

# MÓDULO 2



# SECUENCIAS ESTRATIGRÁFICAS

## Generalidades



## SECUENCIAS ESTRATIGRÁFICAS

- Una secuencia estratigráfica es una sucesión de estratos más o menos concordantes o reflectores sísmicos de connotación estratigráfica, genéticamente relacionados y delimitados en el tope y la base por discordancias o sus superficies correlativas (Vail *et al.*, 1977).
- Galloway (1989) define a una secuencia estratigráfica como el paquete de sedimentos genéticamente relacionados que representa un episodio significativo durante el desarrollo de una cuenca, y limitado por períodos de inundación marina hacia el margen de la cuenca.
- Posamentier (1988) opina que una secuencia está constituida por una sucesión de sistemas depositacionales encadenados que se acumulan entre dos caídas consecutivas del nivel eustático del mar. Según Embry (2000) sus límites corresponden a superficies de máxima regresión.
- Las secuencias estratigráficas son unidades formadas por paquetes de rocas desarrolladas en respuesta a cambios en el acomodamiento sobre la plataforma y en la cuenca (Vail *et al.*, 1990).
- Estas unidades están limitadas por superficies específicas entre cambios verticales en los patrones de apilamiento de las facies, en pozos y en afloramientos.
- En secciones sísmicas, sus límites corresponden a superficies de discontinuidad entre los reflectores.
- Para efectos prácticos, la unidad fundamental de una secuencia estratigráfica es la **secuencia depositacional**, la cual está limitada por discontinuidades y sus superficies correlativas. Cada secuencia depositacional corresponde a un ciclo eustático-estratigráfico de 3º orden, con espesores de 20 a 1000 m y tiempo de depositación entre 0,5 y 3 m.a.
- Una *secuencia* puede dividirse en **sistemas encadenados** (system tracts), los cuales se definen por su posición dentro de la secuencia.
- Los sistemas encadenados son a su vez definidos por los **conjuntos de parasecuencias** y estos por las **parasecuencias** periódicas o secuencias simples, limitadas por superficies de inundación marina. Los conjuntos de parasecuencias tiene una duración de 1,5 a 0,5 m.a., mientras que las parasecuencias duran entre 0,01 y 0,5 m.a.

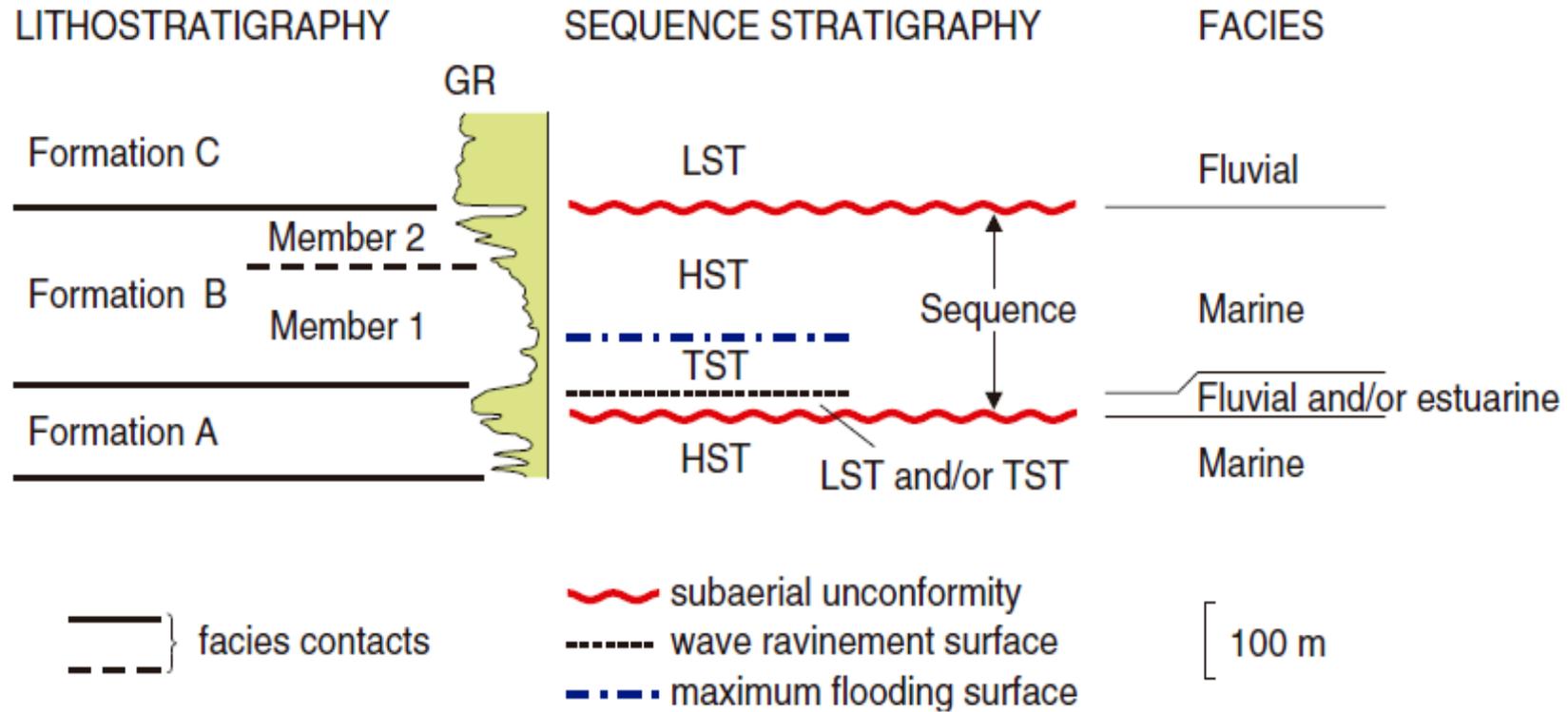


Fig. 2.1. Diferencia entre Litoestratigrafía, Facies y Estratigrafía de Secuencias. La litoestratigrafía define unidades de roca con base a la litología, frecuentemente respecto al ambiente depositacional. Las facies reflejan las características litológicas derivadas del ambiente sedimentario. La estratigrafía de secuencias define unidades de roca con base al significado cronoestratigráfico y aloestratigráfico de los eventos de sus superficies límites (Tomado de Catuneanu, 2006).



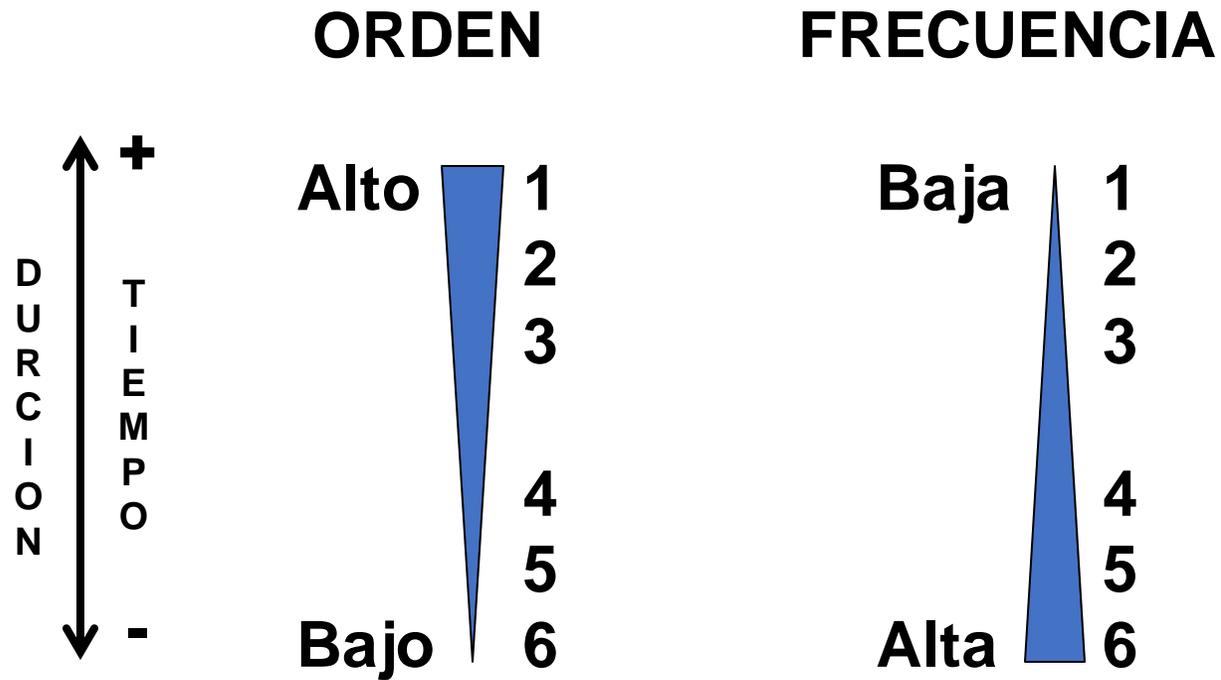
<b>VARIABLE</b>	<b>CONTROLA</b>
SUBSIDENCIA TECTÓNICA	NUEVO ESPACIO PARA EL ACOMODAMIENTO DE SEDIMENTOS EN LA PLATAFORMA Y LA GEOMETRÍA DE LA CUENCA
NIVEL EUSTÁTICO DEL MAR	PATRONES DE ESTRATOS Y DISTRIBUCIÓN DE LITOFACIES
SUMINISTRO DE SEDIMENTO	RELLENO SEDIMENTARIO Y PROFUNDIDAD DEL AGUA
CLIMA	CICLOS EUSTÁTICOS Y AMBIENTE BIOLÓGICO Y QUÍMICO

Fig. 2.2. Principales variables en el control de una secuencia depositacional.



# JERARQUÍA DE LAS SECUENCIAS

## *ORDEN vs FRECUENCIA*



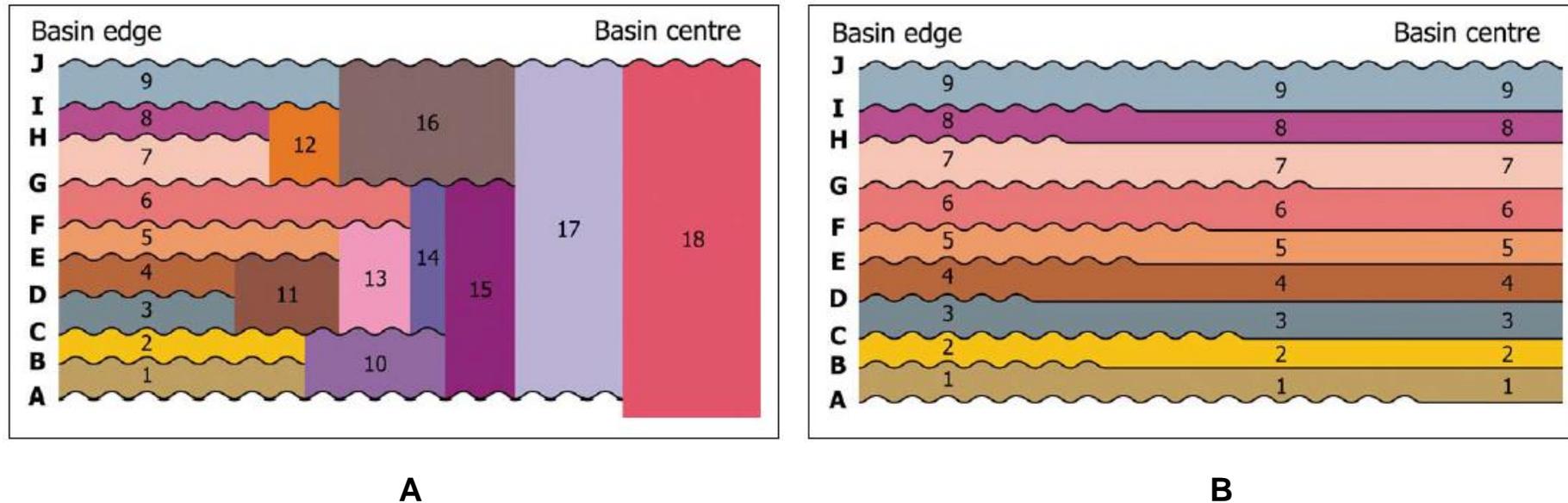


Fig. 2.3. Efecto de la escala (espacial y temporal) sobre la continuidad de las superficies estratigráficas discordantes y concordantes correlativas, que limitan secuencias estratigráficas dentro de una cuenca. A) El efecto de 10 superficies discordantes que definen 9 secuencias en el borde de la cuenca y la definición relativa de otras 9 adicionales hacia el centro de la cuenca. B) La aplicación del concepto de superficie concordante correlativa, permite extender las 9 secuencias desde el borde hacia el centro de la cuenca. En las áreas distales de la cuenca es más difícil apreciar y determinar las superficies discordantes, por lo que las secuencias estarán limitadas por superficies concordantes equivalentes (Embry, 2011).



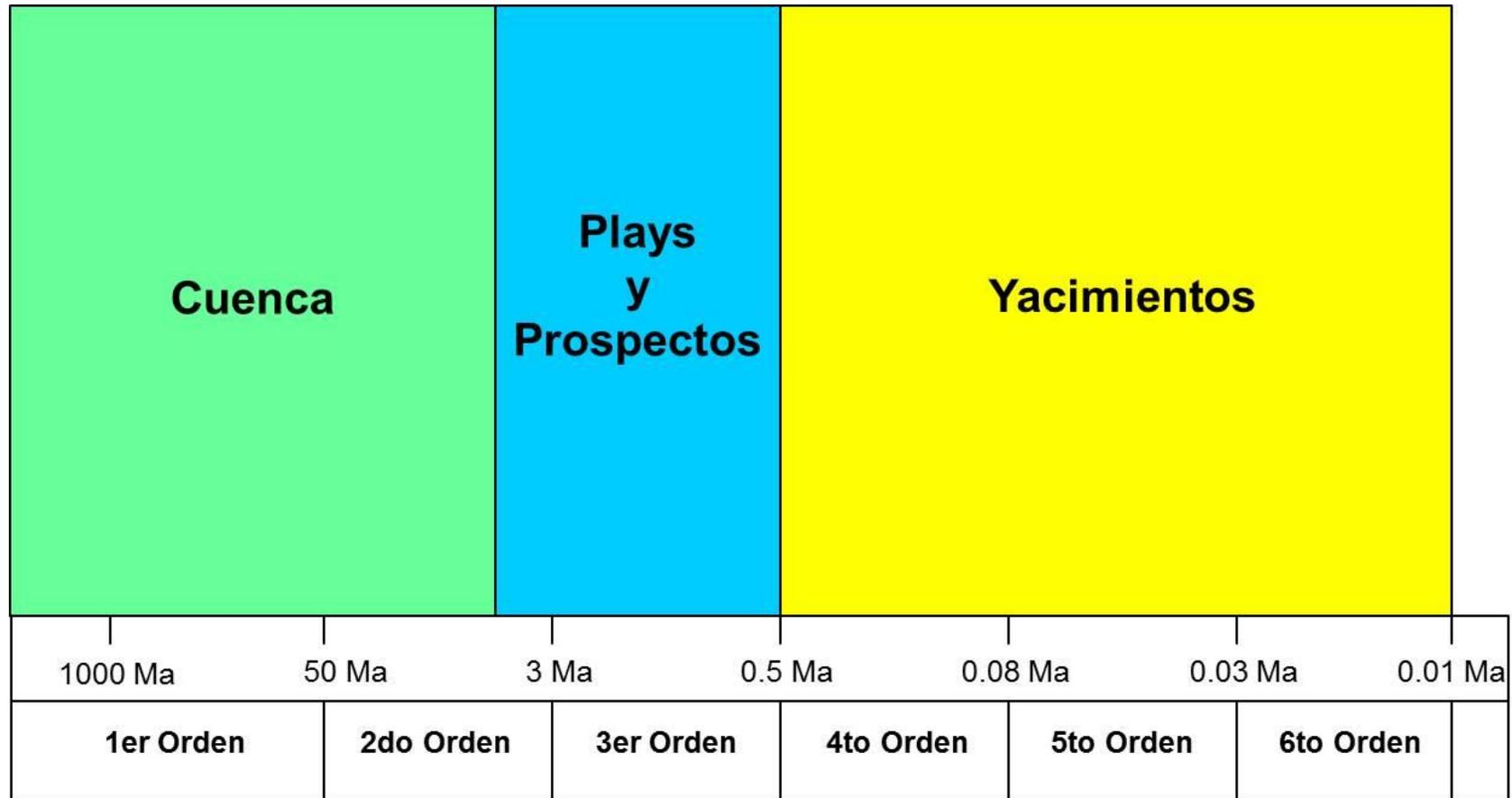


Fig. 2.4. Diagrama mostrando los diferentes órdenes de secuencias estratigráficas (primero hasta sexto) y las escalas típicas para exploración y desarrollo (Modificado de Mitchum et al., 2002; en Weimer and Slatt, 2004)



# CLASIFICACIÓN DE LAS SECUENCIAS ESTRATIGRÁFICAS

Se clasifican de acuerdo a la escala geológica de observación en:

1. **Parasecuencias**, las cuales pueden ser reconocidas en una columna de afloramiento, y en registros y núcleos de pozos.
2. **Conjuntos de parasecuencias**, las cuales pueden ser reconocidas en columnas compuestas de afloramientos, registros y núcleos de pozos y en secciones sísmicas.
3. **Secuencias Tipo 1 y Tipo 2**, las cuales debido a la magnitud de su extensión y espesor, solamente pueden ser bien reconocidas y definidas a través de información sísmica, debido a que están directamente relacionadas con secuencias de 3º orden o mayor jerarquía. Durante la creación de secuencias tipo 1, la caída del nivel relativo del mar es muy brusca, llegando hasta el quiebre de pendiente de la plataforma con el talud. Esto ocasiona que toda la plataforma quede expuesta a la erosión subaérea y al encajamiento y tránsito de corrientes fluviales. Durante la creación de secuencias tipo 2, la exposición de la plataforma es parcial. Esto ocasiona una reducción apreciable del área de exposición subaérea sometida a la erosión y al tránsito de cursos fluviales y las facies litorales se desplazan hacia el borde de la plataforma, sin llegar hasta su límite.



## 1. PARASECUENCIA

Una parasecuencia es una sucesión de estratos o capas sedimentarias, más o menos concordantes, genéticamente relacionados y delimitada en su base y tope por dos superficies de inundación marina (Van Wagoner, 1985. Ver Fig. 2.5). Se depositan durante un paraciclo eustático (ciclo eustático de 4<sup>o</sup>, 5<sup>o</sup> y 6<sup>o</sup> orden), con espesores entre 3 y 50 m y una duración menor a 0,5 m.a.(Cramez y Audemard, 1990).

**Tipos de parasecuencias:**

- a) por el tipo de facies (Fig. 2.6)
- b) por variaciones en los espesores de los estratos (Fig. 2.7)



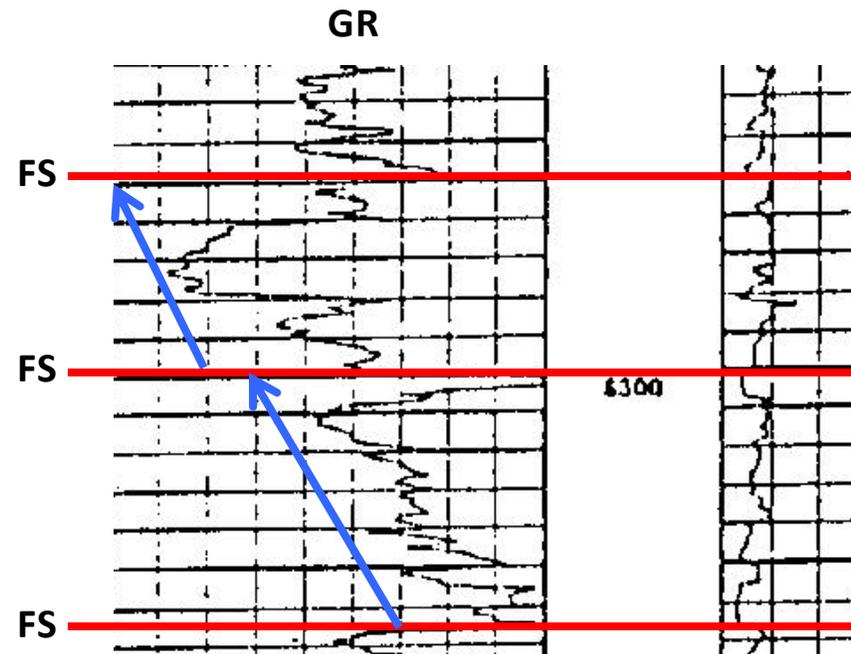
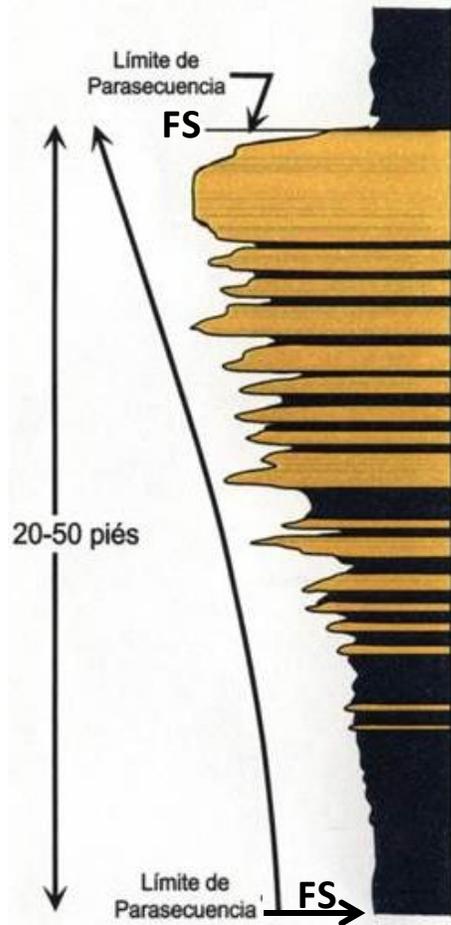


Fig. 2.5. Esquema de una parasecuencia según Van Wagoner, 1990 (izquierda). Nótese la tendencia de engrosamiento hacia arriba en espesor de capas y tamaño de grano. A la derecha una sección de un registro GR mostrando dos parasecuencias limitadas por las respectivas superficies de inundación (FS).



## Parasecuencias definidas por el tipo de facies

Este tipo de parasecuencias se puede reconocer por las variaciones en el tamaño de grano tales como los ciclos tipificados por un afinamiento hacia arriba (fining upward) o por un engrosamiento (coarsening upward). Las parasecuencias por facies indican directamente las variaciones en la energía del medio y están usualmente asociadas con estratos de espesores limitados (5 a 20m) y son particularmente útiles en la interpretación de depósitos de areniscas (Fig. 2.6, 2.8)

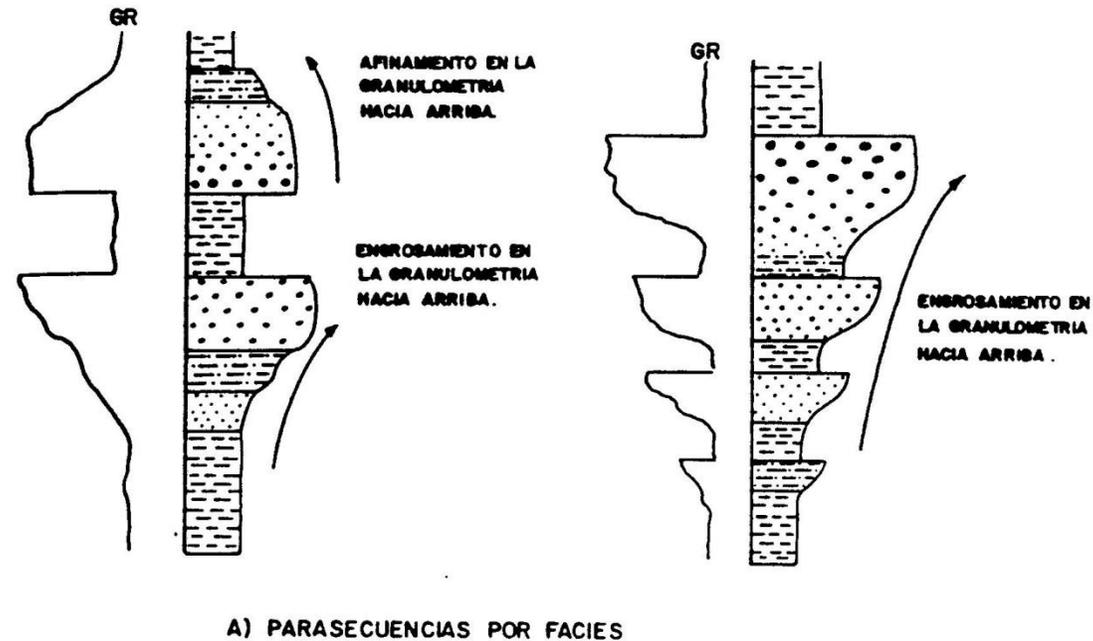


Fig. 2.6. Ilustración esquemática de parasecuencias definidas por facies (Modificado de Allen y Coadou, 1982)



### Parasecuencias definidas por variaciones de espesor de los estratos

Se pueden reconocer por una variación en el espesor de las capas, tales como los ciclos con tendencia de adelgazamiento en el espesor de las capas hacia arriba (thinning upward) o engrosamiento de las mismas (thickening upward). En el caso de ciclos de areniscas tipificados por un engrosamiento en el espesor de las capas, estos representan períodos de incremento tanto en el aporte de sedimentos como en la energía del ambiente y usualmente son de tendencia regresiva. Mientras que las parasecuencias caracterizadas por un adelgazamiento hacia arriba en el espesor de las capas, representan fases de abandono de areniscas y un decrecimiento en la energía del ambiente y con tendencia transgresiva. En general, las parasecuencias definidas por un engrosamiento hacia arriba del espesor de las capas, usualmente también presentan un aumento del tamaño de grano en la misma dirección y viceversa (Fig. 2.7 , 2.8).

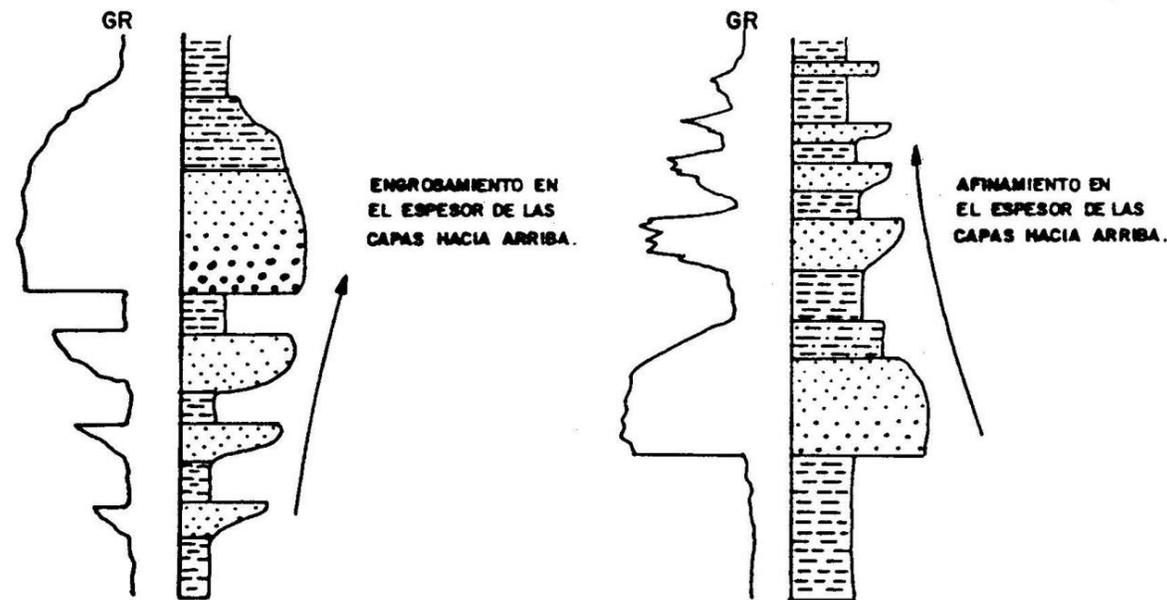


Fig. 2.7. Ilustración esquemática de parasecuencias definidas por cambios de espesor de los estratos (Modificado de Allen y Coadou, 1982).



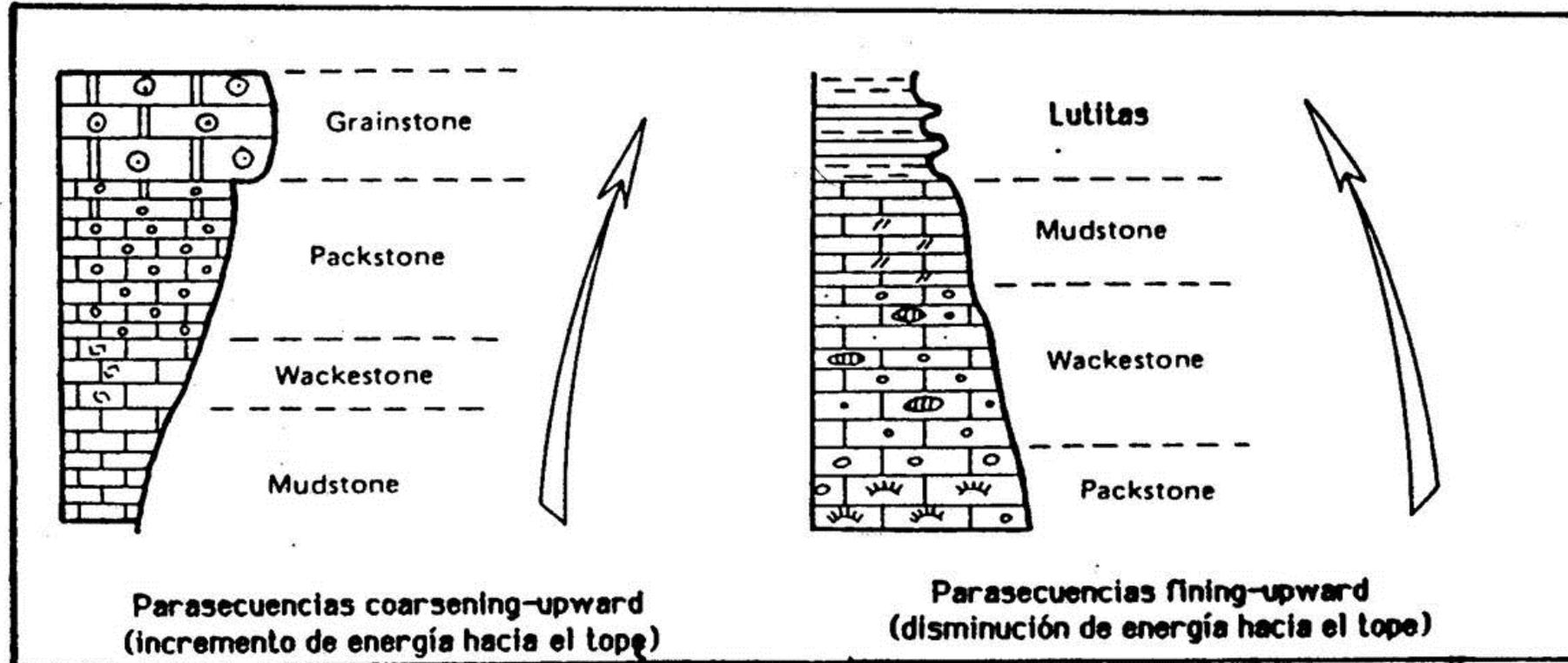


Fig. 2.8. Ilustración esquemática de parasecuencias en carbonatos, definidas por cambios en el espesor de los estratos. (Modificado de Reeckman y Friedman, 1977)



## 2. CONJUNTO DE PARASECUENCIAS

Es una sucesión de parasecuencias genéticamente relacionadas, formando un patrón de apilamiento distintivo que está limitado por superficies mayores de inundación marina o sus superficies correlativas (Van Wagoneer, 1985). Los límites de un conjunto de parasecuencias pueden ser: (1) contraste distintivo en el patrón de apilamiento de los estratos (en afloramientos compuestos, pozos y sísmica), (2) límites de secuencia (en pozos y sísmica) y superficies de máxima inundación y (3) superficies de downlap y límites de sistemas encadenados (sólo en sísmica).

**Tipos de conjuntos de parasecuencias:**

- a) retrogradacional (Fig. 2.9 A)
- b) progradacional (Fig. 2.9 B)
- c) agradacional (Fig. 2.9 C)



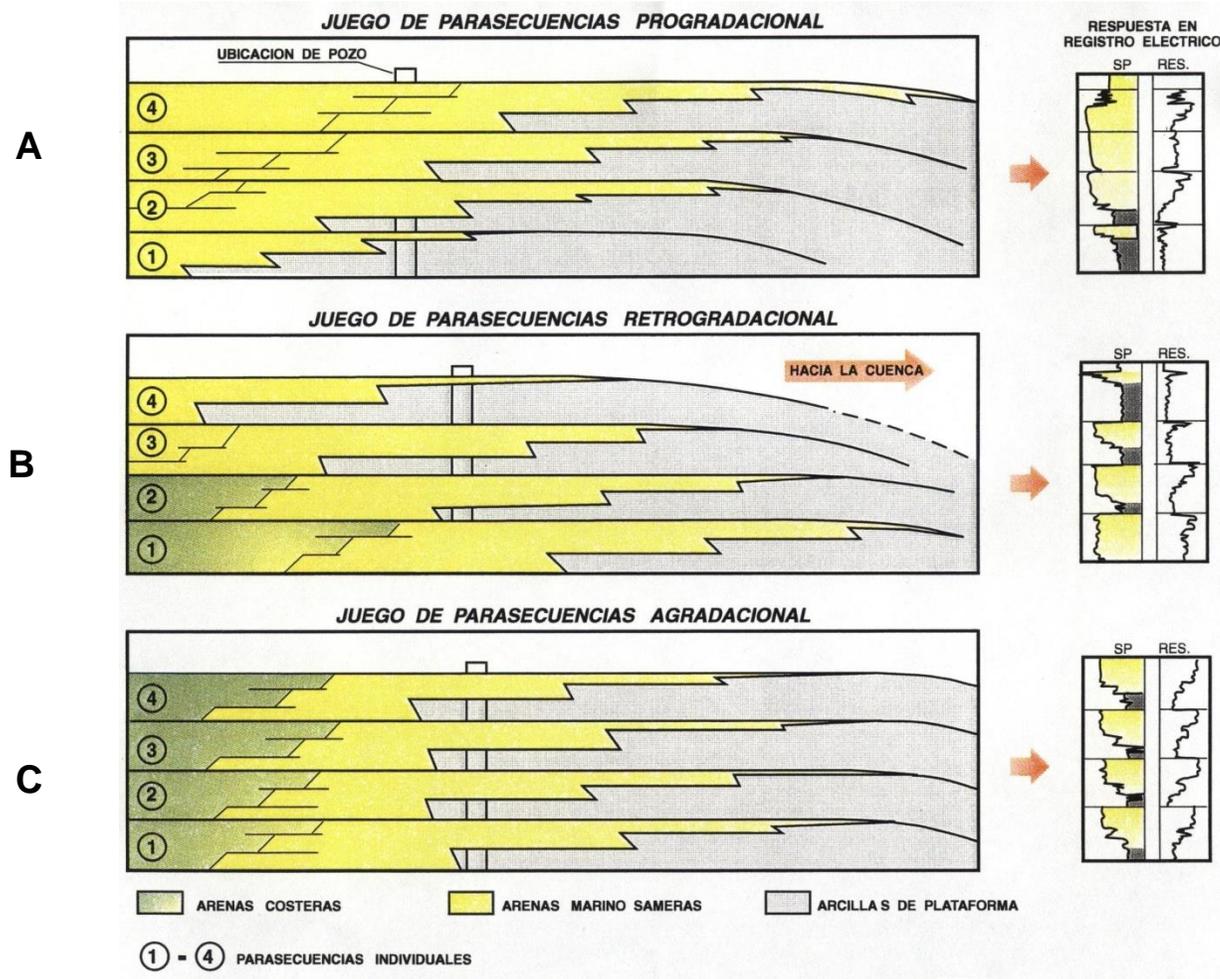
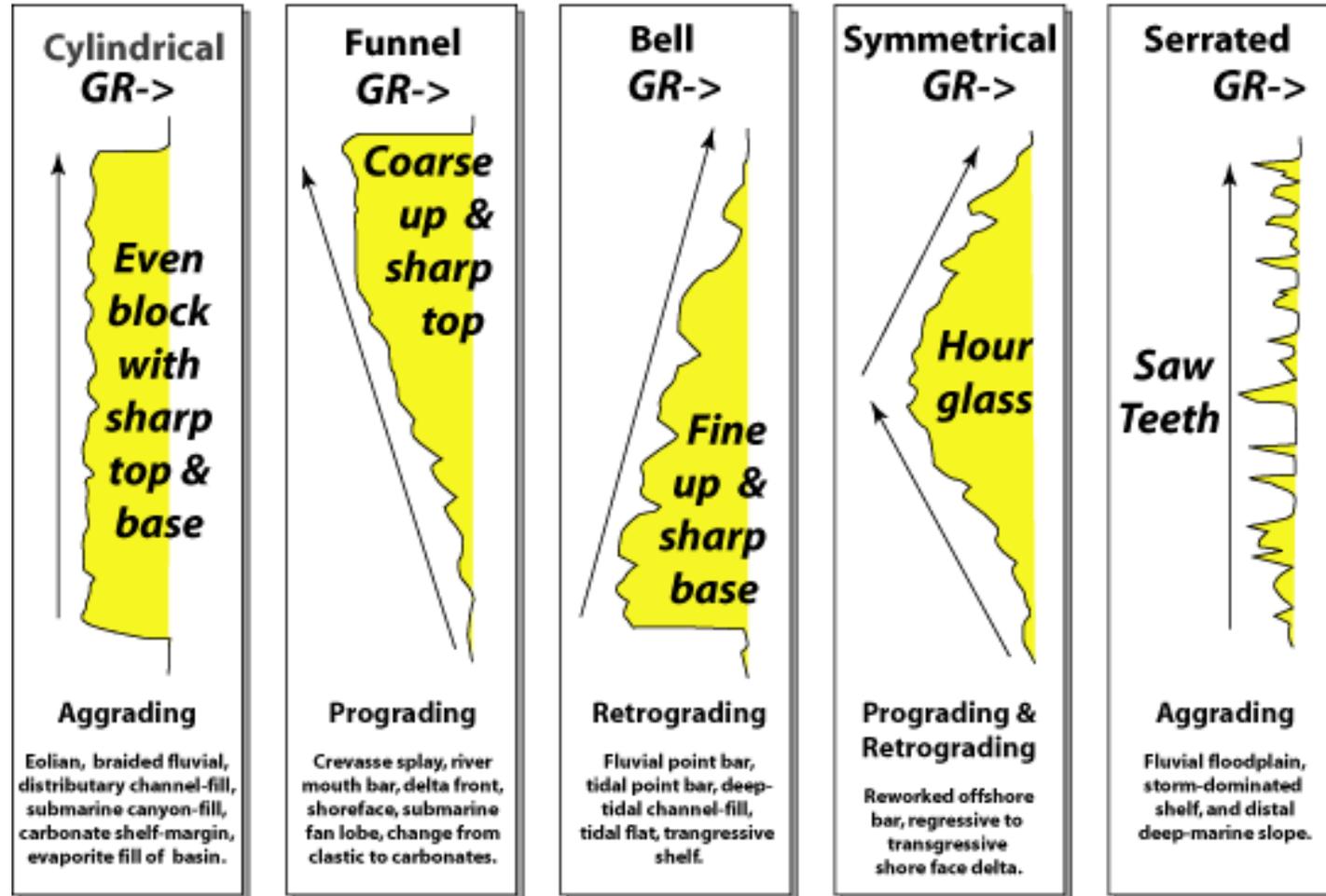


Fig. 2.9. Tipos de conjuntos de parasecuencias (Modificado de Van Wagoneer et al., 1988). En un conjunto de tipo progradacional (A) las parasecuencias sucesivamente más jóvenes se depositan hacia la cuenca, porque la tasa de suministro de sedimentos es mayor a la tasa de acomodamiento. En un conjunto de tipo retrogradacional (B) las parasecuencias sucesivamente más jóvenes se depositan hacia el continente, con un patrón que retrocede y la tasa de suministro de sedimentos es menor a la tasa de acomodamiento. En un conjunto de tipo aggradacional (C), las parasecuencias se apilan verticalmente, sin cambios laterales significativos y la tasa de suministro de sedimentos se aproxima a la tasa de acomodamiento.



**General Gamma Ray Response to Variations in Grain Size**

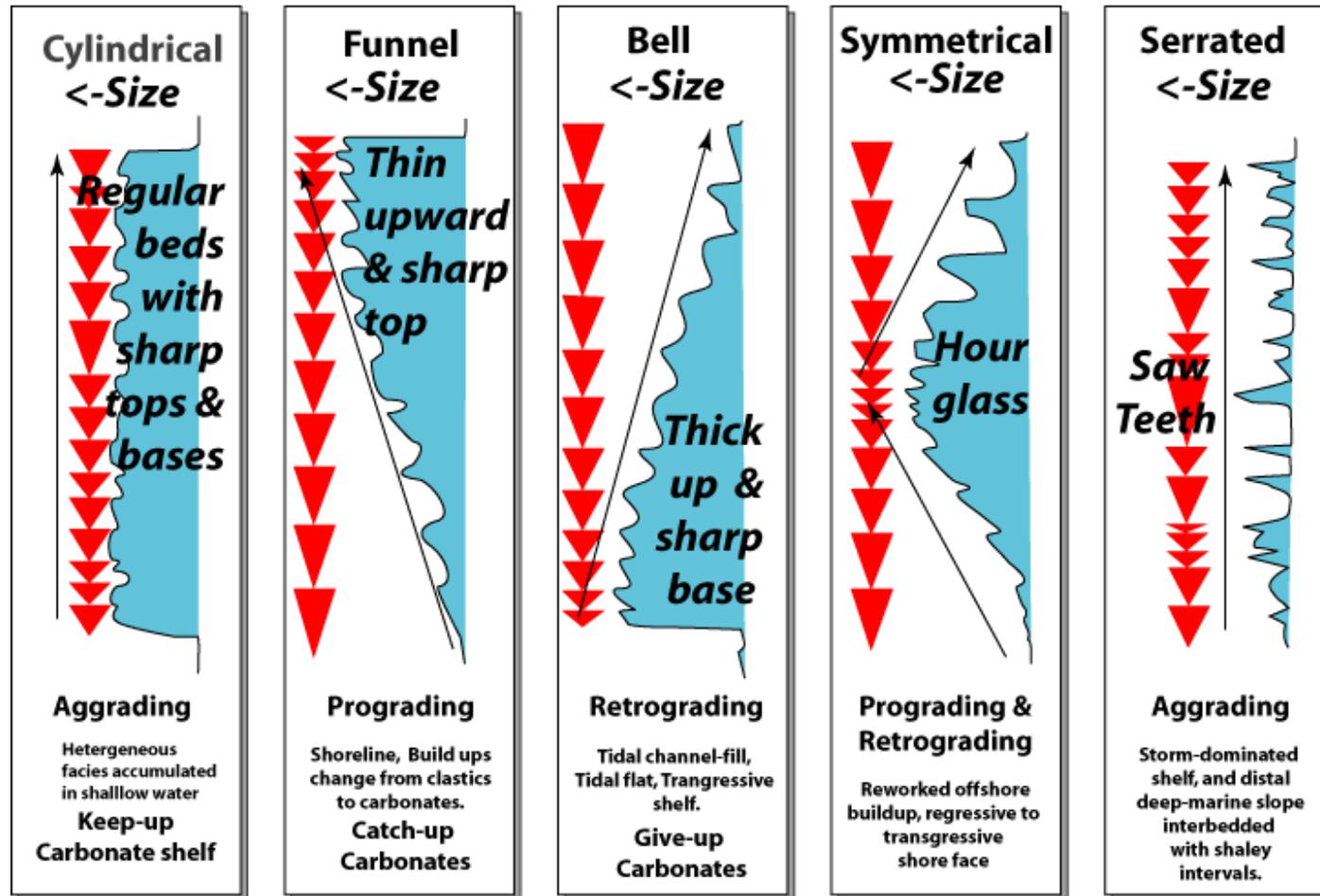


C. G. St. C. Kendall 2003 (modified from Emery, 1996)

Fig. 2.10. Patrones de apilamiento y variaciones generalizadas en el tamaño de grano en una curva de registro de GR. También puede aplicarse al espesor de capas. (Tomado de Kendall,2003).



## Carbonate Stacking Patterns - Generalized Variations in Grain Size



C. G. St. C. Kendall 2003

Fig. 2.11. Patrones de apilamiento en carbonatos y variaciones generalizadas en el tamaño de grano (Tomado de Kendall,2003).



# SECUENCIAS ESTRATIGRÁFICAS

## Sistemas Deposicionales



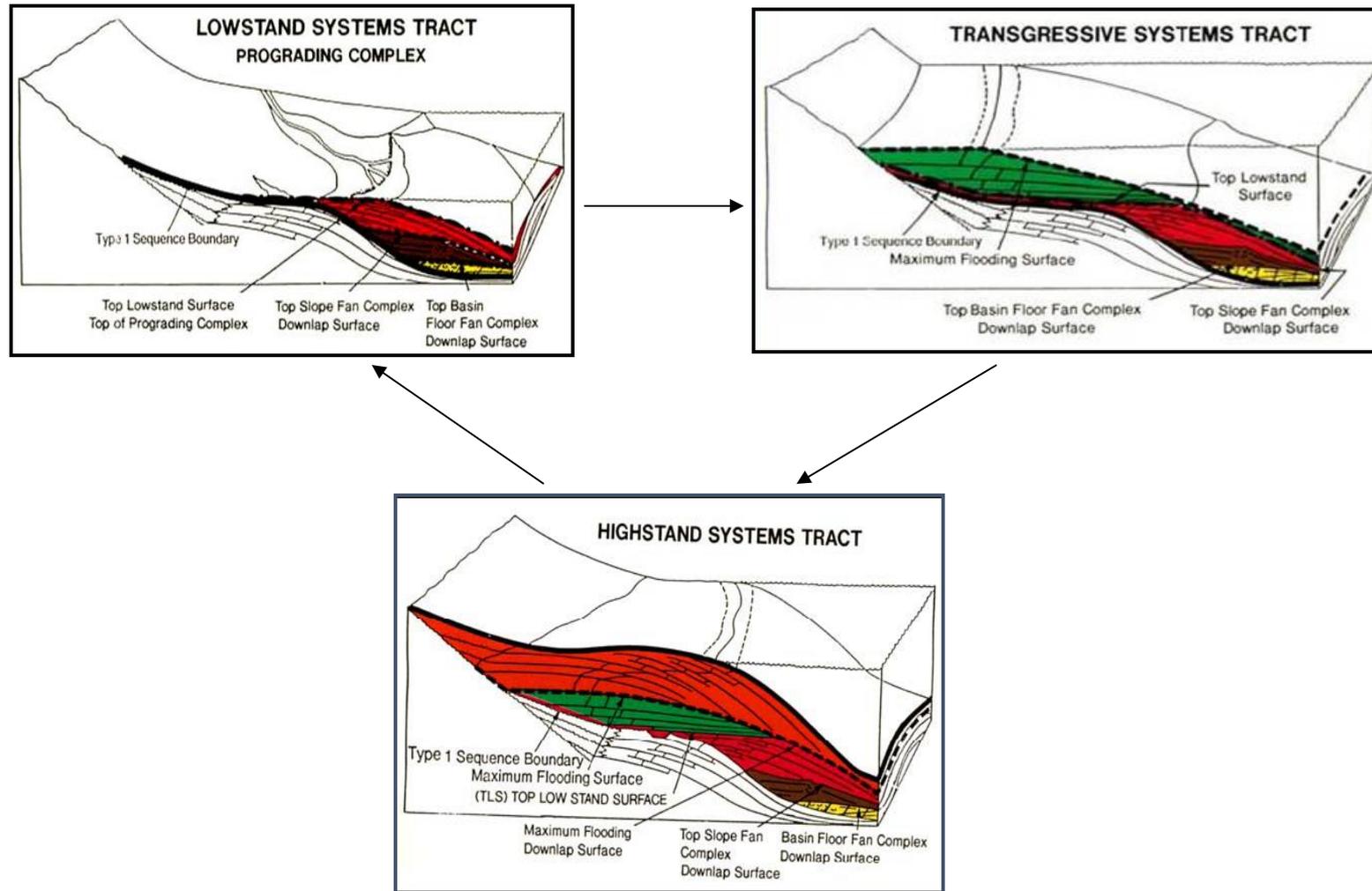


Fig. 2.12. Esquema de sistemas depositacionales encadenados formando un cortejo que se repite cíclicamente a través del tiempo durante el relleno sedimentario de una cuenca. Dibujos tomados de Vail y Wornardt (1993).



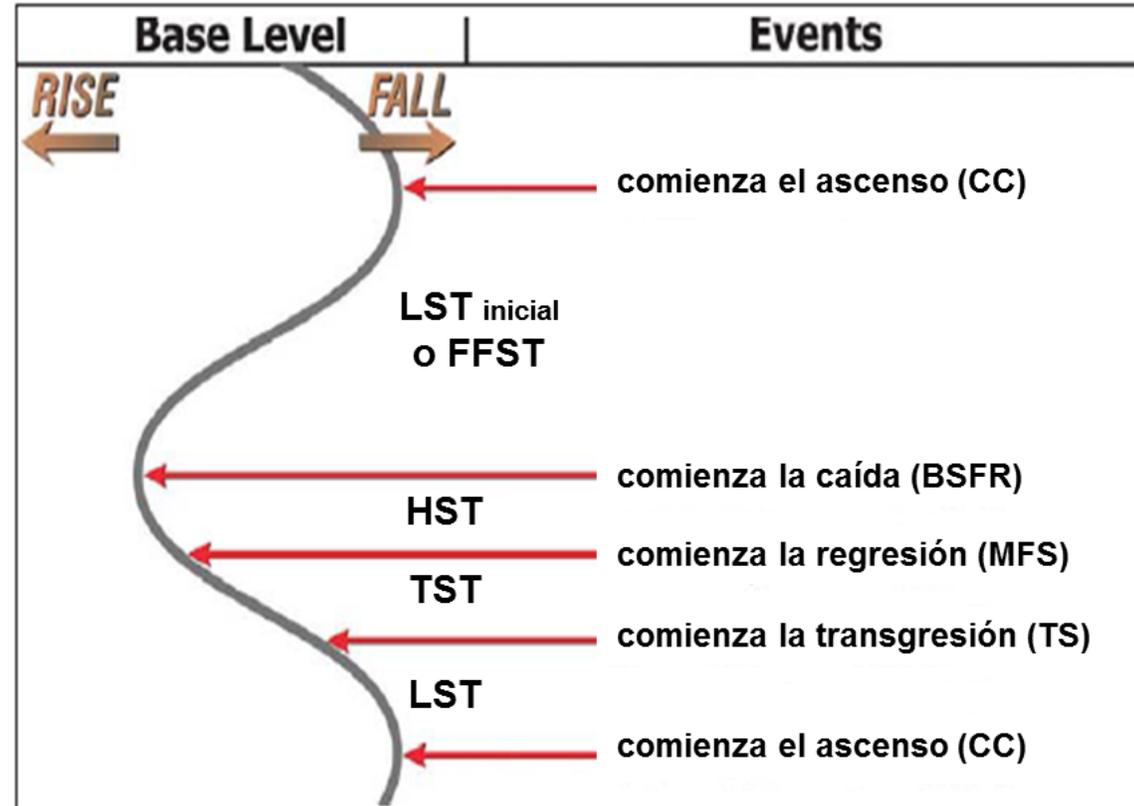
# CLASIFICACIÓN

Tres clásicos sistemas sedimentarios/depositacionales encadenados principales:

1. Sistema de Nivel Bajo o *Lowstand System Tract (LST)* \*
2. Sistema Transgresivo o *Transgressive System Tract (TST)*
3. Sistema de Nivel Alto o *Highstand System Tract (HST)*

\* El LST puede ser subdividido en LST inicial, cuando el nivel del mar inicia su rápido descenso o caída y es equivalente al FSST (*Falling Stage System Tract* propuesto por varios autores), y LST final cuando el nivel del mar inicia su lento ascenso.





**CC** = conformidad correlativa  
**TS** = superficie de transgresión; equivalente a la superficie de máxima regresión (MRS)  
**MFS** = superficie de máxima inundación; equivalente a la superficie basal de regresión normal (BSNR)  
**BSFR** = superficie basal de regresión forzada

Fig. 2.13. Curva de cambios del nivel base marino ilustrando un ciclo estratigráfico y el tiempo de los cuatro “eventos” que se usan para definir cuatro o tres sistemas depositacionales, donde BSFR sería la base del FSST y también equivalente a los SB (límite de secuencia como discordancia subaérea sobre la plataforma y correlativa en aguas profundas) (Modificado de Embry, 2009)





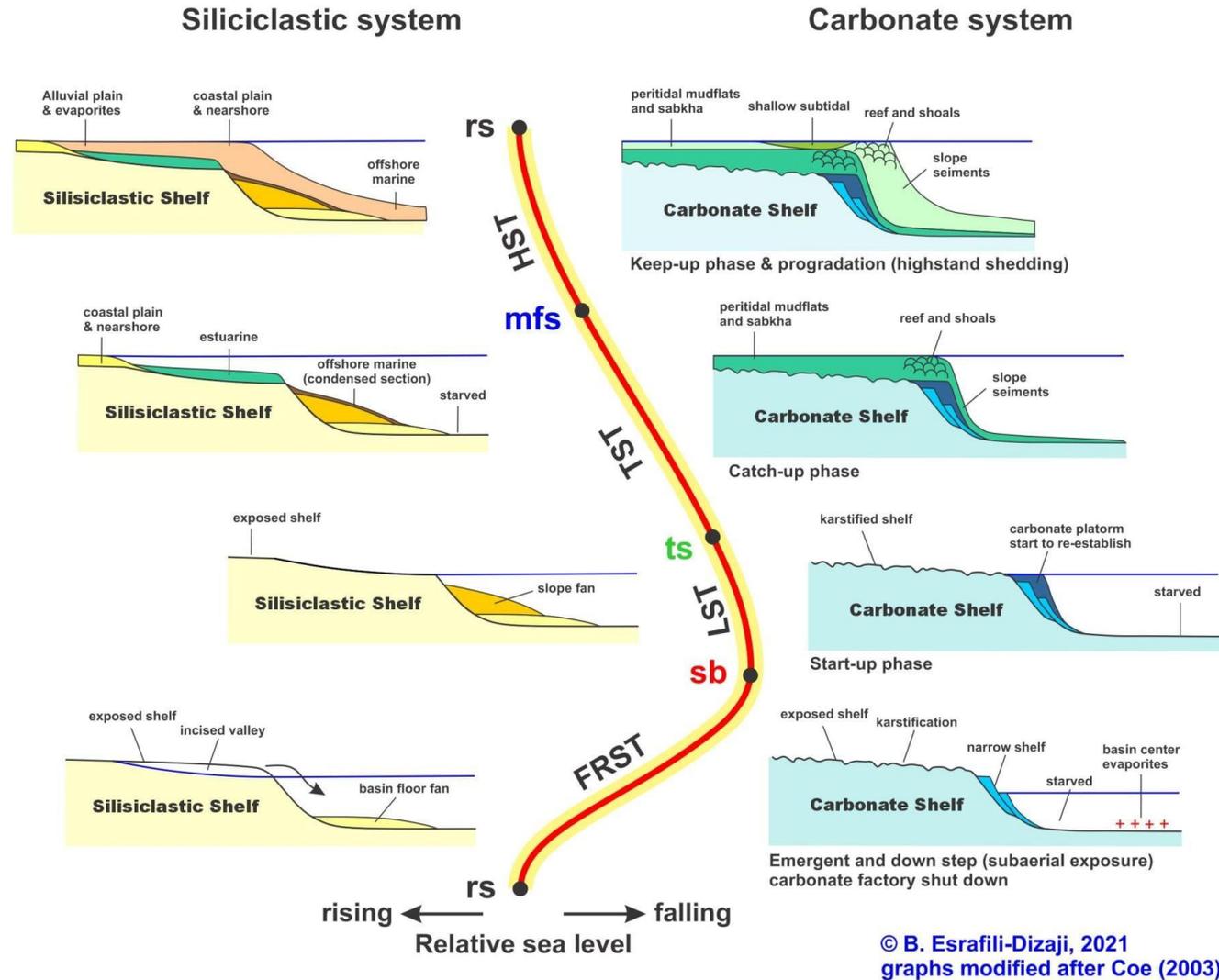


Fig. 2.15. Diferencias estratigráficas secuenciales entre sistemas siliciclásticos y carbonáticos.  
(Tomado de Claude Morgan (2021), Mexico Petroleum Geoscience Group. <https://www.facebook.com/groups/430159417618680>)



El sistema de nivel bajo (LST inicial y final) comprende para las secuencias tipo 1, los siguientes sistemas sedimentarios:

- ✓ **Abanicos de fondo de cuenca o *Basin floor fan (Bfs)* \***
- ✓ **Abanicos de talud o *Slope fan (Sf)***
- ✓ **Relleno de valles incisos (*Iv*)**
- ✓ **Complejo de progradación o *Lowstand prograding complex (LPC)***

\* característico del sistema LST inicial o de caída del nivel del mar (Falling Stage System Tract)

y para las secuencias tipo 2:

- ✓ **Cuña de borde de plataforma o *Shelf margin wedge (SMW)***



## ***Abanicos de fondo de cuenca o “Basin floor fans”***

Son abanicos que se depositan cuando el descenso del nivel eustático es mayor a la subsidencia en el borde de la plataforma continental, lo que trae como consecuencia la exposición de la llanura costera, el rejuvenecimiento de los valles y el entalle de los cañones submarinos. Estas tres condiciones facilitan el embaulamiento de los sedimentos hacia la cuenca, depositándose como abanicos submarinos profundos que pueden ser posteriormente erosionados por corrientes de contorno, dando así origen a las contornitas (Fig. 2.16).

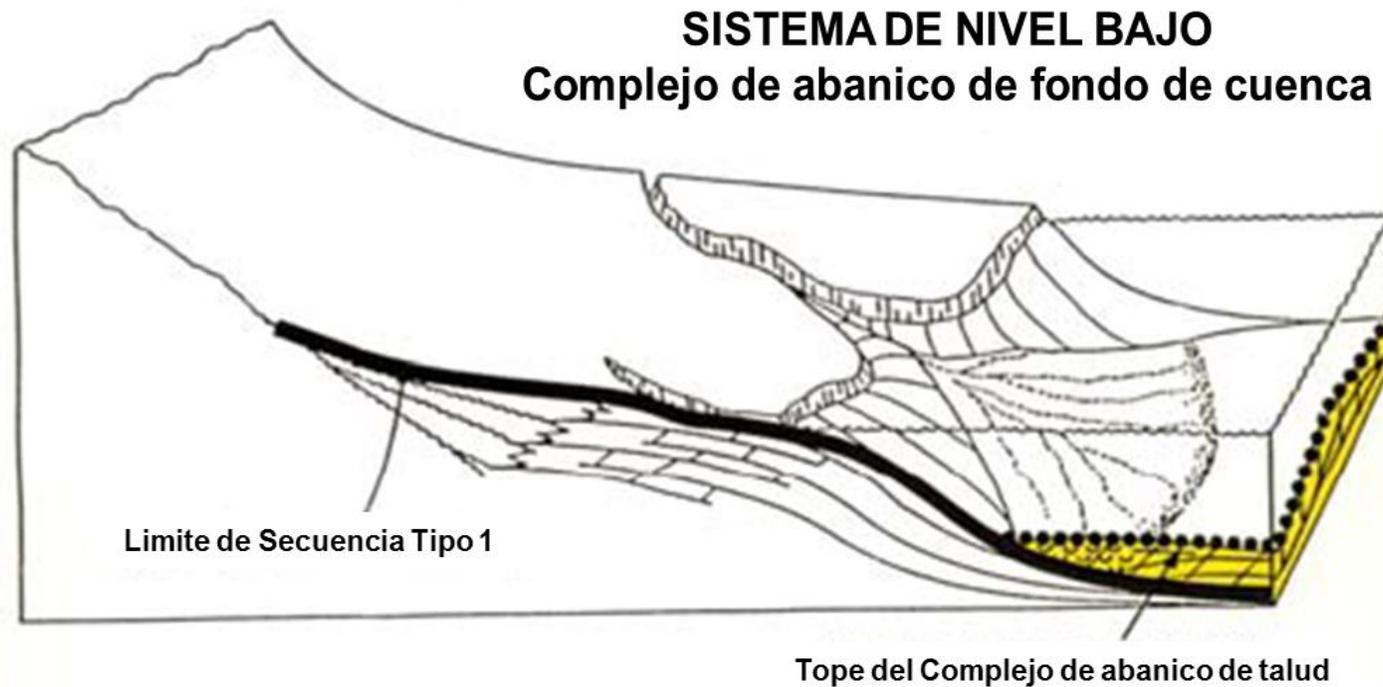


Fig. 2.16. Abanico submarino de fondo de cuenca. (Tomado de Vail y Wornardt ,1993).



## ***Abanicos submarinos de talud o “Slope fans”***

Se depositan al comenzar la desaceleración de la caída y del comienzo del ascenso del nivel relativo del mar. Consiste en depósitos turbidíticos complejos (sistema dique-canal), asociados a derrumbes y/o deslizamientos y flujos de sedimentos en masa (Fig. 2.19).

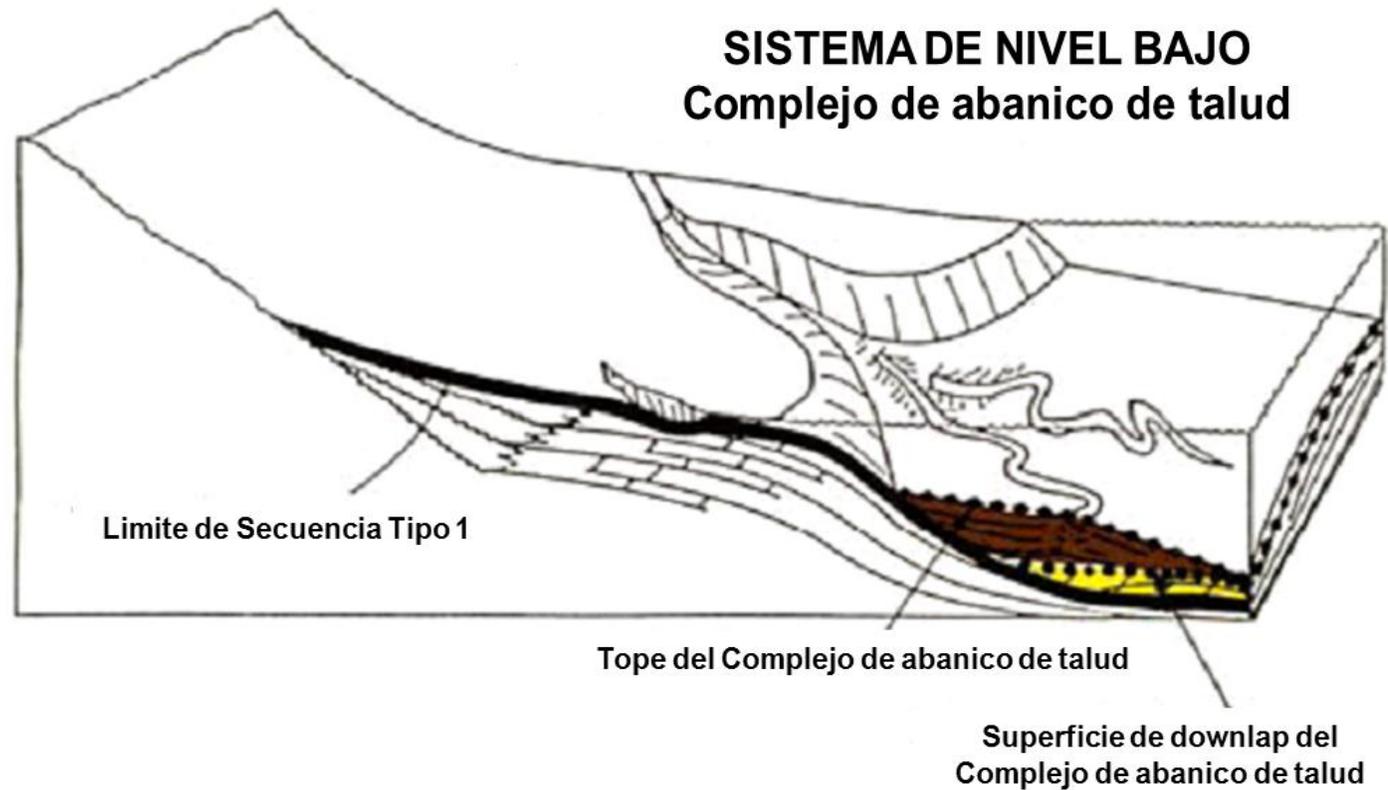
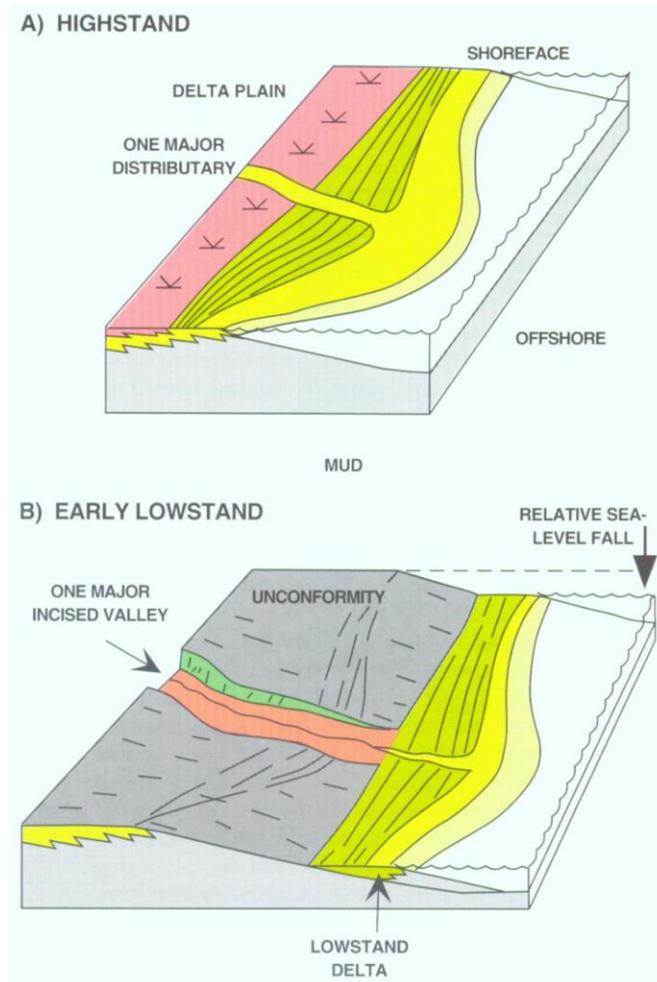


Fig. 2.17. Abanico submarino de talud. (Tomado de Vail y Wornardt, 1993).



(A)



(B)

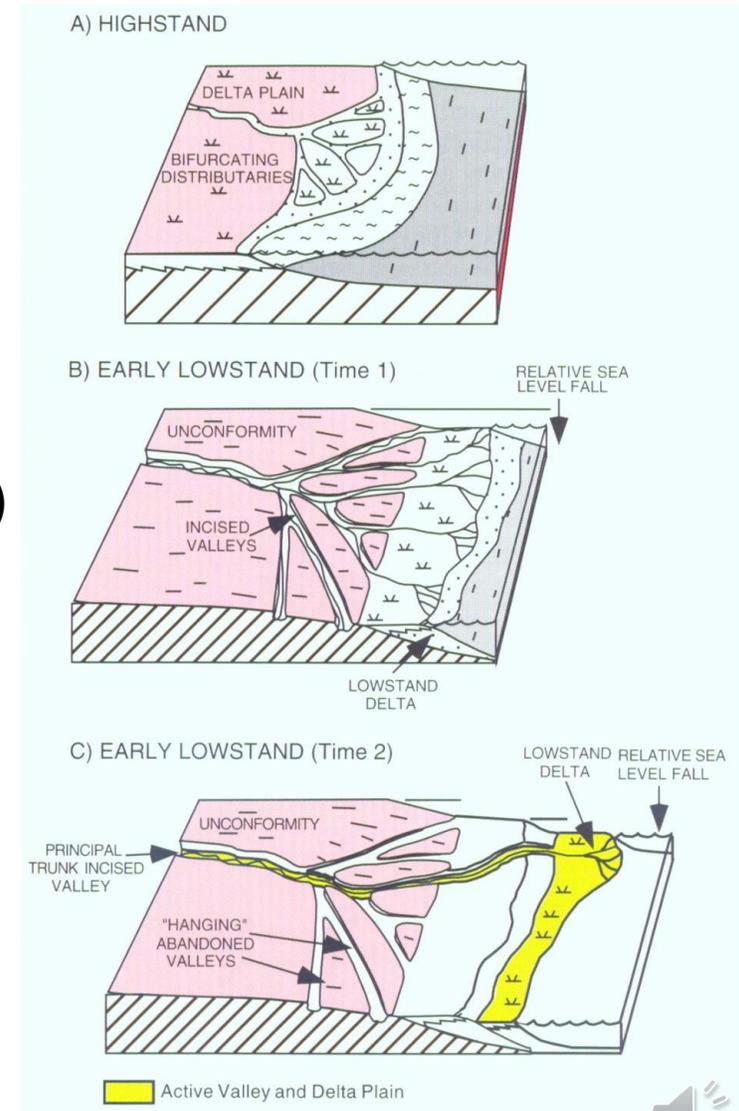


Fig. 2.18. Valles incisos en costas deltáicas dominadas por oleaje (A) y por ríos (B). Generalmente uno o pocos canales distributarios caracterizan esos deltas, por lo que solamente un valle inciso se forma en la plataforma. En cambio, los deltas dominados por ríos se asocian con numerosos distributarios incisivos en conjunto y finalmente se forma un valle inciso principal. Tomado de Posamentier and Allen, 1999)

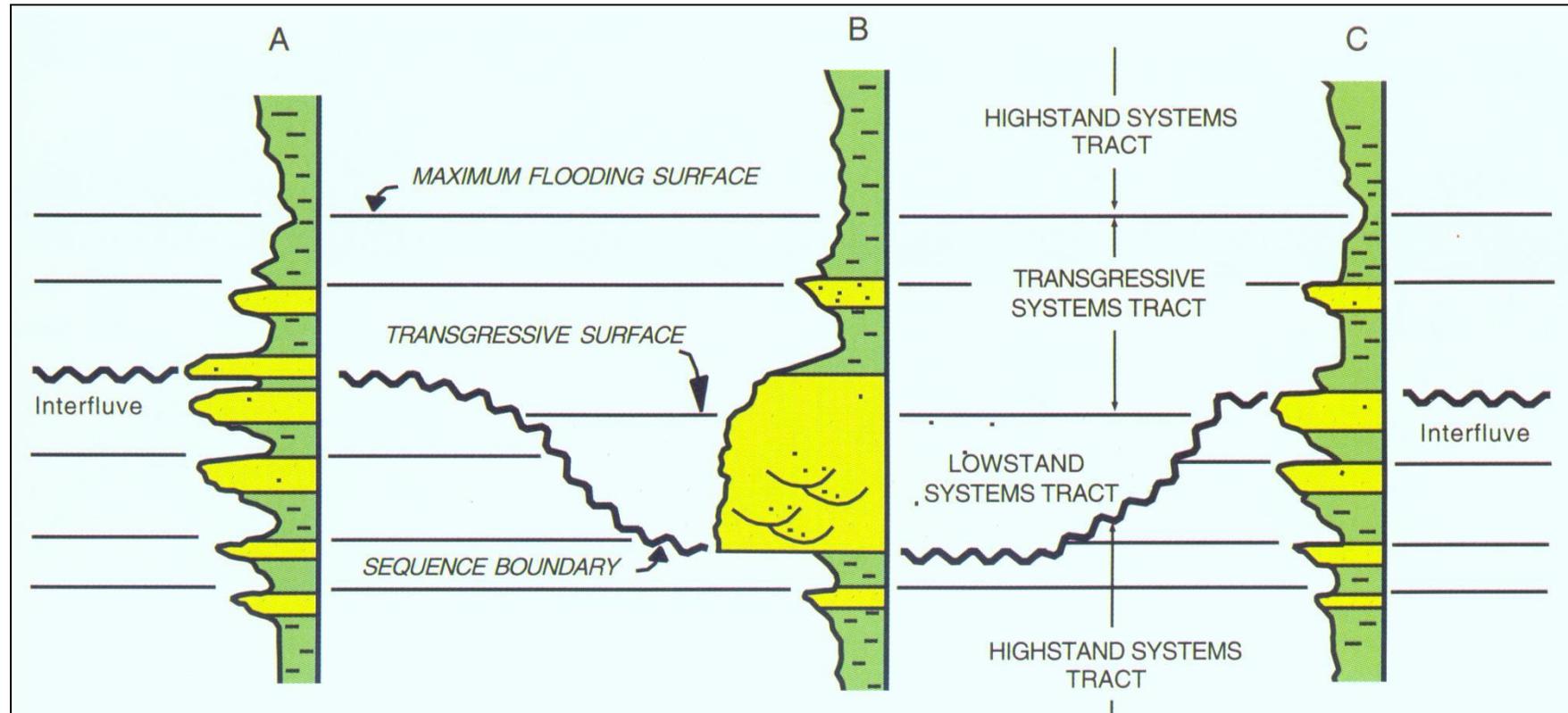
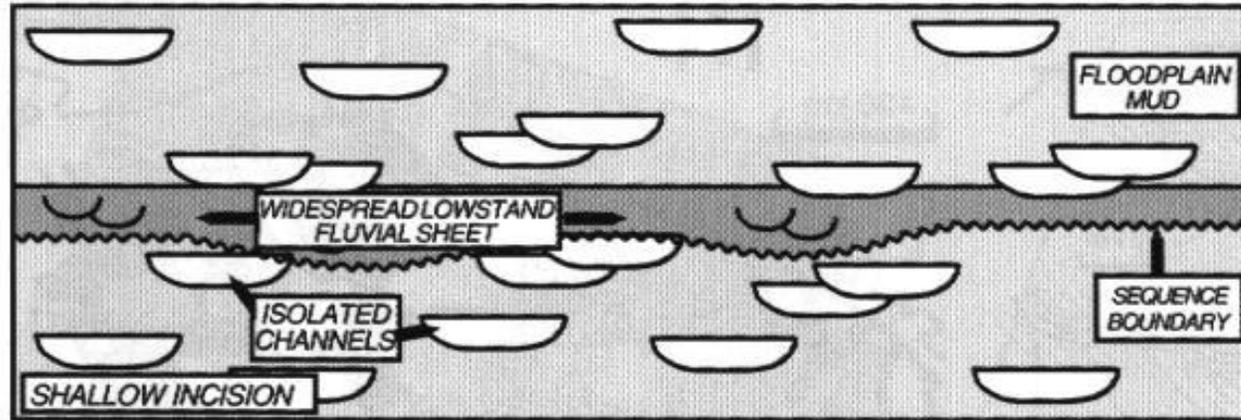


Fig. 2.19. Facies y patrones de registros en un valle inciso y en las áreas interfluviales adyacentes. Las superficies claves mostradas incluyen los límites de secuencia, la superficie de transgresión y la superficie de máxima transgresión o máxima inundación. Dentro del valle inciso (pozo B), el límite de secuencia generalmente es fácil de identificar debido a que el canal fluvial inciso ha erosionado al previo sistema de nivel alto (HST), caracterizado por depósitos costa-afuera o próximo-costeros. En el área interfluvial (pozos A y C) no hay depósitos de nivel bajo (LST) y el sistema transgresivo (TST) suprayace directamente al sistema de nivel alto (HST). En esas localidades, es necesario ubicar los límites de secuencia por correlación con pozos que estén dentro del valle inciso. (Posamentier and Allen, 1999)



A)



B)

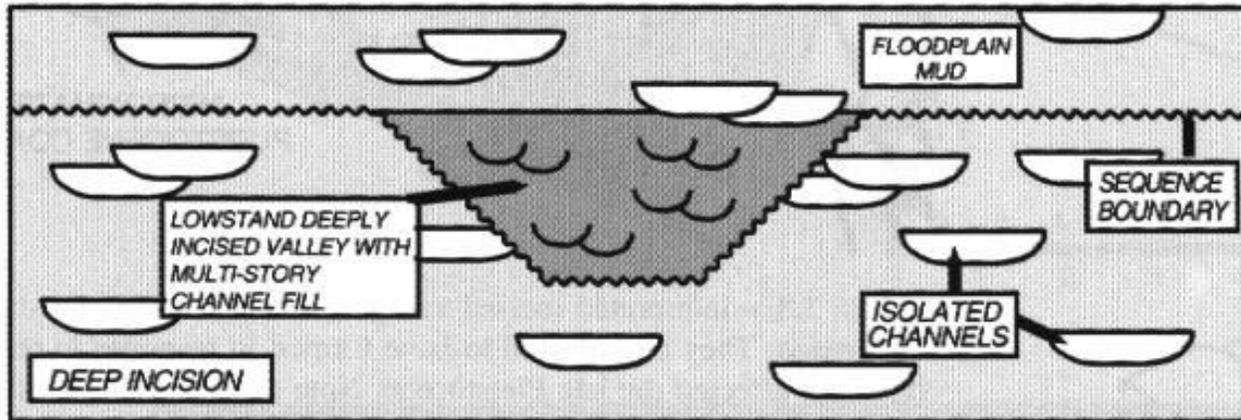


Fig. 2.20. Ejemplos hipotéticos de incisión fluvial somera y profunda asociada con una caída del nivel relativo del nivel del mar. A) La incisión fluvial somera usualmente forma amplios mantos arenosos de depósitos de canales fluviales amalgamados. La base de esos mantos es comunmente una superficie de erosión regional de bajo relieve. Esos depósitos pueden formar unidades arenosas continuas por decenas a cientos de kilómetros a lo largo del rumbo como también del buzamiento. B) La incisión fluvial profunda generalmente produce un estrecho y profundo valle inciso con relieve alto. El relleno fluvial de esos valles puede ser muy complejo, con terrazas fluviales engranadas relacionadas a pequeñas variaciones del nivel del mar. (Posamentier and Allen, 1999)



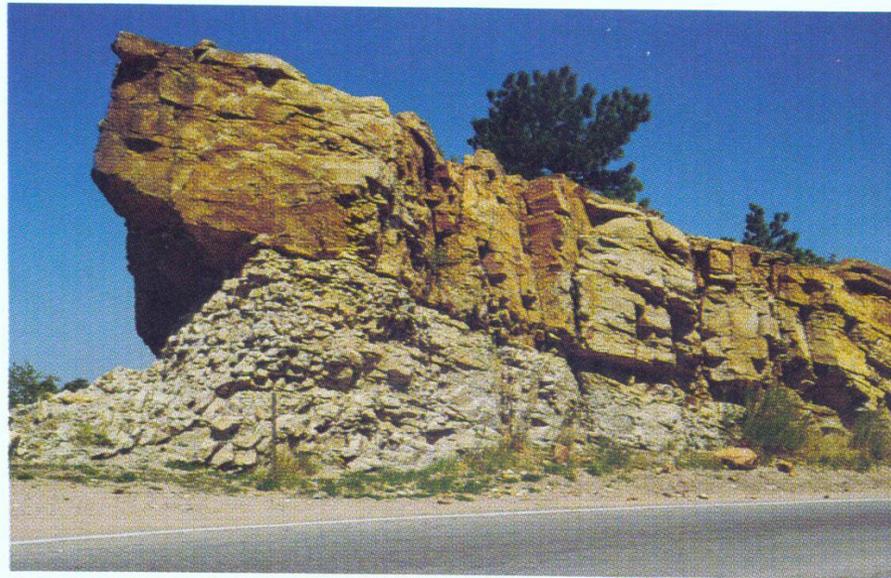
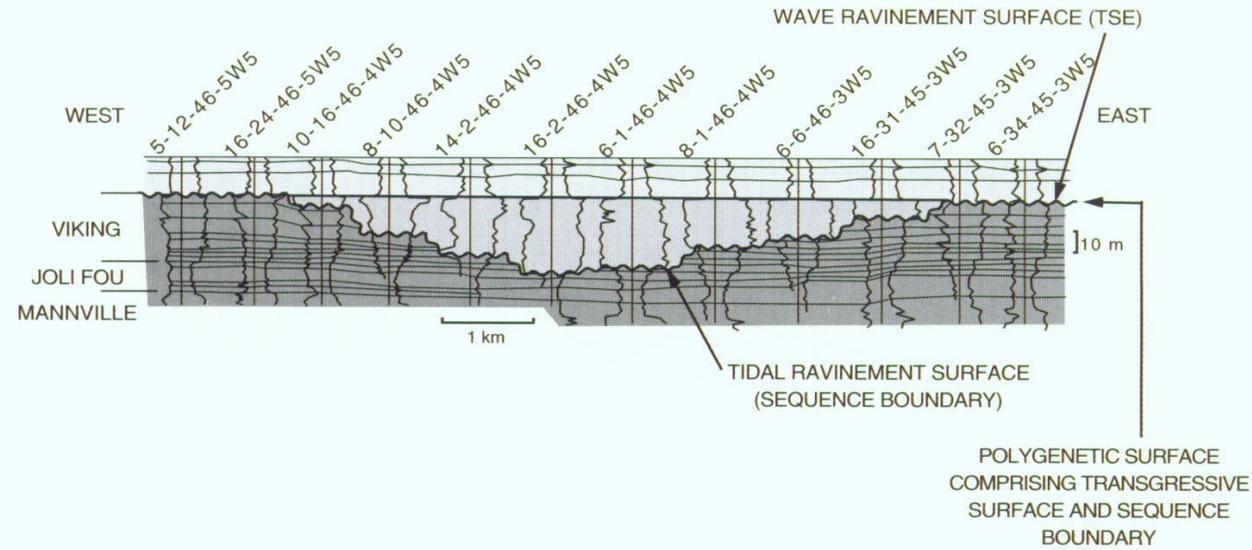


Fig. 2.21. Arriba, sección de correlación mostrando el relleno fluvial - estuarino de un valle inciso. Abajo, ejemplo en afloramiento de depósitos estuarinos de relleno de valle inciso suprayaciendo discordantemente a los depósitos de plataforma. Formación Muddy, Colorado, USA.



### **Complejo de progradación de nivel bajo o “Lowstand Prograding complex”**

Corresponde al conjunto superior del sistema de nivel bajo, de carácter progradante y que es generalmente depositado al momento en el que el nivel eustático permanece bajo, aunque en lento proceso de ascenso. Los sedimentos son aportados a través de deltas y depositados hacia el borde de la plataforma y sobre el talud continental (Fig. 2.22).

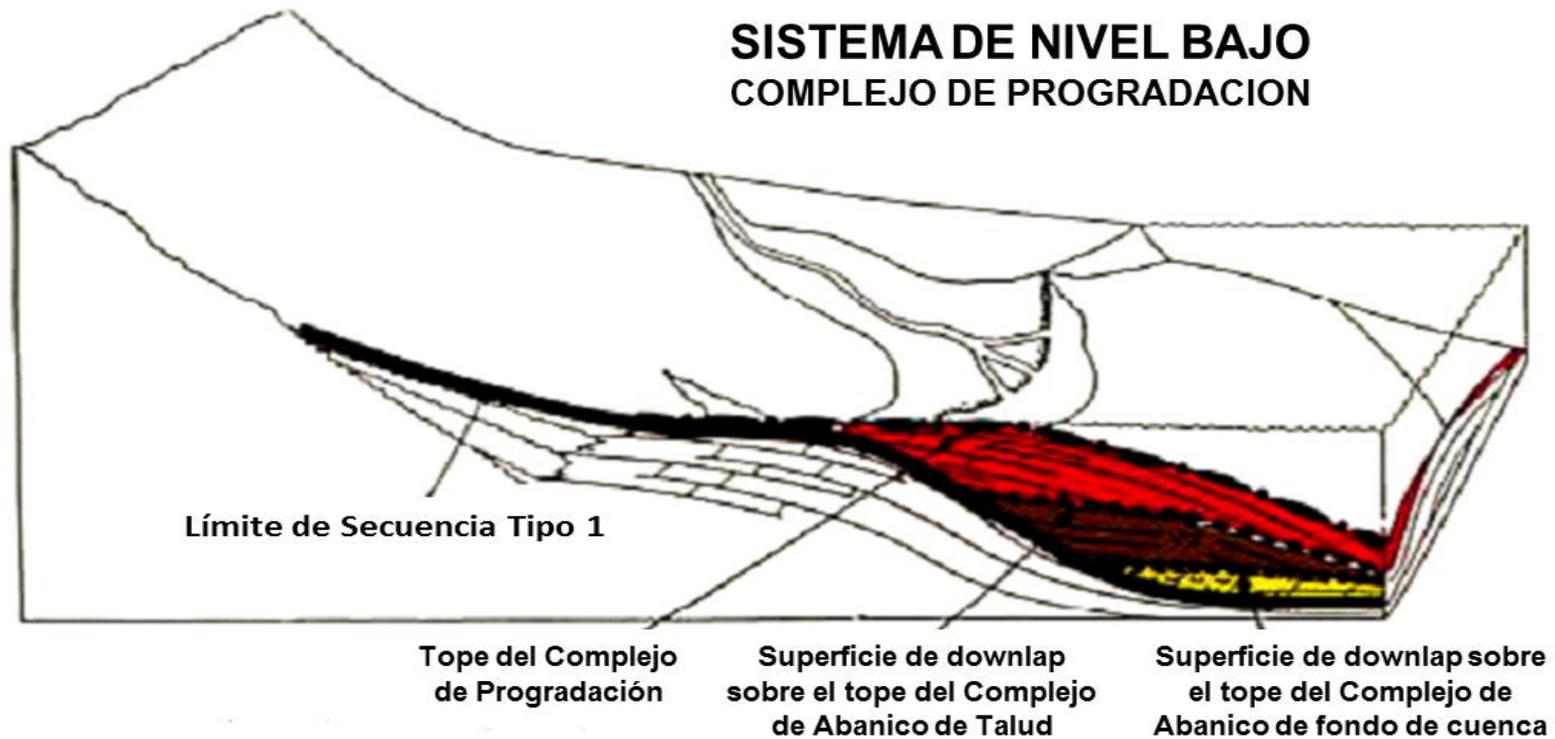


Fig. 2.22. Cuña de progradación de nivel bajo. (Tomado de Vail y Wornardt ,1993).



## ***Cuña de borde de plataforma o “Shelf margin wedge”***

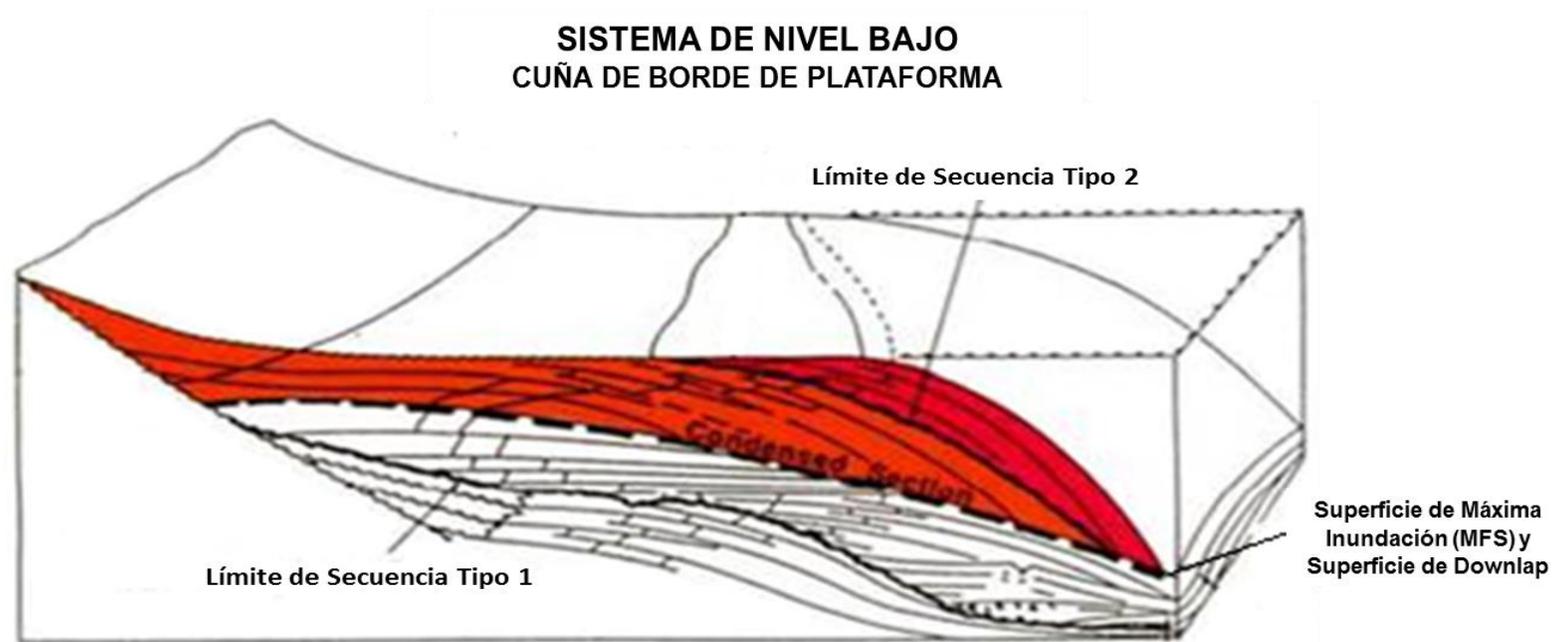


Fig. 2.23. Cuña de borde de plataforma (*Shelf margin wedge*) la cual corresponde al complejo de progradación de nivel bajo de una secuencia tipo 2. Se crean sobre un límite de secuencia tipo 2, ocupando el espacio en la plataforma que aún queda sumergido durante el descenso del nivel del mar. Se separa del sistema de nivel alto (HST) infrayacente por una leve erosión y posiblemente, por un cambio en el patrón de apilamiento de las parasecuencias. (Tomado de Vail y Wornardt ,1993).



## SISTEMA TRANSGRESIVO

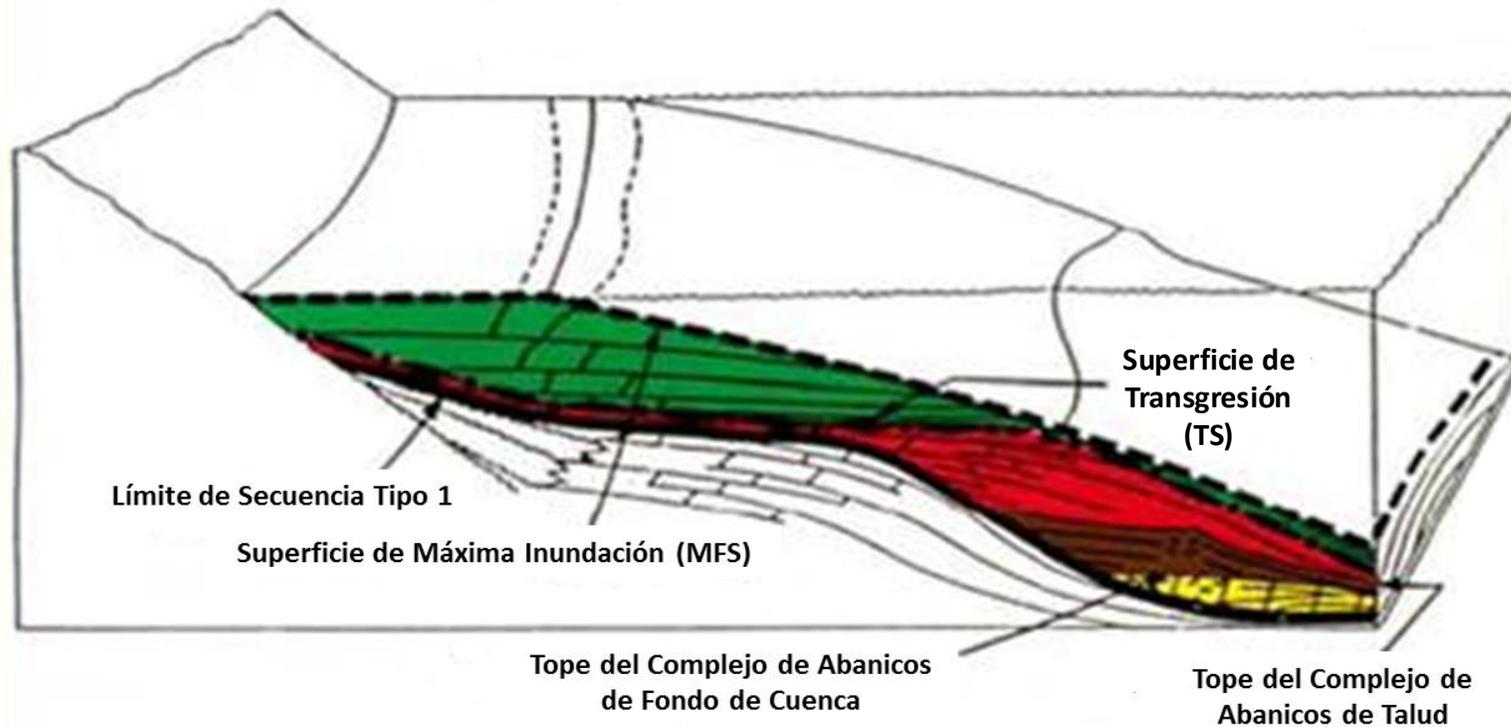


Fig. 2.24. Bloque diagramático de un sistema transgresivo (TST), mostrando sus límites y otros sistemas depositacionales asociados . (Tomado de Vail y Wornardt ,1993).



## Sección condensada o “Condensed section”

Consiste en un delgado intervalo cronoestratigráfico, compuesto por sedimentos marinos pelágicos y hemipelágicos, depositados a una tasa de aporte de sedimentos extremadamente baja sobre la plataforma, el talud y el plano abisal, durante un período de máximo aumento del nivel relativo del mar y una máxima transgresión de la línea de costa. Estas secciones se caracterizan por sus abundantes minerales autigénicos y amplia diversidad de fósiles planctónicos (Fig. 2.25). La superficie de máxima inundación dentro de una sección condensada provee la correlación cronoestratigráfica entre los sedimentos de la plataforma y el talud.

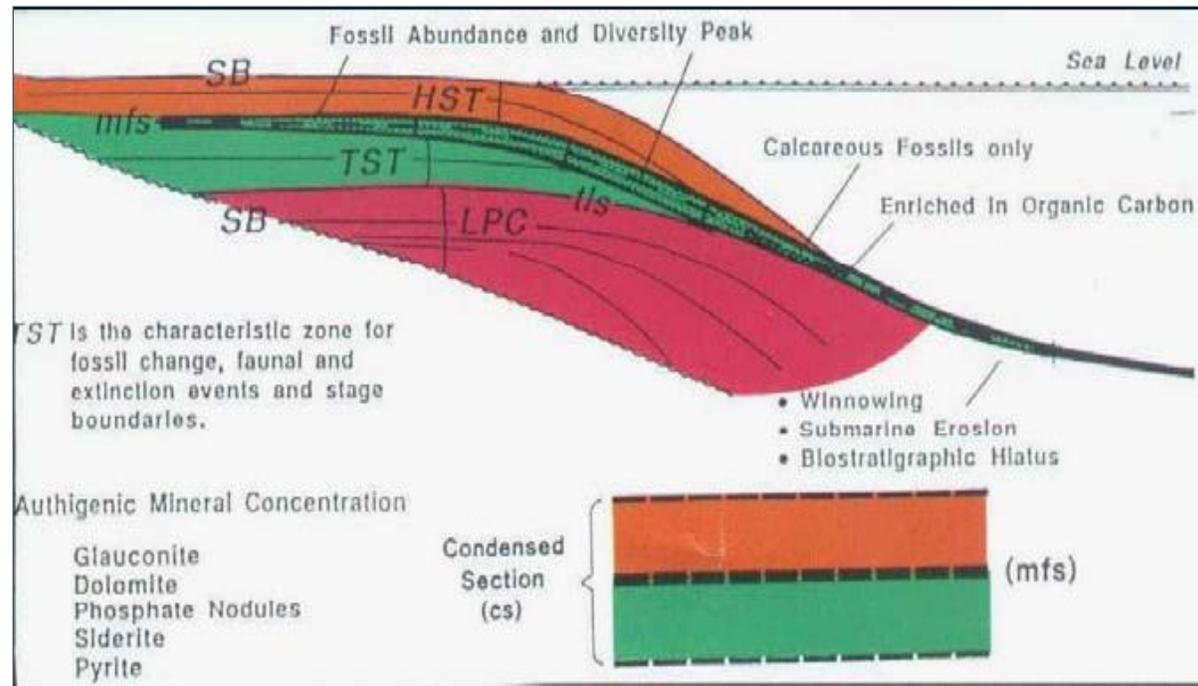


Fig. 2.25. Diagrama esquemático mostrando la ubicación y las características de la sección condensada y la superficie de máxima inundación (*mfs*). (Tomado de Vail y Wornardt, 1993).



Sitio Depositacional	Respuesta Depositacional
Terrenos emergidos	El aumento eustático y la transgresión neta de la línea de costa sobre la plataforma produce que los perfiles de equilibrio del drenaje fluvial se eleven progresivamente. Esto resulta en ríos anegados y en una reducción en el transporte fluvial de los sedimentos clásticos más gruesos. A nivel de parasecuencia, los cambios eustáticos permiten el aporte intermitente de clásticos gruesos a la plataforma, donde son incorporados en las unidades retrogradacionales típicas de la transgresión .
Plataforma	Se observa una amplia variedad de respuestas depositacionales en los depósitos transgresivos plataformales, pero las unidades retrogradacionales son la norma. La respuesta sísmica exhibe típicamente ciclos de solapamiento (onlapping) sobre el límite discordante de la secuencia en la base del sistema transgresivo. En núcleos de pozos y en afloramientos se observa un cambio abrupto de procesos fluviales a costeros en el límite secuencial.
Borde de plataforma	La transgresión inicial resulta en el retrabajo de las porciones superiores de los deltas de borde de plataforma en depósitos de resago (marine lag deposits). La subsecuente depositación se limita a sedimentos de grano fino, generalmente en delgadas capas, las cuales son los equivalentes a mayor profundidad de los depósitos transgresivos sobre la plataforma.
Talud y Piso de cuenca	Es típica la sedimentación muy lenta de sedimentos finos a muy finos. Los sedimentos pelágicos o hemipelágicos comienzan a desarrollar la sección condensada.

Fig. 2.26. Tabla resumen sobre las características depositacionales de los Sistemas Transgresivos (según Mitchum y Sangree, 1998)



## ***Sistema de nivel alto o “Highstand systems tract”***

Son los sistemas sedimentarios más jóvenes dentro de las secuencias tipo 1 y 2. Estos sistemas son depositados después de una superficie de máxima transgresión y antes de un límite de secuencia (Fig. 2.27)

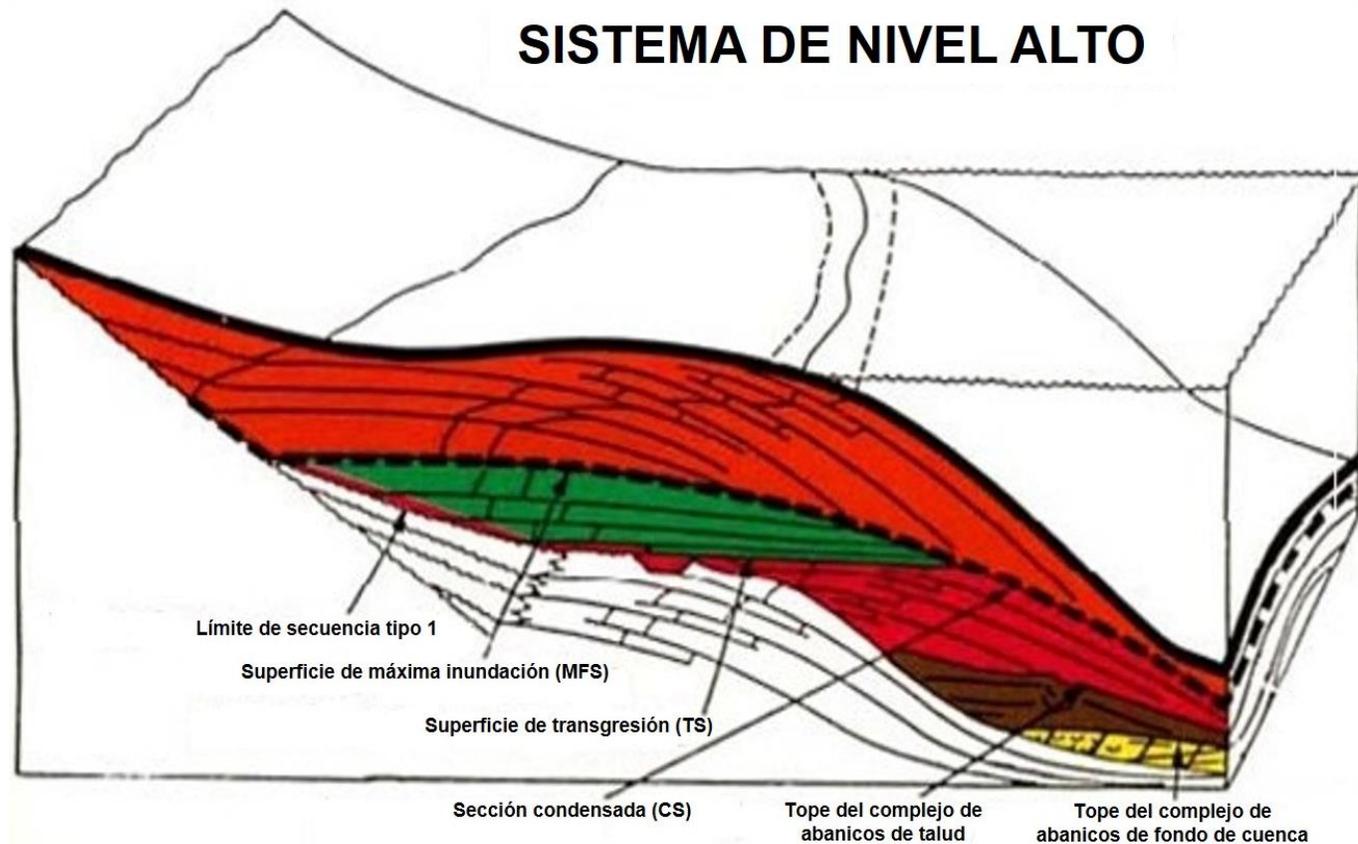


Fig. 2.27. Sistema de nivel alto (HST). (Tomado de Vail y Wornardt , 1993).



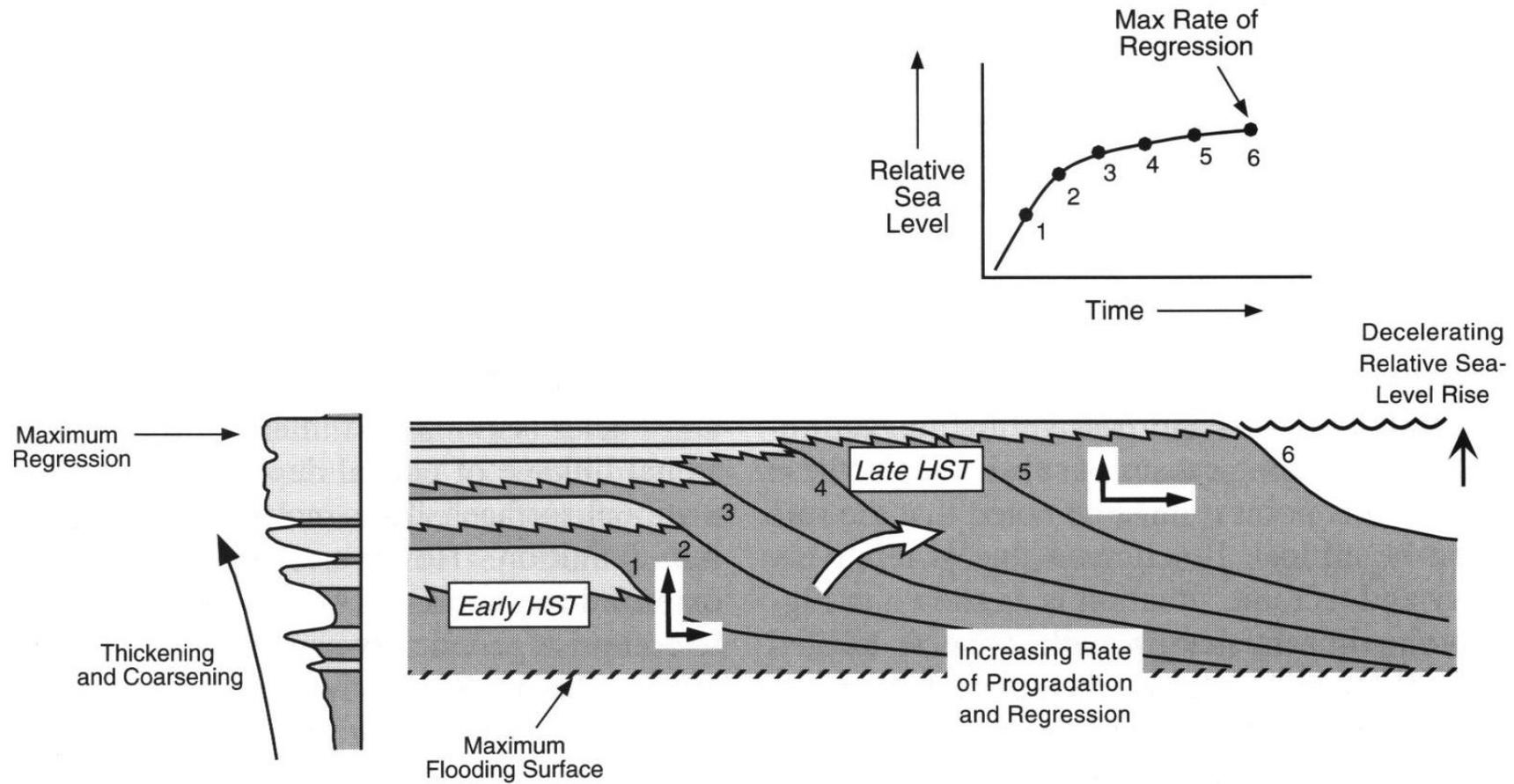


Fig. 2.28. Efectos de un desaceleramiento del ascenso relativo del nivel del mar (asumiendo flujo de sedimentos constante) sobre los patrones de apilamiento de los depósitos costeros y de plataforma. (Tomado de Posamentier and Allen, 1999)



# SECUENCIAS ESTRATIGRÁFICAS

**Superficies Estratigráficas Claves**



## PRINCIPALES LIMITES DE SECUENCIAS ESTRATIGRÁFICAS

Las secuencias depositacionales comprenden principalmente dos tipos de límites estratigráficos (Fig. 2.29):

- 1. Discordancias como límites de secuencia (SB)**
  - ✓ superficies de exposición subaéreas (“discordancias”)
  
- 2. Superficies de cambio de sistema depositacional**
  - ✓ superficies de máxima regresión (MRS)
  - ✓ superficies de transgresión (TS)
  - ✓ superficies de máxima inundación (MFS)



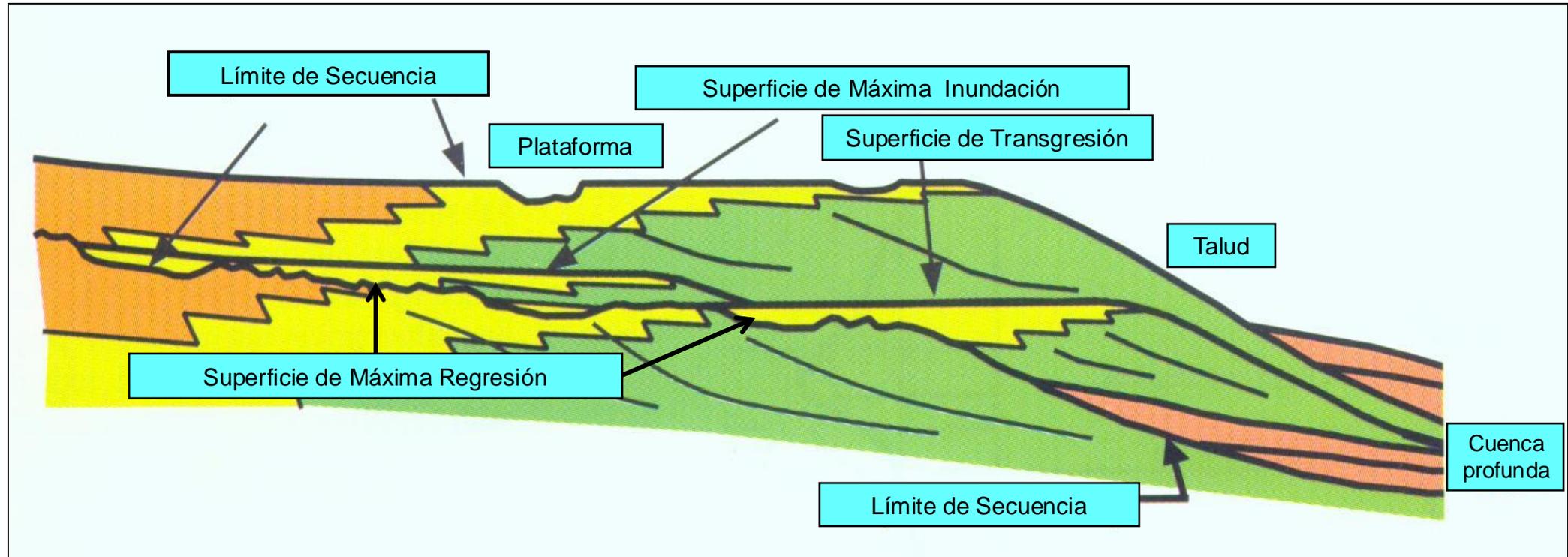


Fig. 2.29. Corte esquemático de un margen continental ilustrando las superficies estratigráficas claves en las secuencias: límites de secuencia (superficies de erosión subaérea), superficie de máxima regresión, superficie de transgresión y superficie de máxima inundación. Esas superficies sirven para subdividir las secciones estratigráficas en secuencias y sistemas deposicionales. (Modificado de Posamentier and Allen, 1999)



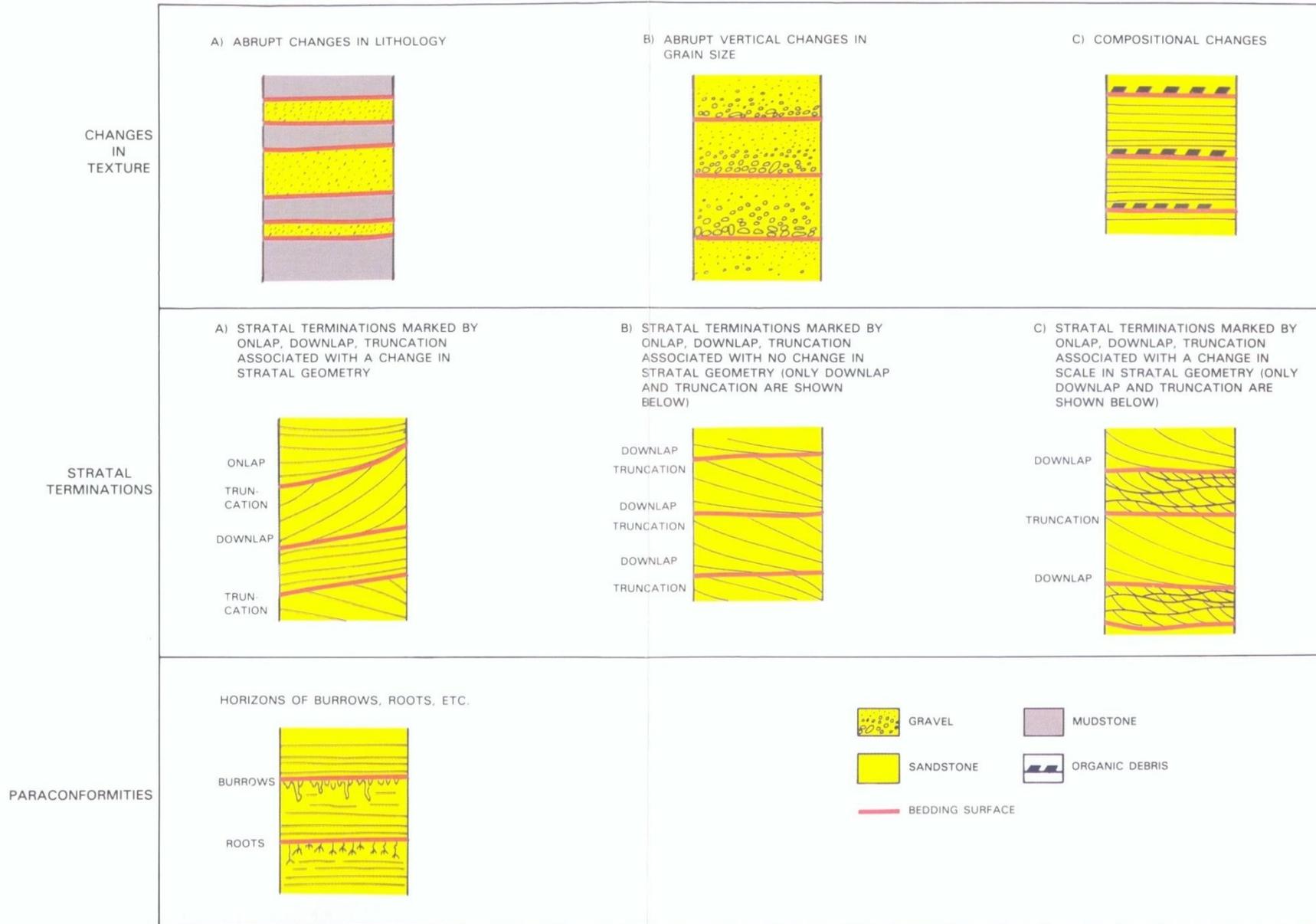


Fig. 2.30. Criterios para reconocer superficies estratigráficas (Tomado de Van Wagoner *et al.*, 1990)



## RECONOCIMIENTO DE SUPERFICIES ESTRATIGRÁFICAS CLAVES

- Cambios abruptos de facies (litología y contenido fosilífero): mediante sedimentología y paleontología a partir de: análisis en afloramientos, núcleos, registros de pozos (GR total y espectral).
- Expresión física de la superficie, subaérea o submarina (erosiva o no, mineralizada): afloramientos, núcleos, registro de imágenes.
- Presencia de hiatos importantes y secciones condensadas: mediante bioestratigrafía en afloramientos y núcleos y con pozos (registro GR total y espectral)
- Geometría de los paquetes sedimentarios y discordancias: en afloramientos y sísmica.



## **SUPERFICIES CLAVES COMO LÍMITES DE SECUENCIAS ESTRATIGRÁFICAS Y SISTEMAS DEPOSITACIONALES EN CLÁSTICOS**

- **Superficies de erosión subaérea y submarina**
- **Superficies de inundación**
- **Superficies de cambios de litofacies**
- **Superficies de cambios de biofacies**
- **Superficies de exposición y condensación continental: paleosuelos y costras minerales**
- **Superficies de condensación marina: niveles mineralizados como hardgrounds**





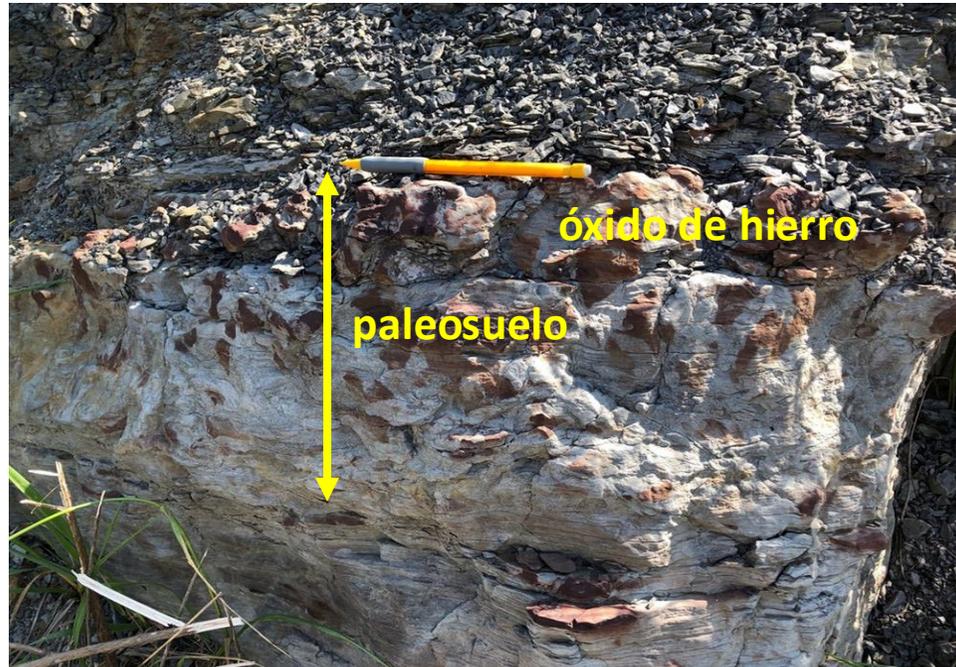
**A**



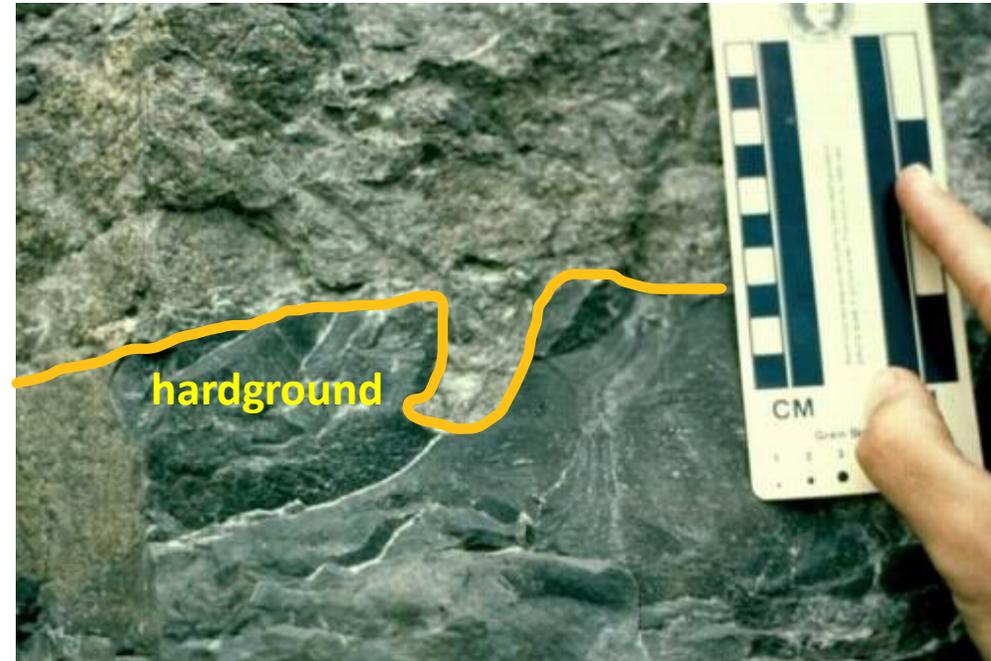
**B**

Fig. 2.31. Dos ejemplos de superficies de erosión o “discordancias”, como límites de secuencias. A. Superficie de incisión canalizada desarrollada en facies de lodolita marina. B. Incisión y erosión en el tope de una sucesión marina por areniscas fluviales (unidad marrón sobre la línea amarilla). Tomado de <https://strata.uga.edu/sequence/surfaces>.





**A**



**B**

Fig. 2.32. Dos ejemplos de superficies de exposición subaérea continental y un hardground marino. A. paleosuelo en areniscas de grano fino con mineralización de óxido de hierro al tope. B. Hardground marino fosfatizado con presencia de bioturbación. Tomado de <https://strata.uga.edu/sequence/surfaces>



# **SUPERFICIES CLAVES COMO LÍMITES DE SECUENCIAS ESTRATIGRÁFICAS Y SISTEMAS DEPOSITACIONALES EN CARBONATOS**

## **Superficies de exposición subaérea y de alta evaporación:**

- superficies kársticas
- superficies de brechas por disolución
- niveles dolomíticos y/o evaporíticos
- niveles de caliche
- niveles altamente bioturbados

## **Superficies de cambios abruptos de litofacies (textura depositacional), de biofacies y presencia de hardgrounds.**

- superficies de transgresión y/o máxima regresión
- superficies de máxima inundación
- superficies de ahogamiento
- niveles endurecidos (hardgrounds)





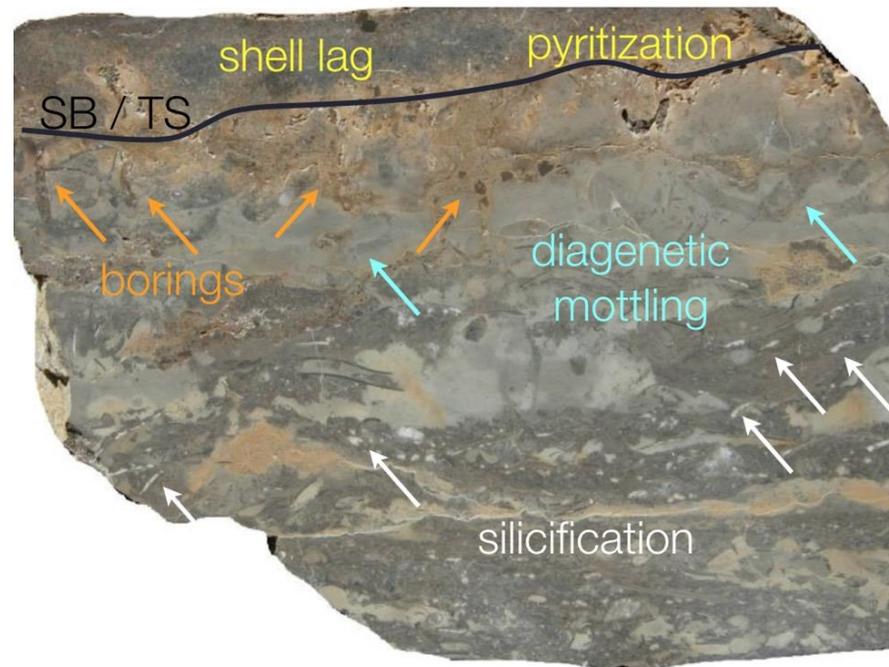
**A**



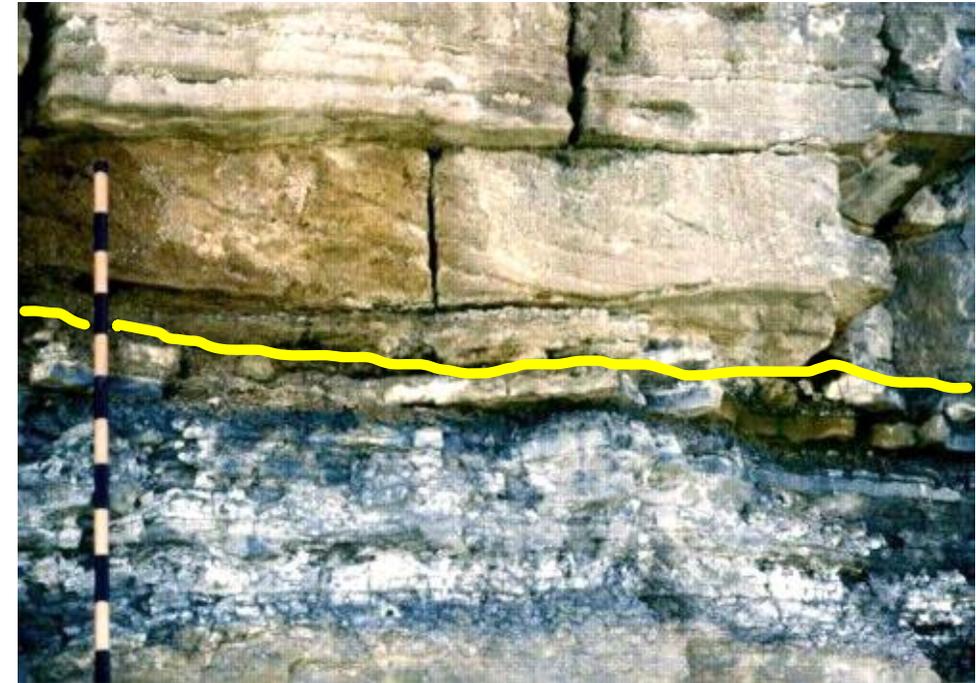
**B**

Fig. 2.33. Dos ejemplos de superficies de erosión subaérea como límites de secuencias. A. Brecha de caliza en una superficie kárstica. B. Sutil acuñaamiento entre calizas sobre superficie erosionada (línea amarilla). Tomado de <https://strata.uga.edu/sequence/surfaces>.





**A**



**B**

Fig. 2.34. Superficies de cambios abruptos de facies. A. Se muestra una losa de roca, de 15 cm de alto, que tiene características relacionadas con la exposición subaérea, que incluyen silicificación, moteado diagenético y cementos meteóricos, así como características relacionadas con la condensación estratigráfica, que incluye muy baja tasa de sedimentación, fosfatización y bioturbación (perforaciones). B. Una superficie de regresión forzada, representada por un cambio abrupto de litofacies de bajío de grainstone, con estratificación cruzada, que se superponen abruptamente a facies submareales profundas (mudstone-wackstone). La vara a la izquierda está marcada en incrementos de 10 cm. Tomado de <https://strata.uga.edu/sequence/surfaces>.



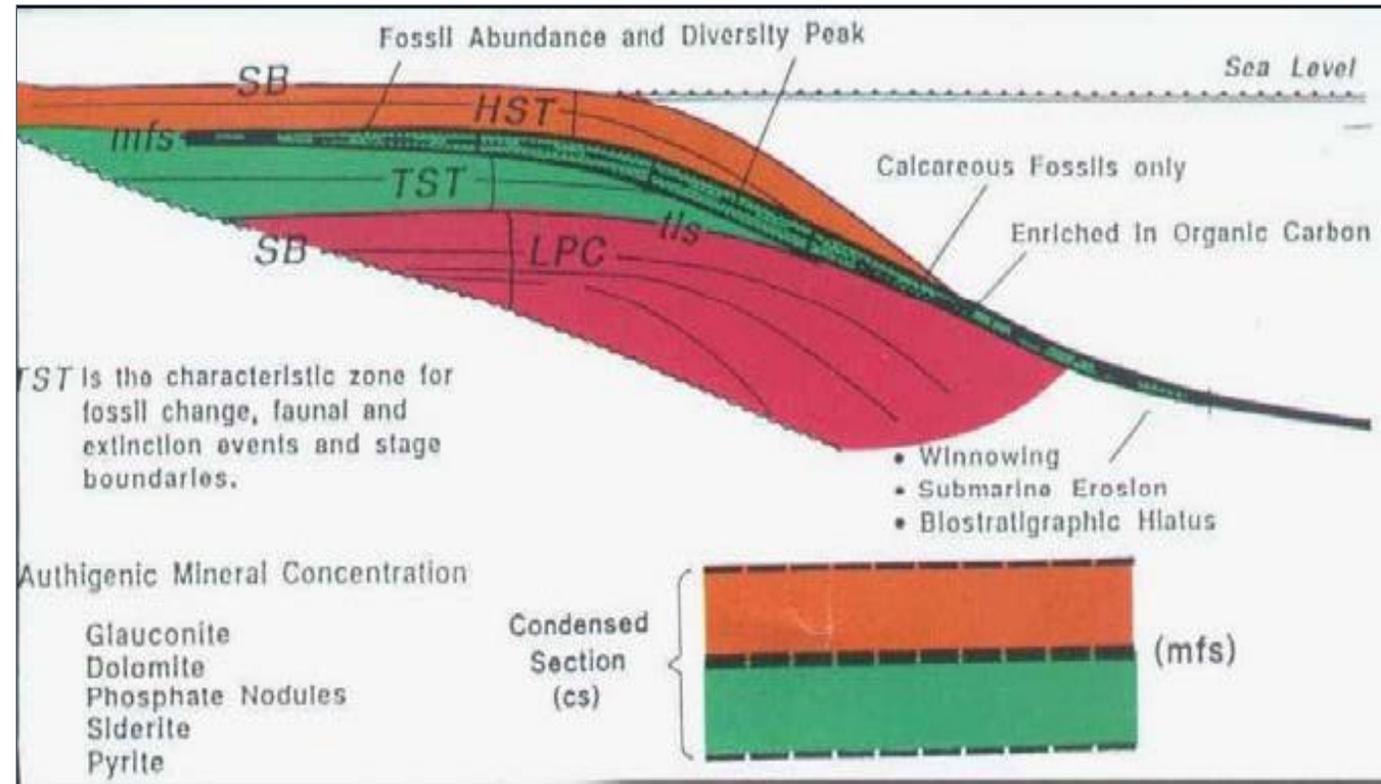


Fig. 2.35. Diagrama esquemático mostrando la ubicación y las características de la sección condensada y la superficie de máxima inundación (mfs). (Tomado de Vail y Wornardt, 1993).





**A**



**B**

Fig. 2.36. Dos ejemplos de superficies de inundación marina (A) y de transgresión (B). En la figura (A) el tronco seco del arbusto señala la superficie de inundación entre calizas de aguas someras y lutitas de aguas profundas suprayacentes. En la figura (B) una superficie transgresiva bien marcada separa los carbonatos claros poco profundos, subyacentes, de las lutitas y limolitas marinas de color oscuro suprayacentes. Tomado de <https://strata.uga.edu/sequence/surfaces>



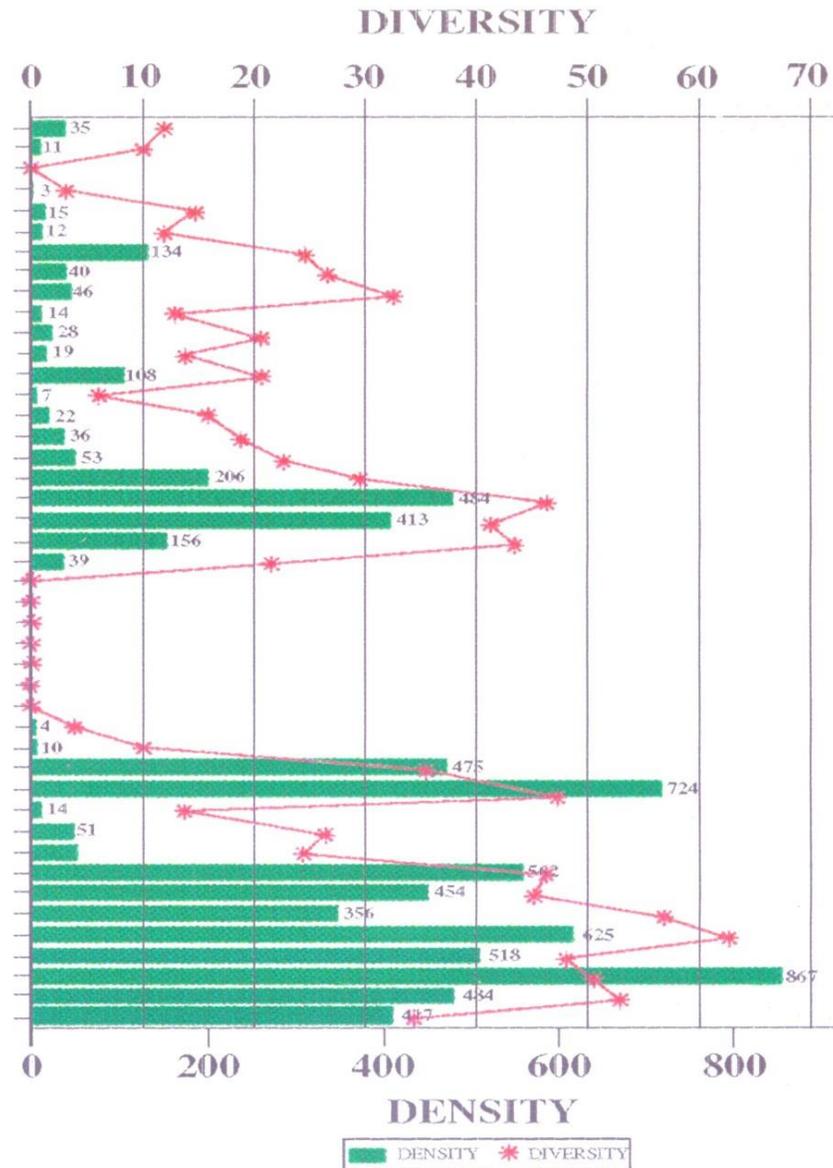


Fig. 2.37 Los gráficos de densidad o abundancia vs diversidad paleontológica son de gran utilidad para la ubicación de secciones condensadas y superficies de máxima inundación. (Tomado de *Stratigraphic Services International Limited*)



## Superficie de ravinamiento / transgresión

Es una superficie diacrónica erosiva, subacuática, asociada a la erosión que se produce en la línea de costa y áreas cercanas, cuando se produce un ascenso del nivel relativo del mar. Esta superficie se mueve paralela a la línea de costa y literalmente “rasura” los depósitos costeros preexistentes. Las cárcavas y horadaciones así formadas, son rellenadas con sedimentos arenosos reciclados durante el ascenso del mar. Usualmente los sedimentos erosionados tamaño limo o arcilla son transportados y redepositados hacia la cuenca. Las superficies de ravinamiento son comunmente atribuidas al movimiento transgresivo de la porción hacia tierra firme de los Sistemas Encadenados Transgresivos (ver Figuras 2.38, 2.39 y 2.40).

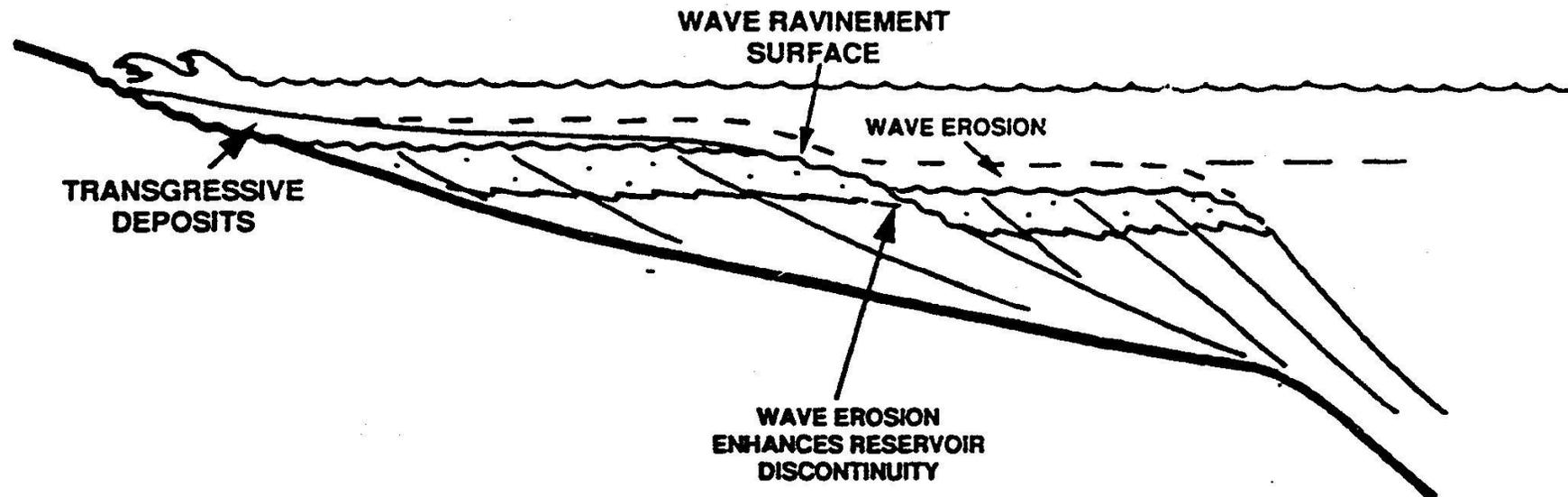


Fig. 2.38. Formación de una superficie de ravinamiento sobre una línea de costa de fuerte oleaje, durante un ascenso del nivel relativo del mar. Si la erosión del oleaje es importante, se puede interrumpir la continuidad lateral del potencial reservorio. (Tomado de Allen, 1997)



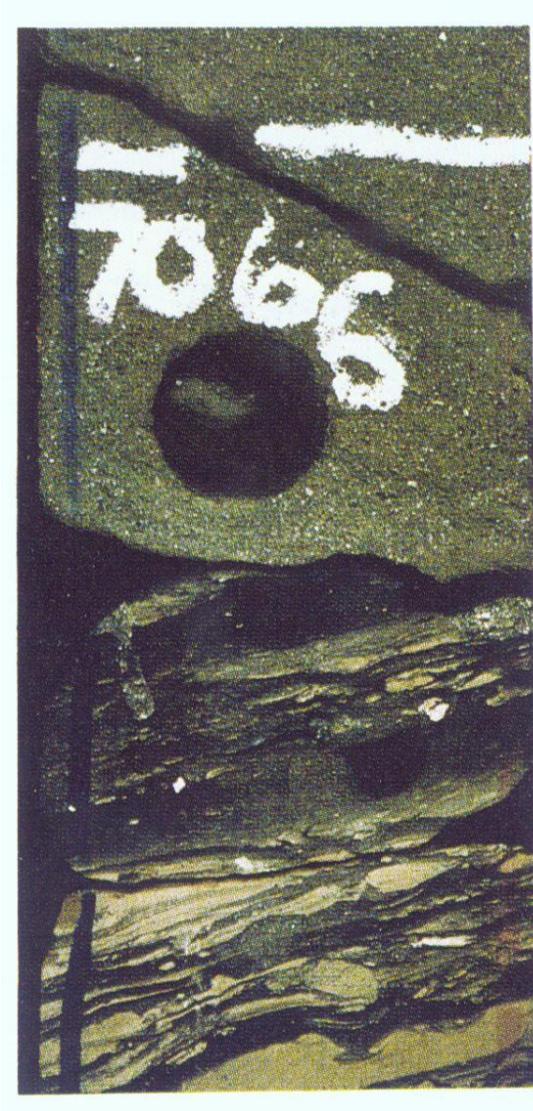
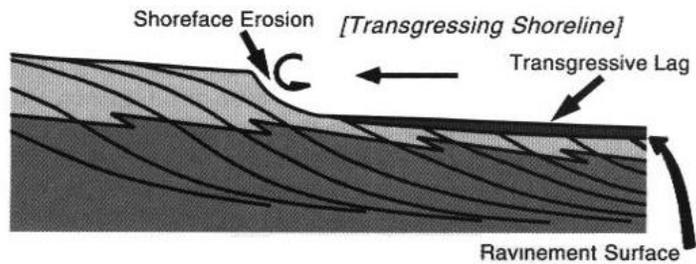


Fig. 2.42. Ejemplo de una superficie de ravinamiento y transgresión formada por erosión submarina, después que la erosión subaérea durante un Lowstand afectó la sucesión bioturbada infrayacente. (Tomado de Posamentier and Allen, 1999)



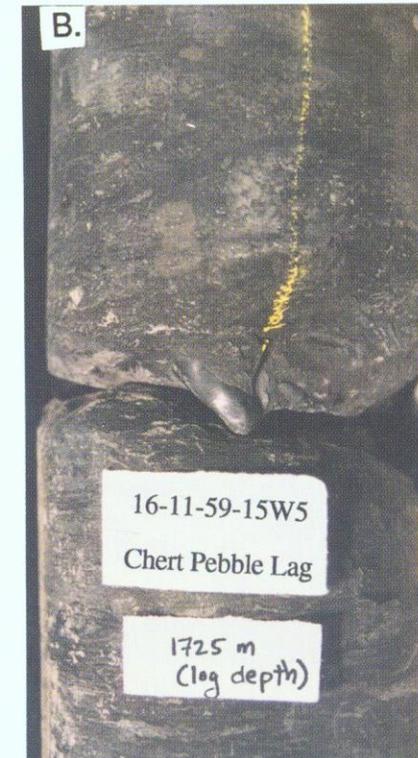
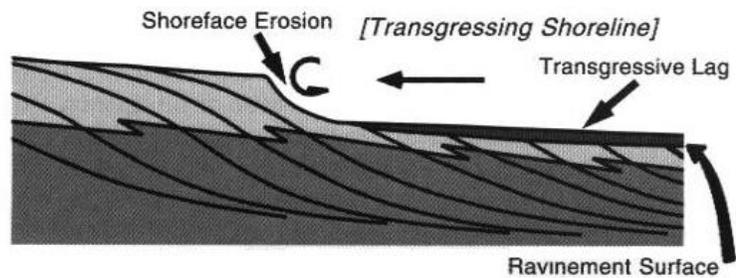


Fig. 2.40. Ejemplo de una superficie de ravinamiento y transgresión formada por erosión submarina, después que la erosión subaérea durante un Lowstand afectó la sucesión bioturbada infrayacente. (Tomado de Posamentier and Allen, 1999)



## ICHOLOGIA COMO HERRAMIENTA EN ESTRATIGRAFIA SECUENCIAL

**Las trazas trazas fósiles pueden ser percibidas como:**

1. Estructuras sedimentarias biogénicas.
2. Entidades paleontológicas y sedimentológicas

**Se utilizan para el análisis de sucesiones sedimentarias como:**

- a. ichnofacies: conjunto de trazas fósiles, de condiciones ambientales específicas.
- b. ichnofábrica: estructura y textura interna de un sedimento que fue bioturbado.



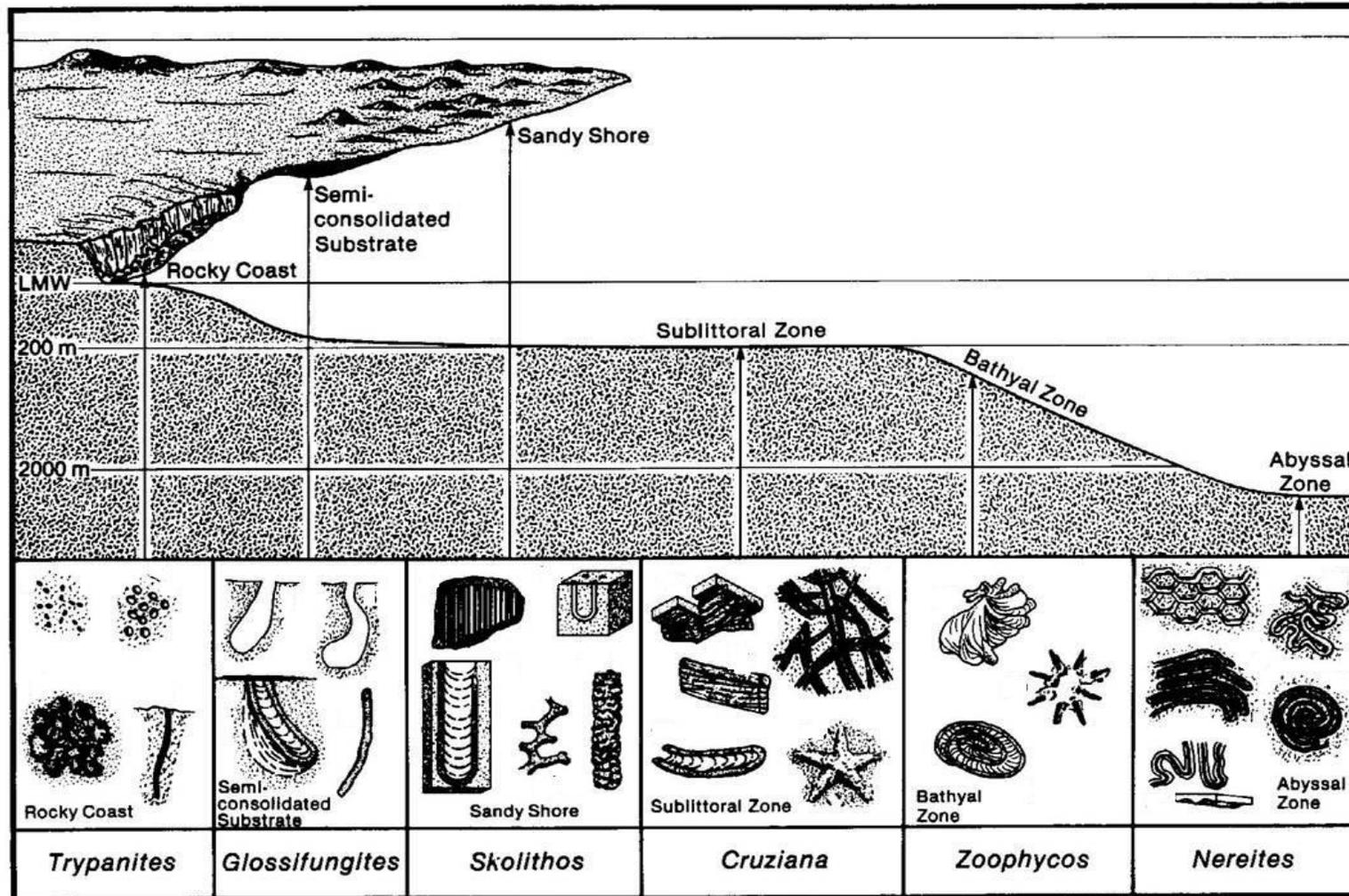


Fig. 2.41. Trazas fósiles típicas asociadas al ambiente donde se encuentran (Modificado de Seilacher, 2007)



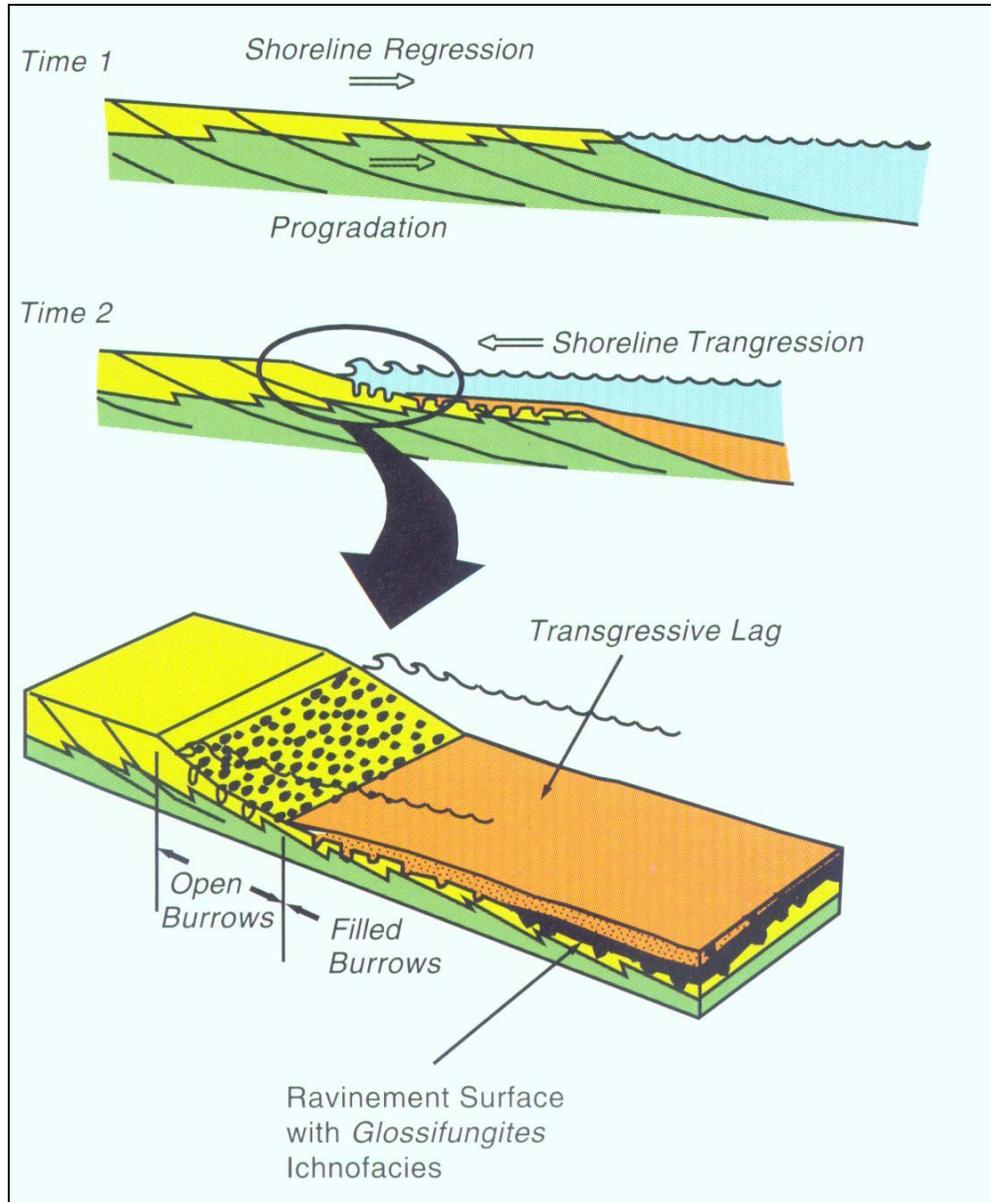


Fig. 2.42. Formación de la ichnofacies *Glossifungites* en asociación con erosión transgresiva. Durante la transgresión un lecho firme es expuesto en el piso marino por la erosión del oleaje sobre la parte superior del substrato progradacional. Muchas horadaciones se forman a medida que el lecho firme es colonizado en la zona de alta energía cercana a la línea de costa transgresiva. Subsecuentemente, como la transgresión continua y la batimetría aumenta, los depósitos transgresivos suprayacen la superficie bioturbada y se rellenan las horadaciones previamente formadas. (Tomado de Posamentier and Allen, 1999)

