

# Interpretación Sísmica

- Combinación de ciencia, método y arte
- Esencial experiencia y conocimiento del intérprete
  - Geología
  - Fundamentos del método sísmico

# Interpretación Sísmica

- **Objetivos**
  - Cuadro geológico general (estratigrafía, tectónica, etc.)
  - Ambientes favorables para yacimientos de HC
  - Trampas: a) Estructurales      b) Estratigráficas
  - Presencia de fluídos

- Trampas Estructurales

Anticlinales      - Fallas (Directas o Inversas)      - Domos

- Trampas Estratigráficas

- Discordancias      - Pinch-outs      - Gradación lateral

## **Significado geológico de las reflexiones**

### **1. Distinción de reflexiones con significado geológico**

### **2. Reflexiones sin contenido geológico:**

- a. Múltiples
- b. Difracciones
- c. Reflexiones fuera de plano
- d. Distorsiones por variaciones de velocidad

### **3. Reflexiones con contenido geológico:**

- a. Superficies estratales
- b. Discordancias
- c. Corrimientos (raro)
- d. Contactos entre fluidos

*Los horizontes reflectores tienen significado cronoestratigráfico más que litoestratigráfico.*

## **Métodos de Interpretación**

- Dependiente del intérprete
- Dependiente del objetivo
- Dependiente de la información disponible (sísmica, pozos, geología, otros métodos geofísicos)
- Consistencia vs precisión



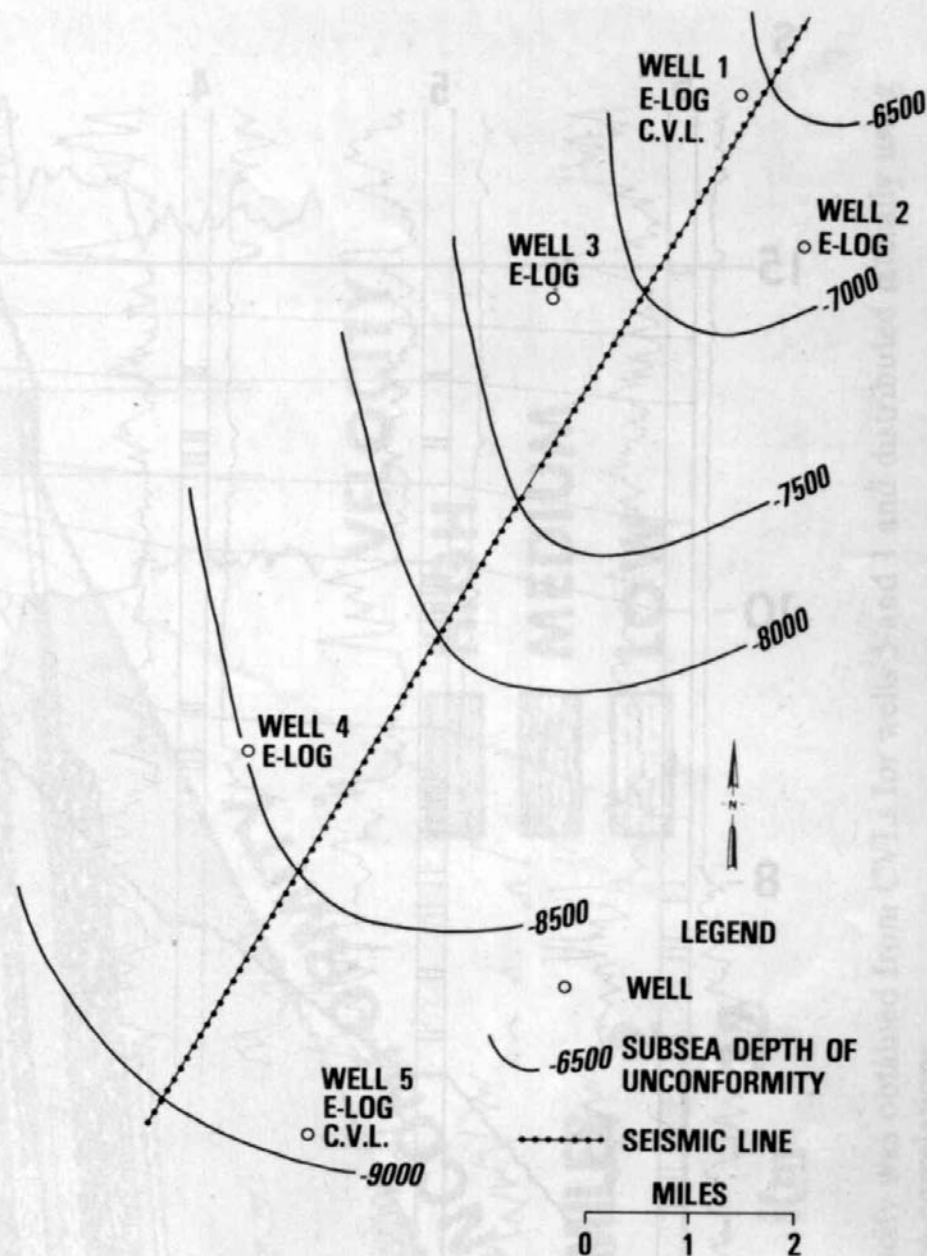


FIG. 1—Location of wells used in Tertiary example, South America.

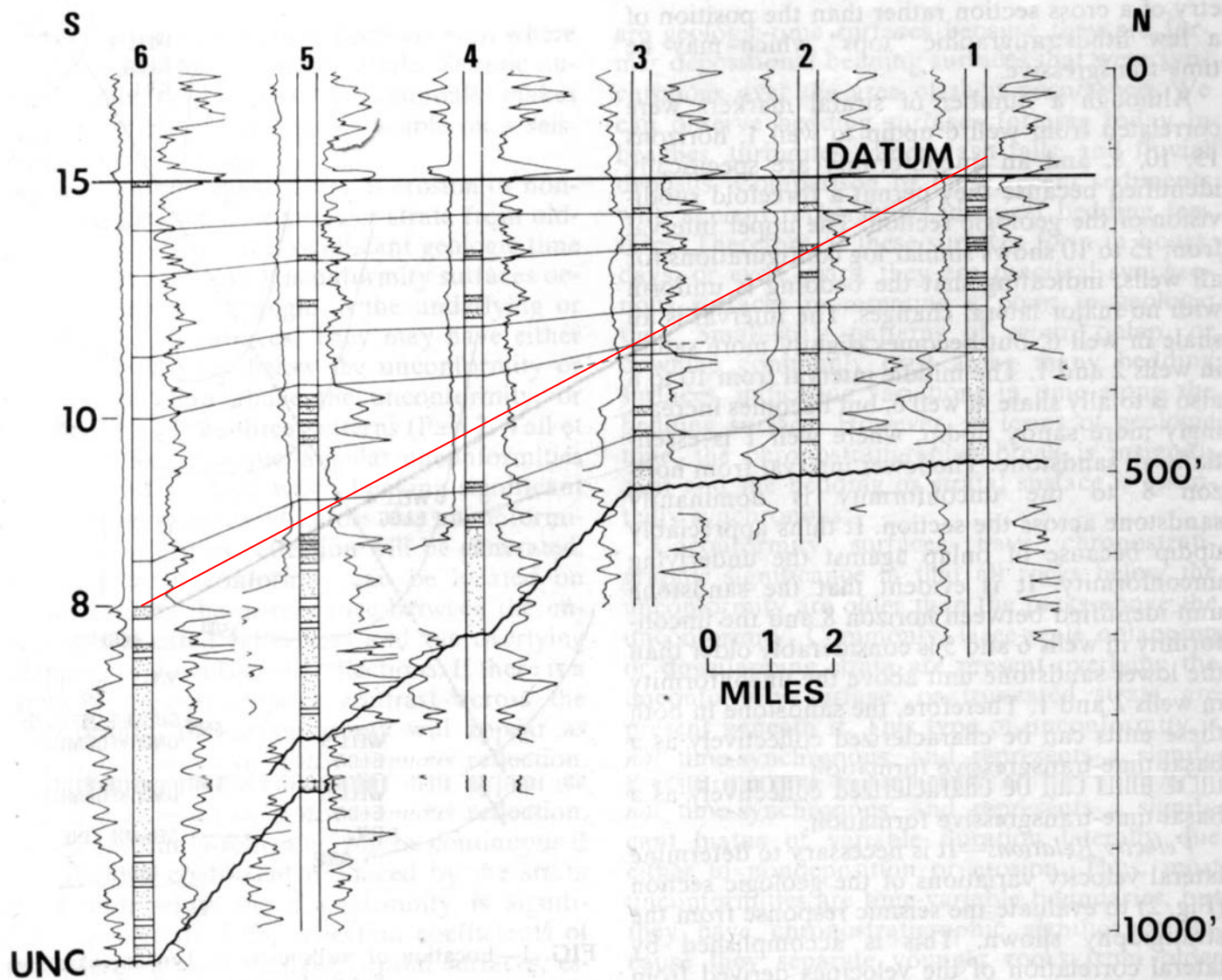
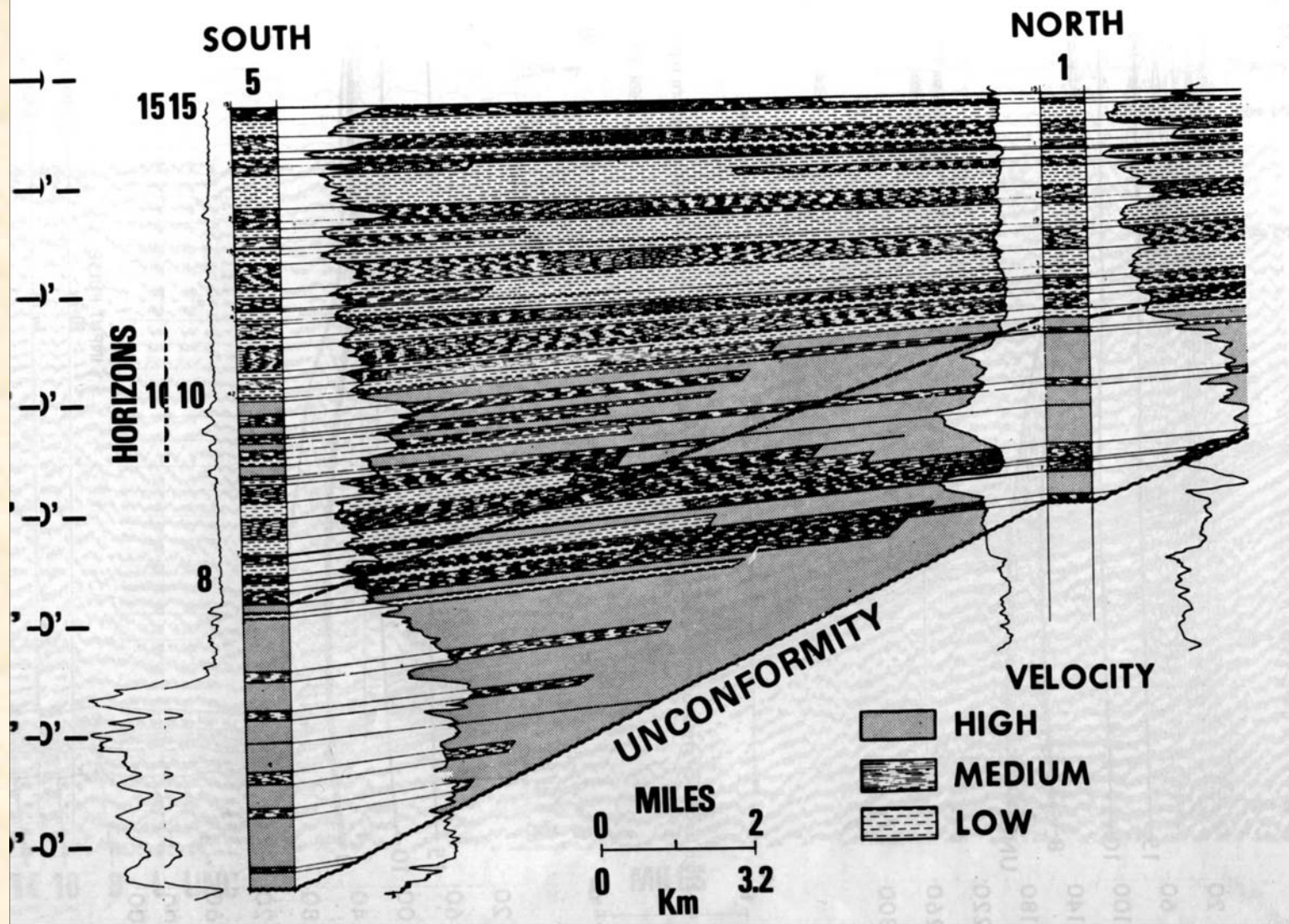


FIG. 2—Geologic cross section showing electric-log correlations, Tertiary example, South America. Stippled pat-

Pozos con información litológica. Correlación litológica corta  
lineas de tiempo





Correlación de propiedades elásticas (velocidad) sigue la correlación litológica (corta líneas de tiempo)

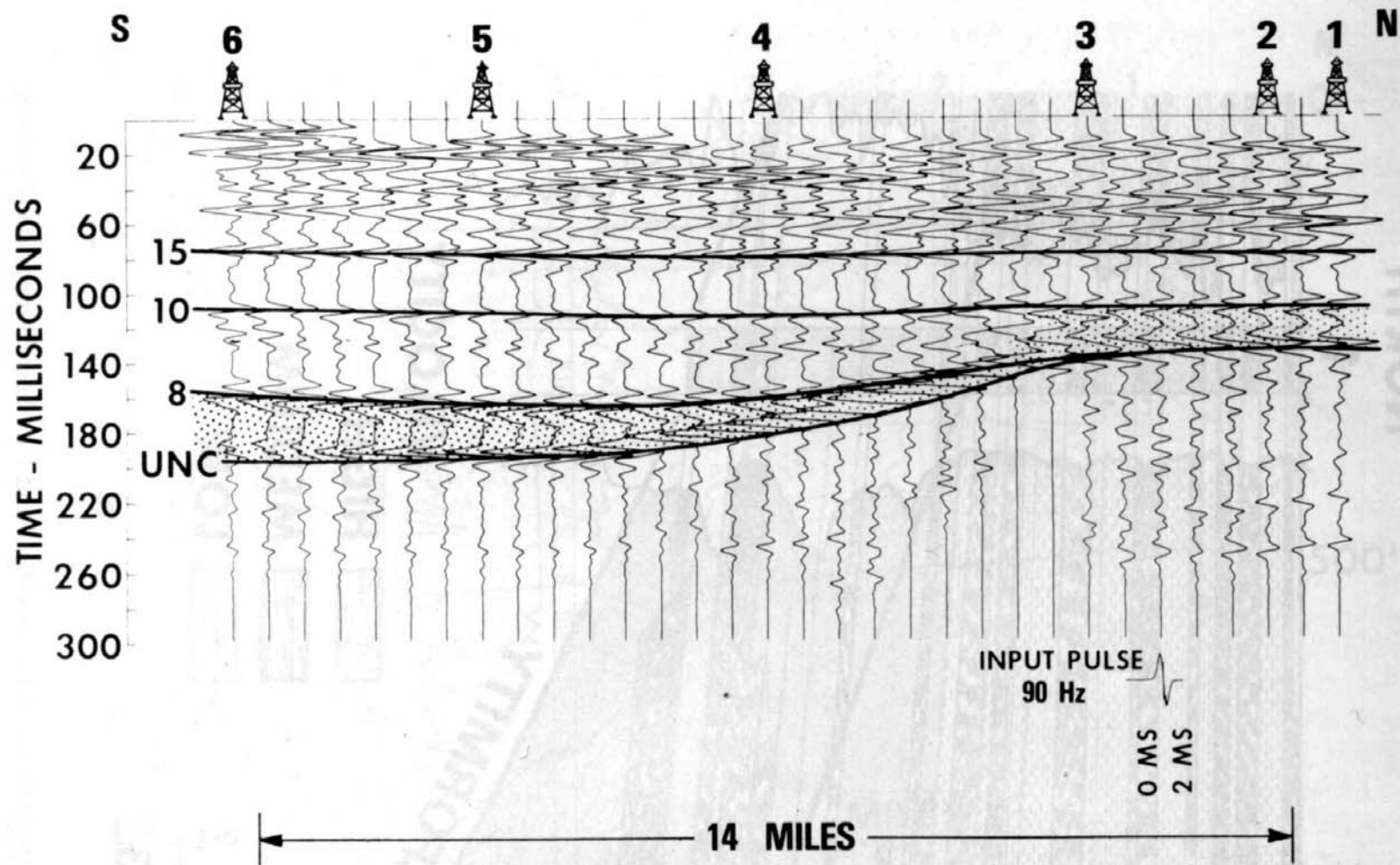
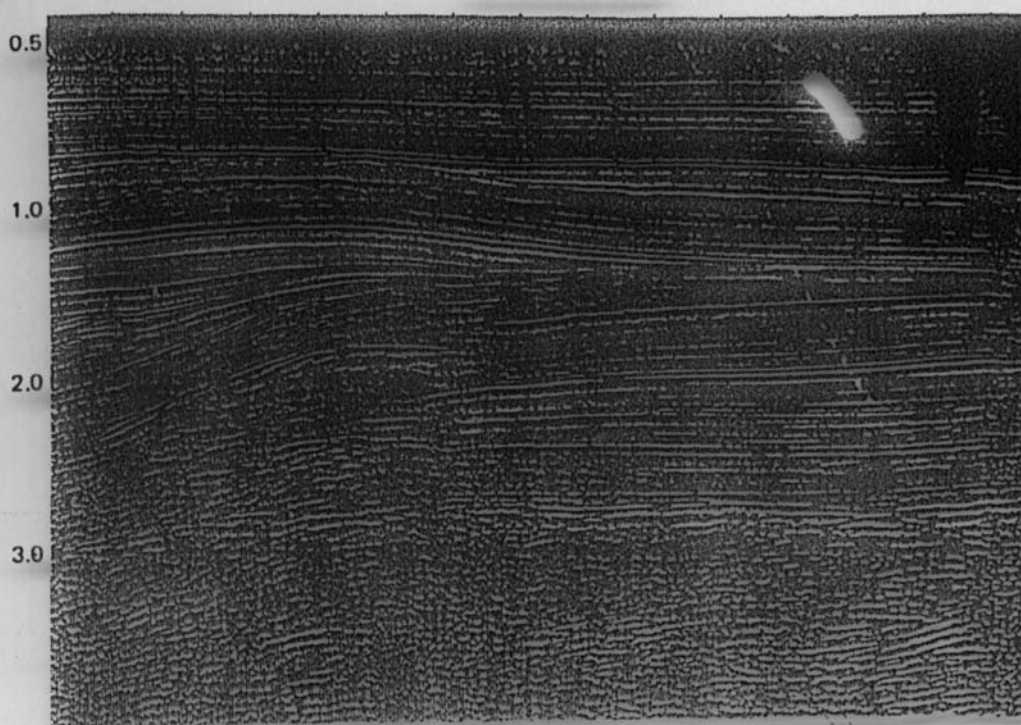


FIG. 4—High frequency synthetic seismic section constructed by inputting 90-Hz sine wave. Stipple pattern represents sandstone.

Reflectores sísmicos siguen superficies estratales = líneas de tiempo.

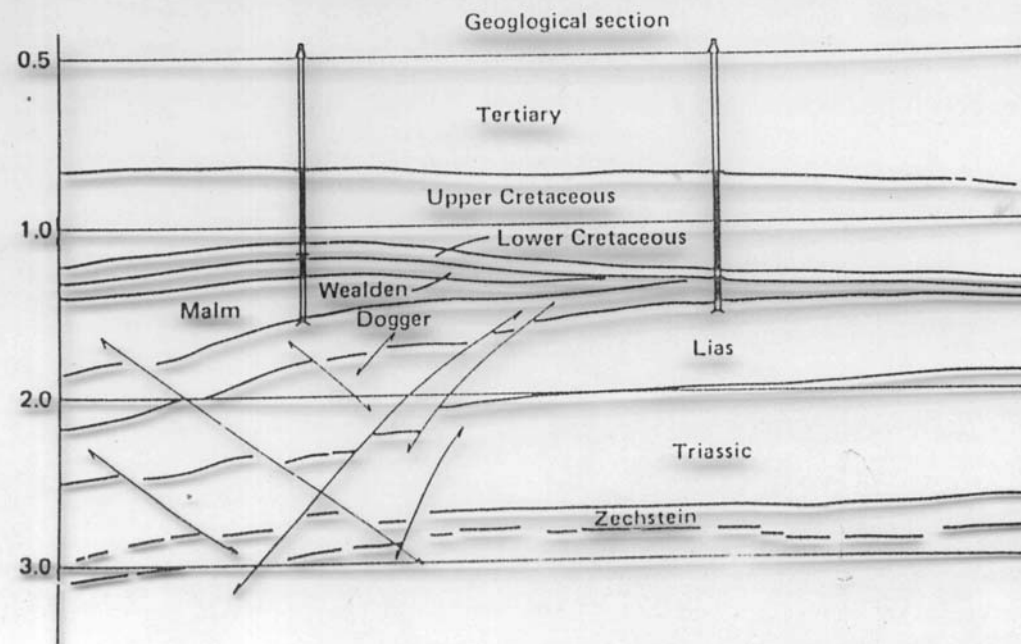
No siguen límites litoestratigráficos





**Objetivo Principal de la interpretación sísmica:**

**Reconstruir la sección geológica de subsuelo a partir de la sección sísmica**



# Señal geológica vs arteficio sísmico

## La importancia de la ondícula

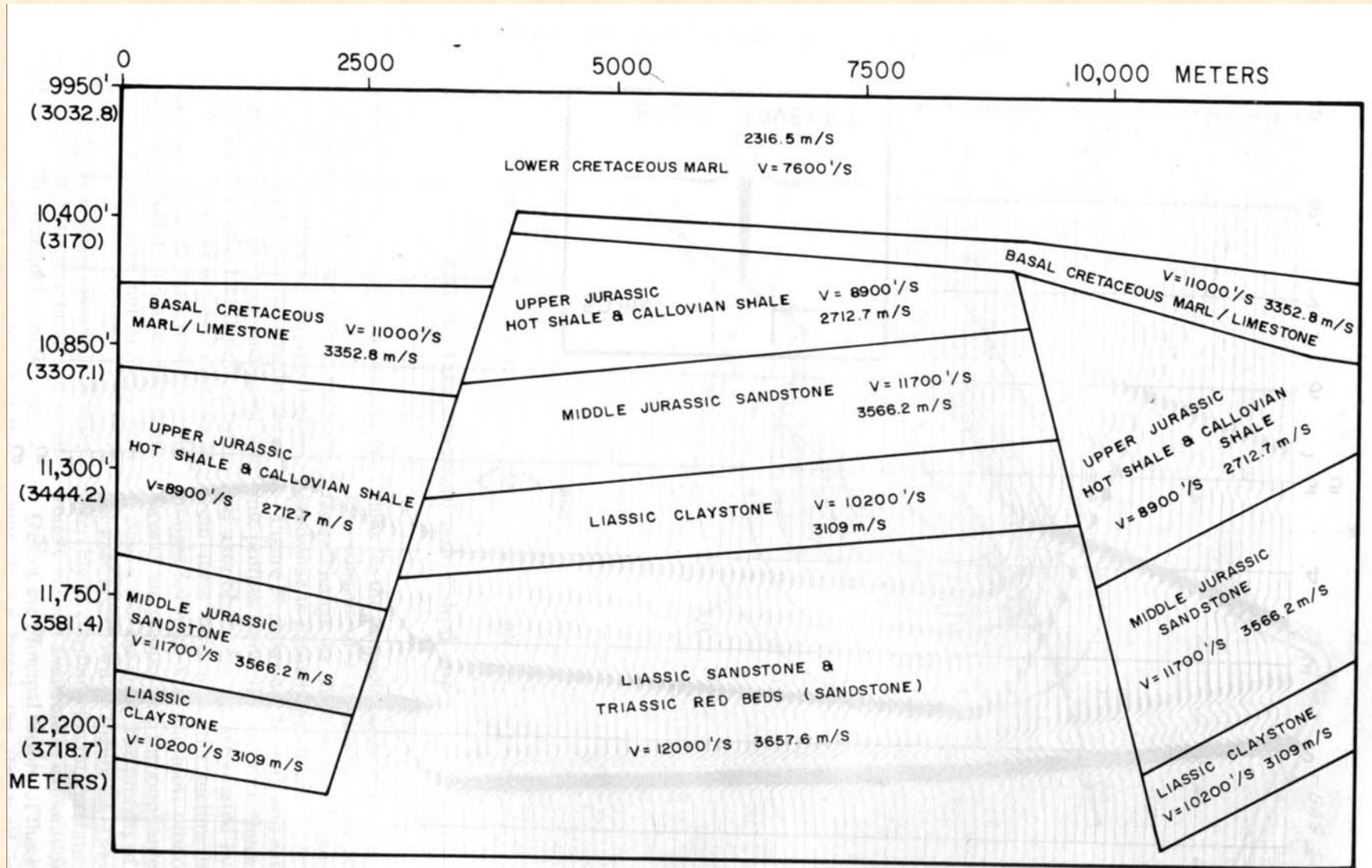
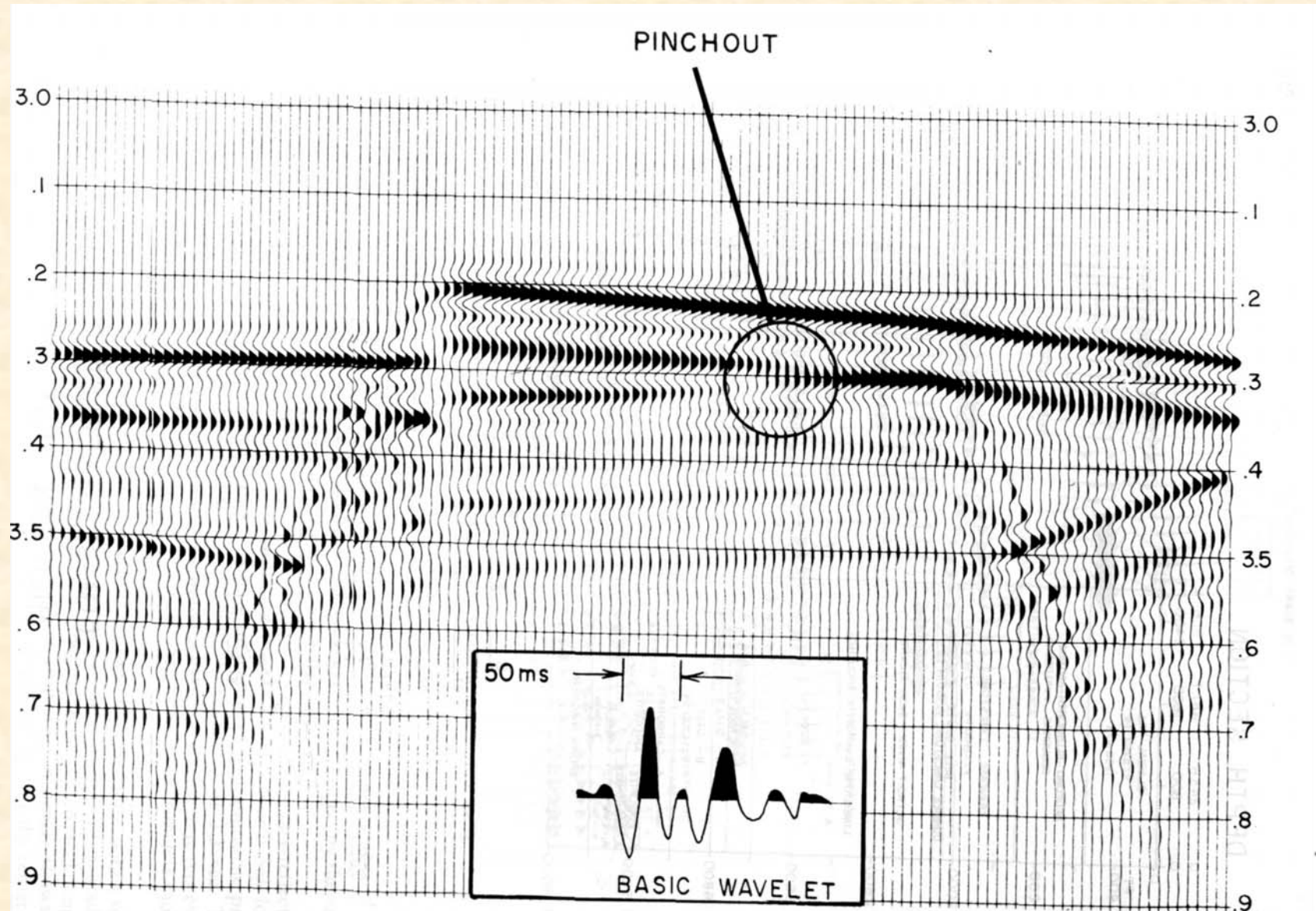


FIG. 18—North Sea model, geology and seismic parameters.



# Señal geológica vs artefacto sísmico

## La importancia de la ondícula



FIGG. 17—North Sea horst-fault model, wave-theory solution (primaries only).



# Señal geológica vs artefacto sísmico

## La importancia de la ondícula

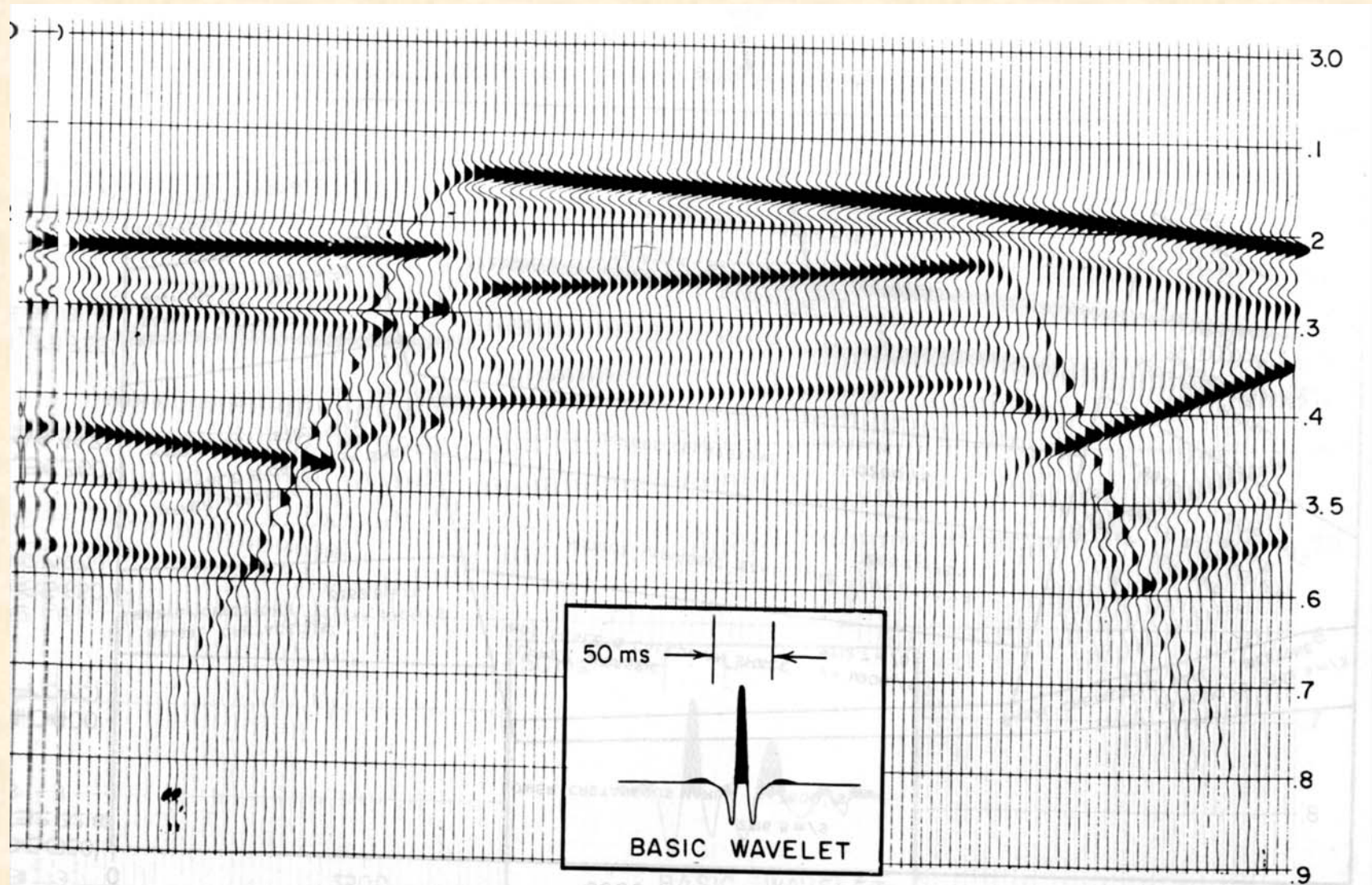
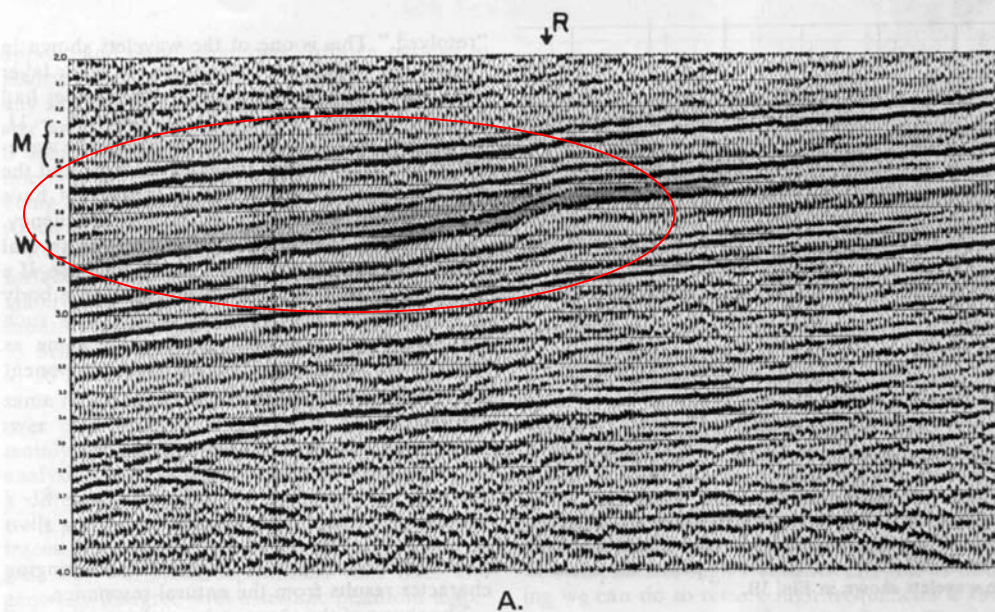
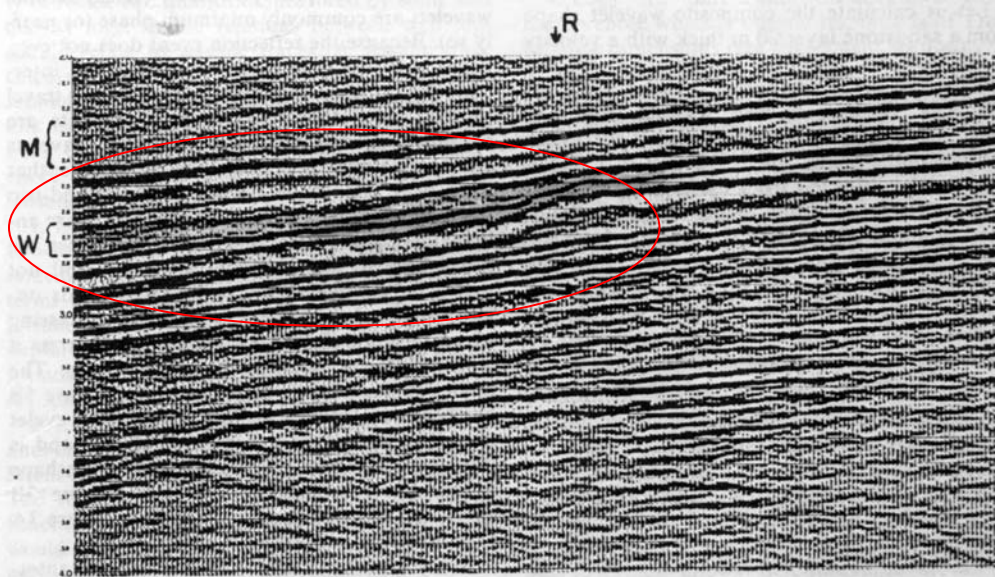


FIG. 19—North Sea horst-fault model, wave-theory solution (primaries only).





A.



B.

FIG. 4—A dip line in East Texas. Major reflections generally show how section breaks into its major units. The Midway (M) and Woodbine (W) are prograding sediments. Note Edwards Reef edge (R). (A) Conventional processing; (B) Processing (PULSE) designed to shorten the equivalent source wavelet and make it constant in shape. Resolution of Woodbine pinchouts has been increased by this processing. Courtesy Seiscom Delta Inc.

- Importancia del procesamiento de la ondícula
- Ondícula más corta y simple: Sección sísmica con mayor resolución y calidad de reflexión

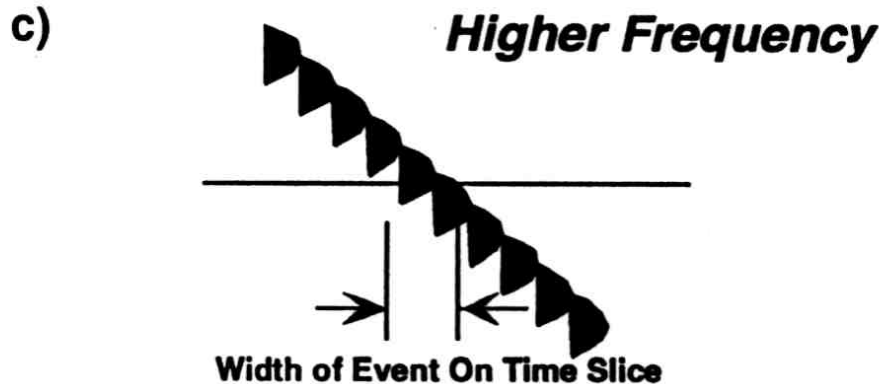
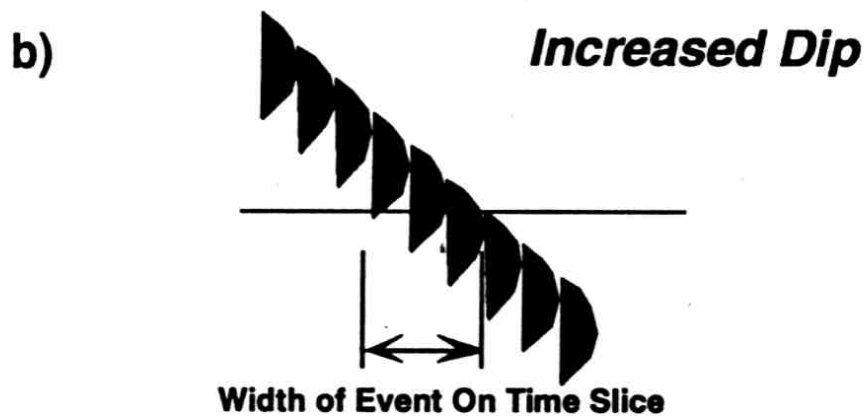
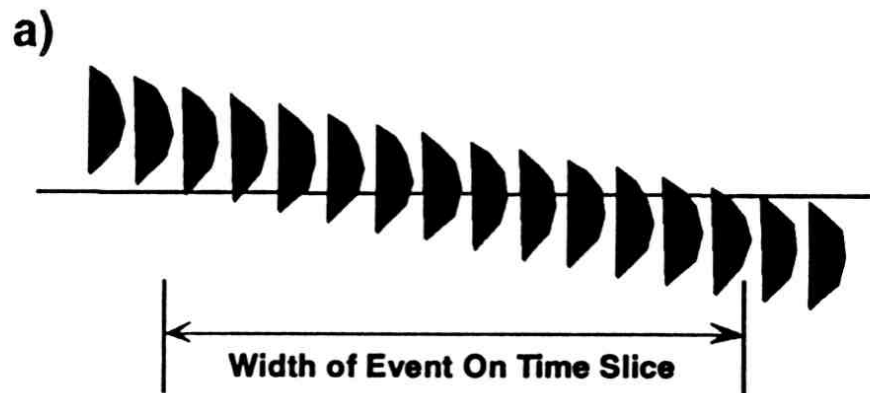


Fig. 7. Schematic diagram illustrating the effects of: (a) stratigraphic dip, and (b) reflection frequency on the thickness of a reflection viewed on a time slice. Adapted from Brown (1996a).

El ancho de un reflector en una sección horizontal (sísmica 3D) es proporcional al buzamiento.

Siempre y cuando se comparen frecuencias iguales.

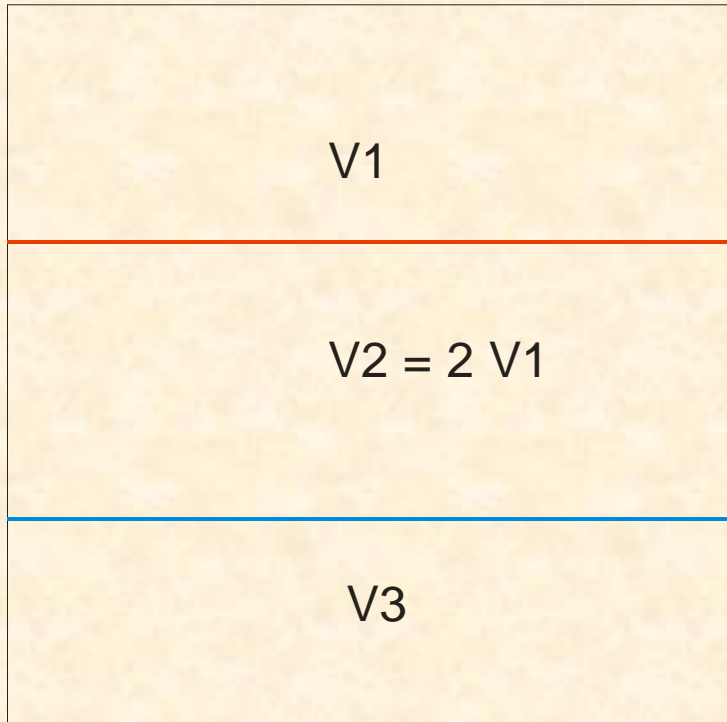
# Conversión tiempo-profundidad

- Las secciones o cubos sísmicos suelen presentarse en coordenadas de tiempo
- La conversión tiempo – profundidad es una herramienta muy importante para relacionar la sísmica con la geología del subsuelo
- Matemáticamente bastaría:
- $Z = V_{rms} \times T/2$
- Sin embargo el procedimiento es complejo, suele involucrar migración e ilustra varios cuidados necesarios en la interpretación

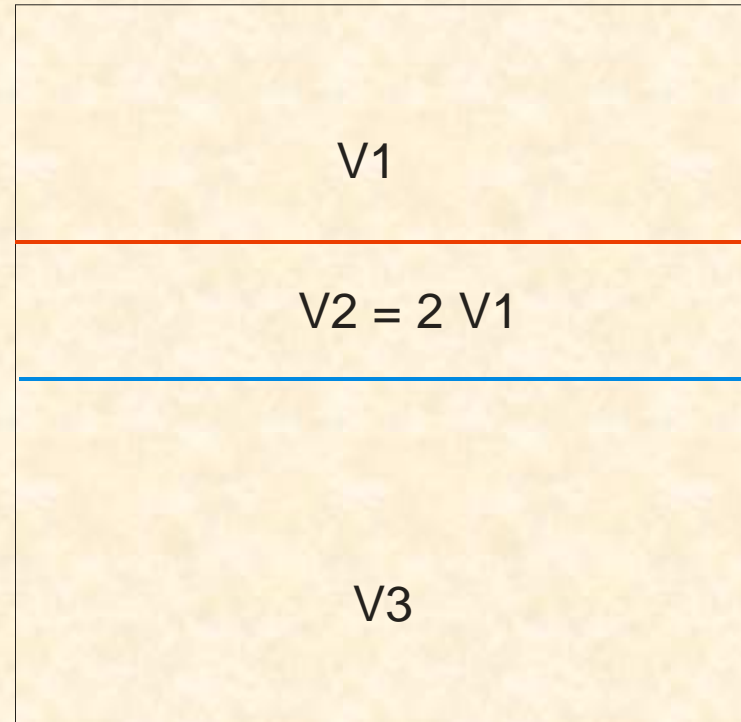


La velocidad varía con la profundidad y produce una “distorsión” de la estructura vista en la sección

Seccion geologica  
(en profundidad)

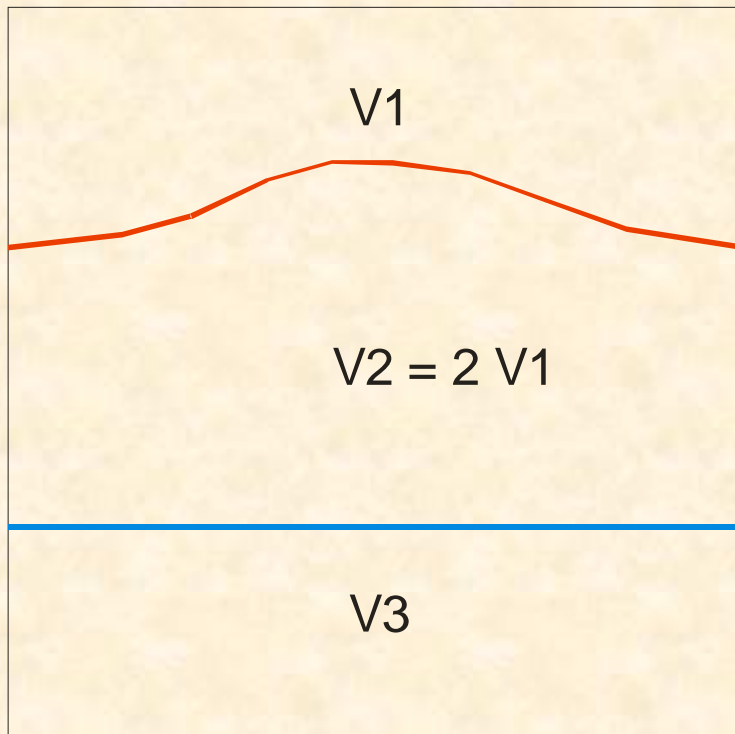


Seccion sismica  
(en tiempo)

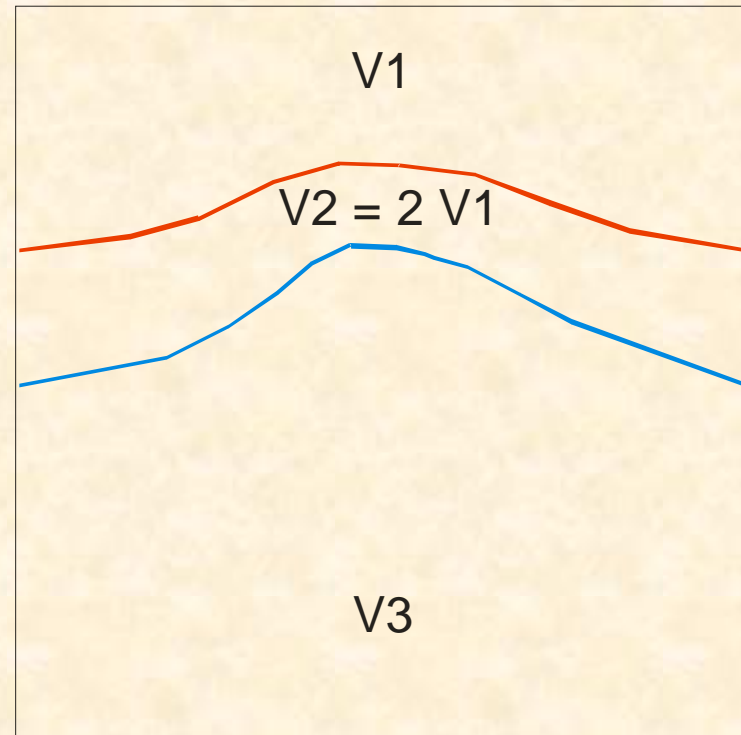


# Anomalías de velocidad

Seccion geologica  
(en profundidad)



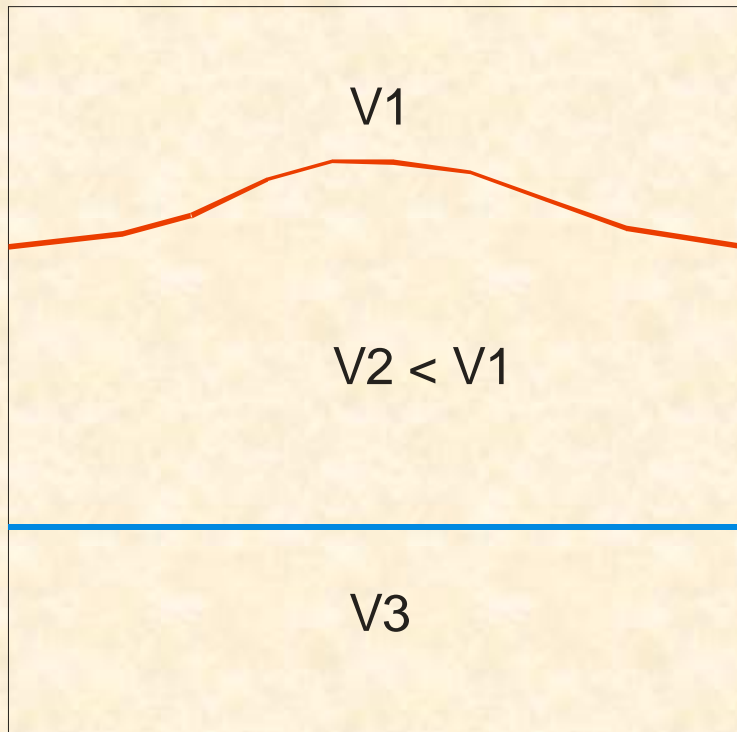
Seccion sismica  
(en tiempo)



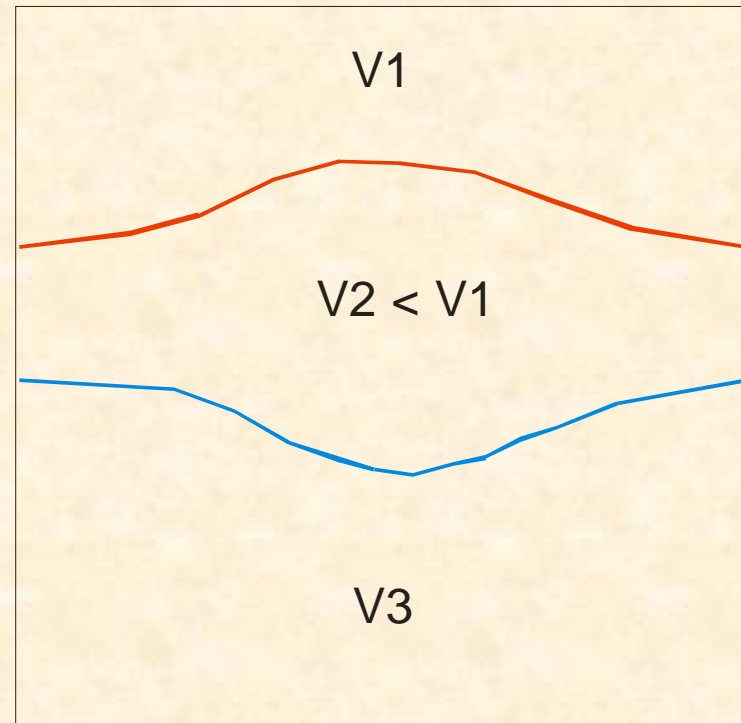
Velocity pull-up: ascenso anómalo de un reflector por aumento lateral de velocidad: domos salinos, pliegues, fallas, etc.

# Anomalías de velocidad

Sección geológica  
(en profundidad)



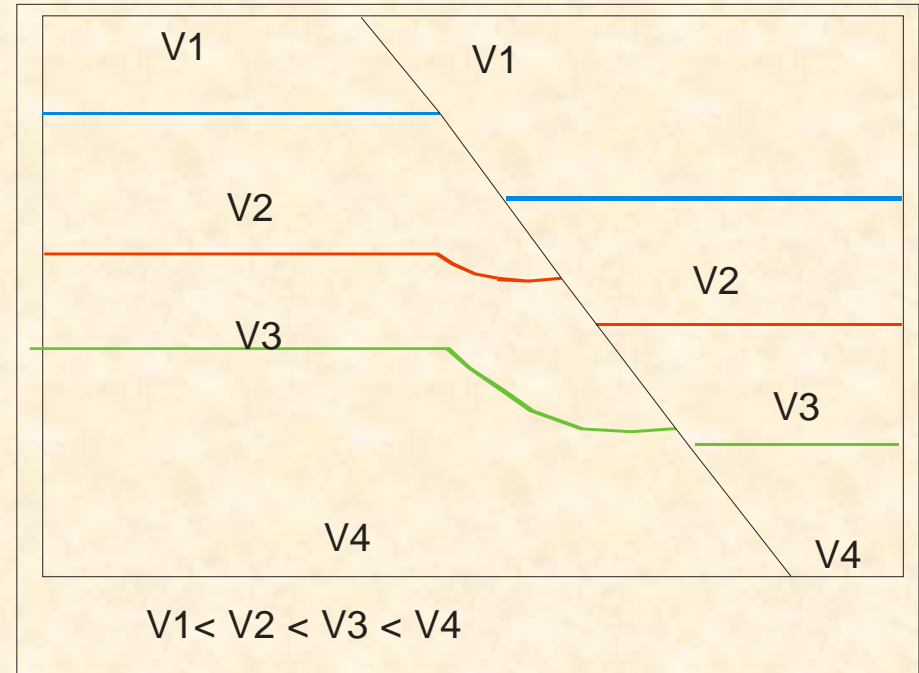
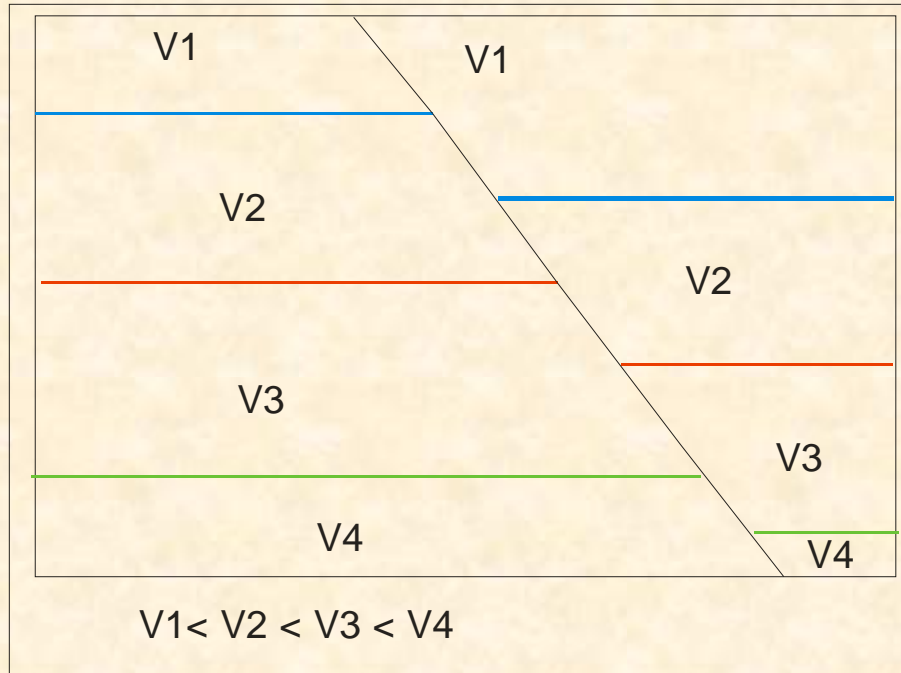
Sección sísmica  
(en tiempo)



Velocity push-down: descenso anómalo de un reflector por disminución lateral de velocidad: arcillas a sobrepresión, flúidos, etc

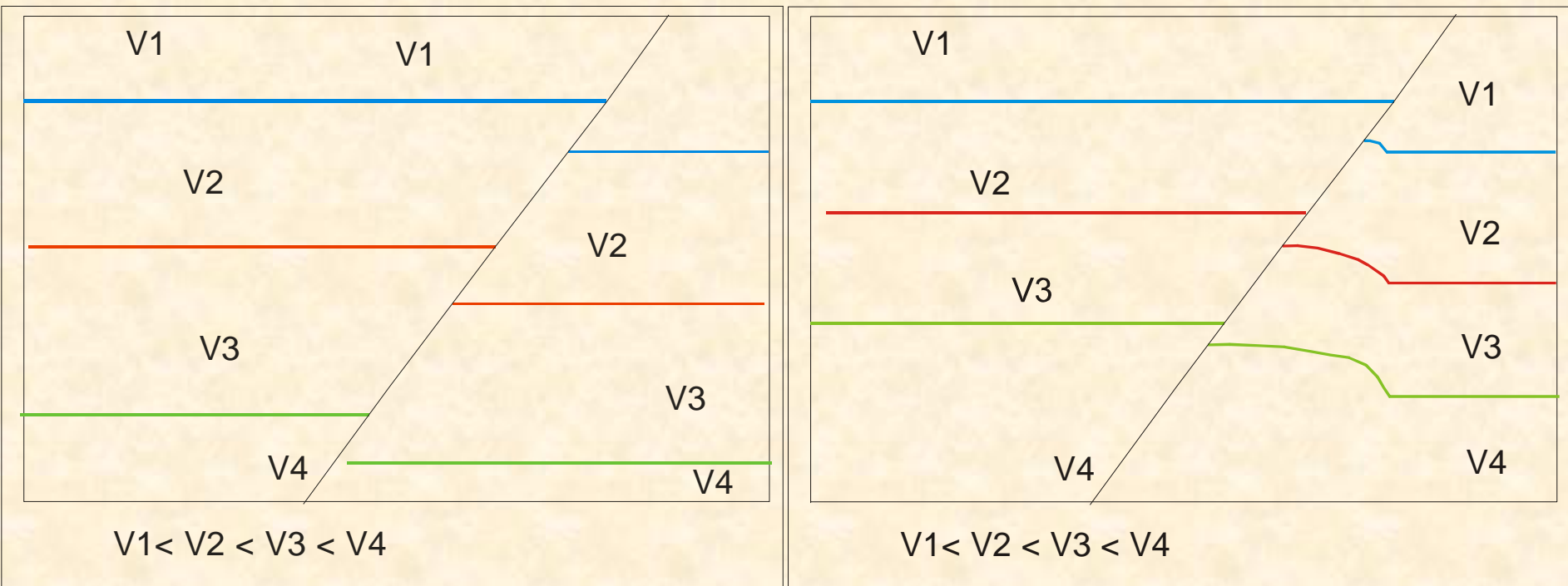


# Anomalías de velocidad



Velocity push-down en falla normal con variaciones normales de velocidad con profundidad

# Anomalías de velocidad



Velocity pull-up en falla inversa con variaciones normales de velocidad con profundidad

## **Interpretación Estructural**

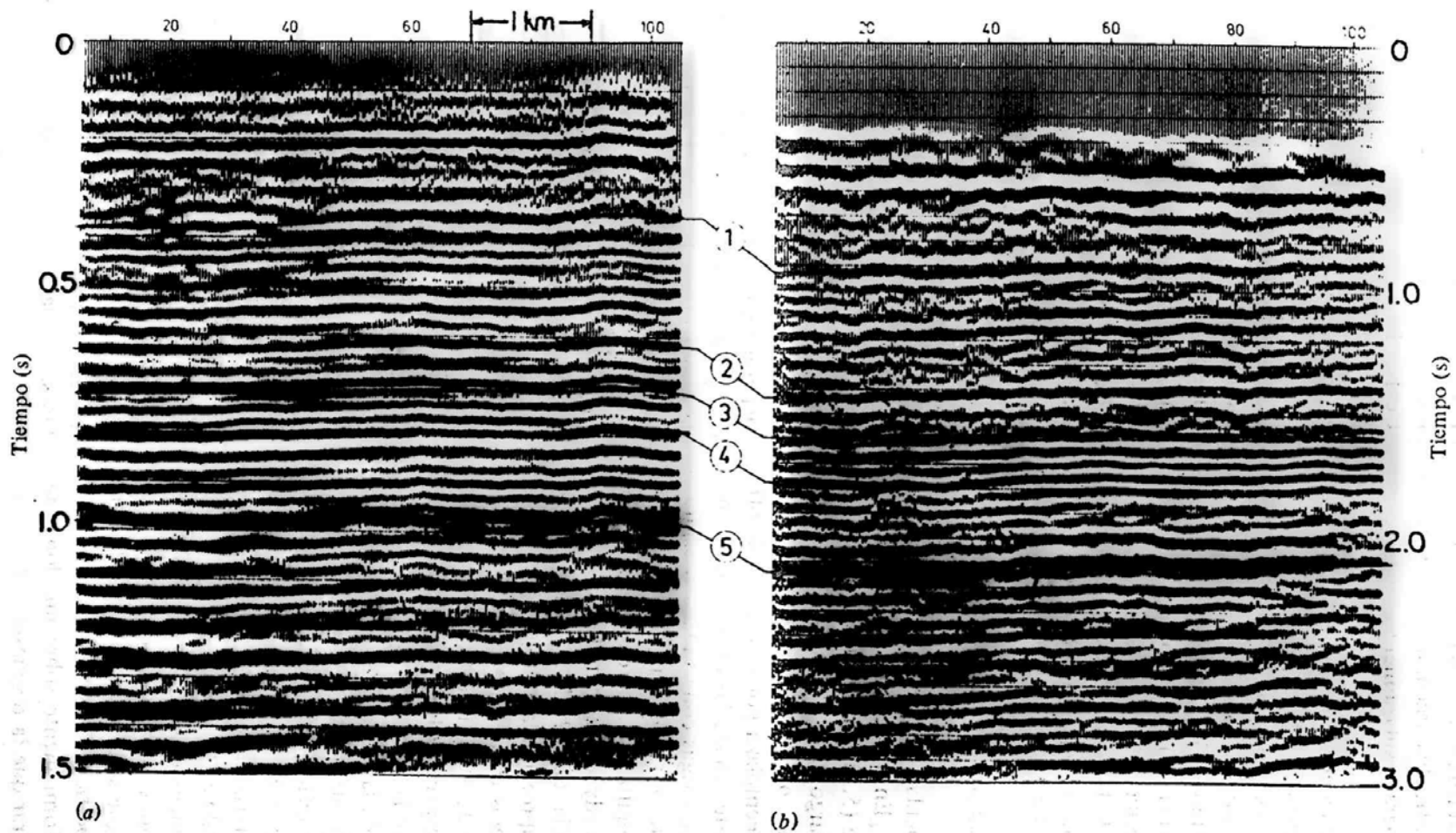
- **Determinación de reflectores principales**
- **Determinación de basamento sísmico**
- **Continuidad de reflectores**
- **Características asociadas a estructuras**
  - **difracciones en fallas**
  - **problemas de amplitud en pliegues**
  - **“pull up” (domos, arrecifes, evaporitas, fallas)**
- **Importancia de la migración**
- **Coherencia entre líneas**
- **Minimizar errores de cierre**
- **Estilos estructurales**
- **Mapas estructurales, isopáquicos, etc.**

## **Interpretación Estratigráfica**

- **Continuidad de reflectores**
- **Características de los reflectores (atributos, velocidades, C.Reflect.)**
- **Determinación de discordancias**
- **Correlación con geología de superficie**
- **Correlación con geología y perfiles de pozos (Sísmica de Pozo)**
- **Sismoestratigrafía**
  - **Secuencia deposicional**
  - **Facies sísmica**

**La interpretación estructural y estratigráfica son interdependientes**

# Ondas S



**Figura 5.67** Comparación de registros de ondas P y S. (Cortesía de CGG.) *a)* Registro de onda P; *b)* registro de onda S; el registro de onda S se grafica al doble de la velocidad en la medición de tiempo para hacer más fácil la comparación de los eventos.

# Ondas S

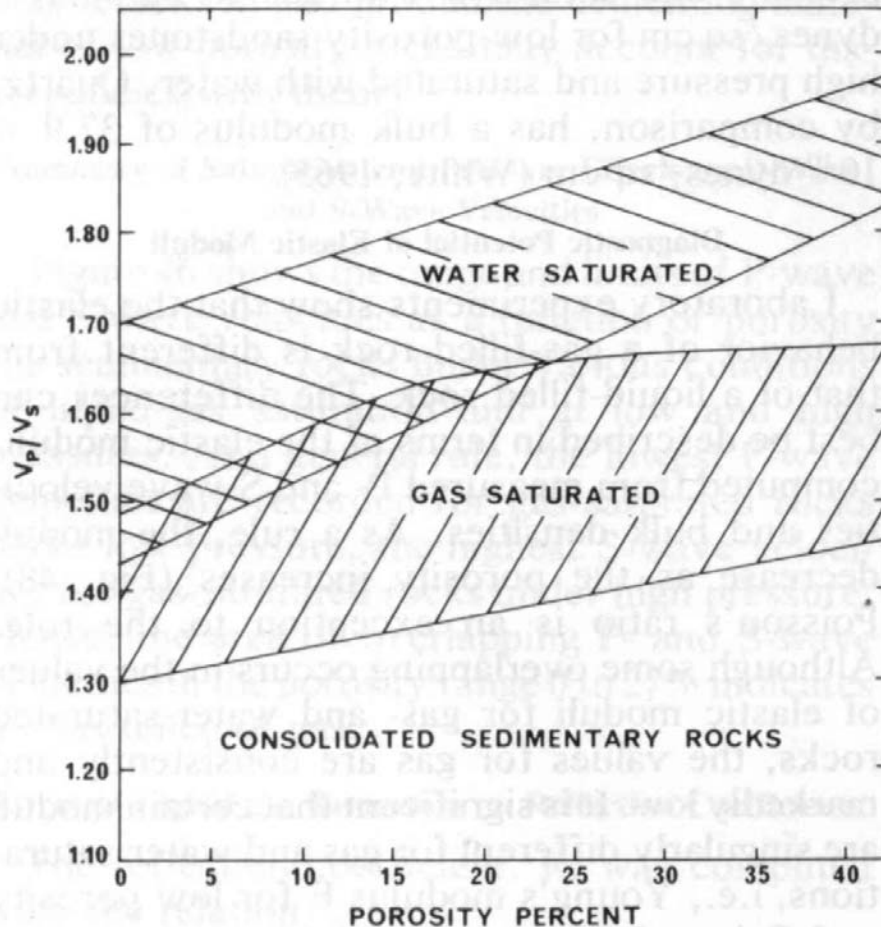


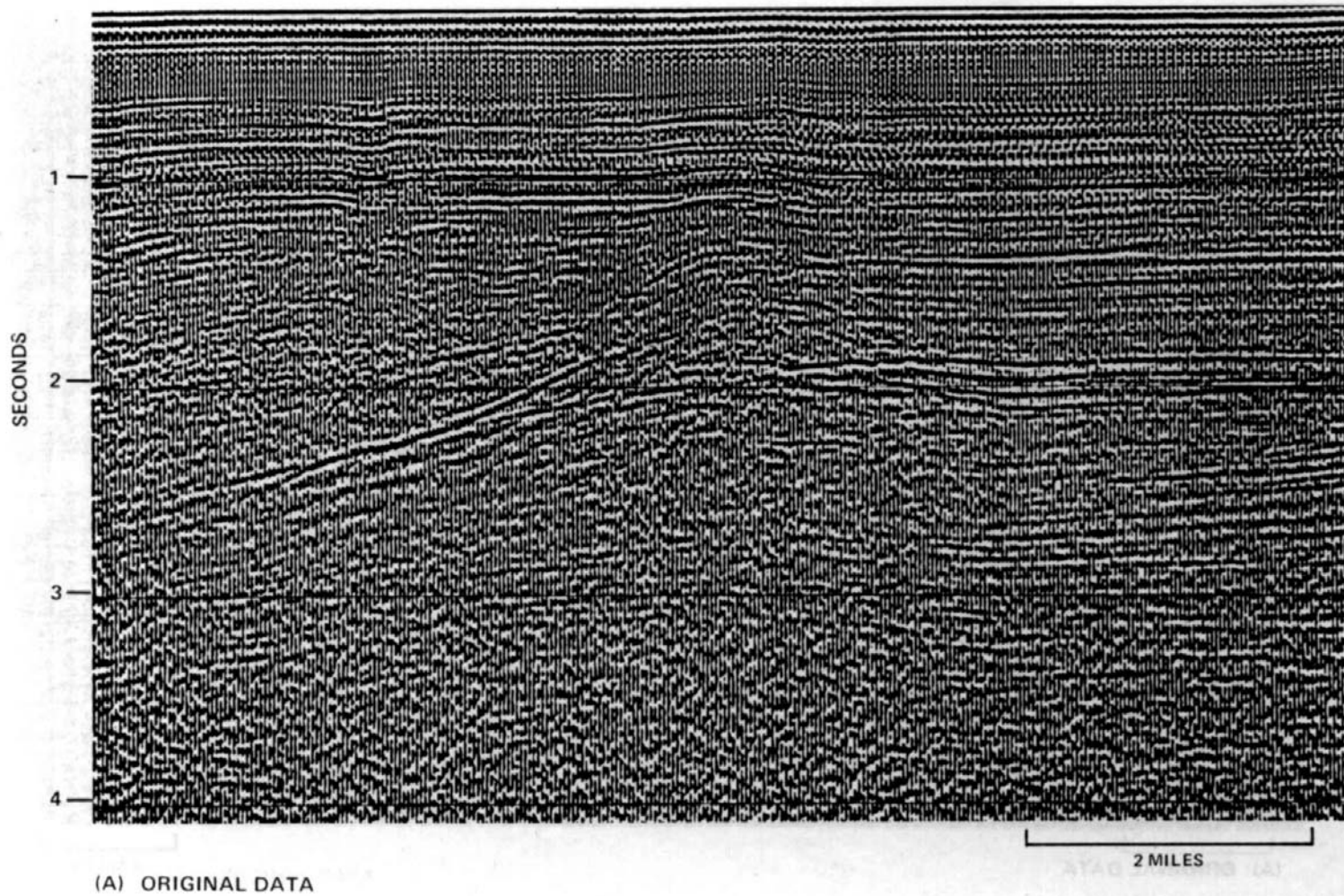
FIG. 50—Variation of  $V_p/V_s$  with porosity for water- and gas-saturated sedimentary rocks at confining pressures from 0 to 10,000 psi (0 to 703 kg/sq cm; Gregory, 1976a).

**El uso conjunto de ondas S y P permite evaluar parámetros de petrofísica**

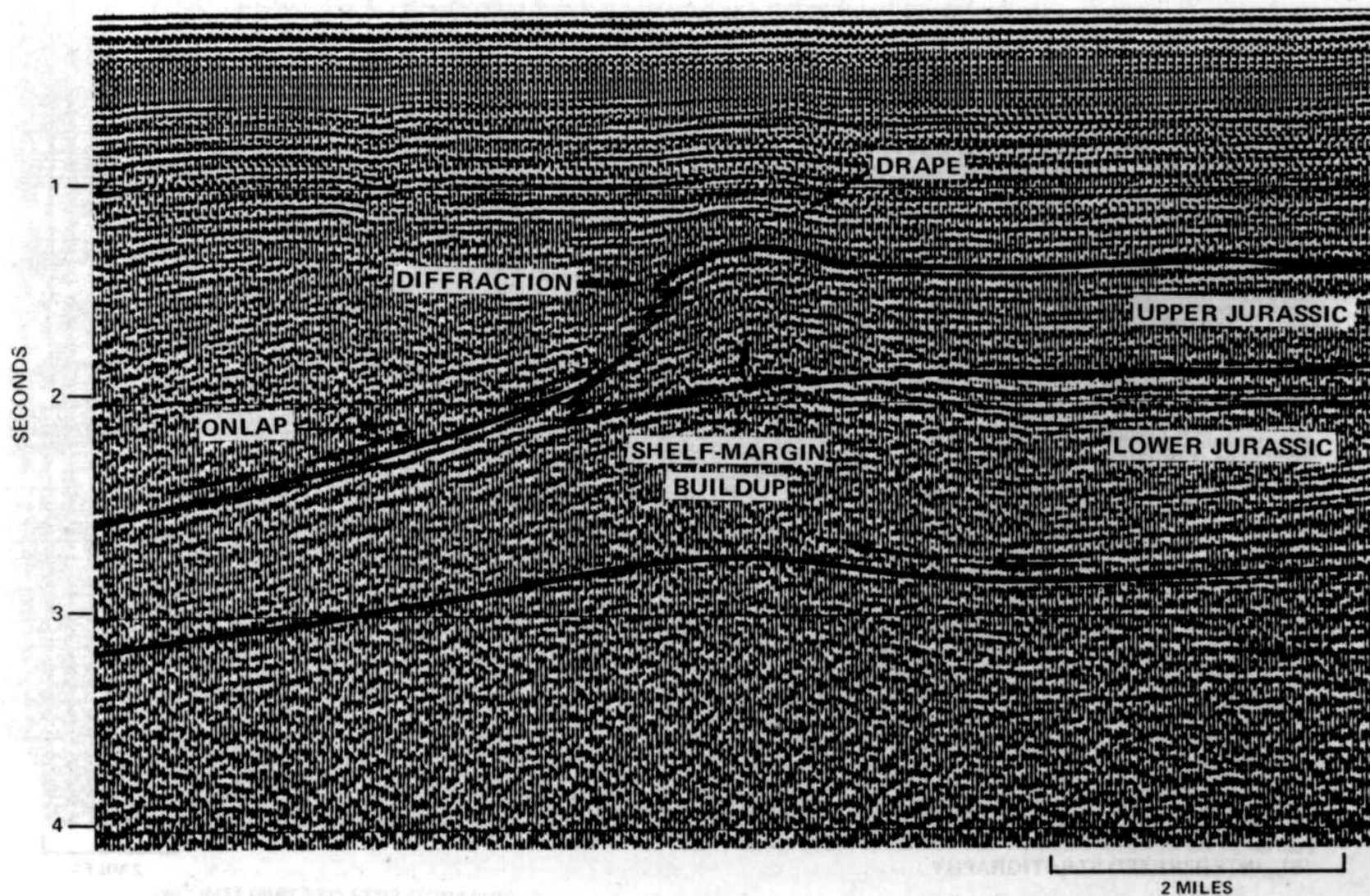
**Utilización principal en áreas de desarrollo**



# Interpretación sísmica





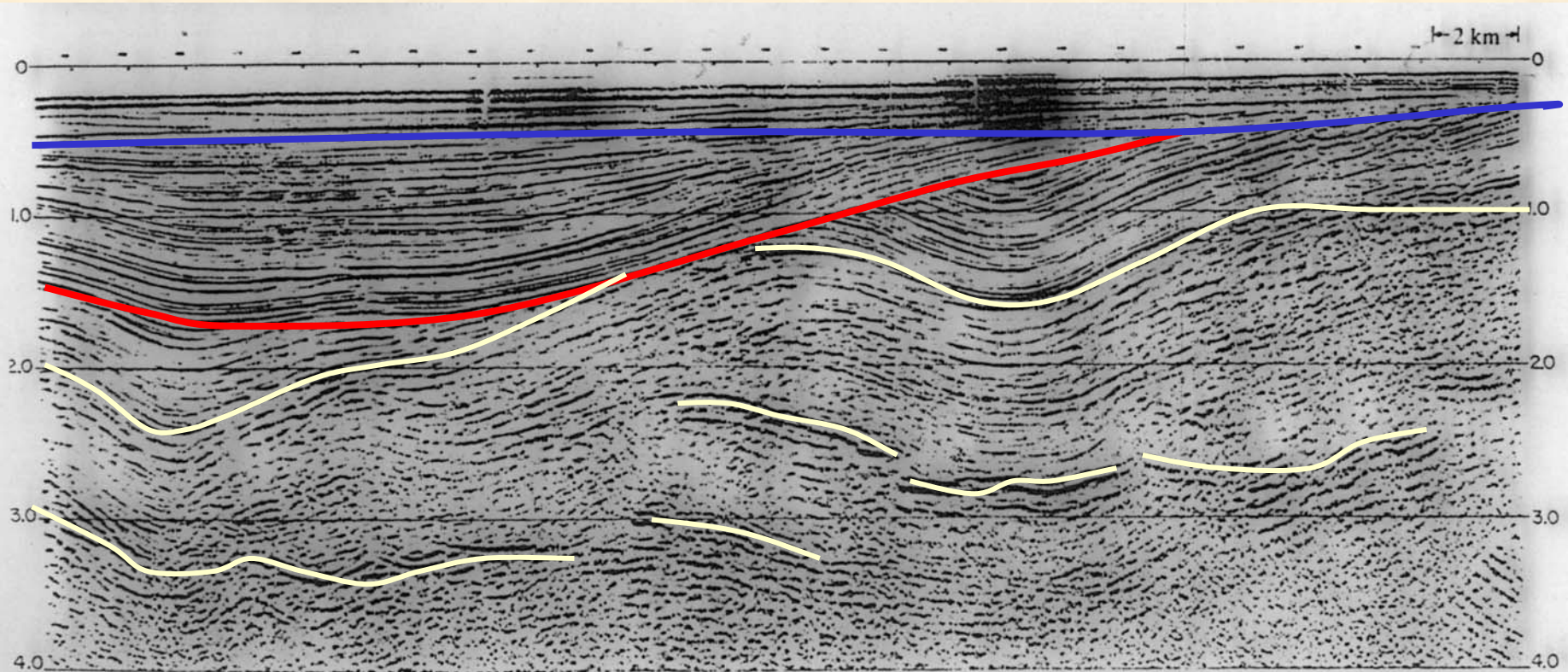


(B) INTERPRETED STRATIGRAPHY

Sección interpretada

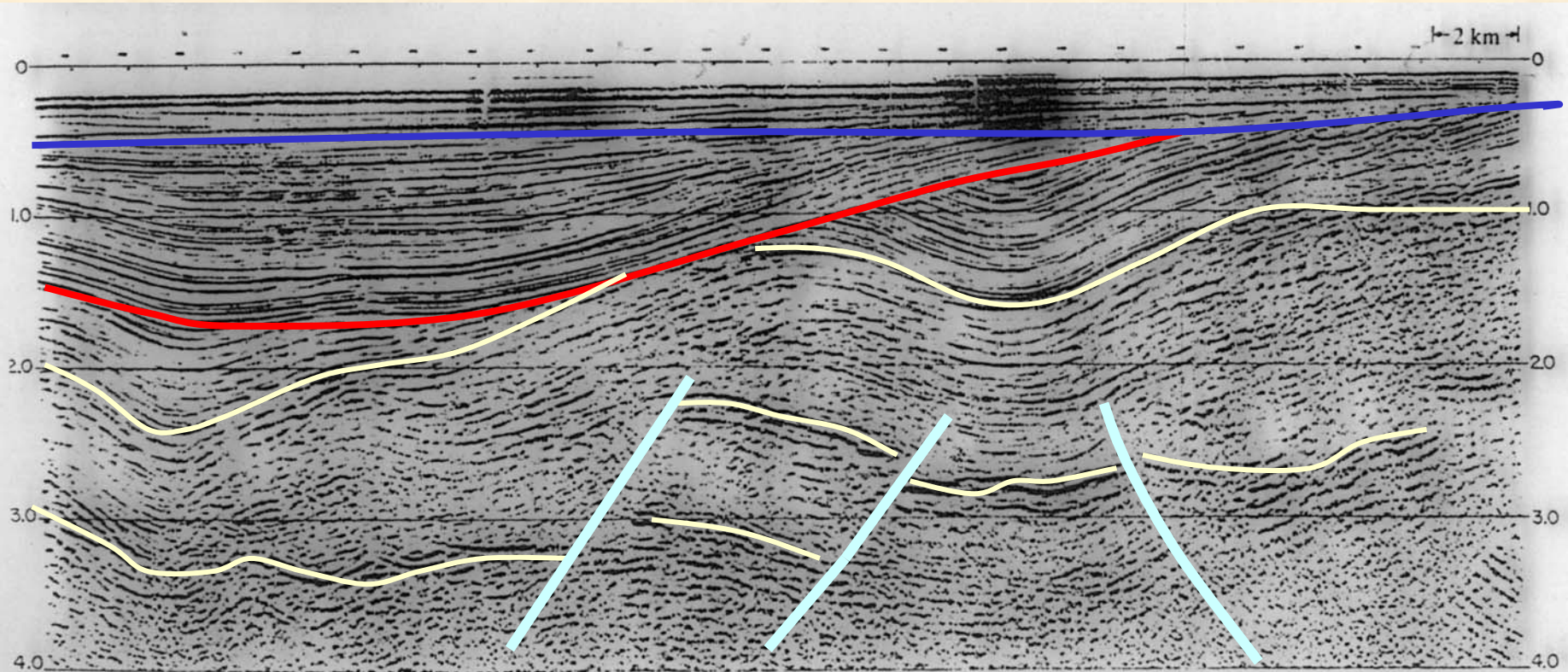


## Interpretación: continuidad y geometría de los reflectores



Reconocimiento de las unidades principales: normalmente corresponden a unidades geológicas significativas

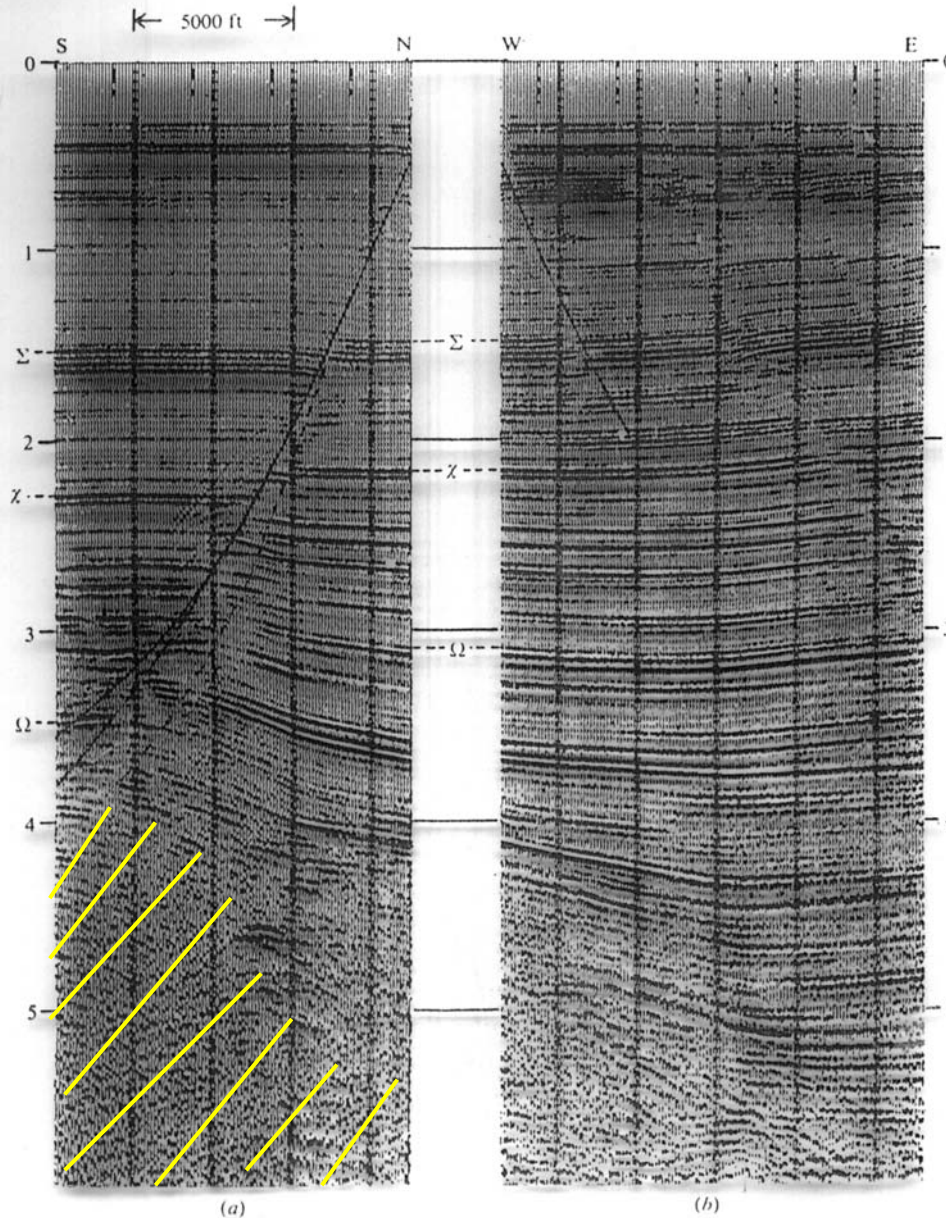
## Interpretación: continuidad y geometría de los reflectores



Discontinuidad de los reflectores puede indicar fallas



Figura 9.22. Secciones sísmicas no migradas intersecantes que muestran fallamiento. (Cortesía de GSI.) a) Sección N-S; b) Sección E-O.



- Dos secciones ortogonales
- Basamento sísmico: reflexiones mayormente incoherentes, no se reconocen reflectores continuos. Normalmente rocas ígneas o metamórficas o muy deformadas.

Figura 9.22. Secciones sísmicas no migradas intersecantes que muestran fallamiento. (Cortesía de GSI.) a) Sección N-S; b) Sección E-O.

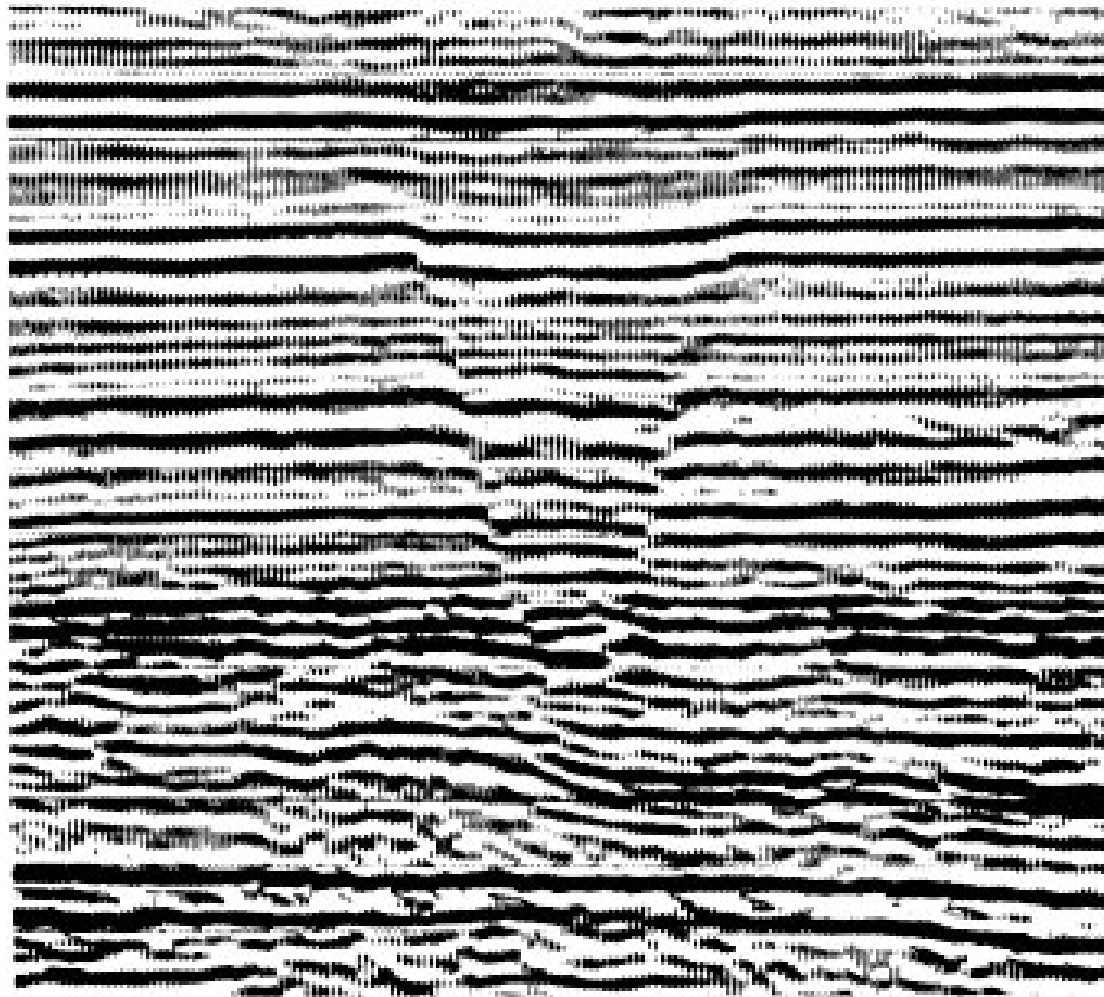


## Fallas:

- Discontinuidad de reflectores y presencia de difracciones puede ser diagnóstico
- Geometría dependiente de la velocidad: carácterseudolístico
- Cálculo del rechazo: identificación de reflectores a ambos lados



## Interpretación sísmica básica



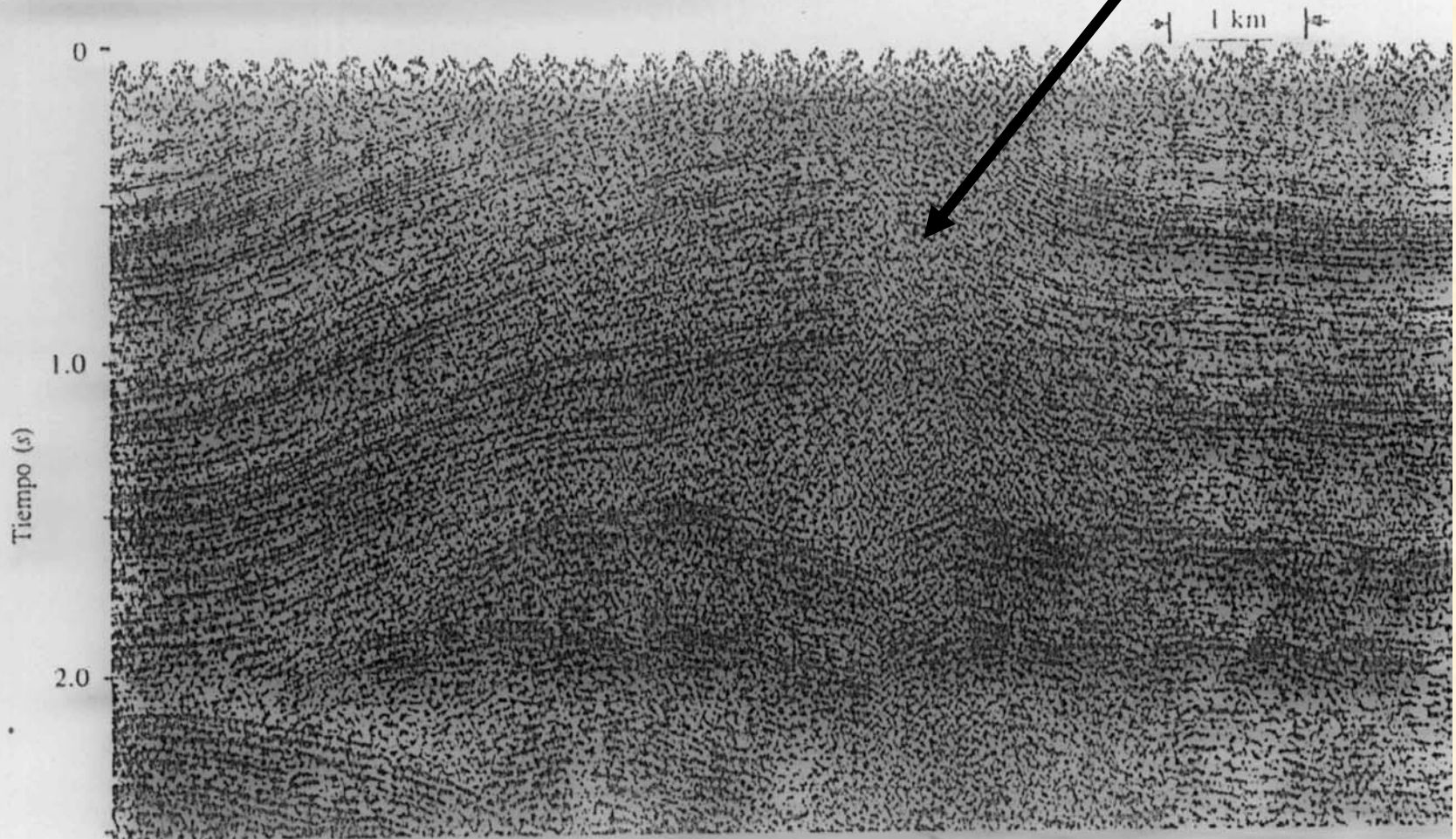
(courtesy of Merlin Geophysical Company, Ltd.)

Cuál es la edad de este graben?

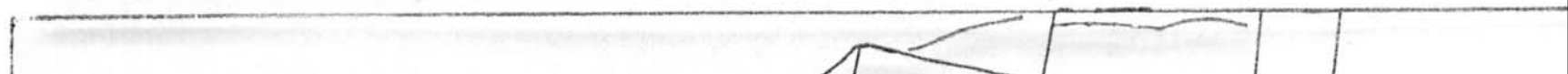
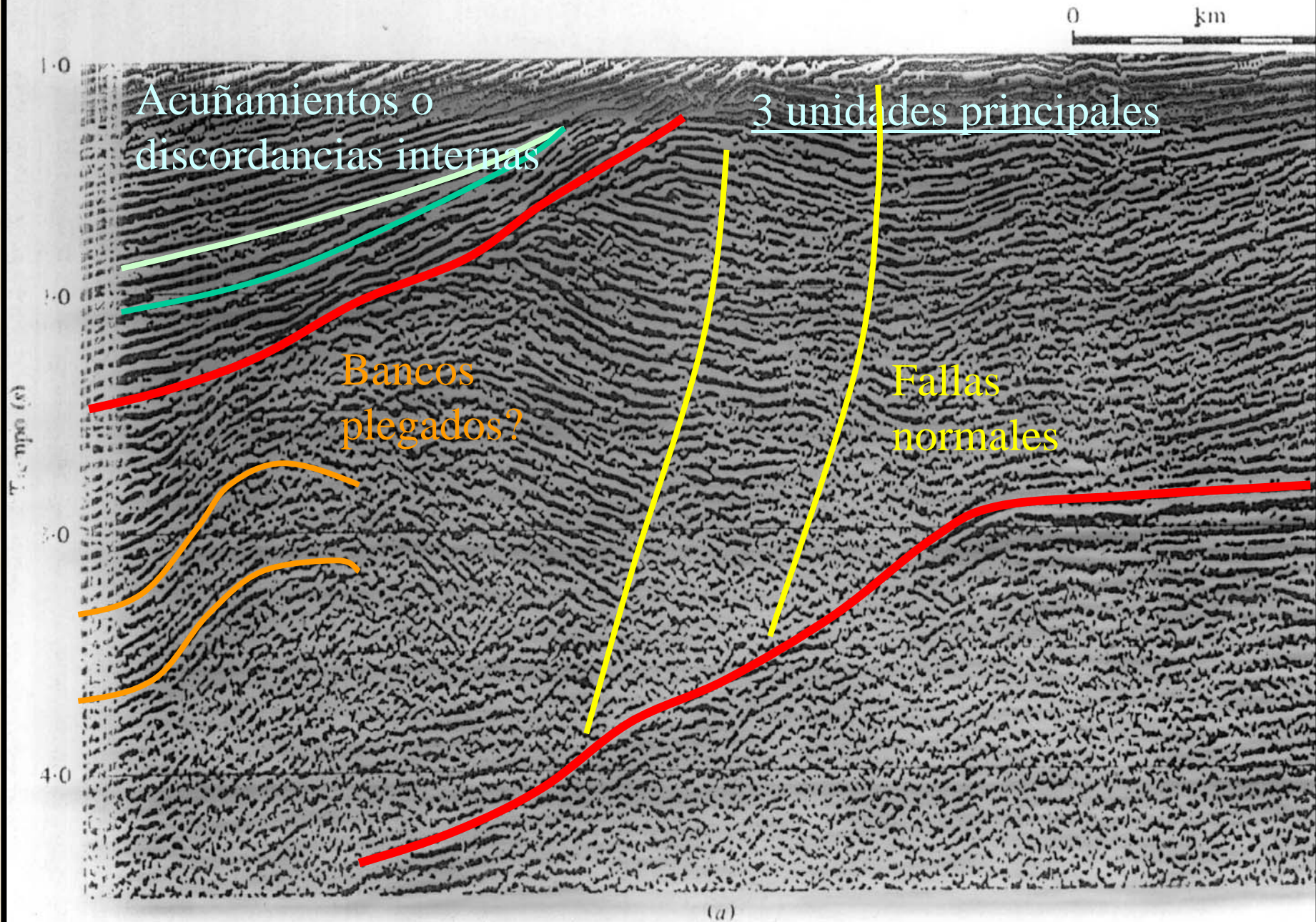
## Deterioro de la reflexión sobre las charnelas de los anticlinales

Figura 9.27. Sección en la Cuenca Ardmore de Oklahoma (cobertura de un solo doblamiento). (Cortesía de GTS.)

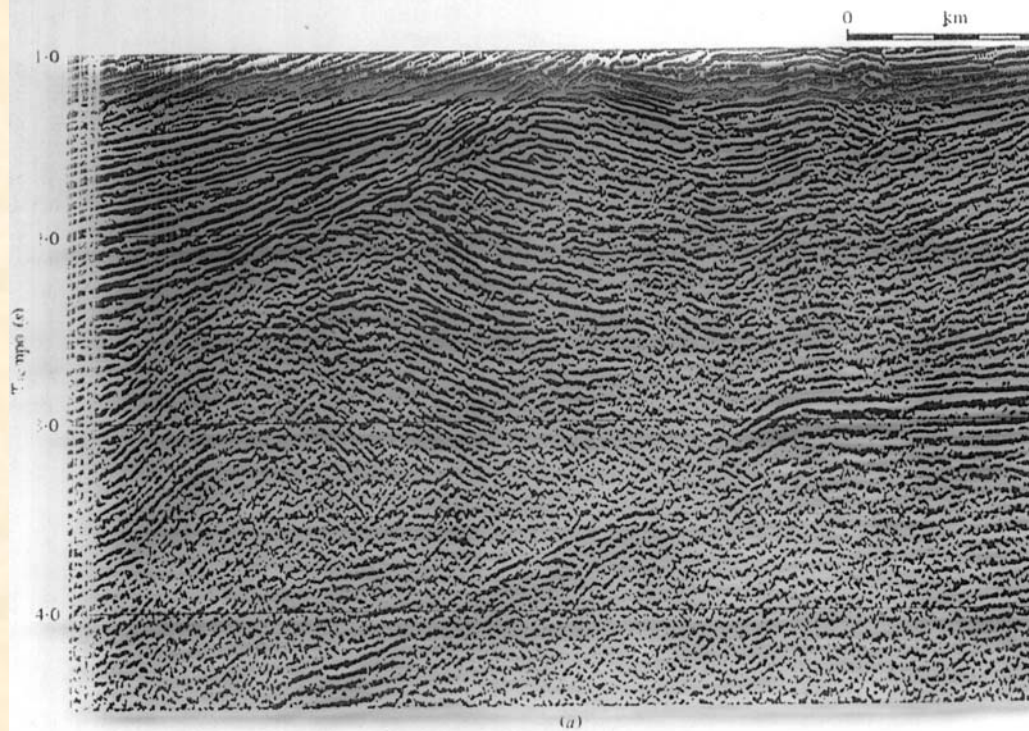
Pérdida de amplitud y calidad de la señal



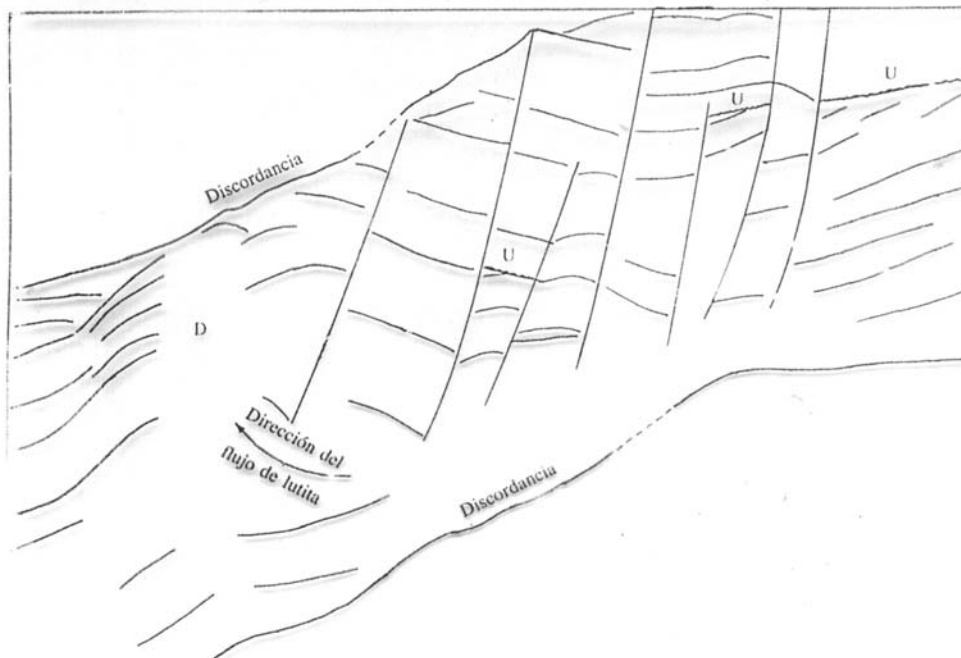








## Sección sísmica interpretada





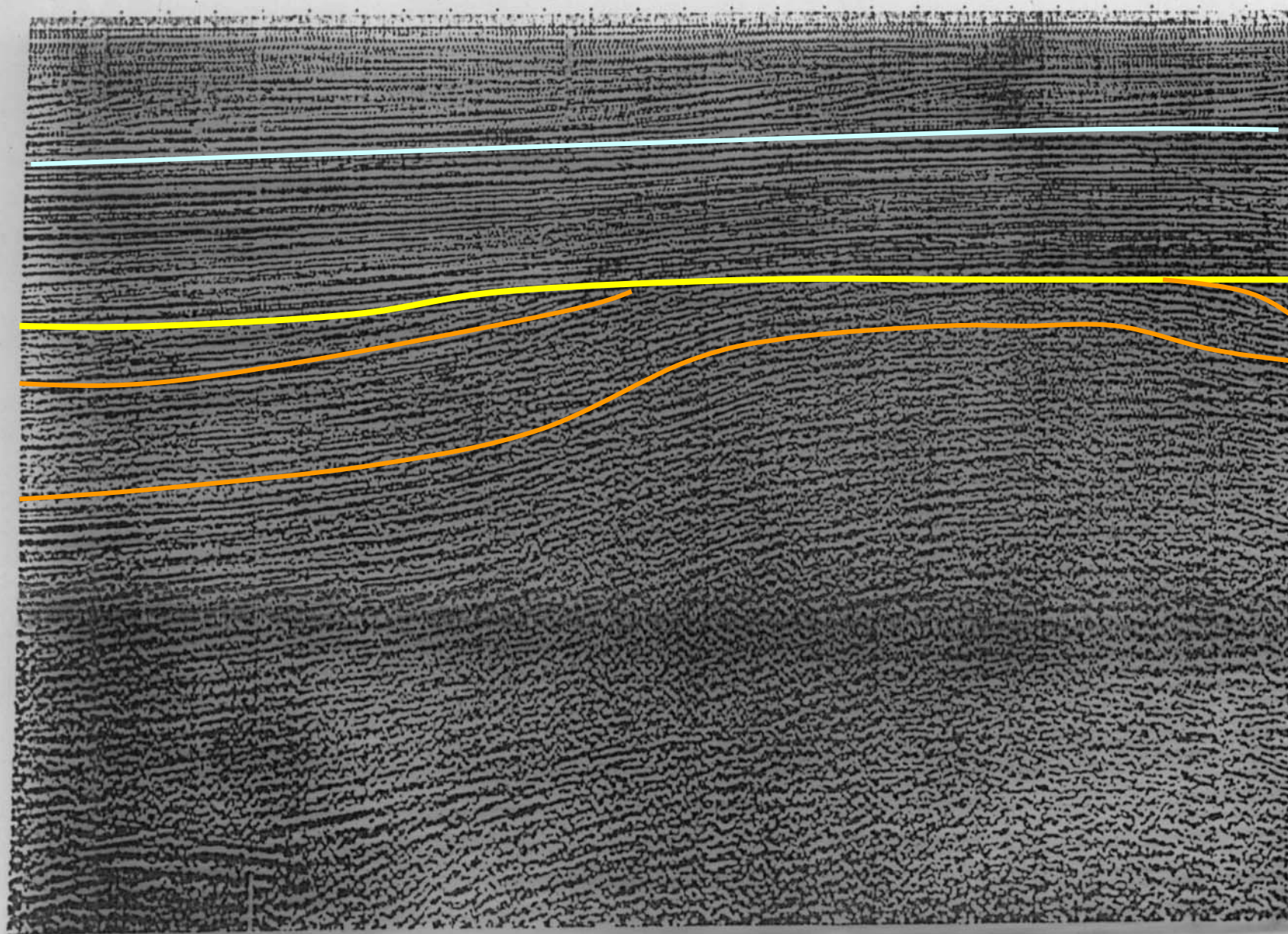
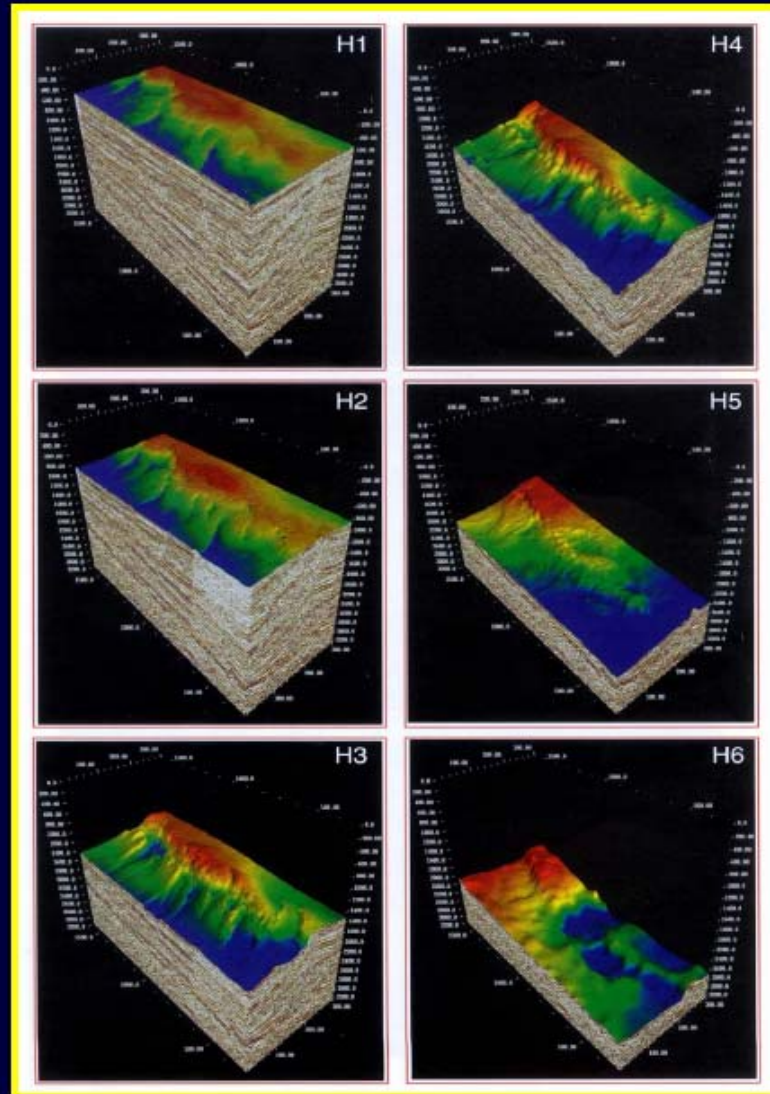


FIG. 3—Structure along Baltimore Canyon seismic line shot off U.S. east coast by U.S. Geological Survey

# Sísmica 3D

## INTERPRETACION

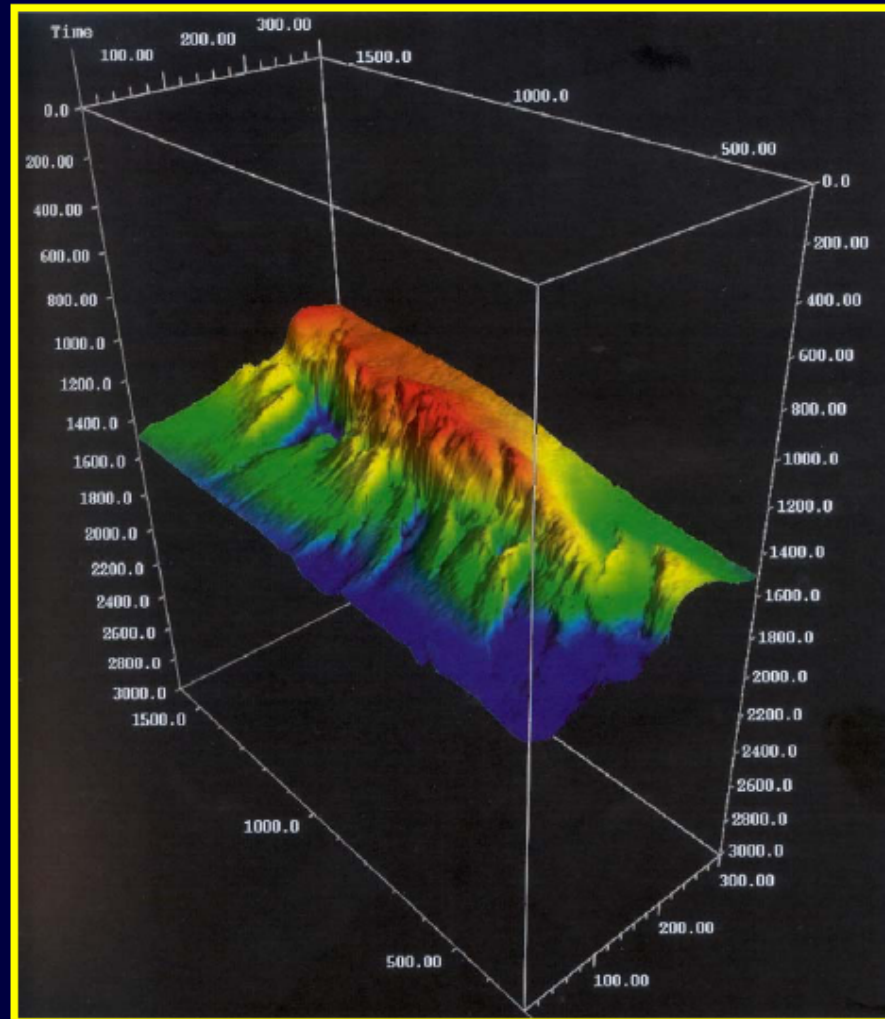
### Mapeo de horizontes





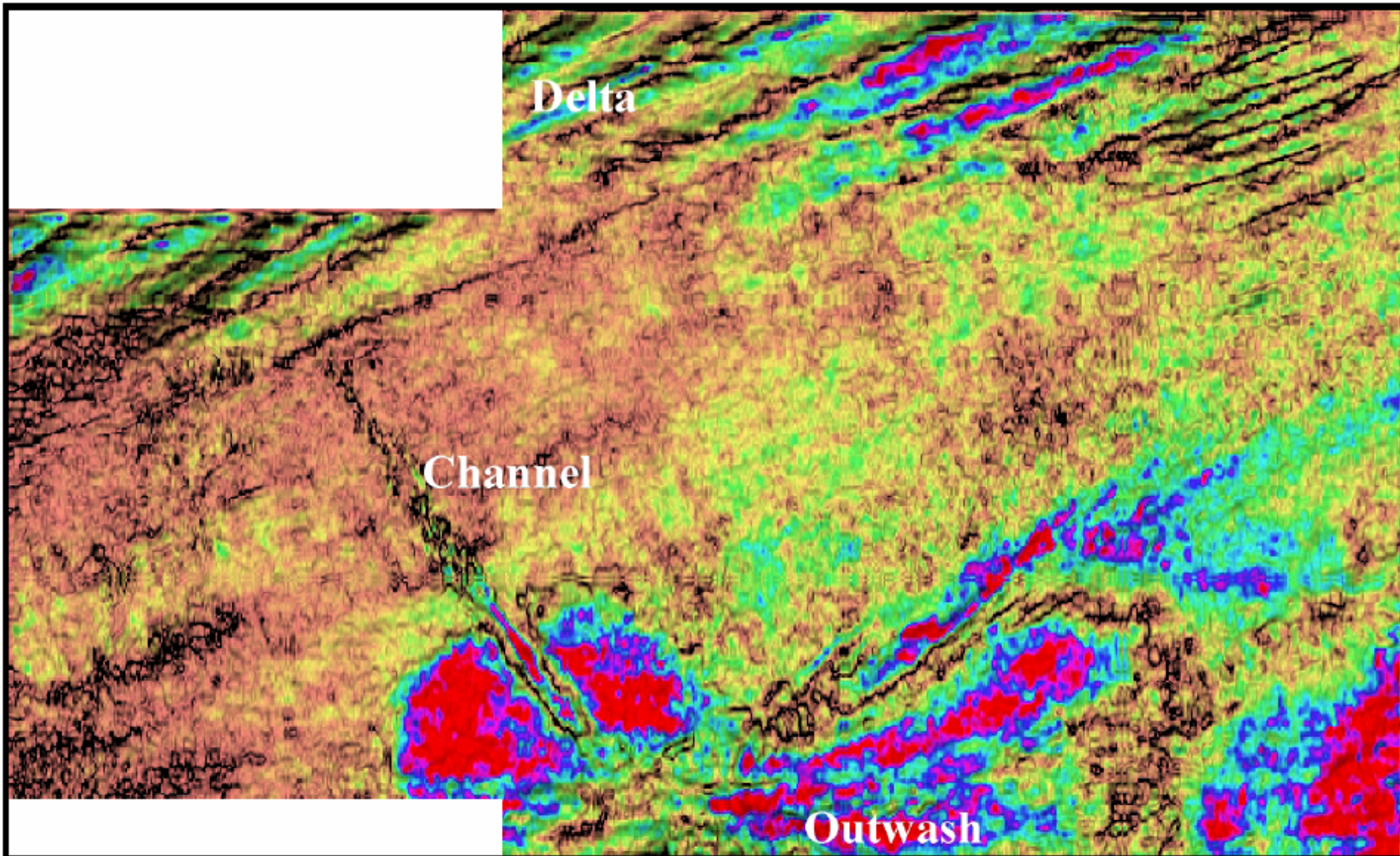
# INTERPRETACION

## Mapeo de horizontes



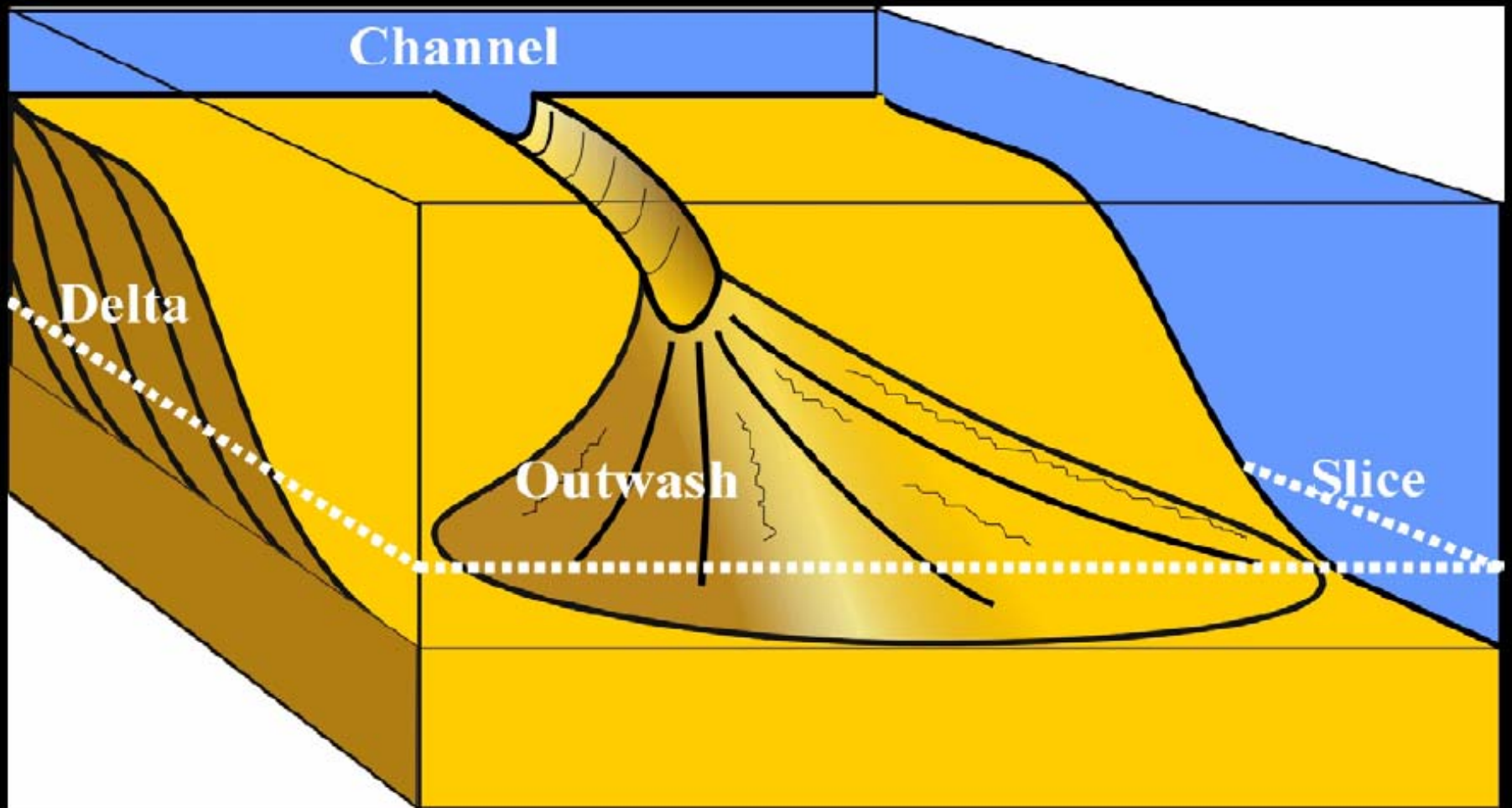
## Cubos sísmica 3D

Depth slice

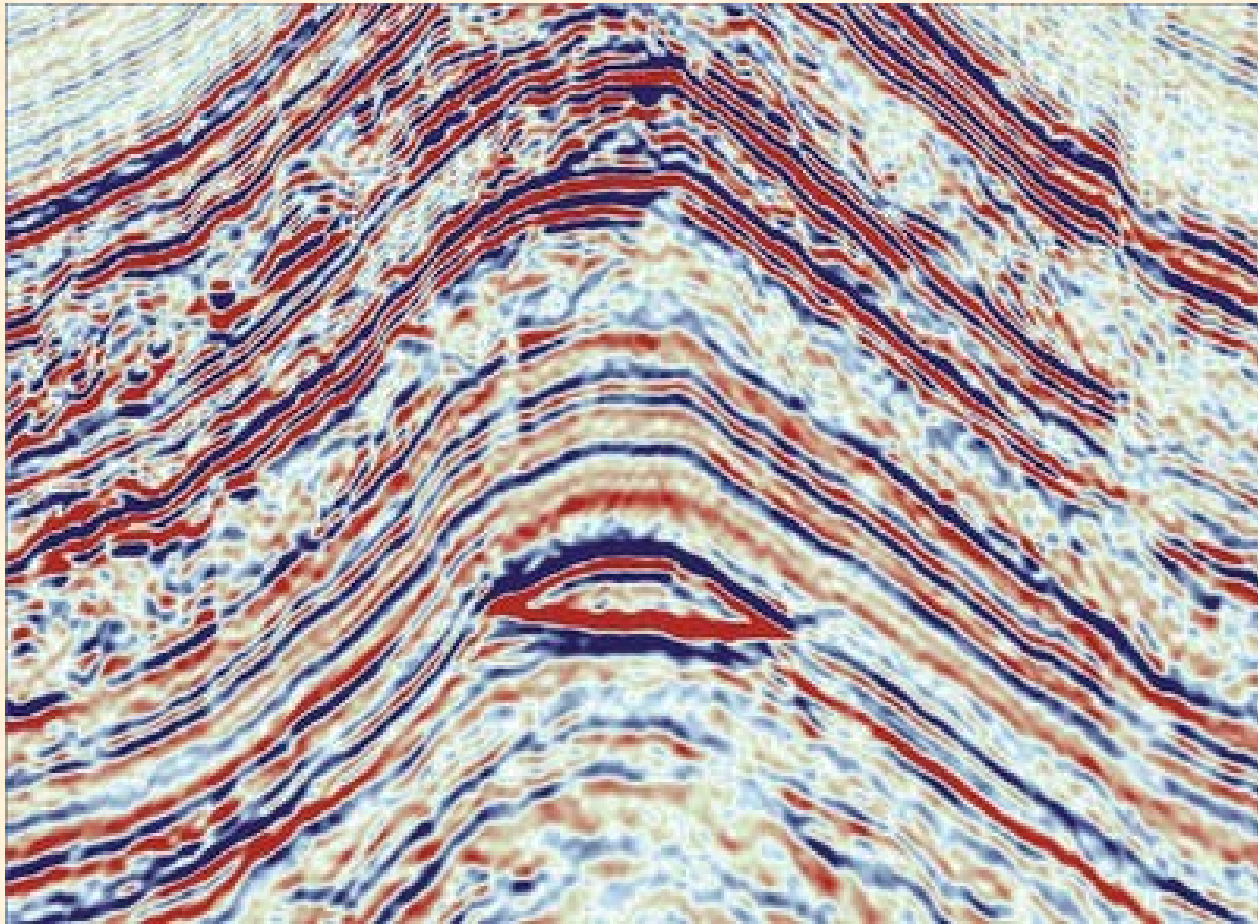




# Depth slices





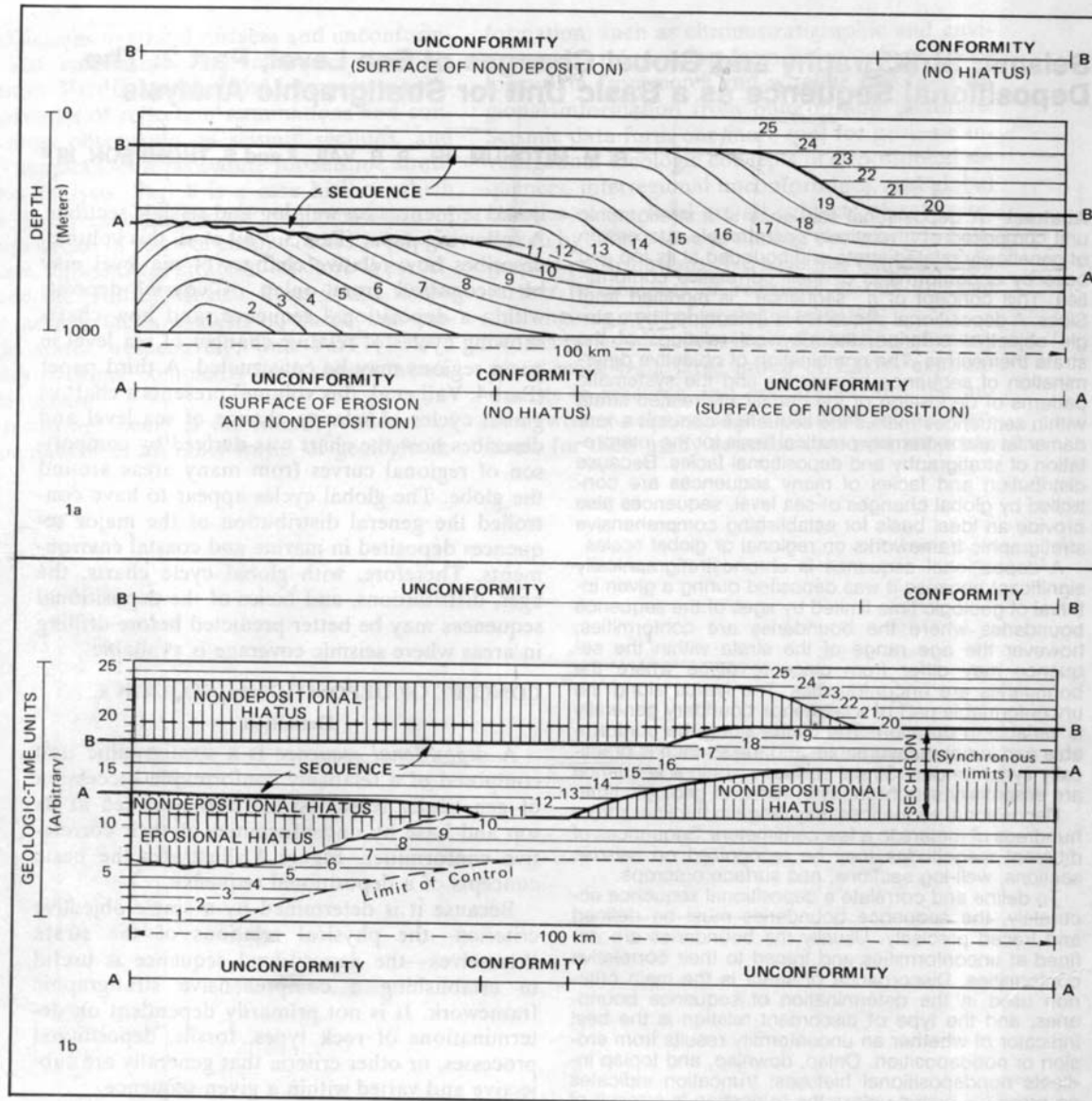


Flat spot: contacto entre fluídos

# Sismoestratigrafía

- Salto cualitativo en la interpretación sísmica
- 1977- Memoir 26 AAPG (Veil, Mitchum, Sheriff, etc.)
- Aumento de la calidad del dato sísmico permite hacer interpretaciones estratigráficas sofisticadas
- Base de la Estratigrafía Secuencial (80' y 90')

# Secuencia depositacional



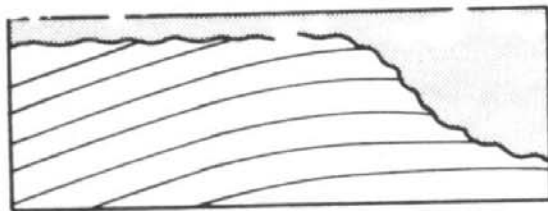
- Conjunto de estratos genéticamente vinculados y limitados por discordancias o concordancias correlativas
- Secuencia sísmica: secuencia depositacional determinada por medio de la sísmica (estratos=reflectores)



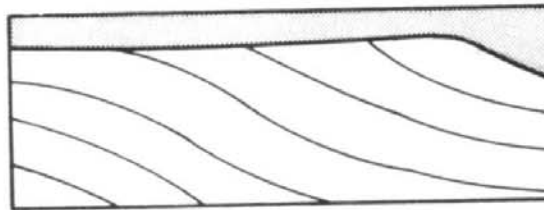
## Límites de secuencias

tion.

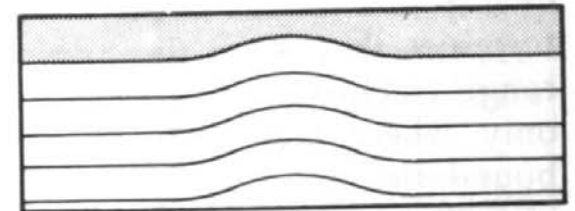
### UPPER BOUNDARY



1. EROSIONAL TRUNCATION



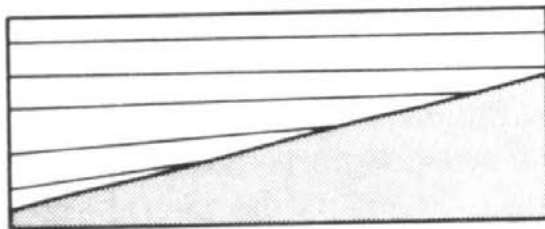
2. TOPLAP



3. CONCORDANCE

A.

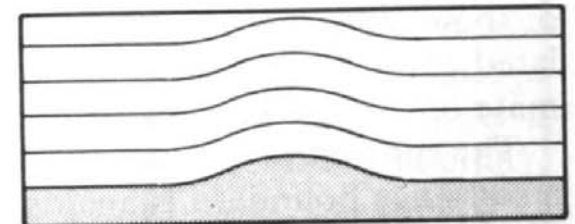
### LOWER BOUNDARY



1. ONLAP



2. DOWNLAP

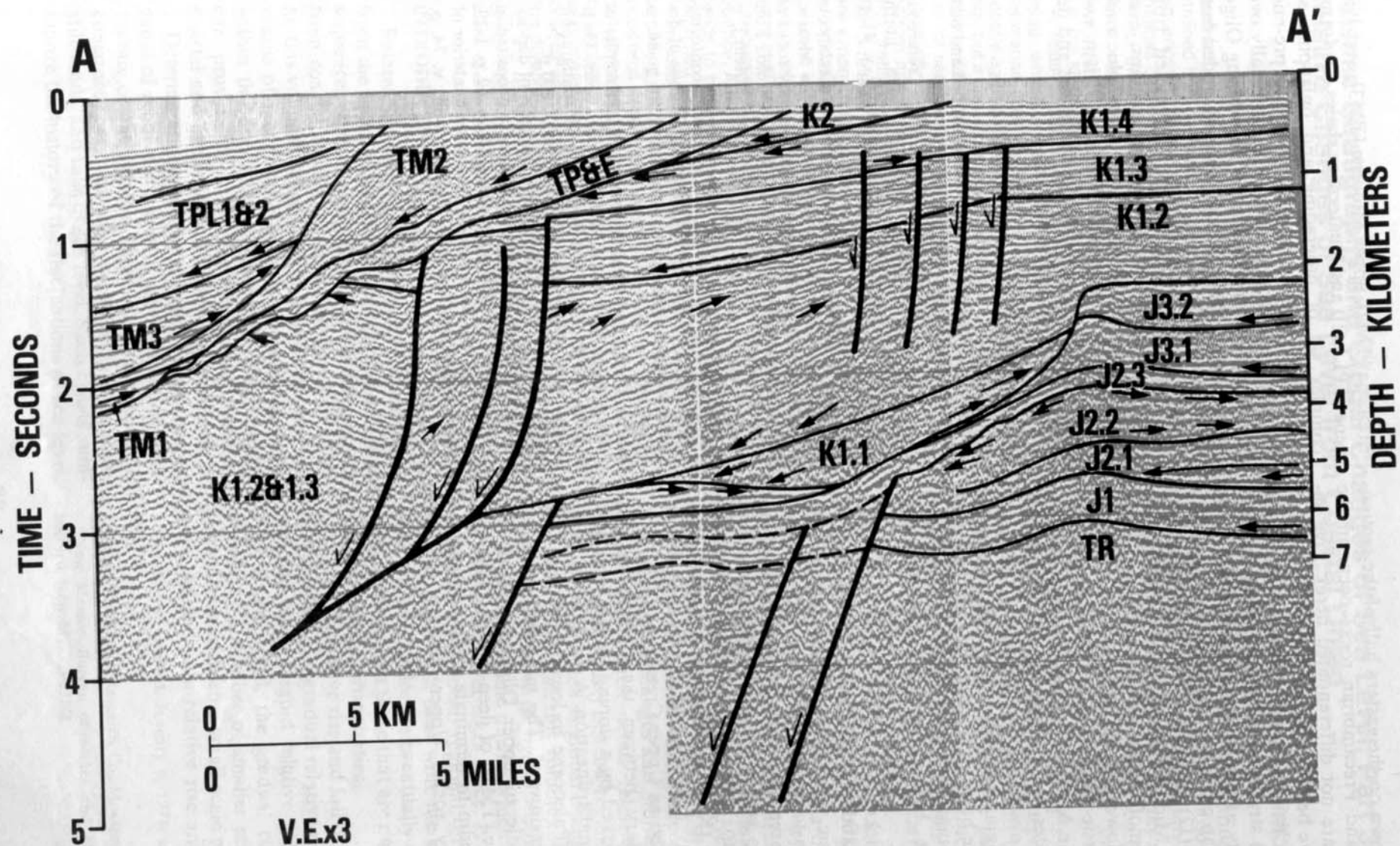


3. CONCORDANCE

B.

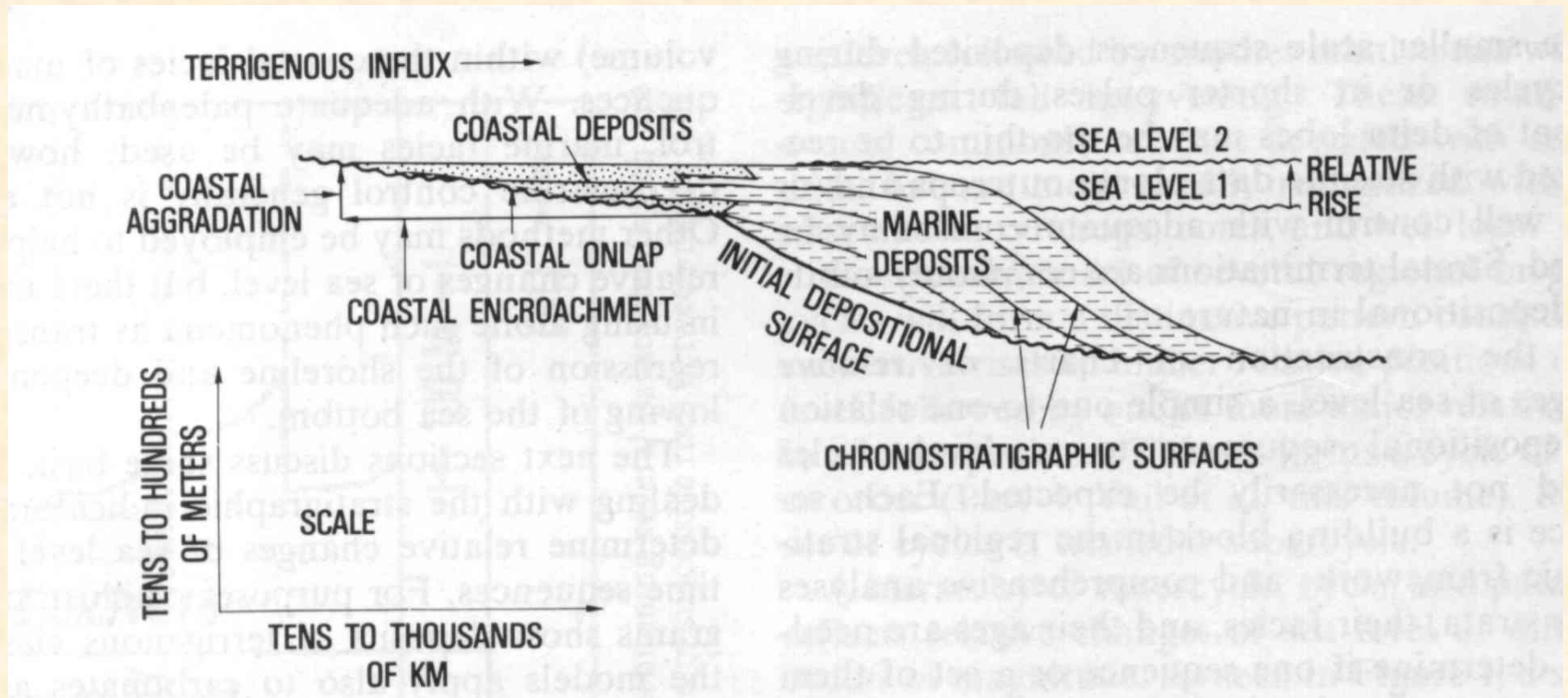
BASELAP

## Definición de secuencias en una sección sísmica

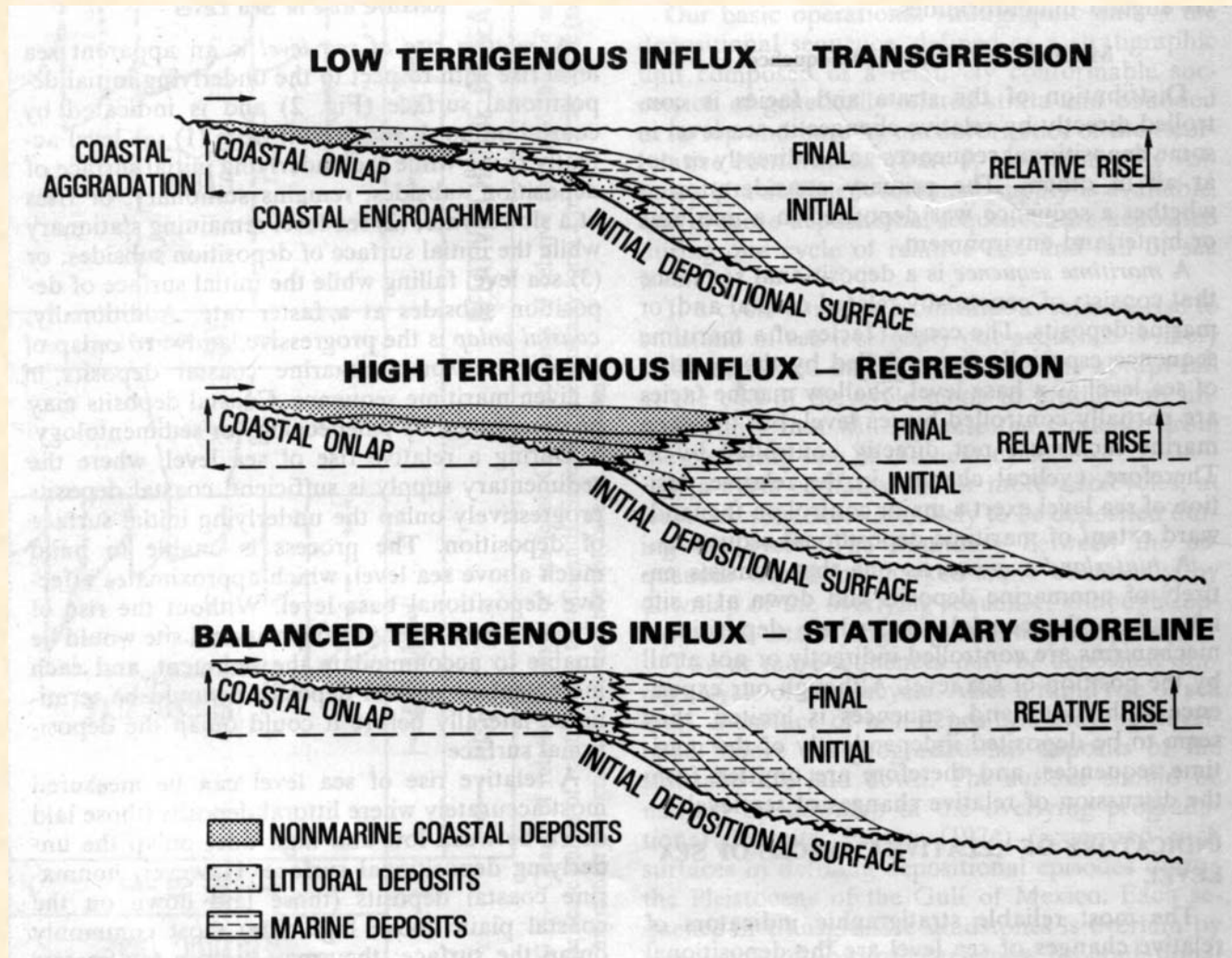


Onlap: Ascenso del nivel del mar

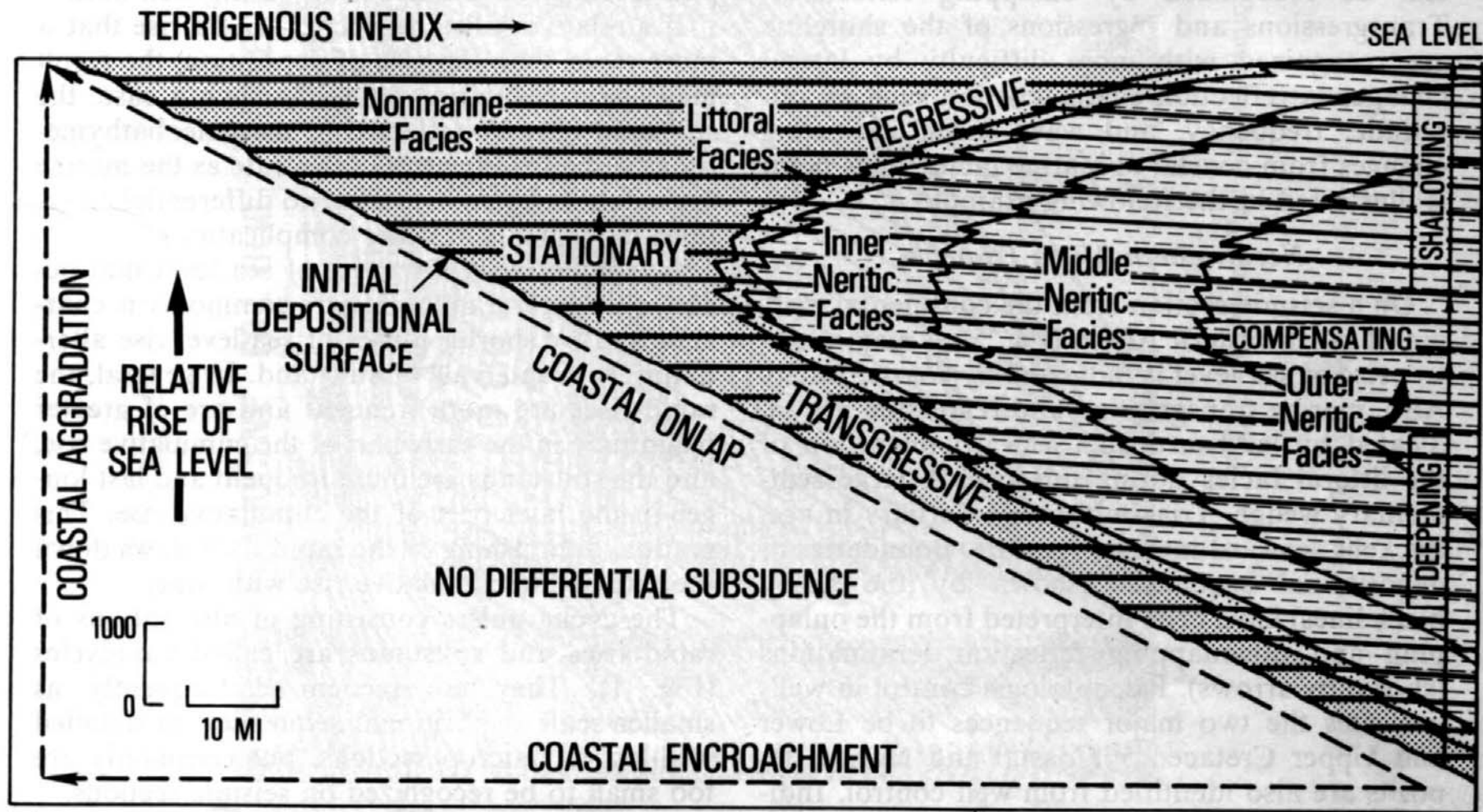
Onlap costero: agradación costera





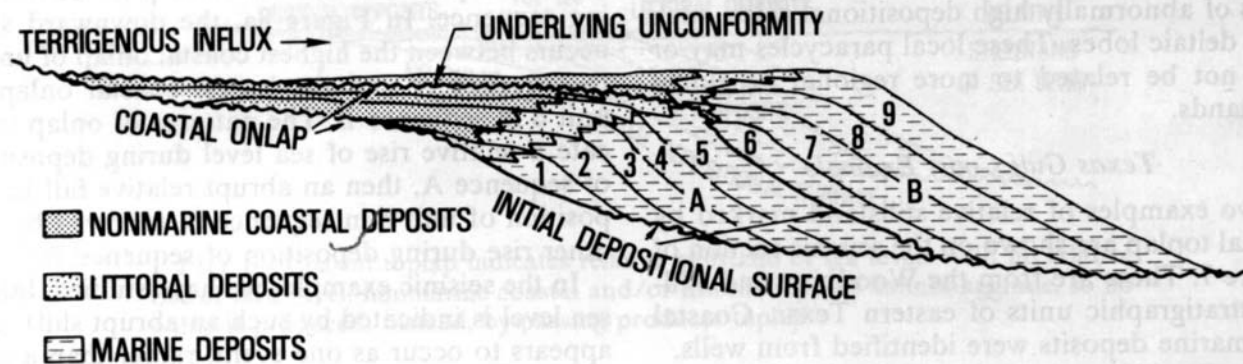


Ascenso del nivel del mar NO es sinónimo de transgresión  
 Transgresión-regresión: arreglos de facies





**a) DOWNWARD SHIFT IN COASTAL ONLAP INDICATES RAPID FALL**



**b) DOWNWARD SHIFT IN CLINOFORM PATTERN INDICATES GRADUAL FALL**

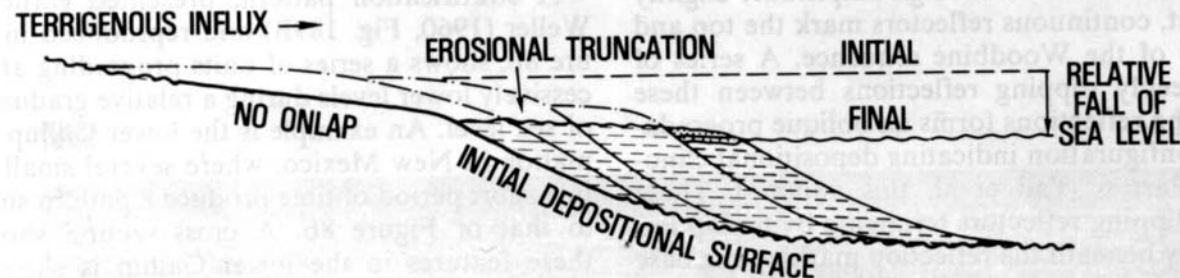


FIG. 8—Downward shift of coastal onlap indicates relative fall of sea level. With relative fall of base level, erosion is likely: deposition is resumed with coastal onlap during subsequent rise. (a) Downward shift in coastal onlap indicates rapid fall observed in all cases studied so far. (b) Downward shift in clinoform pattern (after Weller, 1960), indicates gradual fall; but has not been observed on seismic data.

Migración descendente brusca del onlap costero indica caída del nivel del mar = probable límite de secuencia



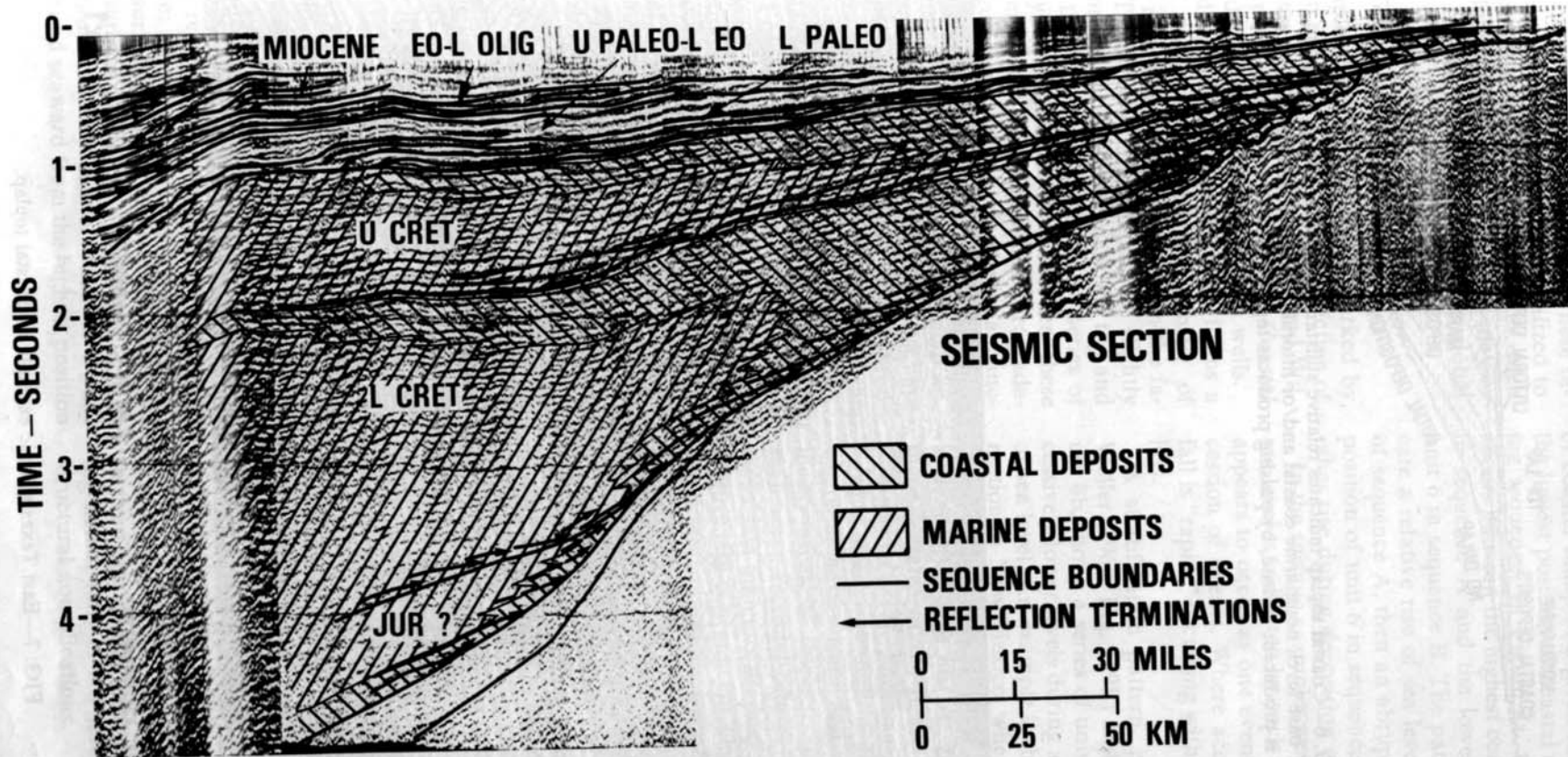


FIG. 5—Offshore West Africa seismic example. Coastal onlap with transgression and regression.



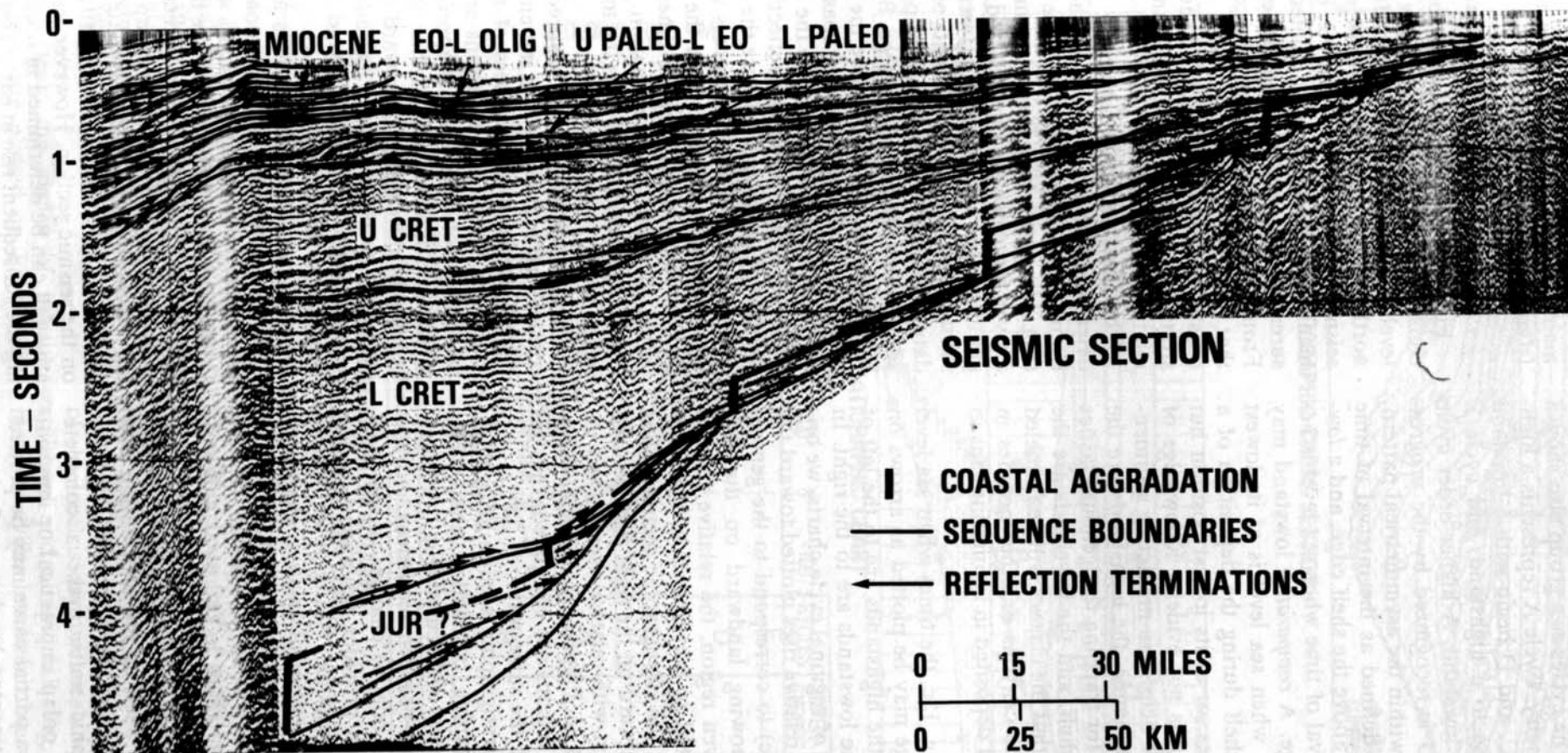
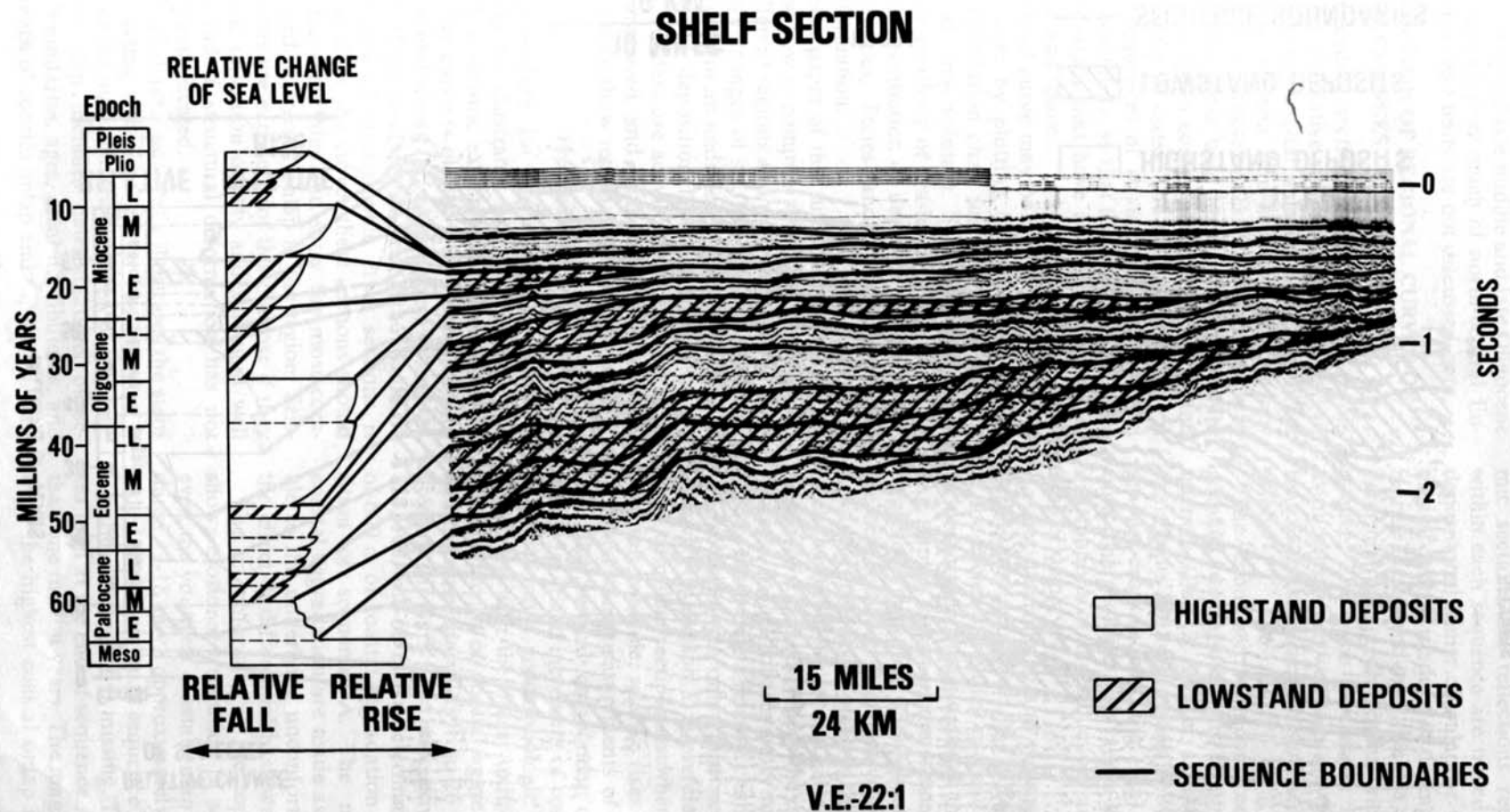
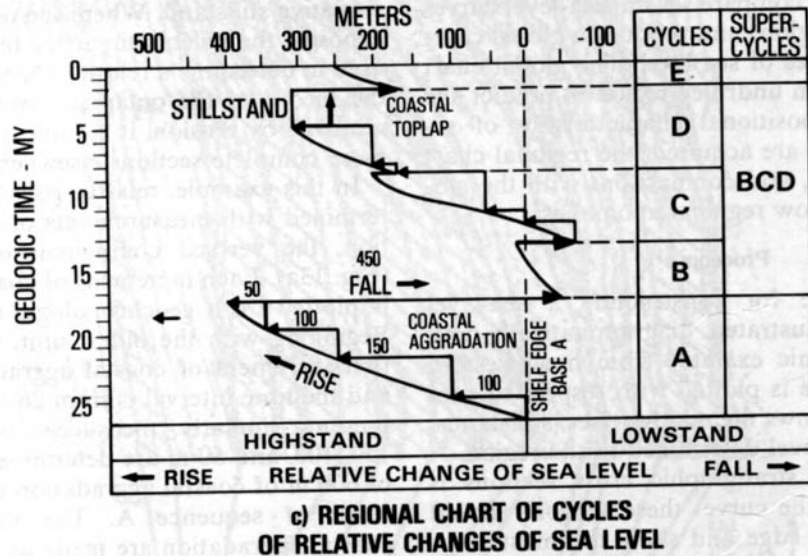
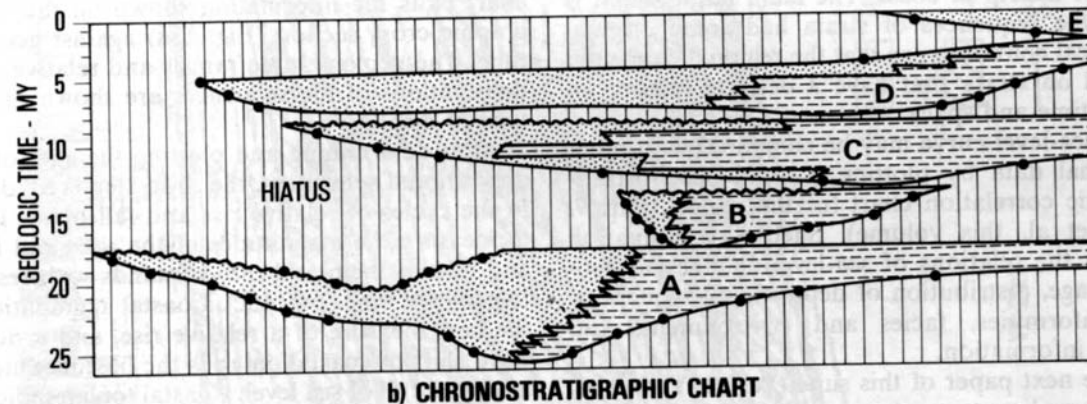
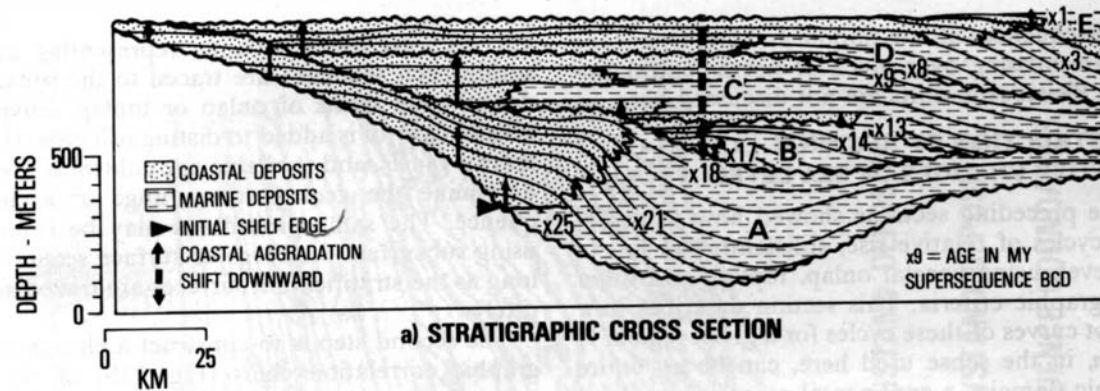


FIG. 14—Offshore West Africa example of seismic stratigraphic interpretation.



y descenso de patrones de onlap – construcción de curvas locales de ascenso y descenso del nivel del mar





Determinación de secuencias depositacionales

Construcción de carta cronoestratigráfica

Construcción de carta de ascenso y descenso del nivel del mar



## Posibles terminaciones de reflectores dentro de una secuencia

**R. M. Mitchum, Jr., P. R. Vail, and J. B. Sangree**

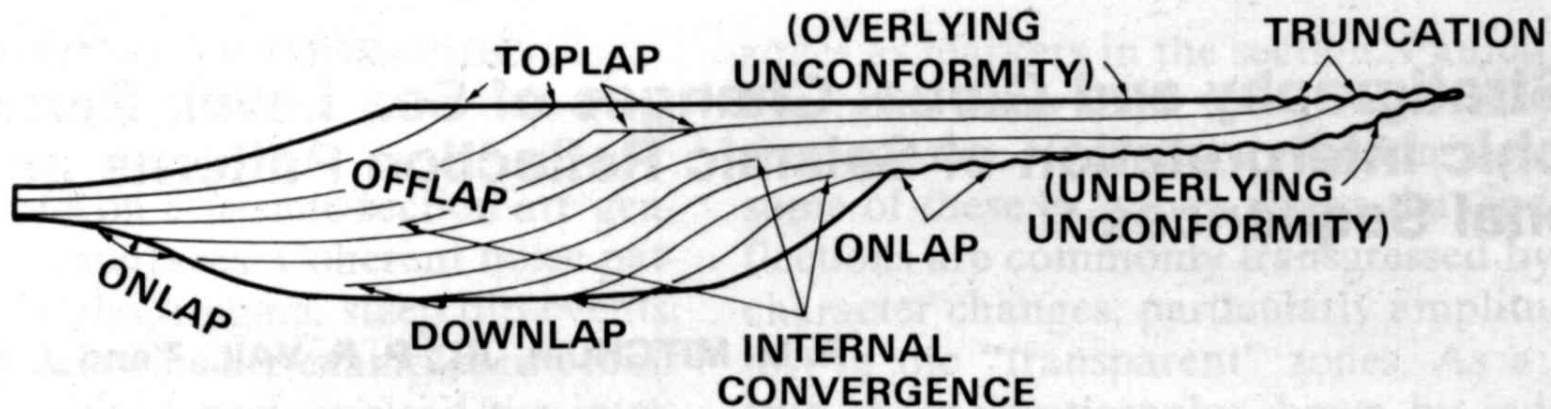
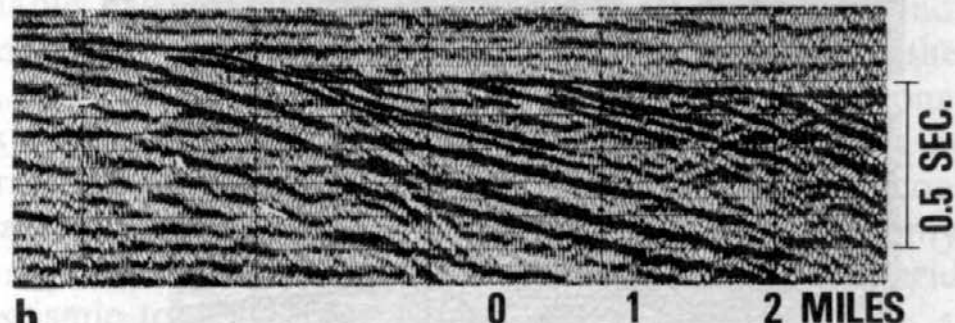
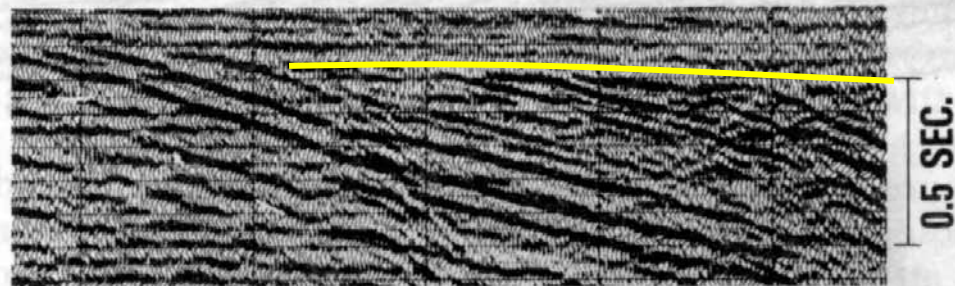
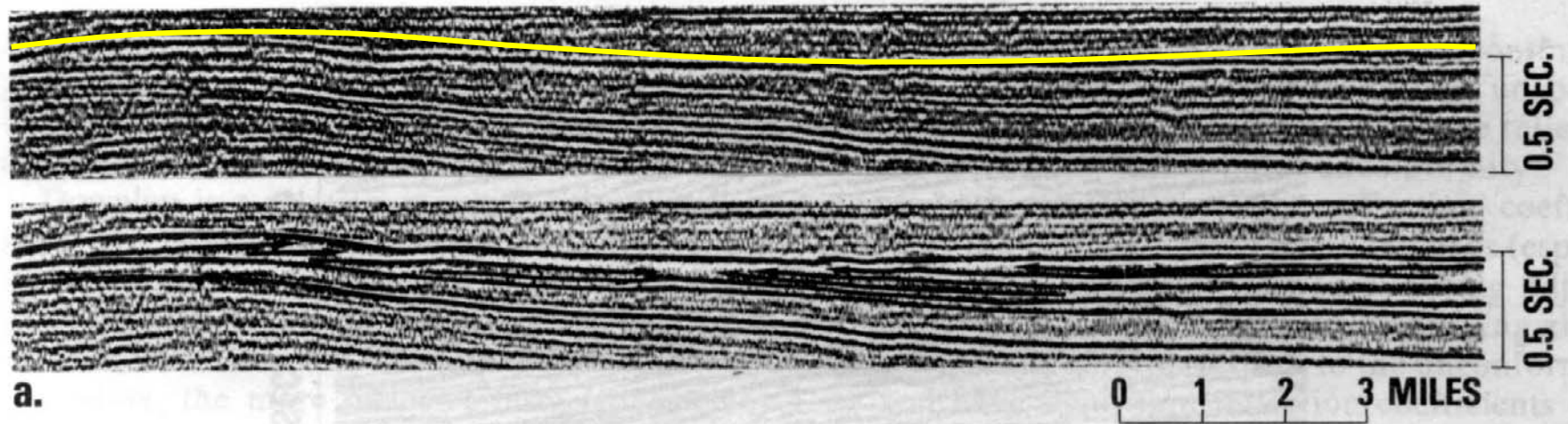


FIG. 1—Seismic stratigraphic reflection terminations within idealized seismic sequence.

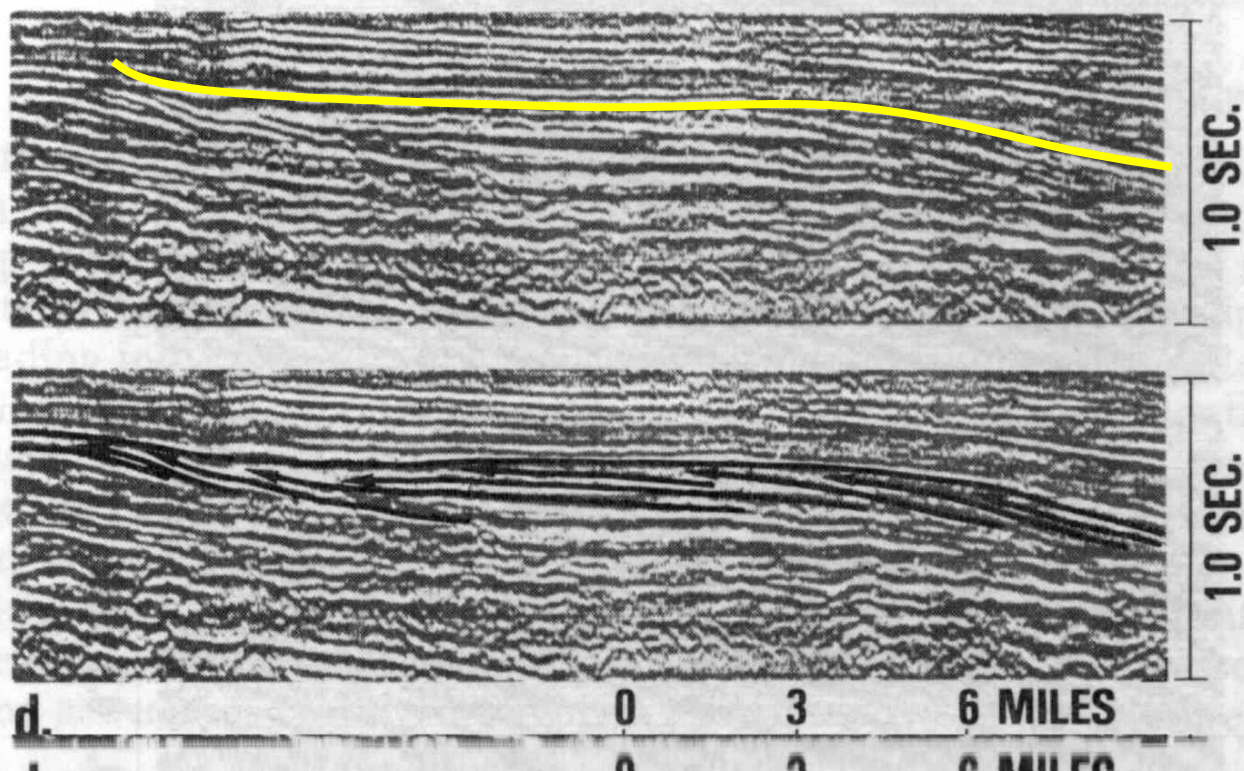
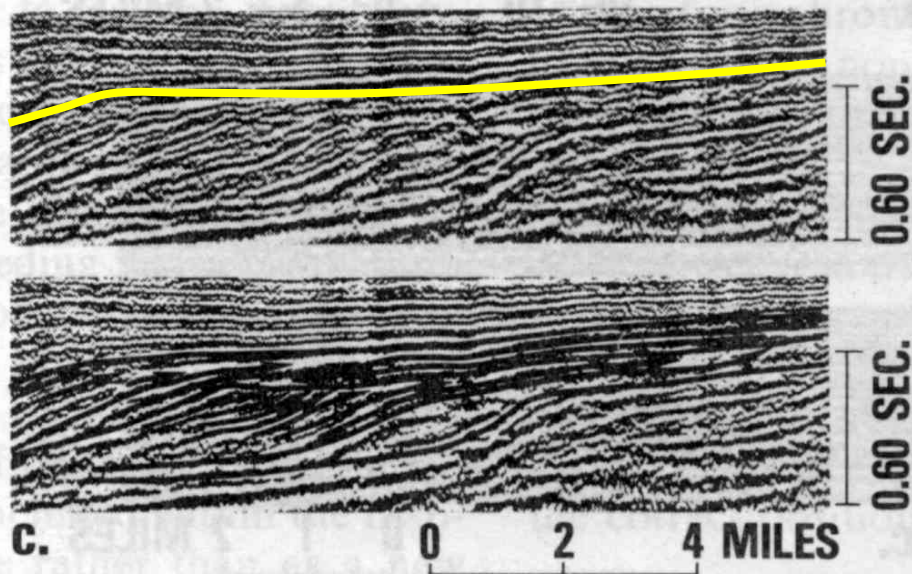
- Patrón básicamente geométrico

# Truncamiento erosivo



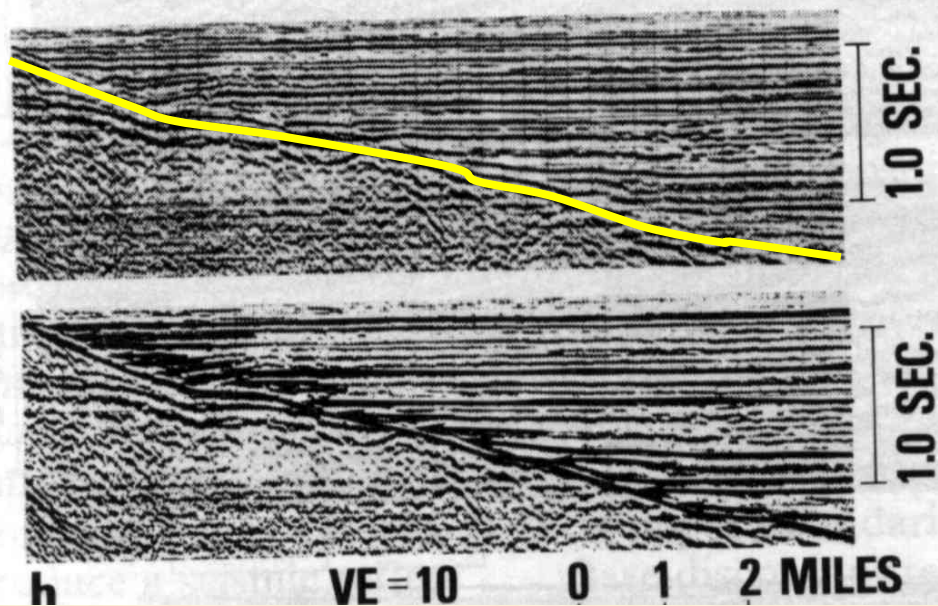
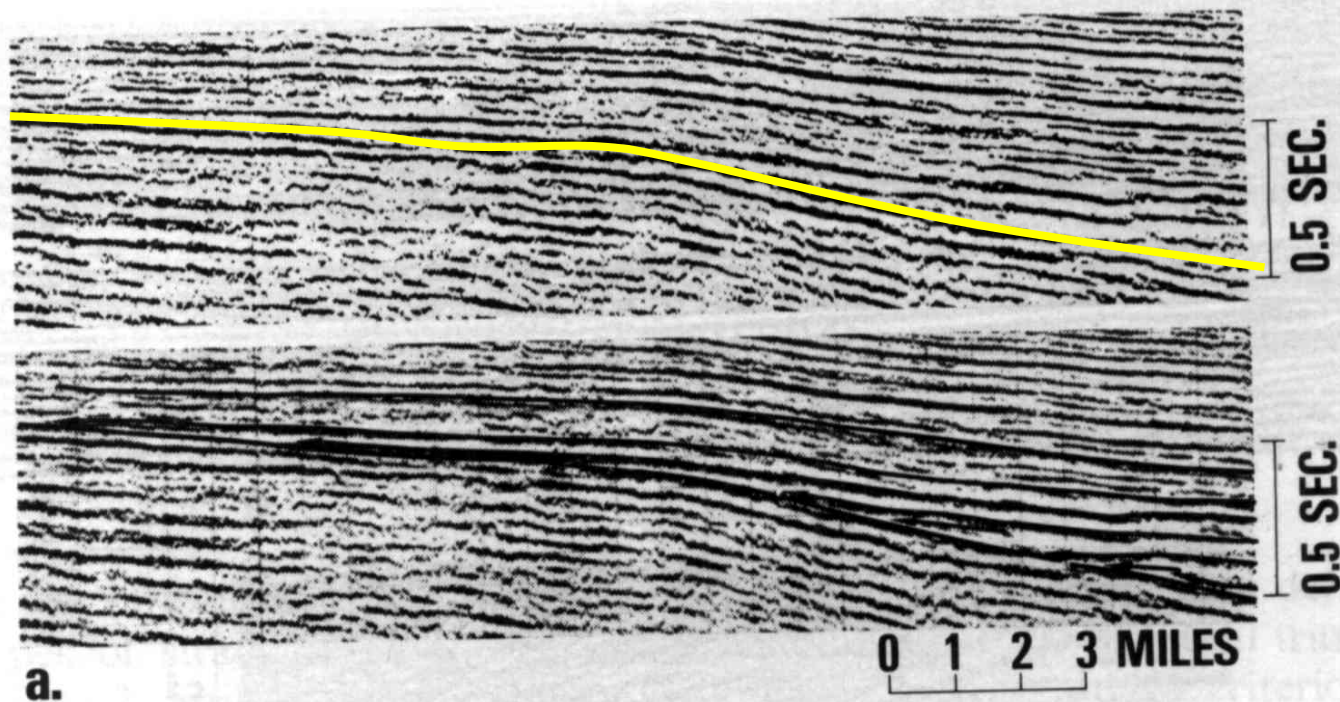


# Toplap

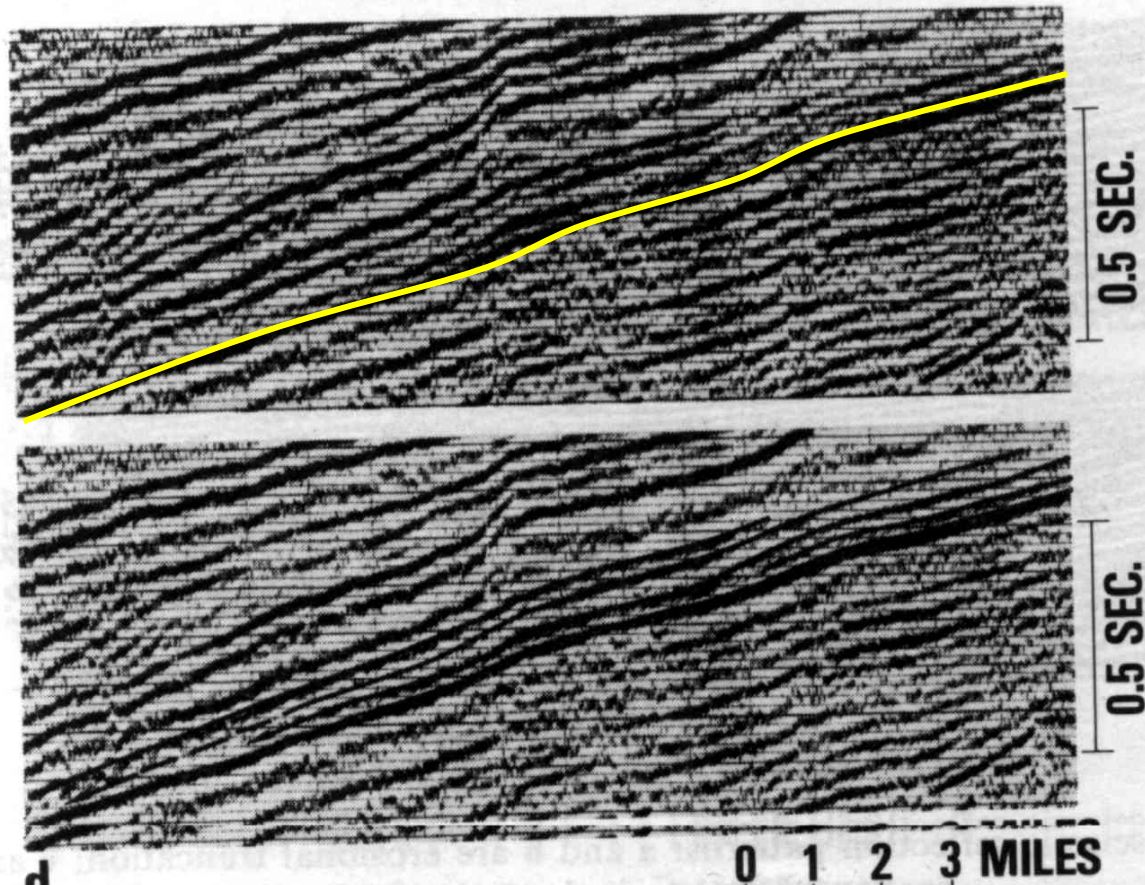
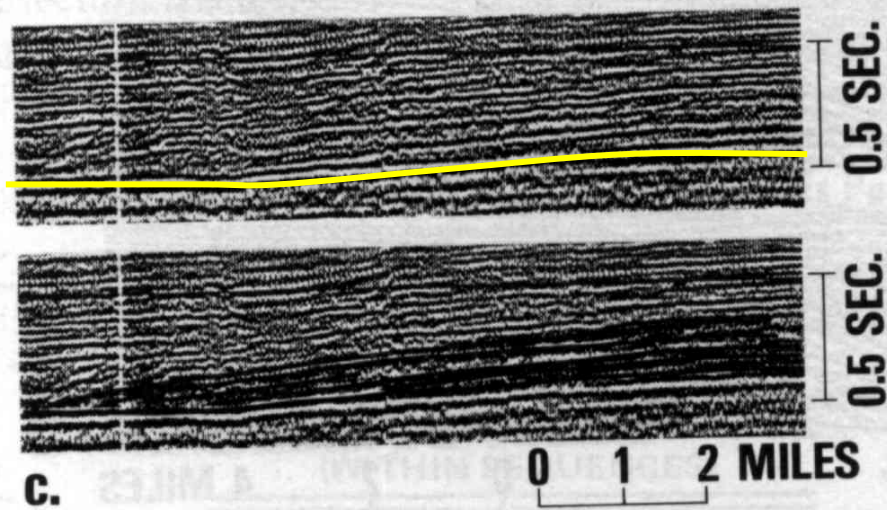




Onlap







Downlap

## Facies Sísmica

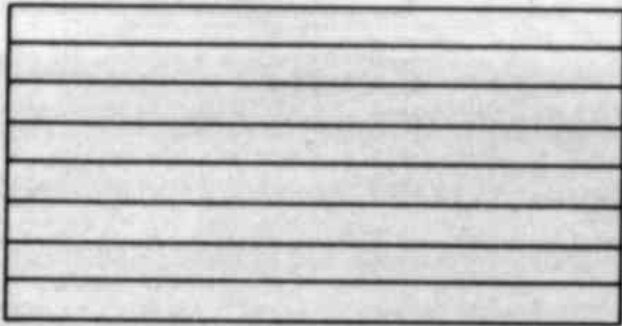
El análisis conjunto de diferentes parámetros sísmicos (configuración de reflectores, velocidad, forma externa del paquete de reflectores, atributos, etc.) permite definir facies sísmicas dentro de cada secuencia.

Las facies sísmicas deben indicar características de los ambientes y procesos de sedimentación



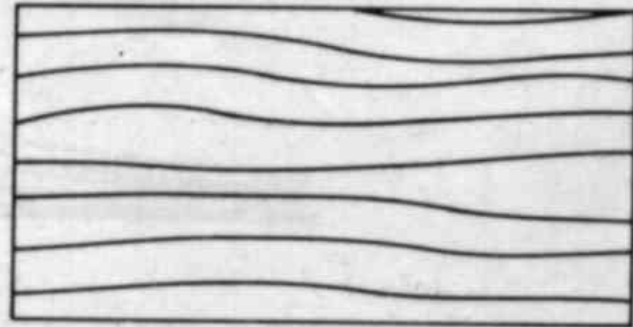
# Arreglo geométrico de reflectores

**PARALLEL**

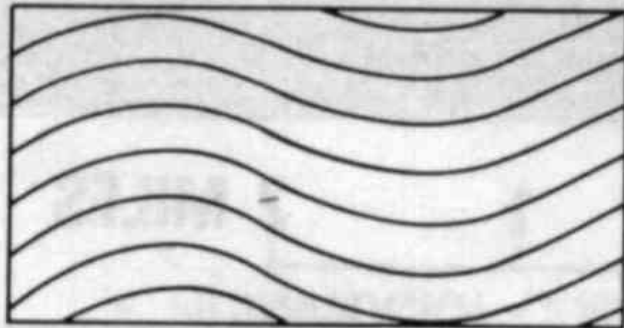
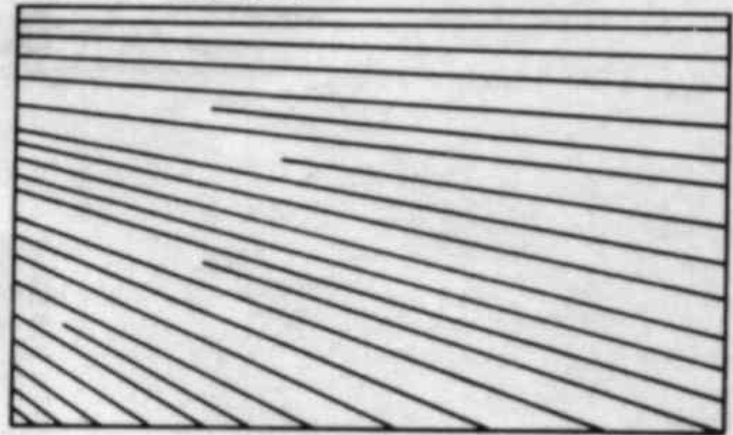


**EVEN**

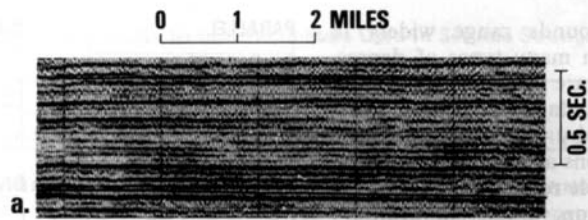
**SUBPARALLEL**



**DIVERGENT**



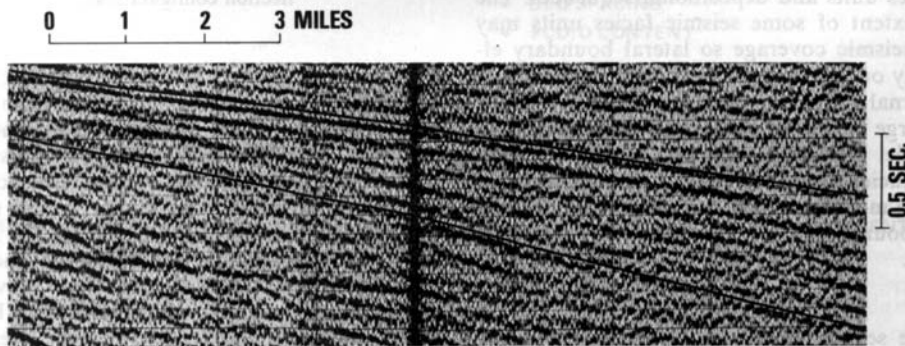
**WAVY**



Paralelo



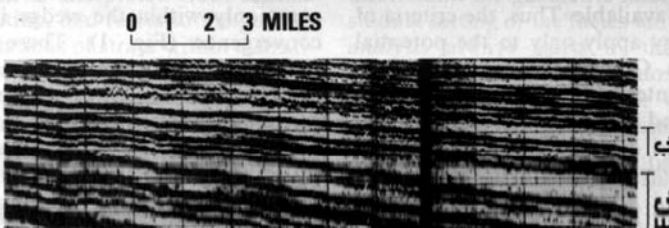
Suparalelo



Divergente



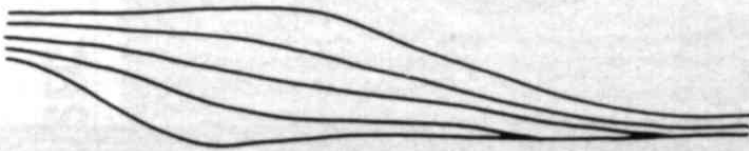
Divergente





# Configuración de los reflectores

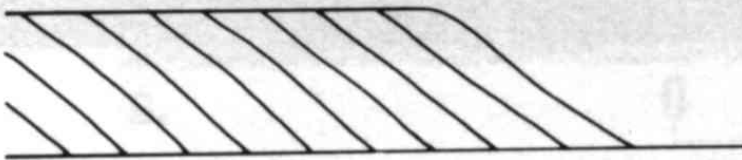
**a. SIGMOID**



**OBLIQUE**

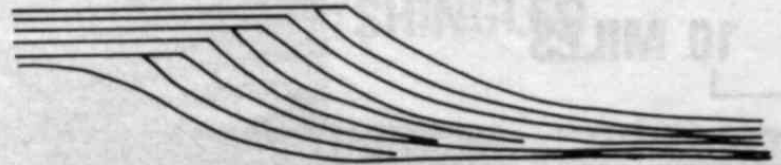


**b. TANGENTIAL**

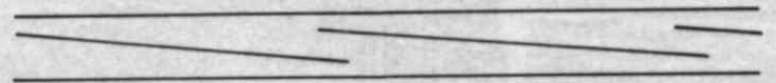


**c. PARALLEL**

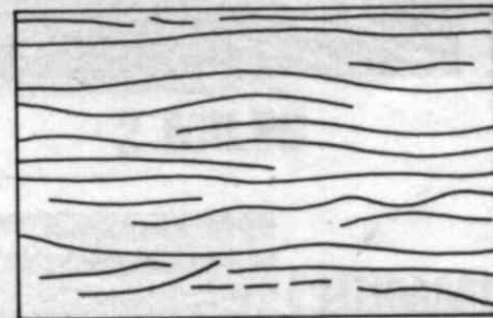
**d. COMPLEX SIGMOID-OBLIQUE**



**e. SHINGLED**



**f. HUMMOCKY CLINOFORMS**

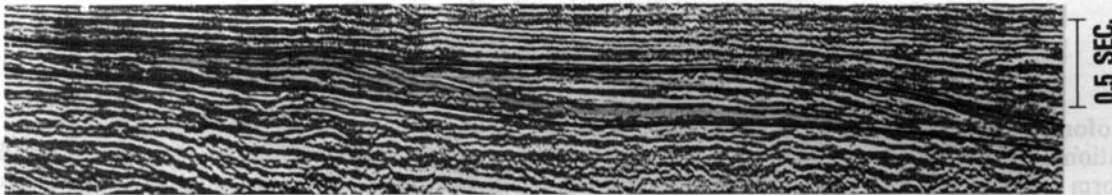


0 5 10 MILES



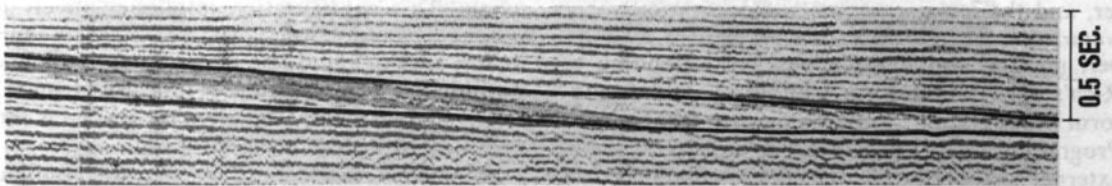
a.

0 3 MILES



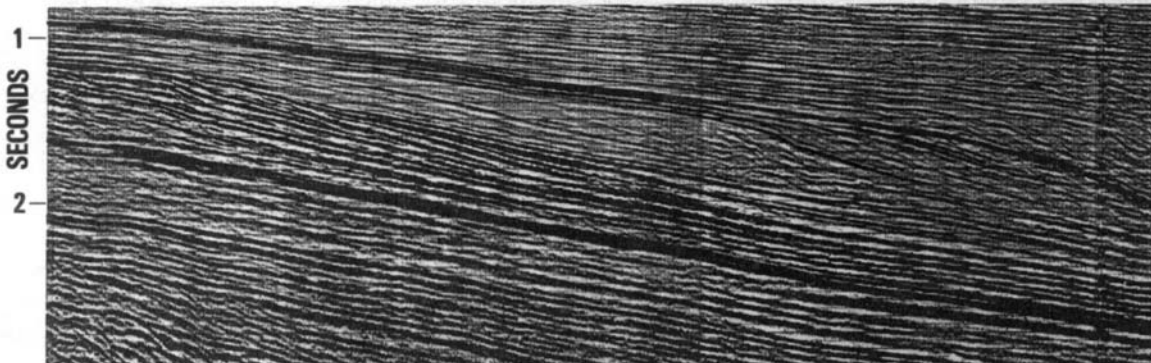
b.

0 1 2 MILES



c.

0 3 6 MILES



d.

Sigmoide

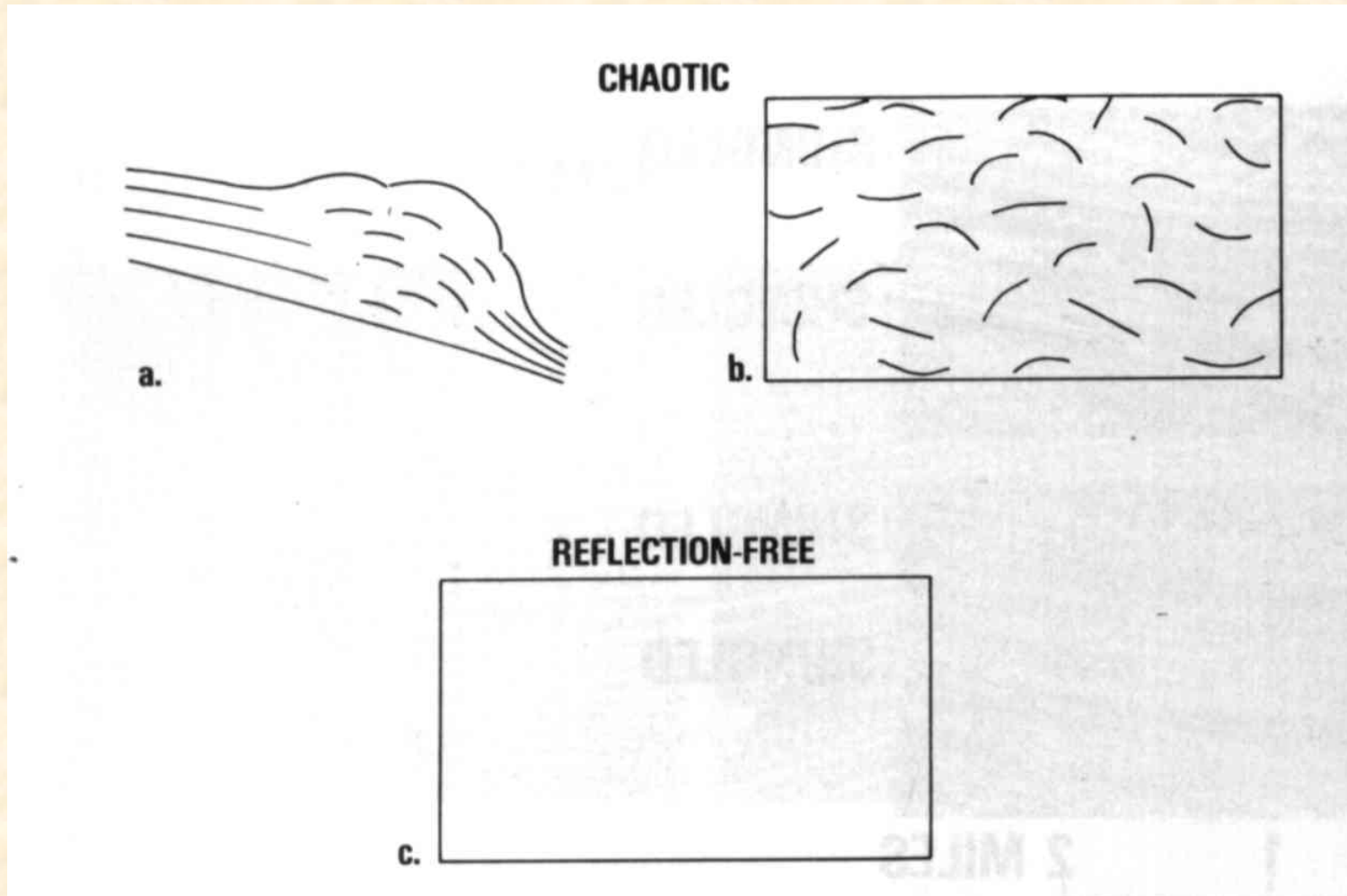
Tangencial oblicua  
a sigmoide

Paralela oblicua

Compleja:  
sigmoide-oblicua

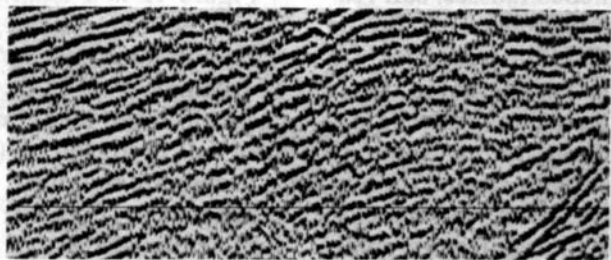
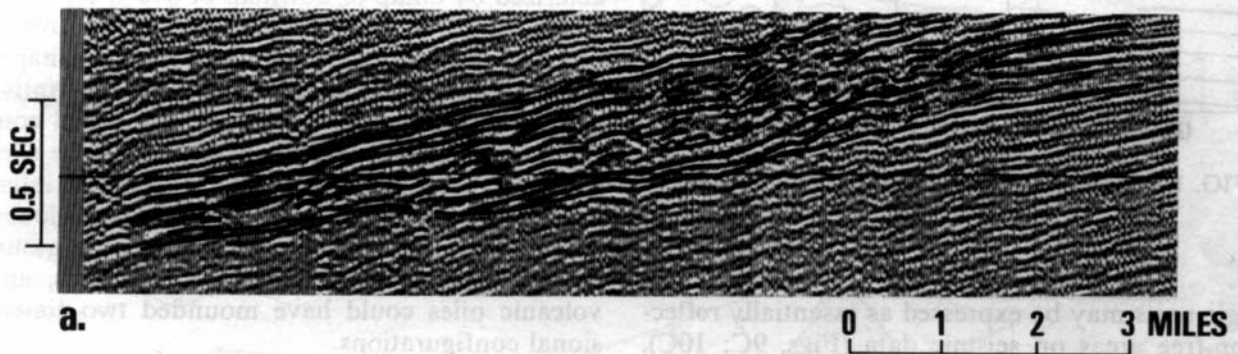


# Configuración de reflectores

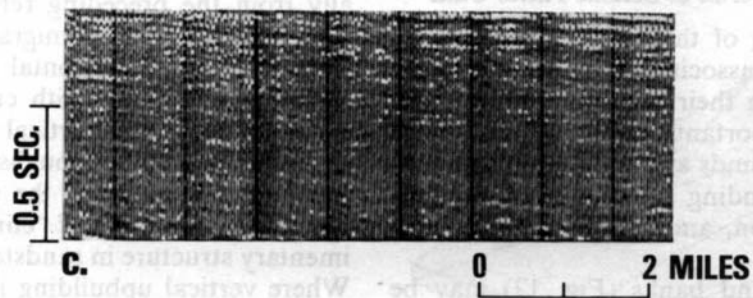




Slumps

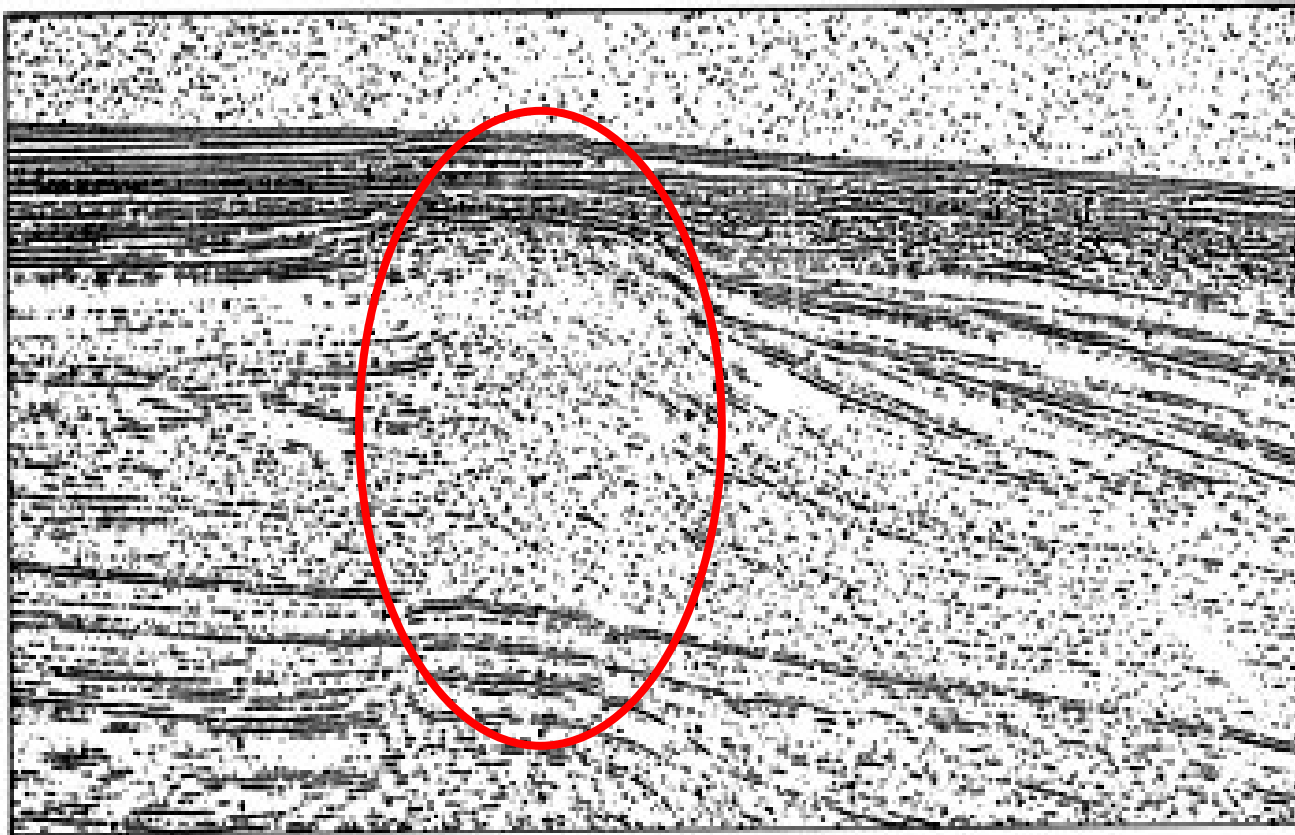


Caótica



Sin reflexiones

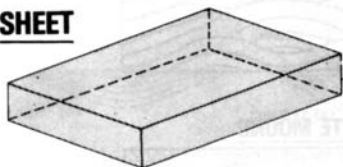




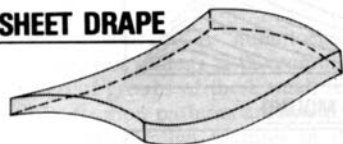
(courtesy of Esso Exploration Inc.)

Ausencia de reflectores dentro del arrecife es diagnóstico

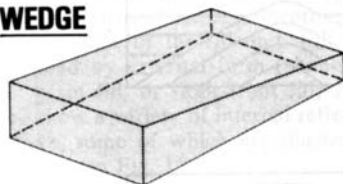
**SHEET**



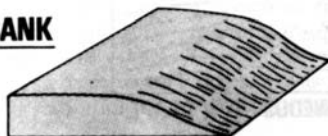
**SHEET DRAPE**



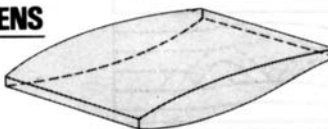
**WEDGE**



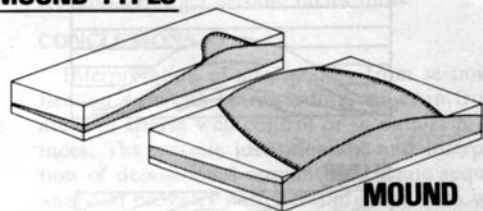
**BANK**



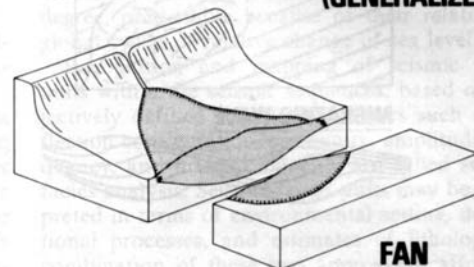
**LENS**



**MOUND TYPES**

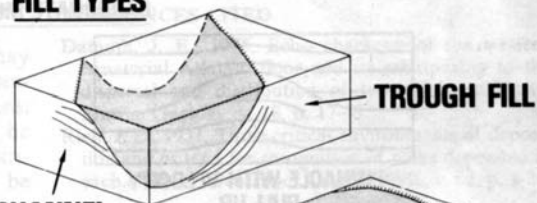


**MOUND  
(GENERALIZED)**



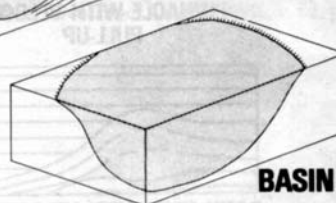
**FAN**

**FILL TYPES**

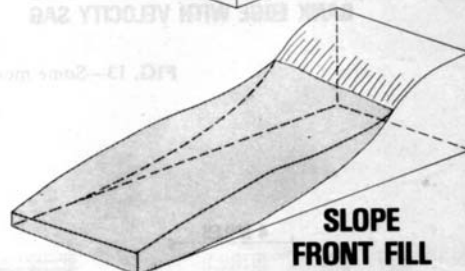


**TROUGH FILL**

**CHANNEL  
FILL**



**BASIN FILL**



**SLOPE  
FRONT FILL**

Forma externa

FIG. 12—External forms of some seismic facies units.



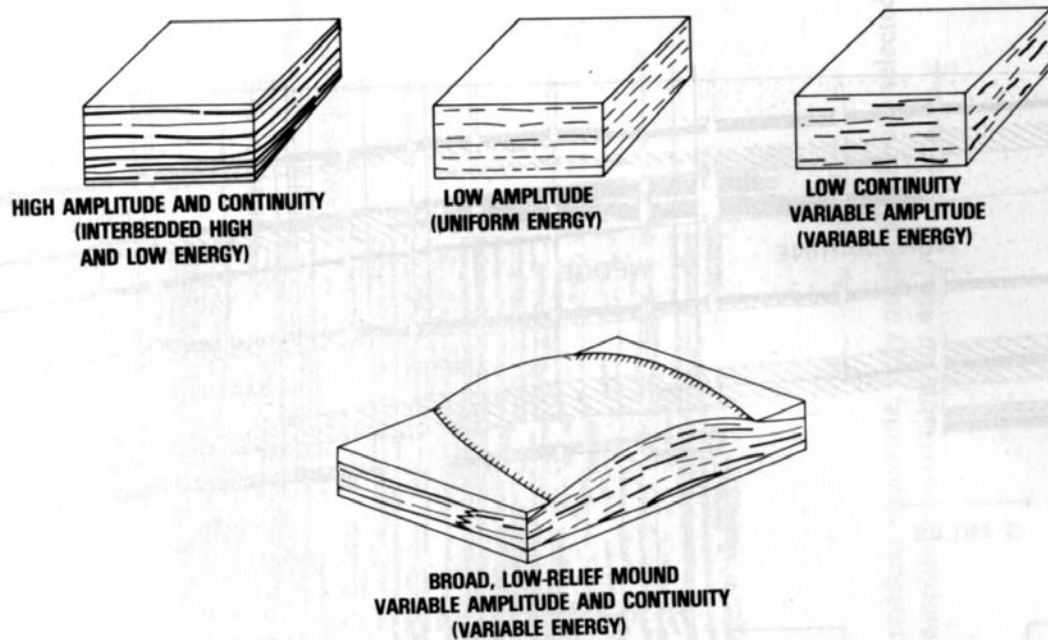
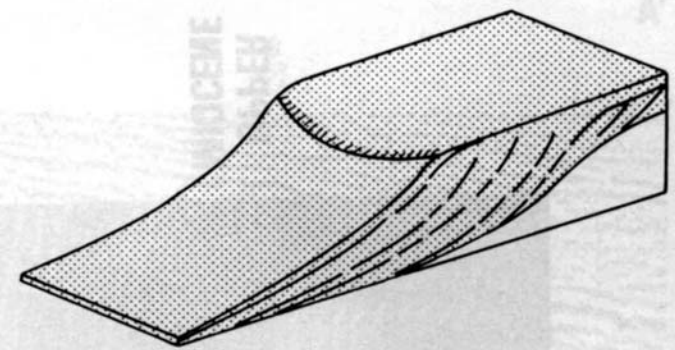
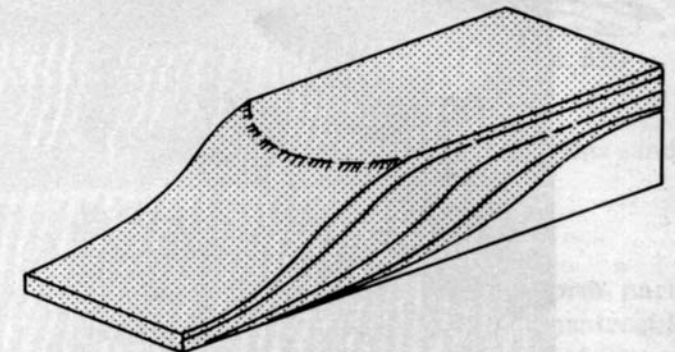


FIG. 1—Diagrammatic illustration of shelf seismic facies types.



**OBLIQUE PROGRADATIONAL  
(HIGH ENERGY)**



**SIGMOID PROGRADATIONAL  
(LOW ENERGY)**

Forma y configuración de reflectores da información sobre energía del medio (ej. Facies clásticas de plataforma)



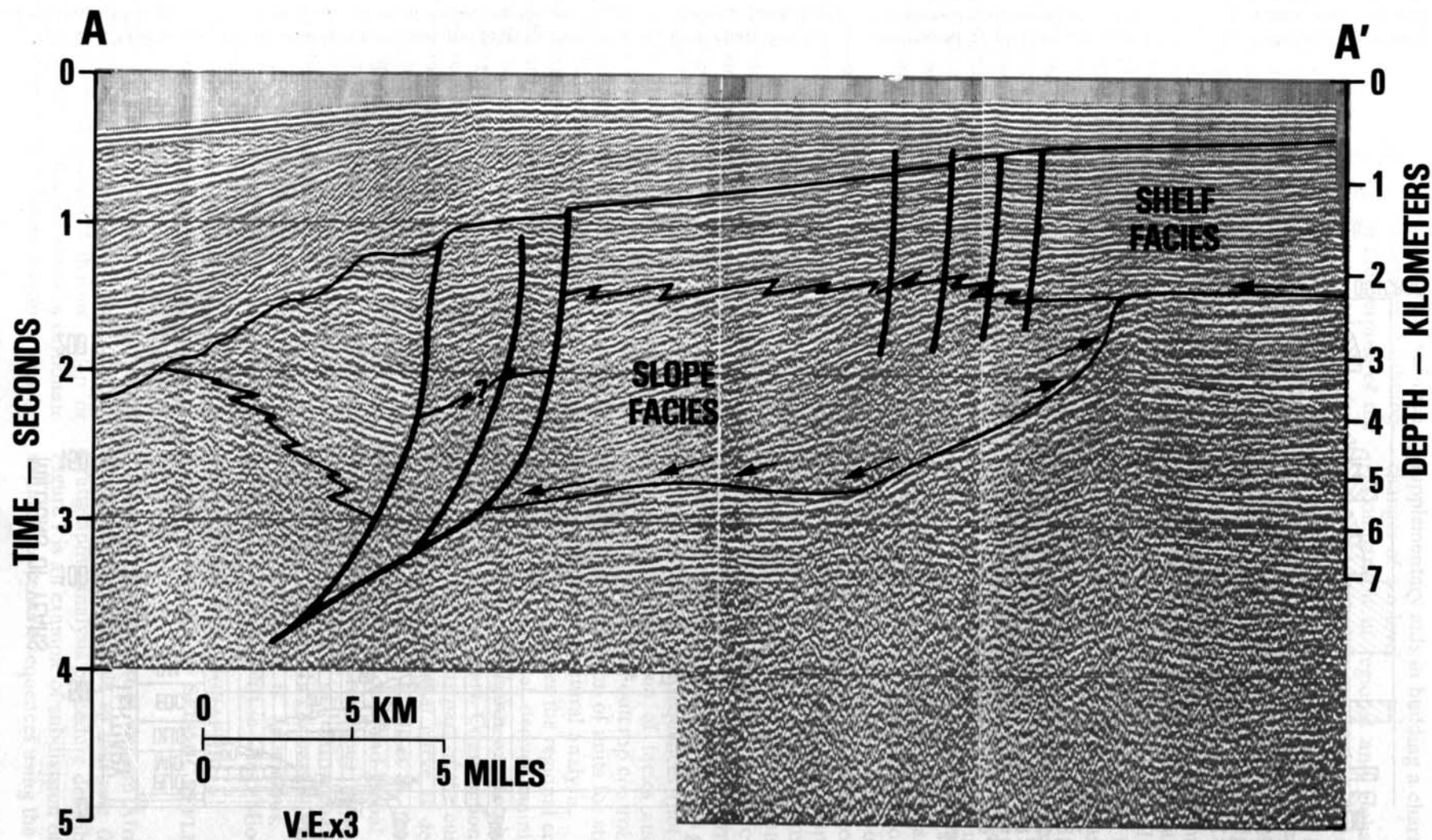


FIG. 3—Generalized seismic facies, Lower Cretaceous Valanginian through Aptian sequences, Line A-A', offshore western Africa (map location Figs. 4, 5). Two generalized seismic facies interpreted. Strata deposited in shelf-depositional environment prograde right to left over deposits of slope environment.



# Mapa de facies sísmicas

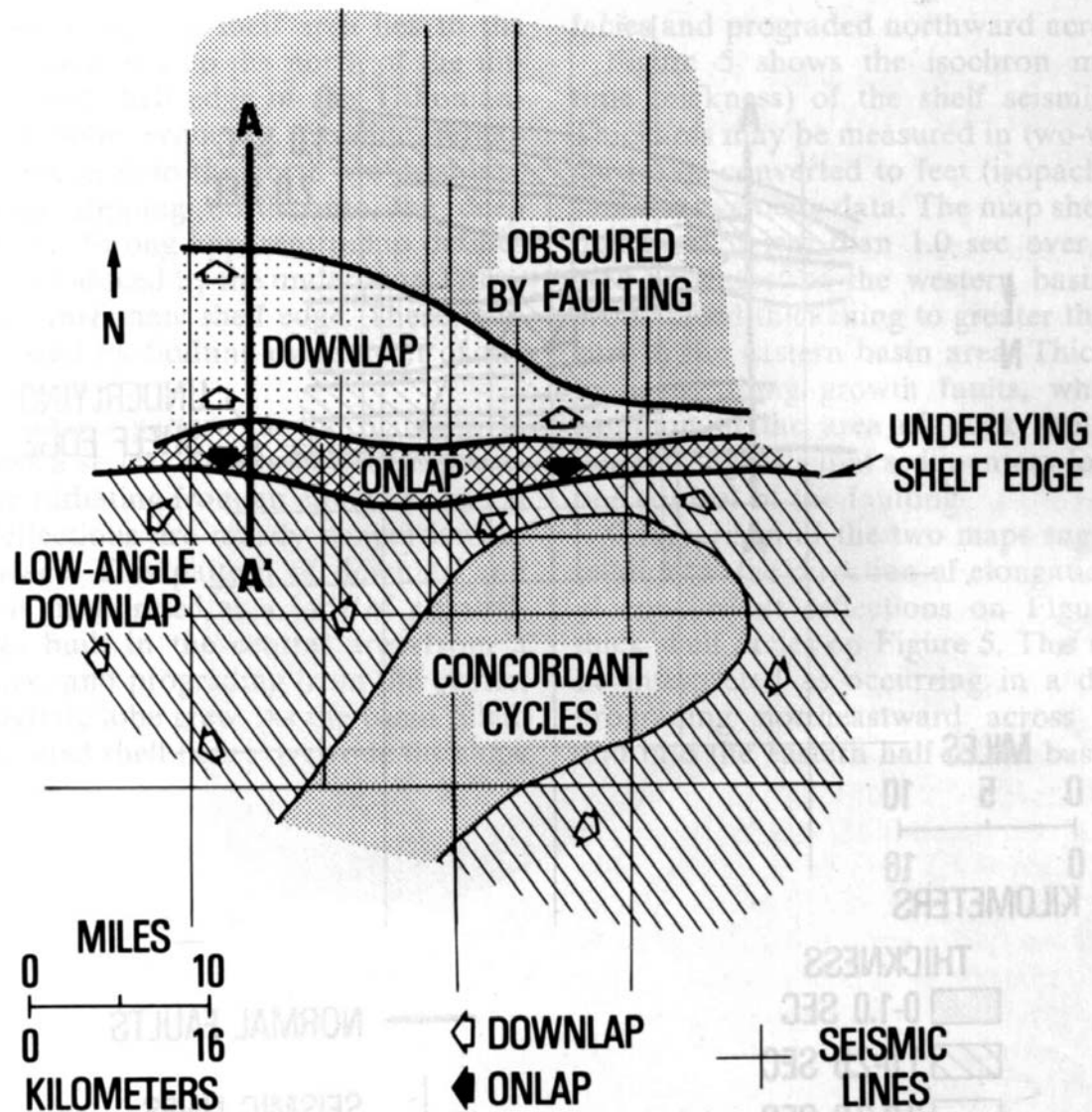


FIG. 4—Seismic facies map showing reflection patterns at lower surface of Lower Cretaceous Valanginian through Aptian sequences, offshore western Africa.

# Relación entre facies sísmicas y geología

**Table 2. Seismic Reflection Parameters Used in Seismic Stratigraphy, and Their Geologic Significance.**

## SEISMIC FACIES PARAMETERS

### REFLECTION CONFIGURATION

### REFLECTION CONTINUITY

### REFLECTION AMPLITUDE

### REFLECTION FREQUENCY

### INTERVAL VELOCITY

### EXTERNAL FORM & AREAL ASSOCIATION OF SEISMIC FACIES UNITS

## GEOLOGIC INTERPRETATION

- BEDDING PATTERNS
- DEPOSITIONAL PROCESSES
- EROSION AND PALEOTOPOGRAPHY
- FLUID CONTACTS
- BEDDING CONTINUITY
- DEPOSITIONAL PROCESSES
- VELOCITY-DENSITY CONTRAST
- BED SPACING
- FLUID CONTENT
- BED THICKNESS
- FLUID CONTENT
- ESTIMATION OF LITHOLOGY
- ESTIMATION OF POROSITY
- FLUID CONTENT
- GROSS DEPOSITIONAL ENVIRONMENT
- SEDIMENT SOURCE
- GEOLOGIC SETTING