

# ESTRATIGRAFÍA DE SECUENCIAS APLICADA A LA EXPLORACIÓN Y DESARROLLO DE LOS HIDROCARBUROS

Gerardo Pozo  
Msc. Geologist



Society of Petroleum Engineers

# ¿QUE ES LA ESTRATIGRAFÍA DE SECUENCIAS?

Es una metodología de análisis que desarrolla una sistemática para la subdivisión del relleno de una cuenca sedimentaria en Secuencias genéticamente relacionadas y limitadas en el tope por superficies llave

*La Estratigrafía de Secuencias estudia la interacción de las rocas dentro de un armazón Cronoestratigráfico*



# Evolución Histórica



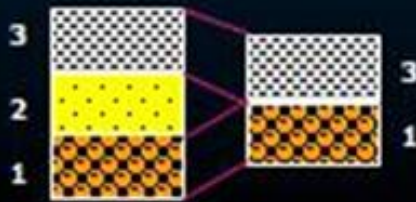
Superposición

Steno, 1669



Discordancia

Hutton, 1788



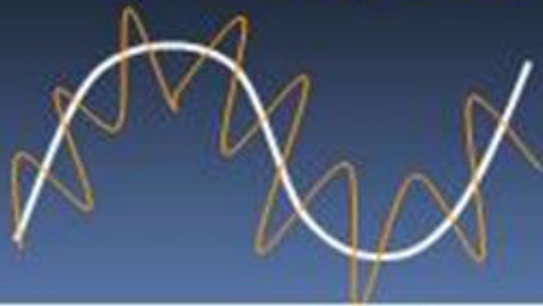
Sucesion faunal

Smith, 1800



Sucesion de facies

Walther, 1893



Ciclos

Barrell, 1917s

Sloss, 1960s

Wheeler, 1960s

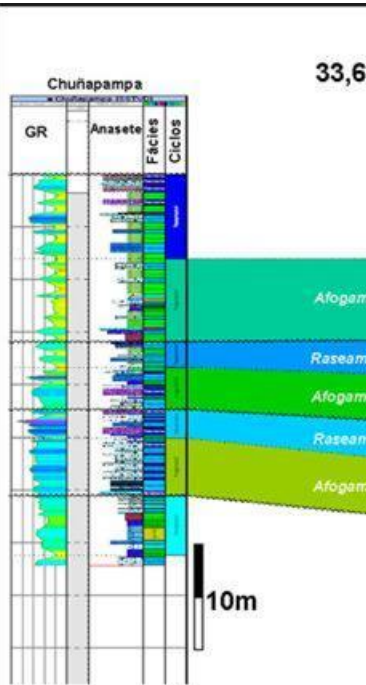
Vail, 1970s

- H
- ✓
- ✓
- G
- ✓
- ✓
- ✓
- ✓

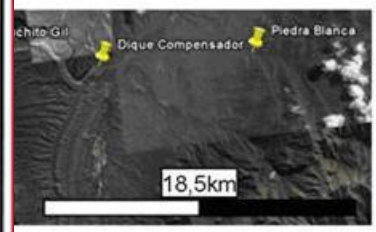
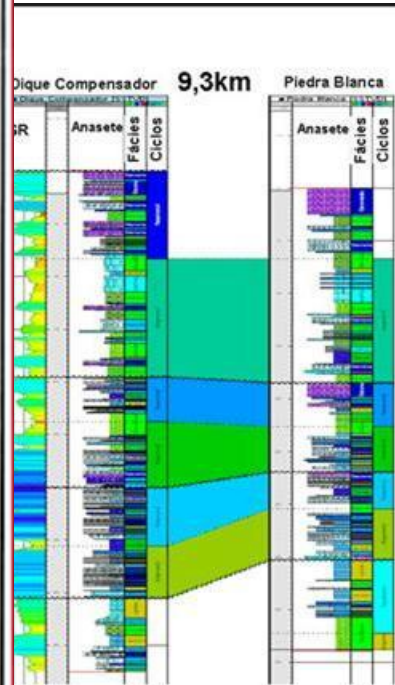
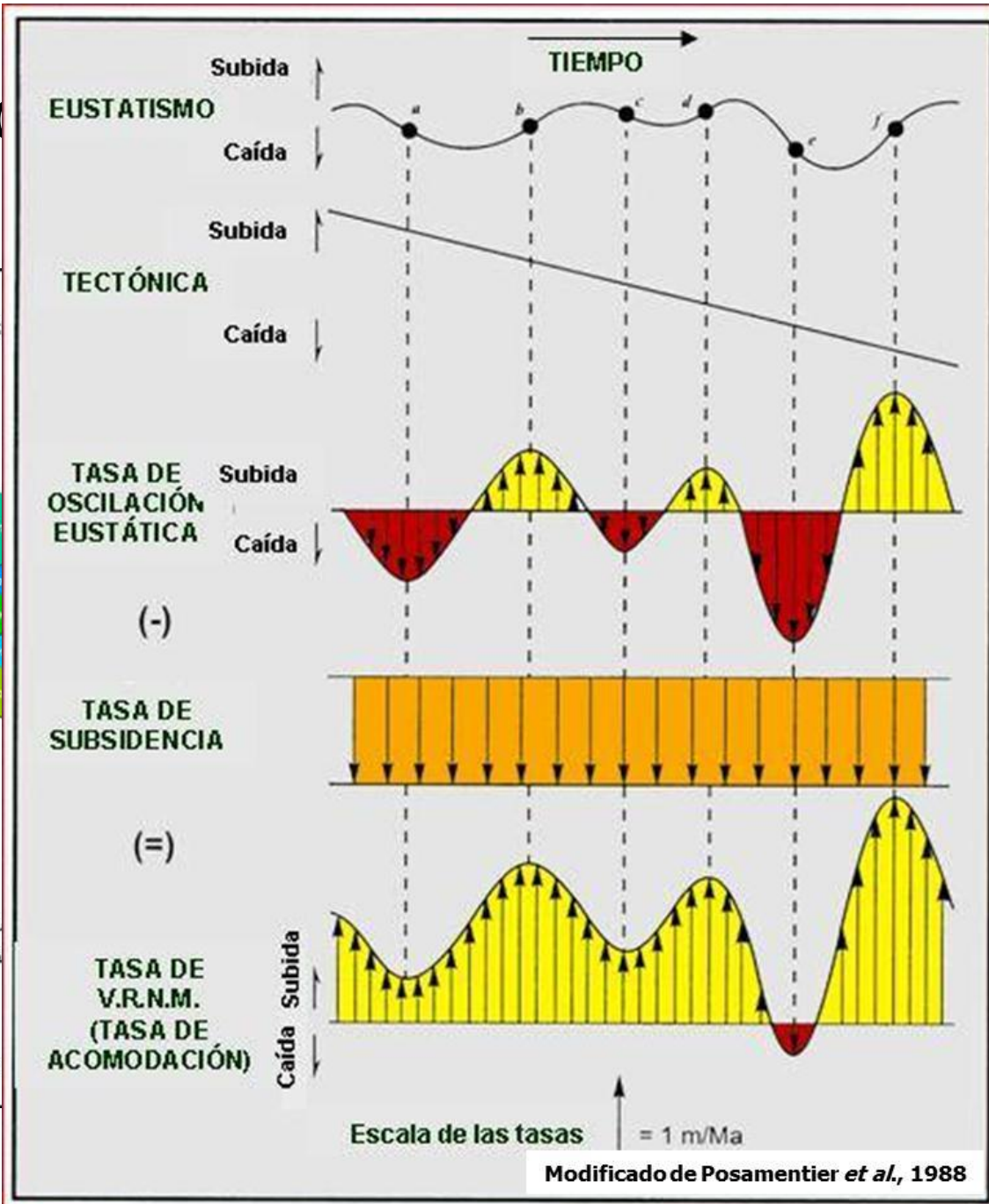


¿CUALES SON

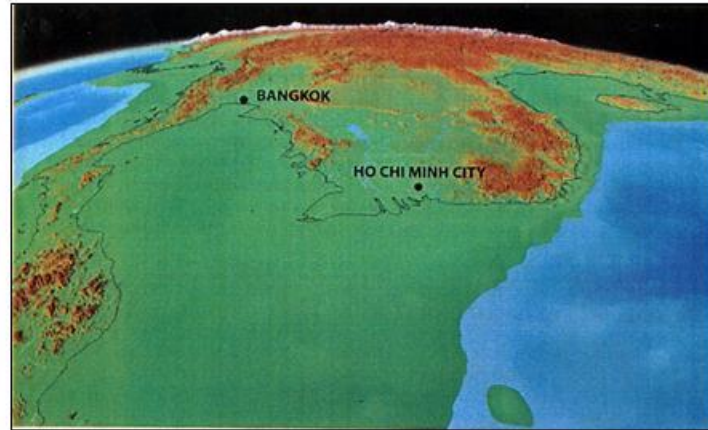
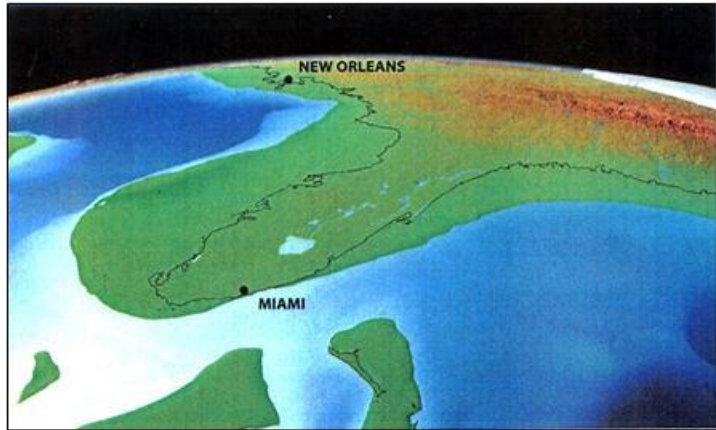
STRATIGRAFÍA



Lima Section

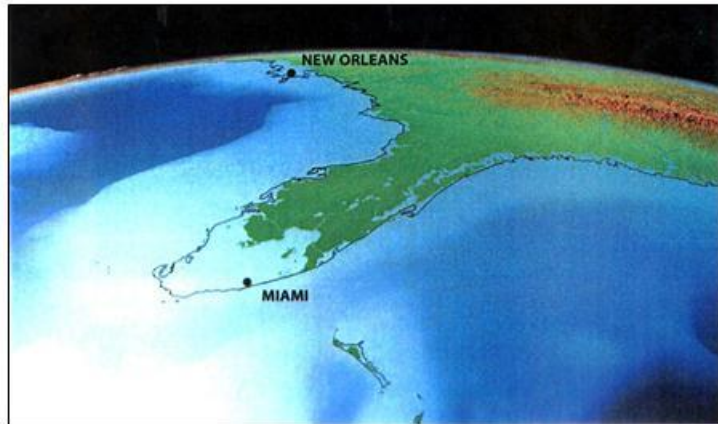


REGRESIÓN: Caída del nivel del mar, línea de costa avanza hacia el mar



Ultima era glacial  
Caída de ~140m  
hace 20,000 años

TRANSGRESIÓN: Subida del nivel del mar, línea de costa avanza hacia el continente



Simulación de  
subida de 5 m del  
nivel del mar actual



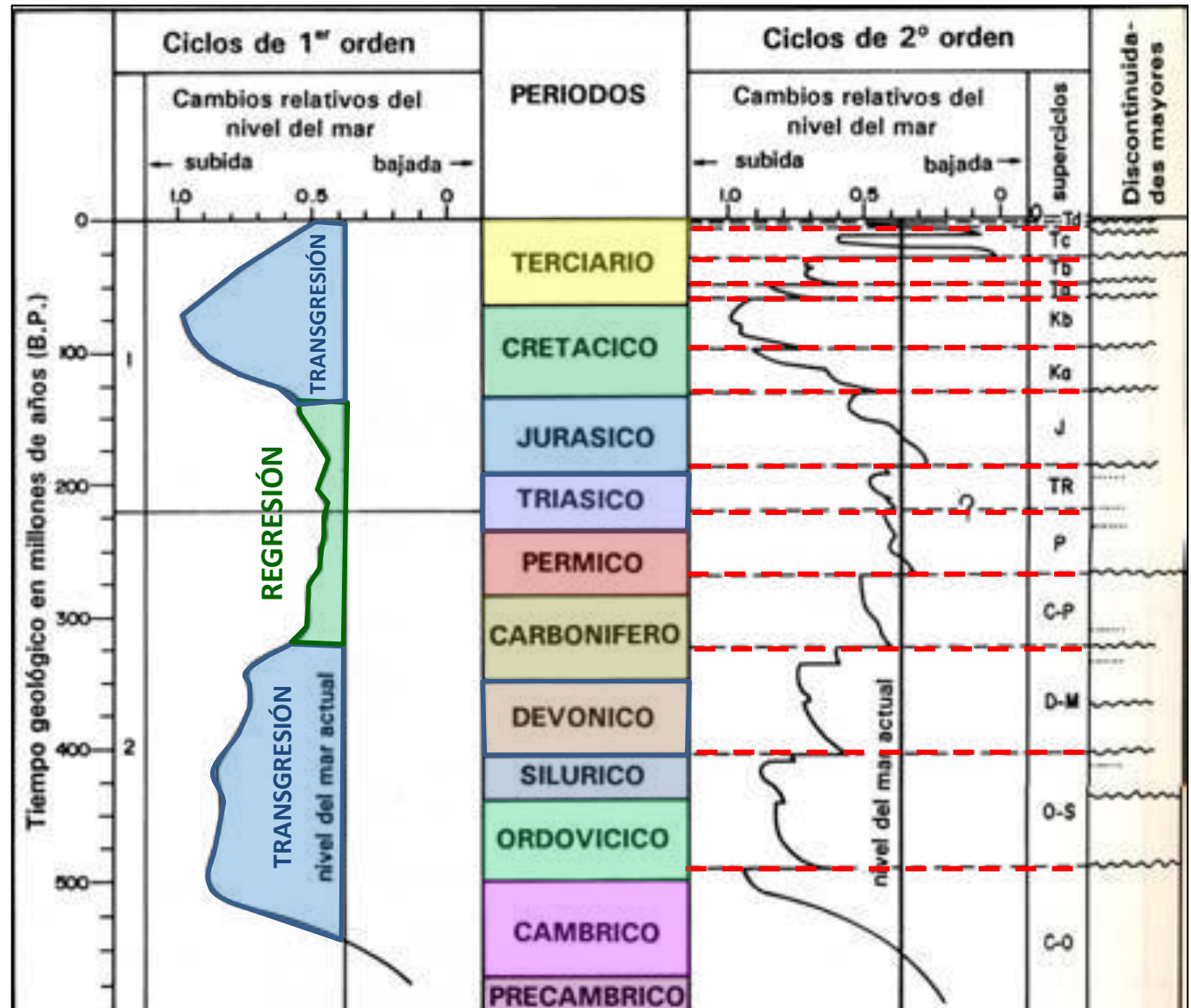
Lima Section

Eventos geológicos que se han dado durante la historia de la tierra.

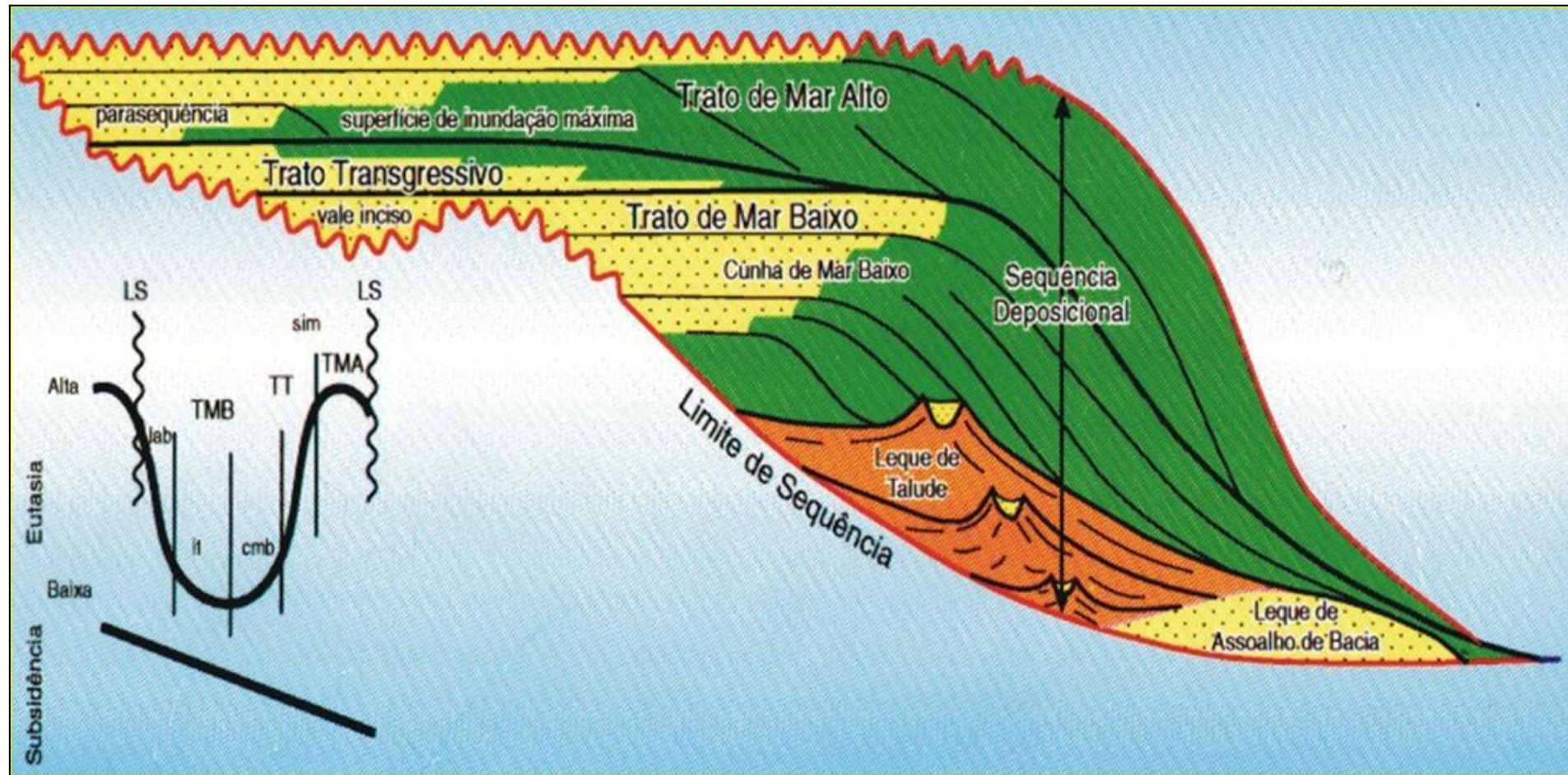
Scientific American, 2001

# SECUENCIAS ESTRATIGRÁFICAS DE 1<sup>ER</sup> Y 2<sup>DO</sup> ORDEN

Ciclos transgresivos y Regresivos visto a escala del tiempo geológico



# DEFINIÇÃO DE SEQUENCIA



# ES UNA METODOLOGÍA DE TRABAJO QUE:

- Da énfasis a las interrupciones en el registro estratigráfico
- Provee un almacén de elementos deposicionales que facilitan las reconstrucciones y predicciones de facies sedimentarias y de los puntos de control.
- El almacén vincula patrones de apilamiento a respuestas de variaciones del espacio de depositación y aporte sedimentario a lo largo del tiempo
- El almacén posibilita predecir la distribución de los sistemas deposicionales a través del tiempo y espacio.
- El análisis es continuamente mejorado con la integración de los procesos de sedimentología, con el entendimiento de las geometrías y escalas de los componentes de los elementos deposicionales





# CUAL ES LA IMPORTANCIA DE LA ESTRATIGRAFÍA DE SECUENCIAS (ES)

1. ES hace pensar en la geología en 3D ( espacio x tiempo)
2. ES atribuye un carácter dinámico al análisis del registro geológico
3. ES cambia la manera de correlacionar los estratos dentro de una cuenca sedimentaria.
4. ES atribuye un carácter predictivo al análisis estratigráfico
5. ES tiene amplio espectro de escalas de trabajo, desde el análisis de pozos y afloramientos (local) hasta la correlación regional (o global) de eventos.
6. Las secuencias tienen carácter fractal.



# ESTRATIGRAFÍA DE SECUENCIAS APLICACIONES

1. Orienta la exploración dentro de las cuencas sedimentarias
2. Define nuevos tipos de plays exploratorios
3. Aumenta la capacidad de definir y localizar trampas estratigráficas.
4. Construye un almacén predictivo que asocia las rocas generadoras, sello y reservorio
5. Aumenta la recuperación de campos en desarrollo ayuda a definir hidrocarburo no visto
6. Se aplica a la exploración y desarrollo de recursos mineros
7. En Geotecnia a entender la Estratigrafía del Cuaternario



# CONCEPTOS BÁSICOS DE ES – ÁMBITOS DE ESTUDIOS

## ESTRATIGRAFIA DE SECUENCIAS

### Integra las disciplinas

- Sedimentología
- Estratigrafía.
- Geofísica.
- Geomorfología.
- Geoquímica.
- Análisis de cuencas

### Integra datos

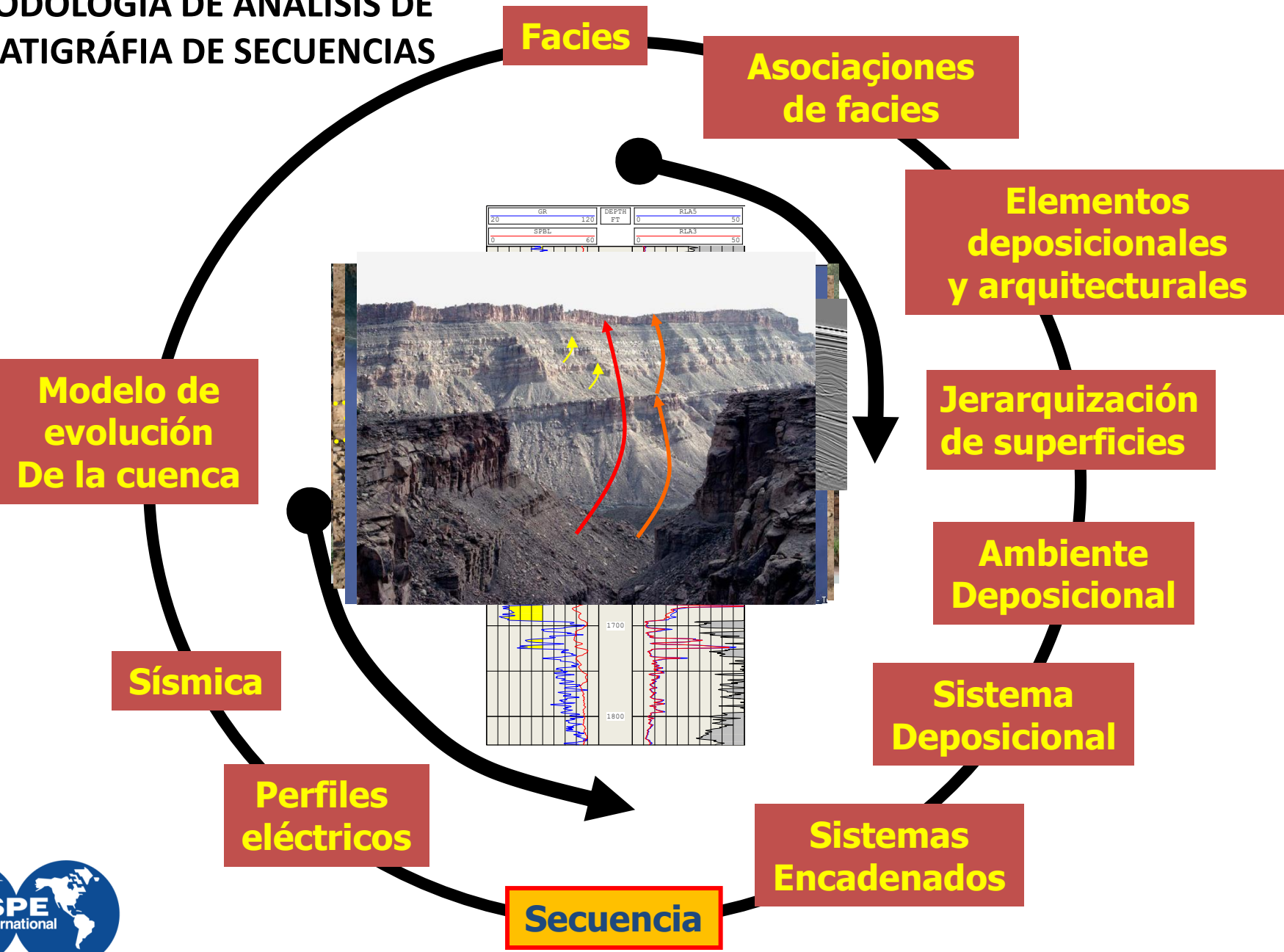
- Afloramientos
- Análogos modernos
- Núcleos
- Perfiles de pozo
- Data sísmica

### Principales controles

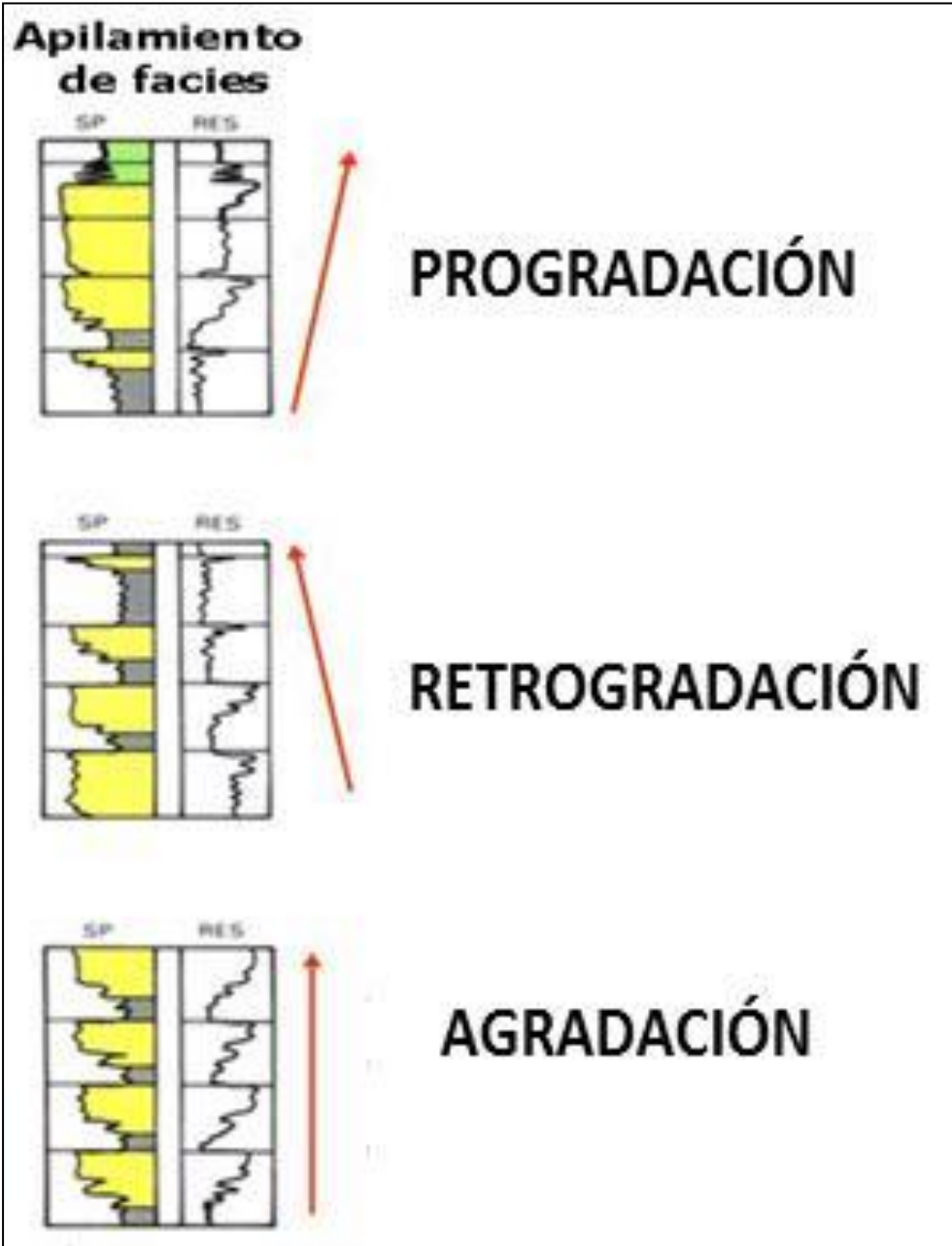
- Cambios en el nivel del mar
- Subsistencia y levantamientos
- Clima
- Aporte sedimentario
- Fisiografía de la cuenca
- Energía ambiental.



# METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE ESTRATIGRAFÍA DE SECUENCIAS



# FACTORES DE CONTROL Y PATRONES DE APILAMIENTO DE ES



# TRATOS DE SISTEMAS DEPOSICIONALES

## SISTEMAS ENCADENADOS DEPOSICIONALES

### Depositional System Tracks

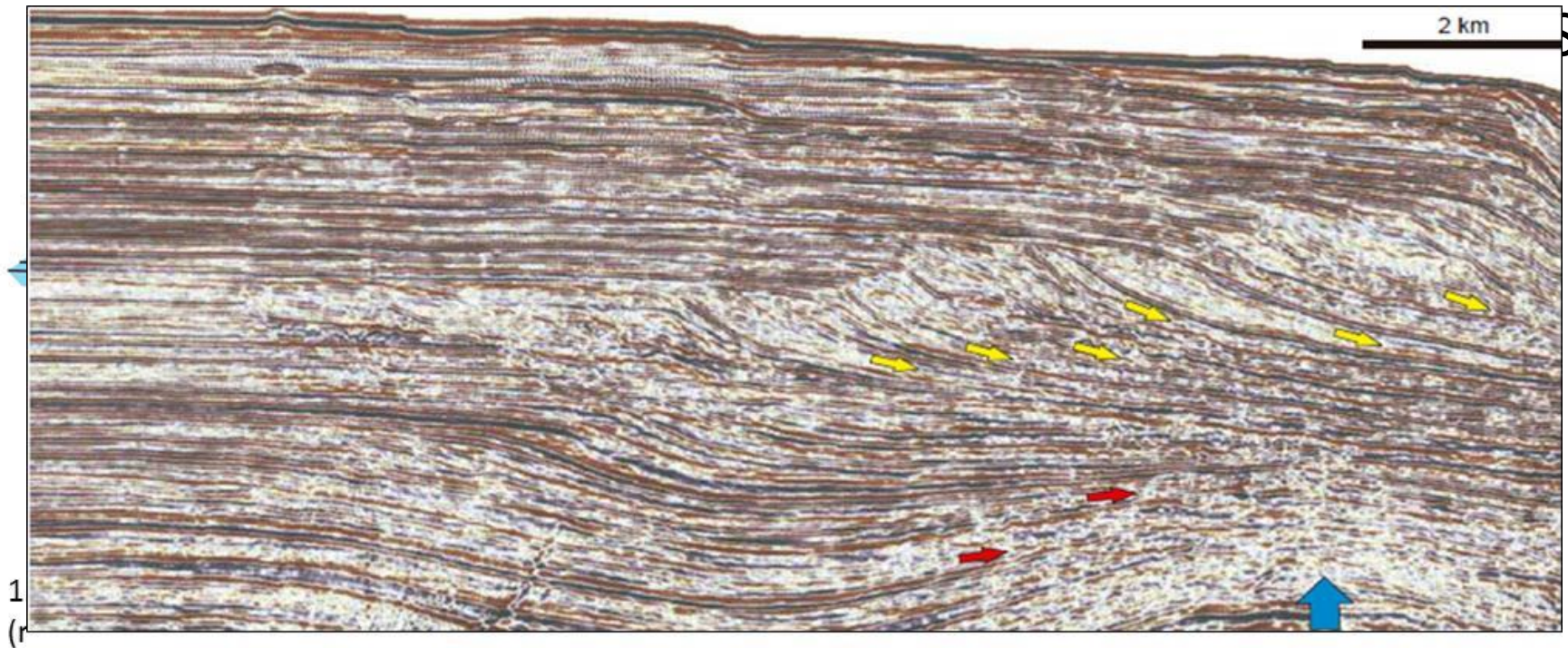
Conjunto de sistemas deposicionales contemporáneos, que conforman un sistema encadenado dentro de una secuencia (Brown & Fisher, 1977)

La secuencia es subdividida en 4 sistemas deposicionales:

- Sistema encadenado de nivel alto - SENA (HST)
- Sistema encadenado de etapa de caída – SEEC (FSST)
- Sistema encadenado de nivel bajo – SENB (LST)
- Sistema encadenado transgresivo – SET (TST)

Son segmentos específicos en la curva del nivel relativo del mar

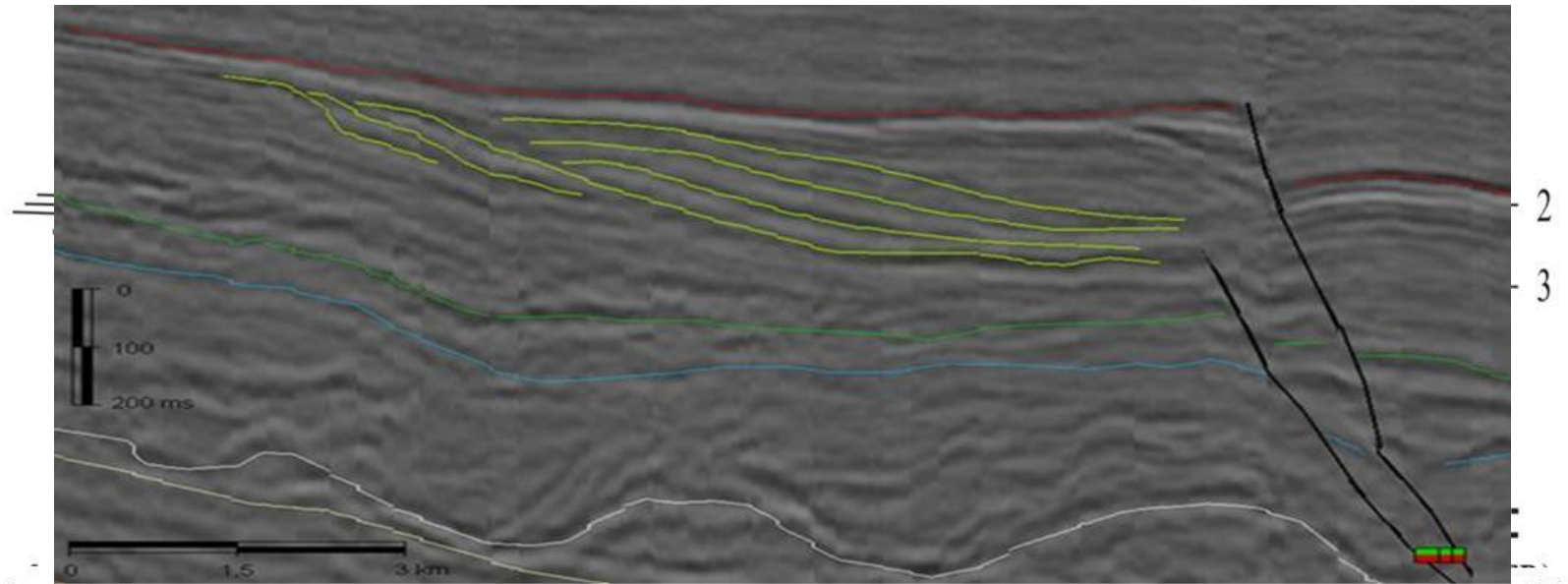




HST  
cost



# SISTEMA ENCADENADO DE ETAPA DE CAÍDA - FSST



2.  
(niv

FSST in  
marinc

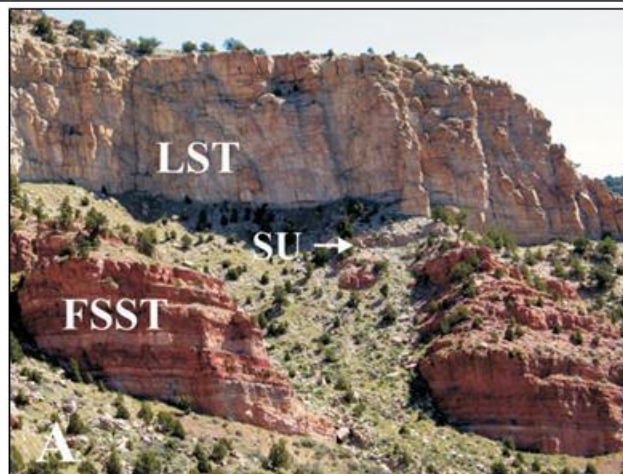
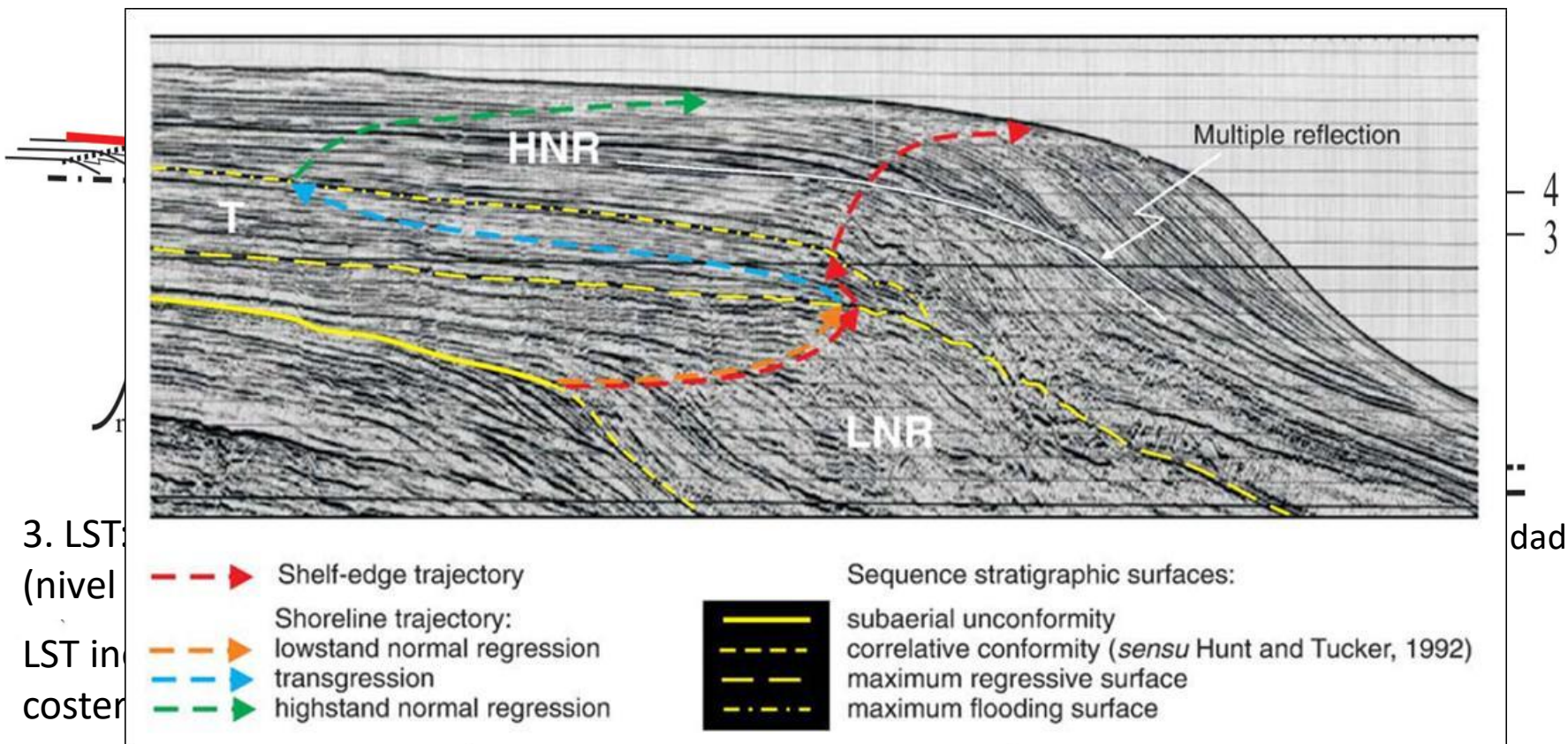


ad (1-FR)  
(e-FR)

o de

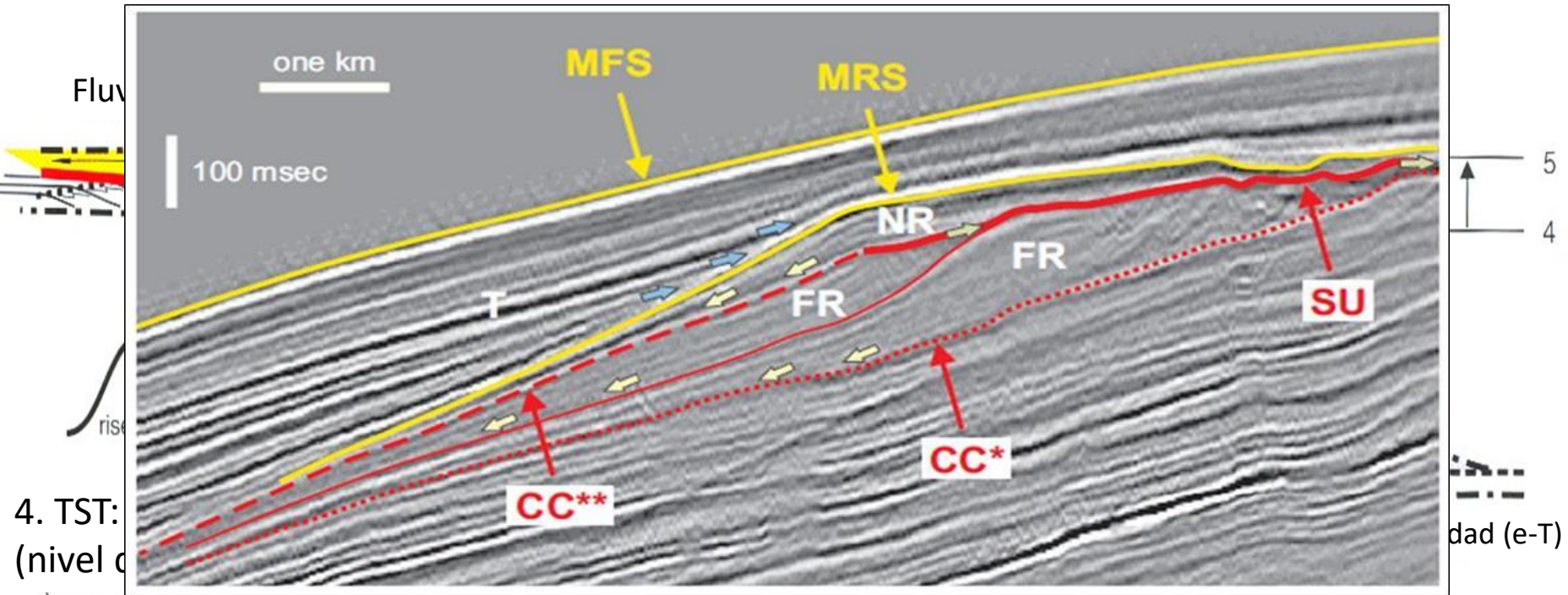


# SISTEMA ENCADENADO DE NIVEL BAJO - LST



steros.

# SISTEMA ENCADENADO TRANSGRESIVO- TST

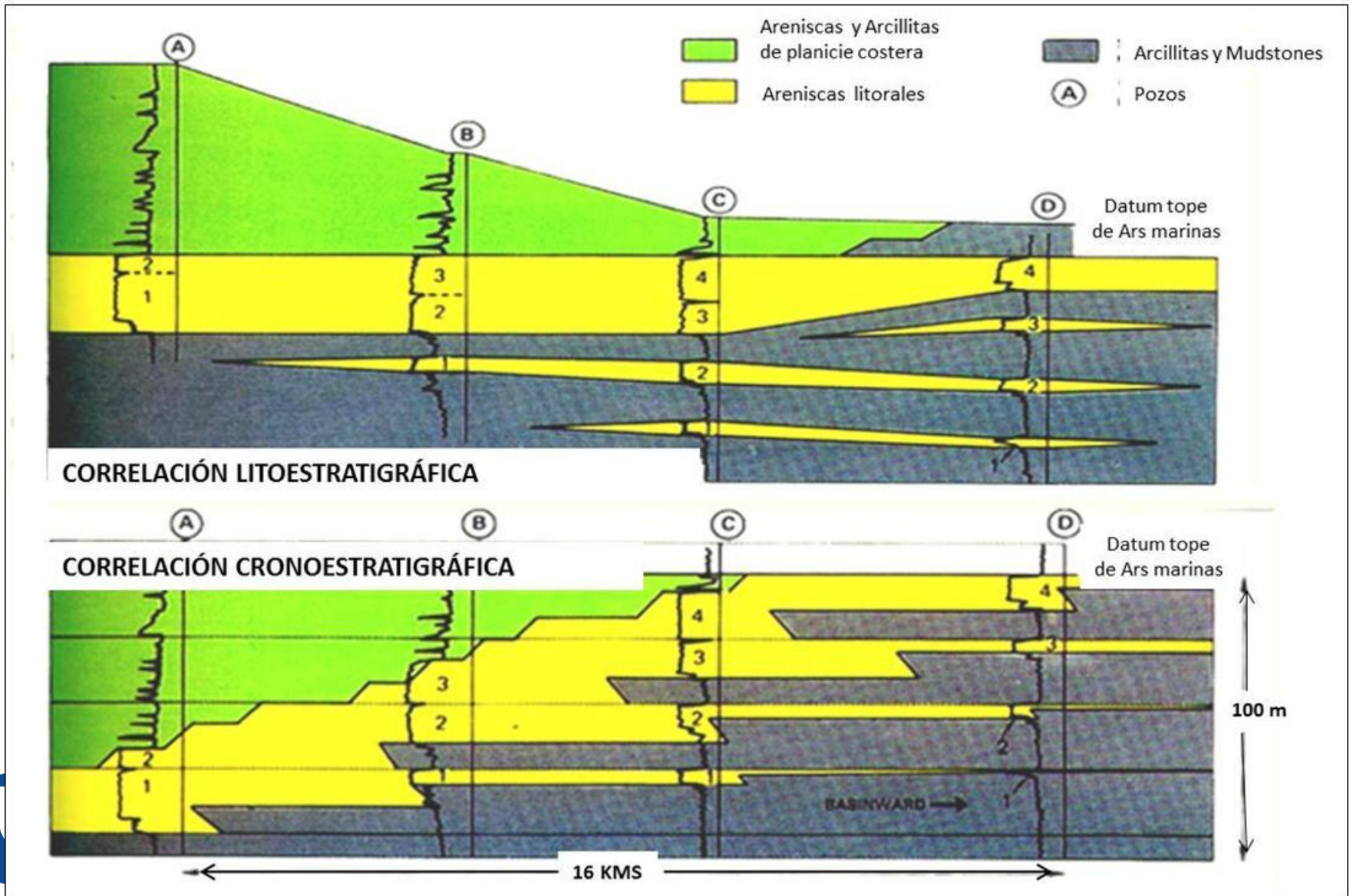


a

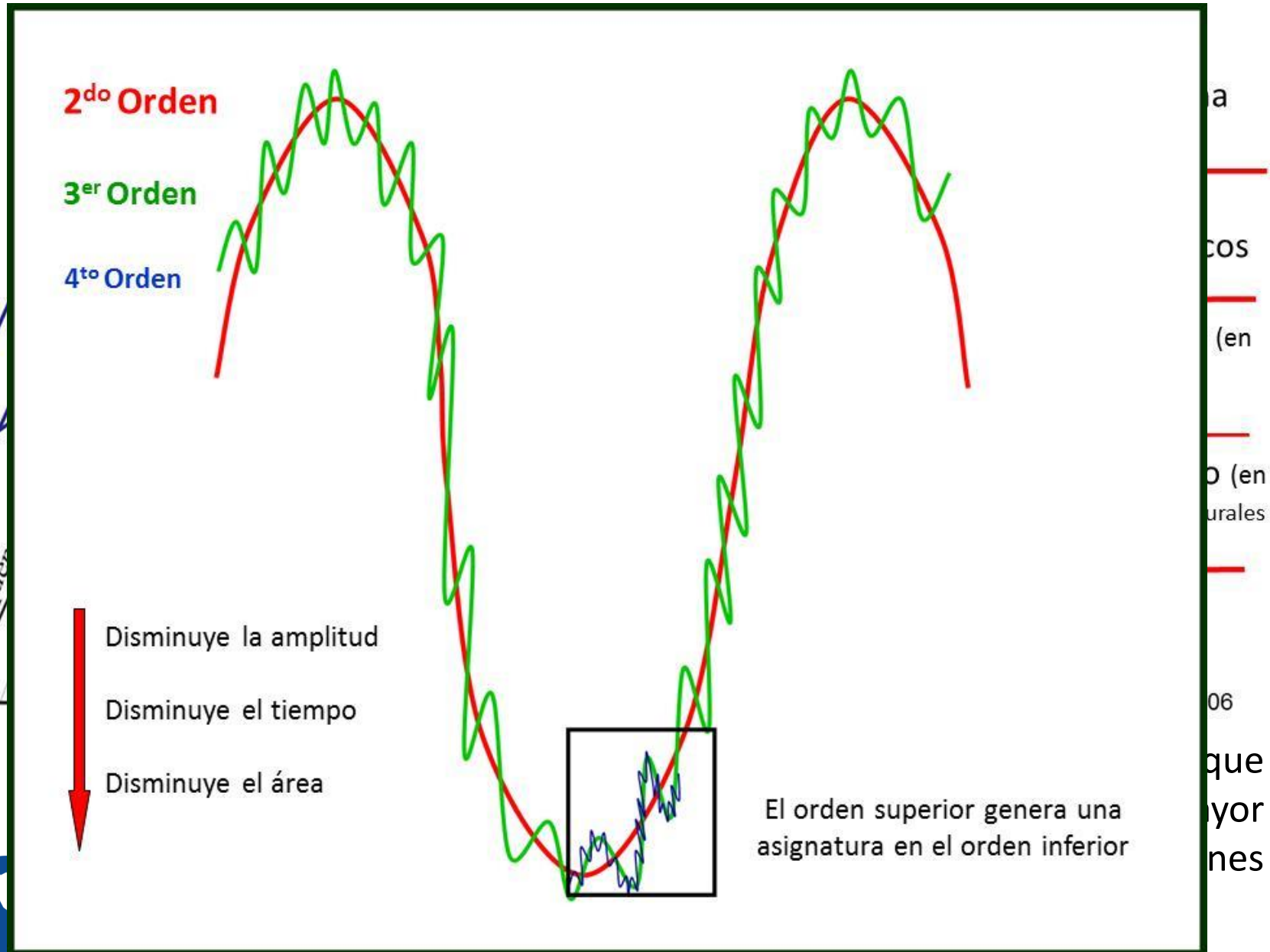
el



# COMPARACIÓN DE CORRELACIONES LITOESTRATIGRÁFICAS VS CRONOESTRATIGRÁFICAS



# CRITERIOS PARA LA JERARQUÍA DE LAS SECUENCIAS



# ORDEN / JERARQUÍA DE LAS SECUENCIAS

## SEDIMENTOLOGÍA

(Se basa en la “continuidad” de los procesos de acumulación de sedimentos)



**FOCO EN LA GENERACION  
DE LOS DEPÓSITOS**  
(valoriza los **PROCESOS**  
que ocasionan la **ACUMULACIÓN**  
de sedimentos)

## ESTRATIGRAFÍA

(Se basa en los patrones de apilamiento y  
En la mapeabilidad de las superficies)



**FOCO EN LA PRESERVACIÓN  
DE LOS DEPÓSITOS**  
(valoriza las **RUPTURAS (hiatos)**  
como factor preponderante  
En el modelo  
de las **SUPERFÍCIES**)



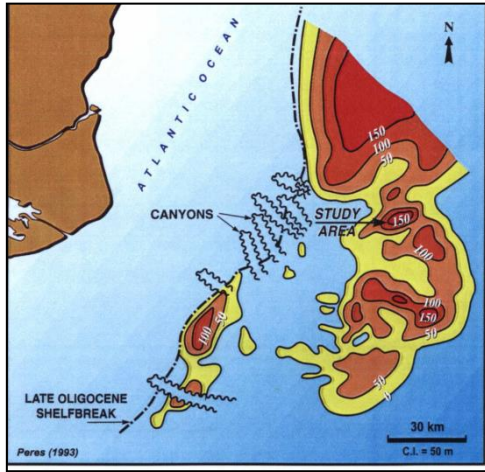
# EJEMPLOS DE APLICACIONES ESTRATIGRAFÍA DE SECUENCIAS



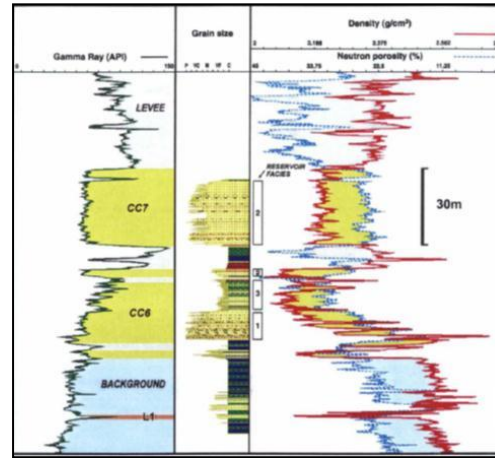
Society of Petroleum Engineers

# ES de Alta Resolución y caracterización de reservorios- Turbiditas Oligoceno / Mioceno Cuenca de Santos Brasil

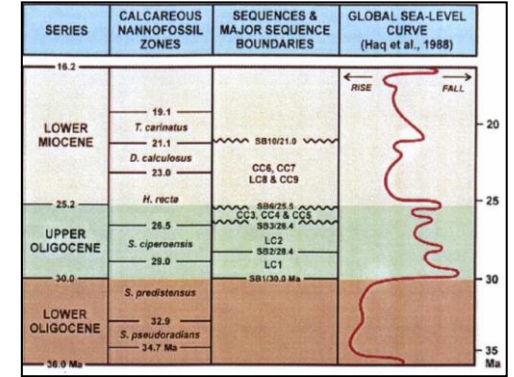
C.H:L Brunh. Petrobras 1998



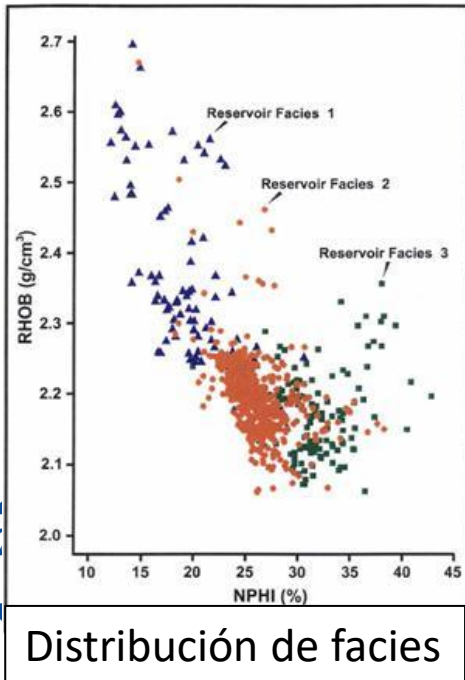
Mapa de ubicación



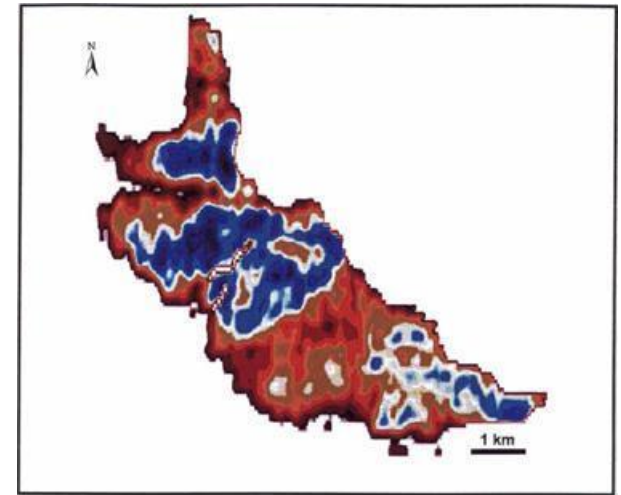
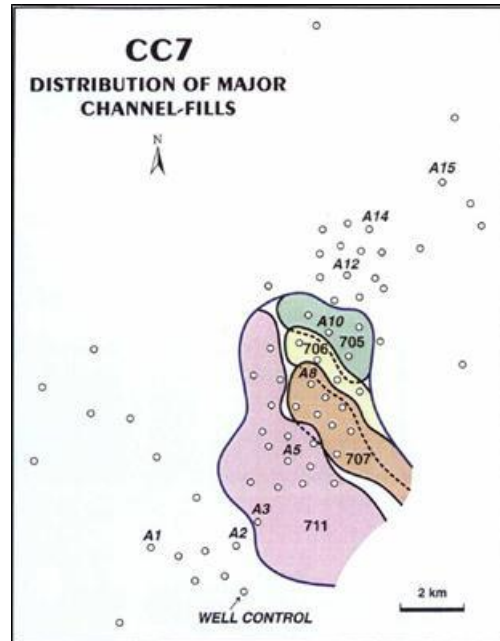
Perfil – Núcleo de Pozo



Crono-Bioestratigrafía de Turbiditas O/M

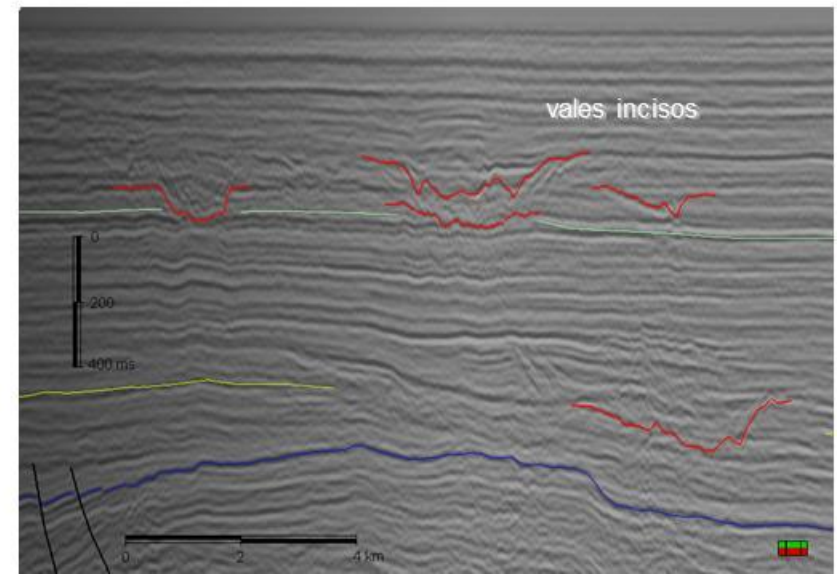
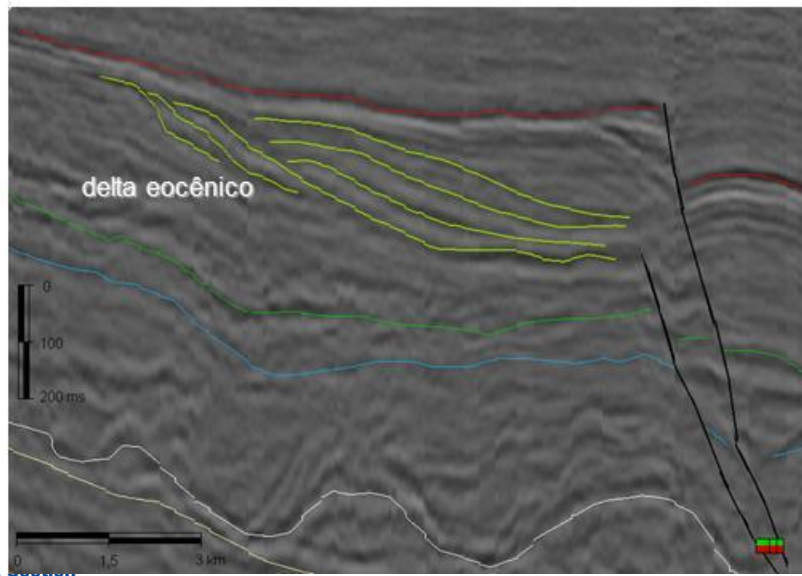
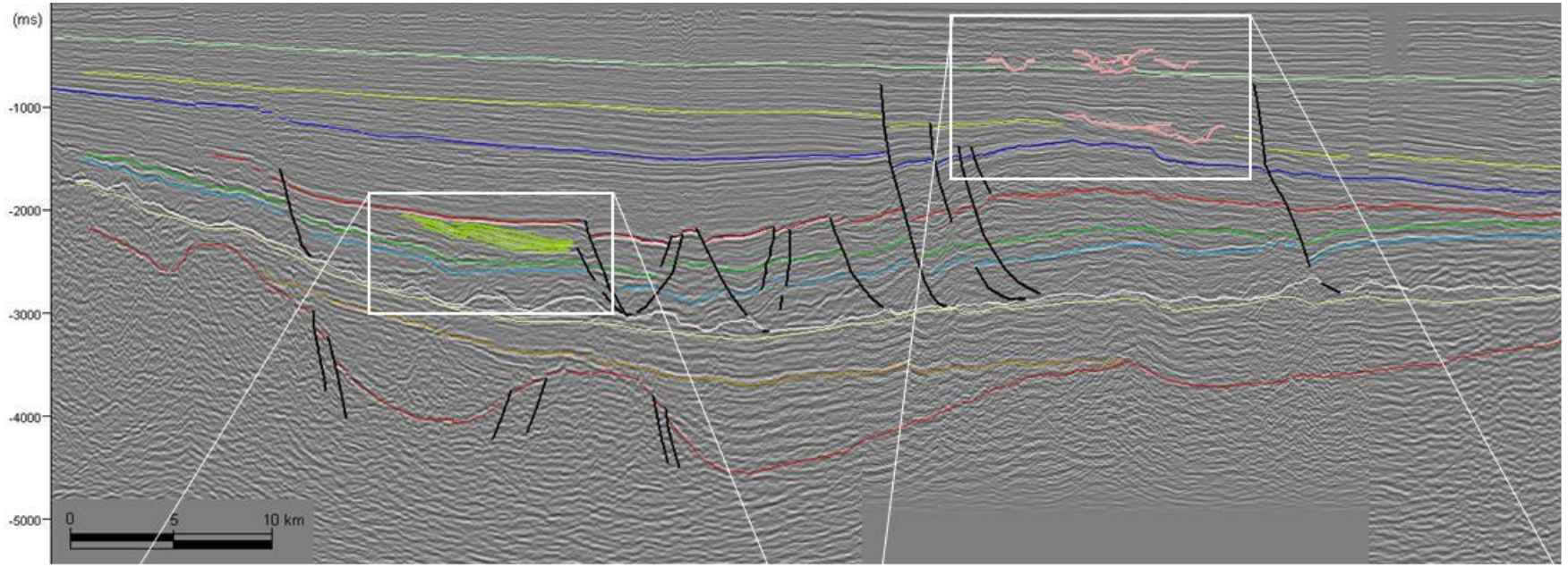


Distribución de facies



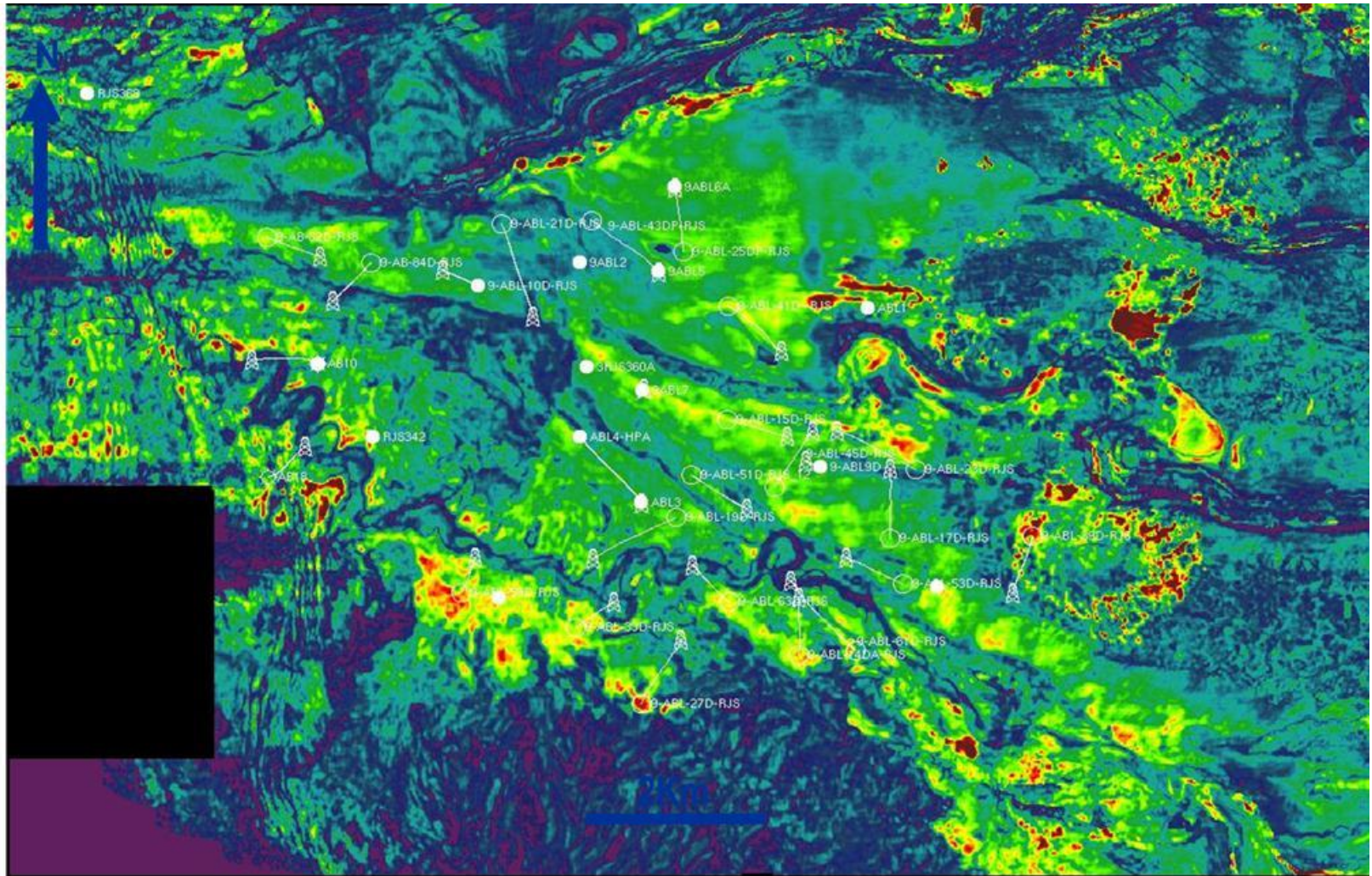
Color azul zona de mejor arena neta de canales

# CUENCA DE CAMPOS - FSST/LST





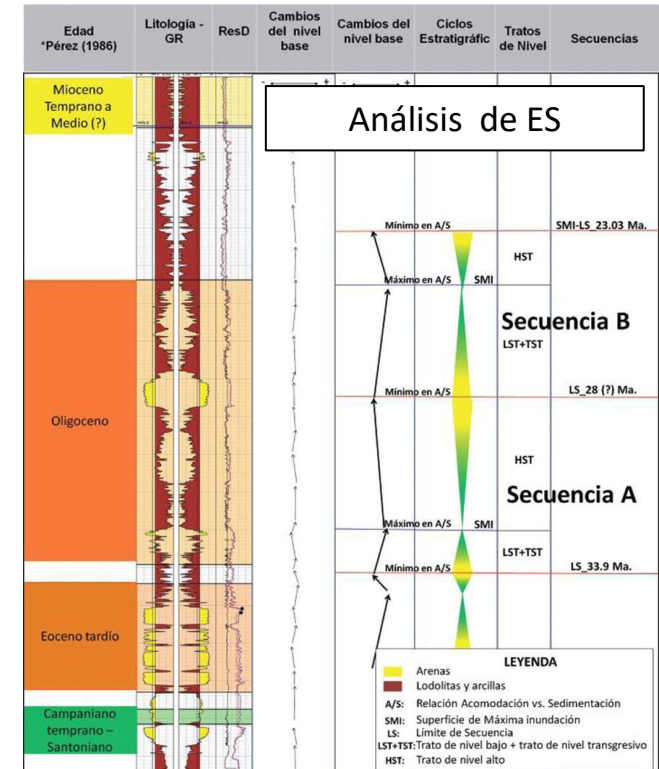
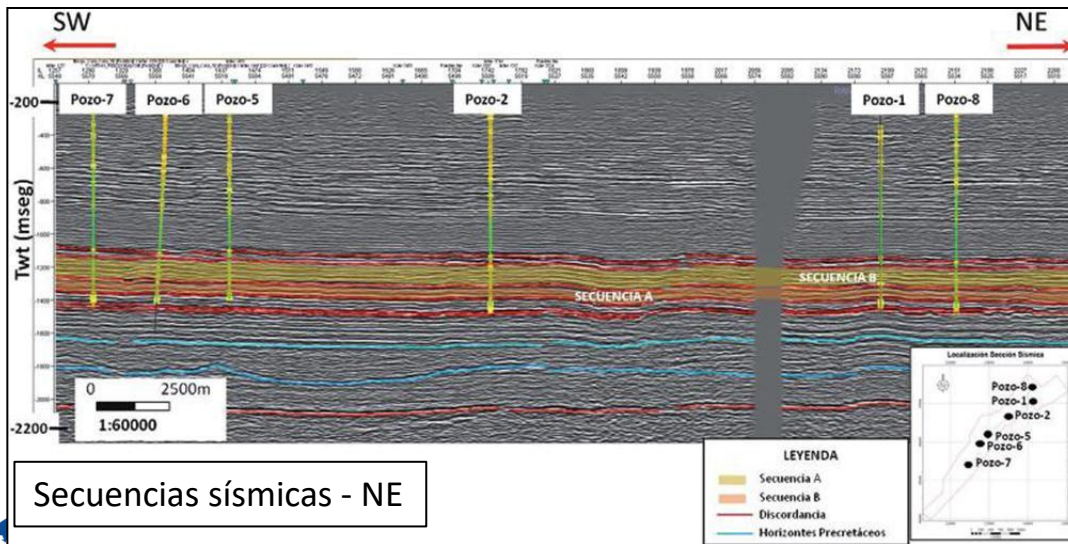
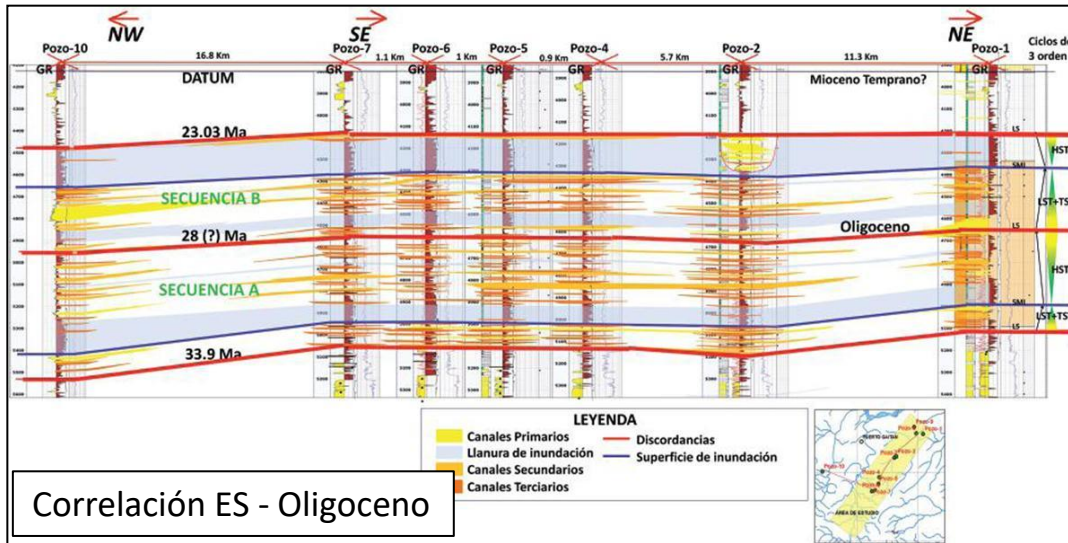
# EJEMPLO: CUENCA DE CAMPOS - FSST/LST

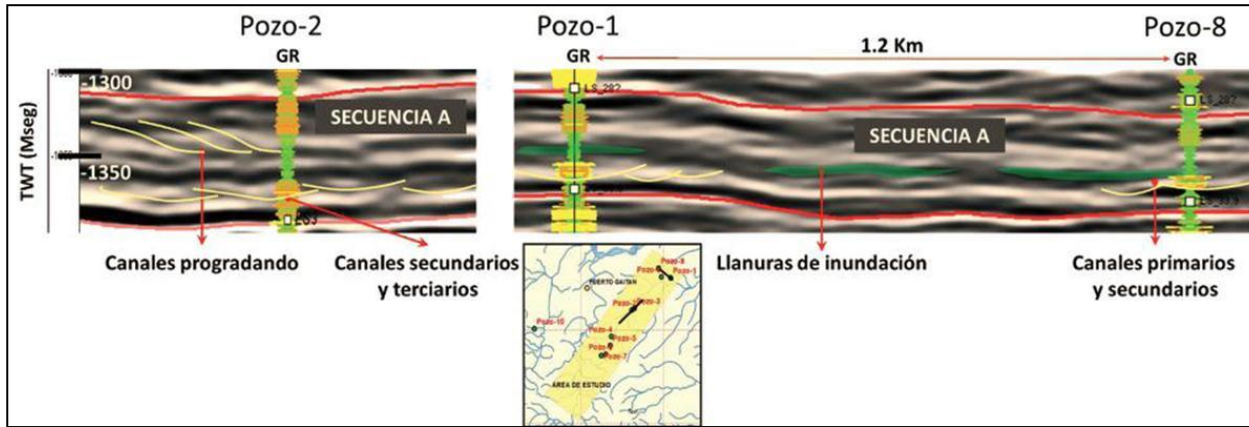


Reservorios turbidíticos del campo de Albacora, Mioceno Med-Inf, Cuenca de Campos. Mapa de amplitud RMS de la base del reservorio AB140, mostrando la forma externa lobulada y los canales erosivos que compartimentalizan. Andréia Elias et. al., 2009 Petrobras.

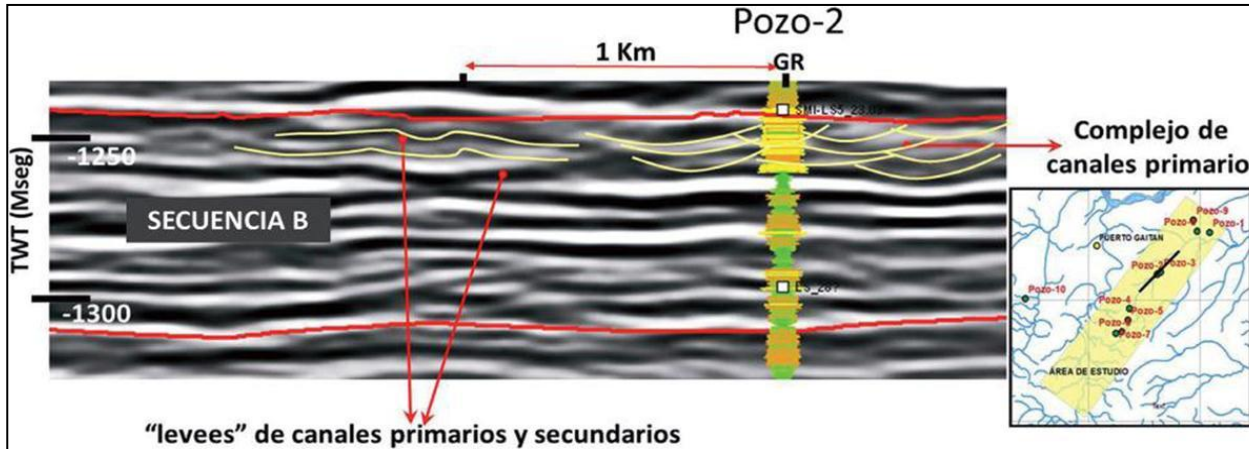


# ANÁLISIS SIMOESTRATIGRÁFICO Y SECUENCIAL DEL SECTOR SUR OESTE DE LA CUENCA DE LOS LLANOS ORIENTALES (COLOMBIA)

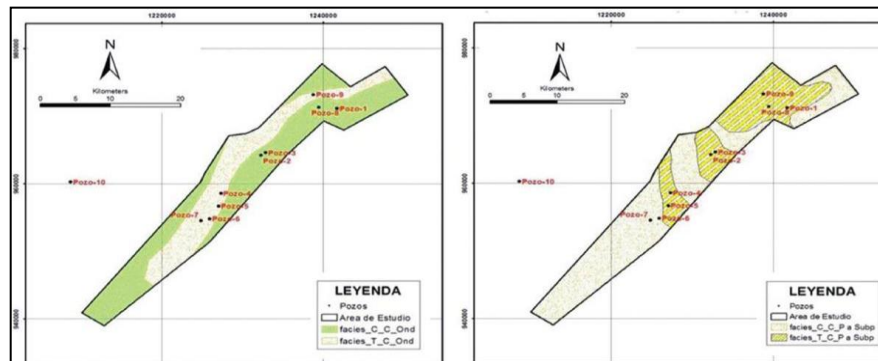




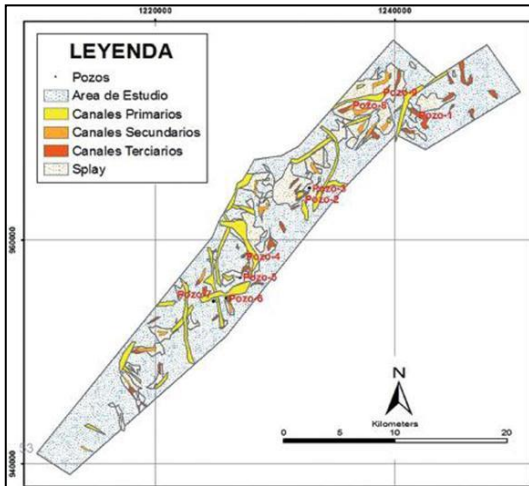
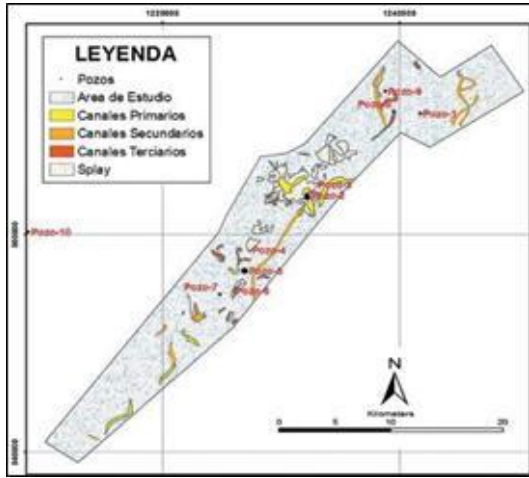
Análisis de facies sísmicas en la Secuencia A.



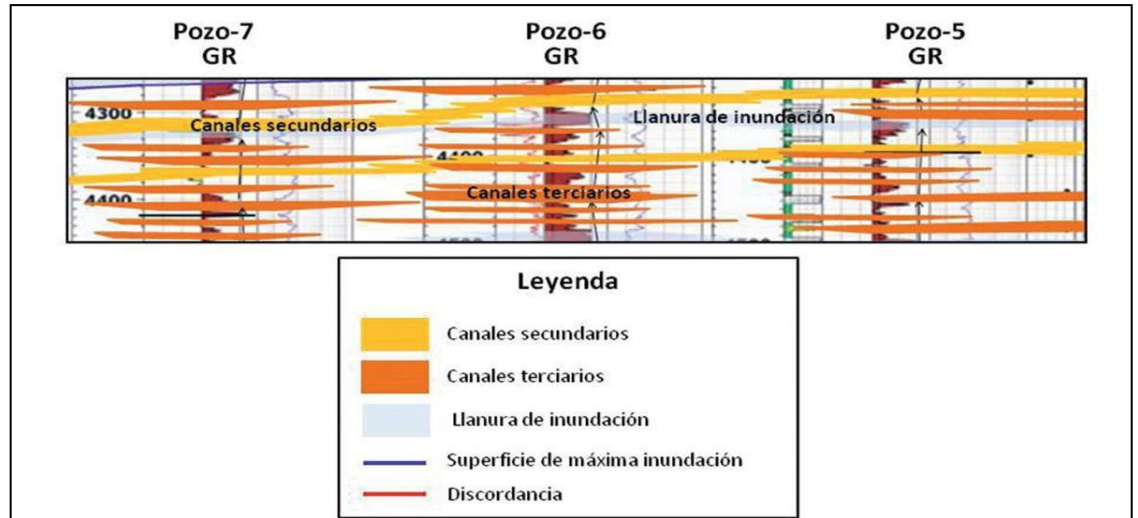
Análisis de facies sísmicas en la Secuencia B.



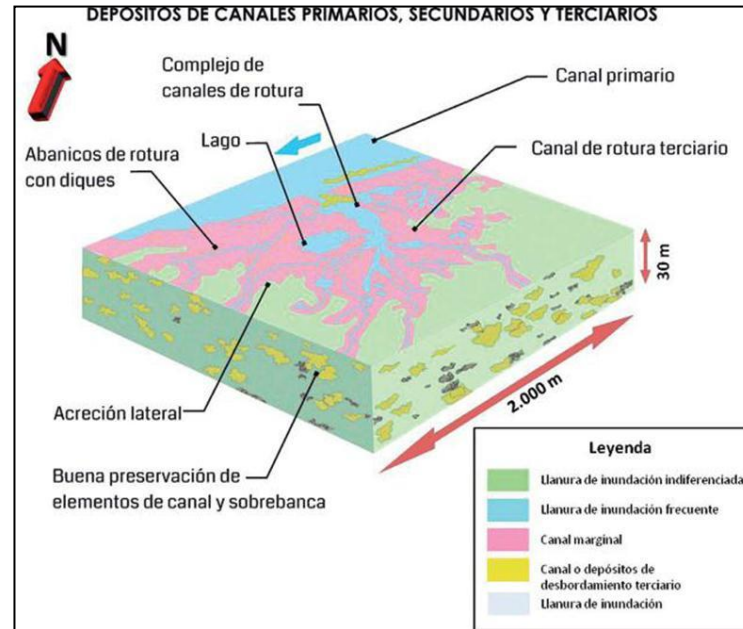
Mapa de facies sísmicas (A/B-C) para la Secuencia A (izquierda) y la Secuencia B (derecha), su distribución en el área de estudio.



Mapas de distribución de arenas al tope de la secuencia A y secuencia B

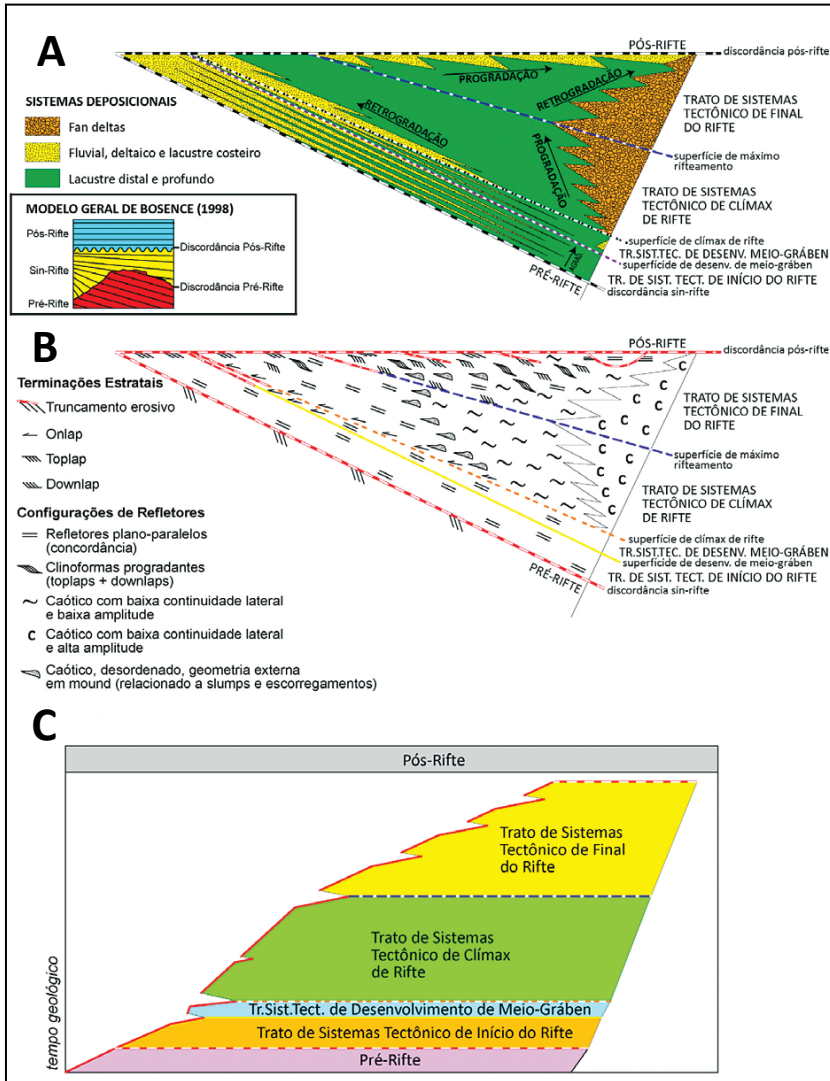


### Esquema de elementos arquitecturales



Modelo tridimensional análogo al del área de estudio, soportado (Stuart et al., 2014),

# SISMO ESTRATIGRAFÍA DE LA CUENCA DE RECÔNCAVO (RIFT)



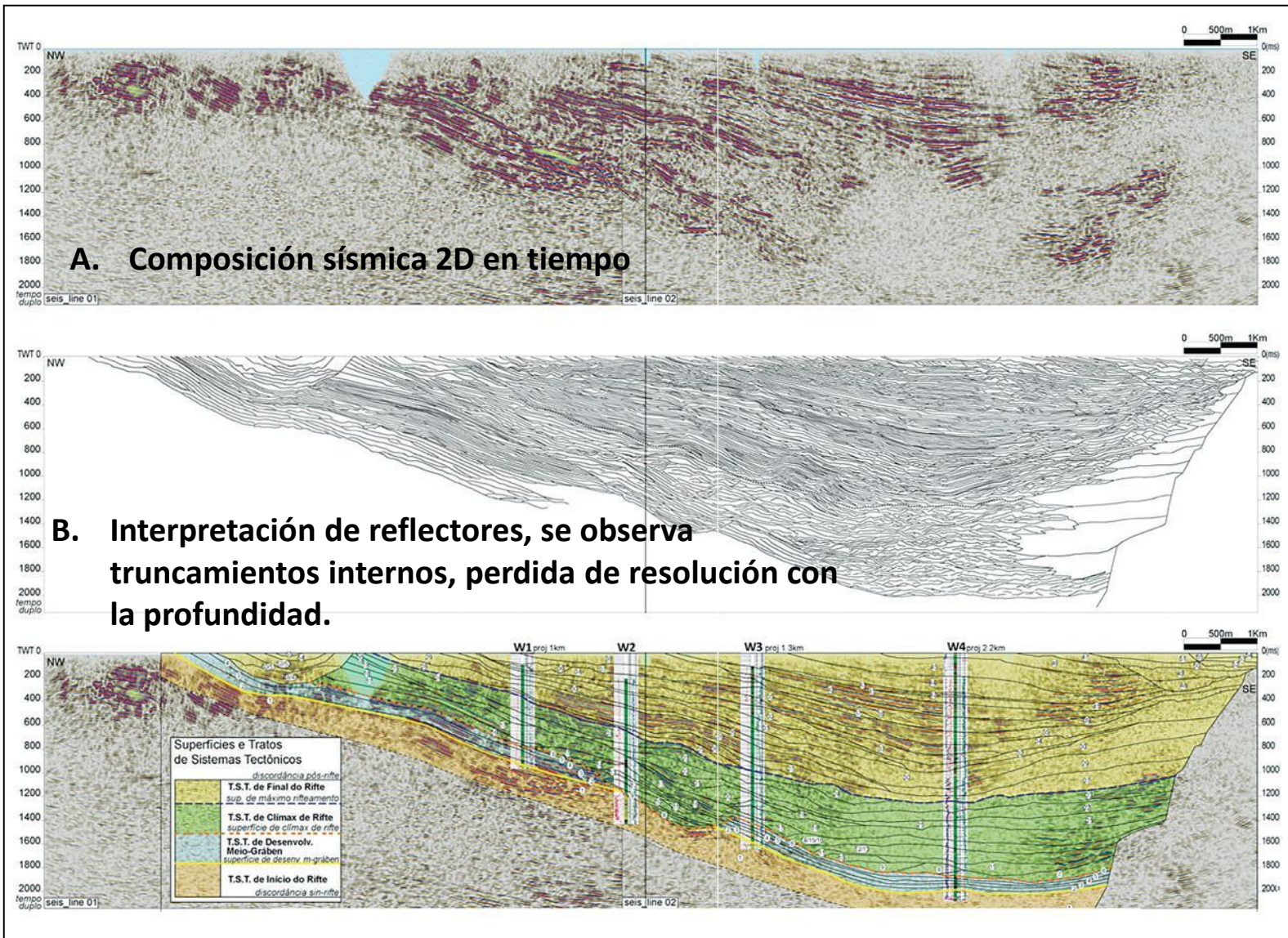
A) Modelo estratigráfico idealizado de uma cuenca rift, ilustrando los sistemas tectónicos y sus superficies limite y arreglo de los patrones de apilamiento

B) Traspaso del modelo para la sismoestratigrafía,

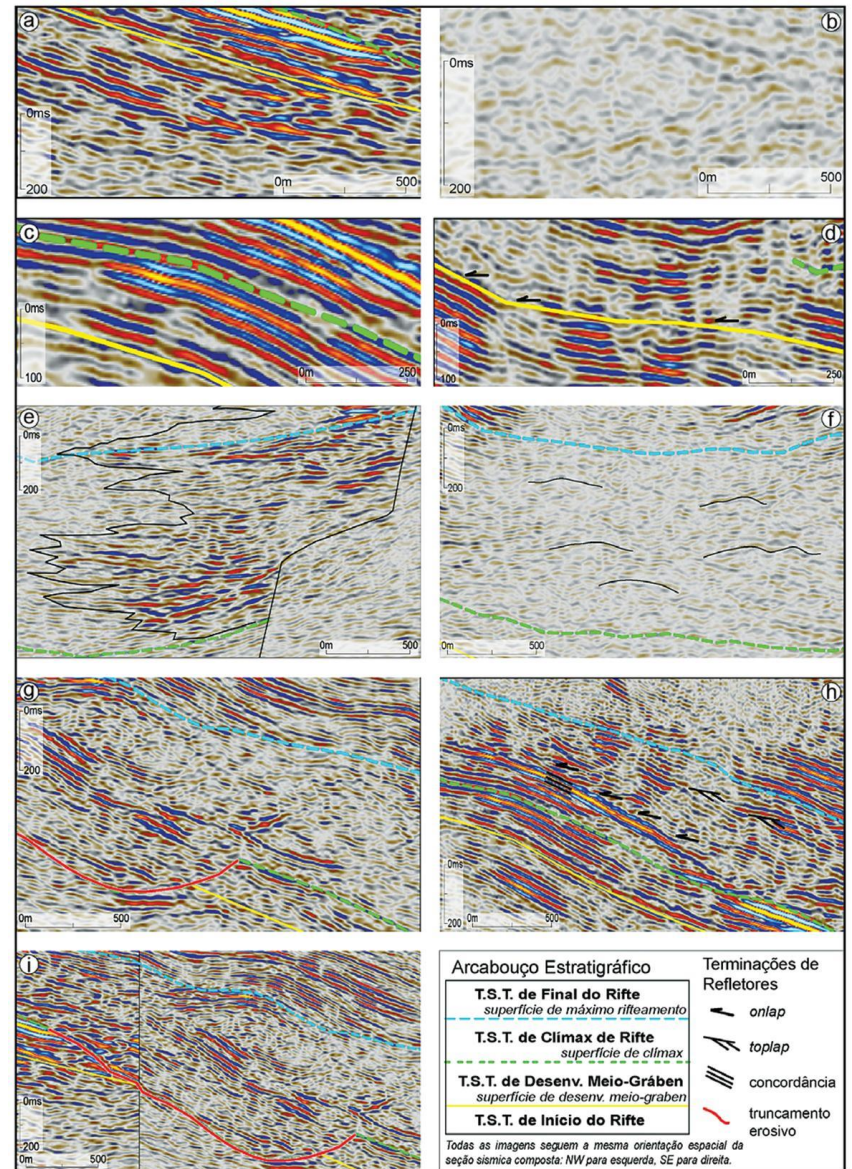
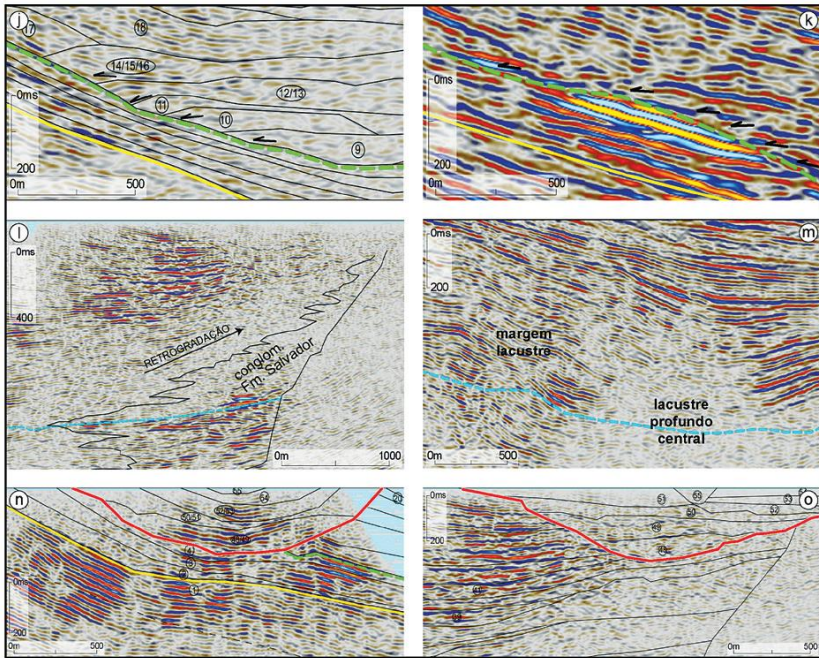
C) diagrama cronoestratigráfico (diagrama de Wheeler) representando el arreglo

De los sistemas tectónicos derivados das figuras "A" y "B".



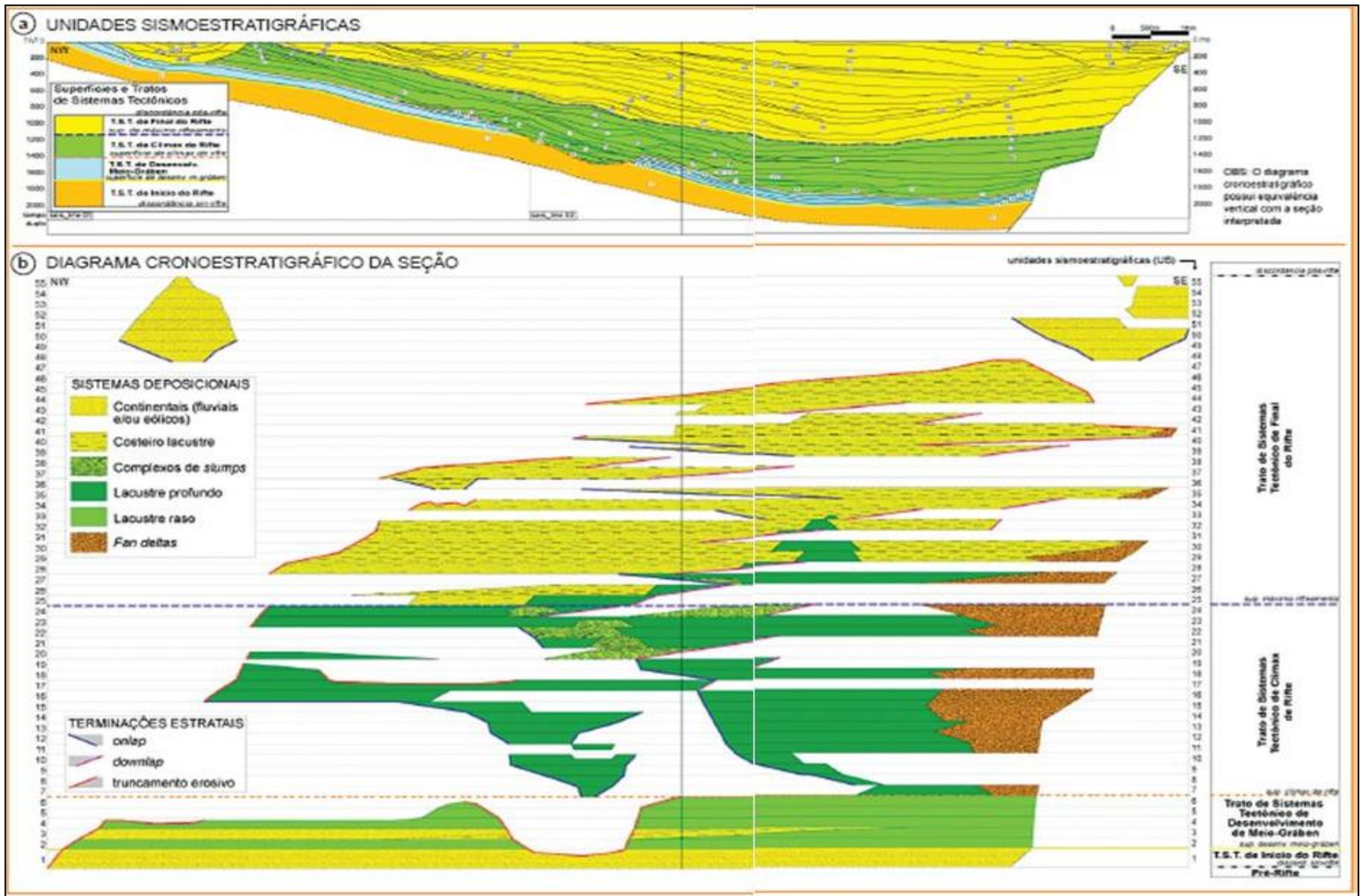


**C. Compartimentalización en unidades sismoestratigráficas y reconocimiento de los sistemas tectónicos y sus superficies límite**



Detalle de la sísmica, muestra características de los patrones de los reflectores, terminaciones internas y externas de los sistemas tectónicos y superficies límite





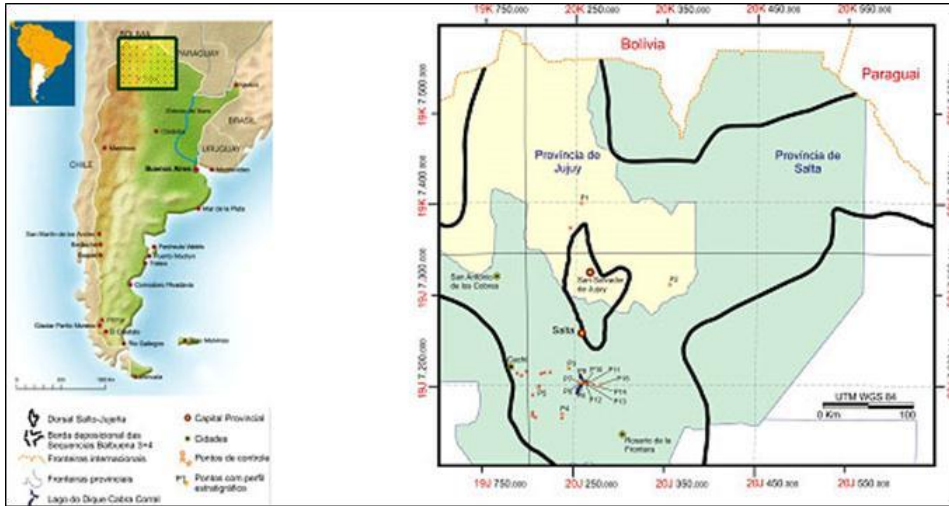
a) Unidades sismoestratigráficas mapeadas, de sistemas tectônicos y sus superficies limítrofes.

b) Conversión de las unidades sismoestratigráficas identificadas en "a" para el diagrama cronoestratigráfico, con la metodología de Wheeler (1958) e Vail et al. (1977).





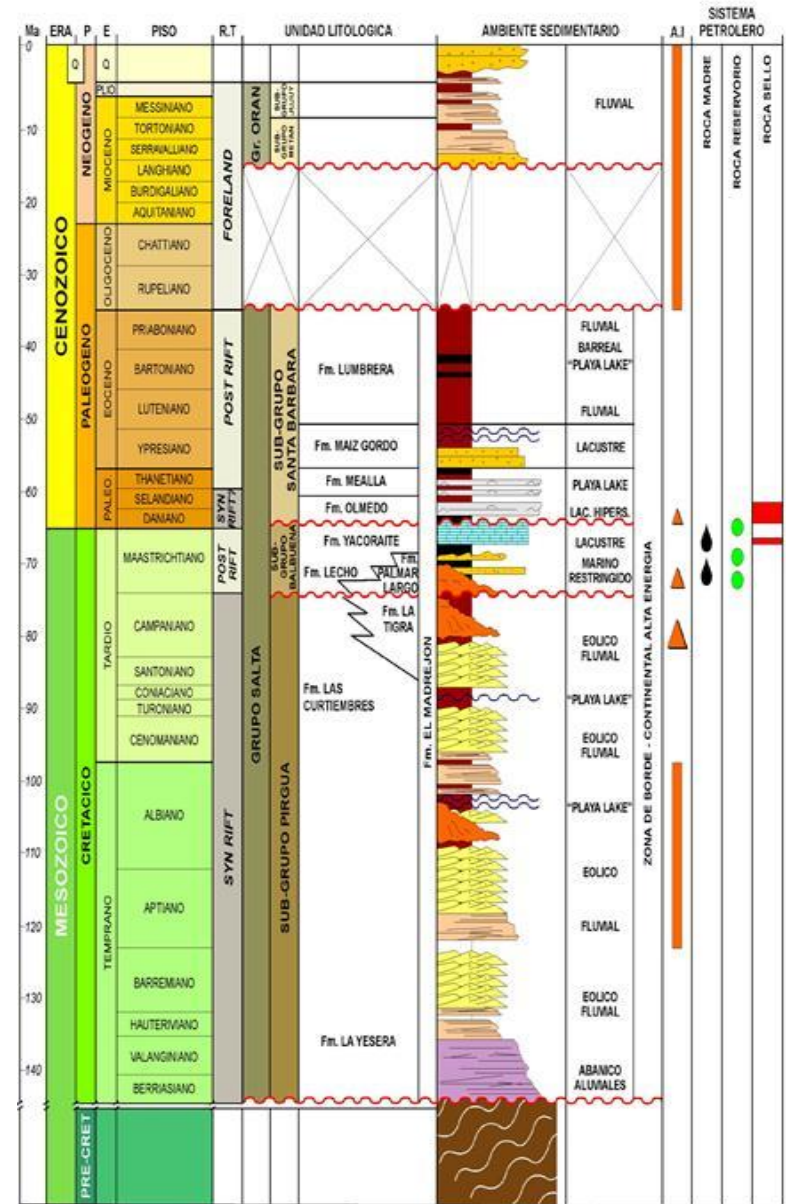
# Estratigrafía de Secuencias de Alta Resolución Carbonatos Microbiales – Salta - Argentina



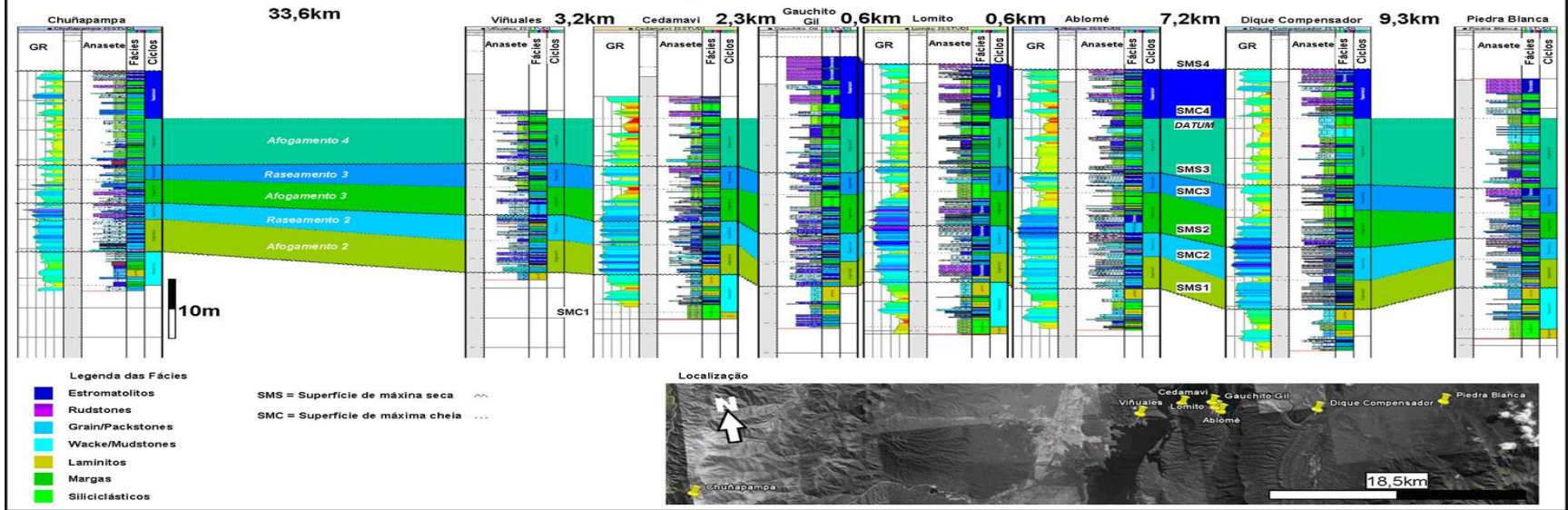
Afloramientos carbonáticos lacustres de la sub-cuenca de Metán-Alemania, son parte del Subgrupo Balbuena del Grupo Salta (Cretácico Inferior a Eoceno) Salta, noroeste Argentina

Análogo Presal - Brasil

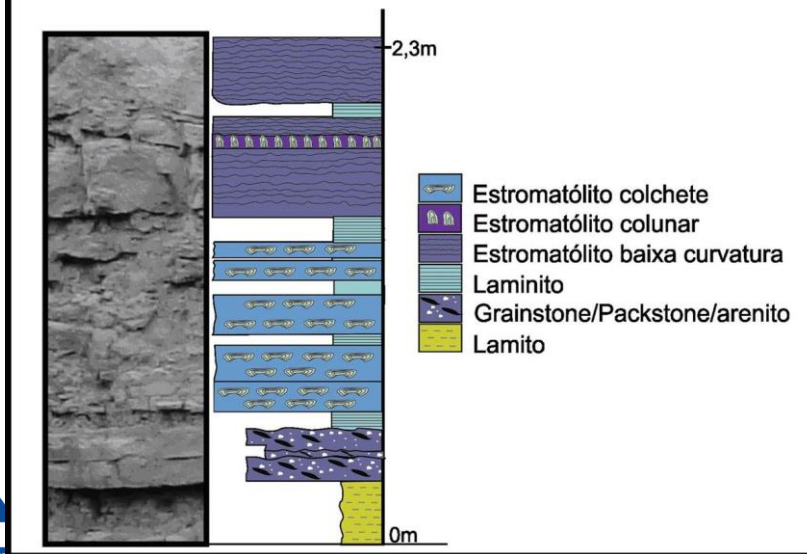
Columna estratigráfica



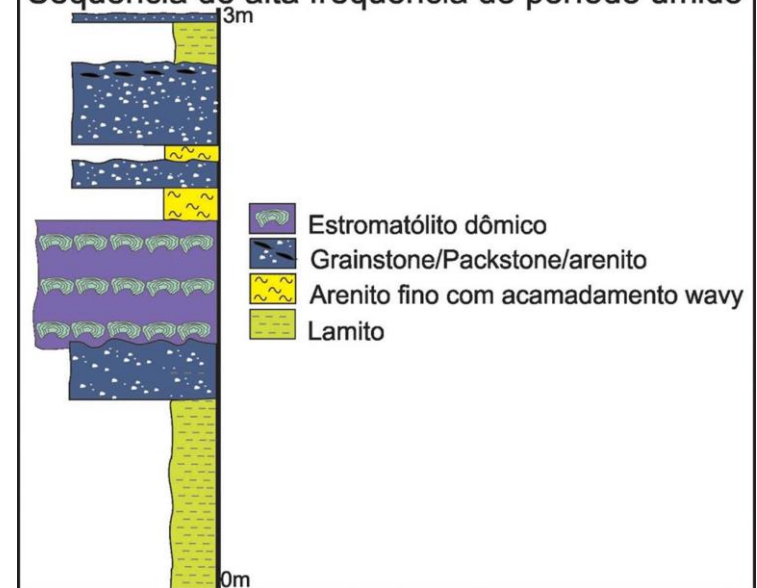
## Sequências de 4ª Ordem



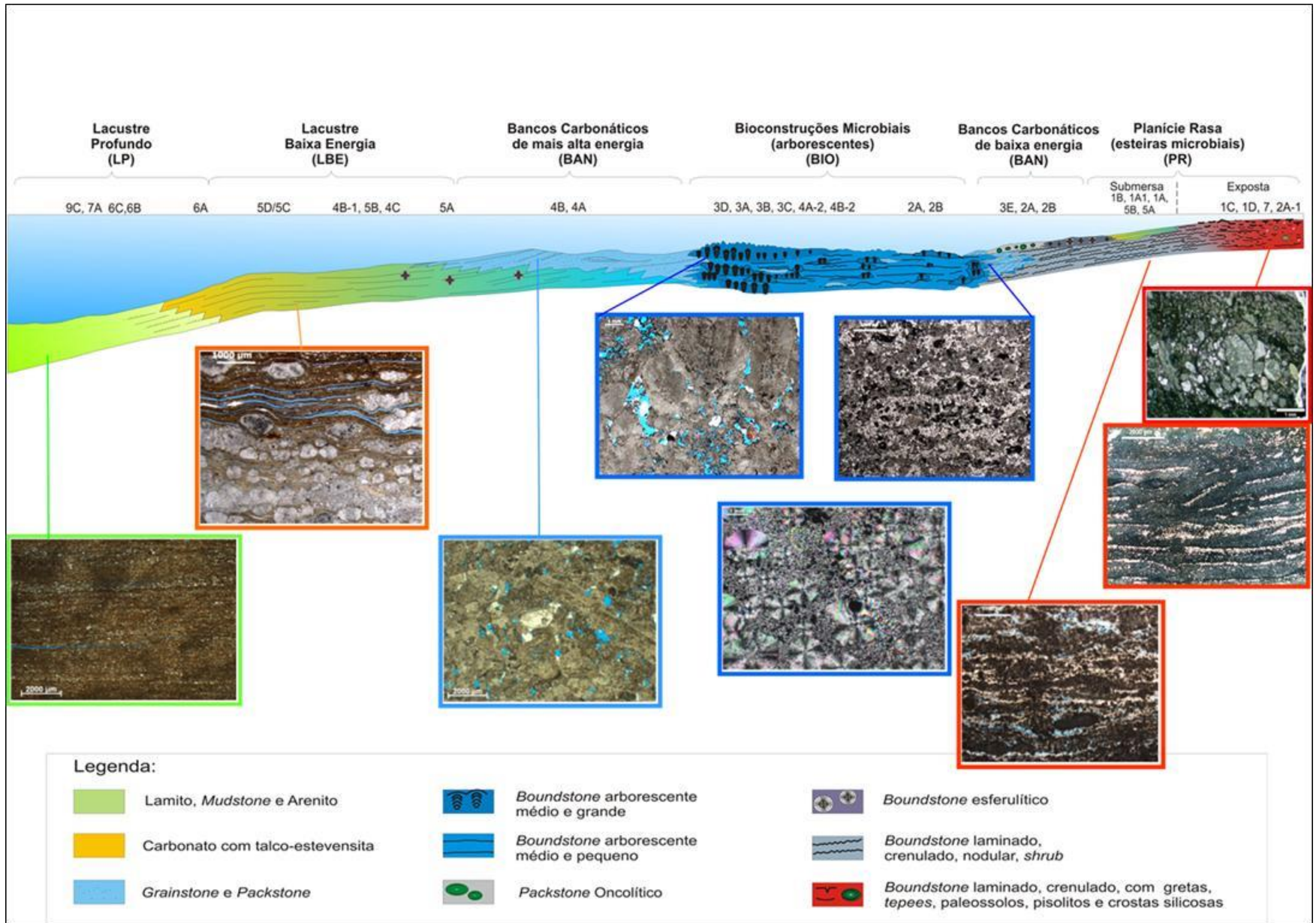
### Sequência de alta frequência do período seco



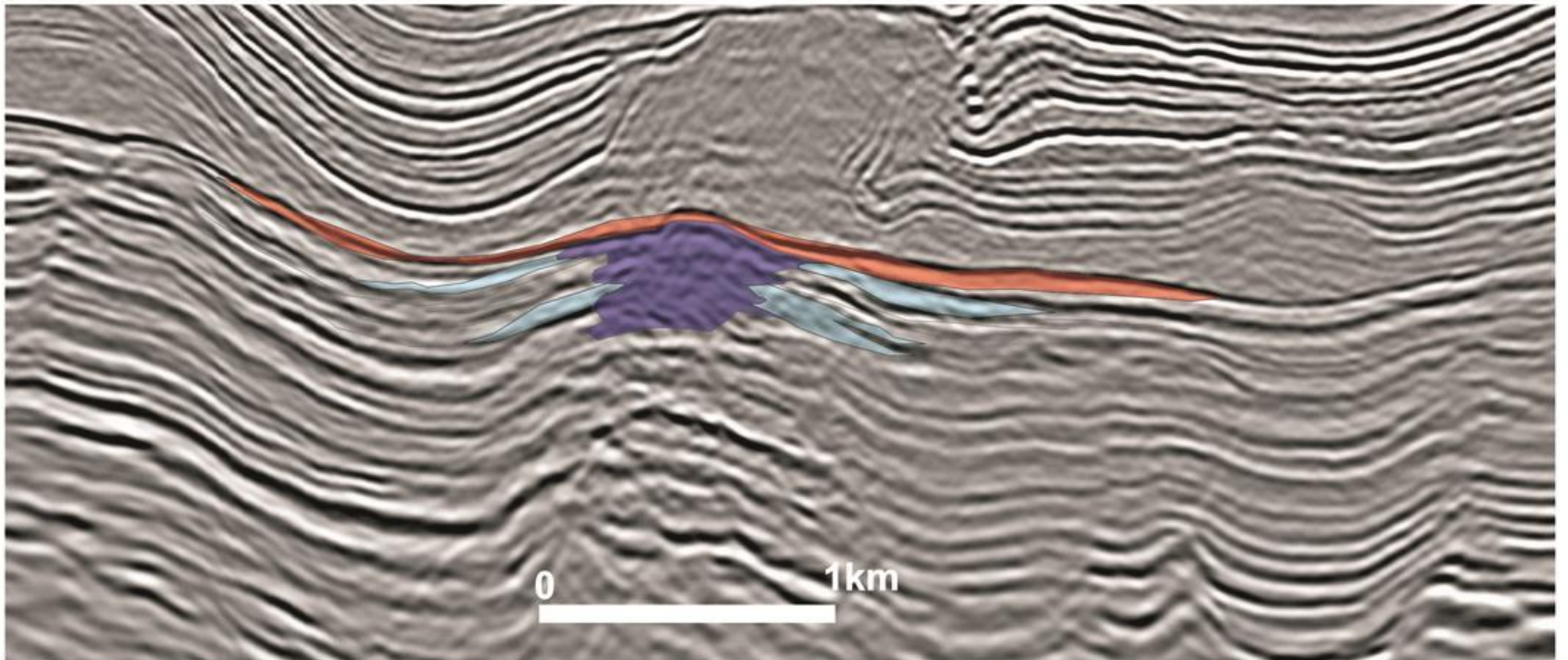
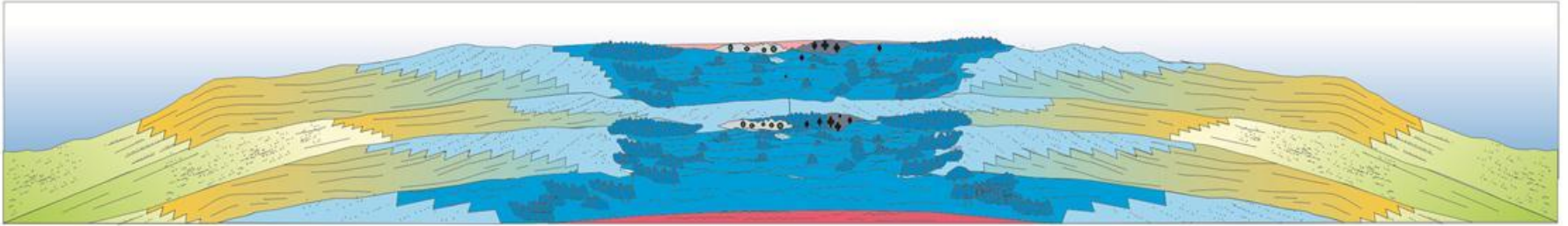
### Sequência de alta frequência do período úmido



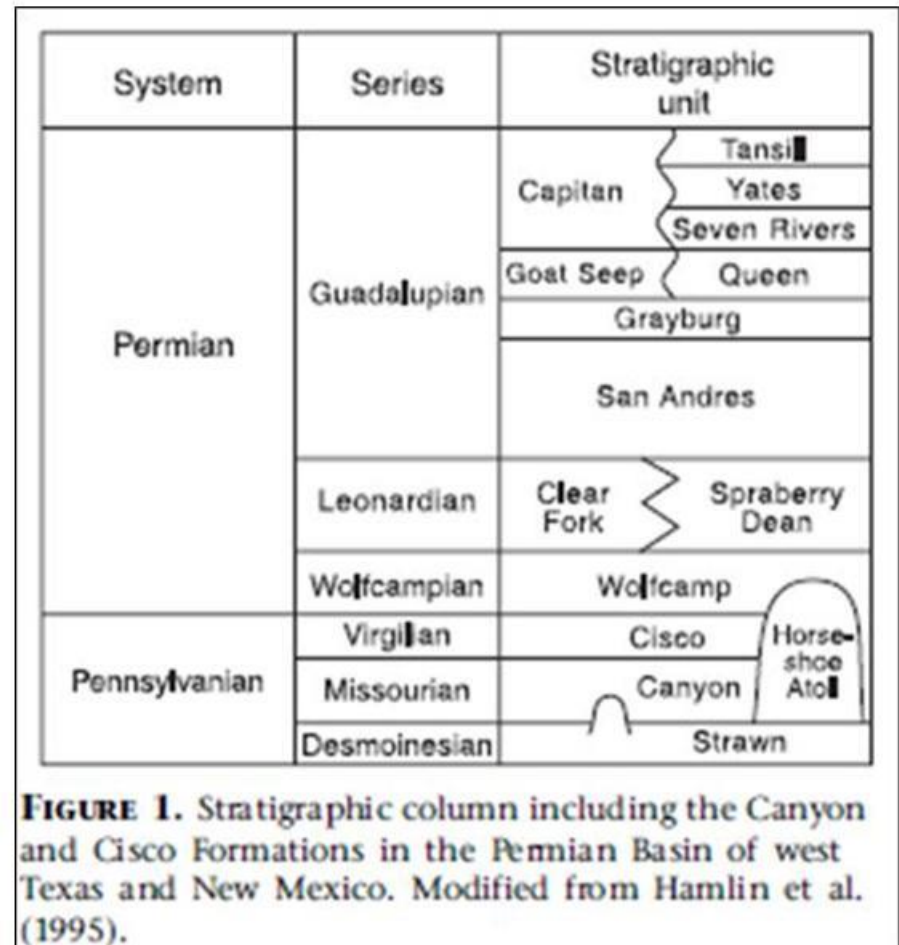
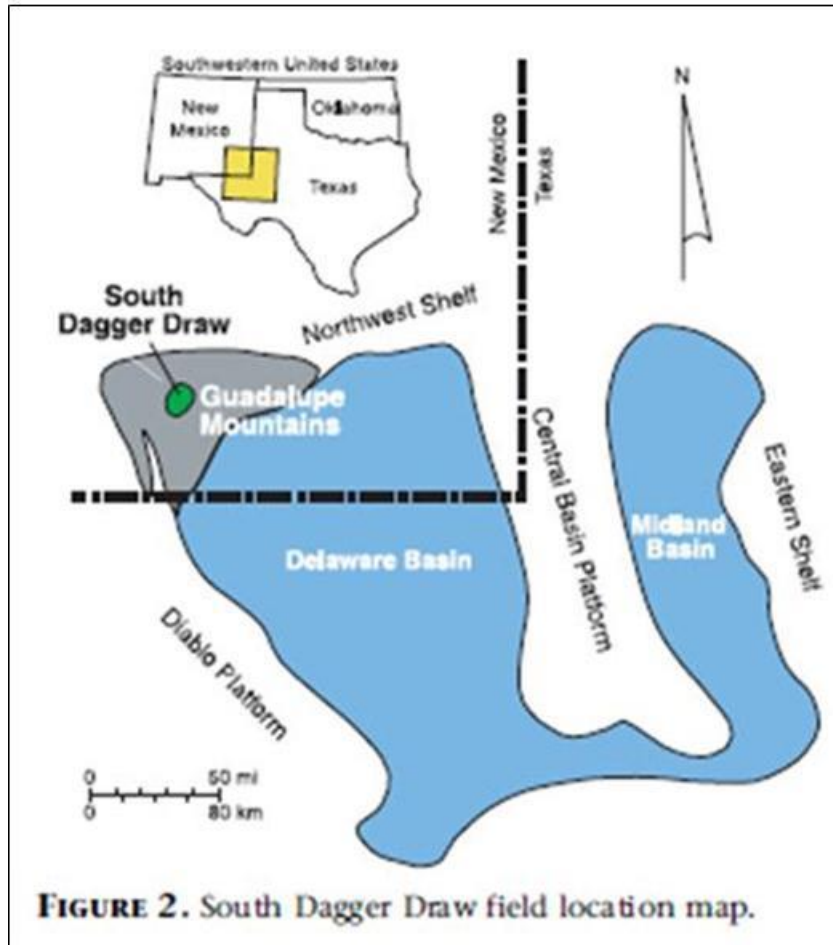
# Distribucion y asociacion de facies – Presal - Brasil

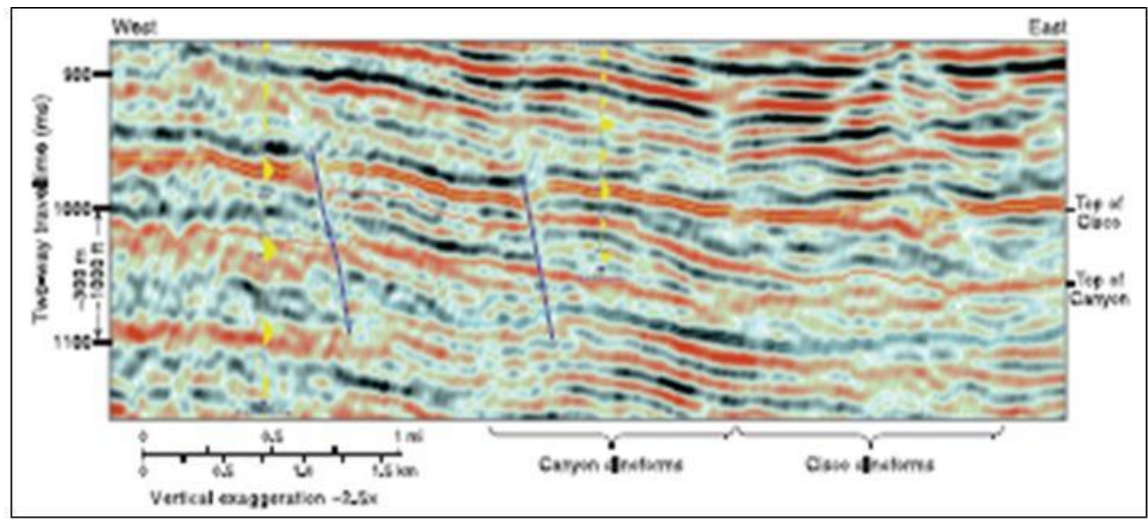
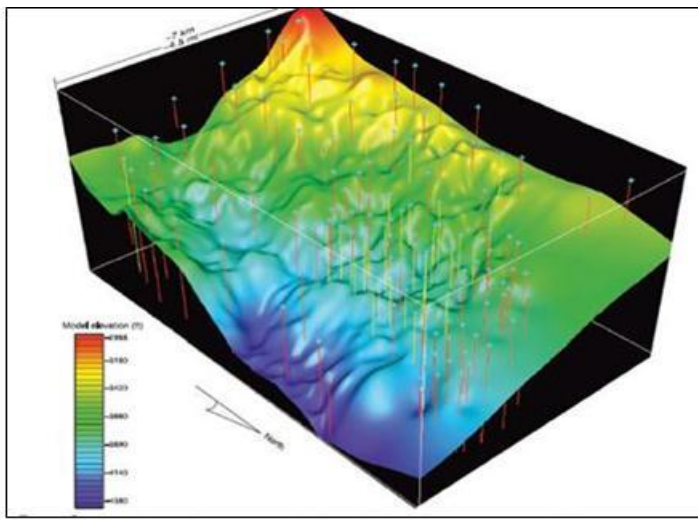


# Integración roca – sísmica – Presal - Brasil

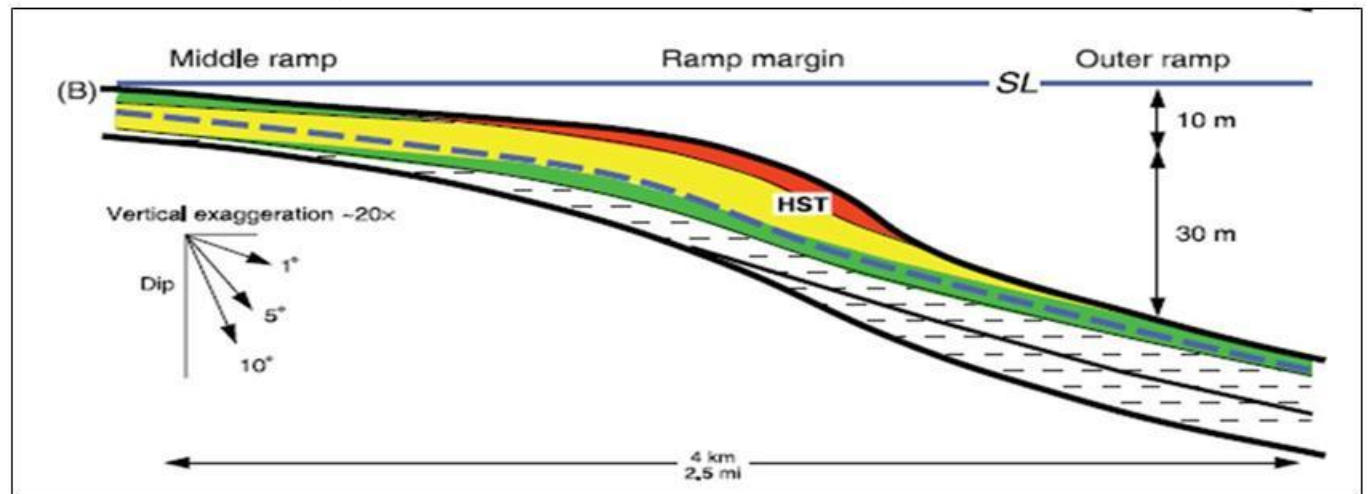


# South Dagger Draw (SDD) field Nuevo Mexico - USA

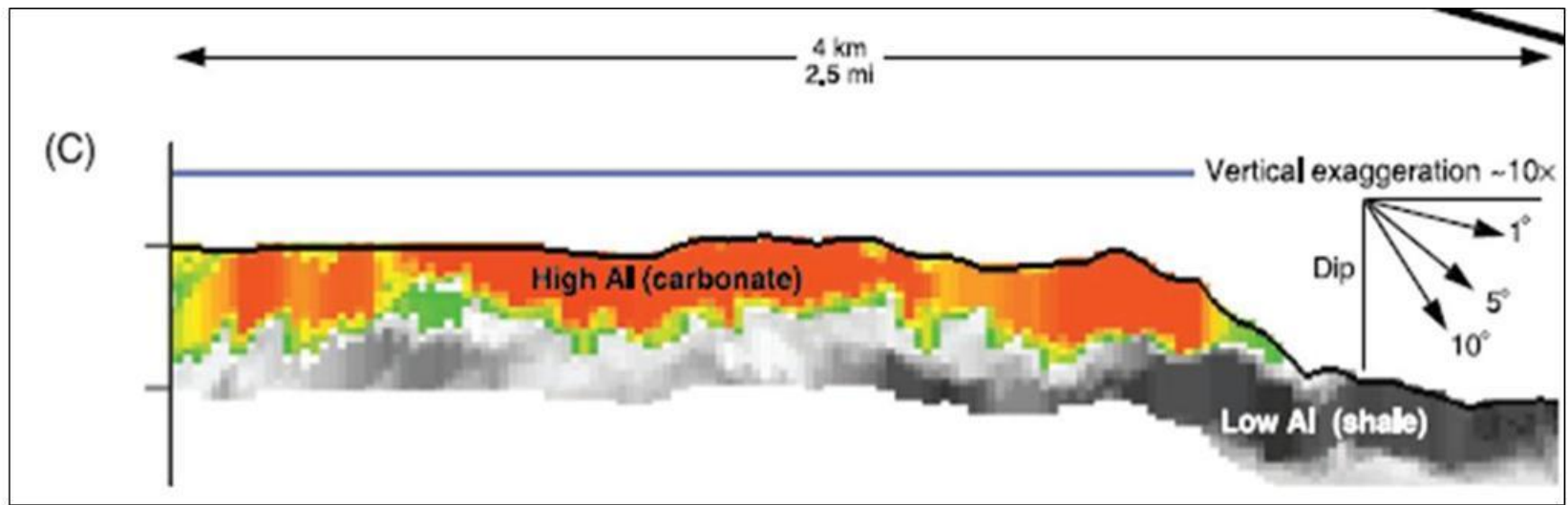




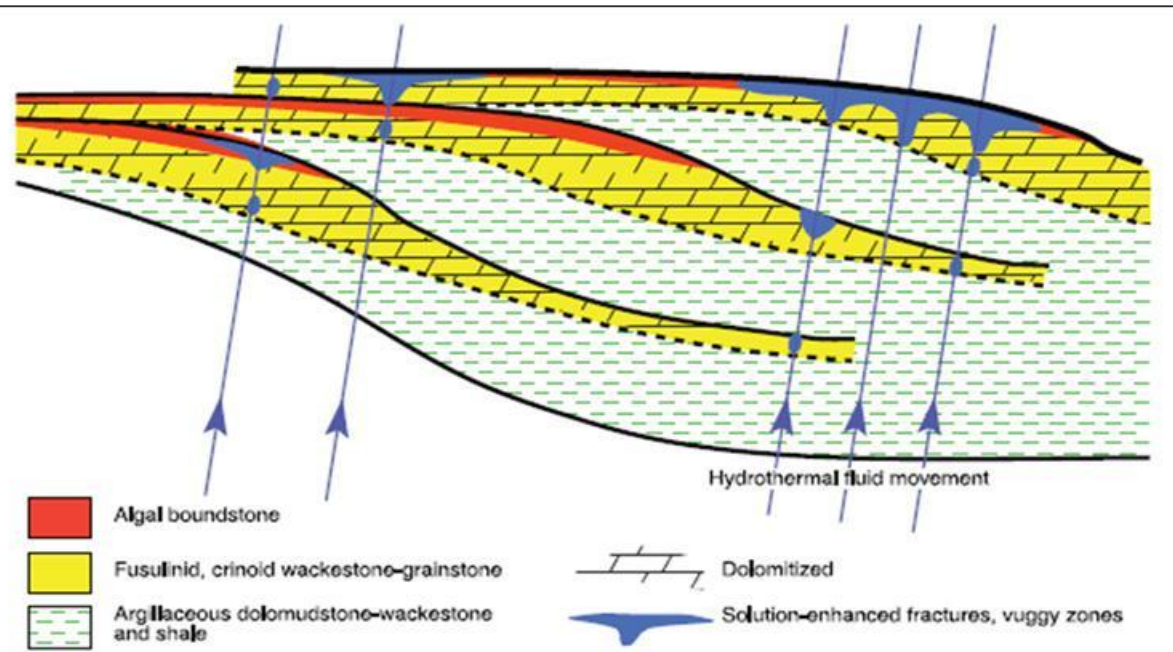
Mapa estructural 3D con registros de pozos y sísmica 3D en el tope del cañon time-stratigraphic surface.. Línea sísmica perpendicular al rumbo del margen del cañon



Distribución de facies LST, TST y HST, el SB es la línea negra grueso, el limite superior LST en línea negra delgada y MFS en interlínea azul, vea el cambio textural entre la rampa externa y media.

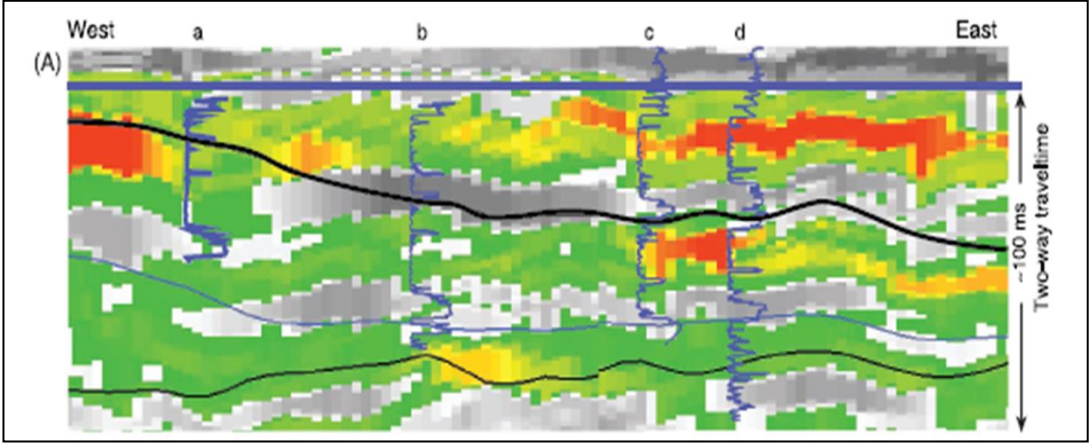
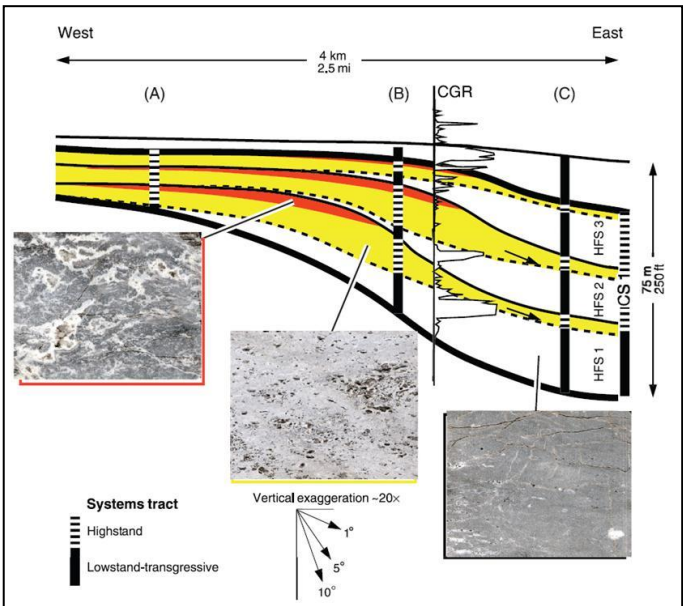


(C) Impedancia Acustica (AI) (seismic inversion) valida el modelo deposicional. Colores representan litología descrita en gráficos (B). Línea azul datum en el tope de Fm. Cisco.



Lima Section

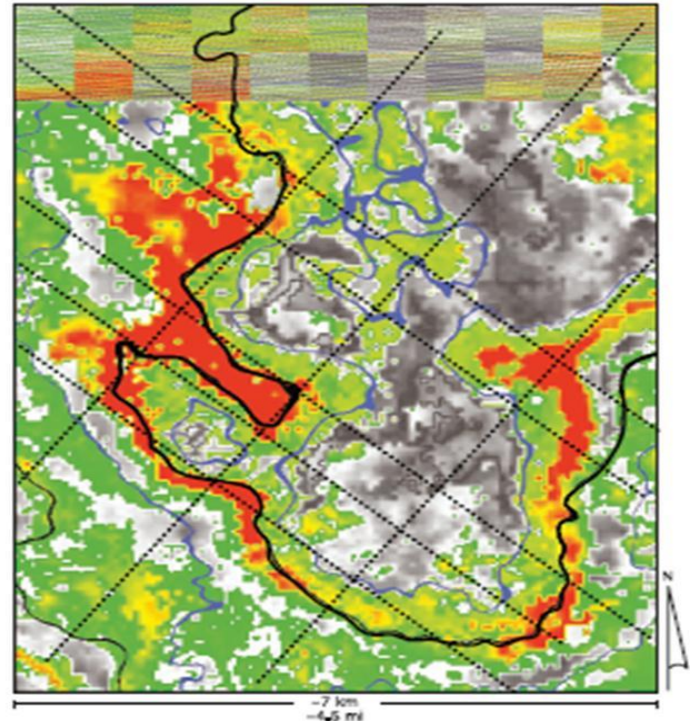
Gráfica conceptual de la generación del reservorio y su distribución. Fluidos ácidos hidrotermales se mueven a lo largo de fracturas con la formación de un "banco" debajo de las lutitas, generando dolomitización y disolución (vugs) (azul) en.



Impedancia acústica y Gr de pozos ilustra la importancia de la integración de datos

Los núcleos, y su importancia en la definición de las secuencias

Time slide del volumen de impedancia acústica  
Lineamientos estructurales interpretados se muestran como líneas discontinuas, de color negro.

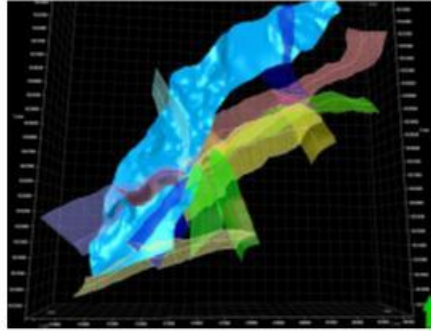




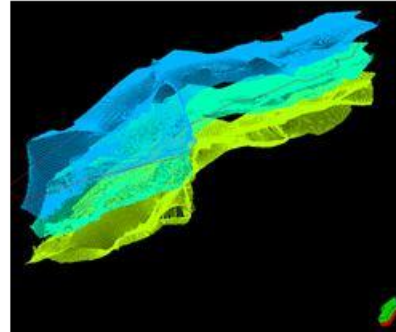
# CARACTERIZACION GEOLOGICA INTEGRADA MODELO ESTATICO 3D

## UNIDADES PEÑA NEGRA – ECHINO – HELICO - LOTE X – CUENCA TALARA

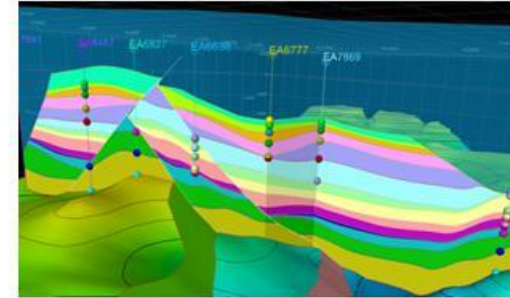
Modelo Estructural 2D  
Skeleton de fallas 3D



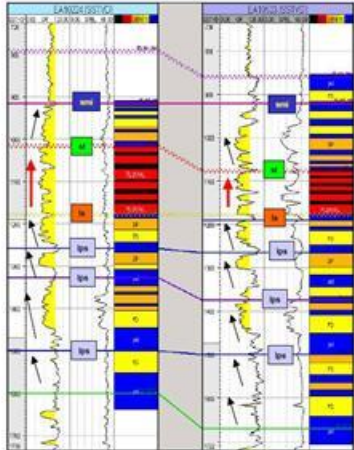
Pillar Gridding  
Define tamaño de grilla  
Para modelado 3D



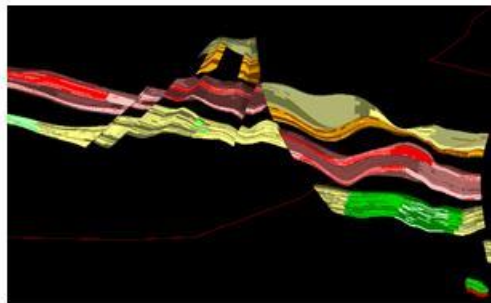
Modelo estratigráfico  
Modelo 3D de Secuencias  
(Zonas - Layering)



Modelo Sedimentario  
Modelo Estratigráfico  
Integración Roca – perfil  
Correlación de pozos  
Datos discretos



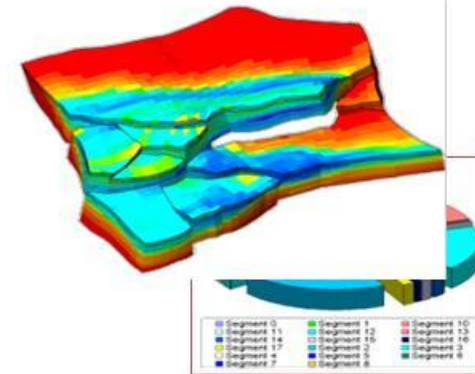
Datos discretos a datos  
continuos (upscaling facies)  
Modelo de Facies 3D  
determinístico ó estocástico,  
aplicación de variogramas

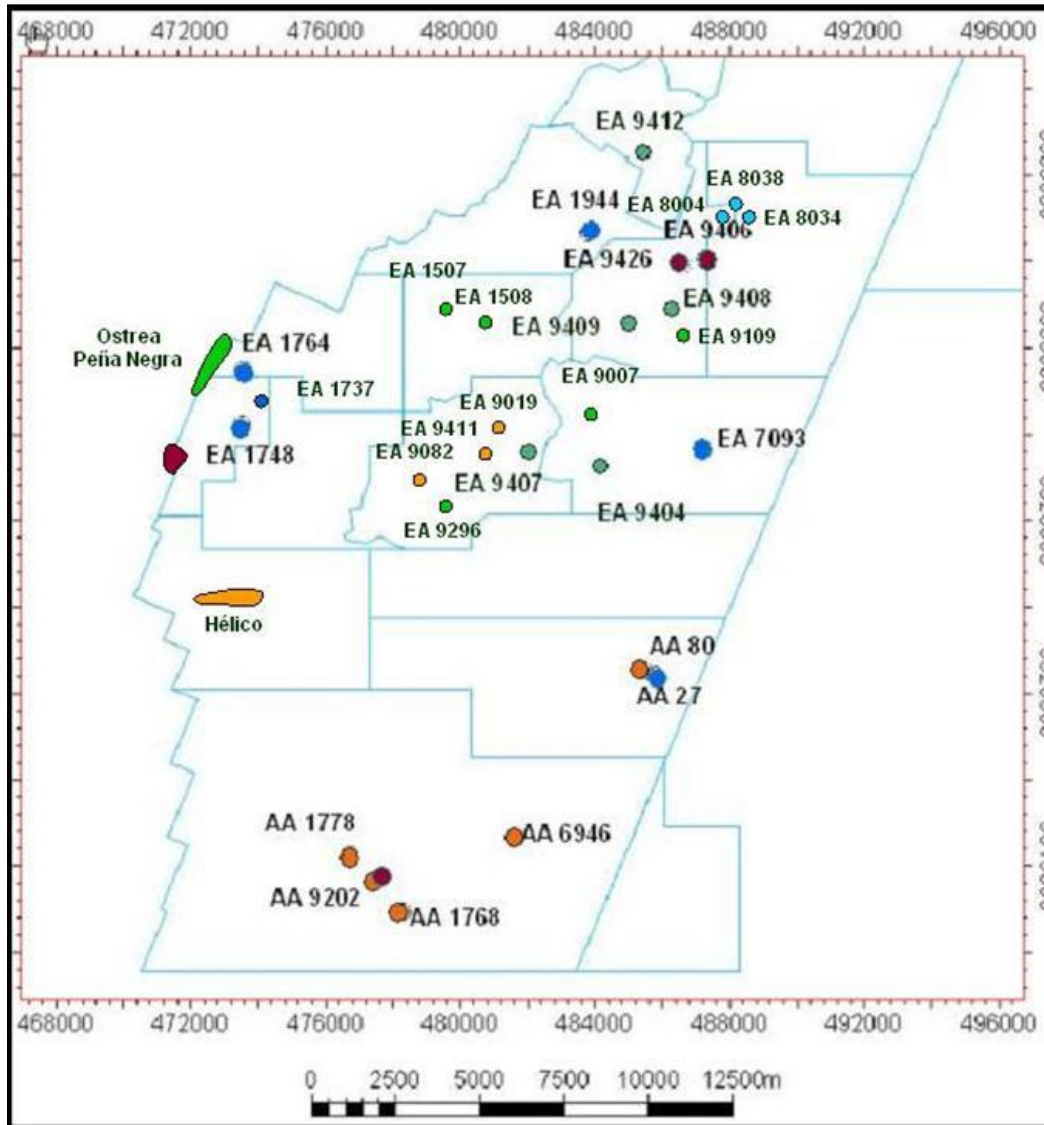


Modelo 3D propiedad  
petrofísicas



Estimación de  
Volumenes





# Modelo Sedimentario

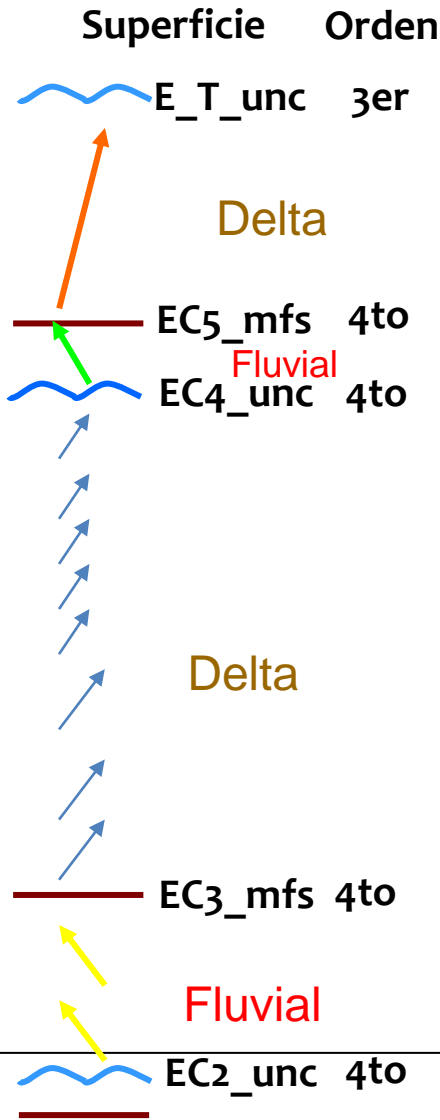
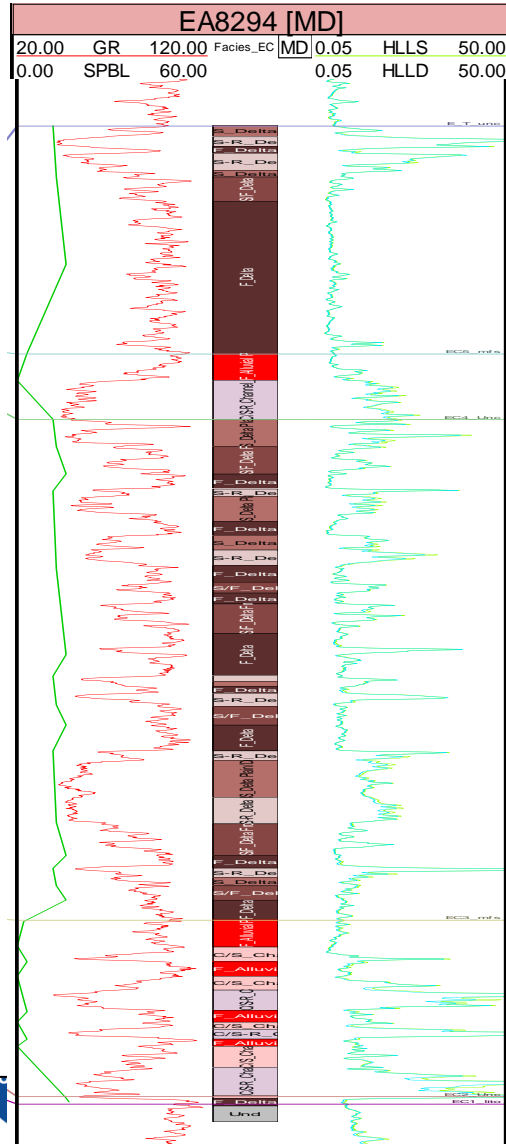
Basado en estudios de:

✓ Afloramientos

✓ Núcleos



# DEFINICIÓN DE SUPERFICIES Y SECUENCIAS ESTRATIGRÁFICAS



Años (MM.a.)  
48.5

Delta

Delta

Regresivo - Progradante

HST – Progradante - Agradante

Superficie de Maxima inundación

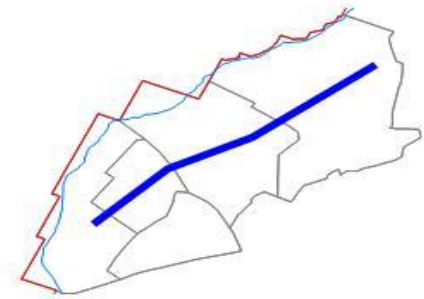
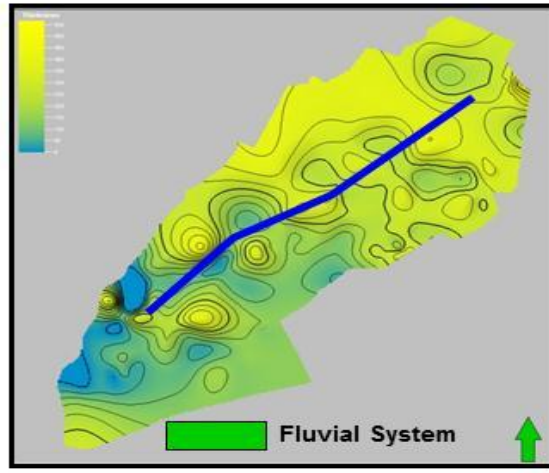
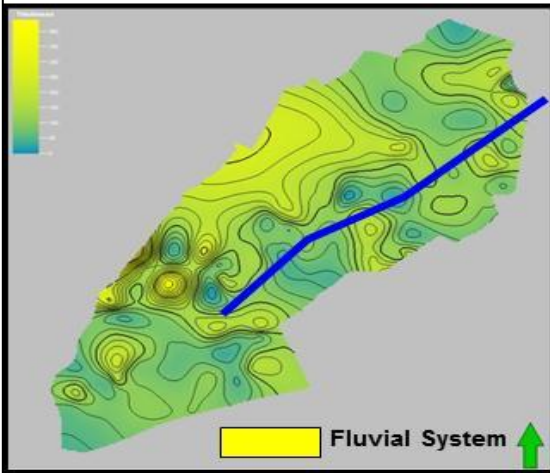
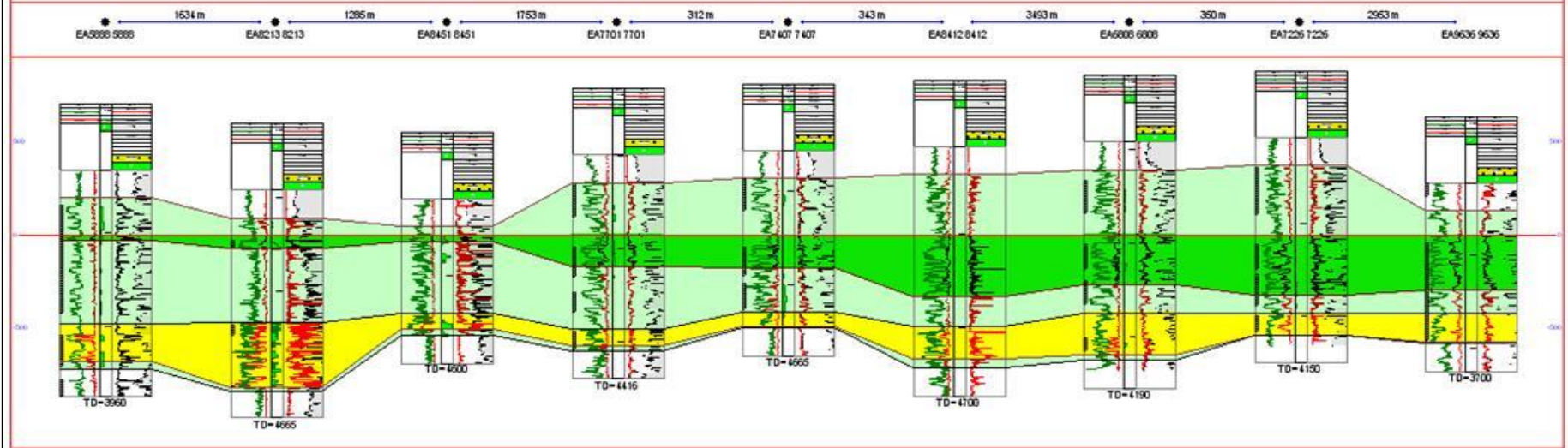
Transgresivo - Retrogradante

LST – Agradante - retrogradante

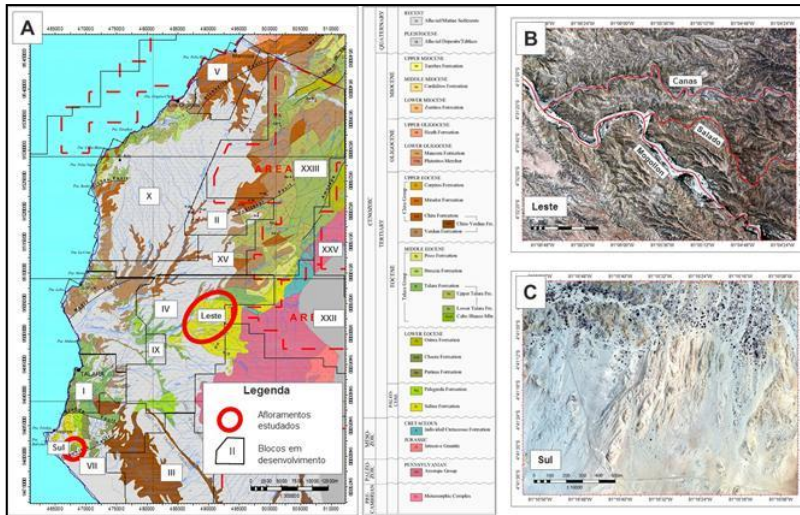
Fluvial



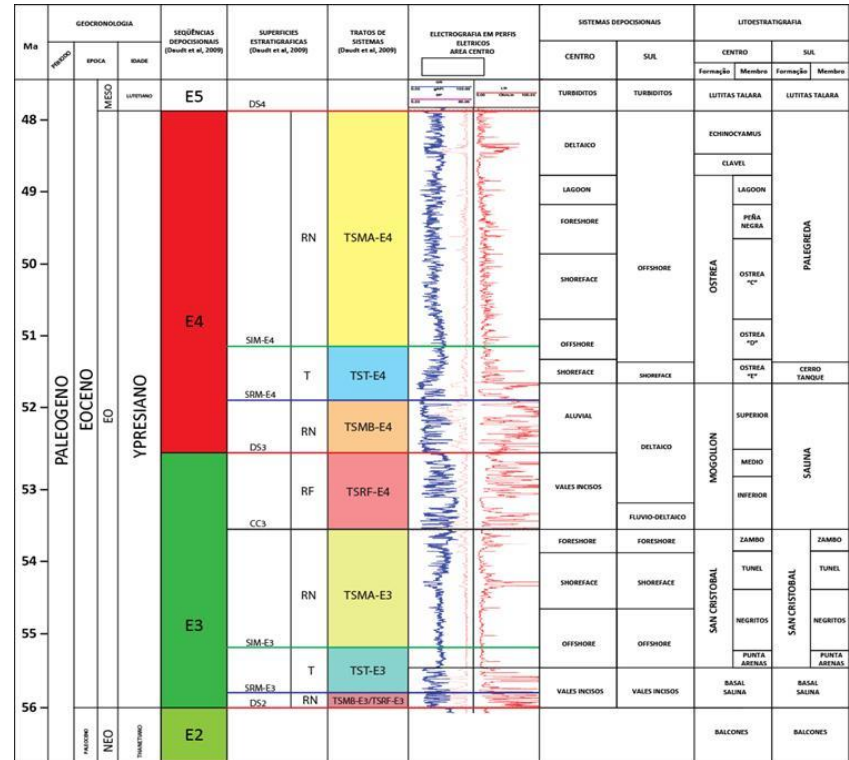
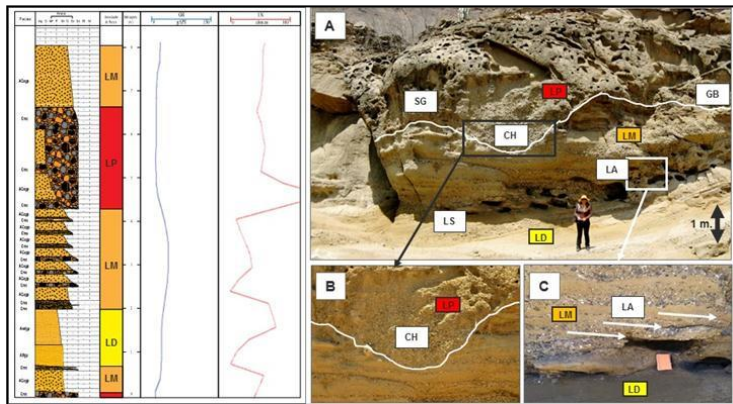
# Stratigraphic Cross Sections - Echinocyamus



# Depositional Architecture and Sequence Stratigraphic Analysis of Eocene Deposits, Salina Group, Talara Basin, Perú



Area De estudio en campo

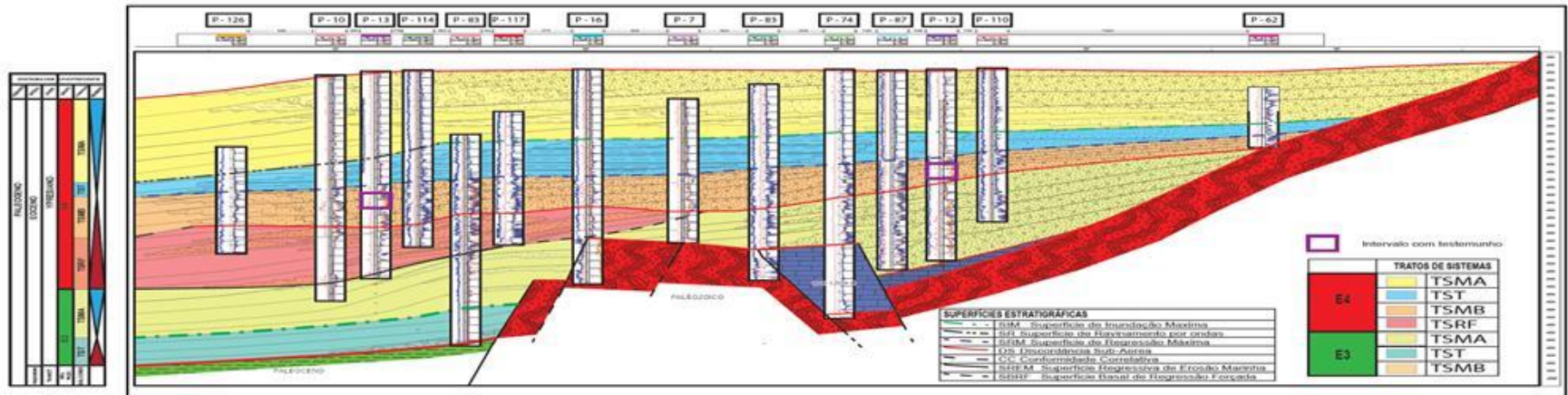


Cronoestratigrafía de las secuencias Eocénicas, mostrando las principales superficies estratigráficas, sistemas encadenados y ambientes deposicionales

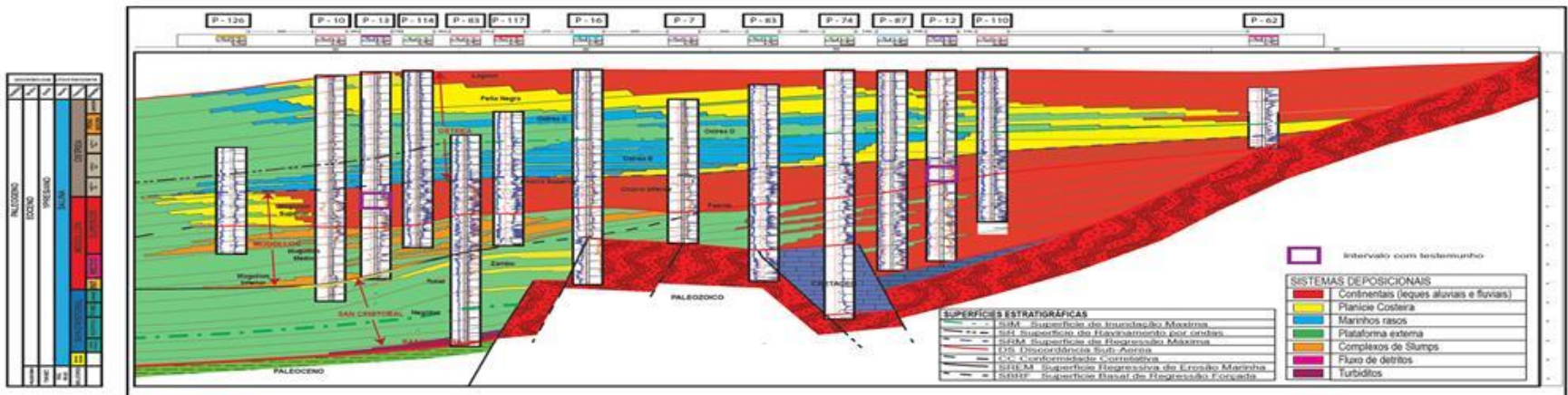
Estudio de facies en afloramientos

Kevin Michael TORRES<sup>1</sup>, Guilherme Pederneiras GABAGLIA<sup>2</sup>, Claiton Marlon SCHERER<sup>3</sup>, Jorge Antônio MAGALHÃES<sup>4</sup> & Eloy Gerardo POZO - 2017

A. Composição das Unidades Cronoestratigráficas



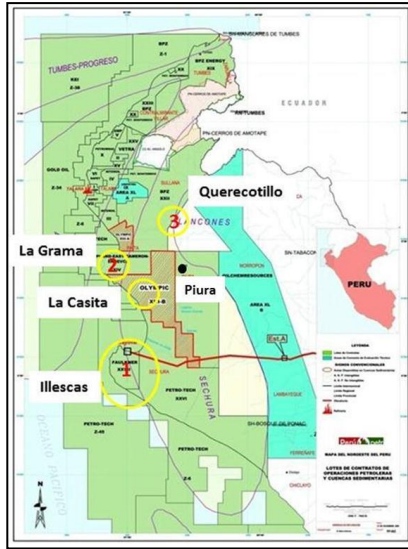
B. Sistemas Depositionais e Unidades Litoestratigráficas



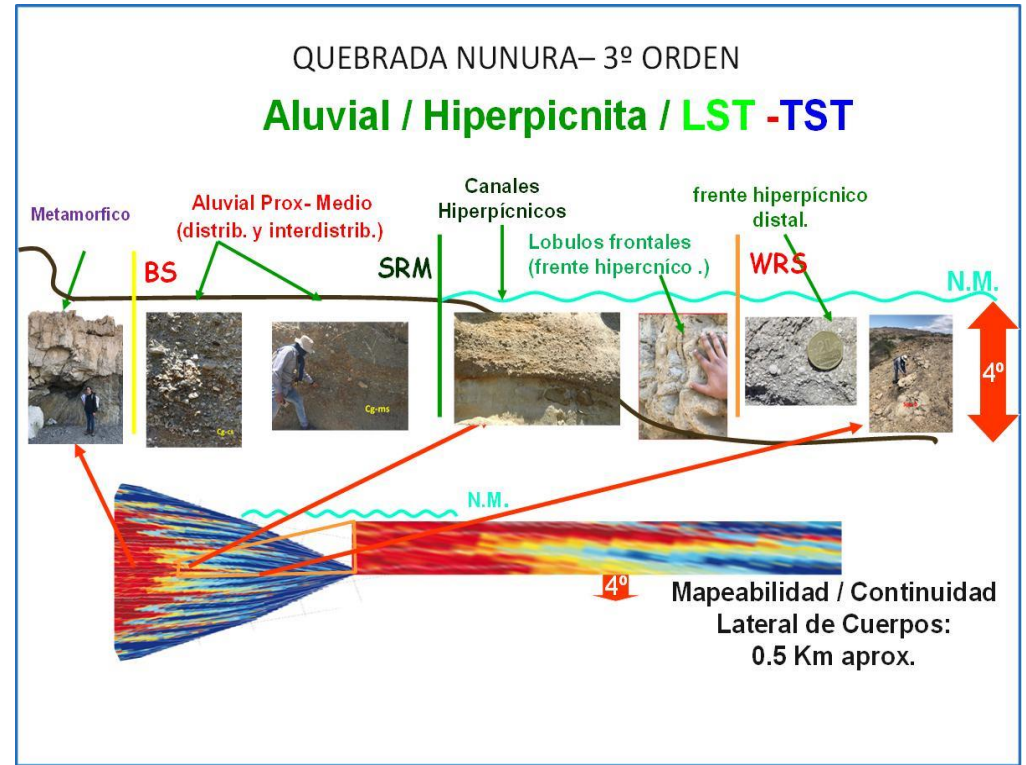
Sección transversal oeste-este mostrando A) Principales superficies estratigráficas y sistemas encadenados. B) Distribución de las fácies en la parte central de la cuenca para las secuencias E3 e E4 del Eoceno.



# PROYECTO MODELO DEPOSICIONAL CHIRA – VERDUN LOTE XIIIIB – CUENCA SECHURA



Área de estudio

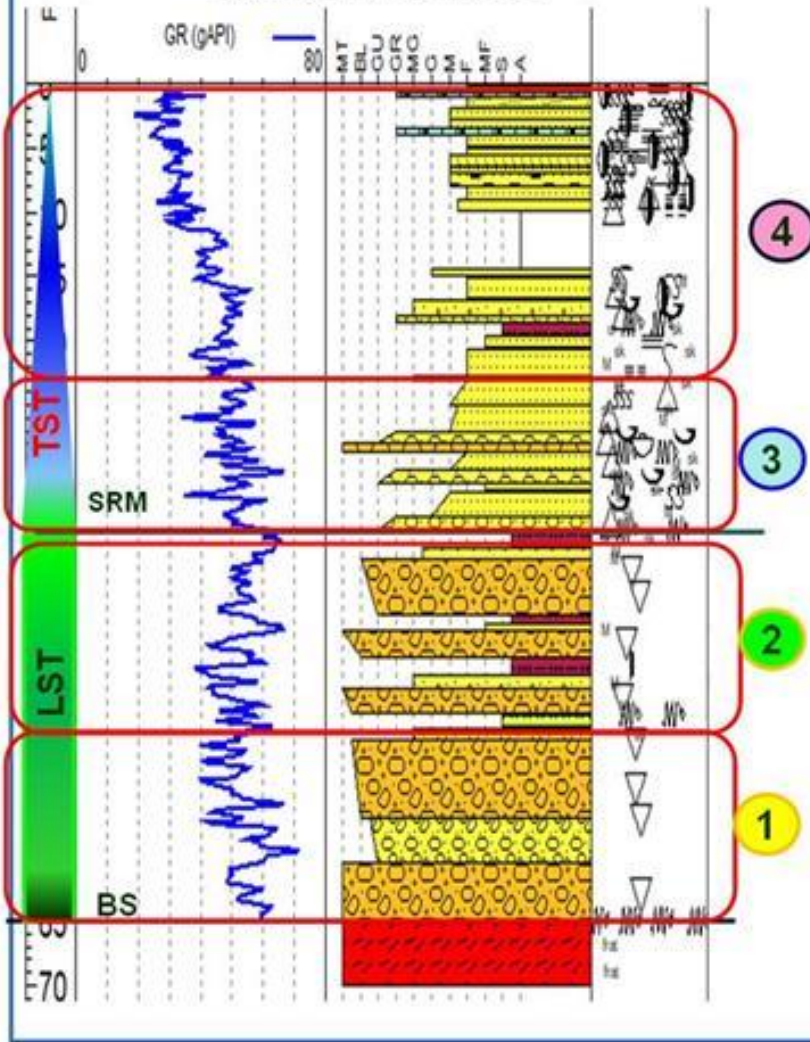


Ambientes deposicionales

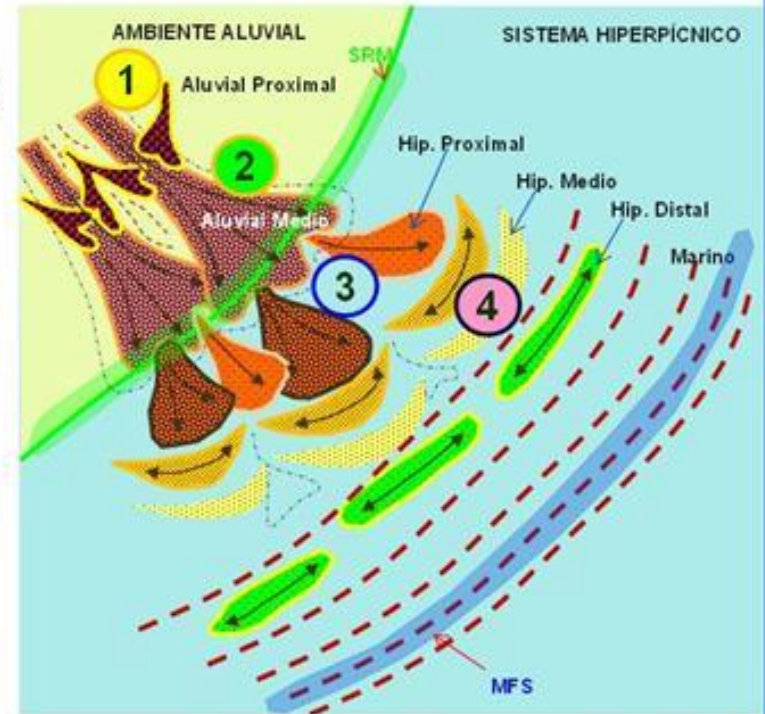
Facies sedimentarias – elementos arquitecturales

SUBAMBIENTES DEPOSICIONALES			AMBIENTE DEPOSICIONAL
N°	ASOCIACIÓN DE FACIES	ELEMENTOS ARQUITECTURALES	
0	M	Pseudobasamento metamorfico, Paleozoico	MACIZO
1	Cg_cs, Cg_ms, S_Cg, Sm_g-mgs	Canales aluviales proximales dominados por flujos de debritus (debris flow)	ALUVIAL
2	S_Cg, Sm_gr-mgs, Sm_m-gr	Canales aluviales medios dominados por flujos acuosos. (stream flow)	
3	Sm_mf, Fl, Fls	Llanuras aluviales o zonas de inundación (sheet flood)	
4	Cg_ms_b, S_Cg_b, Sm_b_m-mgs, Sm_m-gs,	Canales hiperpicnicos proximales, de alta densidad, subácueos	ABANICO SUBMARINO (HIPERPÍCNITA)
5	Sm_b_m-mgs, Sm_m-gs, Sm_b_f-m, Sm_b_f	Lóbulos hiperpicnicos de frente o proximales, de alta densidad, cuerpos tabulares	
6	Bc, Bc_lp, Spp_mf-f, Sm-b-mf	Lóbulos hiperpicnicos medios, media densidad, cuerpos tabulares	
7	Bc, Sb_ba, Spp_b, Spp_ic, Ss	Lóbulos hiperpicnicos medios - distales de media a baja densidad, cuerpos tabulares	
8	Spp-b, Fl, Flss	Lóbulos hiperpicnicos distales de baja densidad, cuerpos tabulares	
9	Fl_h	Marino abierto	MARINO

# Columna sedimentaria – estratigráfica Quebrada Nunura



# Modelo de sistema deposicional Unidad Verdún



Integración – Roca – perfil

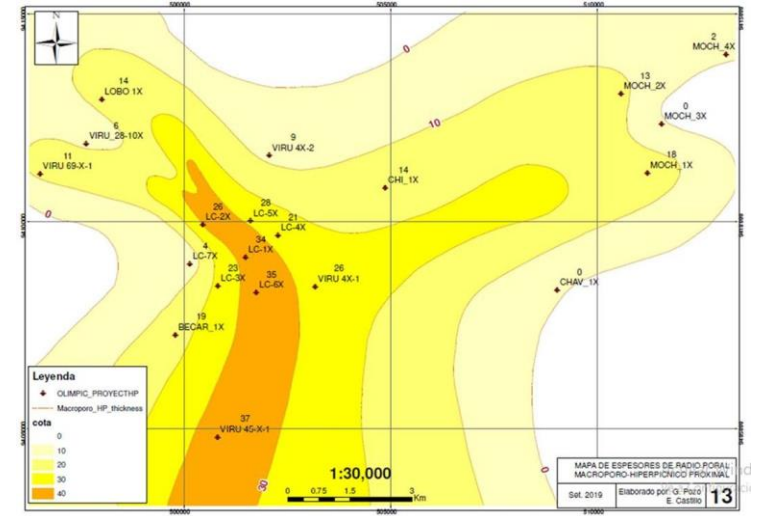
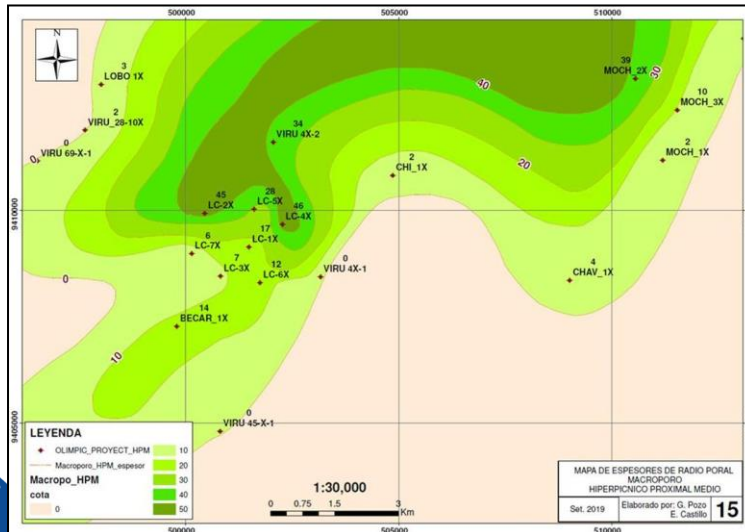
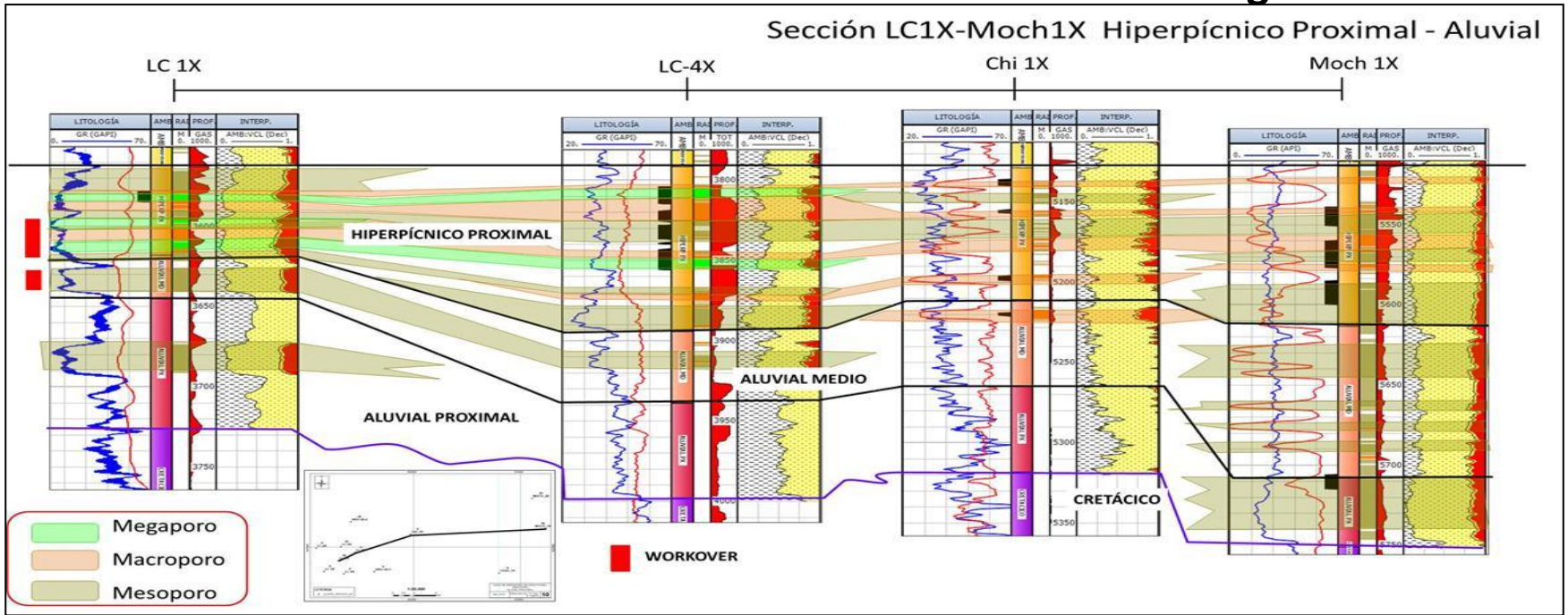
Interpretación Ambiente deposicional – estratigrafía de Secuencias



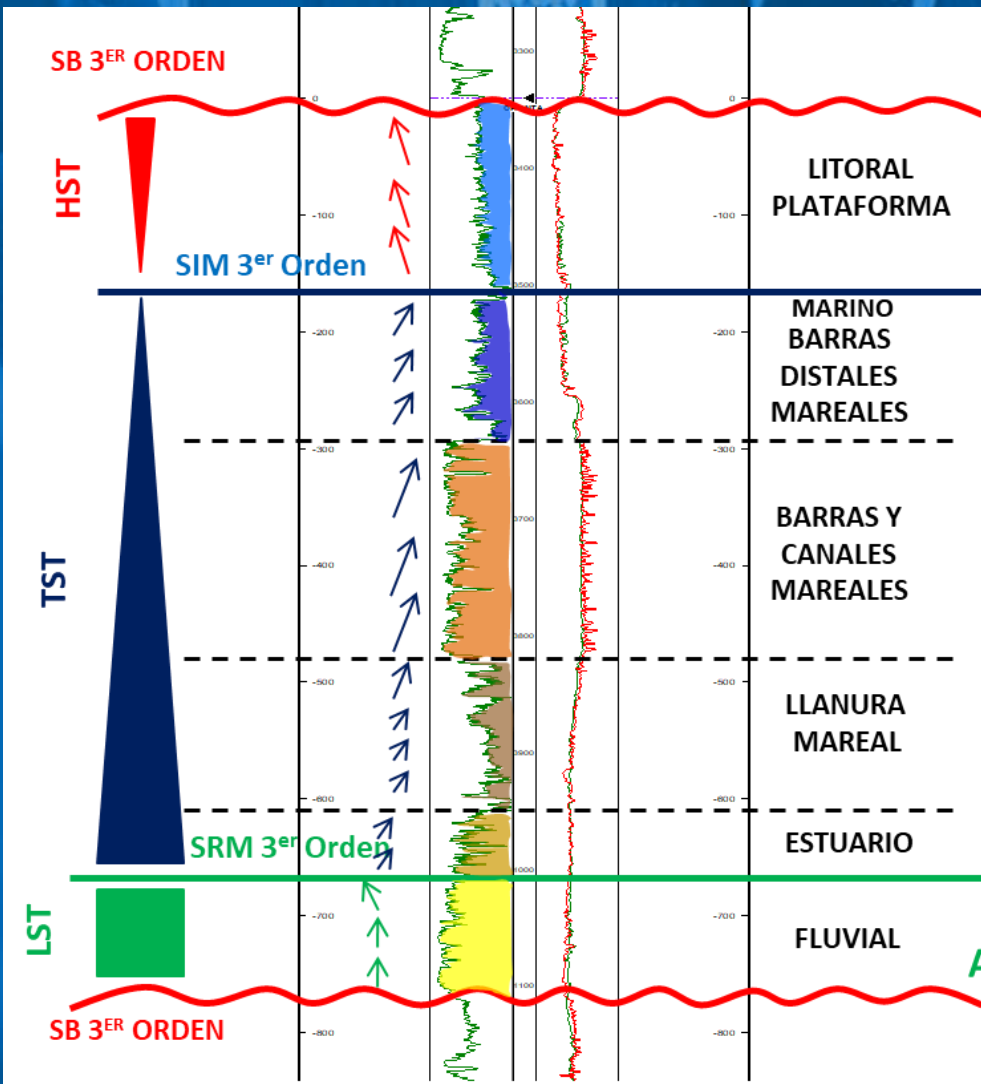


# Correlación – Estratigráfica

## Sección LC1X-Moch1X Hiperpícnico Proximal - Aluvial



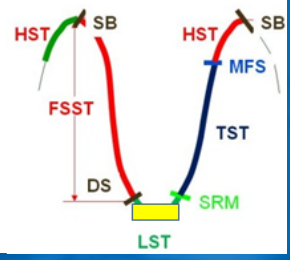
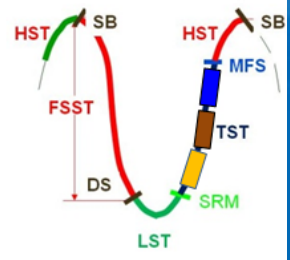
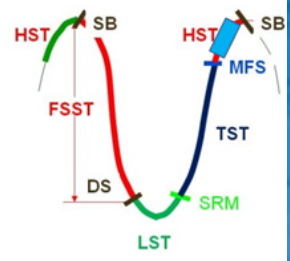
## Mapas de distribución de calidad de subambientes



**SISTEMA PLATAFORMA Progradación**

**SISTEMA MAREAL Retrogradación**

**SISTEMA FLUVIAL Agradación - Progradación**



Modelo Secuencial 3erOrden Cushabatay – Chonta  
Edson Castillo – Gerardo Pozo 2015

**GRACIAS**



Society of Petroleum Engineers