

Análisis por estratigrafía de secuencias de un perfil sísmico semiregional mígrado en profundidad, Subcuenca de Maturín, Cuenca Oriental de Venezuela.

R Combellas^{1*}, A. Pilloud M Aldana J Cruza² E. Novoa²

1 Universidad Simón Bolívar, Departamento de Ciencias de la Tierra, Edo. Miranda, Venezuela 2PDVSA-INTEVEP Caracas 1070A, Venezuela

Resumen

La evolución tectono-estratigráfica de la Sub-cuenca de Maturín Campo Piedritas, a partir del Mioceno Temprano hasta el Holoceno, ha sido estudiada a través de un perfil sísmico semiregional mígrado en profundidad.

El perfil sísmico revela la presencia de un sistema de fallas lítricas desarrolladas en el área durante el Neógeno. Este sistema posee una superficie de despegue producto de lutitas sobrepresurizadas, las cuales determinan una inversión de velocidades observada en los registros de pozos. Debido a la complejidad del área, la migración en ("common-reflection profundidad fue necesaria. La sección mígrada en profundidad se obtuvo después de un proceso interactivo de análisis lateral de velocidades, aplicando el Loop de Deregowsky en el dominio de registros CRP common-reflection point 'o punto de reflexión común).

La sección mígrada post-apilamiento en profundidad permitió obtener una mejor imagen del subsuelo en relación a la sección pre-apilamiento en profundidad, posiblemente debido a la baja relación señal-ruido y a artefactos en el algoritmo de migración (Migración Kirchoff). Sin embargo, dada su sensibilidad al modelo de velocidades, un modelo mejorado se obtuvo utilizando migración pre-apilamiento en profundidad.

El análisis tectono-estratigráfico se desarrolló sobre la sección post-apilamiento mígrada en profundidad. Se interpretaron dos tectono-secuencias divididas por una discordancia basal (5.5 Ma) (Di Croce, 1995); éstas, a su vez, se subdividieron en tres ciclos de tercer orden. El primer ciclo (10.5 Ma-5.5 Ma) es, básicamente, un sistema progradante continental. El segundo ciclo (5.5 Ma-3.8 Ma) se caracteriza por un sistema depositacional de talud. El último ciclo (3.8 Ma- presente) muestra la presencia de una cuña progradante en un ambiente continental.

Los resultados obtenidos verifican que se requiere de un modelo de velocidades basado en una interpretación geológica para obtener una imagen apropiada del subsuelo.

Summary

The tectono-stratigraphic evolution of the Maturín Subbasin, Piedritas Field, Western Venezuela, from the Early Miocene to Holocene, has been studied using a semiregional depth migrated profile.

The seismic profile reveals the presence of a listric fault system that developed in this area during the Neogene. This system has a decollement surface, produced by overpressure shales, which cause the velocity inversion observed in the well logs. Due to the complexity of the area, depth migration was performed. The depth migrated section was obtained after an iterative lateral velocity analysis, applying the Deregowsky Loop on CRP gathers. The post-stack depth migrated section produced a better image of the subsurface than the pre-stack one, possible due to the bad signal to noise level and artifacts in the migration algorithm (Kirchoff migration). Nevertheless, due to its sensibility to the velocity model, an improved one was obtained using pre-stack depth migration.

The tectono-stratigraphic analysis was performed on the post-stack depth migrated section. Two tectono-sequences, divided by a basal unconformity (5.5 Ma), were interpreted; these are subdivided into three third-order cycles. The first one (10.5 Ma-5.5 Ma) is basically a continental prograding system. The second cycle (5.5 Ma-3.8 Ma) is marked by a slope depositional system. The last one (3.8 Ma- present) can be characterized by the deposition of a prograding wedge in a continental environment.

The results obtained verify that a geologically-based velocity model is required in order to obtain an appropriate migrated image of the subsurface.

Introducción

La integración de disciplinas geológicas y geofísicas no es un tópico reciente. Se obtienen mejores resultados cuando la sección a interpretar se procesa apropiadamente teniendo en mente un modelo geológico de la zona. Para obtener una buena imagen del subsuelo en zonas complejas, se han utilizado frecuentemente algoritmos de migración post y pre-apilamiento. Particularmente, la sensibilidad de la migración pre-apilamiento en profundidad al modelo de velocidades se emplea para desarrollar un análisis de velocidad en áreas complejas. Sin embargo, estas técnicas por sí mismas no producen una imagen totalmente apropiada del subsuelo, porque el modelo de velocidades depende de una interpretación geológica apropiada.

La Cuenca Oriental de Venezuela en su región continental es la segunda provincia más rica en hidrocarburos de Sur América, después de la Cuenca de Maracaibo. Ésta es una región compleja, en la cual un intrincado sistema de fallas lítricas normales se desarrolló durante el Neógeno. El objetivo principal de este trabajo consiste en definir, correctamente, las estructuras complejas para mejorar la interpretación estratigráfica. Una combinación de técnicas geofísicas y geológicas serán aplicadas para realizar una interpretación estratigráfica de un perfil sísmico semiregional de la sub-cuenca de Maturín

Localización geográfica y tectónica regional

La Cuenca Oriental de Venezuela está localizada al noreste de Venezuela, entre los 8° y 11° latitud norte y los 61° y 66° longitud oeste. Ésta se subdivide en dos sub-cuencas: la sub-cuenca de Guárico al oeste, y la subcuenca de Maturín al este. La sección sísmica 2-D utilizada está localizada en la sub-cuenca de Maturín Monagas central (Fig. 1). Cuatro pozos fueron usados para calibrar las unidades sísmicas. Los datos de pozos incluyen registros compuestos (Potencial Espontáneo (SP), registro de litología ("gamma-ray"(GR), resistividad (ILD,ILM), registros de densidad y sónicos, tablas de tiro de verificación("check-shot"~ y datos bioestratigráficos).

La Cuenca Oriental de Venezuela es el resultado de interacciones que envuelven el rompimiento de Pangea la deriva de Sur América y el desarrollo de la placa del Caribe (Di Croce,1995). La evolución geodinámica de la sub-cuenca de Maturín puede dividirse en cuatro eventos: una fase de pre-ruptura en el tiempo Paleozoico, una fase de ruptura y deriva en el Jurásico y Cretácico Temprano, caracterizada por la generación de grábenos una fase de deriva continental en el Cretácico y Paleógeno, caracterizada por la depositación de sedimentos de margen pasivo, y una fase de colisión oblicua de la placa Caribe con la placa Suramericana, en el Paleógeno Tardío hasta el presente. Un sistema de fallas lítricas se desarrolló en la cuenca de antepaís del cinturón plegado de Monagas durante el Neógeno.



Análisis lateral de velocidades y migración en profundidad

La información obtenida de registros sónicos calibrados y los horizontes definidos en la sección migrada en tiempo se utilizaron para generar un modelo de velocidades inicial a usar en la migración post-apilamiento en profundidad. En este modelo, las variaciones de velocidad no están bien definidas, posiblemente debido a la distancia entre los pozos. El modelo fue mejorado realizando un análisis de inversión por coherencia. Este método produce un modelo del subsuelo maximizando la coherencia sobre los registros CMP en una ventana de tiempo a lo largo de curvas de tiempo de viaje, calculadas por trazado de rayos a través del modelo (Landa et al,1991). El modelo obtenido (Fig. 2) muestra los efectos de variaciones laterales de velocidad y la inversión de velocidades a lo largo del sistema de fallas. Este modelo no puede definirse mejor debido a la baja relación señal-ruido y a la carencia de continuidad en los eventos de alta de amplitud de los registros CMP. Con este modelo de velocidades se realizó una migración postapilamiento en profundidad.

Para mejorar el modelo de velocidades, particularmente en la zona compleja, se utilizó migración pre-apilamiento en profundidad tipo Kirchhoff Esta migración fue aplicada sobre planos de offset común, ordenados en CRP.

Utilizando el Loop de Deregowsky (Deregowsky, 1990), se realizaron análisis interactivos de velocidad. Este método calcula la velocidad interválica necesaria para corregir la curvatura residual sobre los registros CRP. Usando esta metodología, un modelo más detallado de velocidades fue obtenido (Fig. 3). Este resultado puede ser atribuido a una mayor continuidad de los eventos y a una mejor relación señal ruido en los registros CRP con respecto a los registros CMP.

Con este modelo de velocidades, se realizó una migración pre-apilamiento en profundidad. La imagen del subsuelo obtenida con esta sección no superó a la migrada postapilamiento en profundidad. Las razones de estos resultados no son obvias. Sin embargo, la baja relación señal-ruido en los CMP's y artefactos en el algoritmo de migración empleado podrían ser algunas de las causas.

La línea se migró post-apilamiento en profundidad usando el modelo mejorado de velocidades de la Figura 3. Los resultados obtenidos indican una mejor resolución de los eventos en esta línea, en comparación con la migración post-apilamiento en profundidad obtenida con el primer modelo de velocidades. Las figuras 4 y 5 muestran un detalle de ambas secciones, en particular parte de la zona de fallas (Fig. 4a y 5a) próxima al pozo 2 (ver Fig. 6) y una estructura anticlinal por debajo del sistema de fallas (no



interpretada en este estudio) (Fig. 4b y Fig.5b) cercana al pozo 4 (ver figura 6). Nótese la continuidad de los eventos y la mejor definición del anticlinal en la figura 5b que se obtiene al aplicar migración post-apilamiento usando el modelo de velocidades mejorado de la figura 3 en comparación con los resultados obtenidos (Fig. 4b) con el modelo de velocidades de la figura 2.

Interpretación tectono-estratigráfica

El principal objetivo de la interpretación cronoestratigráfica consistió en identificar las discordancias asociadas con procesos tectónicos y cambios relativos del nivel del mar. Las principales técnicas y conceptos usados en este estudio se basan en los trabajos de Vail et al. (1977), Vail (1987), Mitchum y Van Wagoner (1990) y Galloway (1989). La interpretación estructural se basa en el modelo de Xiao y Suppe (1991). Usando estos modelos y técnicas nosotros interpretamos patrones y geometrías sísmicas. Las facies sísmicas se correlacionaron con registros de pozos, sismogramas sintéticos y datos bioestratigráficos.

Nosotros subdividimos la zona de la sección de edad Neógeno y Cuaternaria en tres unidades limitadas por discordancias (Fig. 6).

La unidad inferior (Unidad 1) está definida en su base por el límite de secuencia SB-Bo (10.5 Ma) y por la discordancia C 1 y la discordancia basa; SB-Co (5.5 Ma) en el tope. Las geometrías sísmicas observadas en esta unidad se caracterizan por reflexiones subparalelas a divergentes y un sistema de truncaciones contra el borde discordante SB-Co (ver figura 6). En el área menos afectada por el sistema de fallas al sur-oeste de la línea sísmica (Fig. 6), se observa un patrón de clinoformos oblicuos sobre las reflexiones sísmicas (Fig. 6). Este patrón indica un suministro de sedimentos en dirección SO-NE, distorsionado por el sistema de fallas lítricas. Este tipo de estructura fue generado por el colapso gravitacional sobre un talud submarino, al este de la línea sísmica (Lilliu et al. 1990). En la línea sísmica se interpretaron siete fallas normales lítricas, con una zona de despegue a nivel del Mioceno Temprano (Fig. 6), producto de una zona de sobrepresión de lutitas de ambiente profundo (Di Croce, 1995). Para la interpretación del sistema de fallas se utilizó el modelo propuesto por Xiao y Suppe (1992). Este modelo considera que el colapso se produce en la dirección de cizalla de Coulomb a lo largo de ejes activos de plegamiento, que producen superficies activas de plegamiento y que a su vez definen las superficies antitéticas al plano de falla. Estas superficies se denominan superficies axiales activas, las cuales están asociadas a un quiebre del plano principal de falla y a superficies axiales inactivas y de crecimiento (Fig. 7).



A través de este modelo se interpretó el sistema de fallas y se modeló el proceso de evolución del sistema. En la figura 8 se muestra el resultado del modelado de la evolución de una de las fallas del sistema (ver figura 6). En la fase 1 de la figura 8 se observa el inicio del fallamiento normal y la generación de las superficies axiales. En este modelo existe un solo quiebre ("benf") del plano de falla. En la segunda fase existe un período de quietud, donde los sedimentos que se están depositando no resultan afectados por la superficie axial activa. En la tercera fase se reactiva el fallamiento, pero este período de actividad es menor, comparado con el de la primera fase. En la cuarta y quinta fase se depositan sedimentos sendipositacionales con el desplazamiento de la falla, definidos por la superficie axial de crecimiento. En la sexta fase se muestra la erosión de los estratos por la discordancia angular SB-Co.

En base a este modelado se puede concluir que las geometrías y períodos de actividad del fallamiento no son fáciles de interpretar debido a la combinación de procesos estructurales y sedimentarios y, por lo tanto, es necesaria la utilización de modelos para entender los procesos de evolución del fallamiento

Los datos bioestratigráficos de los pozos 1, 2 y 3 y los procesos descritos, sugieren que las fallas son más jóvenes en el oeste y más viejas en el este. Los ambientes depositacionales observados en los pozos 1, 2 y 3 (Fig. 9), indican la presencia de sedimentos marinos someros depositados sobre el límite de secuencia SB-Bo, sugiriendo una caída relativa del nivel del mar.

La segunda unidad (Unidad 2) está limitada por la discordancia basa; SB-Co o la discordancia C 1, en su base y por el borde de secuencia SB-Do (3.8 Ma) en el tope. La discordancia basal SB-Co es un reflector de alta amplitud a lo largo de toda la línea sísmica. Las geometrías sísmicas observadas en esta unidad están caracterizadas por configuraciones clinoformas de baja amplitud y facies sísmicas discontinuas. Estas geometrías están asociadas a ambientes de talud. Datos bioestratigráficos del pozo 3 (Fig. 9) corroboran el ambiente depositacional inferido de las facies sísmicas.

La unidad más joven (Unidad3) está definida por el límite de secuencia SB-Do (3.8Ma) en su base y en el tope por la topografía actual. Esta unidad presenta reflexiones paralelas de alta amplitud. Los ambientes depositacionales observados en los pozos 1, 2 y 3, indican la presencia de sedimentos continentales (Fig. 9), depositados sobre el límite de secuencia SB-Do, y sugieren una caída relativa del nivel del mar.

Conclusiones

Dos tectonosecuencias limitadas por la discordancia basal SB-Co(5.5Ma) fueron interpretadas sobre un perfil migrado en profundidad de la sub-cuenca de Maturín, Venezuela. Ambas tectonosecuencias fueron generadas por pulsos tectónicos y



representan cielos de segundo orden. Se interpretaron tres ciclos de tercer orden, asociados a caídas relativas del nivel del mar, limitados por las superficies SB-Bo (10,5Ma), SB-Co (5.5Ma) y SB-Do (3.8 Ma). Un modelo de velocidades mejorado del subsuelo se obtuvo usando migración pre-apilamiento en profundidad. La migración post-apilamiento en profundidad, aplicada utilizando este modelo, facilitó la interpretación geológica y mostró la importancia de que un modelo de velocidades incorpore cambios laterales basados en información geológica.

Referencias

Deregowski, S.M., 1990, Common-offset migrations and velocity analysis, *First Break*, 8, 225-234

Di Croce J., 1995, Eastern Venezuela Basin: Sequence Stratigraphy and Structural Evolution, PhD. Thesis, Rice University

Galloway W.E., 1989, Genetic Sequence Stratigraphy, *Geo* 524

Landa, E., Thore, P. Sorin, V. And Koren, Z., 1991, Interpretation of velocity estimates from coherency inversion, *Geophysics*, 56, 1377-1383

Lilliu A.G, 1990, Geophysical interpretation of Maturín Foreland, Northeastern Venezuela, MSc. Thesis, University of Houston.

Vail, P.R., Mitchum R-M. and Thomson S., 1977, Seismic Stratigraphy and Global Changes of sea Level, part 3, Payton Ed., *Seismic Stratigraphy Application to hydrocarbon Exploration: American Association of Petroleum Geologist Memoir* 26, 63-81.

Xiao H. And Suppe J., 1992, Oringing of Rollover, *AAPG Bulletin*, 76/4, 509-529



Agradecimientos

Deseo que mis agradecimientos lleguen a todas y cada un de las personas que contribuyeron en la elaboración de este trabajo. Principalmente a las empresas Lagoven S.A. e Intevep S.A. por darme el apoyo requerido para que este proyecto se hiciera realidad y a Martha Jaimes por su ayuda, apoyo y paciencia en todo momento.



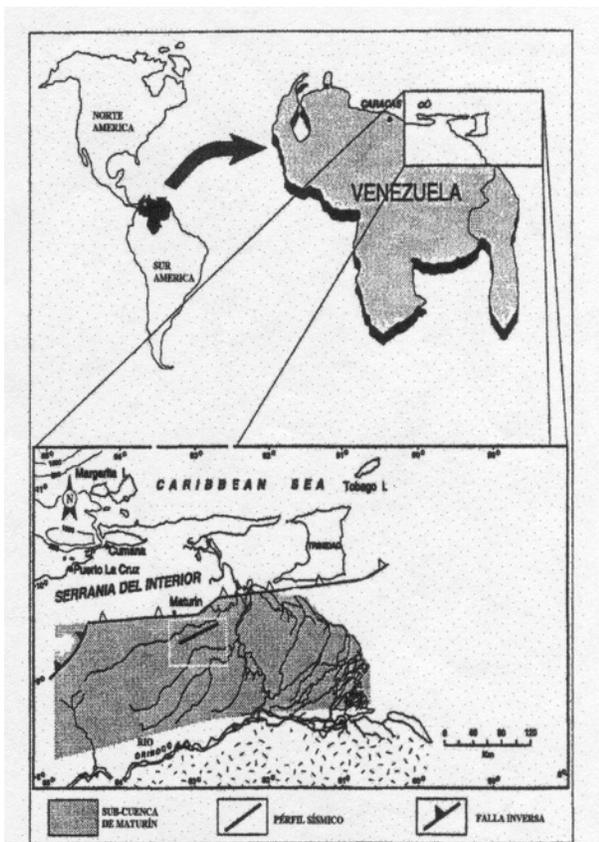


Figura 1: Área de estudio.

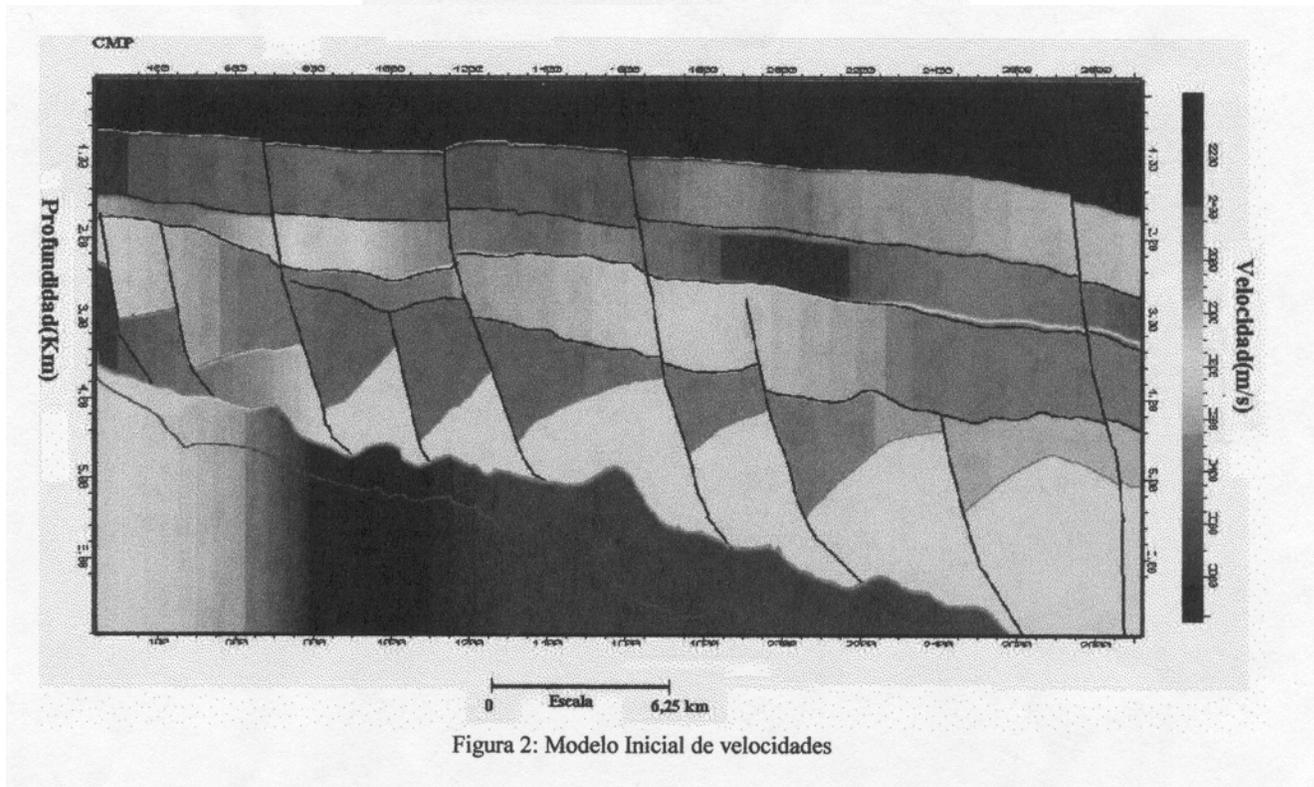
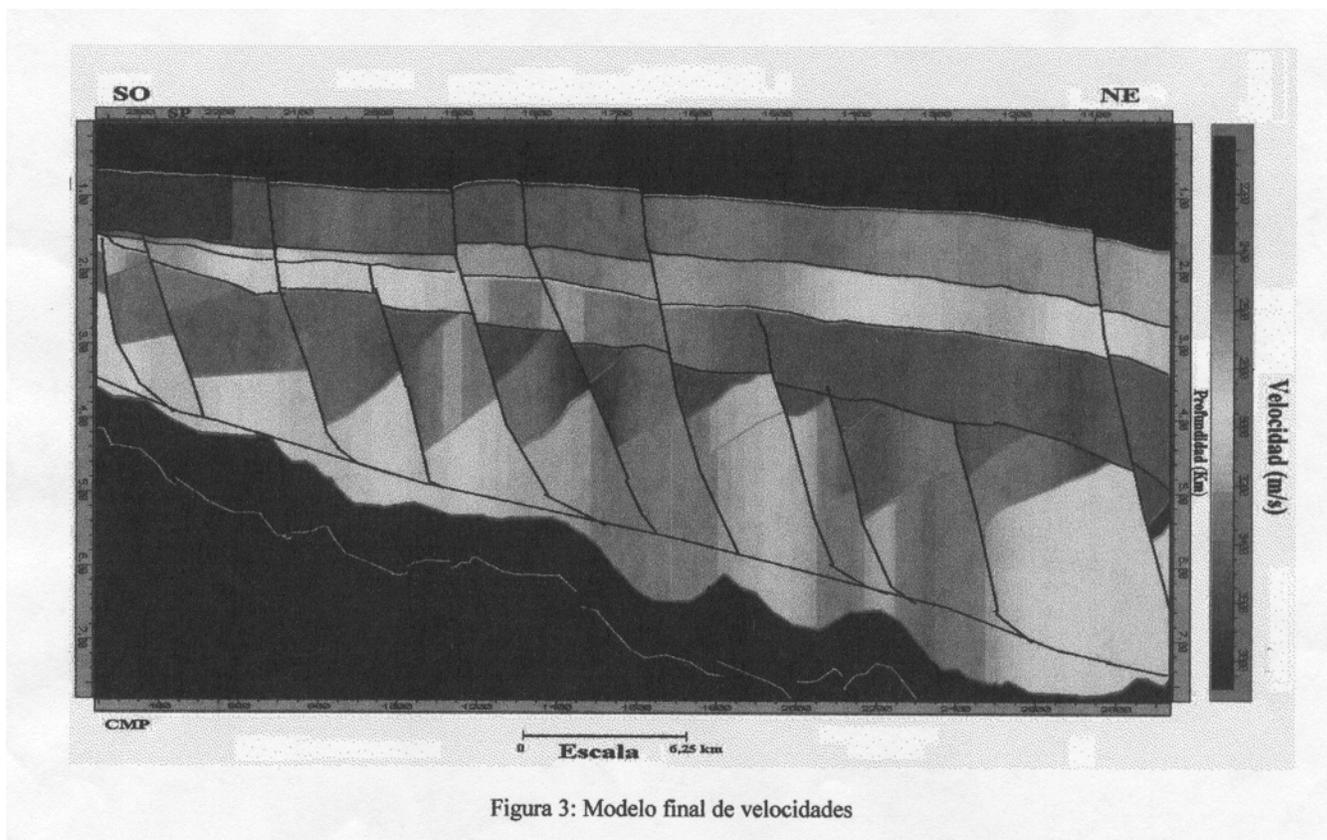
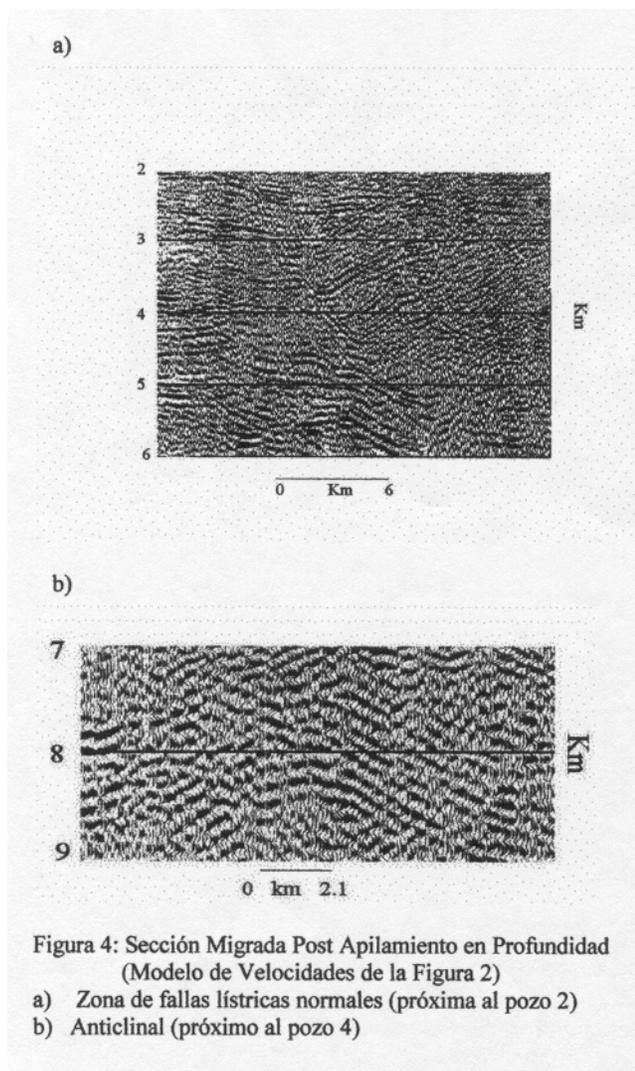
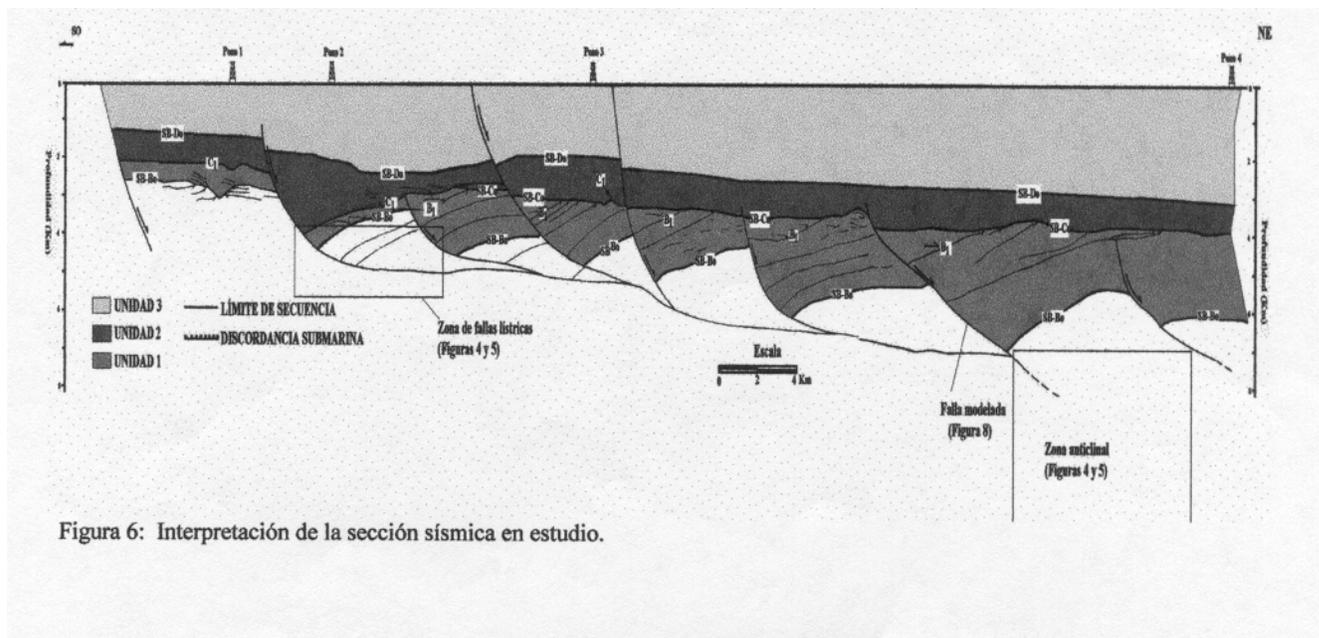
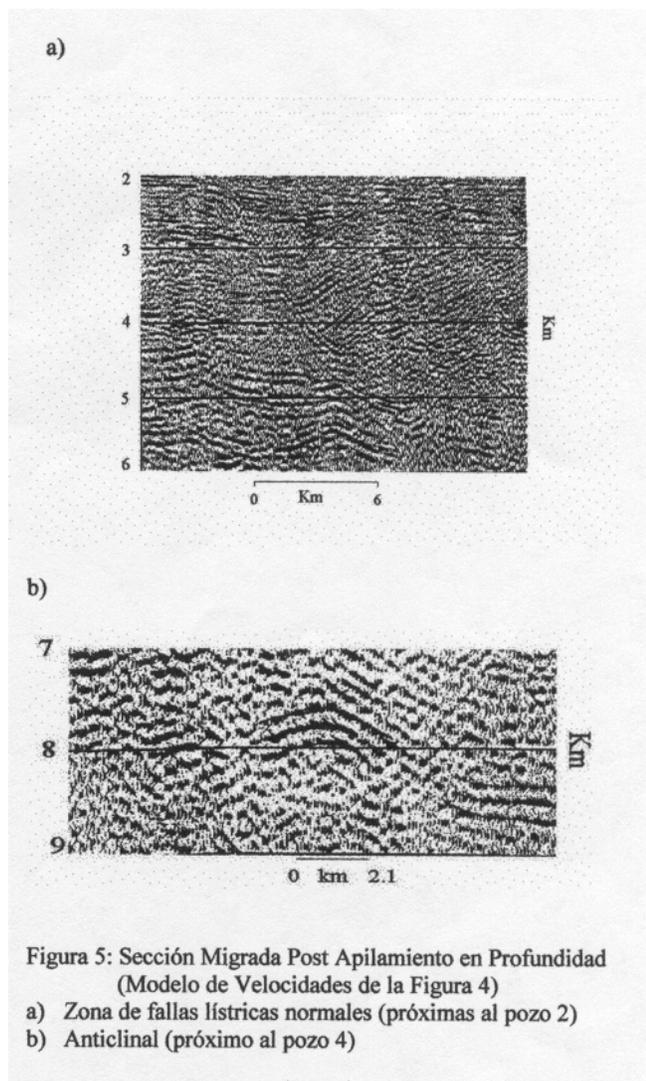


Figura 2: Modelo Inicial de velocidades









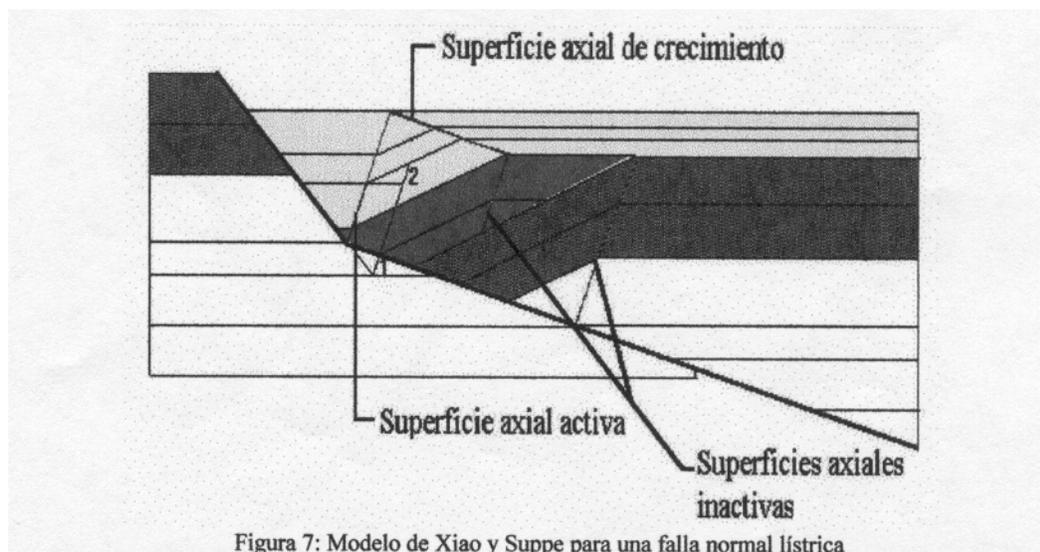


Figura 7: Modelo de Xiao y Suppe para una falla normal lítrica

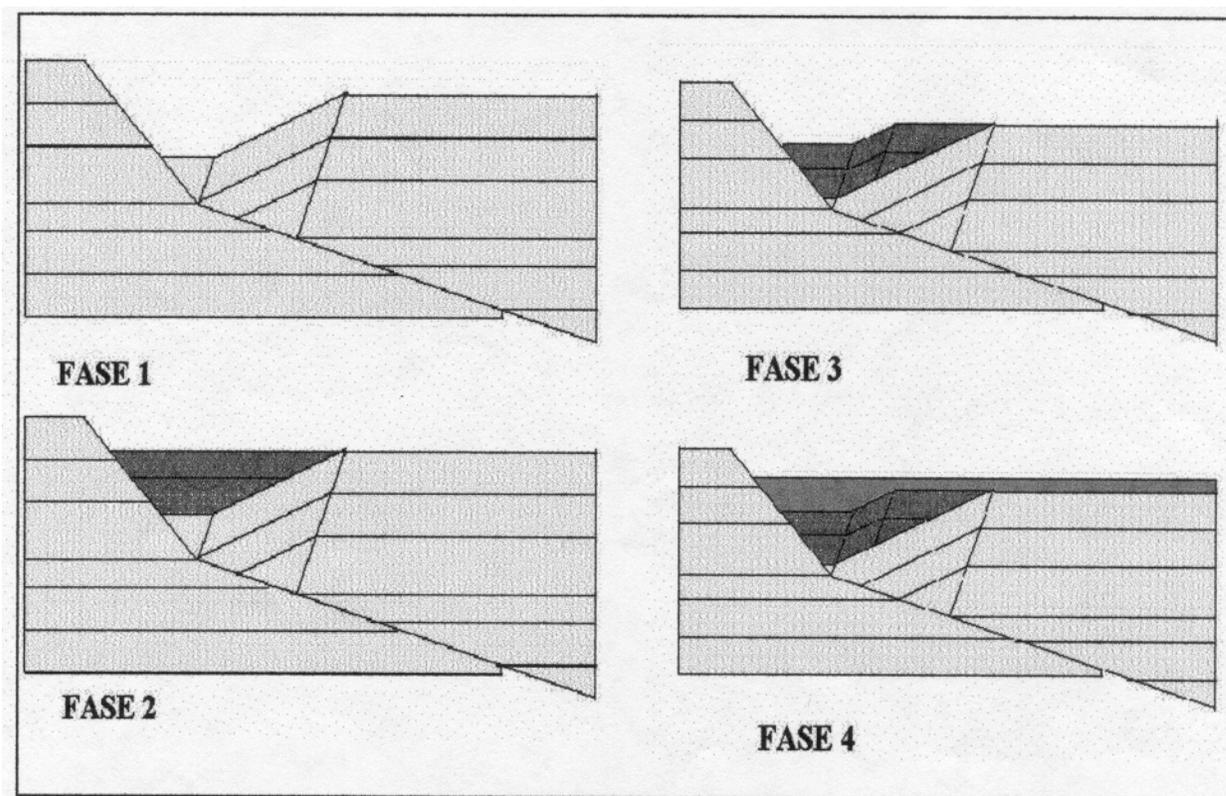


Figura 8: Modelado del fallamiento normal lítrico.

