

Reactivación De Fallas En El Sur Del Lago, Cuenca De Maracaibo-Venezuela

Bastardo Marx⁽¹⁾, Vanessa Parravano⁽¹⁾, Maria Del Carmen Morales⁽¹⁾, Nakari Diaz⁽¹⁾, Maria Ramos⁽¹⁾, Douglas Hamilton⁽²⁾ y Jorge Acosta⁽²⁾.

(1) Gerencia de Exploración Oriente., PDVSA, Puerto La Cruz, Edo. Anzoátegui, Venezuela.

(2) EXGEO-CGG Veritas, Puerto La Cruz, Edo. Anzoátegui, Venezuela.

© Copyright 2009 ACGGP.

Este documento fue preparado para su presentación en el X Simposio Bolivariano Exploración Petrolera en Cuenas Subandinas, celebrado en Cartagena, Colombia, julio de 2009. Este trabajo fue seleccionado para su presentación en el X Simposio, por el Comité Técnico de la revisión de la información contenida en un resumen presentado por el autor (s).

Resumen

La parte más sur de la cuenca del lago de Maracaibo, se caracteriza por presentar una serie de fallas normales de vergencias opuestas, que han sufrido una serie de eventos de reactivación durante el Cenozoico. En el Paleoceno?-Eoceno temprano, las fallas de Lama-Icotea y SDL, se reactivan como fallas de rumbo lateral izquierdo, generando una zona de *step-over* de relajación, donde se desarrolla una estructura de *pull-apart* y se depositan sedimentos de la Formación Misoa. Simultáneamente, se desarrollan fallas normales en el bloque yacente de la Falla Lama-Icotea, debido al efecto generado por la espesa secuencia de las lutitas de la Formación Colón. Adicionalmente, la falla VLE se reactiva como falla normal, desarrollándose un *roll-over* en su bloque colgante. En el Oligoceno, se genera una gran discordancia regional, una segunda reactivación de las fallas afecta la zona entre el Mioceno temprano y medio, fallas normales cambian a inversas y hay un desarrollo de *shortcuts* y *butressing*, en las cercanías de las fallas mayores.

Esta nueva visión geológica rompe el paradigma tradicional de la evolución estructural del sur del lago, lo que permite una aproximación más fidedigna a los reservorios asociados a las trampas cretácicas comprobadas, pues no se requiere contar con grandes vías de migración a lo largo de fallas de cabalgamiento, como lo proponían modelos anteriores y explica por que los reservorios están localizados en las cercanías de las fallas mayores.

Introducción

La región del Sur del Lago de la cuenca de Maracaibo (Fig. 1), ha sido objeto de varios estudios estratigráficos y estructurales entre los que se destacan (Parnaud et. al., 1995,

Lugo & Mann, 1995; Bralower y Lorente, 2003, Castillo y Mann 2006). Algunos de estos trabajos presentan de forma equivocada el concepto de inversión de fallas, mientras que otros proponen reactivación de estructuras como resultado de efectos regionales. Continuando con esta segunda idea, una nueva interpretación de los cubos sísmicos adquiridos a finales de los años 90, permite realizar mapas de horizontes e identificar estilos estructurales, asociados a reactivación de fallas, lo que ayuda a explicar de mejor manera los yacimientos observados y proponer nuevas áreas exploratorias. Este artículo tiene como objetivo mostrar en detalle las estructuras asociadas a reactivación de las fallas mayores, presentes en el sur del lago, como elemento importante para entender la evolución de la cuenca.

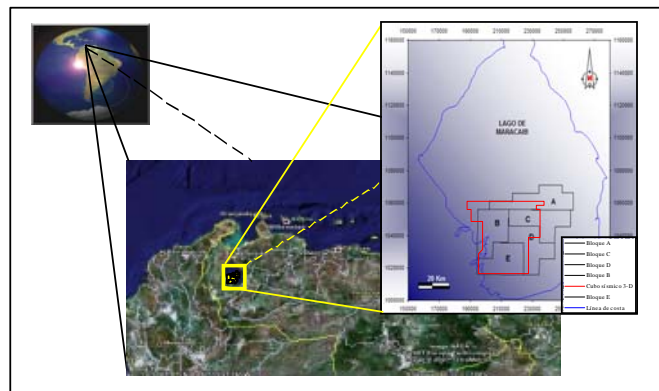


Figura 1. Ubicación de la zona del presente trabajo.

Marco Tectono-Estratigráfico de la Cuenca de Maracaibo

La historia sedimentaria y estructural de la Cuenca de Maracaibo, desde el Jurásico Superior, inicia con el depósito de capas rojas de origen continental intercaladas con rocas volcánicas (Formación La Quinta), en *hemi grabenes* desarrollados durante el proceso de rifting que originó la separación de Norte y Suramérica. Estas estructuras fueron limitadas por fallas normales, de rumbo N-NE (Maze, 1984; Lugo y Mann, 1995; en Escalona y Mann, 2006). Hacia el Cretácico Temprano se desarrolló, en una plataforma de margen pasivo, el depósito de carbonatos, en el área de lo que

es hoy día la Cuenca de Maracaibo. Transgresiones superiores a los 20 o 30 m afectaron la plataforma depositando a su paso secuencias finas en ambientes anóxicos (Méndez y Baquero, 2008). Durante el Cretácico Tardío (Turoniano-Campaniano), ocurre la máxima inundación marina de Suramérica, produciendo un escenario de margen continental bajo condiciones anóxicas donde sucede la depositación de la Formación La Luna, la cual se convirtió en la principal roca madre del Noroeste de Suramérica (Renz, 1981; Bralower y Lorente, 2003; en Escalona y Mann, 2006).

Hacia finales del Cretácico Superior-Paleoceno, se acentuó el evento de subsidencia al oeste de la cuenca de Maracaibo, debido al progreso del arco volcánico (cordillera Central de Colombia) contra el continente suramericano y su consiguiente retro-arco hacia una ante-fosa, que trajo como consecuencia la depositación de las espesas lutitas marinas de la Formación Colón (Lugo y Mann, 1995; Parnaud et al., 1995; en Escalona y Mann, 2006).

Durante el paleógeno ocurre una colisión entre la Placa proto-Caribe y el margen Noroccidental de Sur América, llevando a la expulsión del bloque de la Sierra Nevada de Santa Marta a lo largo de las fallas de Bucaramanga y Oca, como resultado se generó en la espalda de este bloque la cuenca de Maracaibo, donde se desarrolló un depocentro en el que se sedimenta la Formación Misoa, que alberga los reservorios de hidrocarburos más prolíficos de la región. Cuando la expulsión del bloque de Santamarta se bloquea al norte, inicia el desarrollo de retrocabalgamientos, a lo largo de la cual se levanta la Serranía de Perijá y como consecuencia hacia el Sur de la región afectada se genera un *forebulge* caracterizado por el ascenso y exposición de rocas clásticas de edad Eoceno (Audemar, 1991; Lugo, 1991; Parnaud et al., 1995), lo que ocasionó una extensa erosión que duró hasta finales del Oligoceno y es representada por una discordancia angular conocida localmente como discordancia del Eoceno.

El periodo Mioceno-Holoceno, fue caracterizado por rápida subsidencia que fue causada por el levantamiento de la Sierra de Perijá y los Andes de Mérida, como respuesta a la convergencia y subducción de la Placa Caribe y a la colisión del Arco de Panamá con el Noroccidente Suramericano (Kellogg y Bonini, 1982; Taboada et al., 2000, Colmenares y Zoback, 2003; Cortés y Angelier, 2005; en Escalona y Mann, 2006).

Interpretación Sísmica Estructural

La interpretación de los cubos sísmicos en el área de Sur Del Lago (SDL), conllevó a la realización de mapas de diferentes niveles que permitieron observar y analizar primeramente en planta las estructuras mayores presentes en el área y determinar a que niveles afectan. Los mapas interpretados corresponden al tope del Grupo Cogollo y los límites de secuencias SB50.7 y SB 33.6. El mapa estructural

correspondiente al tope de las calizas Cretácicas del Grupo Cogollo (Fig. 2), muestra tres fallas importantes: la primera de ellas es la falla Lama-Icotea que se presenta como una falla normal con buzamiento hacia el Este y rumbo N-S, terminando al Sur con un cambio de dirección a NW-SE. Esta falla ha sido propuesta como una falla inversa de bajo ángulo (Munro, 1985 y Audemar, 1991, quien además considera que tenga una pequeña componente lateral derecha), y rumbo deslizante lateral izquierda por diversos autores entre los cuales se encuentra Lugo (1991), León et. al (1999), Escalona y Mann (2003) y más recientemente Castillo y Mann (2006).

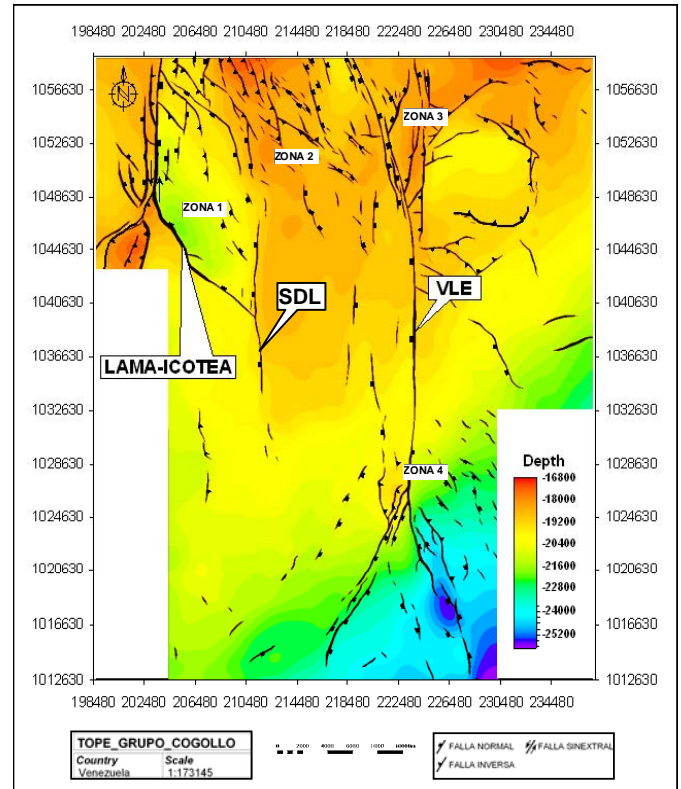


Figura 2. Mapa estructural en tiempo al tope del Grupo Cogollo.

La segunda estructura importante es la falla SDL, que en planta ocurre como una falla normal con buzamiento hacia el Oeste y dirección N-S, interceptando en su parte central la terminación sur de la falla Lama-Icotea. Entre estas fallas se desarrolla una depresión (Zona 1), que se interpreta como una cuenca de "pull-apart", si se considera el desplazamiento lateral izquierda de la falla Lama-Icotea y se plantea que la falla normal que limita esta región hacia el Este tenga el mismo comportamiento estructural, generando una zona transtensiva. Llama la atención la presencia de fallas menores de tipo normal e inverso con dirección NNW-SSE que afectan el interior de este "pull-apart" (Fig. 2).

Hacia el sector Suroeste de la falla Lama-Icotea, se observa un alto estructural, limitado al Oeste por una falla inversa de

rumbo NE-SW y buzamiento hacia el SE. La presencia de estas fallas no se debe explicar solamente como respuesta a la compresión producida por el cambio en el rumbo de Lama-Icotea, si se toma en consideración el desplazamiento lateral izquierda mencionado por diversos autores.

La tercera falla importante que afecta la secuencia de calizas Cretácicas en Sur del Lago, es la denominada por diversos autores y más recientemente por Castillo y Mann (2006), como falla “VLE”, que hacia el Norte del lago y específicamente en el campo Lamar, fue interpretada por Arzuman (2002), como una falla inversa con desplazamiento rumbo deslizante lateral izquierda. En el área de SDL la falla VLE es una estructura de alto ángulo y dirección N-S, el buzamiento de la falla es hacia el Oeste, aunque cambia gradualmente hacia el Este en el sector Sur del área, indicando que podrían ser dos estructuras diferentes.

Esta falla junto con la falla Lama-Icotea, limitan la denominada “Zona 2”, que consiste en un bloque levantado intensamente afectado por fallas normales e inversas de dirección NW-SE. En vista de planta estas estructuras forman una red compleja de fallas donde parece interceptarse una con otra.

Hacia el sector Noreste de SDL, se ubica la “Zona 3, donde se observa como la falla VLE termina al Norte, con una bifurcación donde se forman un complicado sistema en el que se interceptan fallas normales, de dirección NW-SE, sintéticas a la estructura principal y fallas inversas de rumbo NE-SW (Fig. 2).

La “Zona 4”, se define en la terminación sur de la falla VLE hacia el Sur, aquí también la falla se bifurca en fallas normales e inversas de rumbo NW-SE y NE-SW. En ésta zona se ubica un pequeño alto estructural al Oeste del trazo principal de la falla, este alto está limitado al Oeste por una falla inversa de rumbo N-S, paralela a la falla VLE, mientras que al Sur queda limitado por una falla normal de dirección NE-SW que se desprende de la falla VLE.

Por encima de la secuencia de rocas Cretácicas, se encuentra la Formación Guasare de edad Paleoceno, cuya configuración estructural se muestra en el mapa realizado al tope del límite de secuencia SB50.7 Ma (Fig. 3). En este mapa se observa que las zonas establecidas para el Tope del Grupo Cogollo están afectadas por menor cantidad de estructuras. La falla Lama-Icotea mantiene su comportamiento normal con buzamiento hacia el Este, y continua presentándose el alto estructural ubicado en la inflexión de la falla.

Del lado Este de la falla Lama-Icotea aun se mantiene la depresión vista en el mapa Cretácico definida como un “pull-apart”, aunque diferentes estructuras afectan la cuenca y desaparece la falla SDL, que limita la cuenca al Este.

La falla VLE también afecta de igual manera a las rocas Paleocenas (Fig. 3), pero a diferencia del mapa Cretácico, ésta falla pierde salto lateralmente y no afecta la unidad en la parte central del área de SDL. Hacia el sector Noroeste del mapa, entre las fallas Lama-Icotea y VLE (Zona 2), se encuentra afectada por un conjunto de fallas normales con dirección NW-SE y buzamiento predominante hacia el NE. Hacia el sector Norte, en la “Zona 3”, la falla VLE continua presentando el complejo sistema de fallas. Aquí la estructura principal presenta un comportamiento inverso con buzamiento al Este y una terminación en forma de cola de caballo, con fallas normales que presentan rumbos que varían entre NE-SW y NW-SE, (Fig. 3).

Hacia el sector Sur (Zona 4), la falla VLE se presenta como una falla normal a la que se une una falla inversa de rumbo NE-SW y buzamiento al SE, que intercepta a la falla VLE justo donde ésta experimenta un cambio de dirección hacia SE.

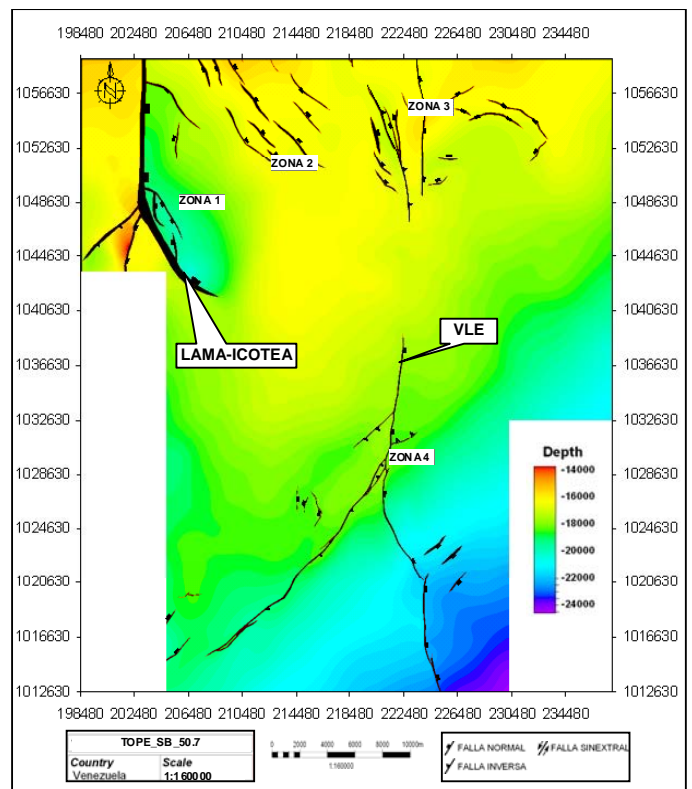


Figura 3. Mapa estructural en tiempo al tope de la Fm Guasare (SB50.7).

El mapa correspondiente a la discordancia Eoceno (Fig. 4), muestra que la mayor parte de las fallas que afectan el horizonte que representa el Paleoceno han desaparecido, quedando solo la falla normal Lama-Icotea y la falla VLE, que solo aparece hacia el sur de la región, con configuración y comportamiento similar al mostrado en el tope de la Formación Guasare.

Una vez se analizan los mapas surgen dudas a cerca de la relación entre las fallas normales e inversas asociadas a una zona transcurrante, las cuales no parecen tener lógica. Por lo que a continuación se describirá cuatro perfiles sísmicos que atraviesan la región transversalmente de norte a sur e intentan aclarar las dudas generadas en la primera parte de este trabajo.

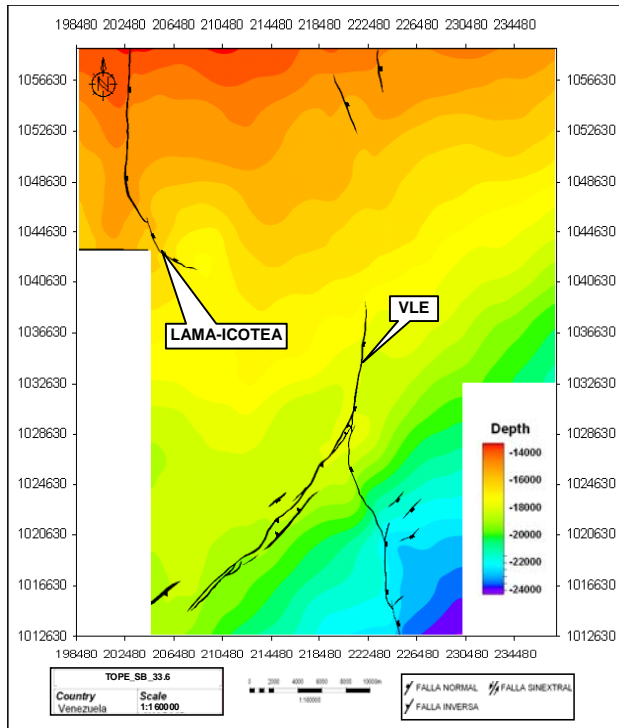


Figura 4. Mapa estructural en tiempo al tope de la Discordancia Eoceno (SB33.6).

La interpretación de los perfiles de reflexión sísmica revela la existencia de dos niveles estructurales, separados por las lutitas de la Formación Colón, una unidad dúctil sobre-presurizada que absorbe y redistribuye la deformación. Las fallas del nivel inferior afectan rocas Cretácicas del Grupo Cogollo, mientras que las fallas del nivel superior afectan unidades de edad Eoceno, aunque la deformación se transmite hasta unidades de edad Mioceno.

La figura 5, muestra un perfil sísmico, con dirección Suroeste-Noreste, al Norte de la región SDL. En esta zona las rocas del Grupo Cogollo son afectadas por las tres fallas normales mayores de vergencias opuestas, descritas anteriormente. La falla Lama-Icotea, posee una geometría lítrica con vergencia hacia el Oeste, presentando en su bloque colgante un anticlinal *roll-over* afectado por fallas normales e inversas. De estas fallas las principales son la falla SDL, que es una estructura antitética a la falla Lama-Icotea y presenta ángulo alto, buzando hacia el Suroeste y junto a la falla lítrica delimitan lo que parece ser una zona de relevo de relajación donde se origina un *pull-apart* como respuesta al desplazamiento lateral izquierda experimentado por ambas fallas. En el bloque

yacente de la falla Lama-Icotea y en el colgante de la falla SDL se observa el desarrollo de fallas inversas que se interretan como respuesta a una reactivación de las fallas normales. Las primeras fallas parecen originarse por un efecto de contra-pendiente (*buttressing*), dando lugar a retrocarrimientos (*backthrusts*), con vergencia hacia el Suroeste y en el segundo caso generación de fallas de atajo (*fault wall short cuts*), como respuesta a la compresión que reactiva el sistema.

El bloque que limitan las fallas VLE y SDL, muestra el desarrollo de una serie de pequeñas fallas normales que en su mayoría se encuentran buzando con alto ángulo hacia el Noreste y se interpretan como estructuras de colapso en la cresta del *roll-over*. La falla VLE presenta vergencia hacia el Noreste y en el bloque colgante de esta falla, se forma un pequeño graben limitado hacia el Suroeste por una falla normal de alto ángulo de vergencia opuesta a la falla VLE. Las unidades que llenan esta estructura generan un pequeño pliegue sinclinal.

En el nivel estructural superior y sobre la falla Lama-Icotea se presentan un par de fallas normales, asociadas a un crecimiento de los depósitos de edad Eoceno en el bloque colgante (Fig. 5). Algunos autores unen las dos estructuras, aunque en este trabajo se observa que la falla del nivel superior despega en la lutitas de la Formación Colón, lo que sugiere que estas fallas se generaron durante el Eoceno como respuesta a la reactivación de la falla de Lama-Icotea, en la que las lutitas de la Formación Colón actuaron de forma dúctil como lo muestran experimentos de Richard (1990), en cajas de arena. Una nueva reactivación de esta falla queda definida por el desarrollo de una falla inversa en el bloque colgante de esta estructura. Otras fallas normales menores también se generan en el Eoceno posiblemente como respuesta a la extensión local generada por la reactivación de la estructura principal.

El segundo perfil sísmico se encuentra ubicado a unos 8 km. al Sur del anterior. Aquí se observan características similares a las descritas en el perfil anterior, incluyendo los dos niveles estructurales (Fig. 6). Sin embargo, es notorio el cambio de ángulo en el plano de la falla Lama-Icotea, el cual es debido a la inflexión en la dirección de la falla hacia el Sureste. En el bloque yacente de la falla y debido a una reactivación se genera una falla de atajo que levanta una estructura de *pop-up* y explica el alto estructural observado en el mapa del horizonte. Aquí la falla SDL pierde salto y protagonismo pero la falla VLE presenta en su plano principal una inclinación hacia el Noreste y el desarrollo de una estructura en flor compleja, donde el bloque yacente es afectado por fallas normales y el colgante por fallas inversas. Esta configuración además de indicar reactivación de la estructura principal sugiere una componente rumbo deslizante en su plano.

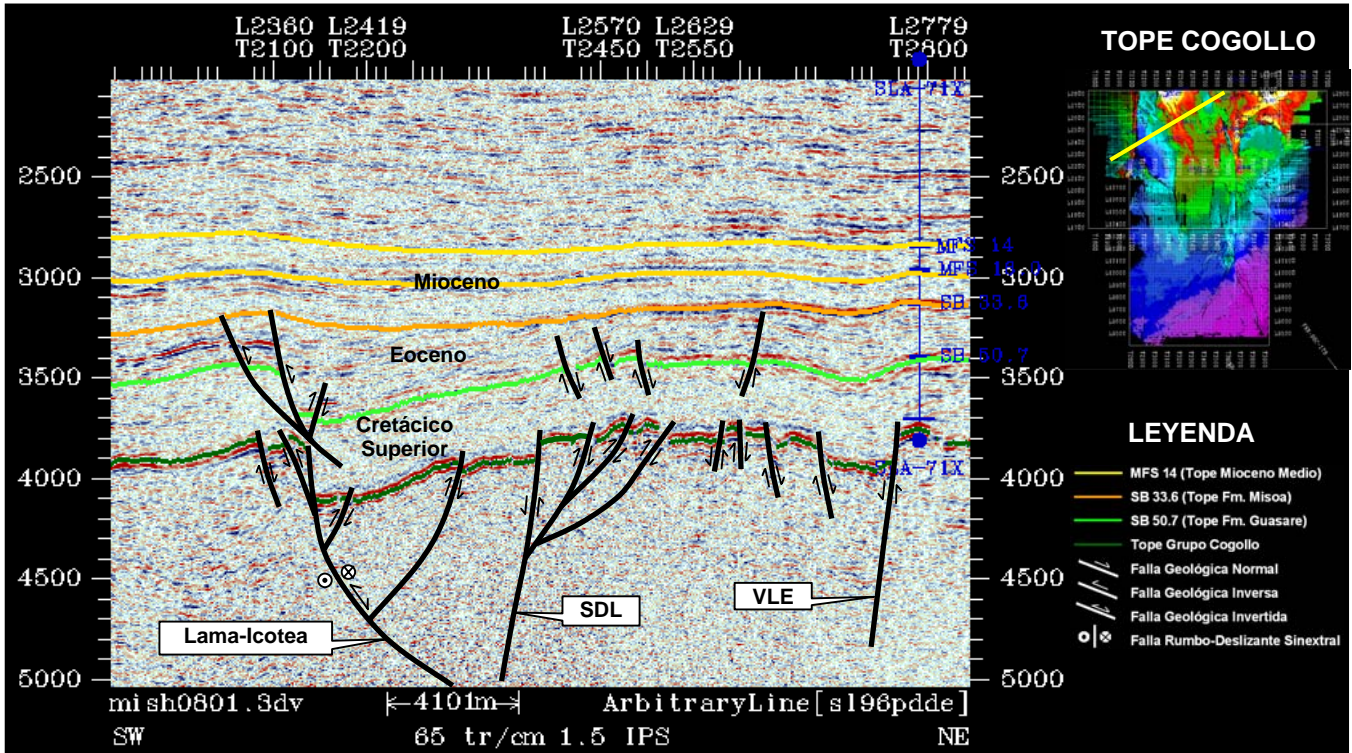


Figura 5. Sección sísmica SO-NE, donde se observa las fallas Lama-Icotea, VLE y estructuras asociadas.

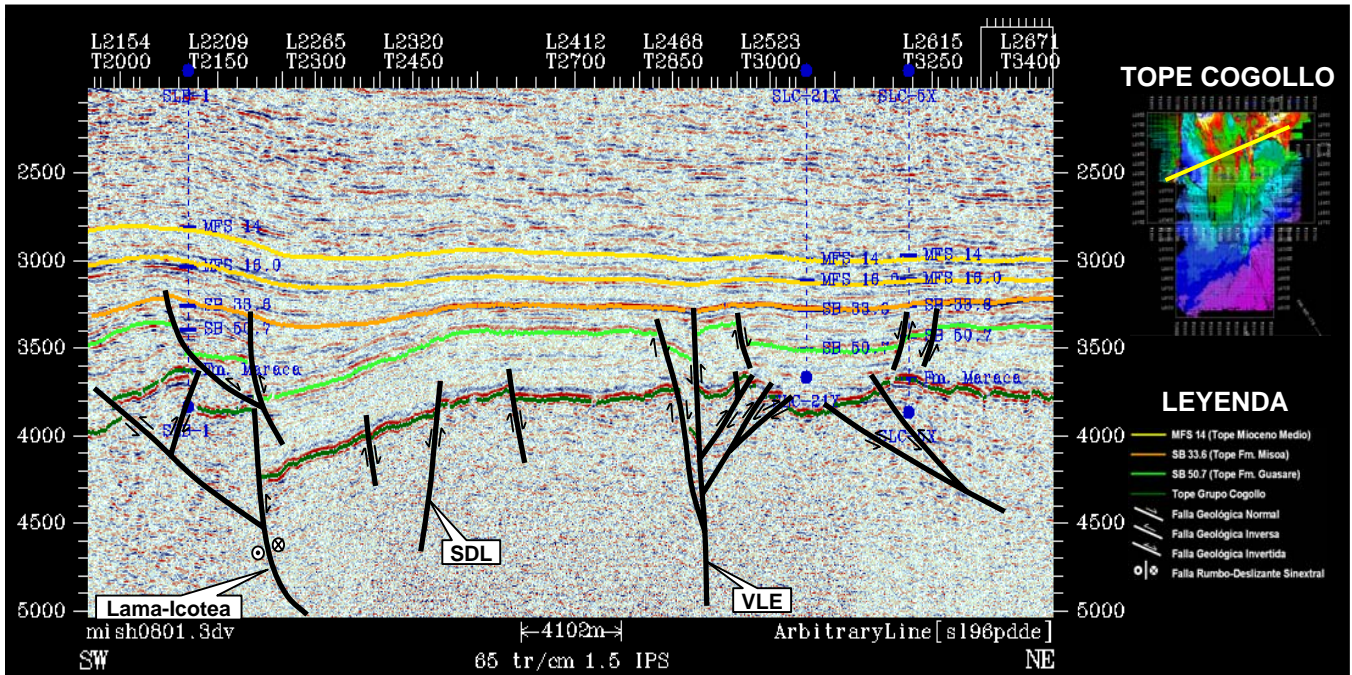


Figura 6. Sección sísmica SO-NE, donde se observa el desarrollo de fallas tipo footwall short cut y estructuras tipo horse asociadas a estas.

La siguiente sección esta ubicada a unos 12 km. al Sur y tiene una dirección aproximada E-W. En este sector del área de SDL, cambian un poco las características estructurales. En general la región se comporta como un suave anticlinal hacia

el Cretácico y un monoclin al en las unidades superiores (Fig. 7). No se presenta más la falla de Lama-Icotea, la cual terminó mas al Norte contra la falla SDL, que aquí ocurre como una falla normal de alto ángulo y poco salto. Además, en la parte

central se desarrollan unas pocas fallas normales de alto ángulo, tanto en el tope del Grupo Cogollo como en el Eoceno, y la falla VLE en esta zona se muestra con una vergencia opuesta a la observada en la sección descrita anteriormente. El cambio en la vergencia se adjudica a un posible desplazamiento en el rumbo a lo largo del plano de la falla.

En la sección mas Sur que está a 11 km. de la descrita anteriormente, se vuelven a observar los dos niveles estructurales, en el inferior se muestra la falla VLE con vergencia al Oeste, y fallas de atajo en su bloque yacente, que indican una vez mas la reactivación de esta estructura (Fig. 8).

Otras fallas normales menores afectan el tope del Grupo Cogollo. El nivel superior presenta fallas normales, que acompañan el crecimiento de depósitos de edad Eoceno; una de esas fallas se reactivó a inversa, generando un pliegue anticlinal que afecta niveles de edad Mioceno Tardío. El desarrollo de esas fallas como el adelgazamiento de las lutitas de la Formación Colón cerca a la falla VLE es también explicado en modelos análogos de cajas de arena (Richard, 1990.) Durante el último evento de reactivación se origina el corrimiento observado en la sección sísmica de la Figura 8, el cual despega en las lutitas de la Formación Colón y afecta a las rocas Paleógenas.

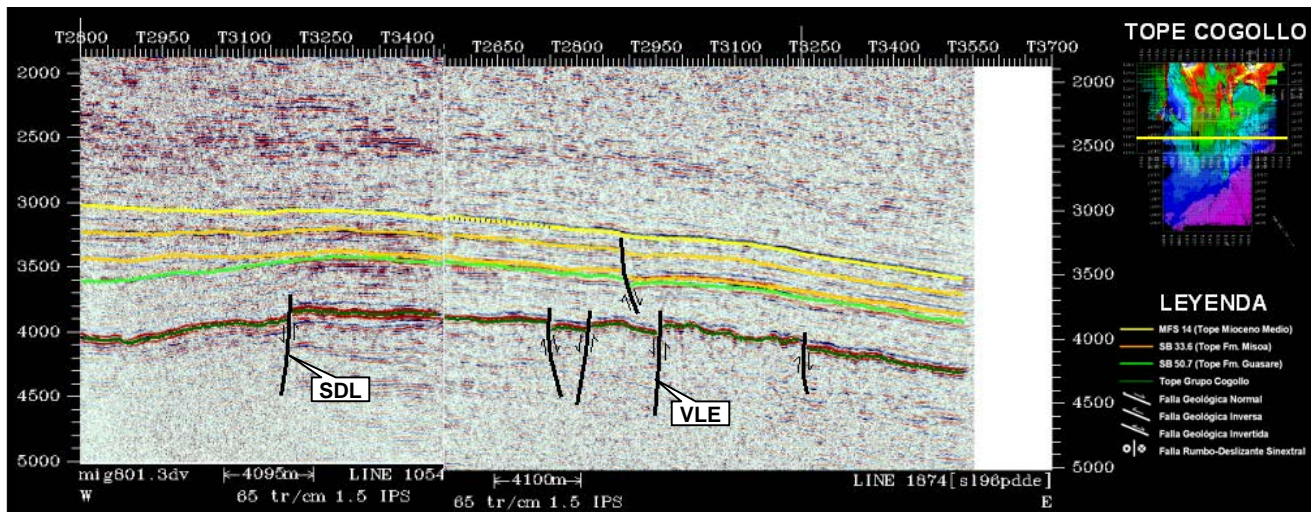


Figura 7. Sección Oeste-Este. Muestra adelgazamiento de la sección Eocena hacia el Este.

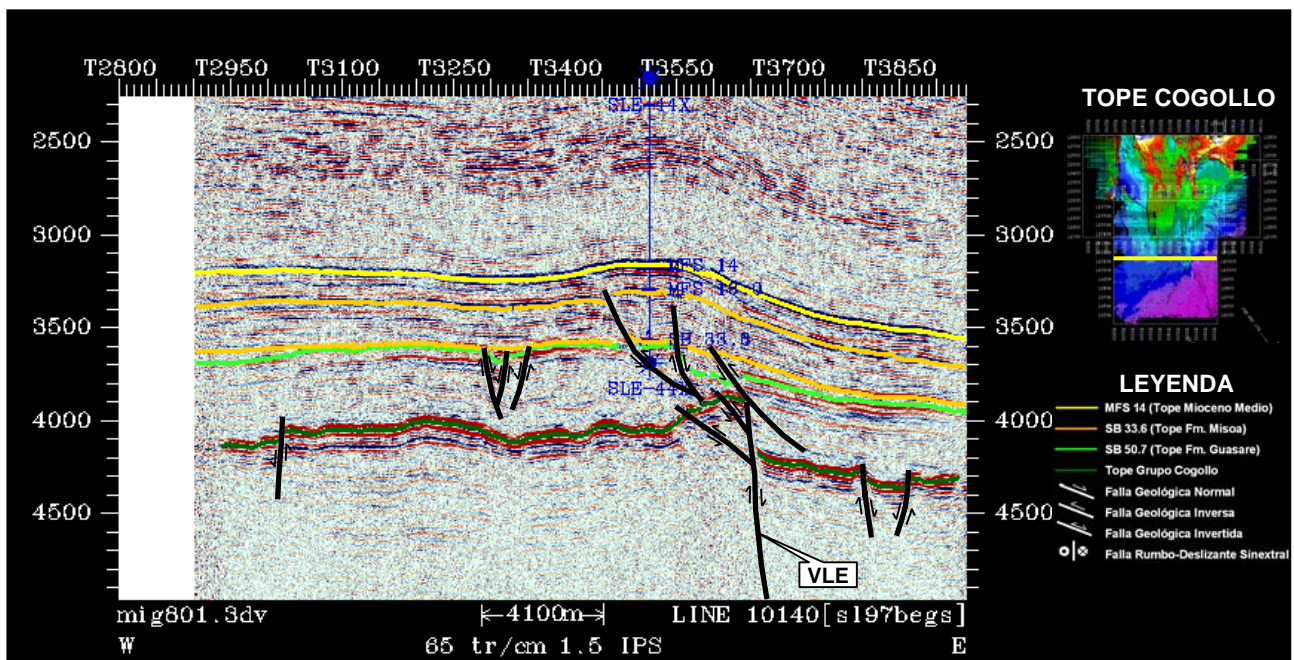


Figura 8. Sección Oeste-Este. Muestra desarrollo de pliegues en rocas Cenozoicas.

Cronología de los eventos de reactivación

El resultado del análisis de los mapas revela que en la región de SDL se generaron fallas normales, las cuales fueron posteriormente afectadas por un evento de transcurrencia que reactivó las fallas pre-existentes, en sentido de rumbo. Por otra parte, la interpretación de los perfiles sísmicos mostró que las fallas principales sufrieron por lo menos un evento de reactivación, generando nuevas estructuras en un nivel estructural superior, cuya formación fue determinada por la presencia de un nivel dúctil (lutitas de la Formación Colón). Algunas de estas nuevas fallas fueron a su vez reactivadas de normales a inversas.

Para determinar la evolución estructural del área de Sur del Lago y la cronología de los eventos de reactivación de las fallas, se realizó un ejercicio en el que se horizontalizaron cada uno de los eventos definidos, con el objetivo de entender

el comportamiento de cada estructura durante el tiempo de depósito. Aunque es un ejercicio explicativo bastante exitoso, tiene algunas limitaciones para el bloque yacente de la falla Lama-Icotea, el cual queda deformado después del segundo evento de horizontalización, lo cual es debido al corrimiento en el rumbo a lo largo de esa estructura. Adicionalmente el ejercicio se basa en el conocimiento regional de evolución de la cuenca. Las primeras estructuras parecen haberse generado durante el Jurásico en un periodo de apertura (rifting), que generó por lo menos la falla Lama-Icotea. El estilo estructural desarrollado en el área de SDL durante este evento, no es bien definido, ya que las unidades pre-Cretácicas se encuentran a profundidades mayores a los 4 segundos y la calidad de la sísmica es muy pobre. Sin embargo mediante la horizontalización de una sección sísmica a los 4.1 segundos se puede observar que la traza de esa falla, ya afectaba la secuencia del Cretácico Inferior como se muestra la Figura 9.

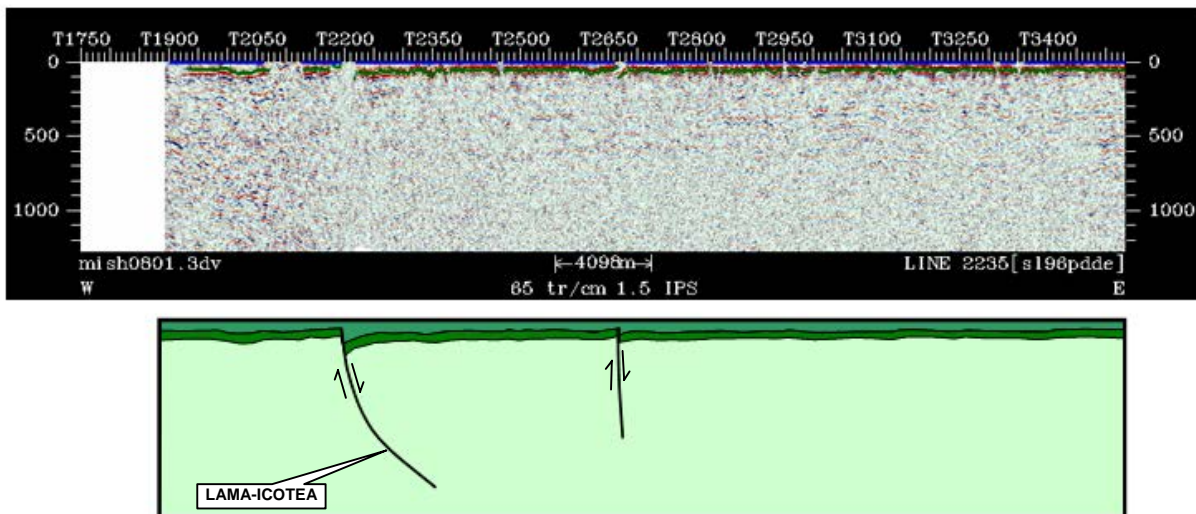


Figura 9. Sección sísmica horizontalizada a 4.1 s, donde se reconocen la traza de las fallas Lama-Icotea.

Durante ese tiempo se depositó una sucesión de rocas carbonáticas en un ambiente de aguas someras y que tuvo lugar bajo un escenario de margen pasivo, donde se originan las fallas normales SDL y VLE como respuesta a la acomodación de los sedimentos que se depositaron en el bloque colgante de la falla lítrica de Lama-Icotea. El Cretácico superior constituyó para SDL una época de relajación termal evidenciada por el espeso depósito de las lutitas de la Formación Colón (Fig. 10). Las fallas normales desarrolladas durante el Cretácico solamente afectan a las rocas del Cretácico inferior y no son observadas en las unidades suprayacentes, debido a la plasticidad de las lutitas. A pesar de ese hecho se observa que la falla Lama-Icotea continua activa dejando un espesor mayor de lutitas en el bloque colgante.

En el periodo comprendido entre el Paleoceno y el Eoceno Temprano, el estilo estructural en el área de SDL, estuvo asociado, a la reactivación de las fallas normales principales de alto ángulo y de rumbo N-S y a la formación de fallas normales de alto ángulo con dirección predominante N40W (Fig. 3). Esta reactivación se atribuye al desplazamiento hacia el Norte de la Siera Nevada de Santa Marta a lo largo de las fallas de Bucaramanga y Oca, lo que genera una extensión relativa en la parte de SDL. La falla Lama-Icotea se reactiva como falla normal y debido al efecto generado por la espesa secuencia de las lutitas de la Formación Colón, se desarrollan fallas normales sobre el bloque yacente de la Falla Lama-Icotea, en donde ocurre un crecimiento sedimentario en cada uno de los bloques colgantes de las estructuras neo-formadas y se depositan los sedimentos de la Formación Misoa (Fig. 11).

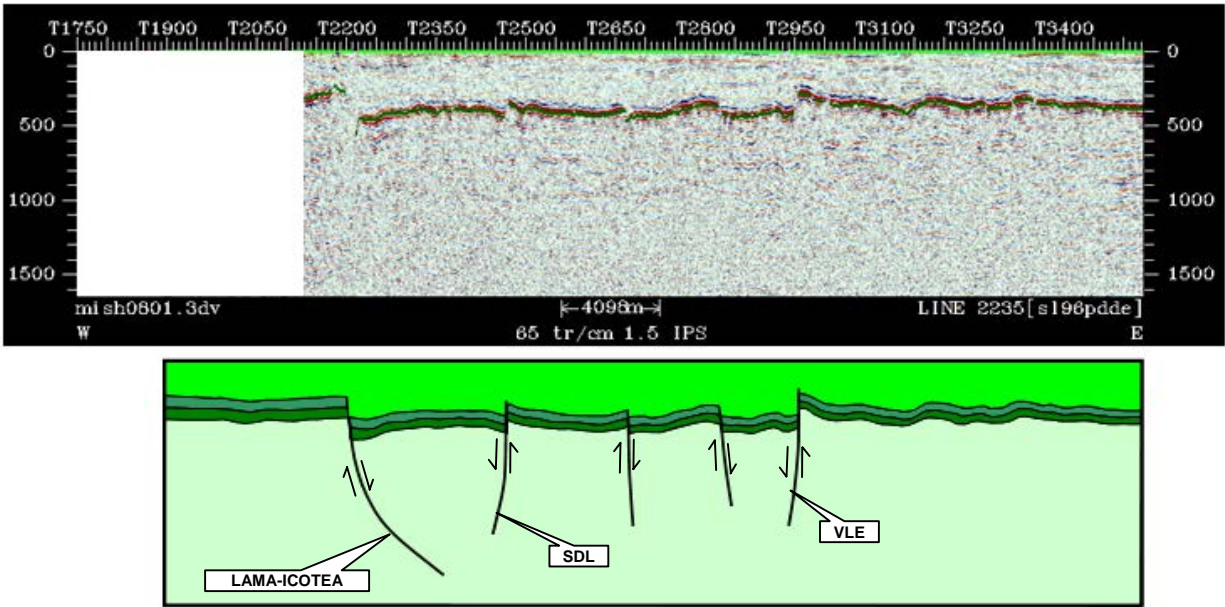


Figura 10. Sección Sísmica horizontalizada en el Cretácico Superior, que muestra las estructuras que tuvieron lugar durante el margen pasivo del Cretácico.

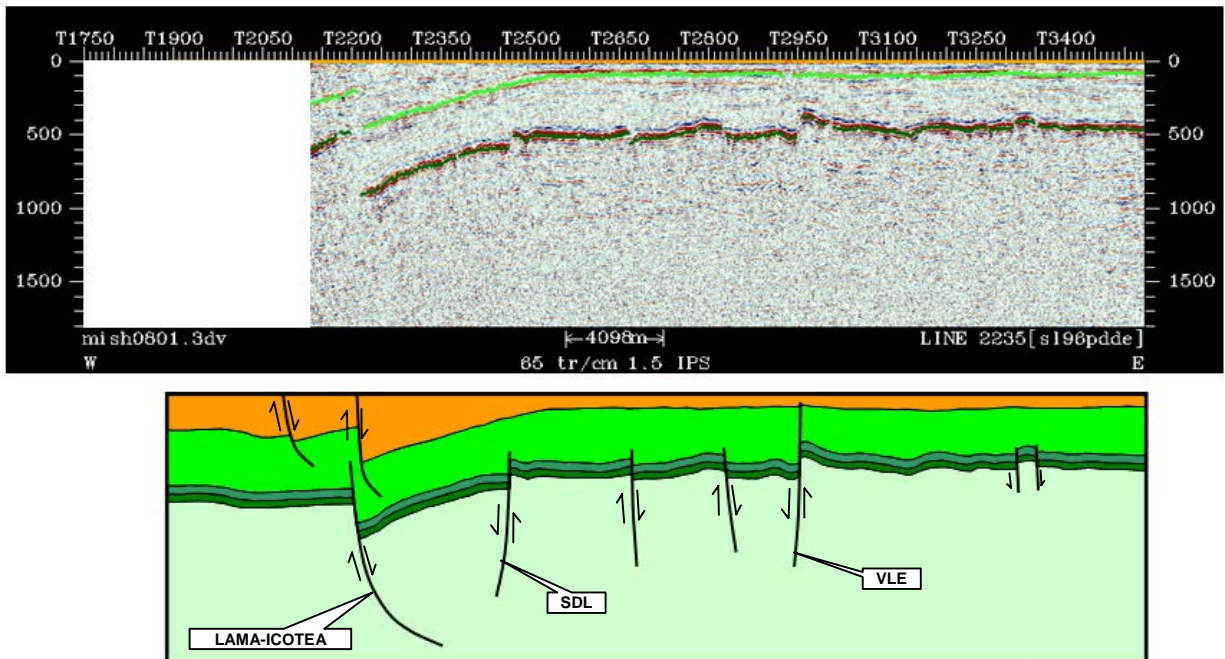


Figura 11. Sección horizontalizada en el Eoceno Temprano, que muestra mayor desarrollo de las fallas normales en el bloque yacente de la falla Lama-Icotea.

En el Oligoceno, como consecuencia del levantamiento de la Sierra de Perijá al Noroeste de la región, se generó una gran discordancia que erosionó parte de los depósitos de edad Eoceno. Esta erosión se atribuye a la posición de la región de SDL, la cual se encontraba cerca a la *buldge* de la cuenca de foreland generada hacia el occidente. Durante el Mioceno comienza el levantamiento de los Andes

de Mérida, lo cual originó un fuerte empuje en la zona de SDL desde el Sureste. Este empuje sirve de motor para reactivar fallas normales como fallas de rumbo lateral izquierdo, con desarrollo de fallas de atajo, butressing y estructuras en flor en las Fallas Lama-Icotea (Fig.s. 5, 6 y 12), SDL (Fig. 5) y VLE (Fig.s. 6 y 8). Adicionalmente, algunas fallas desarrolladas en el nivel estructural superior se reactivan de normales a

inversas y generan pliegues con ejes axiales de dirección preferencial N50E en sedimentos de edad Mioceno (Fig. 8), coincidiendo con el plegamiento regional desarrollado durante

este tiempo, como se observa en el *time-slice* de la Figura 13.

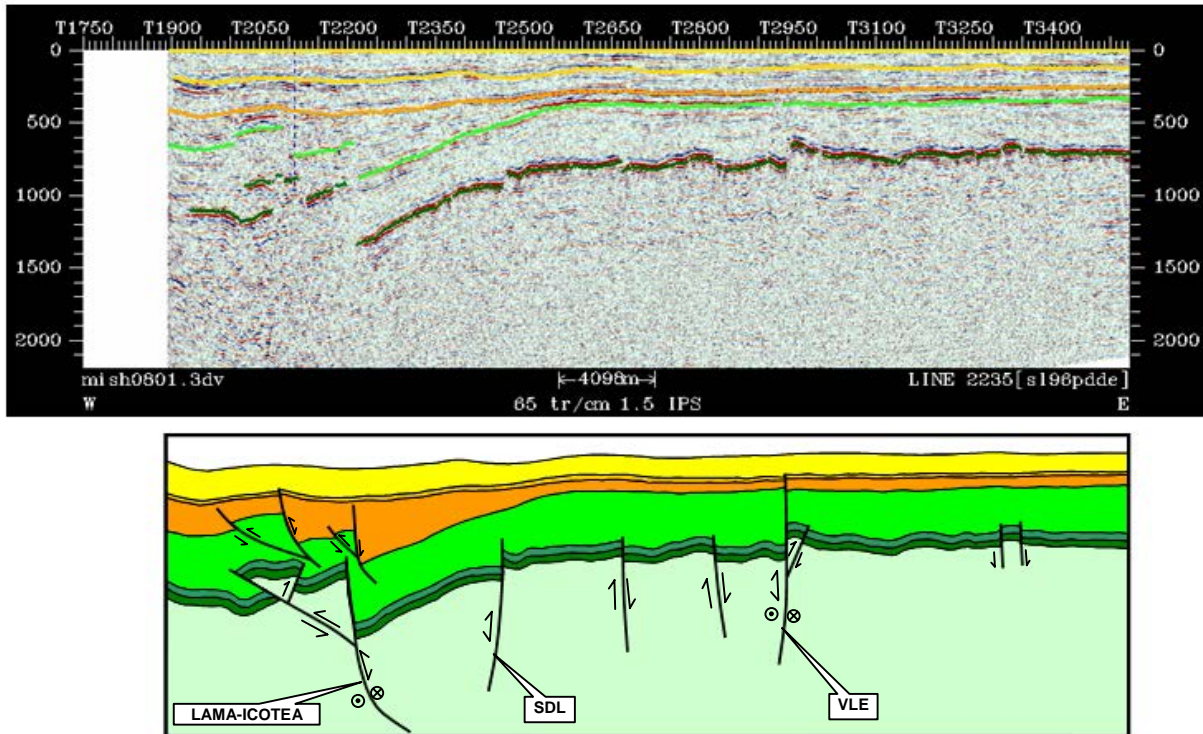


Figura 12. Sección horizontalizada en el Mioceno, que muestra el desarrollo de shortcuts en el bloque yacente de las fallas mayores y plegamiento de las rocas miocenas (Color Amarillo).

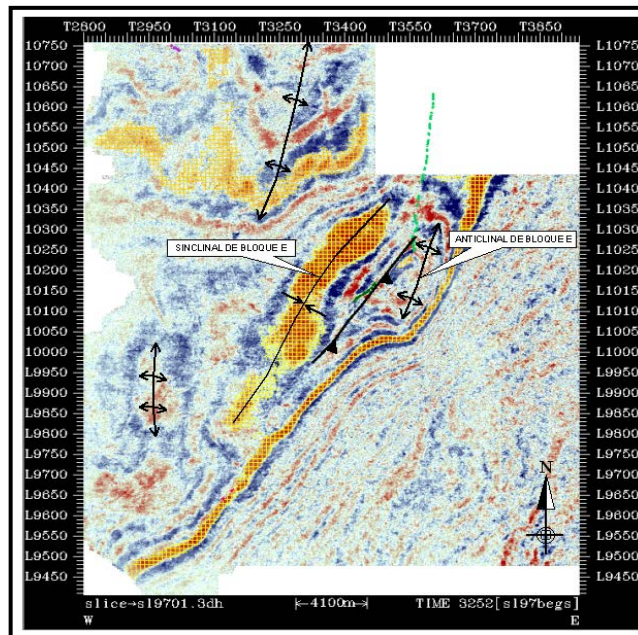


Figura 13. *Time-slice* a 3.2 sec, donde se muestra el desarrollo de pliegues en el sector Sur del área de Sur del Lago que afectan sedimentos de edad Mioceno.

Conclusiones

En general en este trabajo se considera la región SDL, para sedimentos de edad Cretácico, como una estructura antiformal, afectada por fallas normales. La principal de esas estructuras es la Falla Lama-Icotea que es una estructura lítrica que genera un *roll-over* al norte de la región. Asociadas a esta estructura se desarrollan fallas normales, que fueron reactivadas por lo menos en dos ocasiones durante el Cenozoico, la primera como fallas normales y la segunda como fallas de rumbo lateral izquierdo. Esta visión estructural cambia el concepto de cuenca *foredeep* para la región del SDL durante el Eoceno y ayuda a explicar por que la mayor cantidad de yacimientos están asociados a las fallas mayores

Referencias

- Audemard, F. E., 1991. *Tectonics of western Venezuela*. Ph.D. dissertation, Rice University, Houston, 245 p.
- Arzuman, Sadun, 2002. *3-D Structural and seismic stratigraphic interpretation of the Guasare-Misoa interval, VLE 196 area, Block V, Lamar Field, Lake Maracaibo, Venezuela*. Master of science dissertation, Texas A&M University, 109 p.
- Bralower, T., and M. Lorente, 2003. "Paleogeography and stratigraphy of the La Luna Formation and related Cretaceous anoxic depositional systems: Palaios". **v. 18**, p. 301–304.
- Castillo, M. V., and P. Mann, 2006. "Cretaceous to Holocene structural and stratigraphic development in south Lake Maracaibo, Venezuela, inferred from well and three-dimensional seismic data". *AAPG Bulletin*, **v. 90**, p. 529–565.
- Colmenares, L., and M. Zoback, 2003. "Stress field and seismotectonics of northern South America: Geology". **v. 31**, p. 721–724.
- Cortés, M., and J. Angelier, 2005. "Current states of stress in the northern Andes as indicated by focal mechanisms of earthquakes: Tectonophysics". **v. 403**, p. 59–75.
- Escalona, A., and P. Mann, 2003. "Three-dimensional structural architecture and evolution of the Eocene pull-apart basin, central Maracaibo Basin, Venezuela: Marine and Petroleum Geology". **v. 20**, p. 141–161.
- Escalona, A., and P. Mann, 2006. "An overview of the petroleum system of Maracaibo Basin". *AAPG Bulletin*, **v. 90**, p. 657–678.
- Kellogg, J., and W. Bonini, 1982. "Subduction of the Caribbean plate and basement uplifts in the overriding South American plate: Tectonics", **v. 1**, p. 251–276.
- Lugo, J., 1991. *Cretaceous to Neogene tectonic control on sedimentation: Maracaibo Basin, Venezuela*. Ph.D. dissertation, University of Texas at Austin, Austin, 219 p.
- Lugo, J., and P. Mann, 1995. "Jurassic –Eocene tectonic evolution of Maracaibo Basin, Venezuela", in A. Tankard, S. Suarez, and H. Welsink, eds., *Petroleum basins of South America: AAPG Memoir 62*, p. 699–725.
- Maze, W., 1984. "Jurassic La Quinta Formation in the La Sierra de Perijá, northwestern Venezuela; geology and tectonic environment of red beds volcanic rocks", in W. Bonini, R. Hargraves, and R. Shagam, eds., *The Caribbean–South American plate boundary and regional tectonics: Geological Society of America. Memoir 162*, p. 263–282.
- Mendez, J., Baquero, M., 2008. Sedimentación del Grupo Cogollo Facies, Reservorios, Porosidad y Niveles de Roca Madre. Sistema Petrolero Cuenca de Maracaibo. UCV-PDVSA.
- Munro, S., 1985. "Lake Maracaibo revisited". VI Congreso Venezolano, Caracas, **v. 3–4**, p. 2540–2556.
- Parnaud, Y., Y. Gou, J. Pascual, M. Capello, I. Truskowski, and H. Passalacqua, 1995. "Stratigraphic synthesis of western Venezuela", in A. Tankard, S. Suarez, and H. Welsink, eds., *Petroleum basins of South America: AAPG Memoir 62*, p. 681–698.
- Renz, O., 1981. *Venezuela*, in R. Reymont and P. Bengtson, eds., *Aspects of mid-Cretaceous regional geology*. London, Academic Press, p. 197–220.
- Richard, P., 1990. *Champs des failles au dessus d'un décrochement de socle: modélisation expérimentale. Mems Documents Centre Armoricain d'Etude Structurale des Socles 34*.
- Taboada, A., L. Rivera, A. Fuenzalida, A. Cisternas, H. Phillip, H. Bijwaard, J. Olaya, and C. Rivera, 2000, "Geodynamics of the northern Andes: Subductions and intracontinental deformation (Colombia): Tectonics", **v. 19**, p. 787–813.