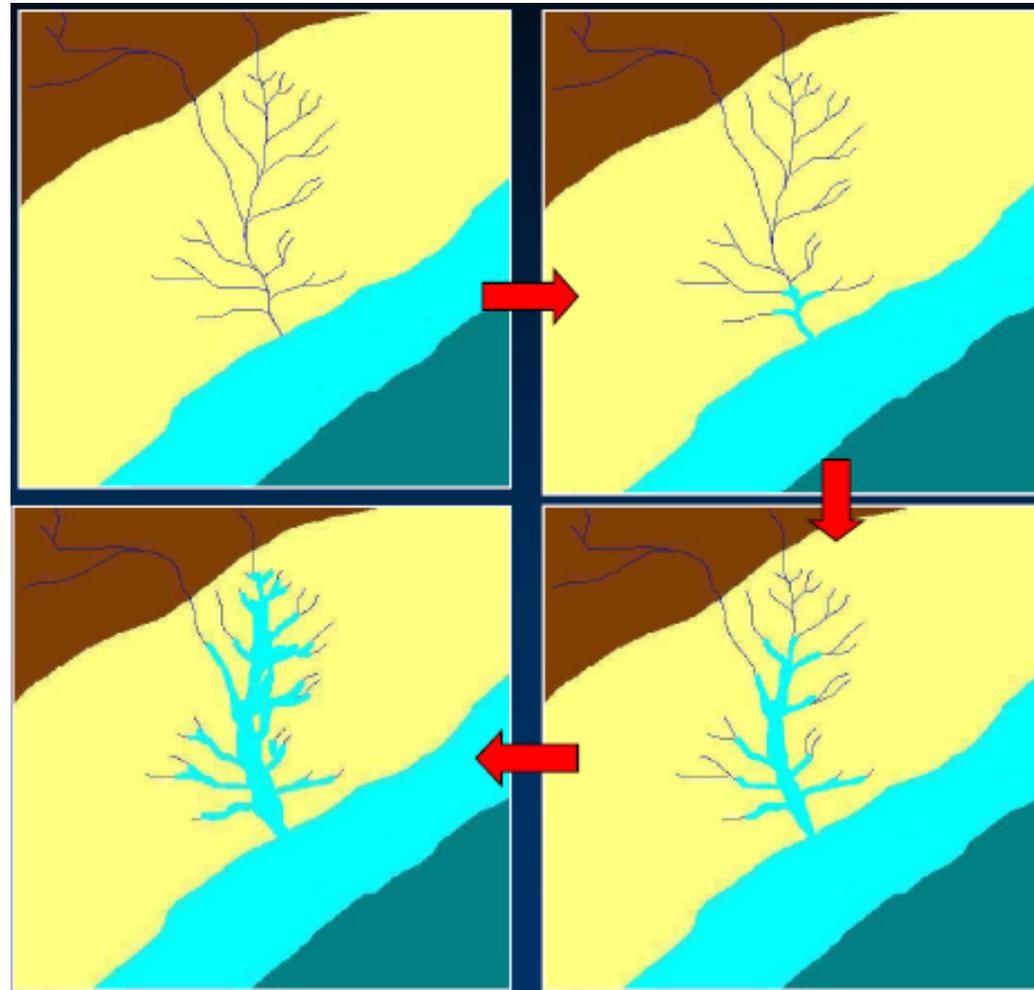
Clasificación de estuarios con base su morfología:

5 tipos

1) Planicie Costera, también conocidos como valles de inundación, son regiones que se formaron debido al aumento en el nivel del mar durante el pleistoceno (aprox. hace 15,000 años). Su forma asemeja a la de los ríos presentes, pero mucho más anchos. Son típicamente anchos (km) y poco profundos (10 m).



1) Planicie Costera, también conocidos como valles de inundación.

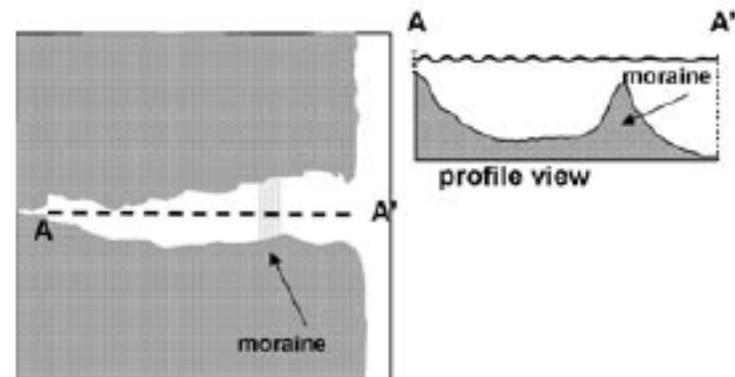


Clasificación de estuarios con base su morfología:

5 tipos

2) Fiordos, asociados a latitudes altas, donde la actividad glaciár es intensa. Se caracterizan por ser canales alargados y profundos, con una acumulación de materiales (moraine; sill) debida a la actividad glaciár activa o extinta. Son profundos y angostos, con paredes pronunciadas.

REGIÓN AÍSEN DEL GENERAL CARLOS IBÁÑEZ DEL CAMPO
DIVISIÓN POLÍTICO ADMINISTRATIVA

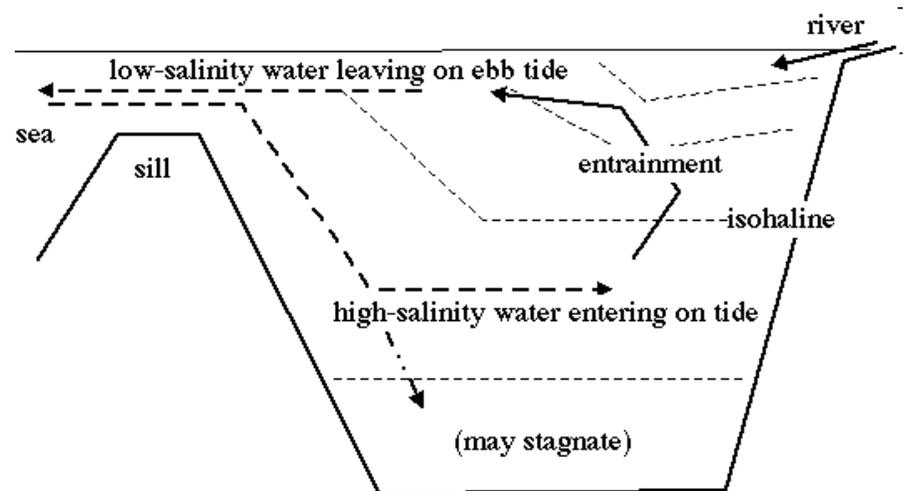


SIMBOLOGÍA

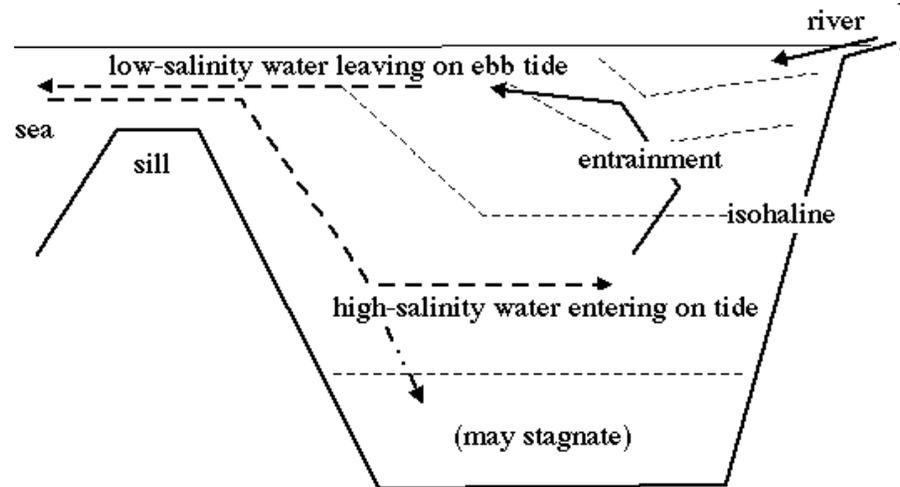
- Capital regional
- Capital provincial
- Capital comunal
- Límite internacional
- - - Límite regional
- Límite provincial
- Límite comunal
- 10 Identifica la comuna

0 50 100 km
ESCALA APROXIMADA 1: 3.100.000

Los fiordos pueden dividirse en dos grupos en función de la actividad glacial: (a) Fiordos ribereños, relacionados a glaciares extintos y en los que la mayor fuente de empuje es el flujo de los ríos.



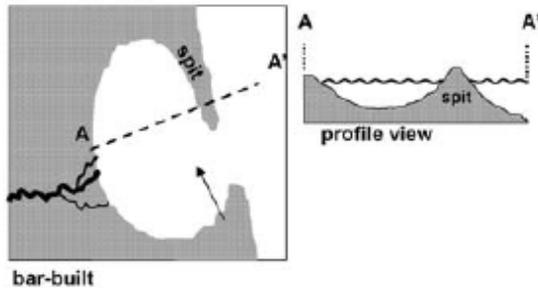
(b) Fiordos glaciales, relacionados a glaciares activos y donde la principal fuente de empuje es el derretimiento del glaciar y nieve de las montañas contiguas.



Clasificación de estuarios con base su morfología:

5 tipos

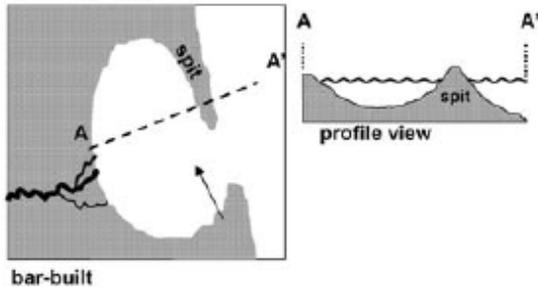
3) Estuarios de barra, originalmente bahías. Su formación se debe a la deriva litoral, que produce la formación de una barra arenosa entre la costa y el océano. Algunas veces, esta barra se une a un extremo continental y forma un encierro, dejando un canal de algunos cientos de metros por donde el estuario se comunica con el mar.



Clasificación de estuarios con base su morfología:

5 tipos

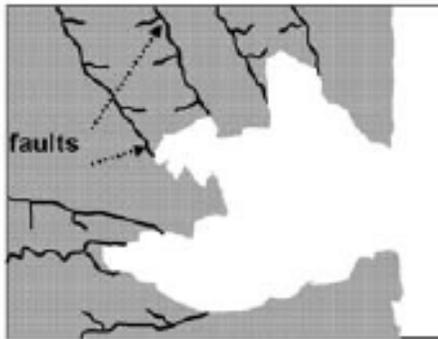
3) Estuarios de barra, originalmente bahías. En algunos otros casos, la barra arenosa se separa de la costa, lo que da la formación de islas y como resultado, dos o varias bocas de comunicación entre el estuario y el océano.



Clasificación de estuarios con base su morfología:

5 tipos

4) Tectónicos. A fracturas de la corteza terrestre o de terremotos se origina un hundimiento del suelo continental adyacente a la línea de costa, lo que genera una cuenca la cual es llenada de agua por el océano.



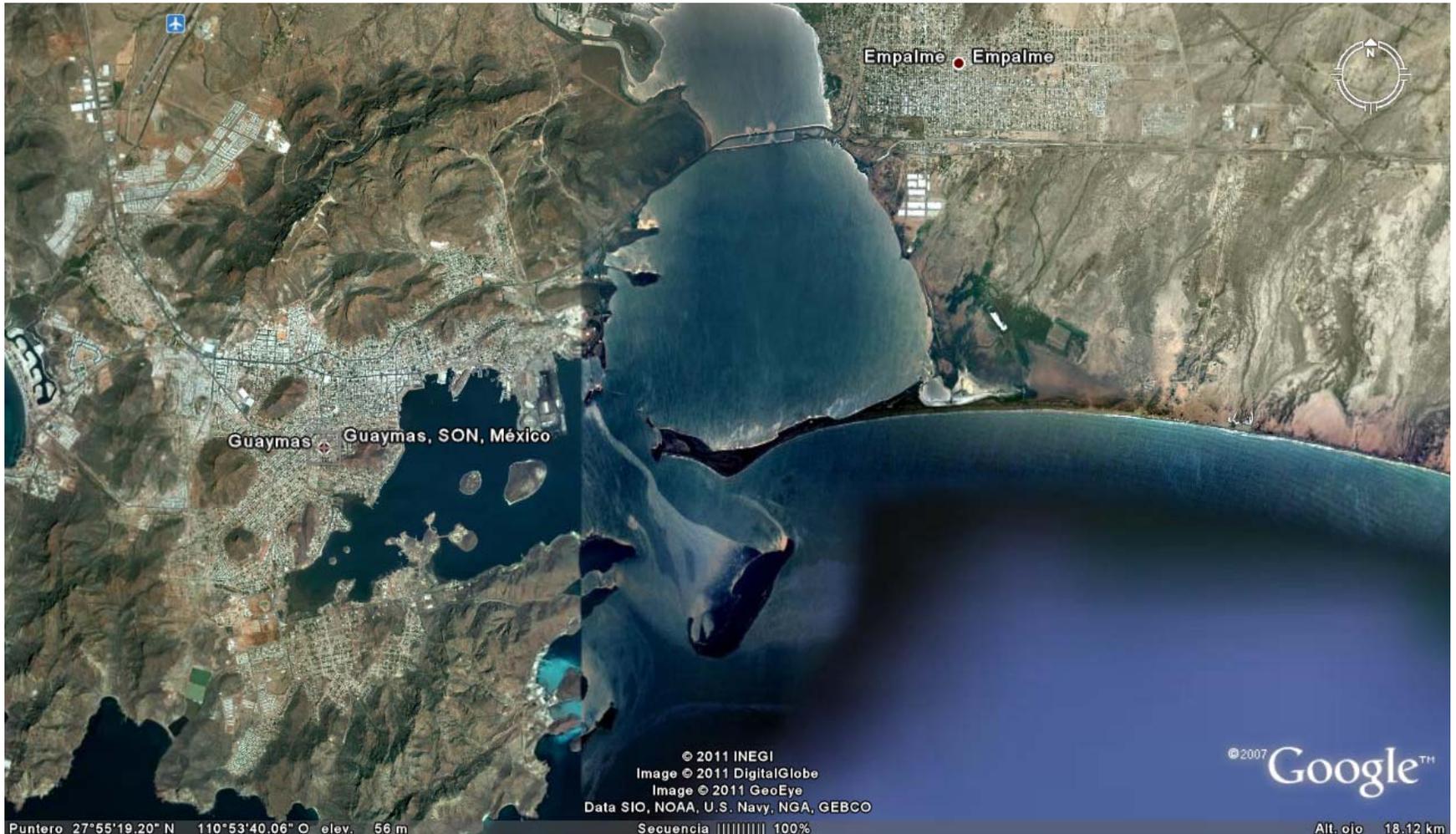
tectonic

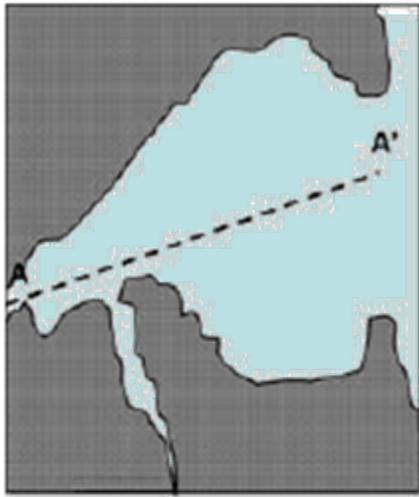


Clasificación de estuarios con base su morfología:

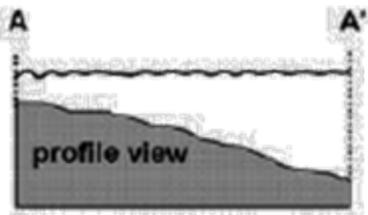
5 tipos

4) Tectónicos. A fracturas de la partir de fracturas de la corteza terrestre o de terremotos se origina un hundimiento del suelo continental adyacente a la línea de costa, lo que genera una cuenca la cual es llenada de agua por el océano.

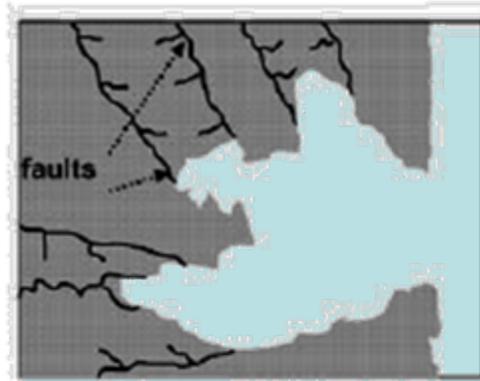




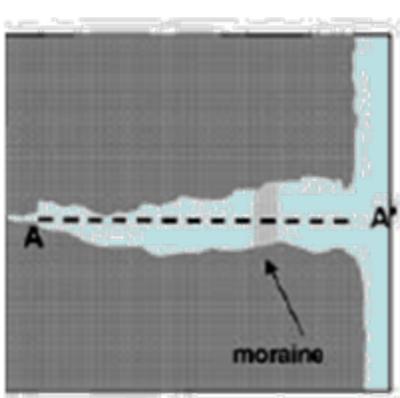
coastal plain



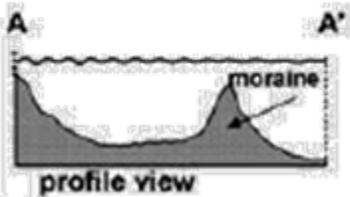
profile view



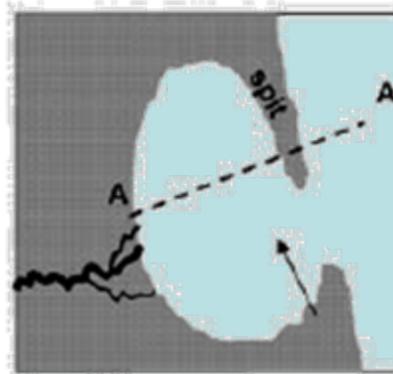
tectonic



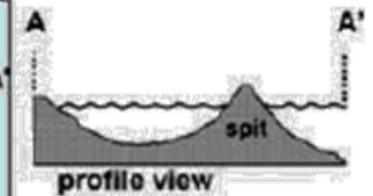
fjord



profile view



bar-built



profile view

Clasificación de estuarios con base su morfología: 5 tipos

5) Deltas. Producidos por la dinámica de los ríos, caracterizándose por la depositación de sedimentos limo-arcillosos arrastrados del continente. Existen tres tipos de estuarios deltaicos.

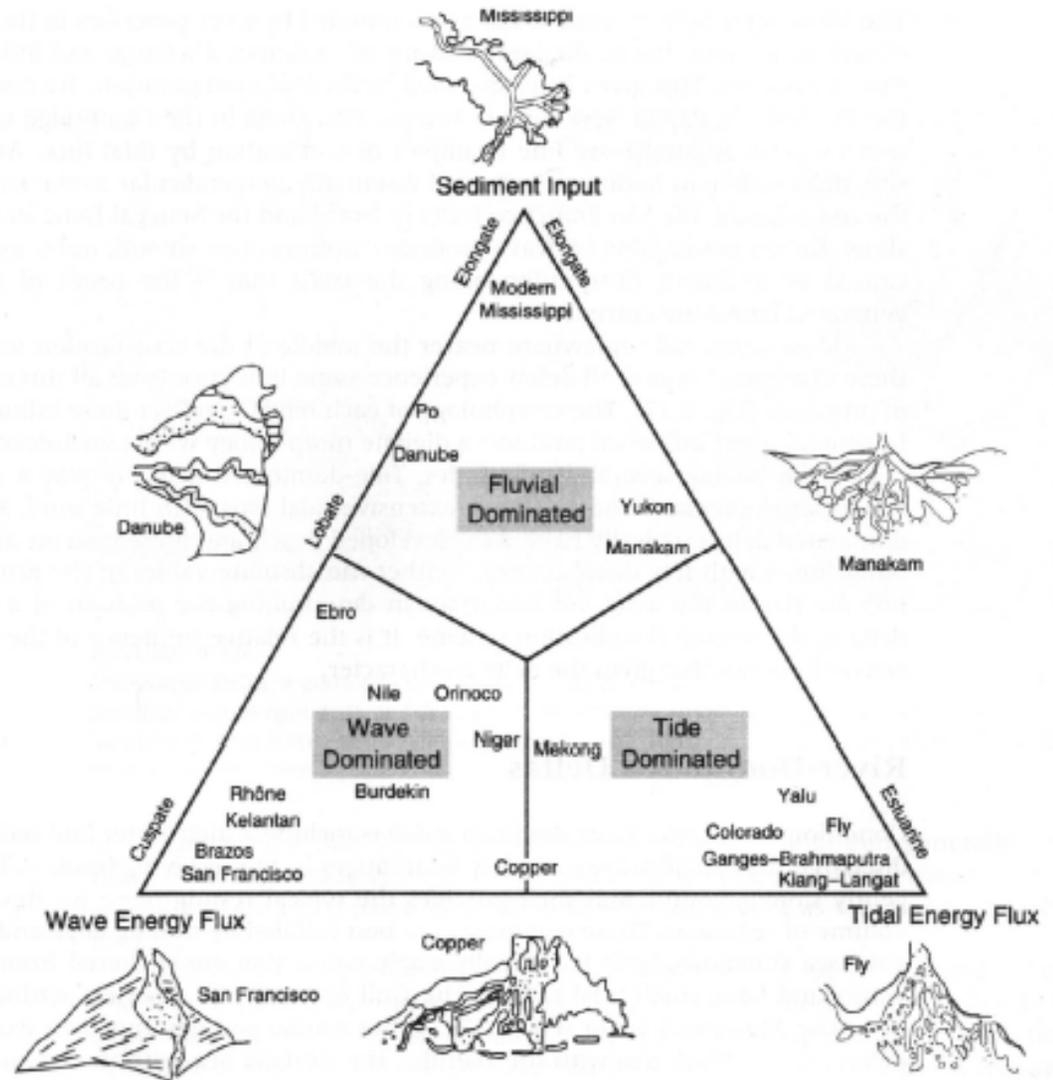


FIGURE 5.16

Classification of river deltas based upon the scheme presented by William Galloway. The many examples included are based on qualitative assessments of the relative influence of river, wave and tide processes. (From Galloway, W. E., 1975. Process framework for describing the morphologic and stratigraphic evolution of deltaic depositional systems. In Broussard, M. L. (ed.) *Deltas: Models of Exploration*, Houston Geological Society, Houston, Texas, p. 92, Fig. 3)

Clasificación de estuarios con base su morfología:
5 tipos

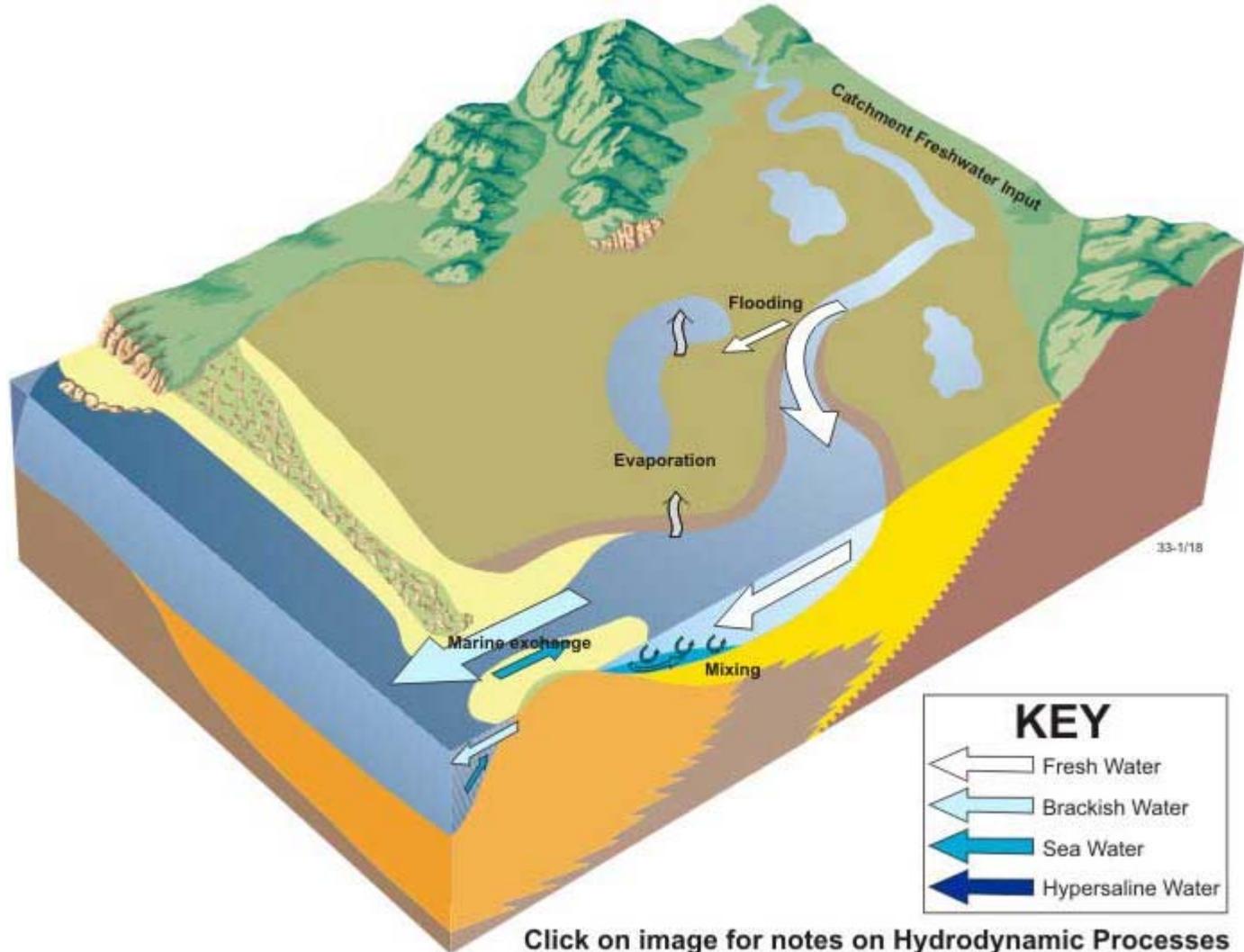
5) (a) Deltas dominados por el arrastre fluvial



Clasificación de estuarios con base su morfología:

5 tipos

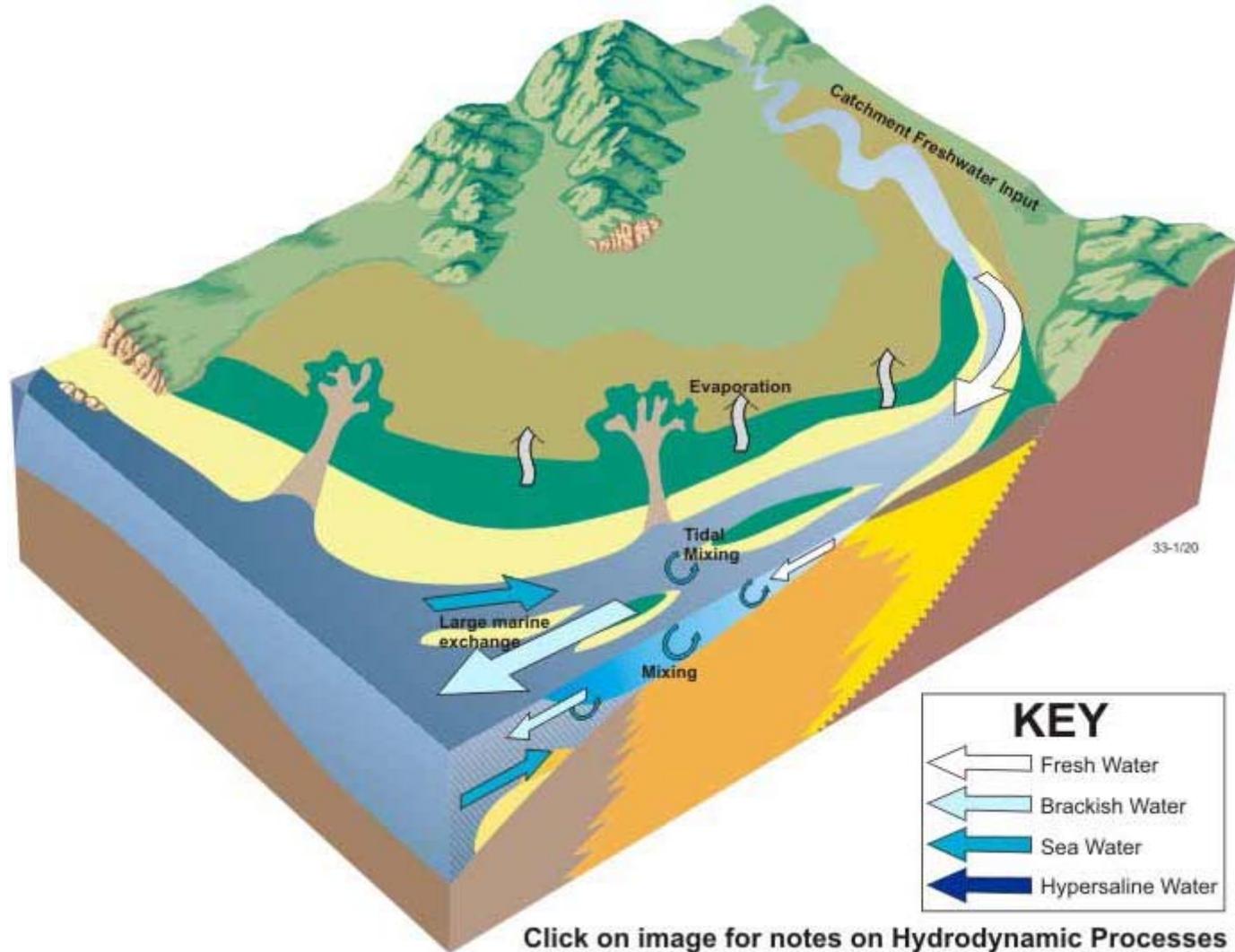
5) (a) Deltas dominados por el oleaje



Clasificación de estuarios con base su morfología:

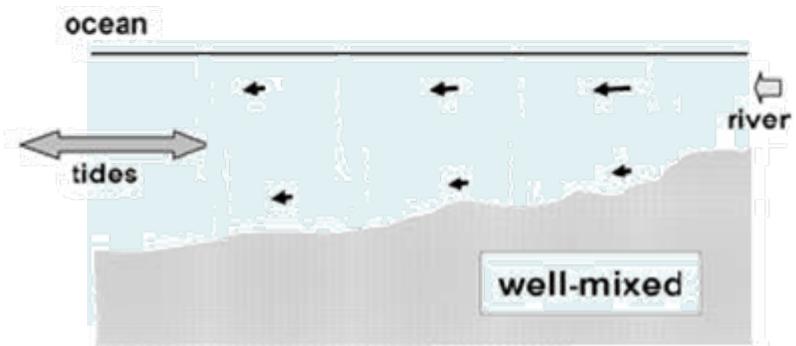
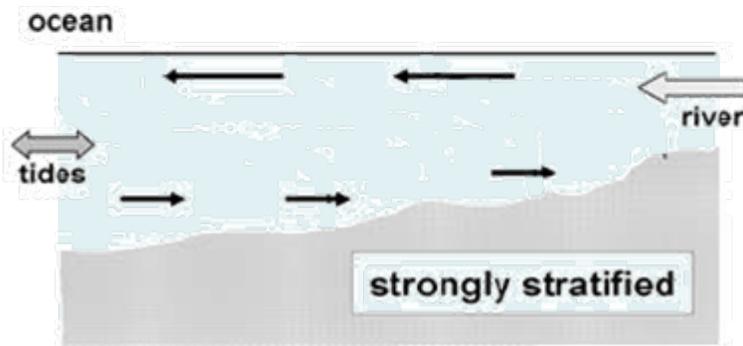
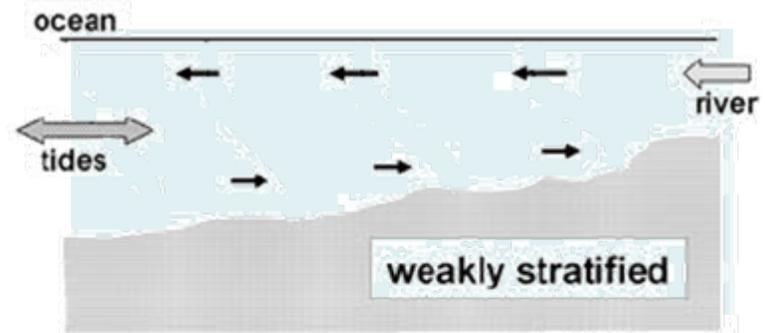
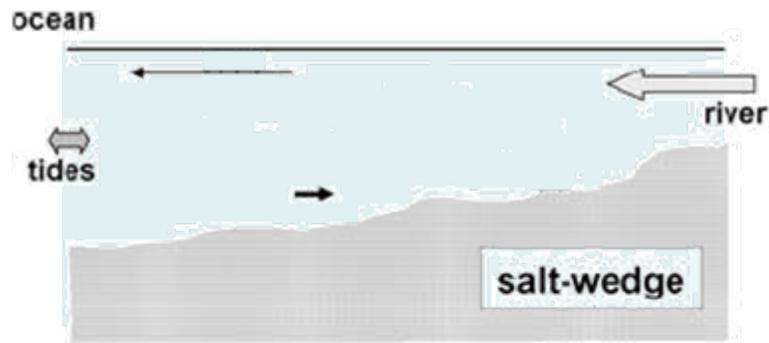
5 tipos

5) (a) Deltas dominados por la marea



Clasificación de estuarios de acuerdo a la estructura vertical de la salinidad.

De acuerdo a la estratificación de la columna de agua producida por la salinidad, se reconocen cuatro tipos principales de estuarios: cuñas salinas, estuarios con estratificación fuerte, estuarios con estratificación débil y estuarios mezclados verticalmente.



Esta clasificación considera la competencia entre la fuerza de flotabilidad entre el agua descargada por los ríos y la mezcla inducida por la fuerza de las mareas.

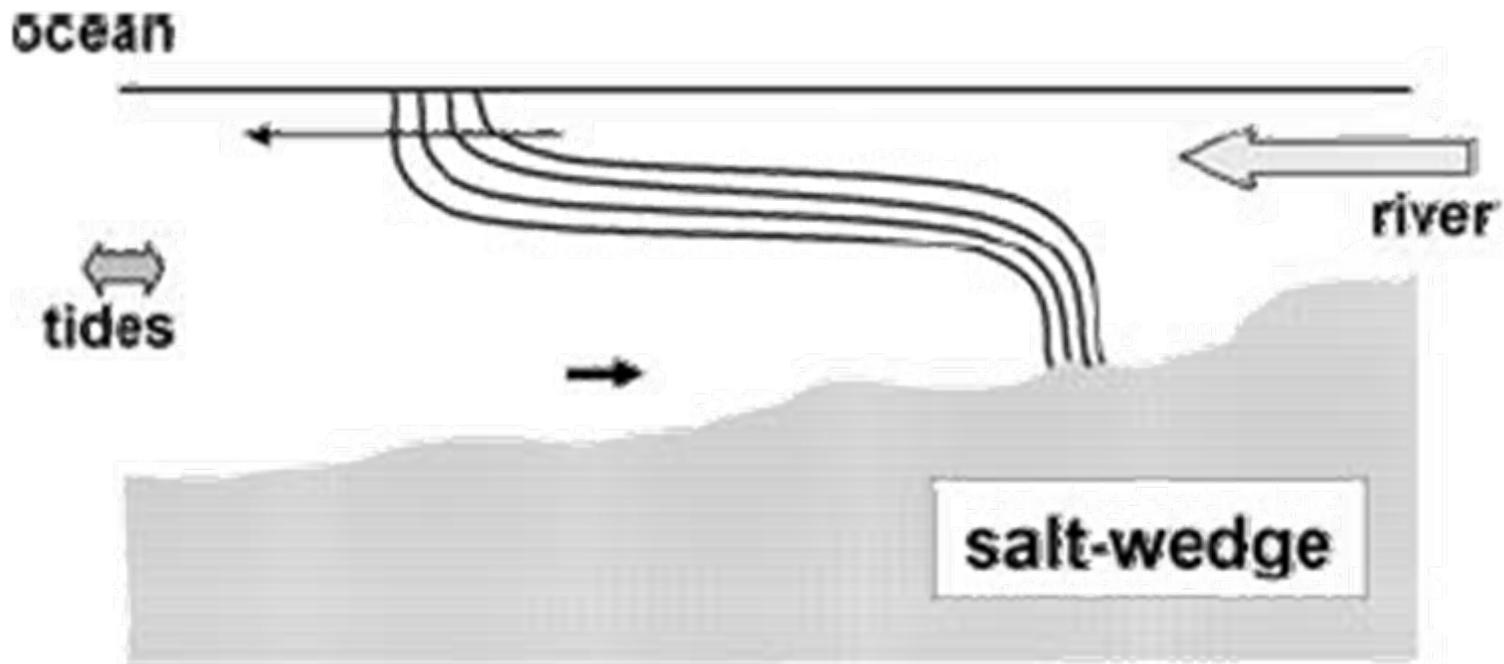
El prisma mareal.

El proceso de mezcla producido por la fuerza mareal es proporcional al volumen de agua oceánica que penetra a un estuario durante un ciclo mareal. Este fenómeno es conocido como prisma mareal.

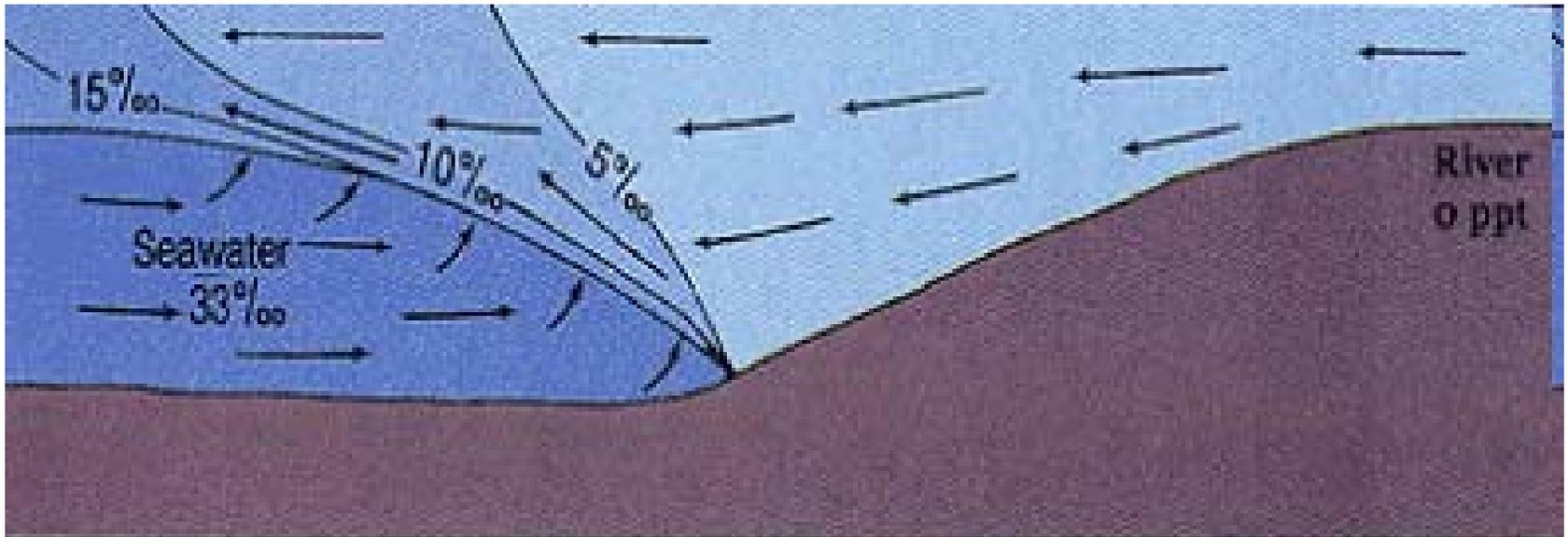


Clasificación de estuarios de acuerdo a la estructura vertical de la salinidad.

1) Cuñas salinas. Sistemas asociados a descargas de ríos importantes y una fuerza de marea débil. Durante las inundaciones mareales, el agua marina penetra al estuario en forma de cuña y produce una estratificación alta.

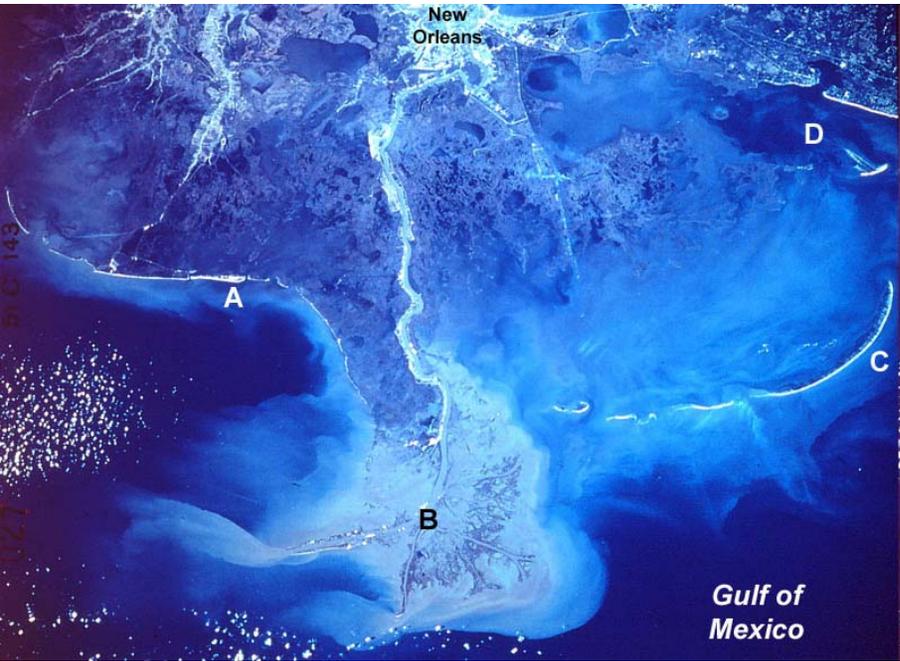


1) Cuñas salinas.

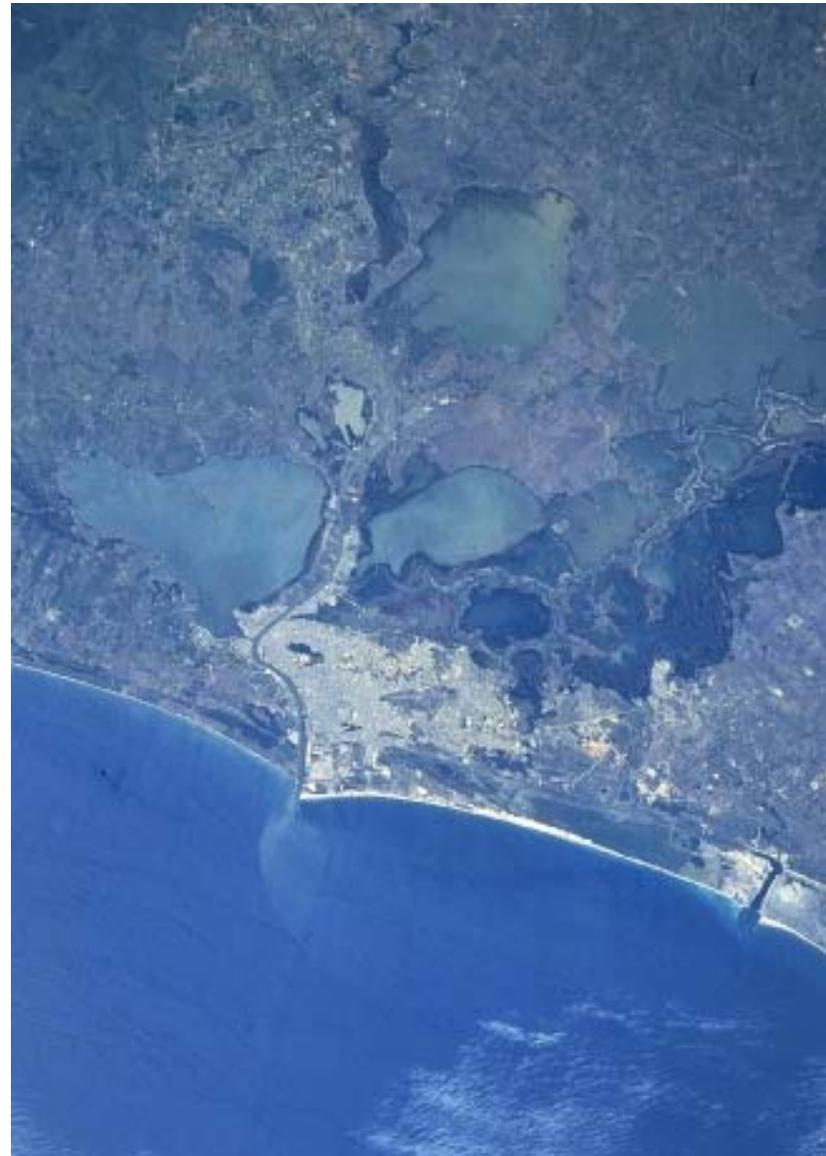


Durante periodos de sequía, estos sistemas pierden la forma de cuña. Por otra parte, los perfiles de salinidad típicos producen una picnoclína (haloclina) muy afilada donde el flujo dominante es el flujo de salida en las zona superior. Este tipo de flujo es el resultado de una mezcla relativamente débil entre las dos masas de agua.

1) Cuñas salinas.

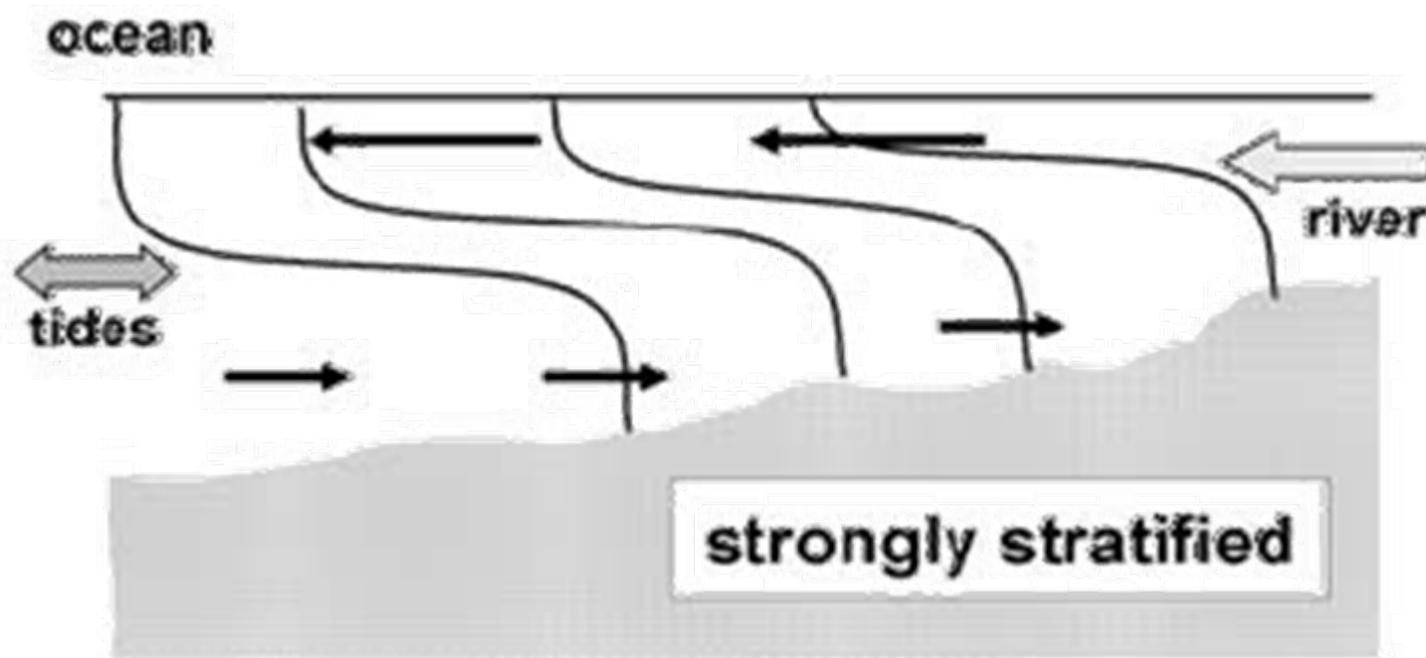


1) Cuñas salinas

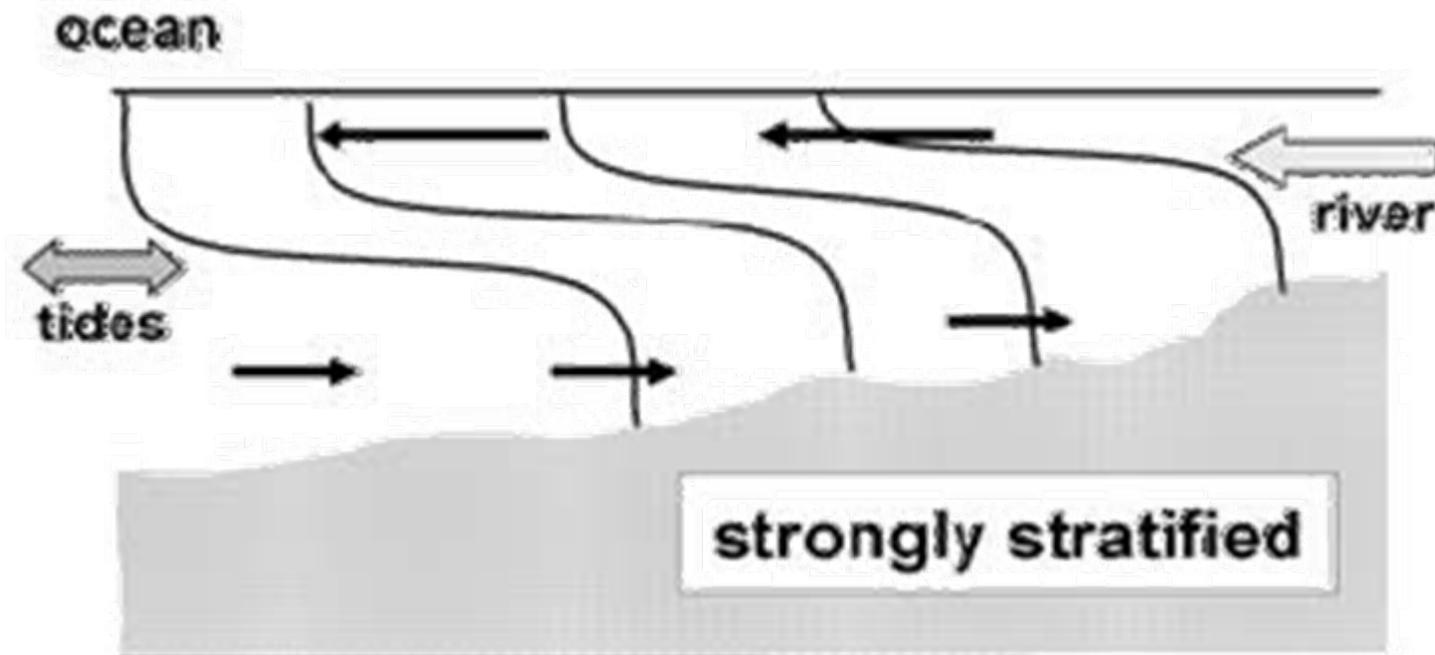


Clasificación de estuarios de acuerdo a la estructura vertical de la salinidad.

2) Estuarios altamente estratificados. Caracterizados por descargas de ríos de moderadas a grandes, y con una fuerza mareal de débil a moderada. Poseen una estratificación similar a las cuñas de sal, con la diferencia que en estos la estratificación se mantiene con mayor fuerza a lo largo del ciclo mareal.

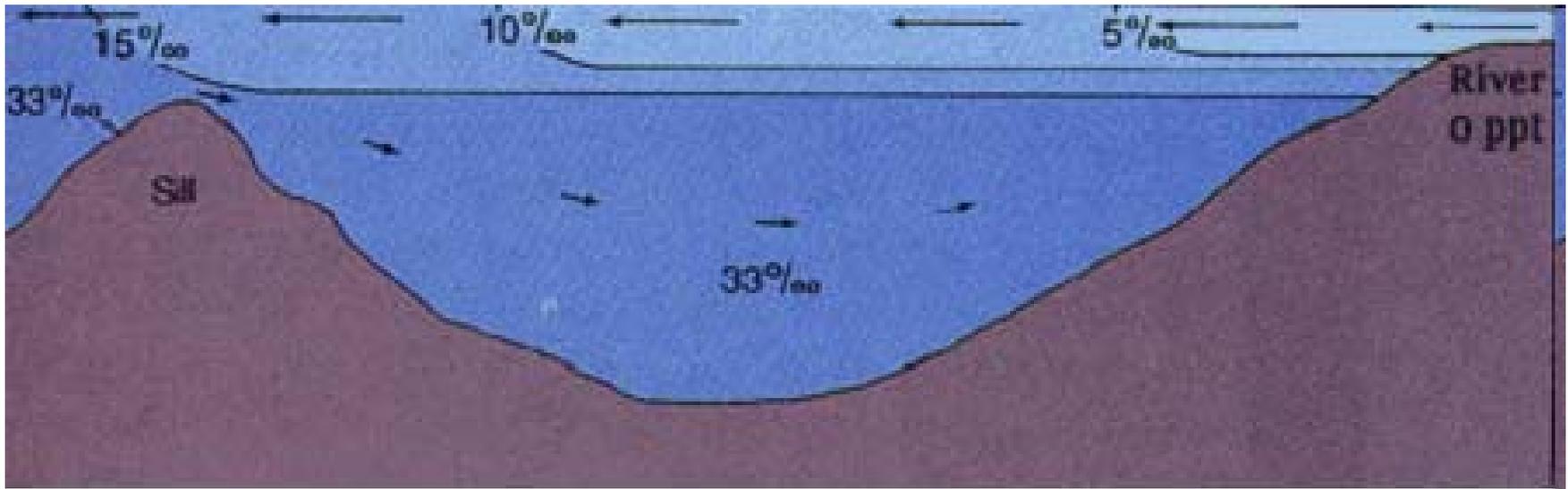


2) Estuarios altamente estratificados.



2) Los perfiles mareales de salinidad presentan una pycnoclina bien definida con débiles variaciones verticales por arriba y por debajo de esta misma. El flujo medio presenta un flujo de entrada y relativa constante, y se presenta un gradiente horizontal de densidad, así como una mezcla muy débiles.

2) Estuarios altamente estratificados.



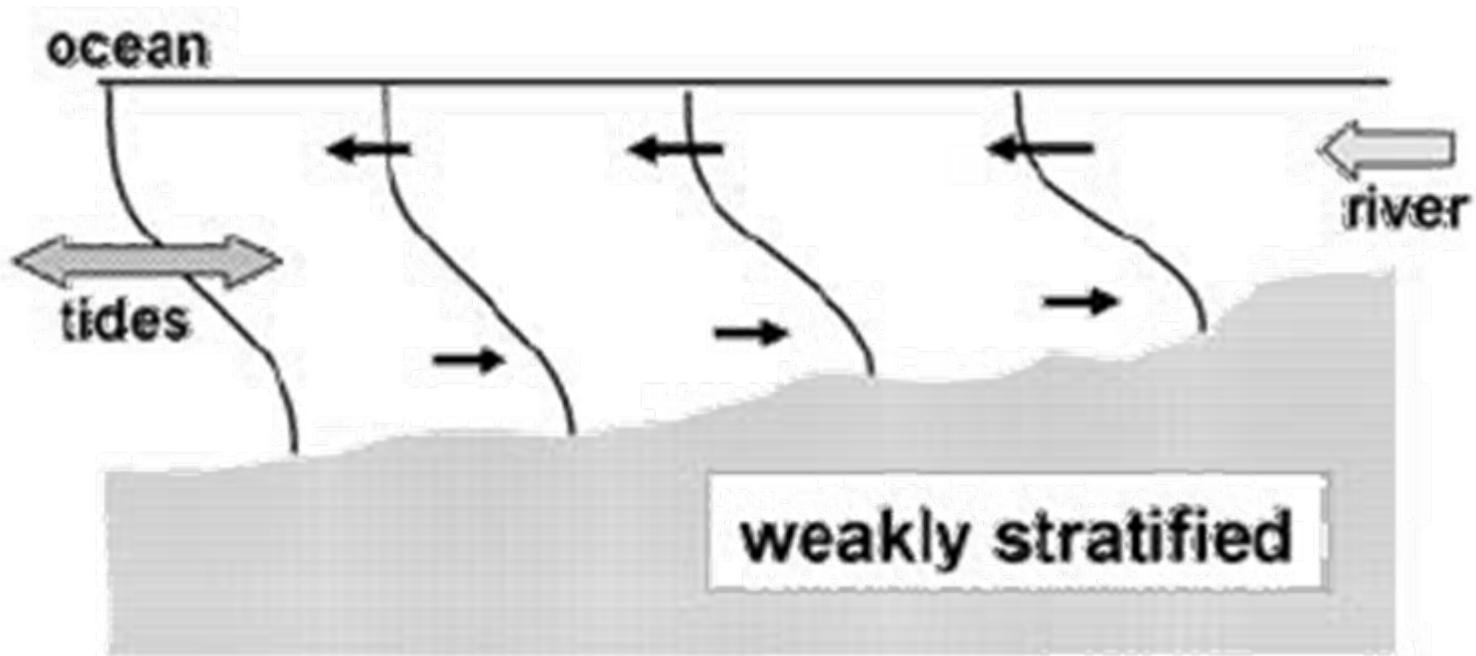
En los fiordos se presenta una fuerte estratificación, pero se crea un fondo falso a partir de la profundidad de la morrena.

2) Estuarios altamente estratificados.

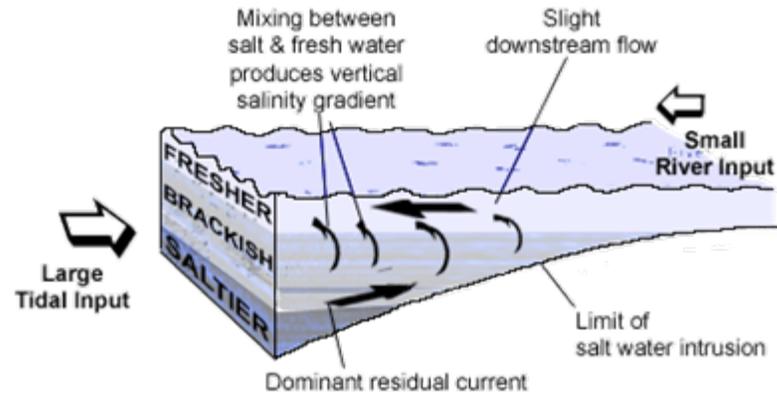


Clasificación de estuarios de acuerdo a la estructura vertical de la salinidad.

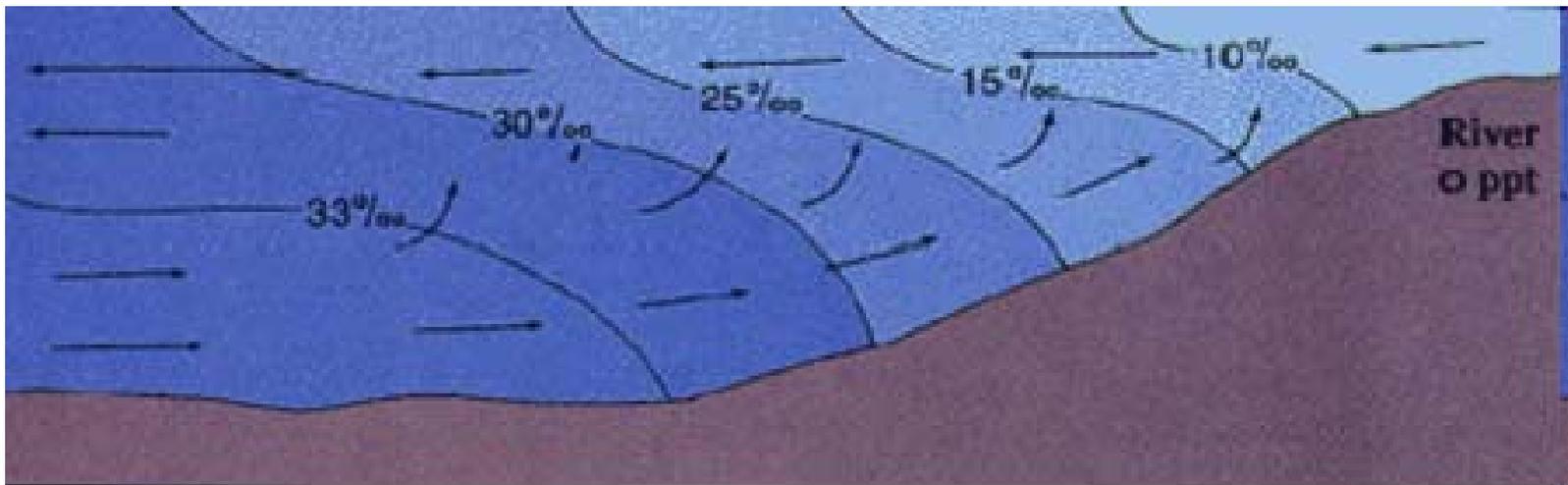
3) Estuarios débilmente estratificados o parcialmente mezclados. Son el resultado de fuerzas de marea moderadas o fuertes y de una descarga de ríos de moderada a débil. El perfil promedio de salinidad en estos estuarios muestra una pycnoclina muy sutil o una estratificación continua desde la superficie y hacia el fondo.



3) Estuarios débilmente estratificados o parcialmente mezclados.



3) El flujo promedio de recambio en este tipo de estuarios es mas vigoroso (comparado con los otros tipos de estuarios) debido a que se da una mezcla mas rápida entre los tipos de agua.

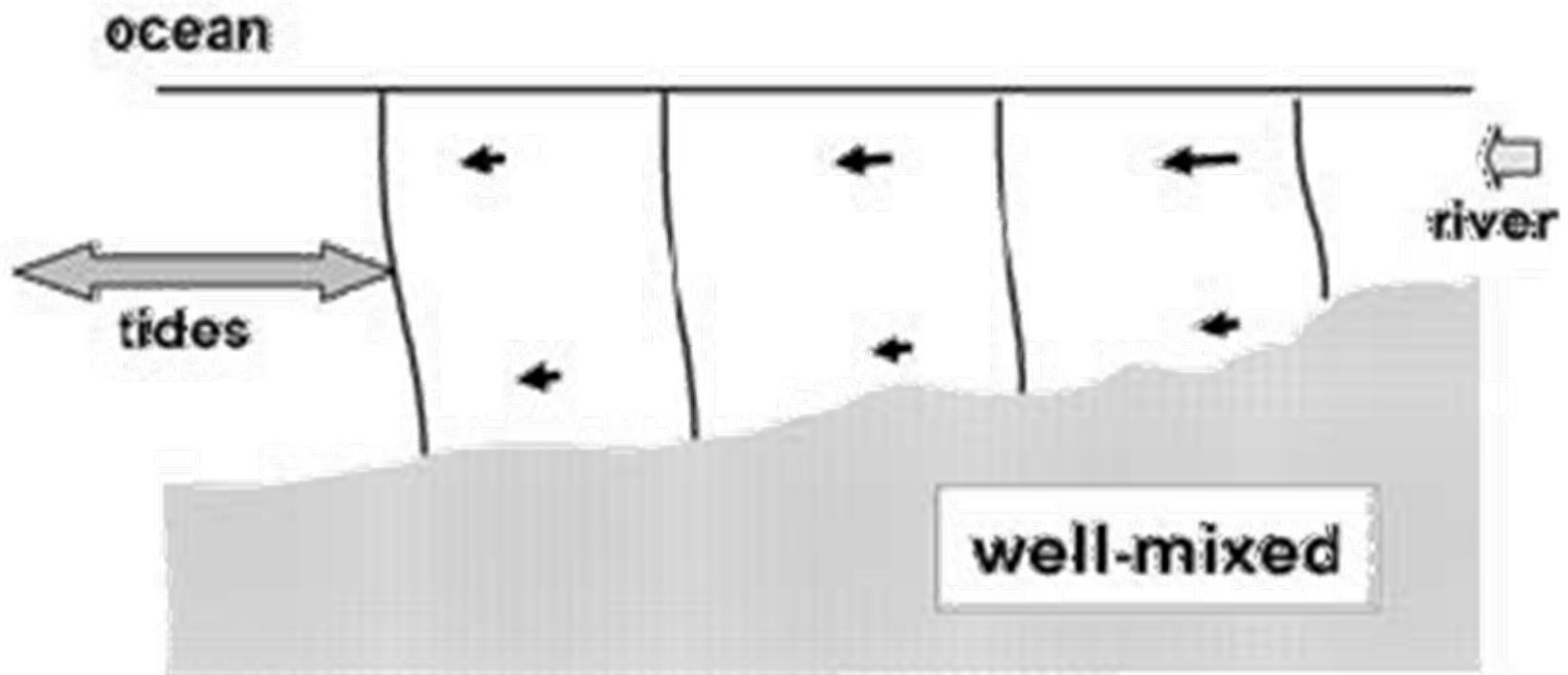


3) Estuarios débilmente estratificados o parcialmente mezclados.

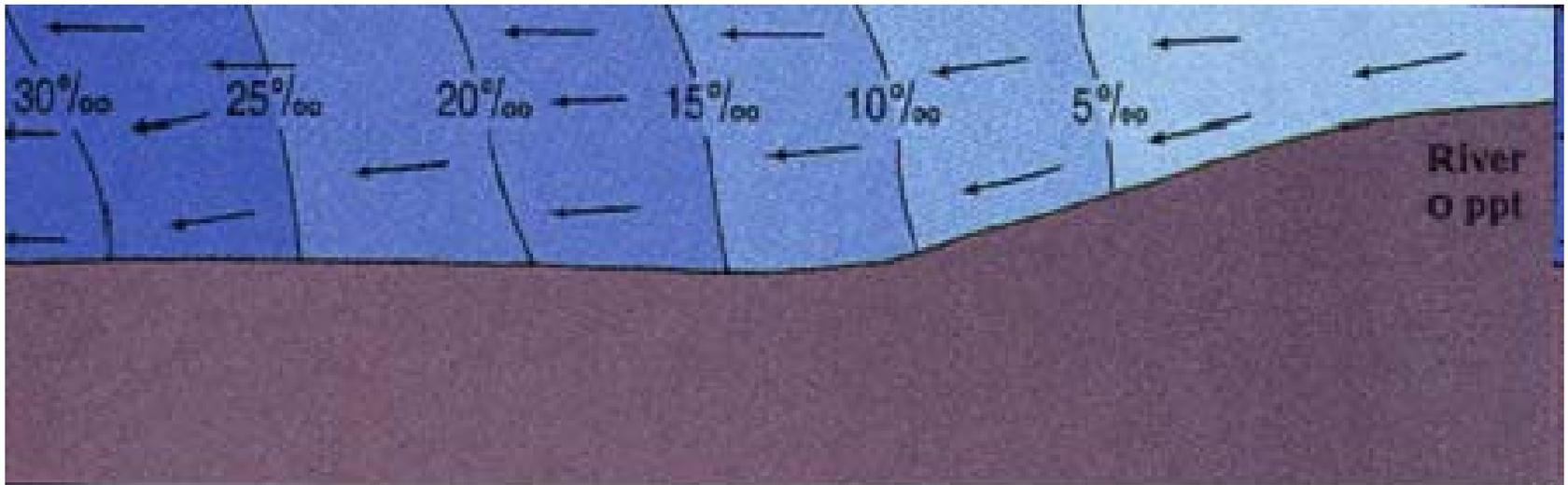


Clasificación de estuarios de acuerdo a la estructura vertical de la salinidad.

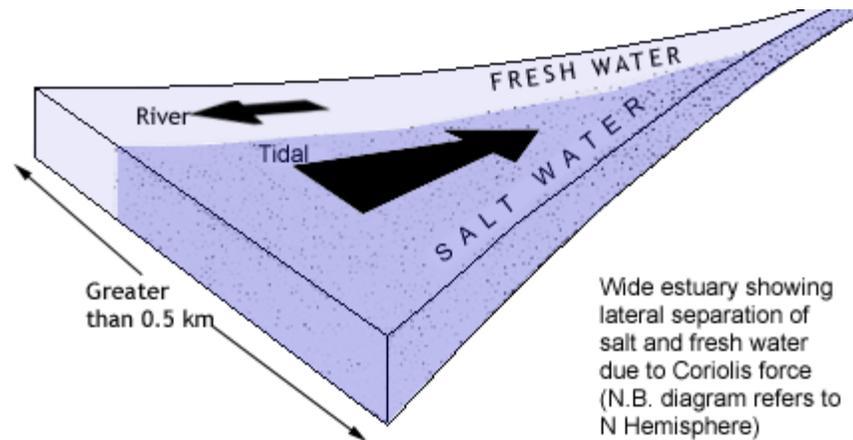
4) Estuarios verticalmente mezclados. Son el resultado de una fuerza de marea fuerte y una descarga débil de ríos. El perfil promedio de salinidad en los estuarios mezclados es prácticamente uniforme y los flujos principales son unidireccionales con la profundidad.



4) Estuarios verticalmente mezclados.



En estuarios anchos y poco profundos el flujo de salida puede correr paralelo al flujo mareal, particularmente durante periodos secos. Mientras que en los estuarios angostos el flujo de agua de mar solo puede penetrar al estuario durante la marea de inundación.



Clasificación de estuarios de acuerdo a la hidrodinámica

Hanssen & Rattray (1966) propusieron una clasificación con base a la hidrodinámica estuarina. El mayor peso de la clasificación recae en dos parámetros no dimensionales:

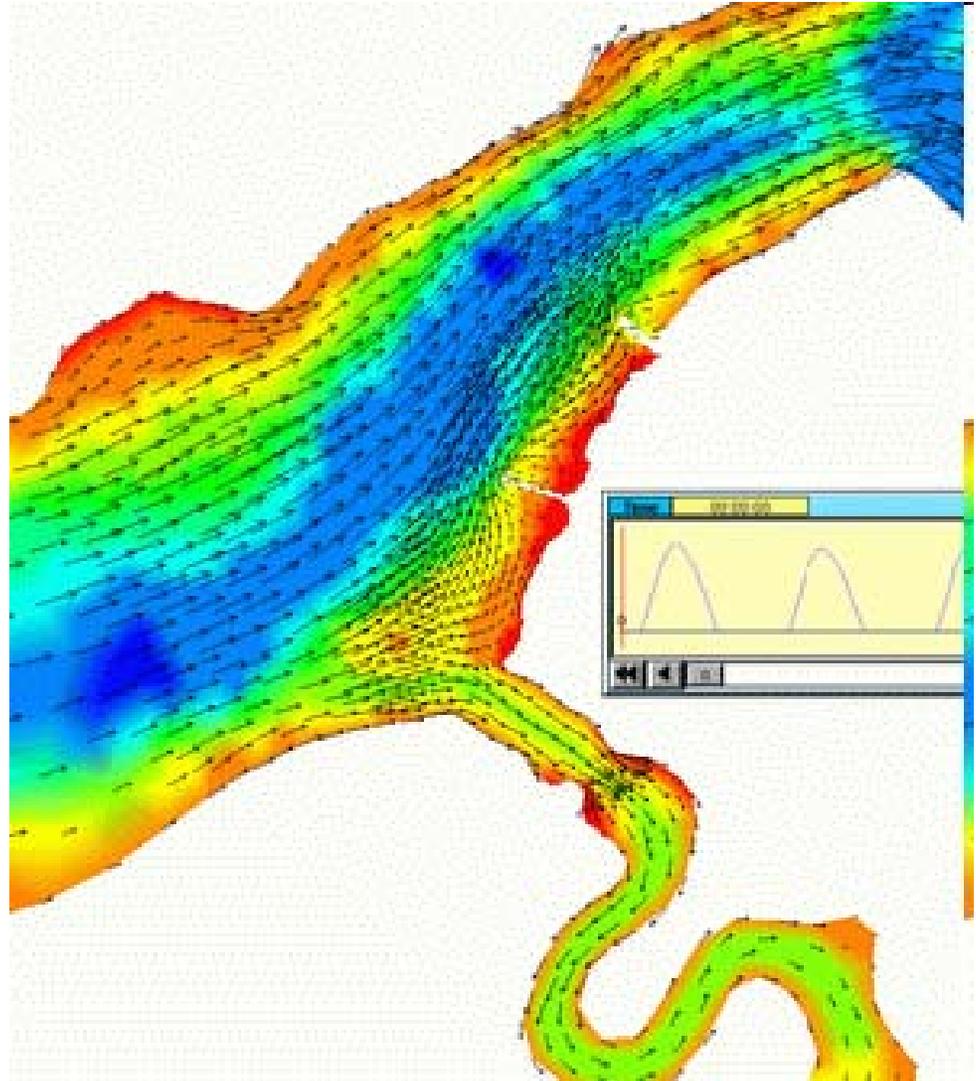
- (a) El parámetro de circulación
- (b) El parámetro de estratificación



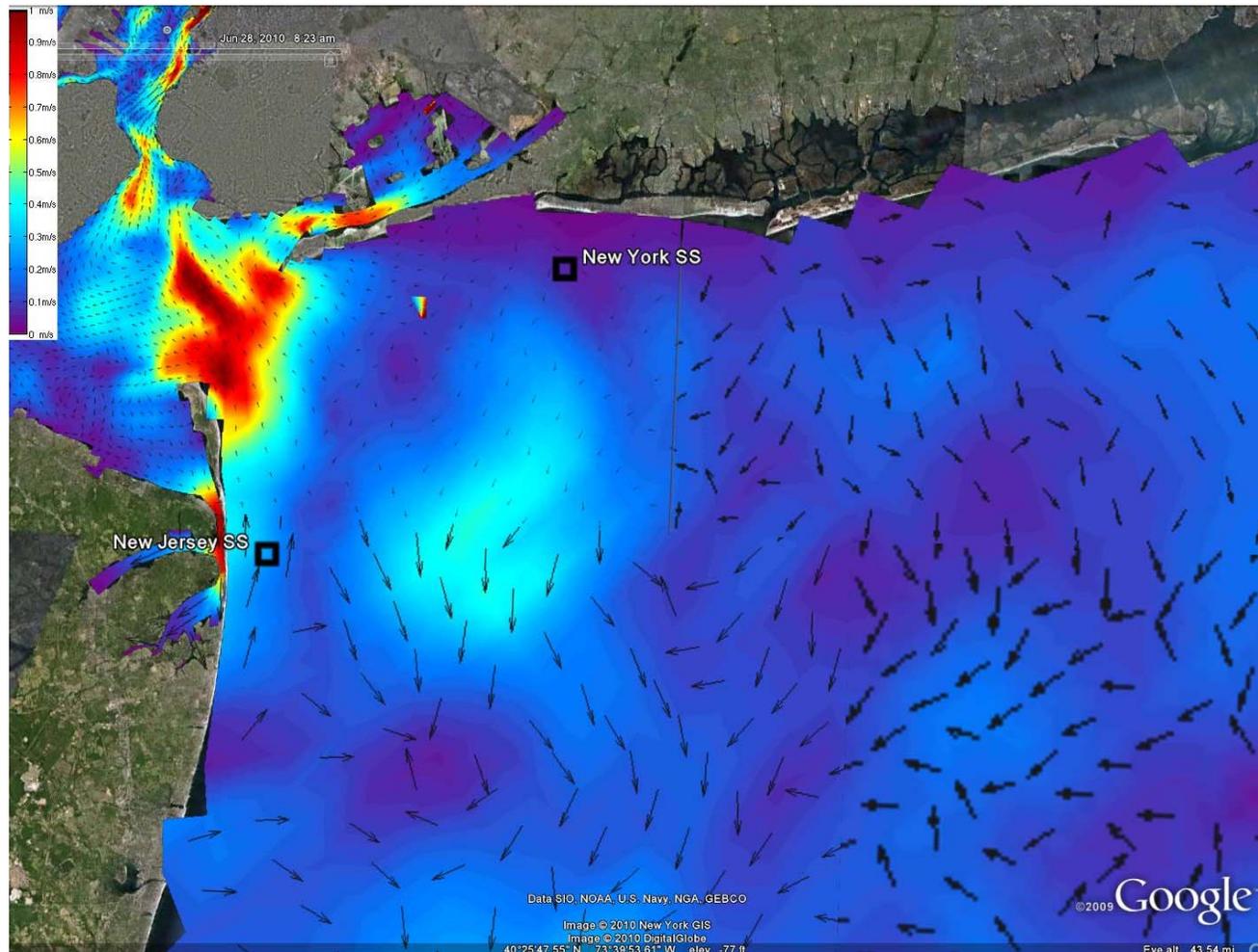
Clasificación de estuarios de acuerdo a la hidrodinámica

(a) El parámetro de circulación

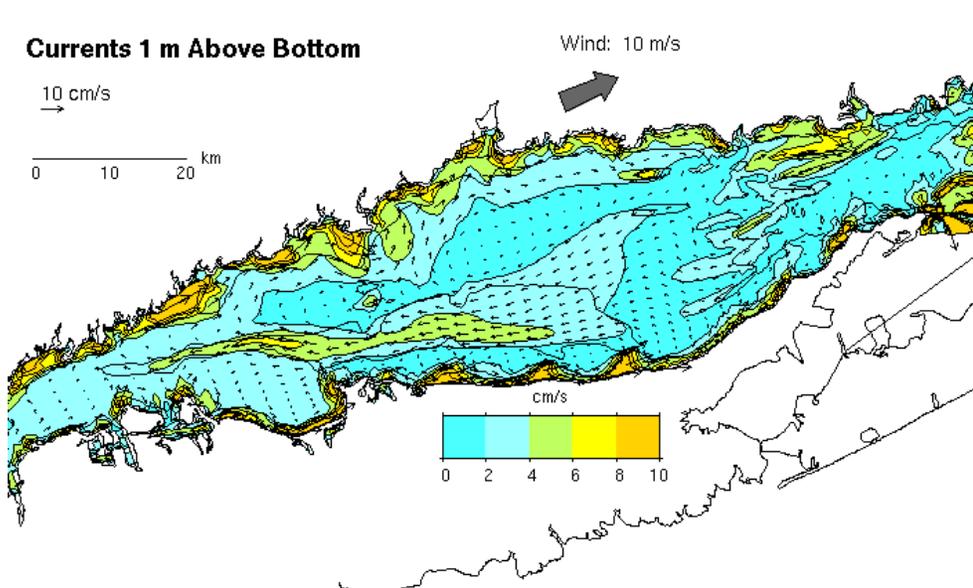
Es el radio entre la velocidad de flujo superficial (u_s) y el flujo promedio seccionado (U_f). El flujo superficial esta típicamente asociado a la descarga del río (en el orden de 0.1 m/s)



En estuarios donde el intercambio de agua es intenso, debido a que el flujo mareal y de continental es similar, el flujo promedio de profundidad es típicamente muy pequeño, con tendencia a cero,

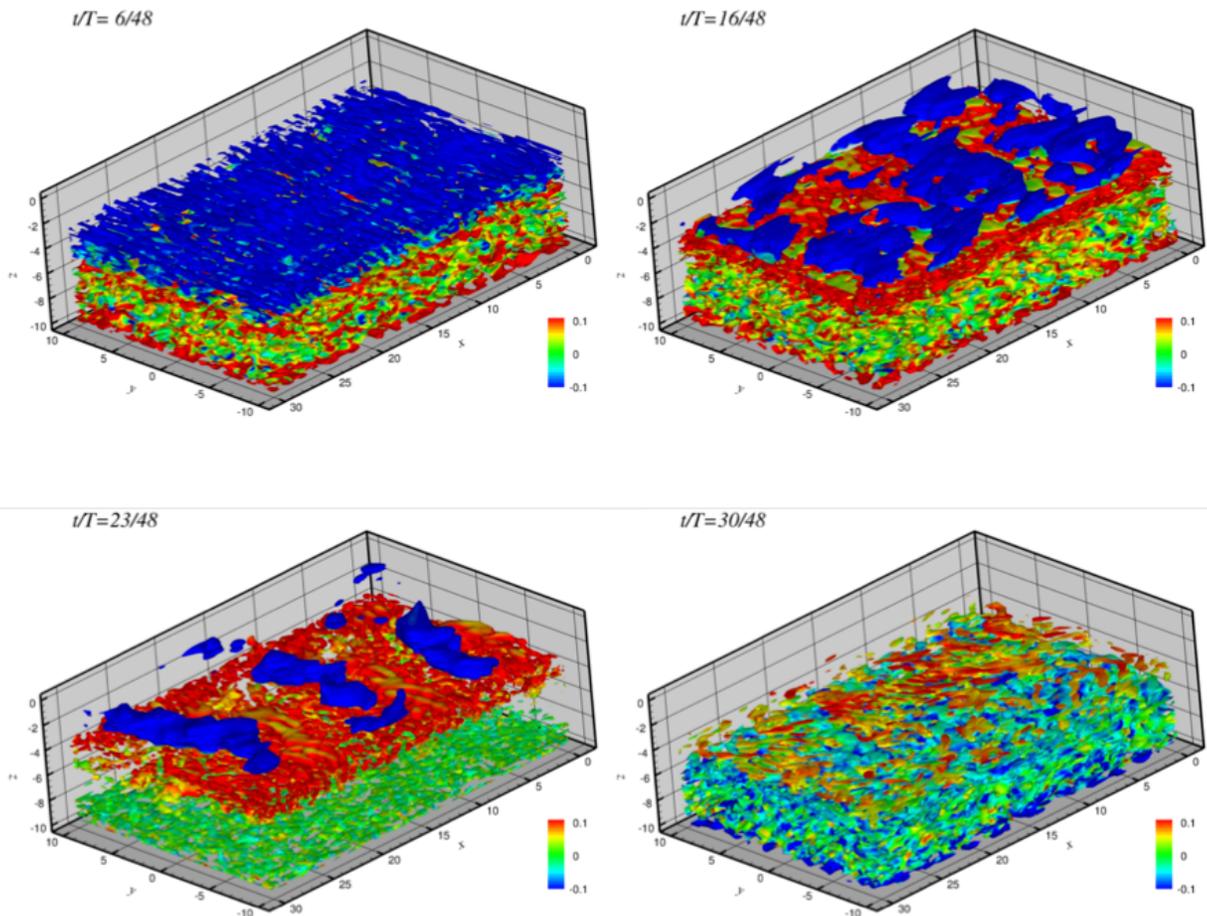


En estuarios con un flujo de entrada débil, tales como estuarios mezclados o cuñas de sal, el flujo promedio de profundidad sería similar al flujo de salida superficial. Por lo tanto el parámetro de circulación es mayor a 10 en estuarios con una circulación gravitacional vigorosa y cercano a 1 en estuarios con un flujo neto de salida unidireccional.

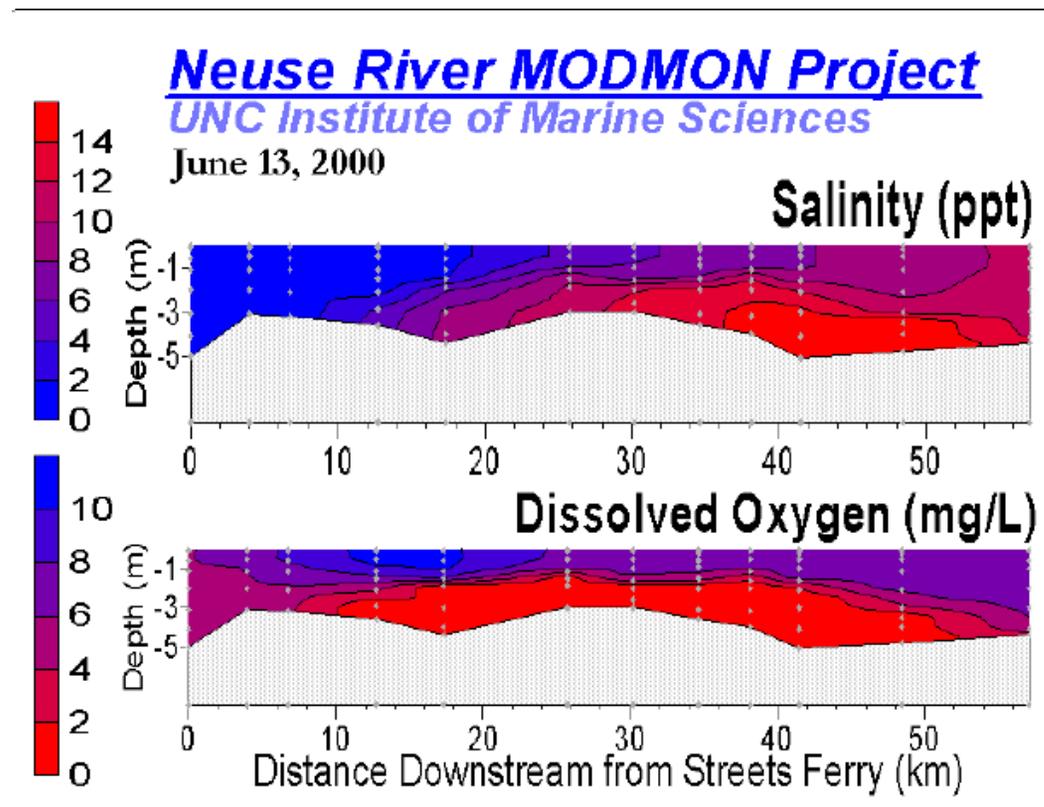


(b) El parámetro de estratificación

Es el ratio entre las diferencias de salinidad δS superficial-al-fondo y la salinidad media de una sección transversal del estuario S_0 . Un ratio de 1 indica que la estratificación de la salinidad (o la diferencia entre la superficie y el fondo) es tan grande como la salinidad media seccional.



Por ejemplo: si un estuario presenta una salinidad media seccional de 20, para poder obtener un parámetro de estratificación de 1, deberá poseer una estratificación muy marcada (en el orden de 20).



En general, los estuarios poseen parámetros de estratificación menores a 1, mientras mas débil sea la estratificación de la columna de agua, menor será el parámetro de estratificación.

Los dos parámetros descritos anteriormente pueden ser utilizados para caracterizar el transporte de las sales en los estuarios. La contribución por la porción difusiva (vs la porción advectiva) del flujo total de sales en un estuario se denomina v . Este parámetro v oscila de 0 a 1.

El transporte de sal en el estuario esta dominado por la advección (p ej circulación gravitacional).

El transporte de sal en el estuario esta dominado por procesos difusivos (p ej mezcla por mareas)

0

1

v

Los procesos de mezcla son débiles (p ej fiordos)

Los procesos de mezcla son fuertes

Los conceptos anteriores son la base para la clasificación hidrodinámica, la cual separa a los estuarios en 4 grandes grupos.

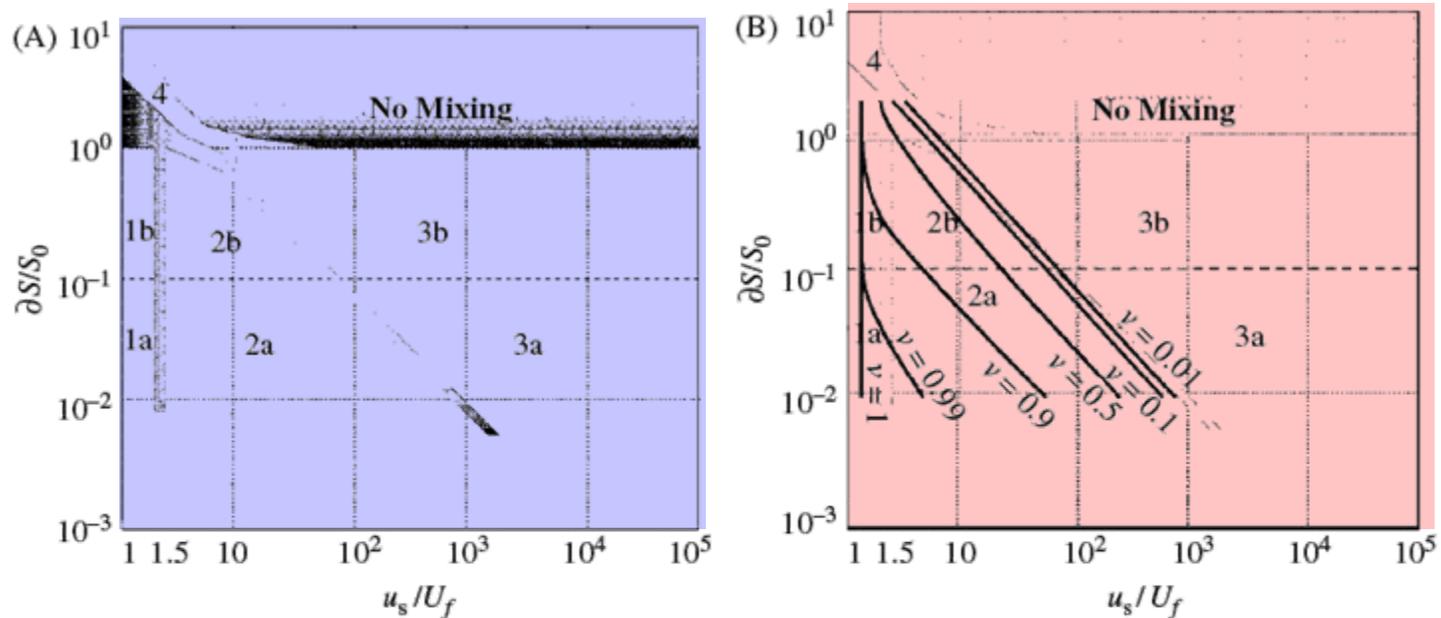


Figure 1.5. Classification of estuaries according to hydrodynamics, in terms of the circulation and stratification parameters (redrawn from Hansen and Rattray, 1966). (A) Type 1 estuaries show no vertical structure in net flows; in type 2 estuaries, the net flows reverse with depth; type 3 estuaries exhibit strong gravitational circulation; and type 4 estuaries are salt wedge. (B) Includes lines of diffusive salt flux showing the dominance of advective salt flux for type 3 estuaries and diffusive flux for type 1.

Estuarios Tipo 1: Estuarios con buena mezcla, con flujos salina netos unidireccionales, con flujos marinos sin estructura vertical. En este tipo de estuarios el transporte de sales esta dominada por procesos de difusión

Estuarios Tipo 1a: Con una fuerza mareal importante y una descarga continental débil.

Estuarios Tipo 1b: con flujo marino independiente de la profundidad y una descarga de ríos mayor que la fuerza mareal y con una estratificación marcada.

Estuarios Tipo 2: Es el tipo común de los estuarios de zonas templadas, en los cuales el flujo se invierte en la profundidad. Presentan una circulación gravitacional bien desarrollada, así como contribuciones por procesos de advección y difusión de sales.

Estuarios Tipo 2a: bien mezclados o débilmente estratificados.

Estuarios Tipo 2b: Fuertemente estratificados.

Estuarios Tipo 3: Están asociados a fiordos, donde la circulación gravitacional esta bien definida: un flujo de salida fuerte y flujos promedio de profundidad muy débiles, típico de cuencas profundas. En estos sistemas, el transporte de sales es exclusivamente advectivo.

Estuarios Tipo 3a: moderadamente estratificados.

Estuarios Tipo 3b: Fuertemente estratificados.

Estuarios Tipo 4: Presentan flujo marino con una estructuración vertical débil y una condición elevada de estratificación. En este tipo de estuarios, el transporte de sales se da por procesos advectivos y de difusión.

Clasificación de las formas estuarinas costeras de Kjerfve (1994)

Estuarios: una sección de la plataforma continental o del valle de un río, que el océano inundó durante el Holoceno por el aumento del nivel del mar, y que contiene agua marina en constante dilución con agua continental, afectada por las mareas y usualmente con una profundidad menor a los 20 m.



Clasificación de las formas estuarinas costeras de Kjerfve (1994)

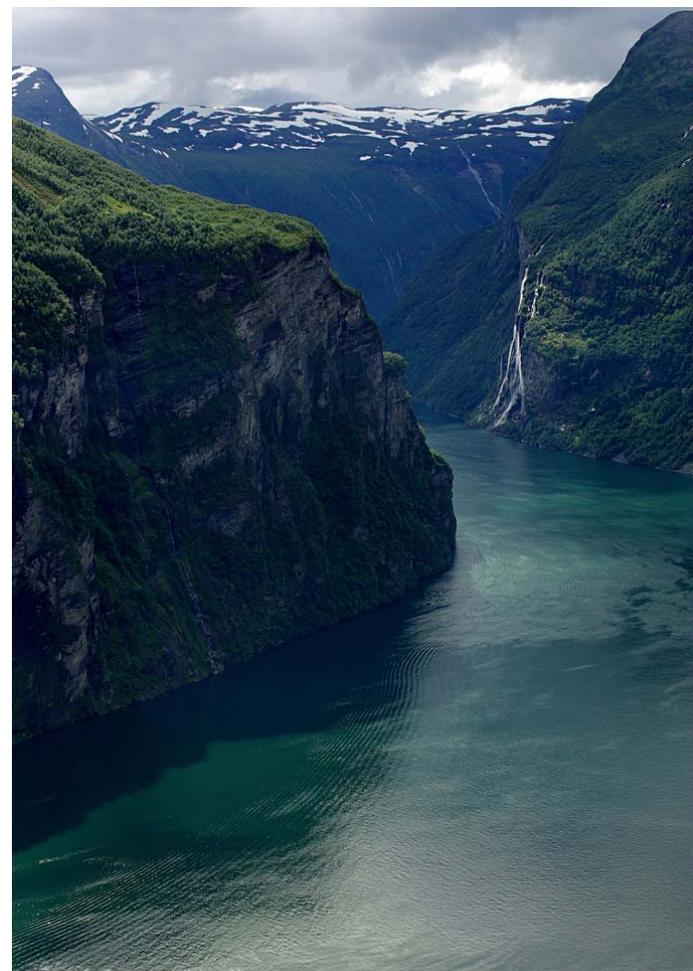
Lagunas Costeras: un cuerpo de agua continental, usualmente orientado paralelo a la costa, separado del océano por una barrera y conectado al mismo por una o mas bocas restringidas que permanecen abiertas al menos intermitentemente, y que posee profundidades de unos cuantos metros.



Pueden estar o no sujetas a una mezcla de aguas mareal y la salinidad puede varia de dulceacuícola a hipersalino. Usualmente formadas durante el Holoceno, y las barras formadas por procesos marinos.

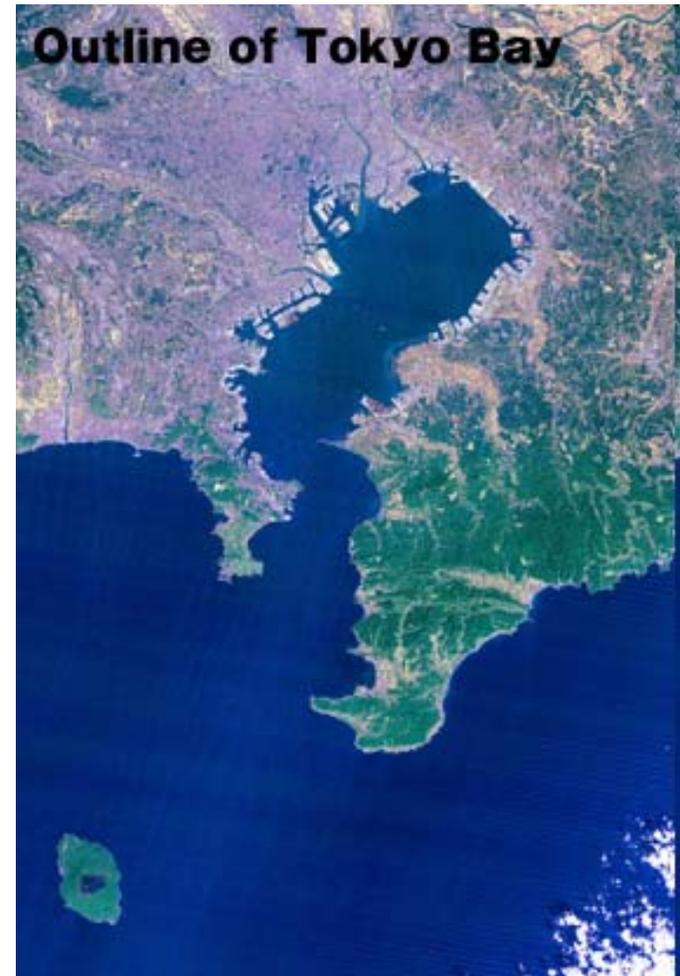
Clasificación de las formas estuarinas costeras de Kjerfve (1994)

Fiordos: Áreas marinas glaciales de deslave, donde existe una dilución de agua marina por agua dulce continental en la capa superficial, y con aguas de alta salinidad en el fondo de la cuenca sumergida, principalmente afectadas por la marea y con una profundidad de varios cientos de metros.



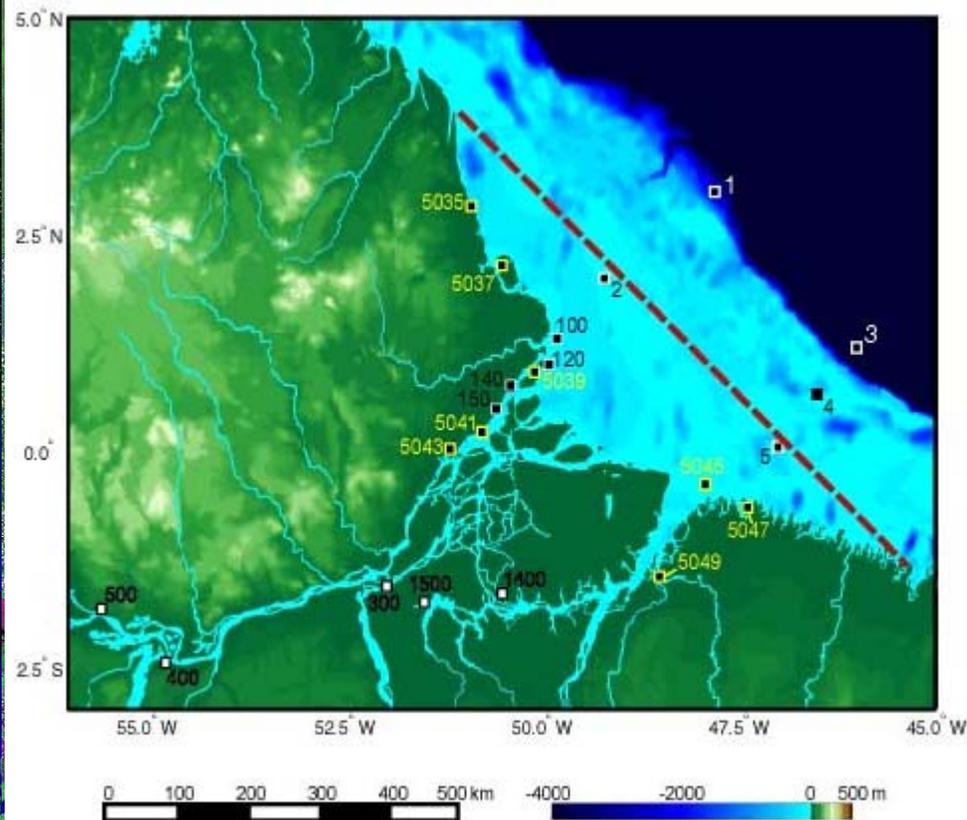
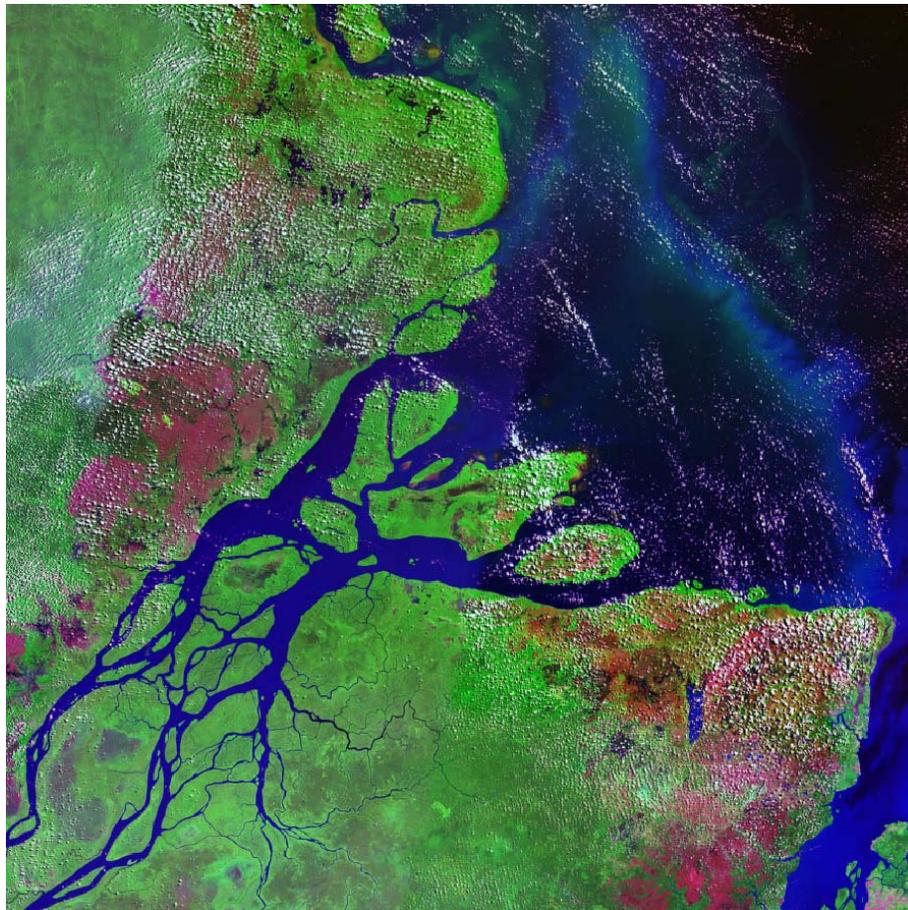
Clasificación de las formas estuarinas costeras de Kjerfve (1994)

Bahía: es una hendidura costera, usualmente resultado de alguna falla tectónica u otro proceso geológico, afectada fuertemente por las mareas y con salinidades salobres y marinas, dependiendo de la cantidad de drenaje continental con relación al intercambio oceánico



Clasificación de las formas estuarinas costeras de Kjerfve (1994)

Río mareal: valle continental de un río, inundado por el mar conforme este invadió la parte mas baja del mismo durante el holoceno y que contiene en su mayoría agua continental, pero sujeto a las variaciones de los niveles de la marea y algunas veces a una contracorriente río arriba que puede llegar a ser de varios cientos de kilómetros.



Clasificación de las formas estuarinas costeras de Kjerfve (1994)

Estrecho: Vía de comunicación costera, estrecha que conecta dos mares u océanos. Las características generales de estos estrechos con relación a la circulación, distribución de la salinidad, procesos de marea, y profundidad son muy variables.



Clasificación de las formas estuarinas costeras ...

Sin embargo, existen en la literatura otras formas de clasificar.

TABLE 2. The proportions of the total British estuarine area within estuaries of different geomorphologic types (from Davidson *et al.* 1991)

Estuary type	% of total area	% of intertidal area
Fjord	2	1
Fjard	5	6
Ria	3	2
Coastal plain	35	31
Bar-built	6	8
Complex	18	17
Barrier beach	2	3
Linear Shore	4	6
Embayment	25	26

Conclusión

La definición de estuario es una tarea multidisciplinaria con múltiples facetas.

Discipline	Character	Mechanism of definition
Physical	Physiography Marine-based hydrographic processes	Abrupt break between estuary and open coast Penetration of tides (then subdivide by tidal regime) Penetration of marine waves Presence of density-driven currents Sea-derived sediment transport
Chemical	Salinity Sensitivity	Reduced from seawater but greater than freshwater To nutrient enrichment
Biological	Community type	Penetration of marine plankton Presence of recognized sea-fishes Migration route for diadromous fishes Presence of ' estuarine ' community
Environmental quality	Classification	Based on biology, aesthetics, chemistry and with estuarine features
Management	Sea fisheries Transition waters	Inland penetration of species ' widely recognized as marine ' Based on differences (by default—neither marine nor freshwaters)
Legal	With a recognized hinterland Area widely regarded as ' estuarine ' Receiving a catchment	Based on a catchment with a recognized coastline and transition area Within a degree of precedence, an area regarded as such both by expert judgement and public perception As the area where a river discharges
Conservation	Support of estuarine important biotopes and populations	As an area notable for its functioning (e.g. as for wading birds) or typical biotopes (e.g. saltmarshes, seagrass beds)