



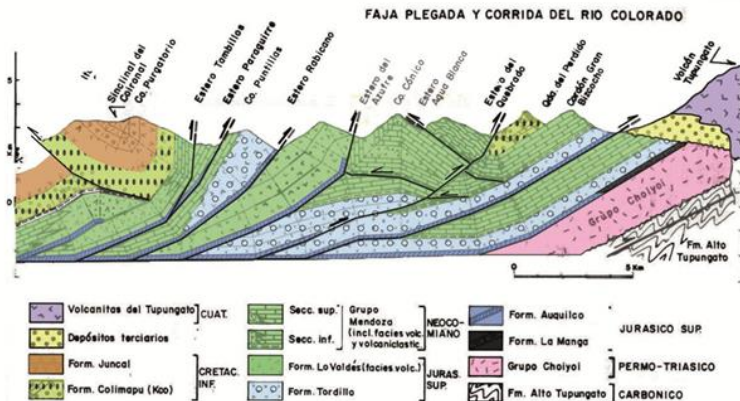
Geotectónica

GL5301-2 Primavera 2023

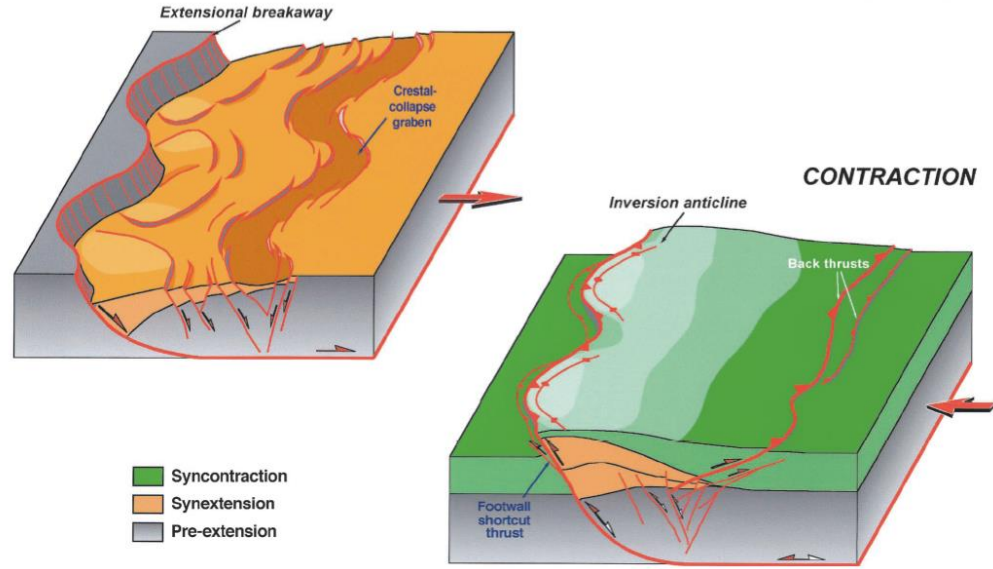
Auxiliar N°4

Auxiliares: Roberto González Vidal
 Andrea Navarro Aránguiz
 Profesor: Fernando Poblete Gómez

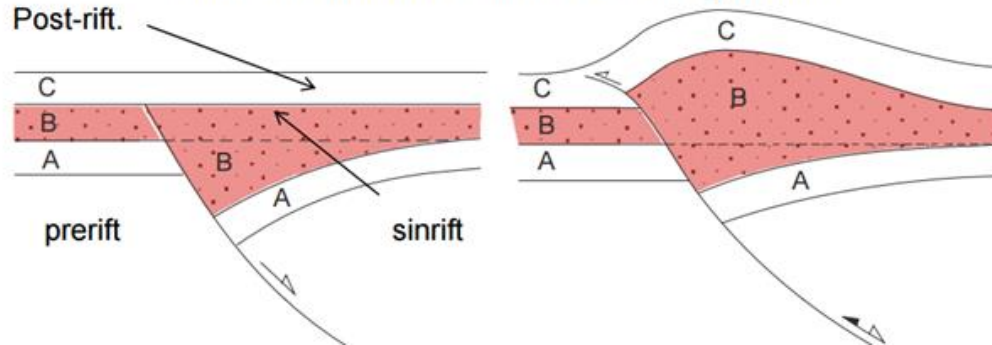
a)



Inversión Tectónica



Estructura de inversión tectónica positiva



FAULT REACTIVATION AND FLUID REDISTRIBUTION

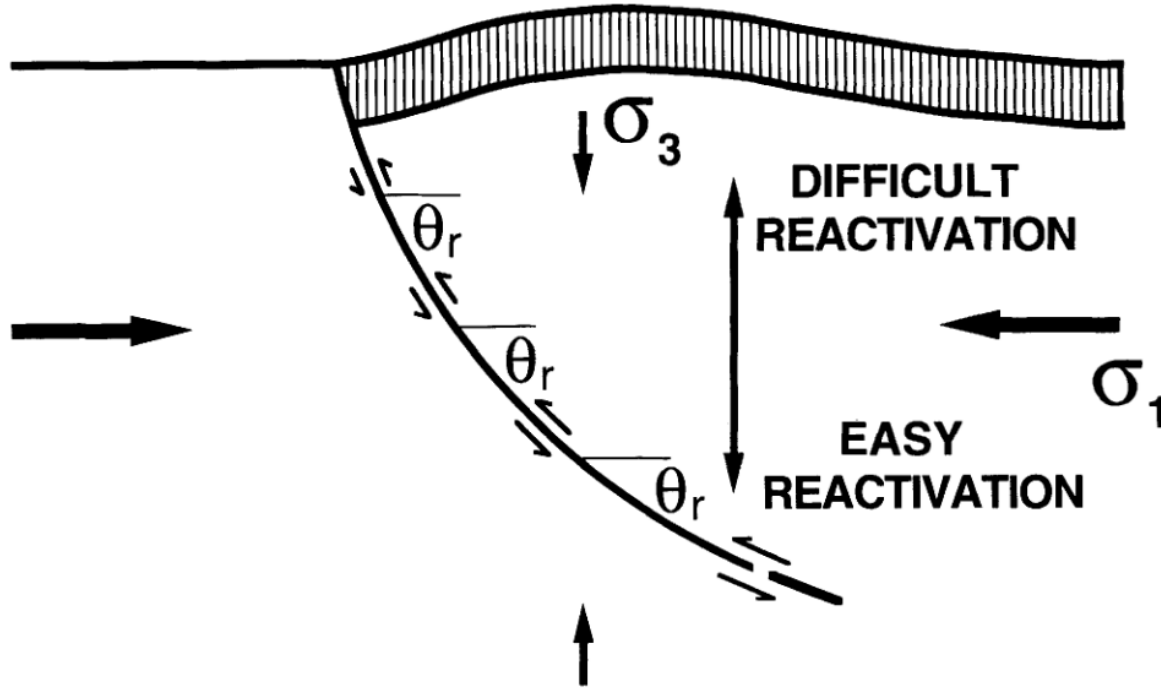


Fig. 6. Cartoon showing how the changing dip of a listric normal fault with depth leads to varying ease of reactivation under compression.

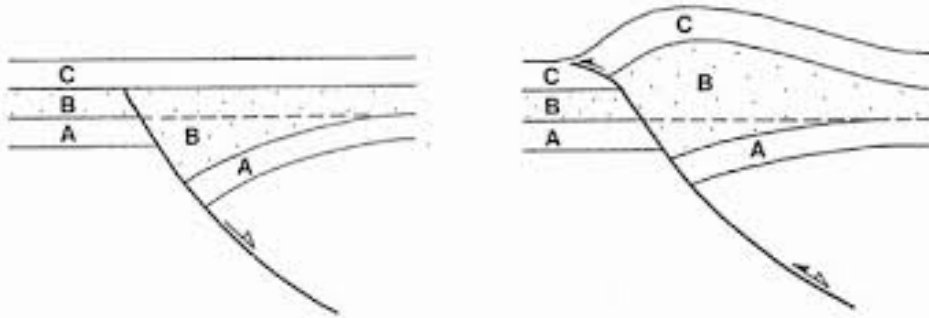
Sibson, 1995

La **curvatura** que generalmente tienen las fallas normales incide en la “facilidad” o “dificultad” para absorber la inversión tectónica en un sistema. **Entre más vertical** sea la porción de falla que se está reactivando, **más difícil** es que hayan movimientos por sobre ésta. Para las porciones más subhorizontales de la falla, como son más paralelas al régimen de esfuerzos, la reactivación se facilita.

Inversión positiva :

Extensión □ **compresión**

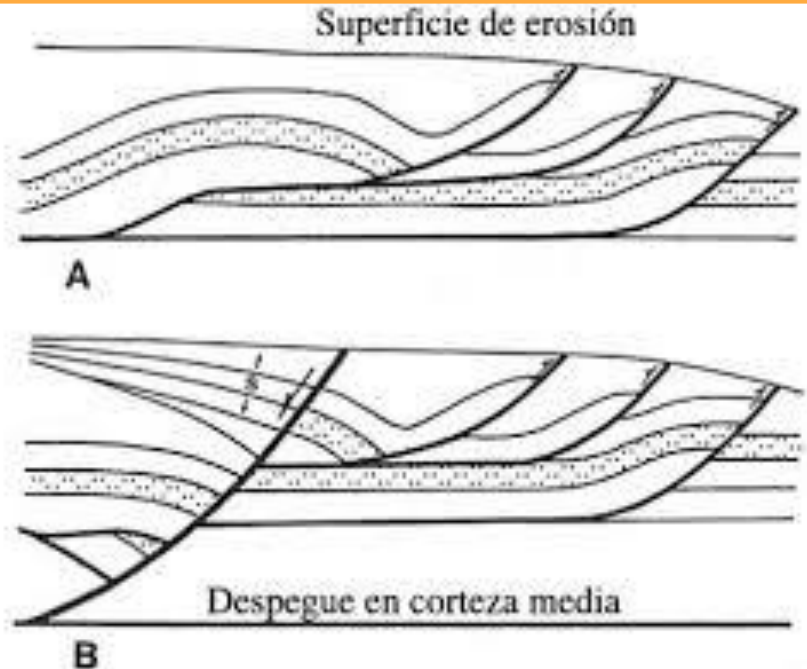
Inversión de cuencas de rift, inversión de cuencas desarrolladas en márgenes pasivos.

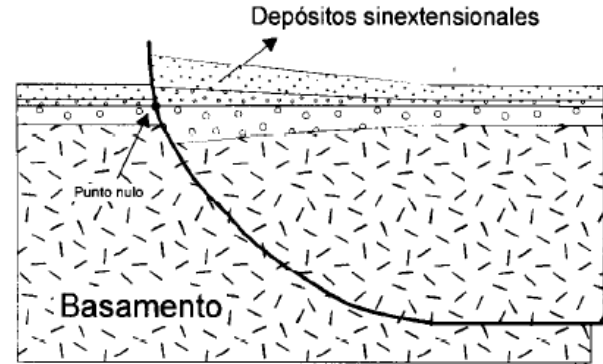
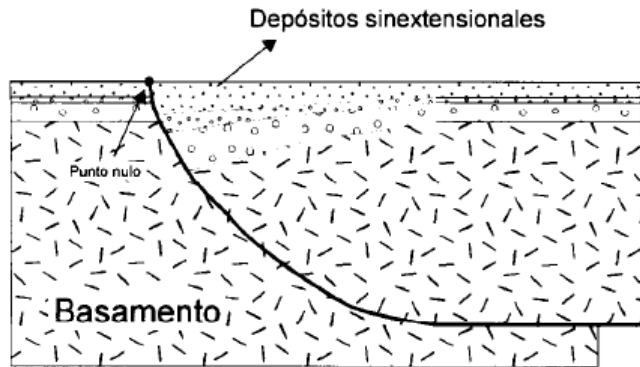


Inversión negativa :

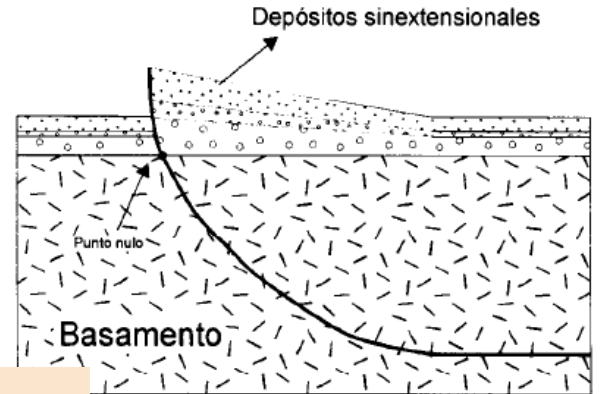
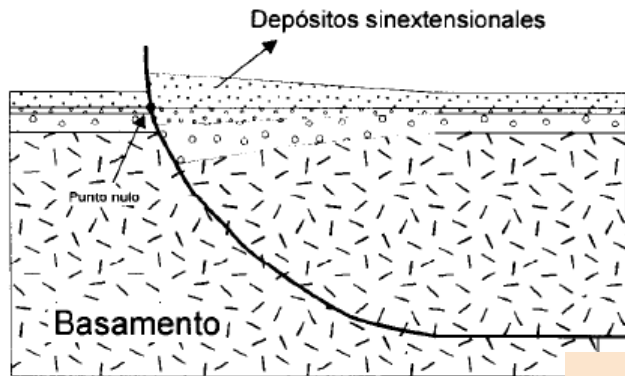
Compresión □ **extensión**

Orógenos colapsados, extensión dentro de FPC



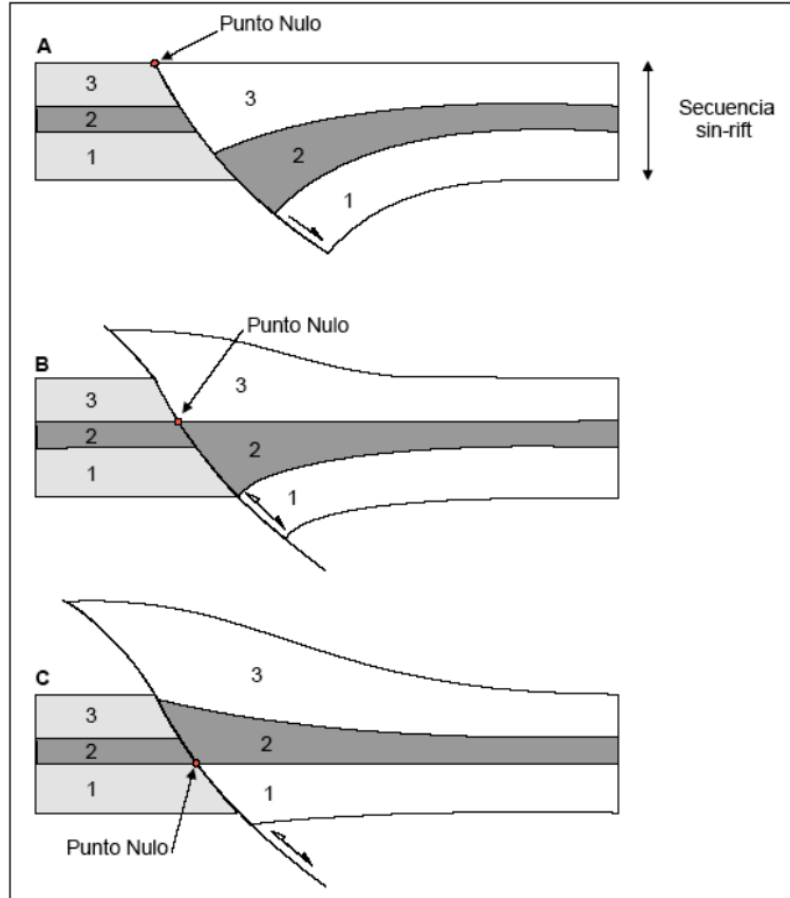


Modelo de inversión
tectónica para
fallas lítricas



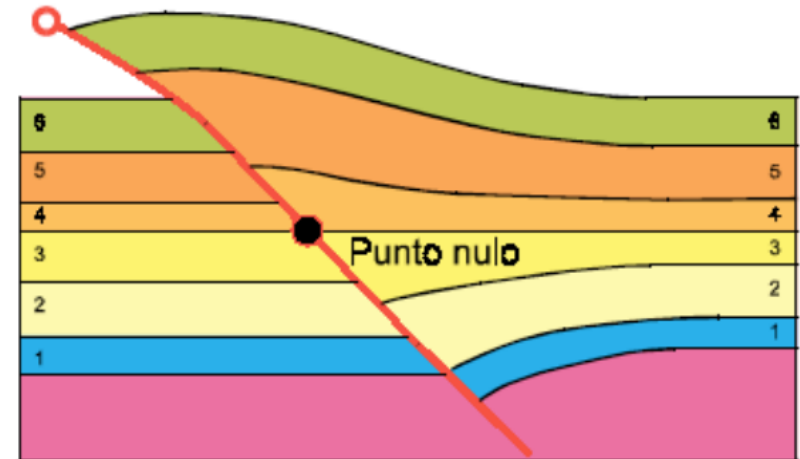
Implica deformación de depósitos
syn-rift

PUNTO NULO (Null Point)

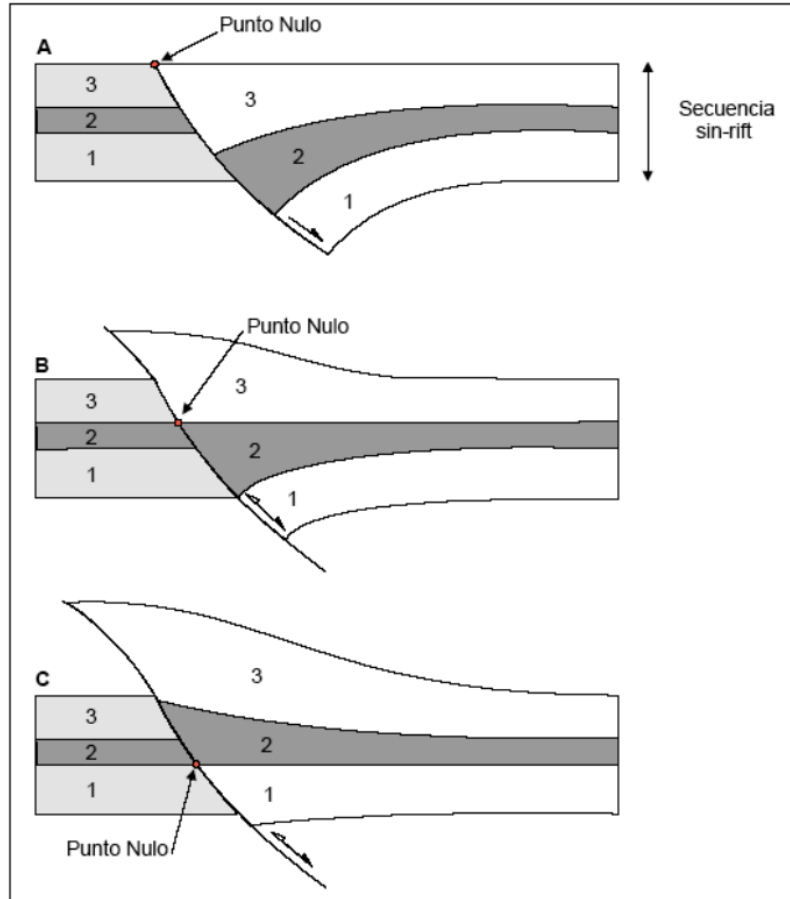


El punto nulo se considera un “**marcador**” que permite **medir los desplazamientos** por sobre la falla reactivada o invertida.

Punto de referencia

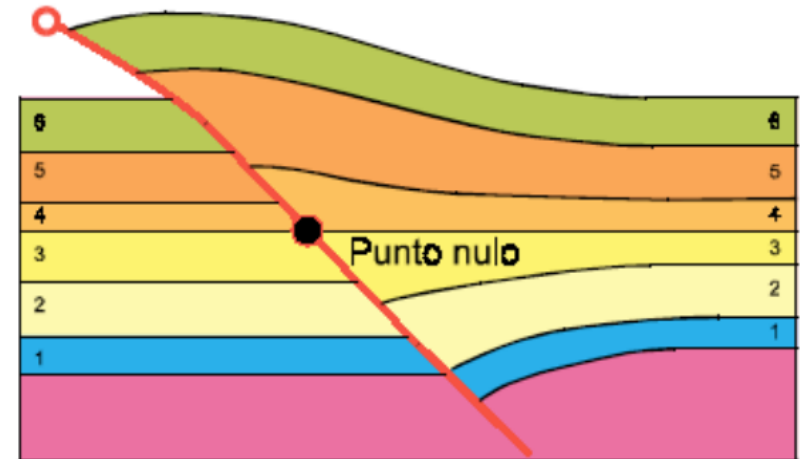


PUNTO NULO (Null Point)



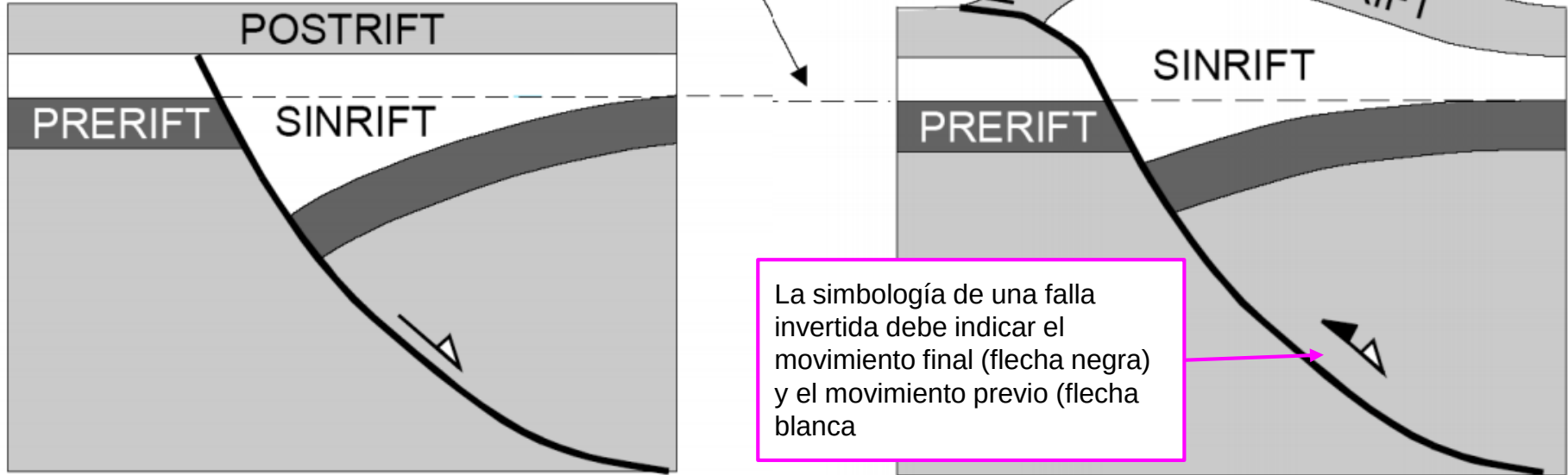
Cuando **niveles equivalentes se “encuentran”** frente a frente a ambos lados de la falla maestra, se puede determinar un punto nulo (DePaor y Eisenstadt, 1987; Gibbs, 1987; Williams et al, 1989). Cuando se visualiza en 3-D, se considera una línea nula.

Punto de referencia

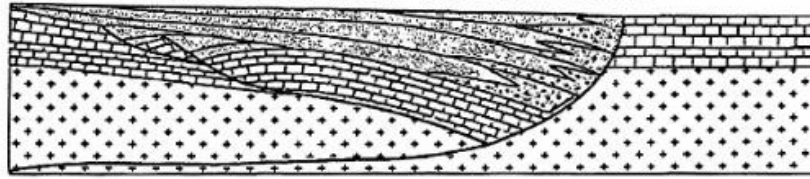


Rasgos Principales de la inversión positiva

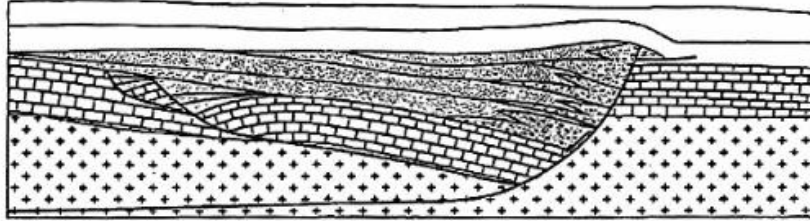
Elevación regional



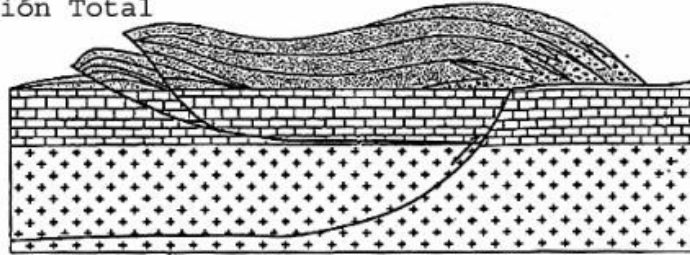
Hemi Graben extensional



Inversión Parcial



Inversión Total



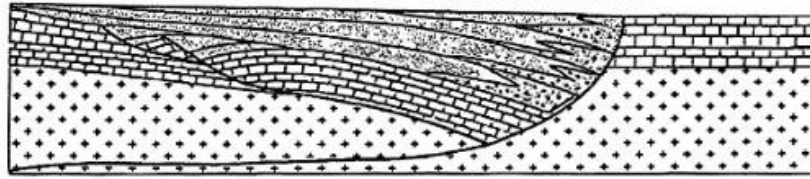
Alternativa I
Empuje →

Alternativa II
Subducción

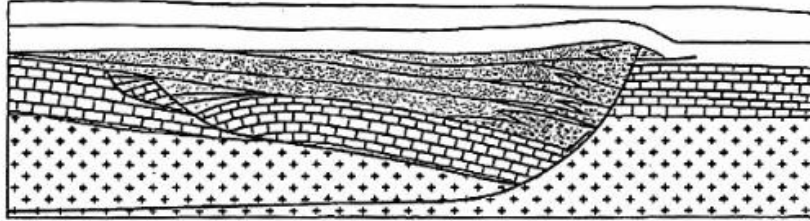
La **inversión parcial** se genera cuando la falla normal previa cambia su cinemática a inversa y el hemigraben extensional previo acentúa su curvatura. Los depósitos syn-rift comienzan a cabalgar por encima del bloque yacente y por sobre los depósitos de post-rift. El anticlinal generado se denomina “anticlinal de harpón”

Fig. A2.1: Ilustración de la inversión parcial y total de un hemigraben (Bally, 1984)

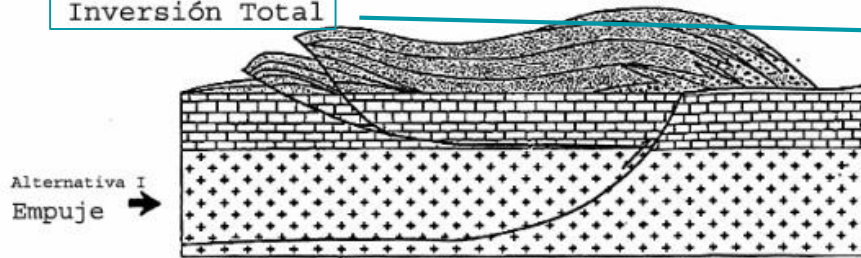
Hemi Graben extensional



Inversión Parcial



Inversión Total



Alternativa II
Subducción

La **inversión total** se genera cuando el movimiento inverso por sobre la falla maestra produce la extrusión de los depósitos de syn-rift.

Un caso extremo es la **ultra-inversión**, en el cual el basamento que subyace los depósitos sedimentarios asociados a la extensión también son extruídos debido a la gran magnitud de la compresión posterior.

Fig. A2.1: Ilustración de la inversión parcial y total de un hemigraben (Bally, 1984)

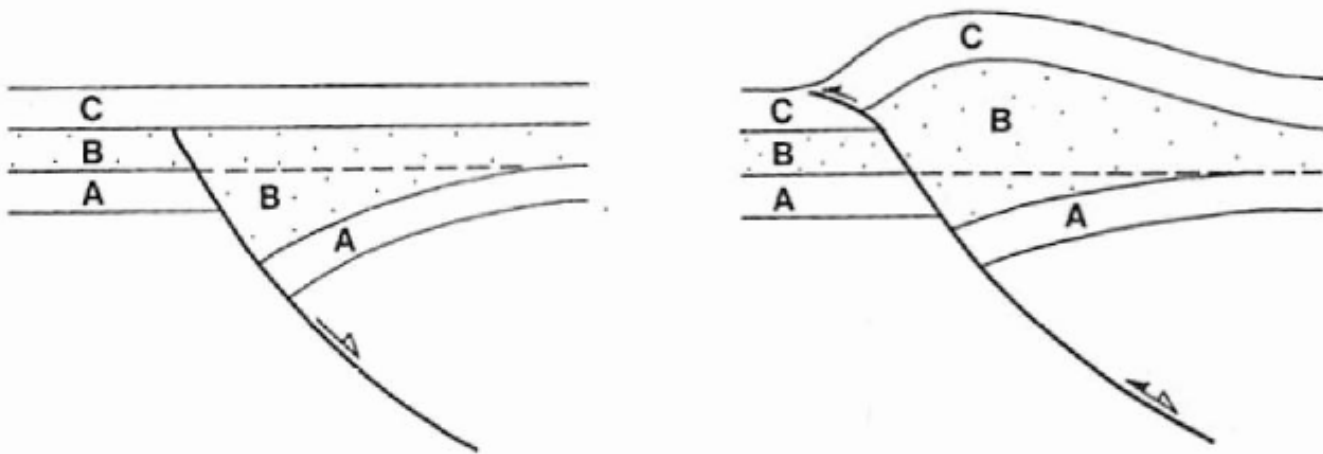
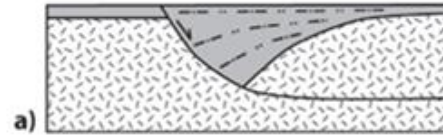


Fig. A2.2: Diagrama esquemático de una inversión estructural positiva de una falla normal lítrica. A, B, C son las secuencias estratigráficas: A, pre extensión, B, syn extensión y C, post extensión (Williams et al., 1989)

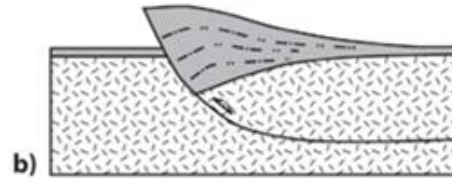
Para cuantificar y calificar la inversión es necesario:

- **Determinar** el nivel estructural regional (línea horizontal segmentada en la figura).
- **Identificar** las secuencias extensionales previamente desarrolladas en el sistema invertido.
- **Identificar** la posición original del "null point", o punto nulo.

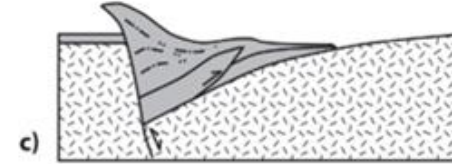
Estructuras de inversión



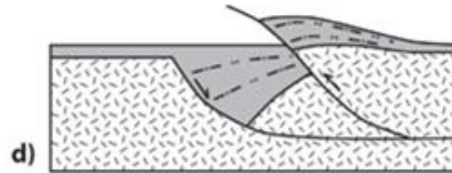
Configuración inicial tras extensión



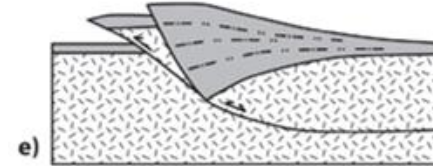
Arpón



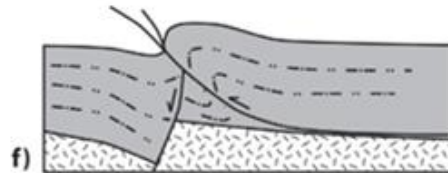
Buttressing



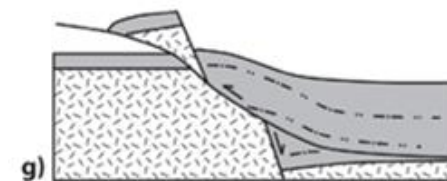
Falla de atajo (*shortcut*) en bloque colgante



Falla de atajo (*shortcut*) en bloque yaciente

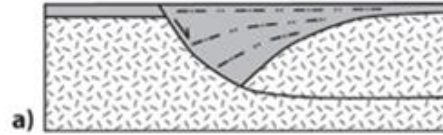


Falla primaria truncada por falla secundaria



Cabalgamiento afectando a falla primaria

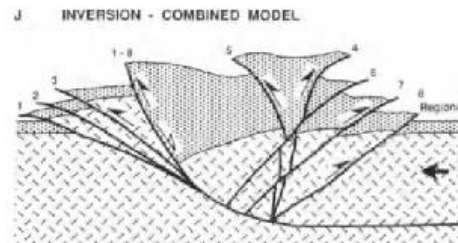
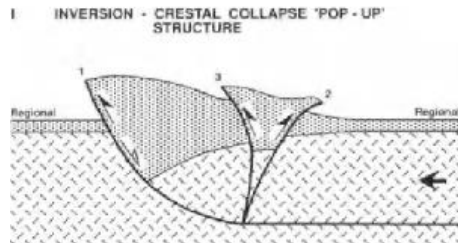
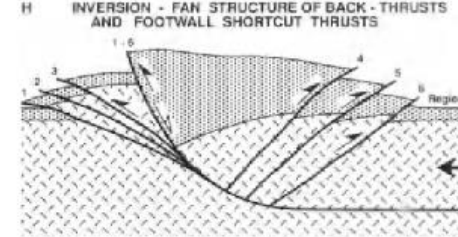
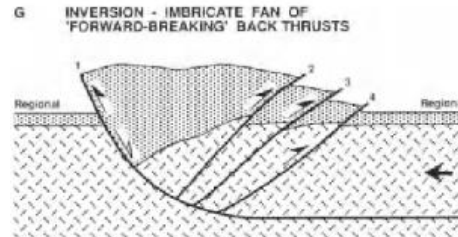
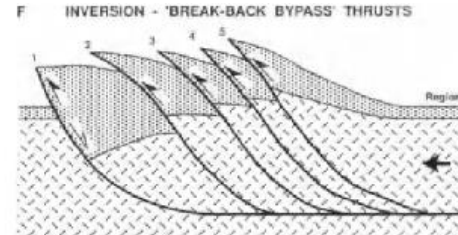
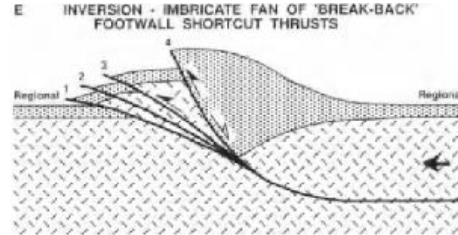
Estructuras de inversión



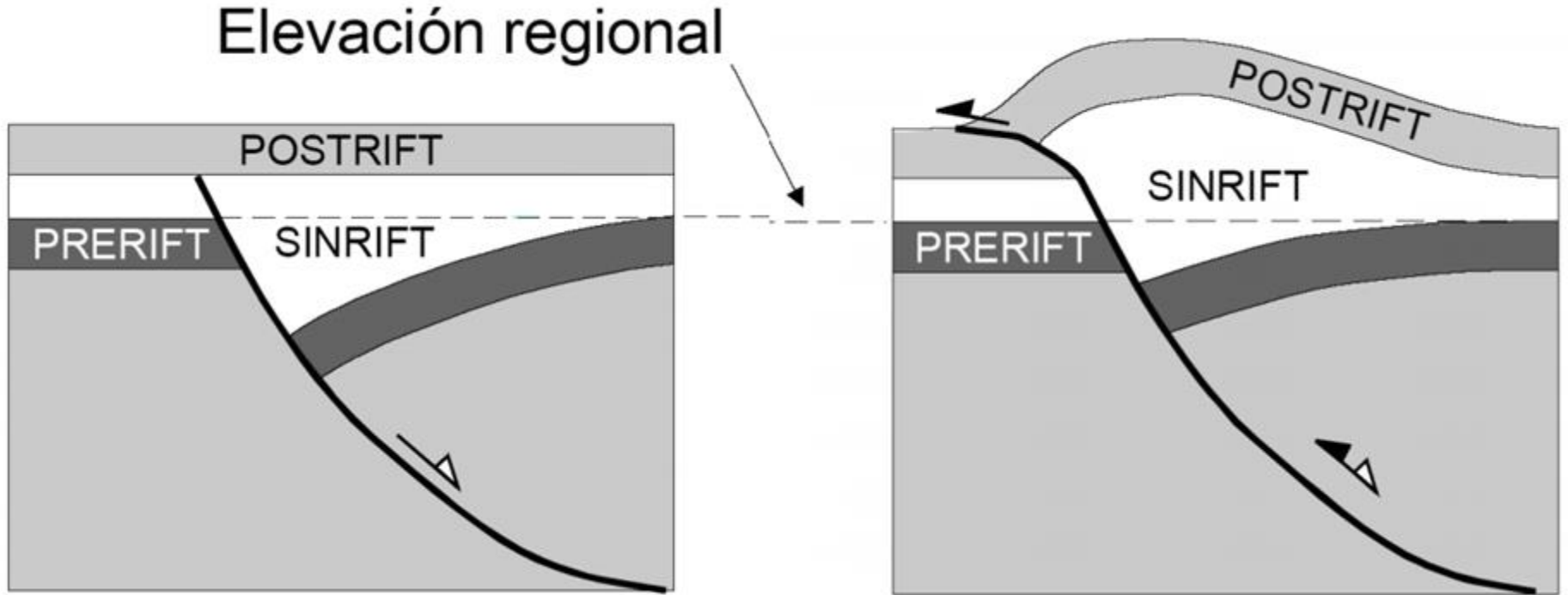
Configuración inicial tras extensión



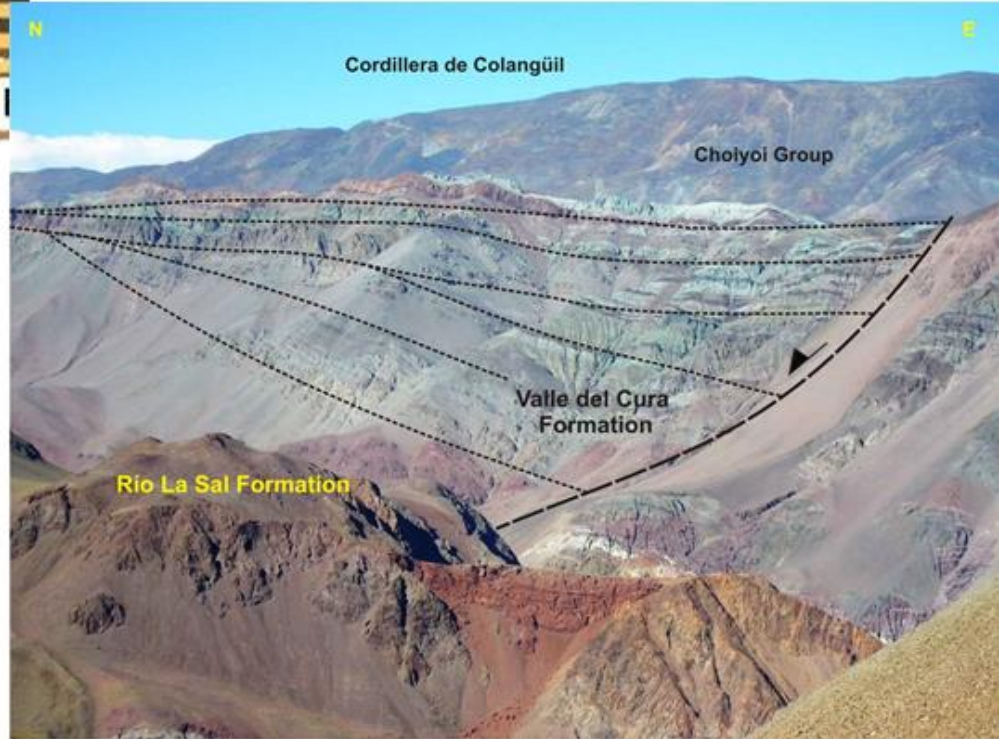
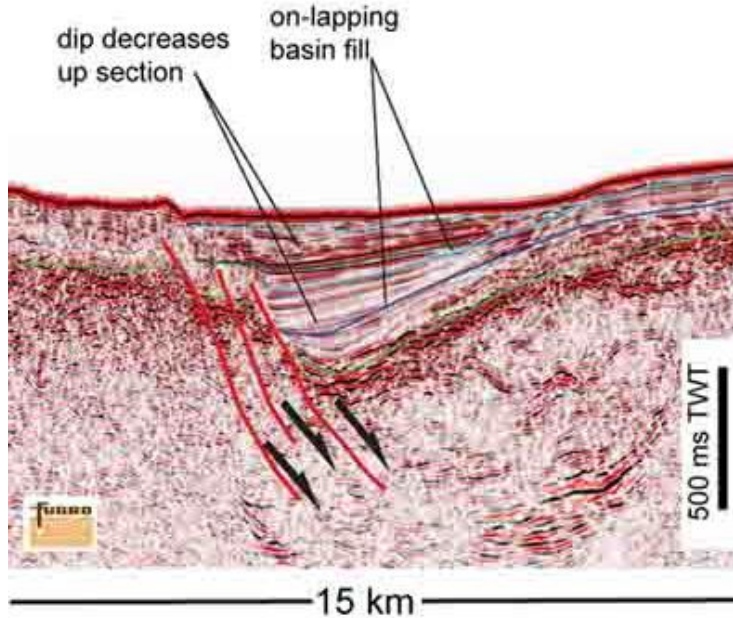
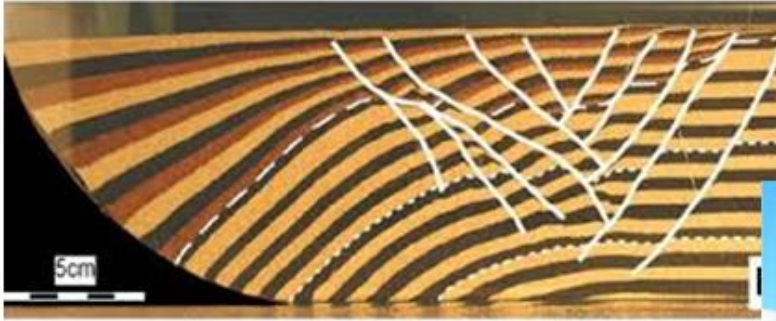
Combinación
de
estructuras



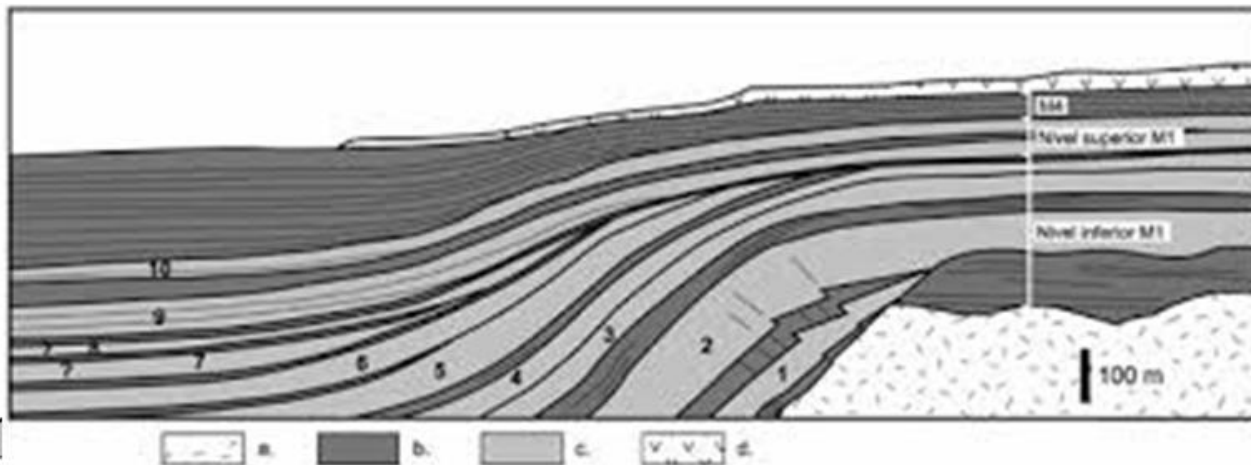
¿Cómo se identifican las secuencias estratigráficas?



Depósitos synextensionales



Variable
Ramp
Angles

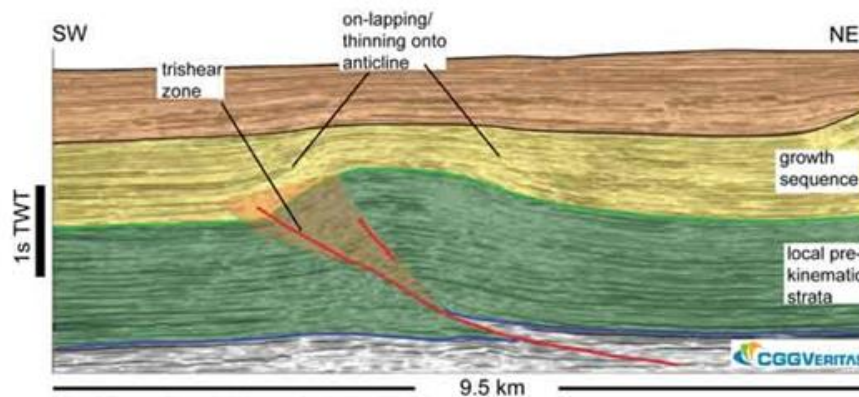
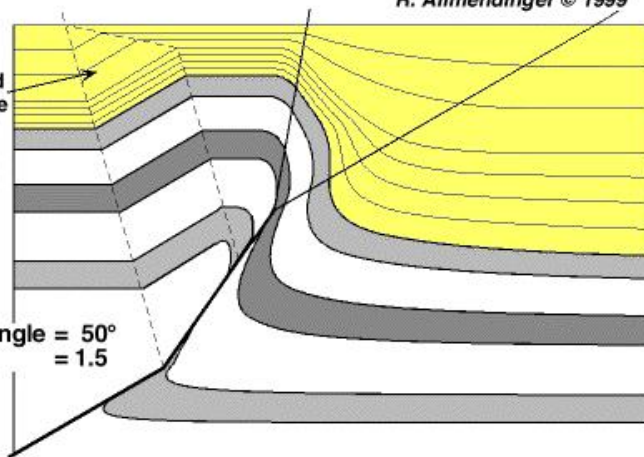


Déposits syn-
compresivos
o syn-orogénicos

R. Allmendinger © 1999

fault-bend fold
growth triangle

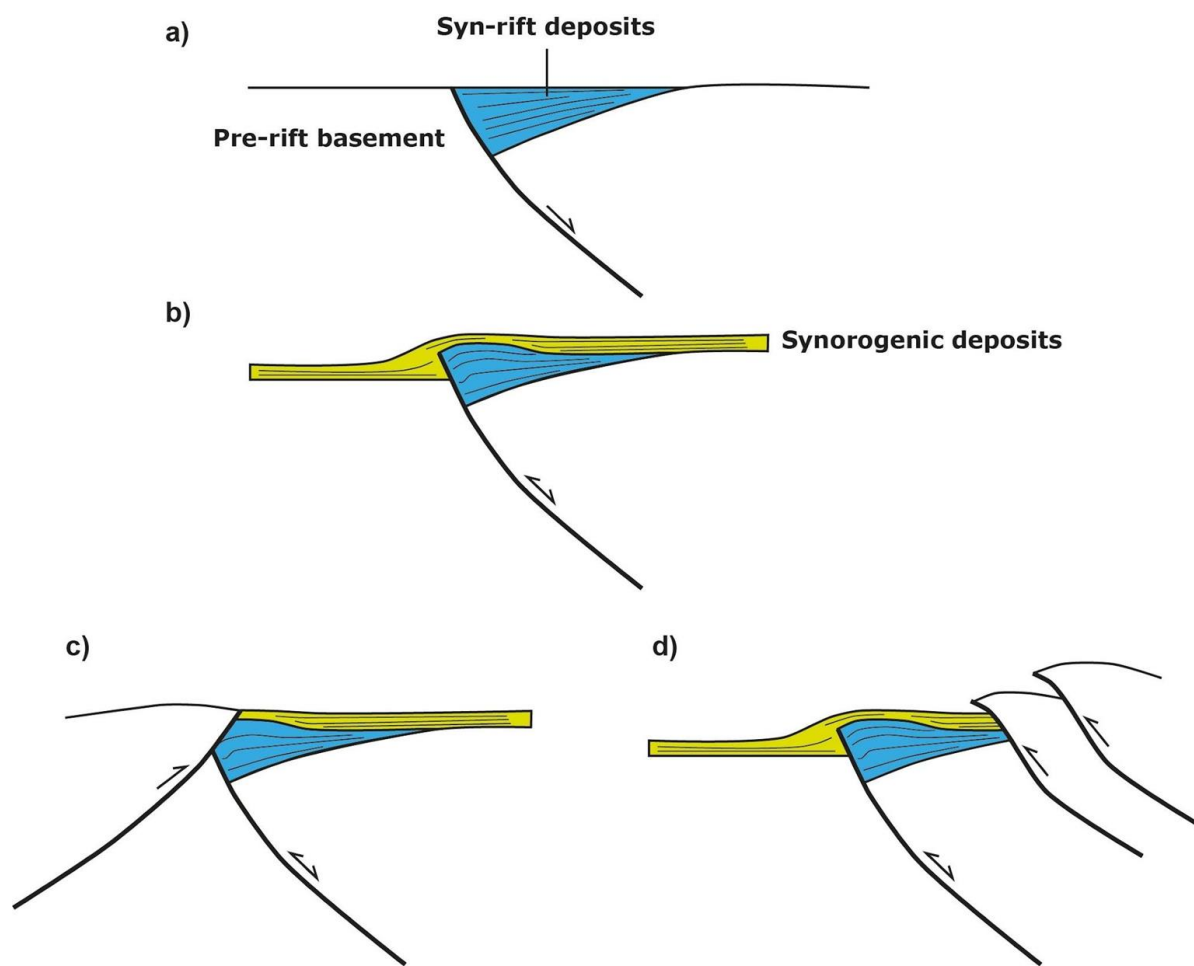
apical angle = 50°
P/S = 1.5



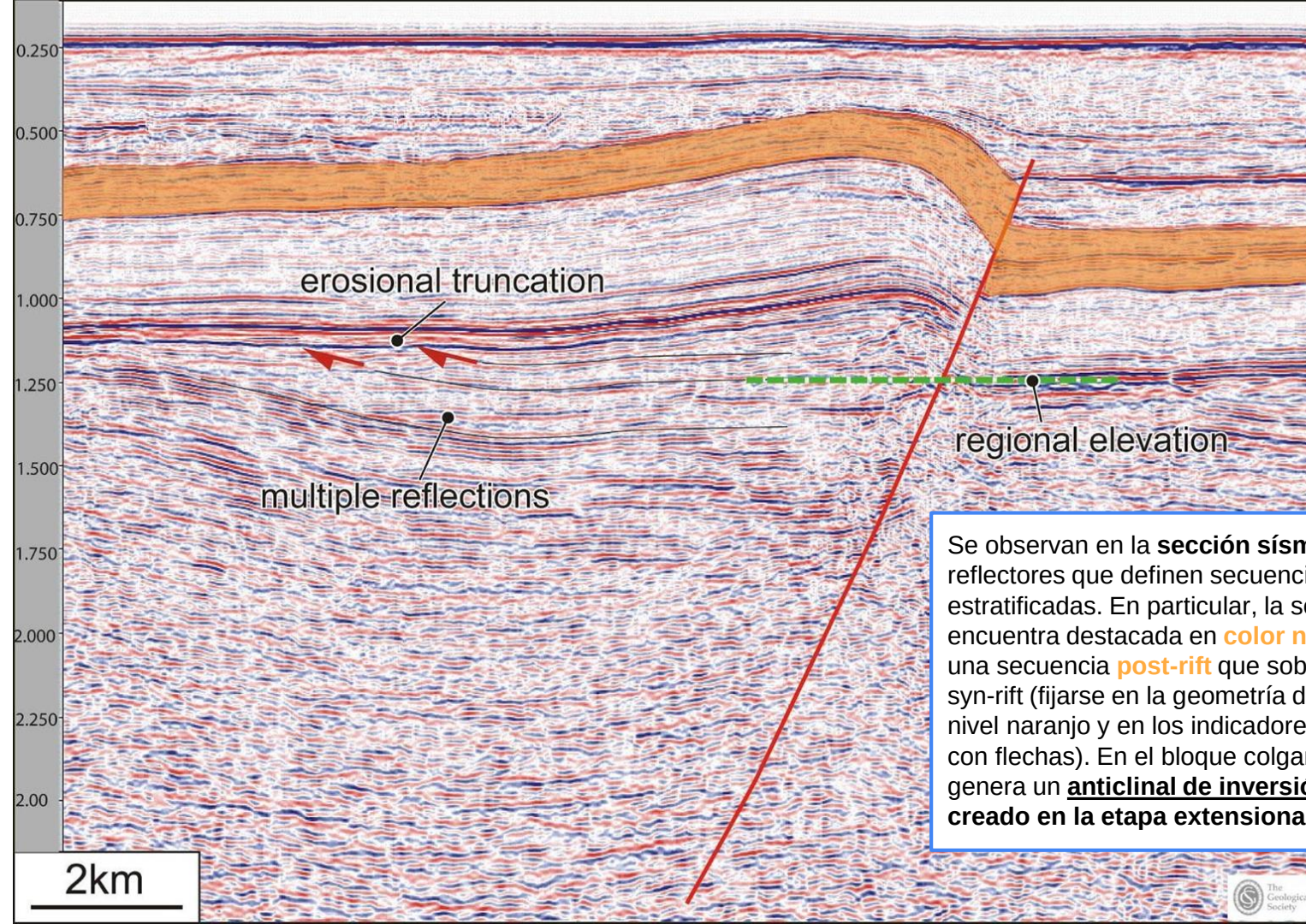
line 34 forethrust with ramp at depth, diverging up-dip into a trishear zone.

Syn-Rift: estratos
“crecen” hacia la
falla

Syn-Orogenic:
estratos
“decrecen hacia
la falla



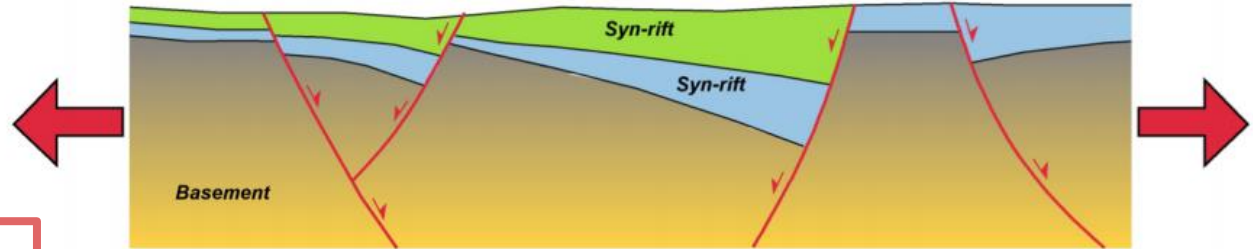
Tomada de Módulo 3. del seminario de Modelamiento Geométrico de Estilos Estructurales presentes en Cinturones Deformados. F. Martínez 2018



Se observan en la **sección sísmica** una serie de reflectores que definen secuencias sedimentarias bien estratificadas. En particular, la secuencia que se encuentra destacada en **color naranja** corresponde a una secuencia **post-rift** que sobreyace a una secuencia syn-rift (fijarse en la geometría del estrato subyacente al nivel naranja y en los indicadores estratigráficos indicados con flechas). En el bloque colgante (lado izquierdo) se genera un **anticlinal de inversión** a partir del **roll over** creado en la etapa extensional previa.

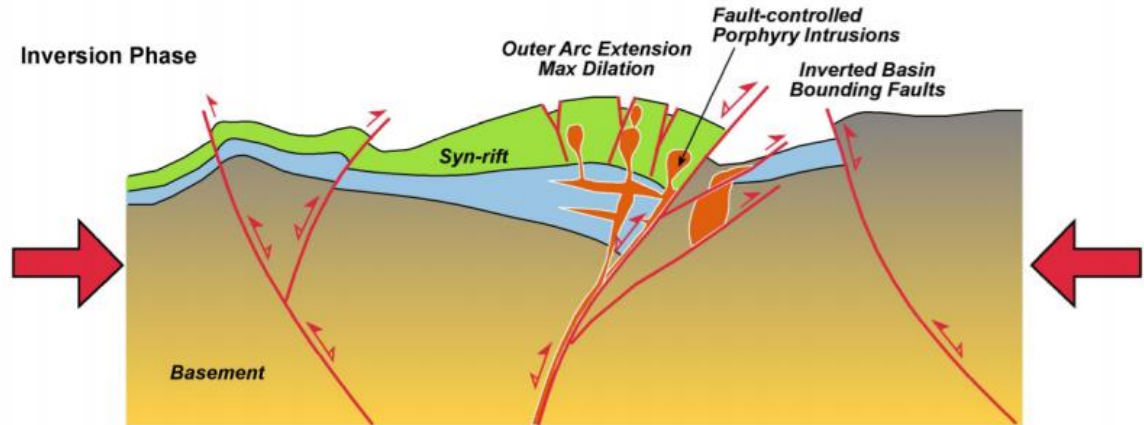
INVERSION MODEL FOR PORPHYRY Cu DEPOSITS

Extension Phase



Los sistemas estructurales productos de la inversión tectónica **pueden albergar cuerpos intrusivos** como también **reservorios** metalogénicos o de hidrocarburos.

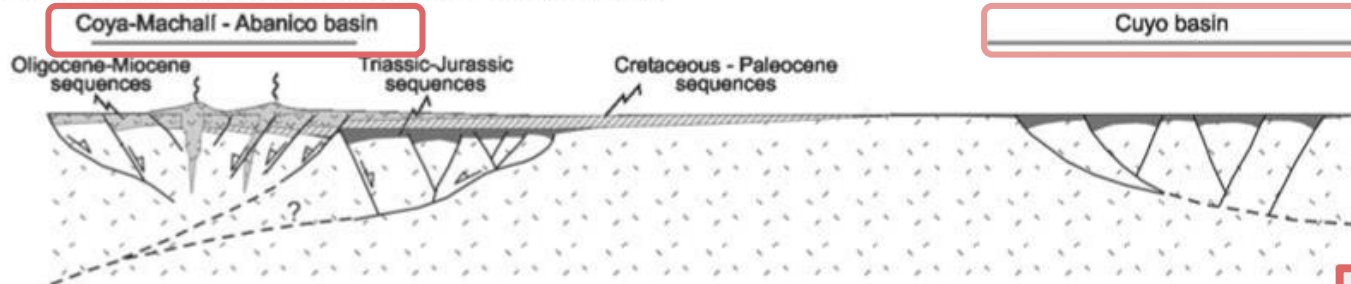
Inversion Phase



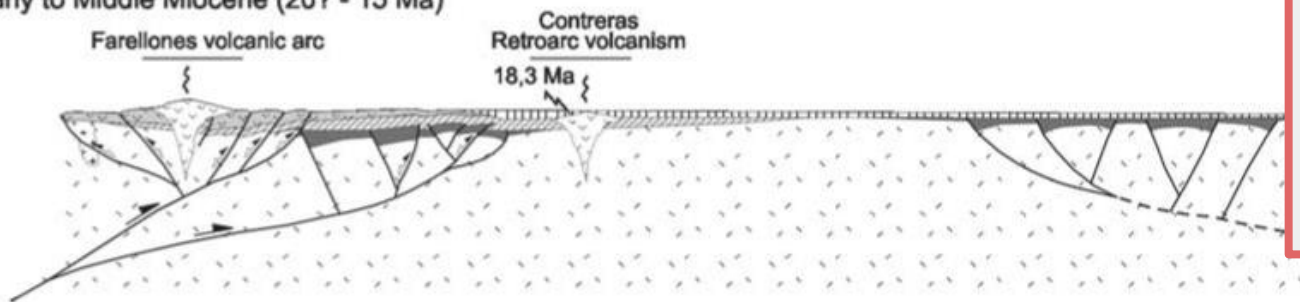
(McClay, 2004)

WEST 70°30' 70°00' 69°30' 69°00' 68°30' EAST

A) Pre-Andean deformation: Middle Triassic- Early Miocene

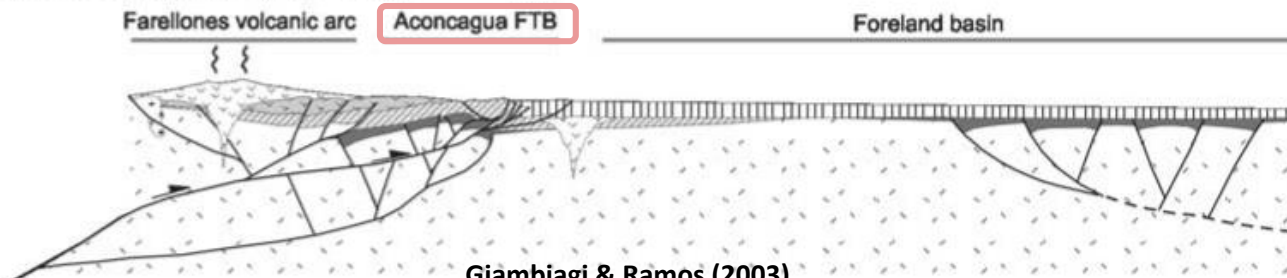


B) D1: Early to Middle Miocene (20? - 15 Ma)

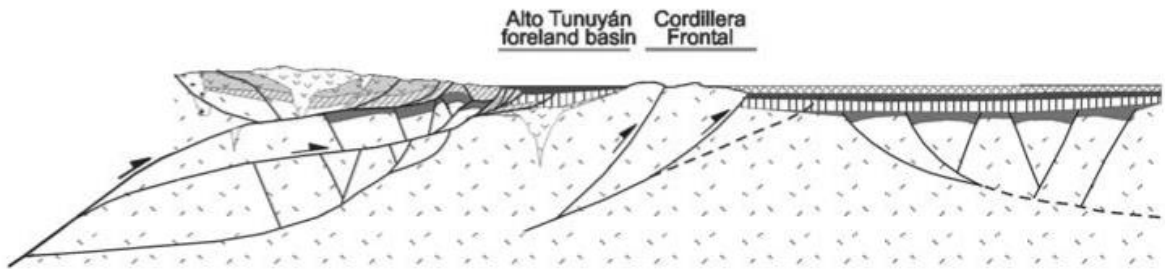


En cuanto a la historia geológica del margen chileno: en el **período Andino** la **inversión tectónica** es el proceso clave en la **orogénesis**.

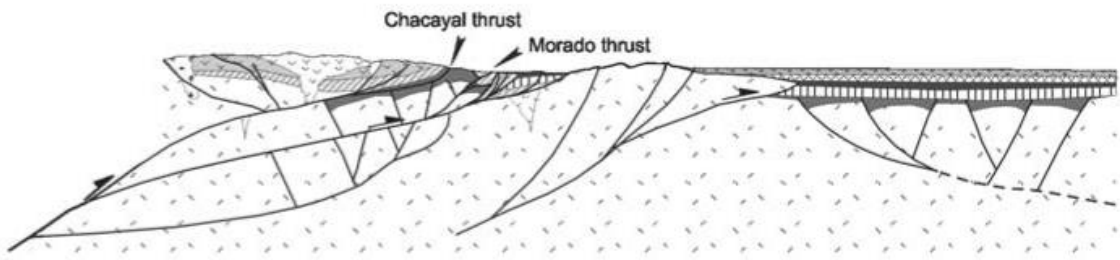
C) D2: Middle to Late Miocene (15 - 9 Ma)



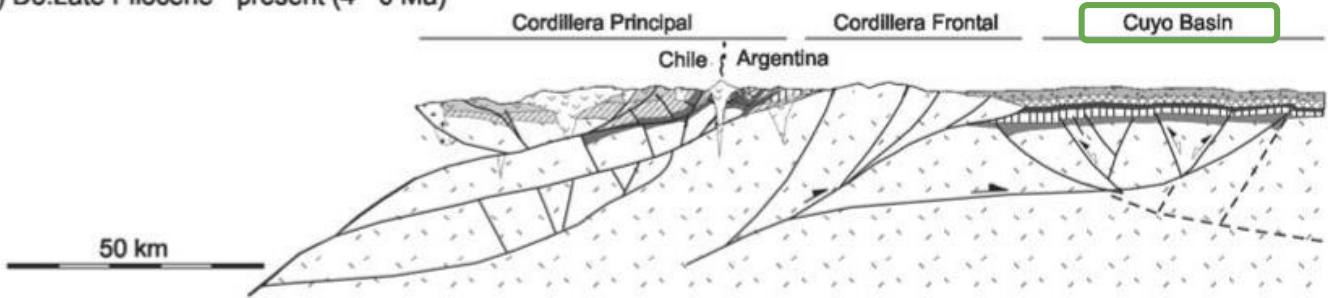
D) D3: Late Miocene (9 - 6 Ma)



E) D4: Late Miocene - Early Pliocene (6 - 4 Ma)



F) D5: Late Pliocene - present (4 - 0 Ma)



En los Andes Centrales del Sur, la inversión de secuencias Mesozoicas como Oligocenas y Miocenas (ej.: Cuencas Neuquina y Abanico) caracteriza las etapas del ciclo Andino.

Fajas plegadas y corridas

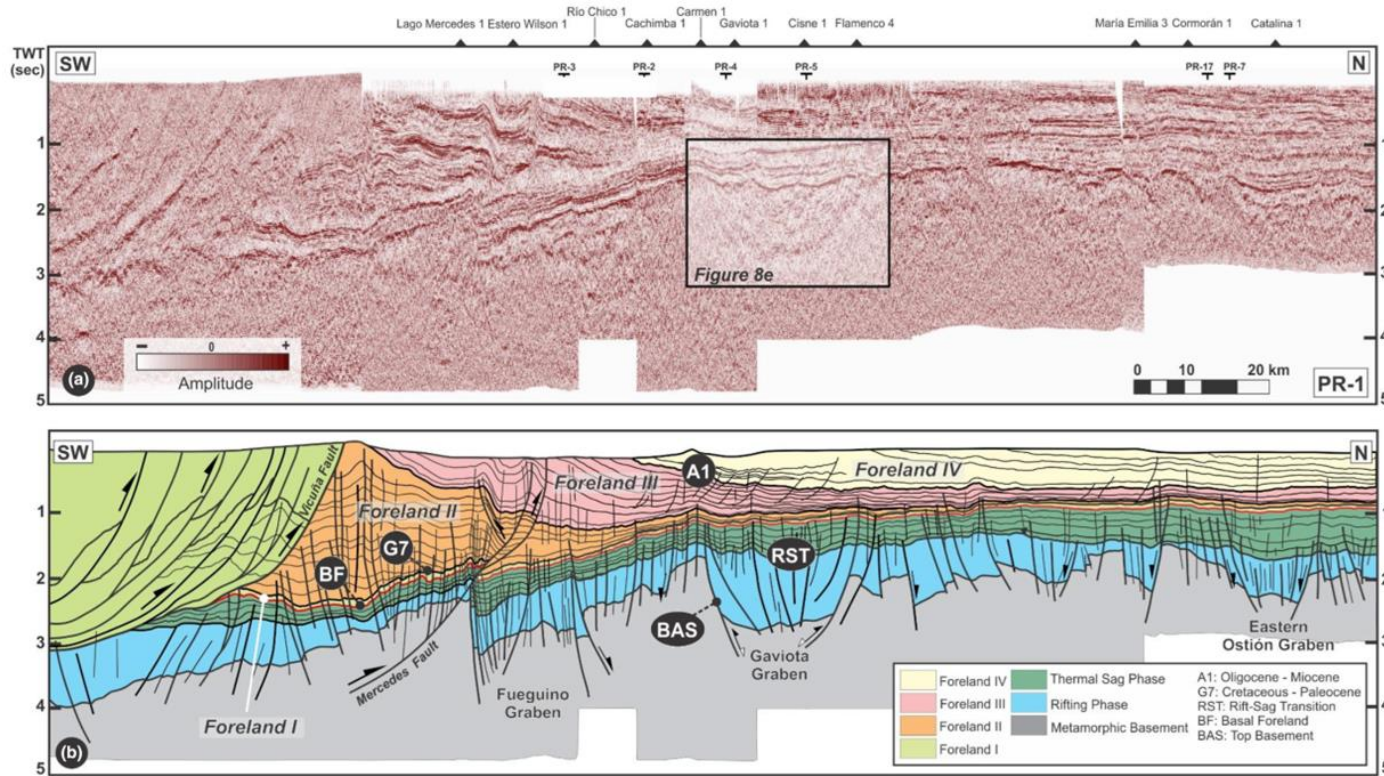


FIGURE 13 (a) Uninterpreted and (b) interpreted seismic line PR-1 located in Tierra del Fuego area, identifying the different evolutionary phases. Note that the foreland II to IV successions are uplifted and eroded due the growth of the fold-and-thrust belt. Red line corresponds to basal foreland (BF), TWT: Two-way traveltime, in seconds. For location see [Figure 3](#). Modified from Gallardo et al. (2019).

Conceptos de fallas tipo “Thrust”

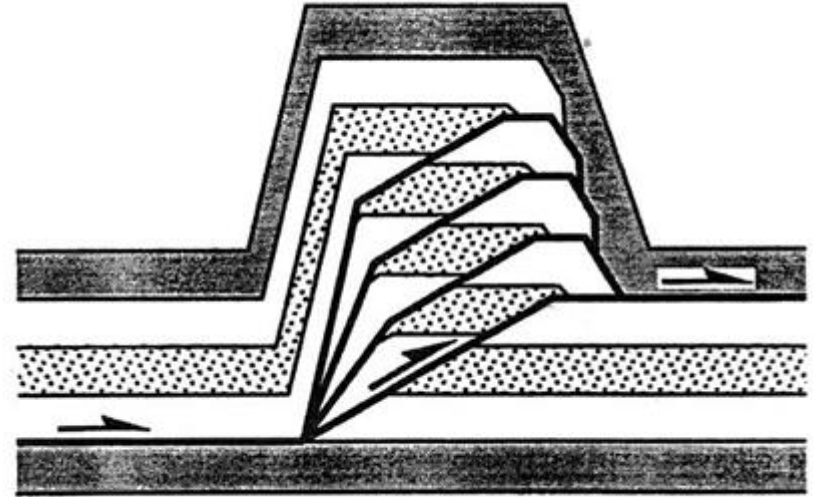
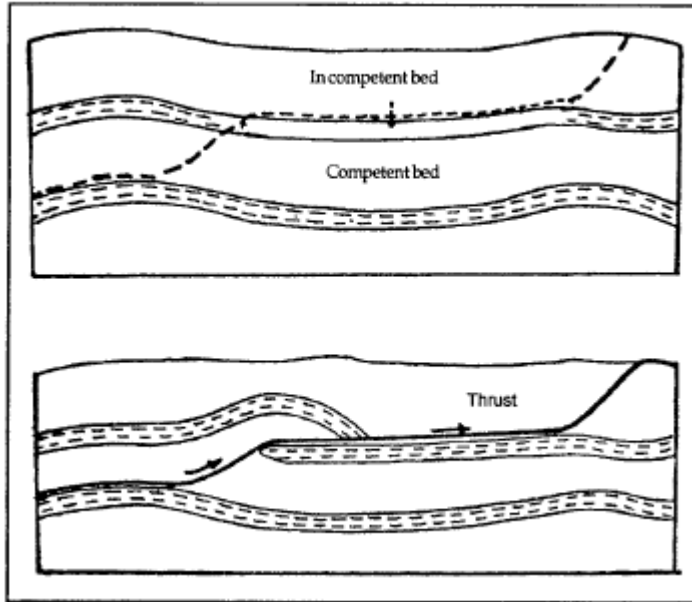


Figure 4.2.22. Antiformal stack.

Conceptos de fallas tipo “Thrust”

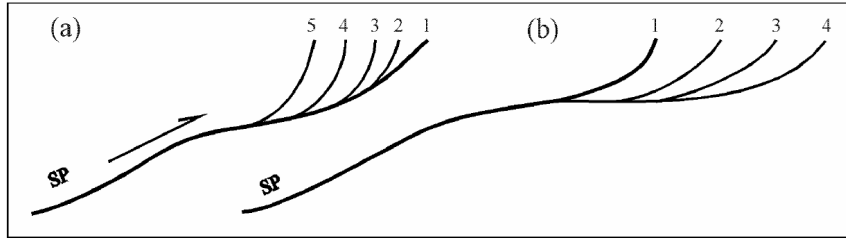


Figura 4.8: Imbricaciones. (a) En el bloque colgante. (b) En el bloque yacente. (SP) Sobrescurrimiento principal. Los números indican el orden de aparición de los sobrescurrimientos.

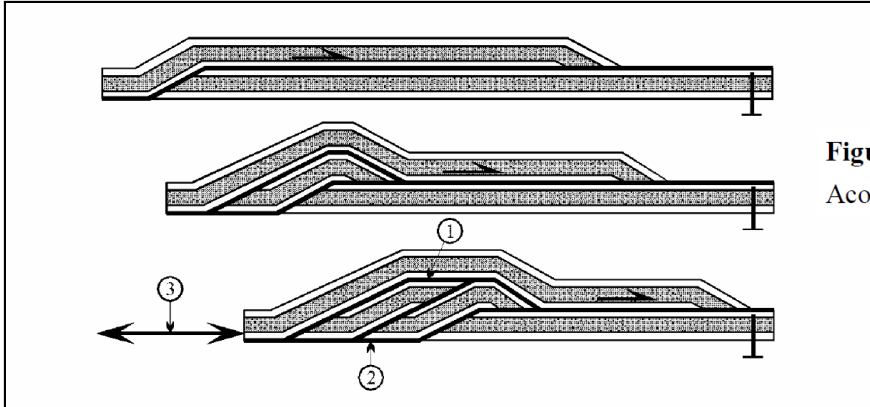


Figura 4.10: Formación de un “duplex”. (1) Falla de techo. (2) Falla de piso. (3) Acortamiento asociado a la formación del “duplex”.

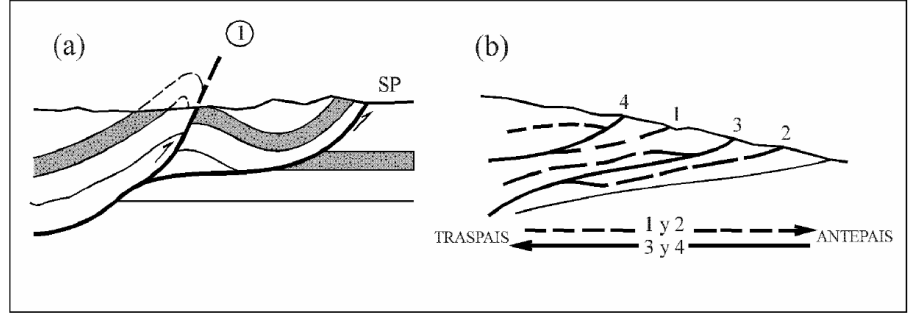


Figura 4.9: Fallas fuera de secuencia. (a) En la esquina de una rampa. (b) Fallas en secuencia normal (1) y (2) cortadas por fallas fuera de secuencia (3) y (4).

Revisar: Geología Estructural, Hans Niemeyer

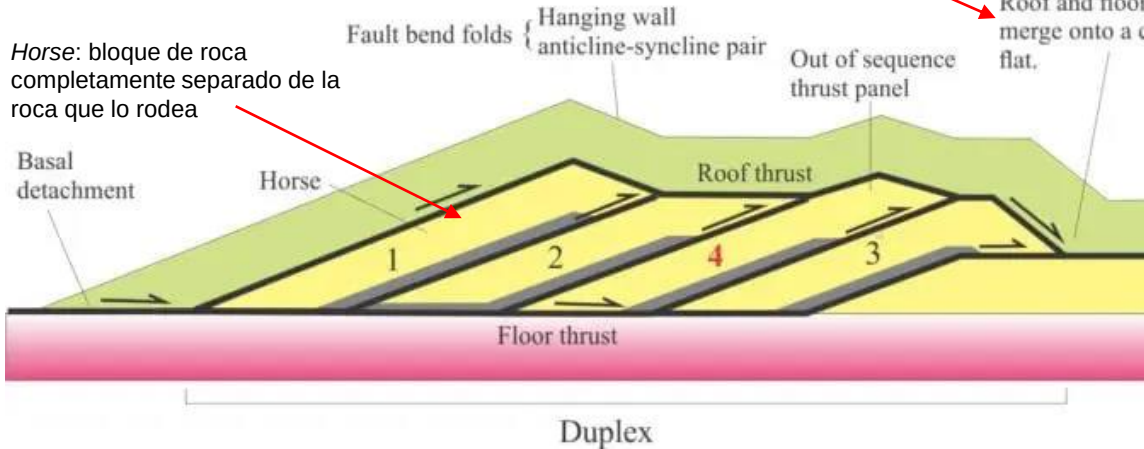
Conceptos de fallas tipo “Thrust”

Retrocorrimiento = *Back Thrust*



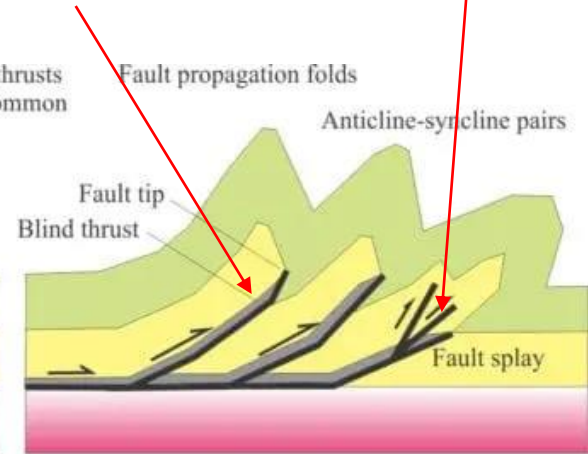
Roof-Floor Thrust: Empujes principales que proporcionan las fallas límite superior e inferior para los dúplex. En la parte delantera del dúplex, un empuje del techo descenderá y el empuje del piso subirá para fusionarse en una zona común de desplazamiento

Horse: bloque de roca completamente separado de la roca que lo rodea



Blind Thrust: fallas que no pasa hacia la superficie

Splay Faults: fallas secundarias que se ramifican de una falla principal y forman un ángulo agudo con esa falla



Imbricate fan

Fajas Plegadas y Corridas (cinturones de plegamiento y sobrecorrimiento)/ *Fold-and-Thrust Belt*

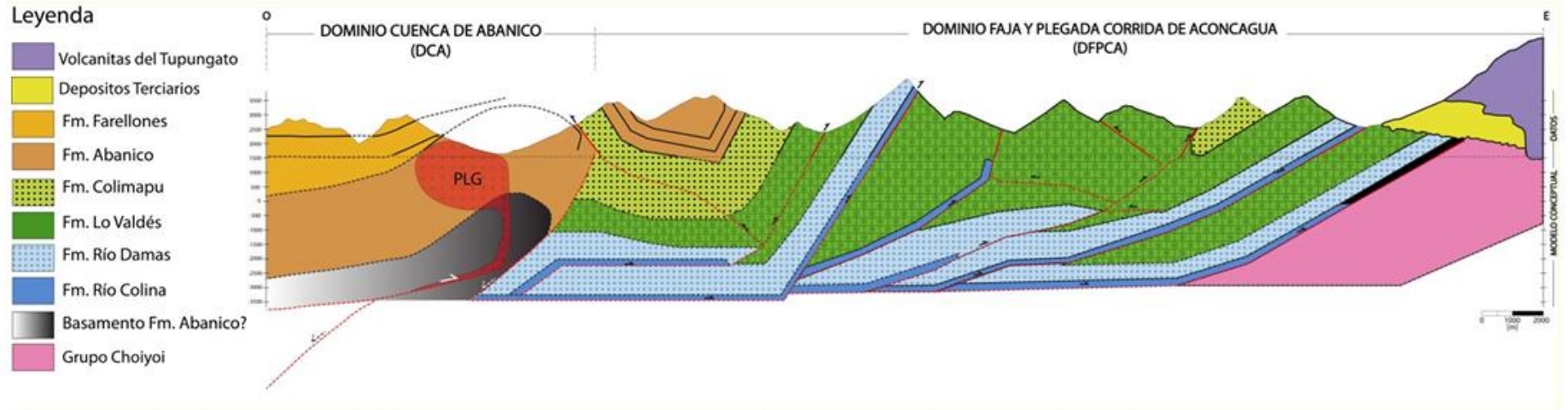
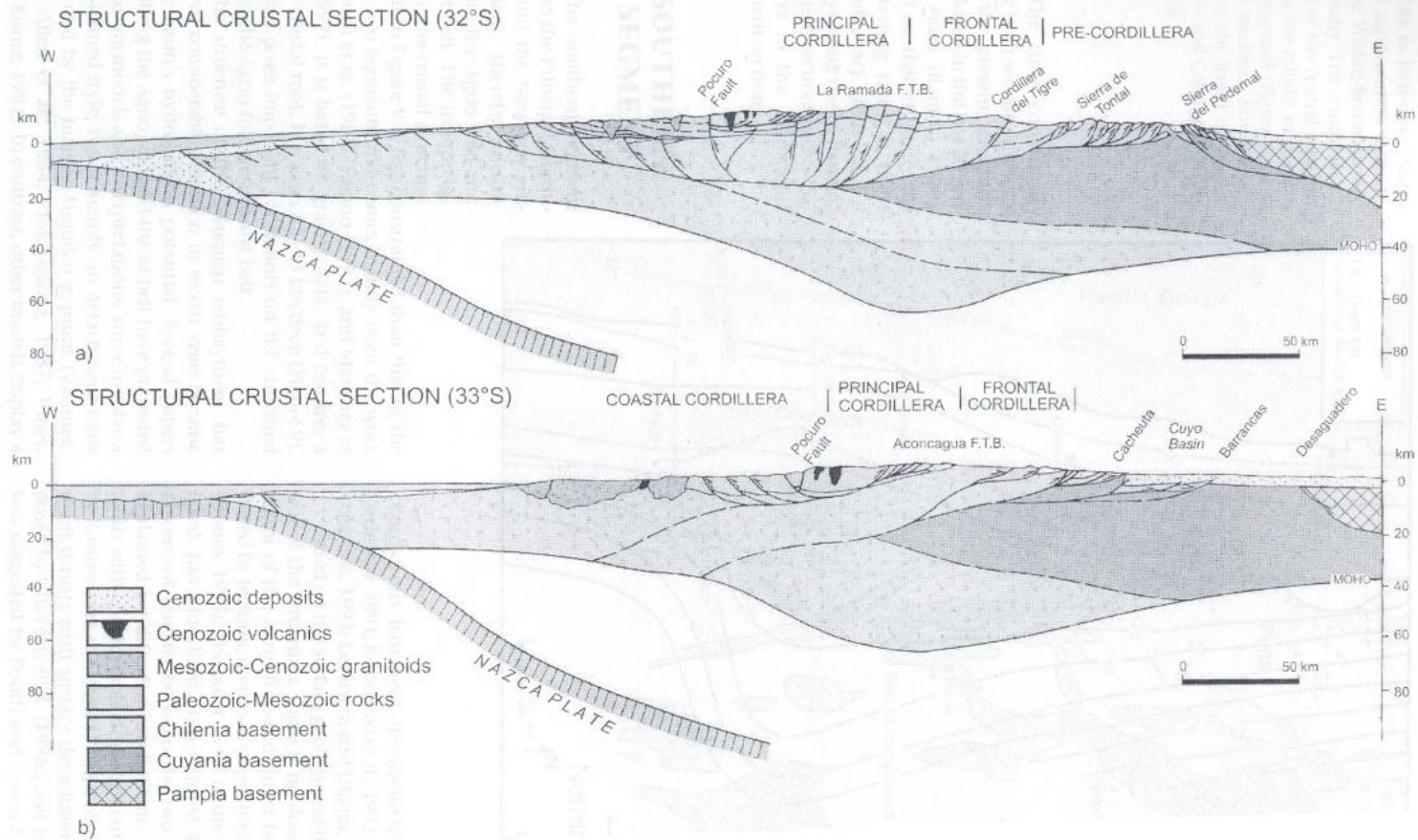
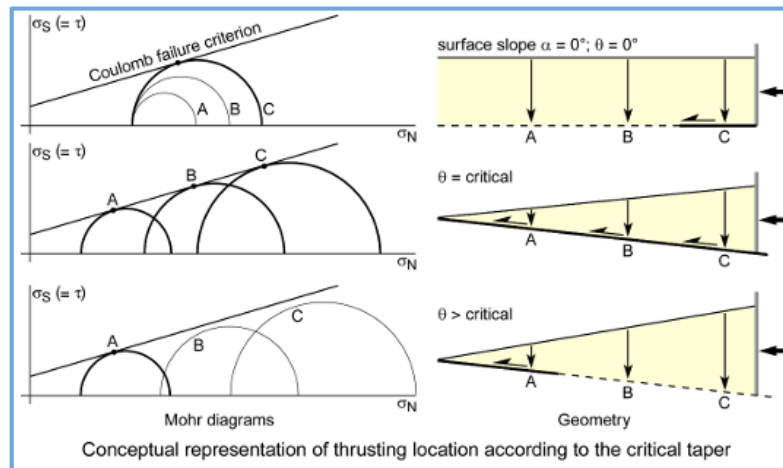
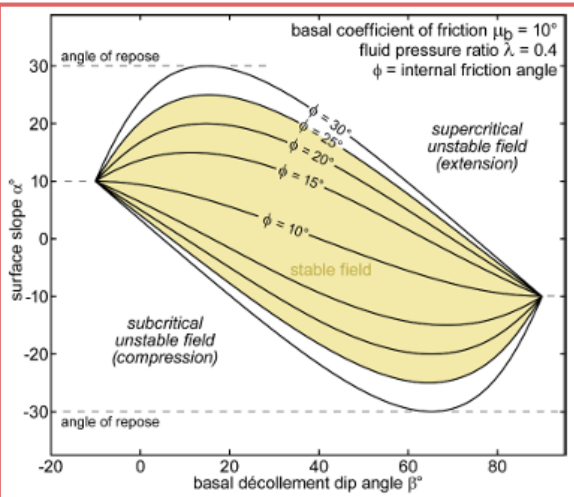


Figura 32: Perfil integrado. Hacia el oeste se aprecia el modelo estructural esquemático realizado en este trabajo, y hacia el este, el modelo propuesto por Ramos et al. (1991).



¿Cómo se forma una FPC?



1. A, B subcríticos, C crítico $\rightarrow$ alfa tiene que aumentar (estado subcrítico)
2. ABC, críticos $\rightarrow$ alfa es constante (estado crítico)
3. A crítico, BC supercríticos $\rightarrow$ alfa tiene que disminuir (estado supercrítico)

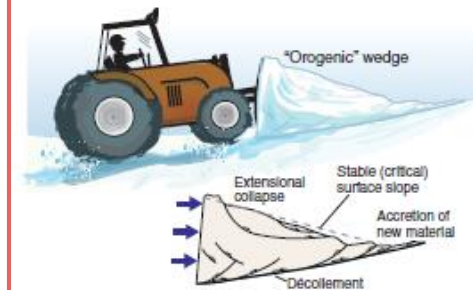


Figure 17.24 The creation and evolution of orogenic wedges are in many ways similar to the accretion of a snow or soil wedge in front of a bulldozer.

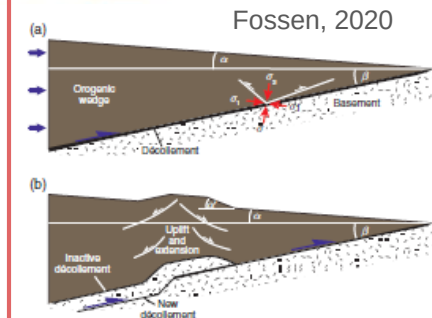


Figure 17.25 (a) Principles of an orogenic wedge. There is a close connection between the dip of the décollement, its friction, the applied force at the end, gravity and the internal strength or rheological properties of the wedge. (b) The incorporation of a basement slice (known as tectonic underplating) generates uplift and instability. Consequently, the wedge responds by thinning through normal faulting. Hence, normal faults can form in an active orogenic wedge.

¿Cómo se forma una FPC?

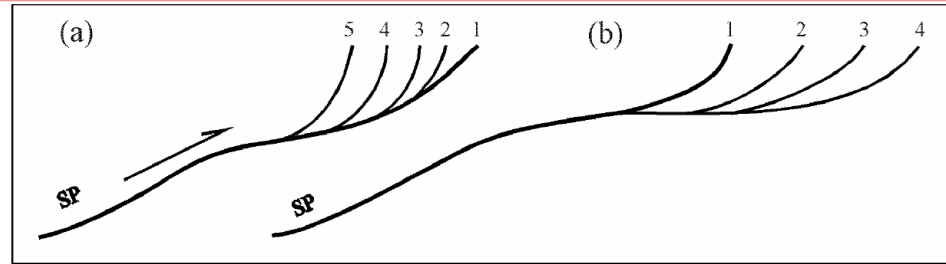
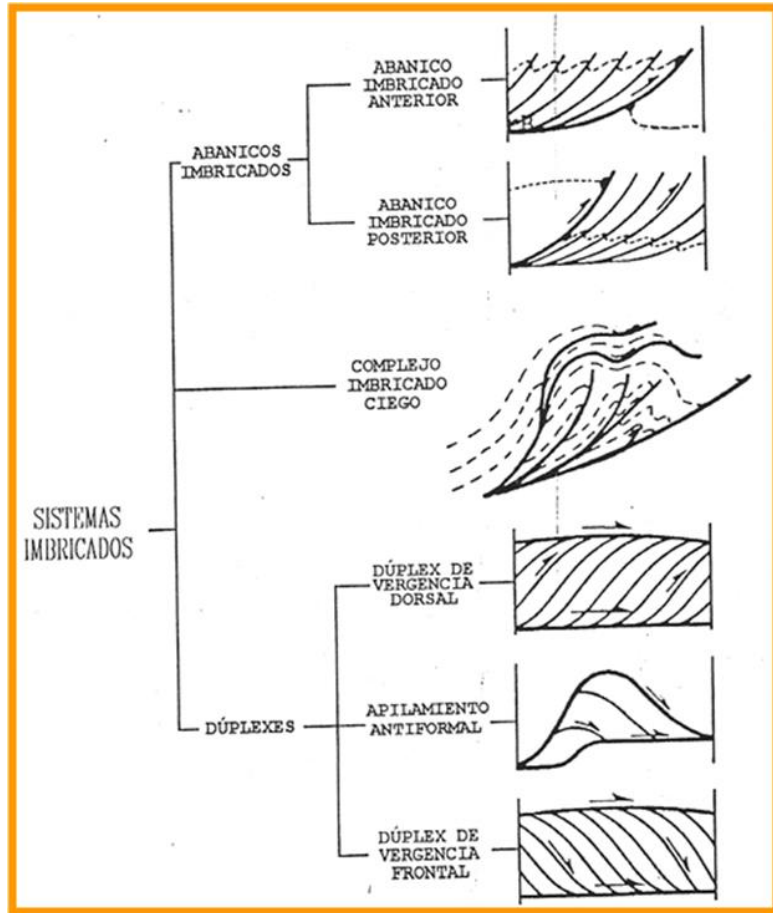


Figura 4.8: Imbricaciones. (a) En el bloque colgante. (b) En el bloque yacente. (SP) Sobrescurrimiento principal. Los números indican el orden de aparición de los sobrescurrimientos.

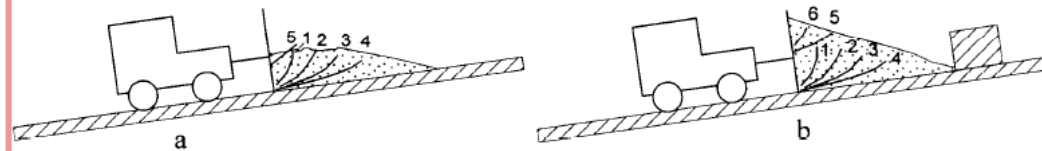
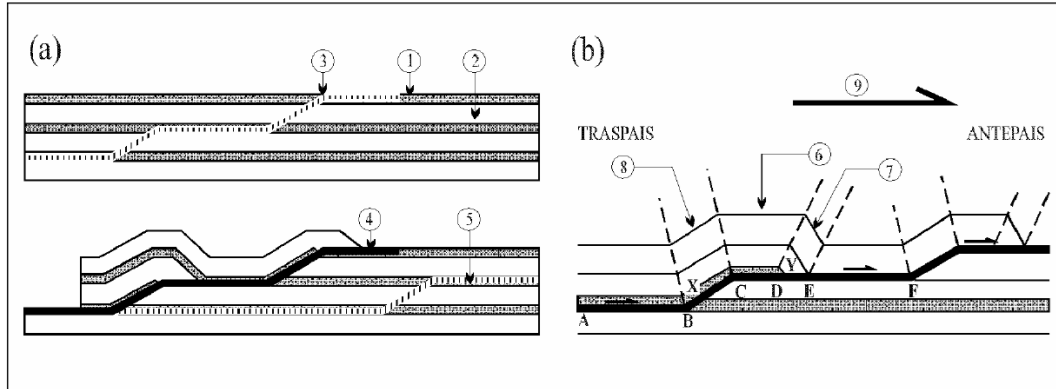


Figura 1.7: Formación de estructuras fuera de secuencia. a. por erosión del sector trasero de la FPC. b. por interposición de un obstáculo en el antepaís (punto de fijación).

Fuentes:

- Introducción a las Fajas Plegadas y Corridas – E. Cristallini, 1998.
- Apuntes de Geología Estructural- Hans Niemeyer Rubilar, 1999.

Fajas Plegadas y Corridas



Los pliegues por flexura, propagación y por despegue simple se desarrollan en relación a un cabalgamiento

Figura 4.2: Geometría de rampas y lisos. (a) Orden de aparición de los sobrescurrimientos. (b) Elementos geométricos. (1) Nivel incompetente. (2) Sobrescurrimiento potencial. (4) Primer sobrescurrimiento. (5) Segundo sobrescurrimiento. (6) Anticlinal en el bloque colgante. (7) Limbo delantero. (8) Limbo trasero. (9) Sentido del transporte del bloque colgante.

Su geometría se resume en las 3 reglas de Dahlstrom:

1.- Los sobrecorrimientos o cabalgamientos cortan estratigráficamente hacia arriba la secuencia en sentido del transporte tectónico (vergencia).

2.- Los cabalgamientos son, generalmente, paralelos a los estratos incompetentes (sal, lutitas, etc.), y oblicuos a los estratos competentes

3.- Los cabalgamientos se hacen más jóvenes en el sentido del movimiento

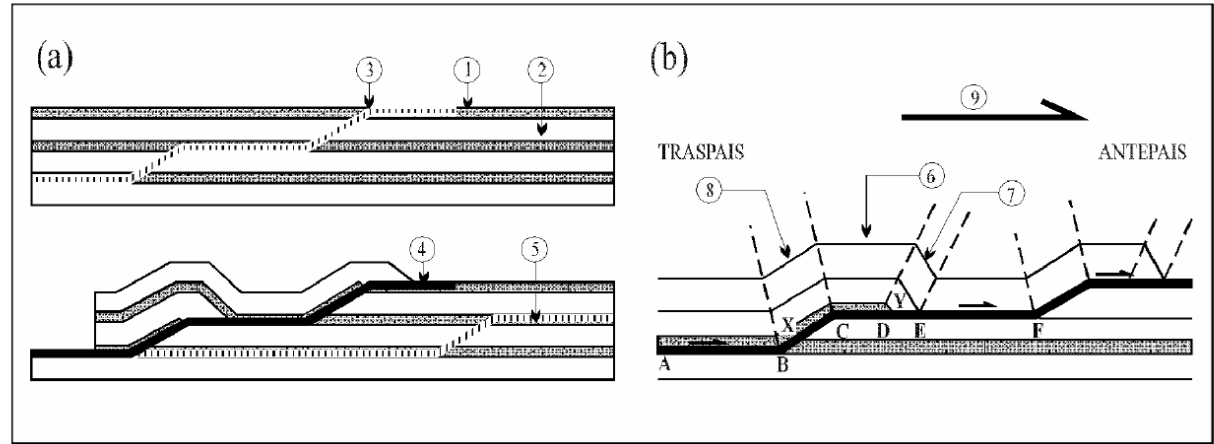
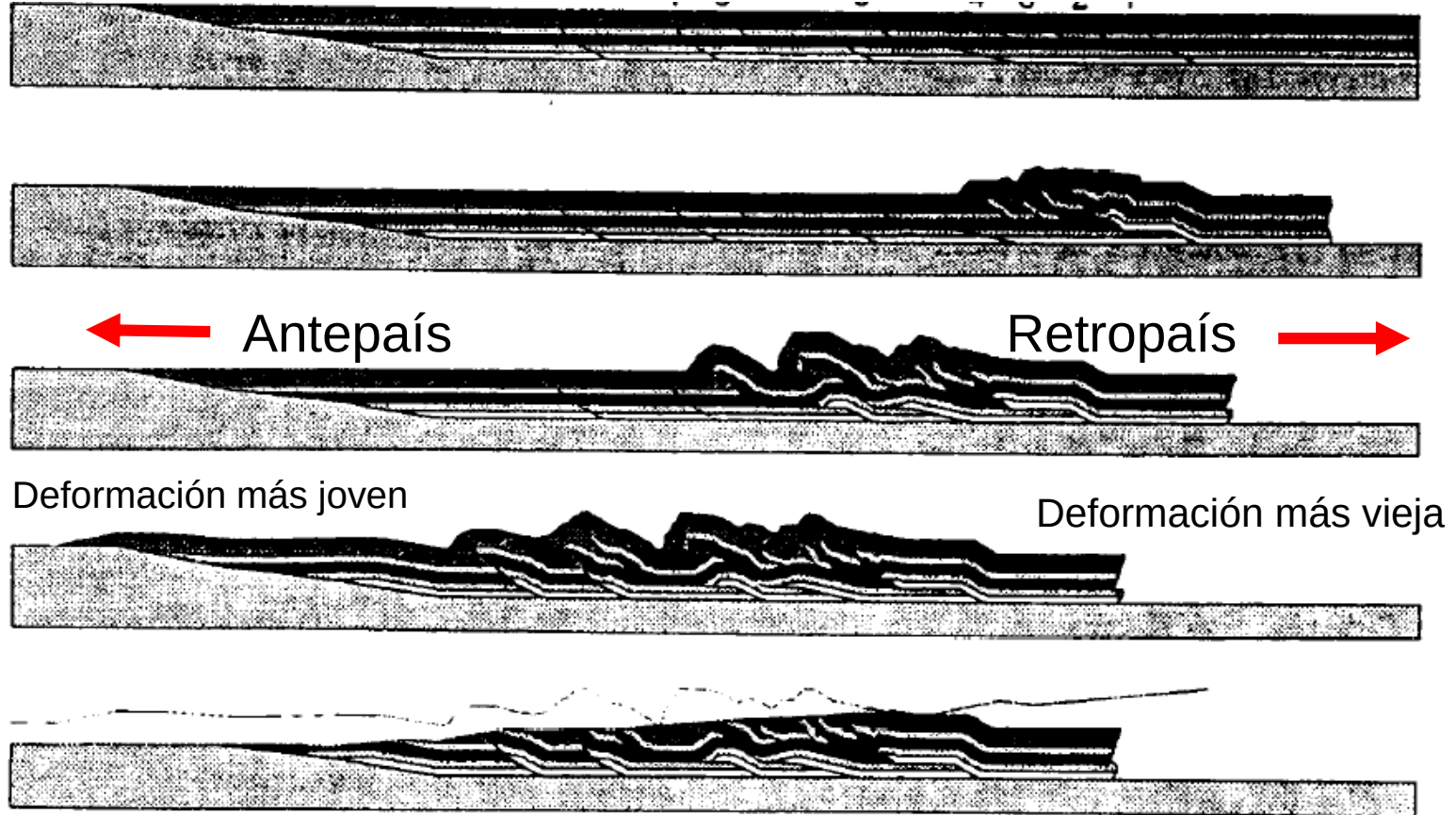


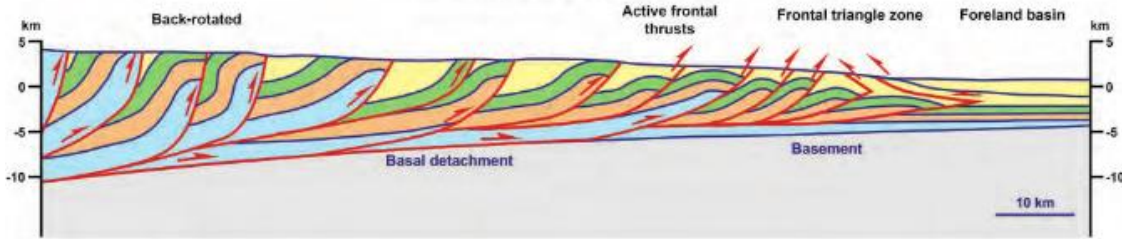
Figura 4.2: Geometría de rampas y lisos. (a) Orden de aparición de los sobrecorrimientos. (b) Elementos geométricos. (1) Nivel incompetente. (2) Sobrescurrimiento potencial. (4) Primer sobrescurrimiento. (5) Segundo sobrescurrimiento. (6) Anticlinal en el bloque colgante. (7) Limbo delantero. (8) Limbo trasero. (9) Sentido del transporte del bloque colgante.

Fajas Plegadas y Corridas: Modelo de avance “normal”

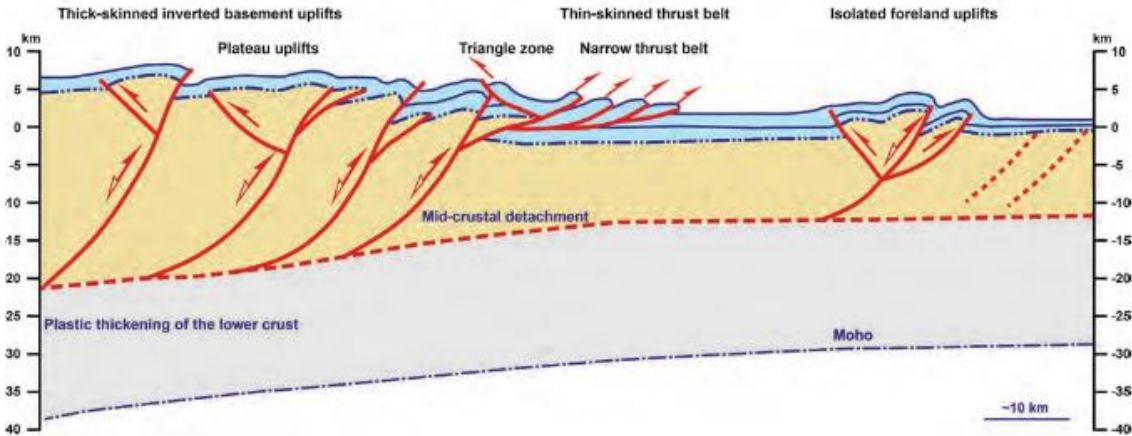


Dominios Estructurales: Piel Gruesa y Piel Fina

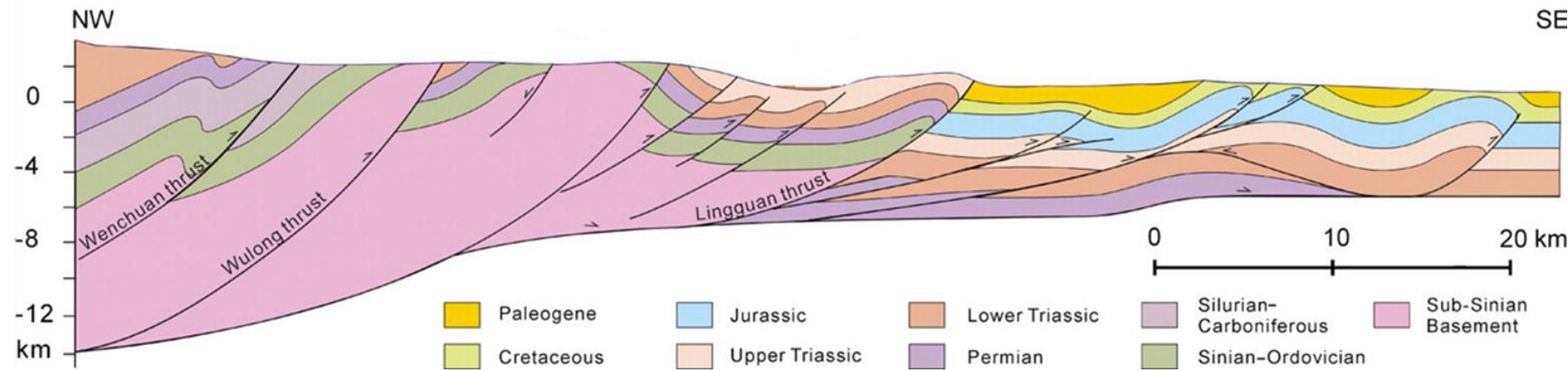
Thin-skinned fold-and-thrust belt



Thick- and thin-skinned fold-and-thrust belt



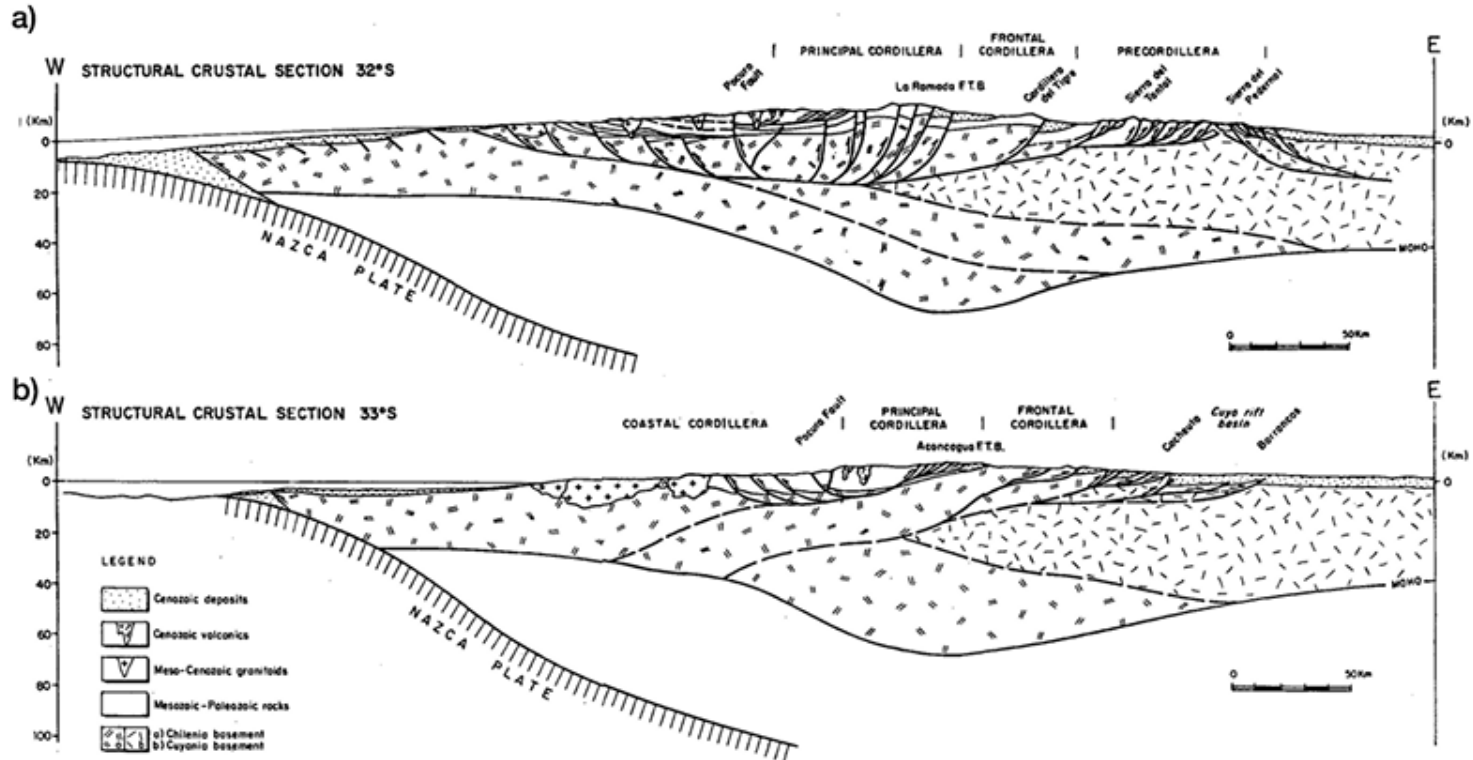
Dominios Estructurales: Piel Gruesa y Piel Fina



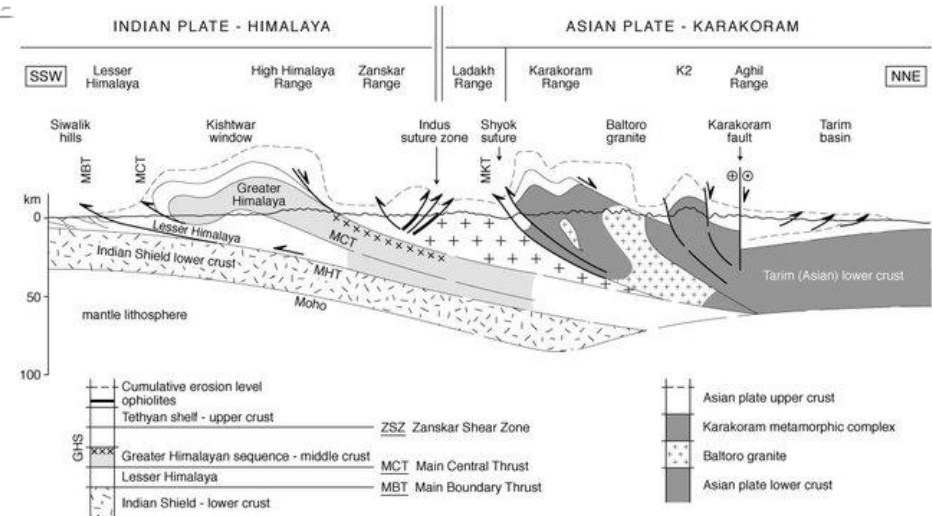
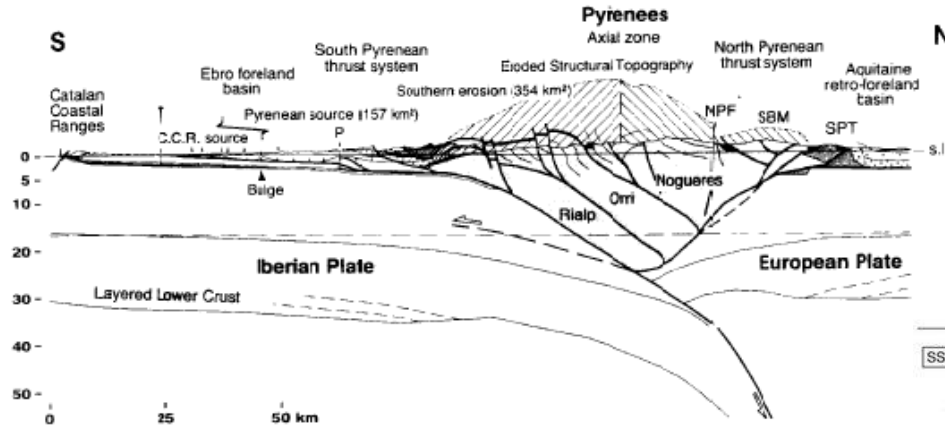
Vergencia e inclinación de estructuras

Sintéticas

Antitéticas

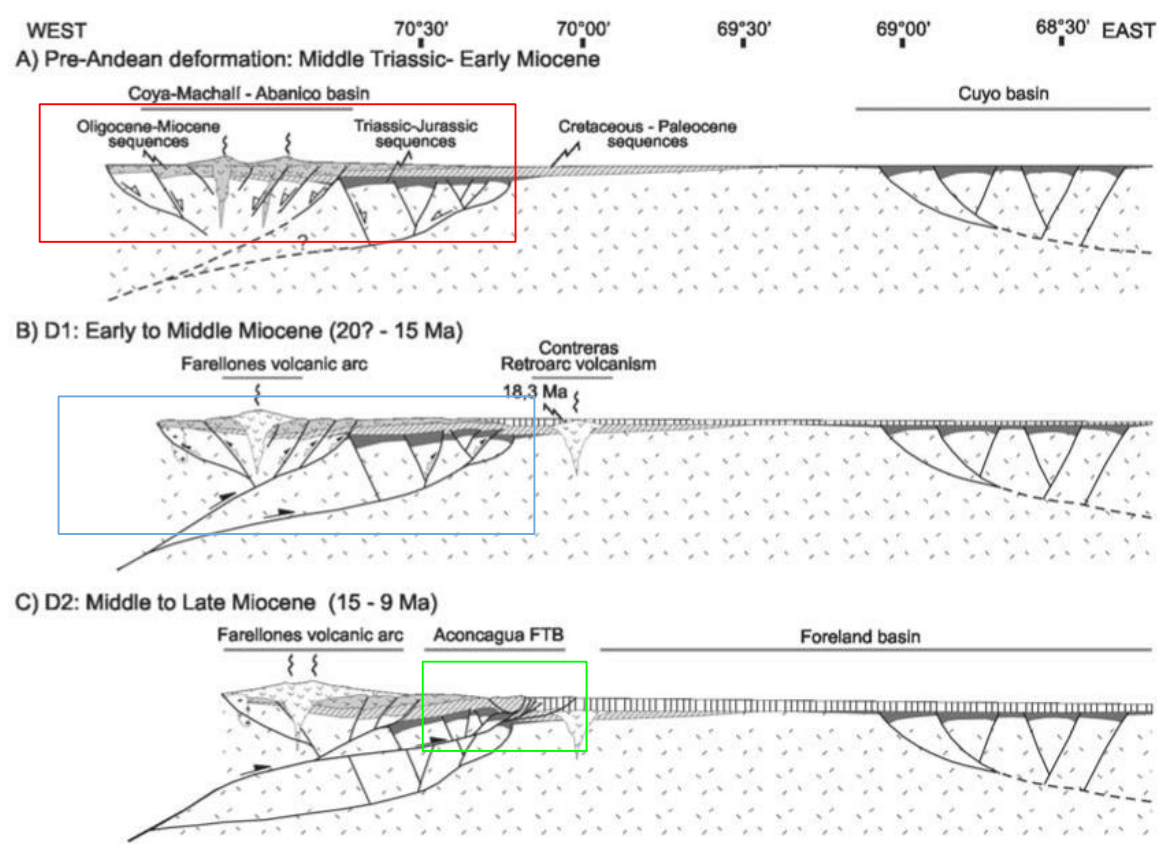


Vergencia e inclinación de estructuras

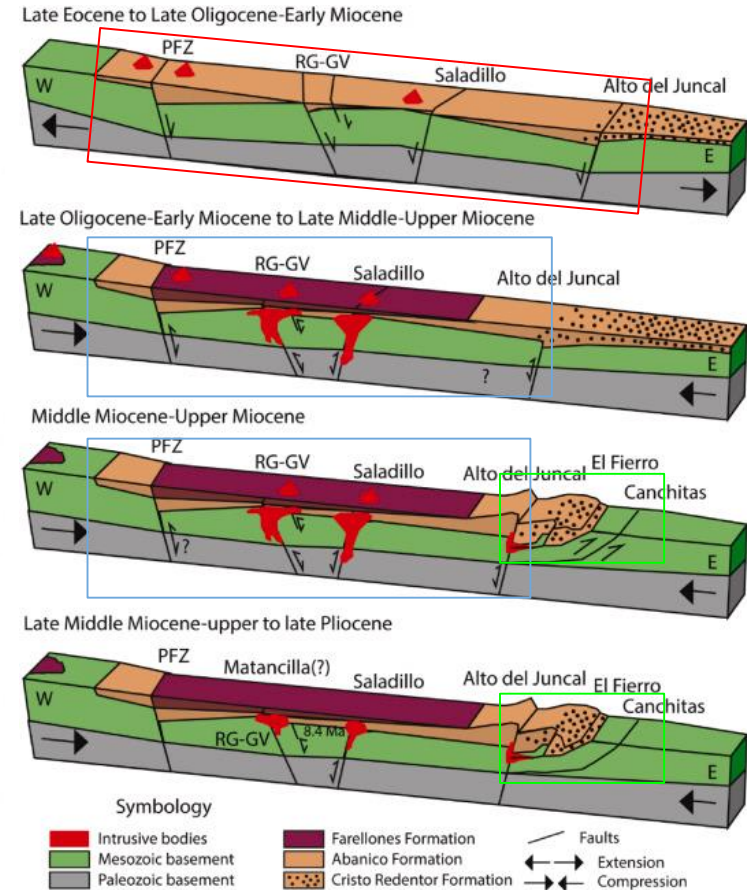


Sintéticas de colisión

Ejemplo de Inversión Tectónica y FPC: Cuenca Abanico y FPC del Aconcagua

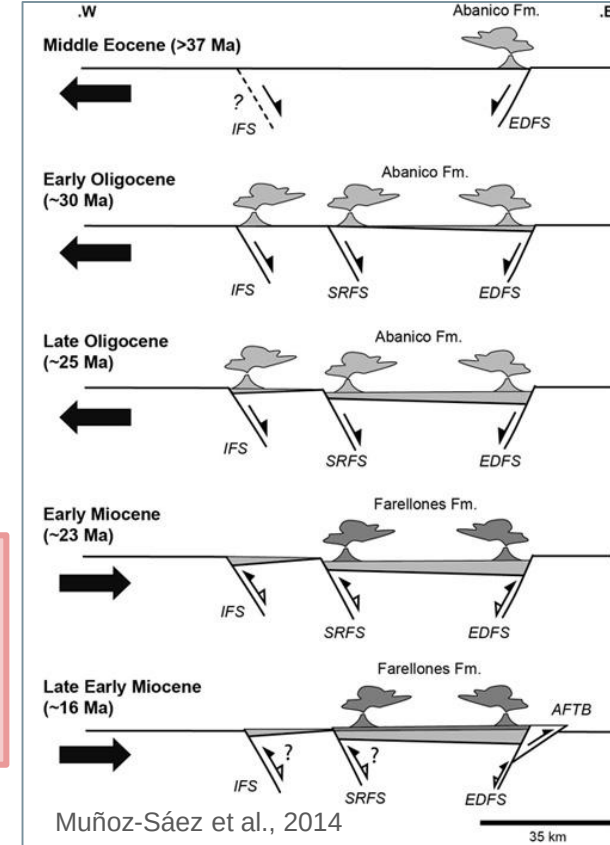
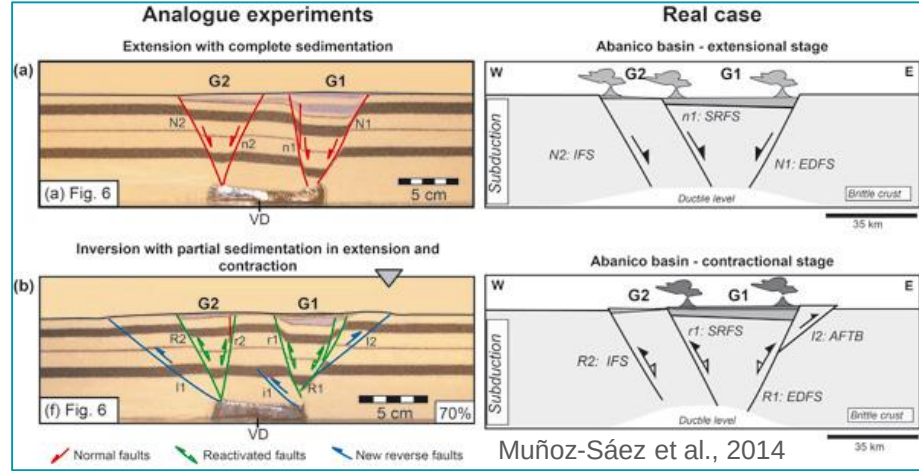


Giambiagi & Ramos (2003)



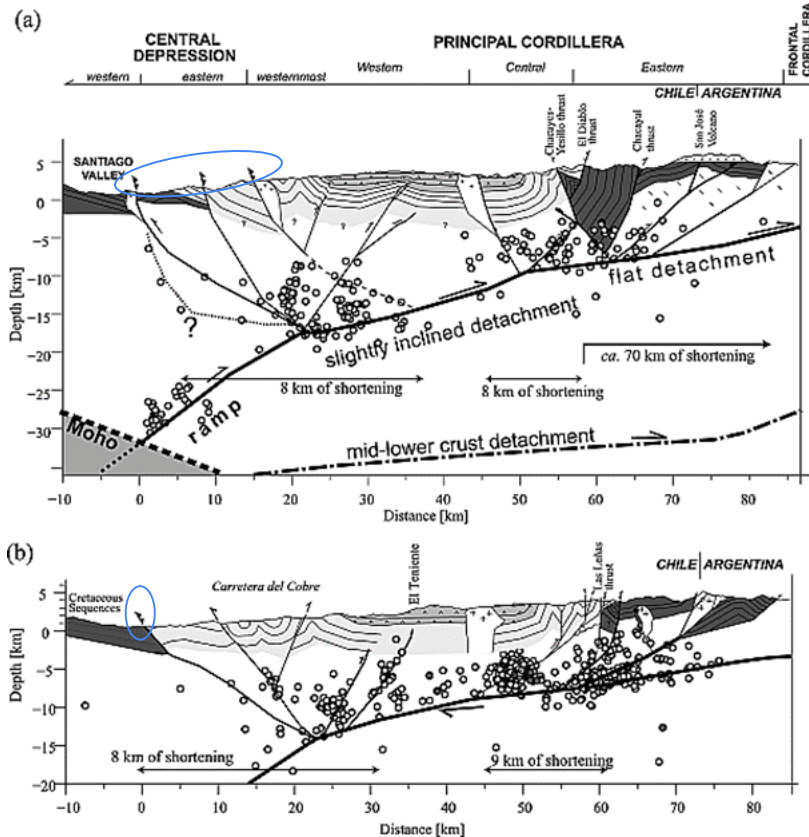
Herman et al., 2023

Ejemplo de Inversión Tectónica y FPC: Cuenca Abanico y FPC del Aconcagua

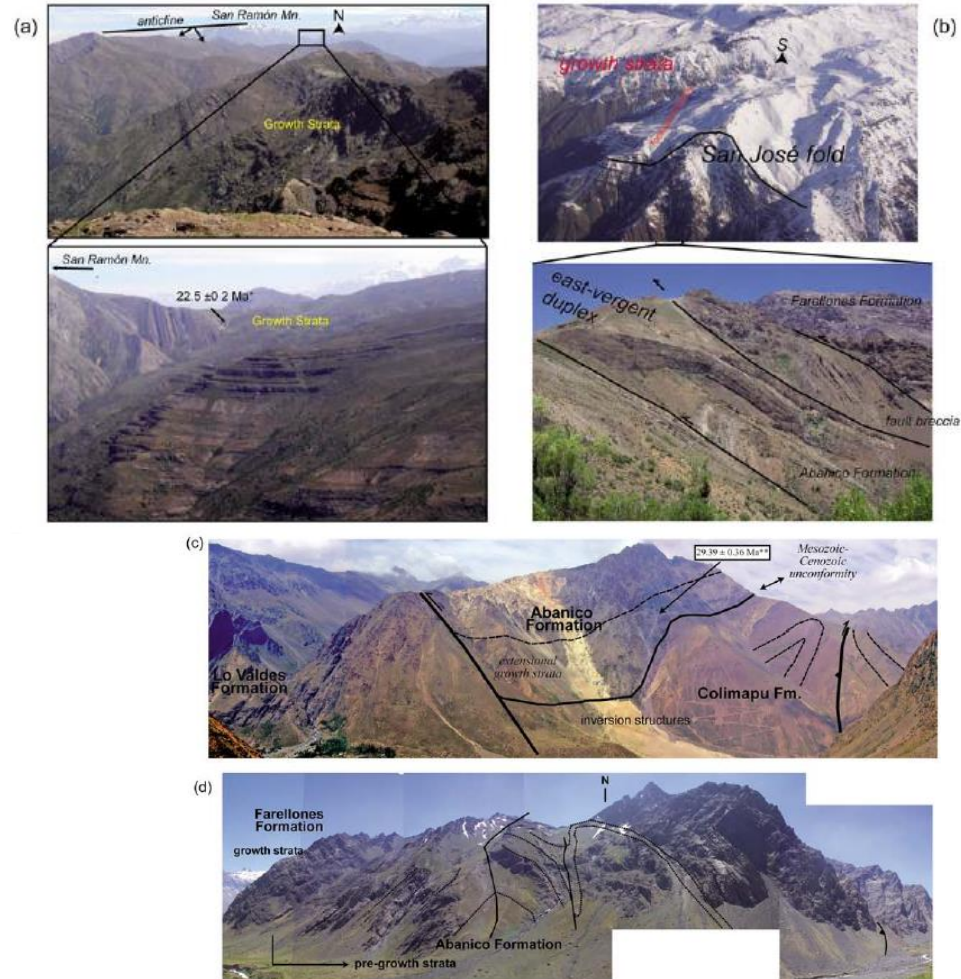


¿Cómo sabemos que una falla inversa es parte de una inversión tectónica o de un cabalgamiento?

Ejemplo de Inversión Tectónica y FPC: Cuenca Abanico y FPC del Aconcagua



Fariás et al., 2010



Ejemplo de Inversión Tectónica y FPC: Cuenca Abanico y FPC del Aconcagua

