

SERVICIO
GEOLÓGICO
COLOMBIANO



MinMinas
Ministerio de Minas y Energía

PROSPERIDAD
PARA TODOS

ANEXO N
COMPILACIÓN DE LA CUENCA DEL VALLE MEDIO DEL
MAGDALENA

Bogotá, Diciembre de 2014

TECTÓNICA
GEOCIENCIAS BÁSICAS

ANEXO N
COMPILACIÓN DE LA CUENCA DEL VALLE MEDIO DEL
MAGDALENA

Por:

Edinson Lozano

Geólogo

Nadezhda Zamora

Geóloga

Bogotá, Diciembre de 2014

CONTENIDO

	Pág.
1. LOCALIZACIÓN	5
2. GEOLOGÍA	6
2.1 ESTRATIGRAFÍA Y TECTÓNICA	6
2.1.1 Apertura Mesozoica de la cuenca VMM.....	6
2.1.2 Desde el Cretácico tardío hasta el Cenozoico	9
2.1.3 Sedimentación.....	10
2.2 ELEMENTOS ESTRUCTURALES PRINCIPALES.....	10
2.2.1 Terreno Noroccidental de la cuenca VMM.	10
2.2.2 Terreno Suroccidental de la Cuenca del VMM.....	11
2.2.3 Terreno Zona Central de la Cuenca del VMM.....	12
2.2.4 Terreno Piedemonte de la Cuenca del VMM.	14
2.2.5 Terreno Sur de Girardot de la Cuenca del VMM.	15
3. GEOFÍSICA.....	17
4. SISTEMA PETROLERO	21
4.1 MODELAMIENTO GEOLOGICO DE GENERACIÓN Y EXPULSIÓN DE HIDROCARBUROS	23
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	25

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-1 Localización de la cuenca Valle Medio del Magdalena.....	5
Figura 2-1 Evolución tecto-sedimentaria de la cuenca VMM.	7
Figura 2-2 Evolución esquemática de la cuenca VMM. Muestra el levantamiento de las cordilleras y la evolución de la cuenca de ante-arco a intra-arco.....	8
Figura 2-3 Evolución tecto-sedimentaria de la cuenca VMM.	9
Figura 2-4 Diagrama Wheeler de la estratigrafía regional de las cuencas: Cordillera Oriental, Llanos y VMM.	11
Figura 2-5 Secciones sísmicas interpretadas del terreno estructural NW.12	12
Figura 2-6 Terrenos estructurales de la cuenca del VMM.	13
Figura 2-7 Sección sísmica interpretada del terreno estructural SW.....	14
Figura 2-8 Sección sísmica interpretada del terreno estructural Central. 15	15
Figura 2-9 Sección sísmica interpretada del terreno estructural Piedemonte.....	16
Figura 3-1 Mapa de anomalía gravimétrica de Bouguer de la MMB.	18
Figura 3-2 Mapa de intensidad magnética total reducida al polo de la MMB.	19
Figura 3-3 Mapa estructural del basamento económico pre-Cretácico de la MMB.	20
Figura 4-1 Localización del Pseudopozo en la Línea sísmica S-1978-26 en el VMM.....	23
Figura 4-2 Curva de máximo enterramiento de la cuenca de VMM.	24

1. LOCALIZACIÓN

Esta cuenca se encuentra ubicada entre las cordilleras central y oriental, está limitada al N con el sistema de fallas Espíritu Santo, al NE con el sistema de fallas de Bucaramanga-Santa Marta, al SE por el sistema de fallas Bituima y La Salina, al S con el cinturón plegado de Girardot y al W con los sedimentos del Neógeno que cubren la Serranía de San Lucas y el basamento de la Cordillera Central (Figura 1-1).

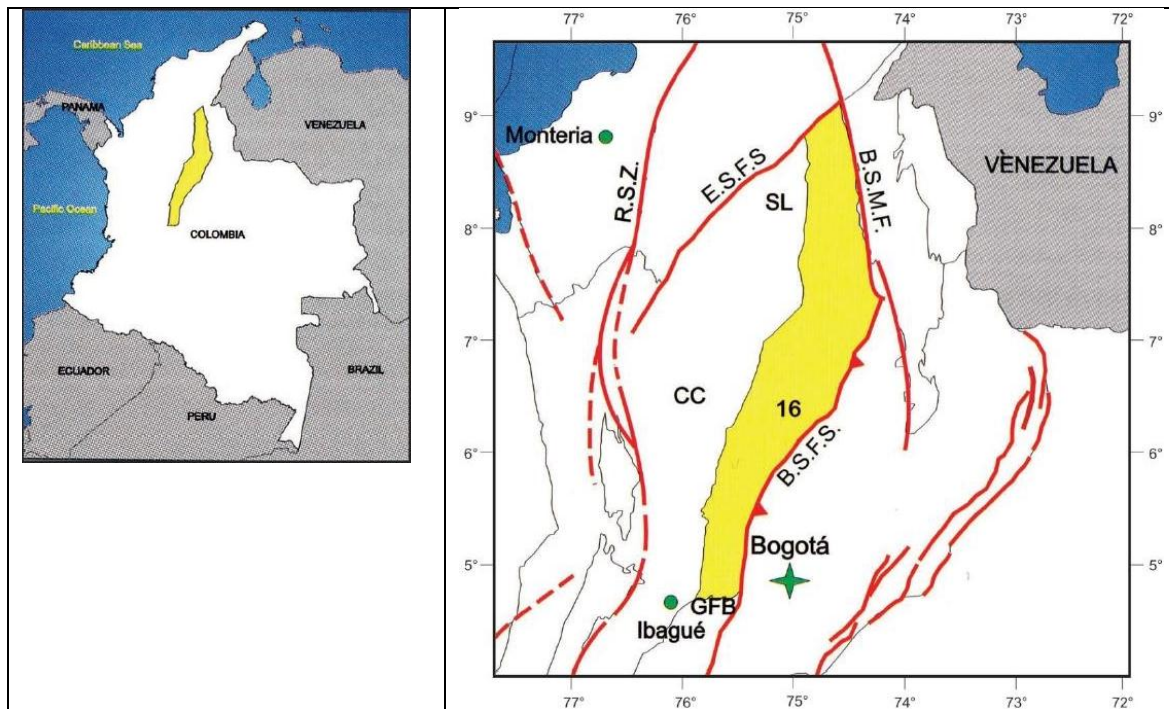


Figura 1-1 Localización de la cuenca Valle Medio del Magdalena.

En el recuadro izquierdo se muestra la ubicación de la cuenca en el territorio colombiano. En el recuadro derecho los límites estructurales de la cuenca.
Tomado de (Barrero, Pardo, Vargas, & Martínez, 2007).

2. GEOLOGÍA

El levantamiento de las cordilleras Central y Oriental da origen a la apertura donde se depositó la cuenca del Valle medio del Magdalena (VMM). Así, la evolución de esta cuenca inicia al mismo tiempo que el levantamiento de estas dos cordilleras (Mesozoico) (Sarmiento-Rojas, 2001).

2.1 ESTRATIGRAFÍA Y TECTÓNICA

La secuencia estratigráfica en la cuenca VMM inicia con rocas cristalinas del paleozoico que se propagan en sentido W incluyendo la Cordillera Central, sobre las que se depositan rocas del Triásico-Jurásico, donde inicia la secuencia sedimentaria.

La cuenca VMM ha pasado por una evolución intra-arco con el levantamiento de la cordillera central, una cuenca ante-arco con la finalización del levantamiento de la misma cordillera y una cuenca intra-montana con el levantamiento de la cordillera Oriental (Figura 2-2). Esta cuenca se ha visto afectada por diferentes procesos tectónicos que han dado origen a los sistemas de fallas de La Salina, Guaicaramo y Soapaga (Sarmiento, 2011).

2.1.1 Apertura Mesozoica de la cuenca VMM

La apertura que inicio en el Mesozoico se caracteriza por esfuerzos de rumbo con componente extensional perpendicular, que produce una deformación en la litosfera y adelgazamiento en la corteza, dando inicio a la apertura al E de la cordillera Central. Este evento coincide con el inicio del desarrollo de las fallas La Salina, Soapaga y Guaicaramo y con el levantamiento de la cordillera Central que origina la cuenca intra-arco (relaciona con los esfuerzos de rumbo mencionados anteriormente) (Sarmiento-Rojas, 2001).

En la segunda mitad del Mesozoico inicia la depositación de la secuencia sedimentaria, la cual disminuye su espesor a medida que siguen actuando los esfuerzos extensionales, también se generan pequeñas cuencas intra-arco que al final de esta era y debido a un decaimiento termal constituyen una sola cuenca regional que cubre las cuencas de VMM, Cordillera Oriental y Llanos

Orientales (Figura 2-1). A finales de la segunda mitad del Mesozoico inicia el levantamiento de la parte occidental de la cordillera oriental, generando cambios en la secuencia sedimentaria, cambios en dirección y en las componentes de las fallas.

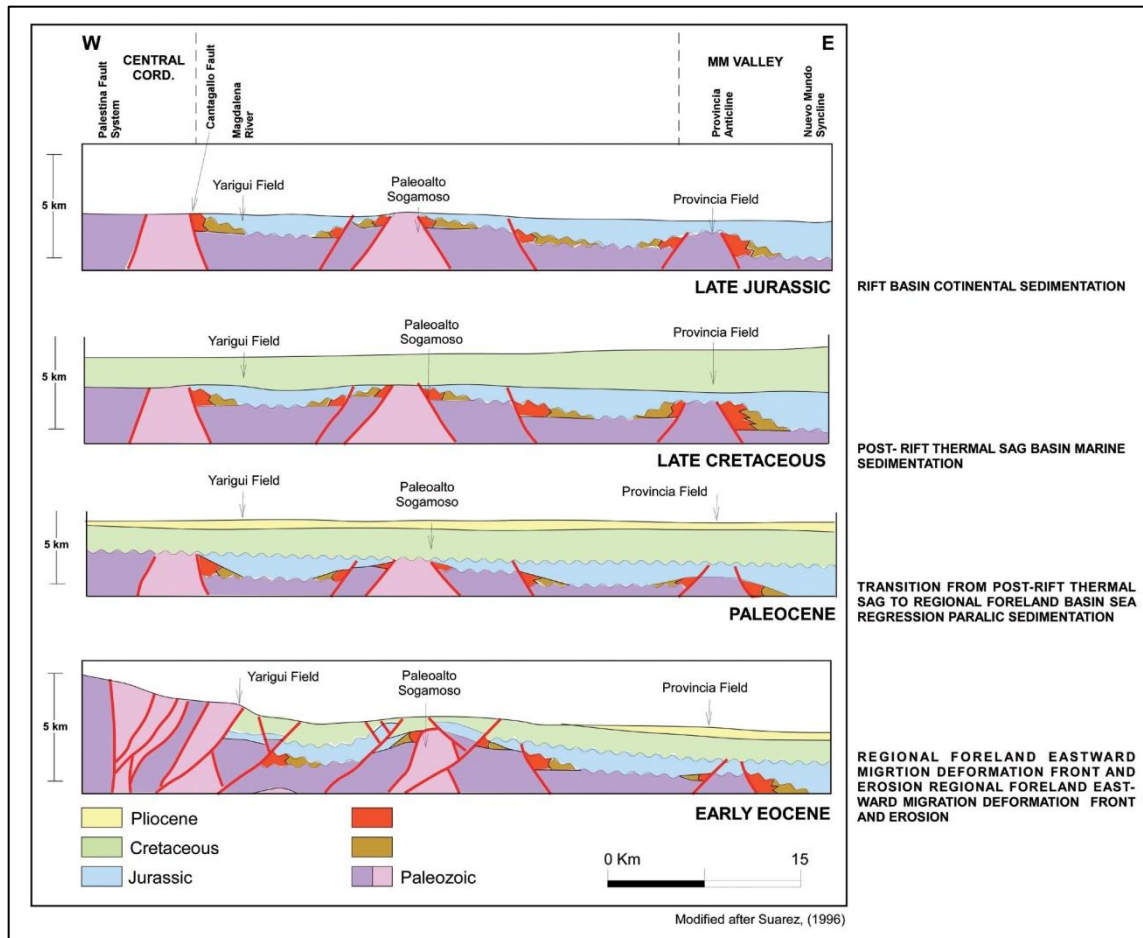


Figura 2-1 Evolución tecto-sedimentaria de la cuenca VMM.

Se ve como la cuenca del VMM formaba parte de una megacuenca de la que hacían parte también las cuencas de los Llanos orientales y de la Cordillera Oriental; igualmente se evidencia el desarrollo de los sistemas de fallas que durante el Cenozoico ocasionaron su división. Modificado de Suarez, (1996) (Citado por Sarmiento, 2011).

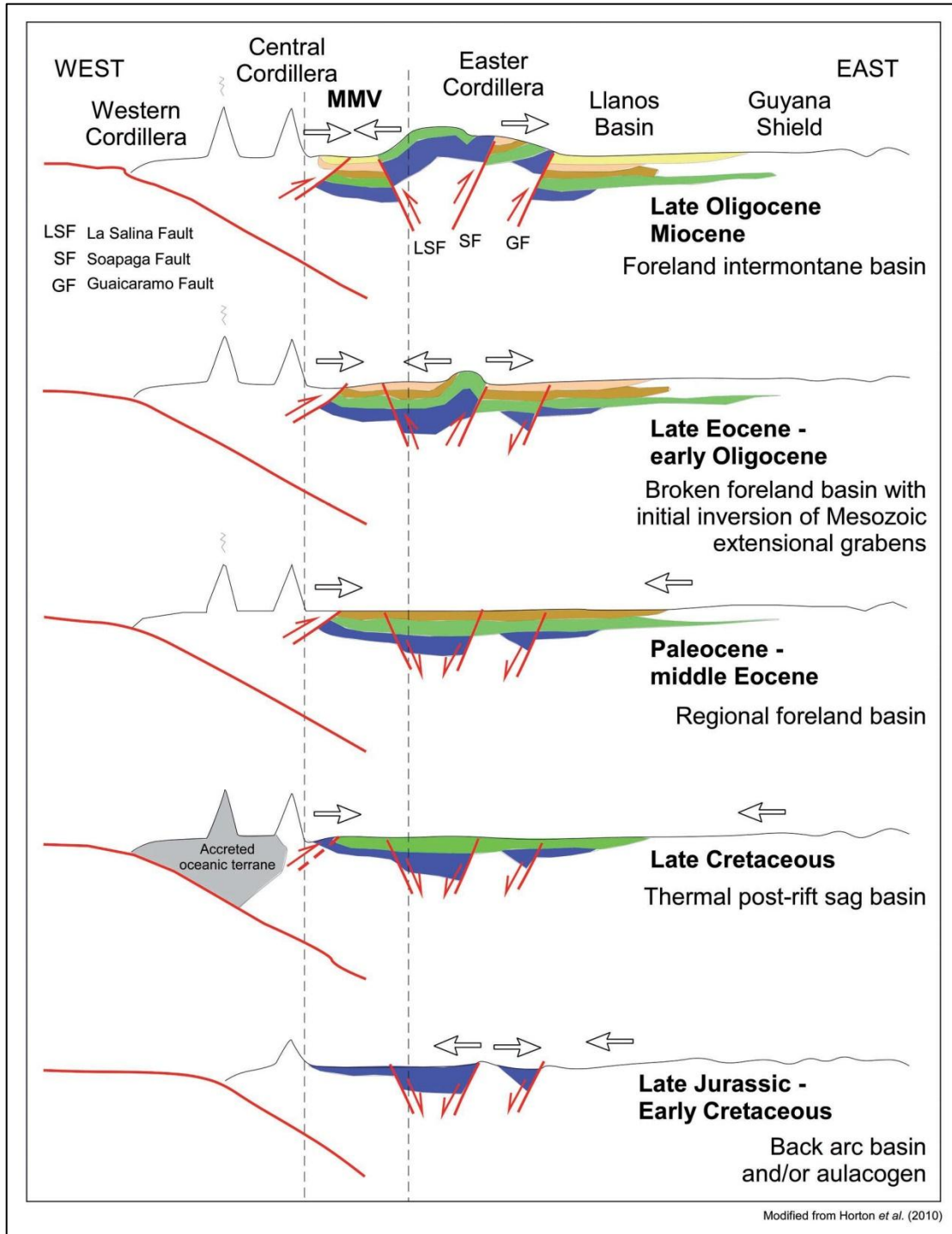


Figura 2-2 Evolución esquemática de la cuenca VMM. Muestra el levantamiento de las cordilleras y la evolución de la cuenca de ante-arco a intra-arco.

Modificado de Horton et al., (2010) (Citado por Sarmiento, 2011).

2.1.2 Desde el Cretácico tardío hasta el Cenozoico

En el cretácico tardío se genera un choque de la corteza oceánica con el continente, esto ocurre al W colombiano, genera esfuerzos compresionales que aportan al levantamiento de la cordillera central y dan origen a la megacuenca ante-arco. Estos esfuerzos migraron desde la Cordillera Central hasta la actual cuenca del VMM invirtiendo las fallas normales que se habían desarrollado durante la apertura, dividiendo de esta forma la megacuenca ante-arco en las cuencas Llanos y cordillera Oriental y finalizando el cenozoico se consolida la cuenca intramontana de VMM (Figura 2-3) (Gómez, 2001).

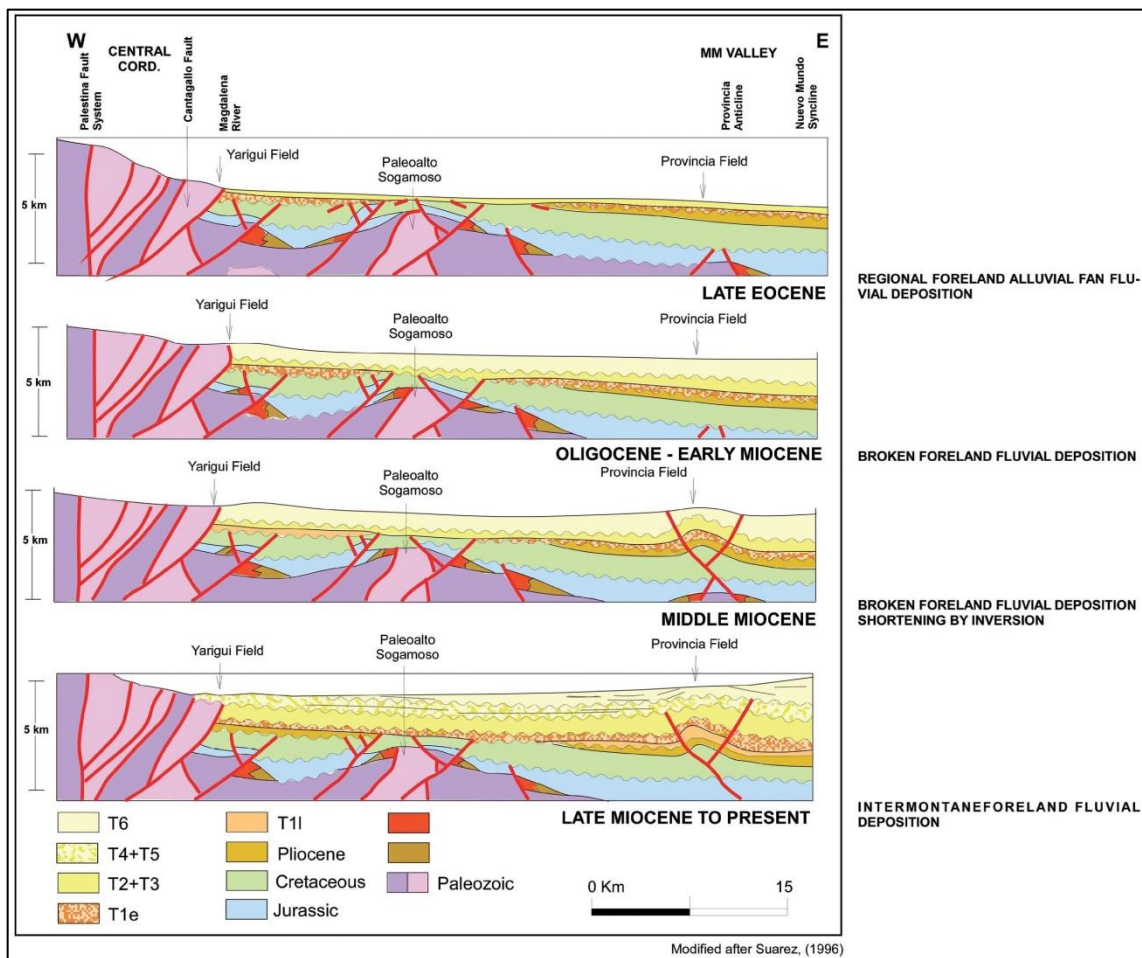


Figura 2-3 Evolución tecto-sedimentaria de la cuenca VMM.

Muestra la elevación de la cordillera central y la depositación de sedimentos de tipo continental en la cuenca, estos sedimentos sufrieron deformación debido a los esfuerzos que dieron lugar a la cordillera oriental.

Modificado de Suarez,(1996) (Citado por Sarmiento, 2011).

2.1.3 Sedimentación

La depositación de las formaciones que integran la cuenca del VMM inicia al final de la primera parte del Mesozoico con ambientes continentales, cambiando a marinos en la segunda parte del mesozoico y finalizando con sedimentos continentales en el Cenozoico (Sarmiento-Rojas, 2001). Las secuencias que se depositaron en esta cuenca se presentan en la Figura 2-4 y son:

- Jurásico tardío a Valanginiano, contempla las formaciones Los Santos y Cumbre.
- Hauteriviano, contempla la formación Rosa Blanca.
- Barremiano al Aptiano, contempla la formación Paja la cual sufre un evento erosivo.
- Albiano al Senomaniano, contempla las formaciones Tablazo, Simití y Salto.
- Turoniano al Santoniano, contempla la formación La Luna.
- Campaniano al Maastrichtiano, contempla la formación Umir.
- Paleoceno temprano, contempla la formación Lisama, esta sufre un proceso erosivo.
- Eoceno medio a tardío, contempla las formaciones La Paz y Esmeraldas.
- Oligoceno, contempla las formaciones Mugrosa y Colorado, esta última presenta erosión.
- Mioceno medio, contempla la formación Real.
- Plioceno, contempla la formación Mesa.

2.2 ELEMENTOS ESTRUCTURALES PRINCIPALES

Debido a los diferentes procesos geológicos que dieron origen a la cuenca del VMM, se encuentran diferentes tipos de estructuras; al S un área poco deformada y al N se encuentran fallas y pliegues que alcanzan a afectar toda la secuencia sedimentaria.

Se diferencian cinco (5) terrenos estructurales según su origen y sedimentología (Figura 2-6):

2.2.1 Terreno Noroccidental de la cuenca VMM.

Se ubica al NW de la cuenca bordeando el flanco E de la cordillera Central y se caracteriza por que todas las capas se orientan en dirección al E (Figura 2-5) y sus fallas son extensionales con componente normal, desplazamiento perpendicular derecho y subparalelas a las fallas que forman las fosas

tectónicas del Triásico-Jurásico. Como prueba de la inversión del Cenozoico se encuentran las fallas que están al E del terreno, las cuales cambian su dirección de SE a NW y su componente normal a inversa; estas fallas son parte importante del sistema petrolero, siendo trampa estructural en los campos Totumal, Buturama, Peñas Blancas, Casabe, Galan, Cantagallo, Llanito, Las Garzas, Cristalino y Sogamoso, entre otras (Beltran & Romero, 1992).

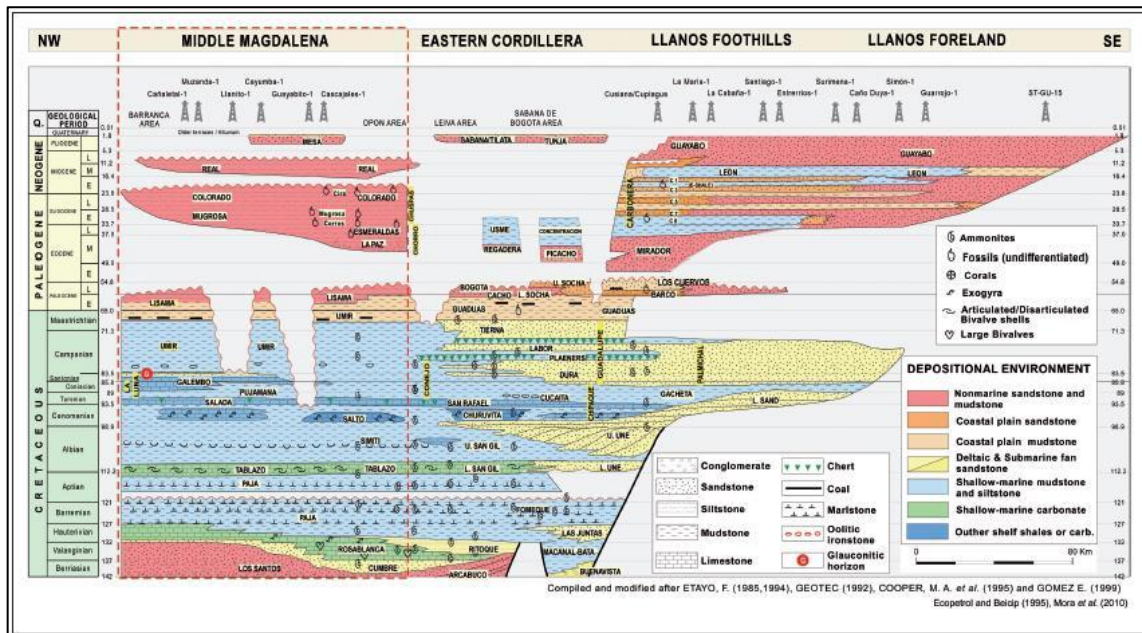


Figura 2-4 Diagrama Wheeler de la estratigrafía regional de las cuencas: Cordillera Oriental, Llanos y VMM.

Se muestra la correlación de las formaciones entre las tres cuencas con su correspondiente ambiente deposicional, composición lítica y faunística.

Tomado de Etayo, 1985-1994; GEOTEC 1992-2000; Cooper, 1995; Gómez, 2001; Sarmiento-Rojas, 2001 y Mora et al., 2010 (Citado por Sarmiento, 2011).

2.2.2 Terreno Suroccidental de la Cuenca del VMM.

Ubicado entre los terrenos NW y Girardot, se caracteriza por (Figura 2-7):

- Todas sus capas se encuentran en dirección E.
- La sección sedimentaria del Cretácico se encuentra ausente debido a la degradación de la misma.
- Hay presencia de fallas que afectan la totalidad de los sedimentos desde el basamento hasta el Cenozoico.

2.2.3 Terreno Zona Central de la Cuenca del VMM.

El terreno Central se ubica entre los terrenos NW y Piedemonte; el paleo-alto Cáchira hace parte de este. Se caracteriza por fallas inversas (Figura 2-8) y pliegues que afectan la secuencia sedimentaria que va desde el mesozoico hasta el Cenozoico; su desarrollo está relacionado con los eventos extensivos y compresivos que dieron origen a las cordilleras Central y Oriental. El paleo-alto Cáchira tiene forma triangular debido a las fallas de Cáchira e Infantas que se configuran como límites estructurales. Este paleo-alto se encuentra ubicado al S del terreno Central (Córdoba, López, Rolón, Buchelli, & Sotelo, 2001).

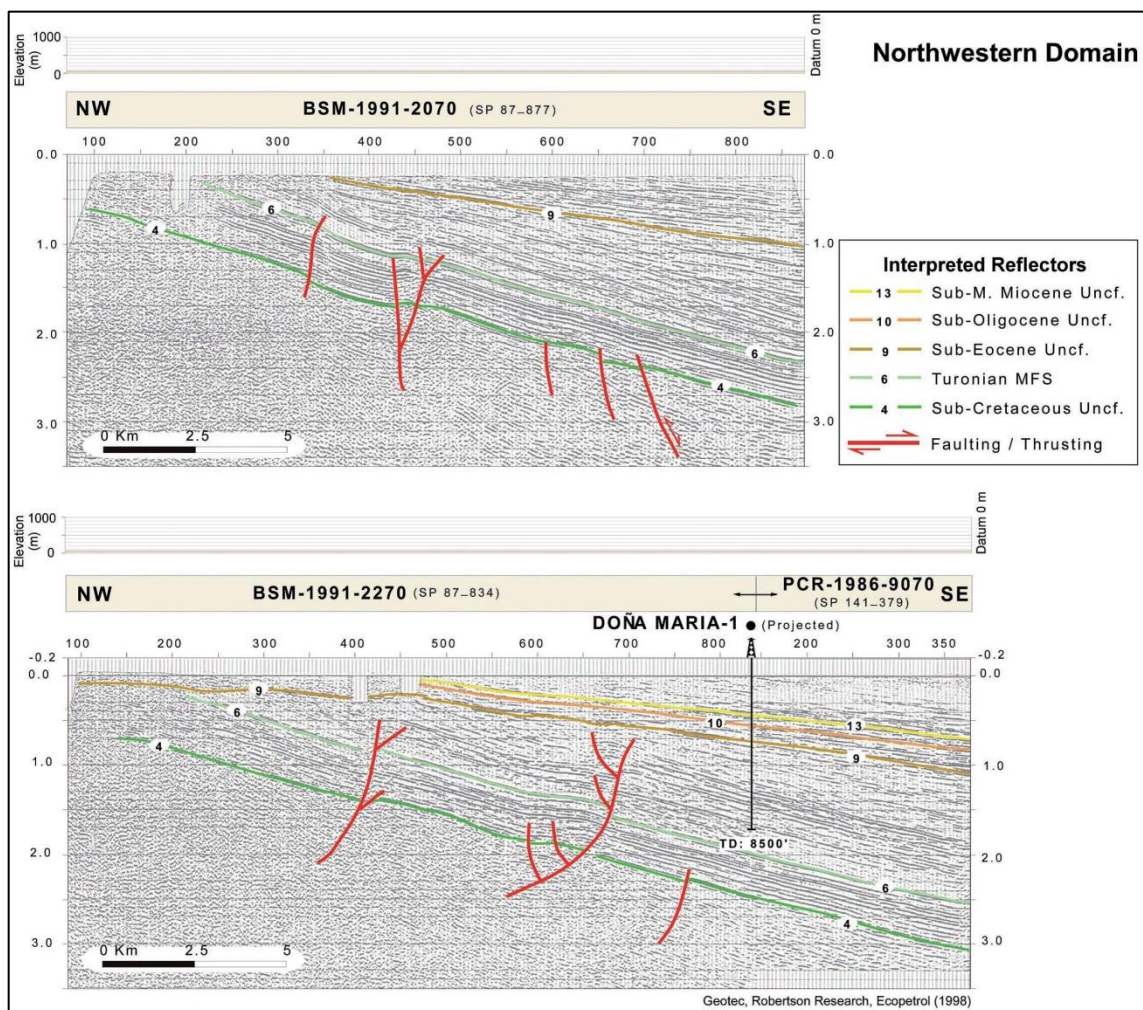


Figura 2-5 Secciones sísmicas interpretadas del terreno estructural NW. Muestra las diferentes componentes de las fallas y como las capas se inclinan hacia el E. Tomada de Geotec, Robertson Research, ECOPETROL, 1998 (Citado por Sarmiento, 2011).

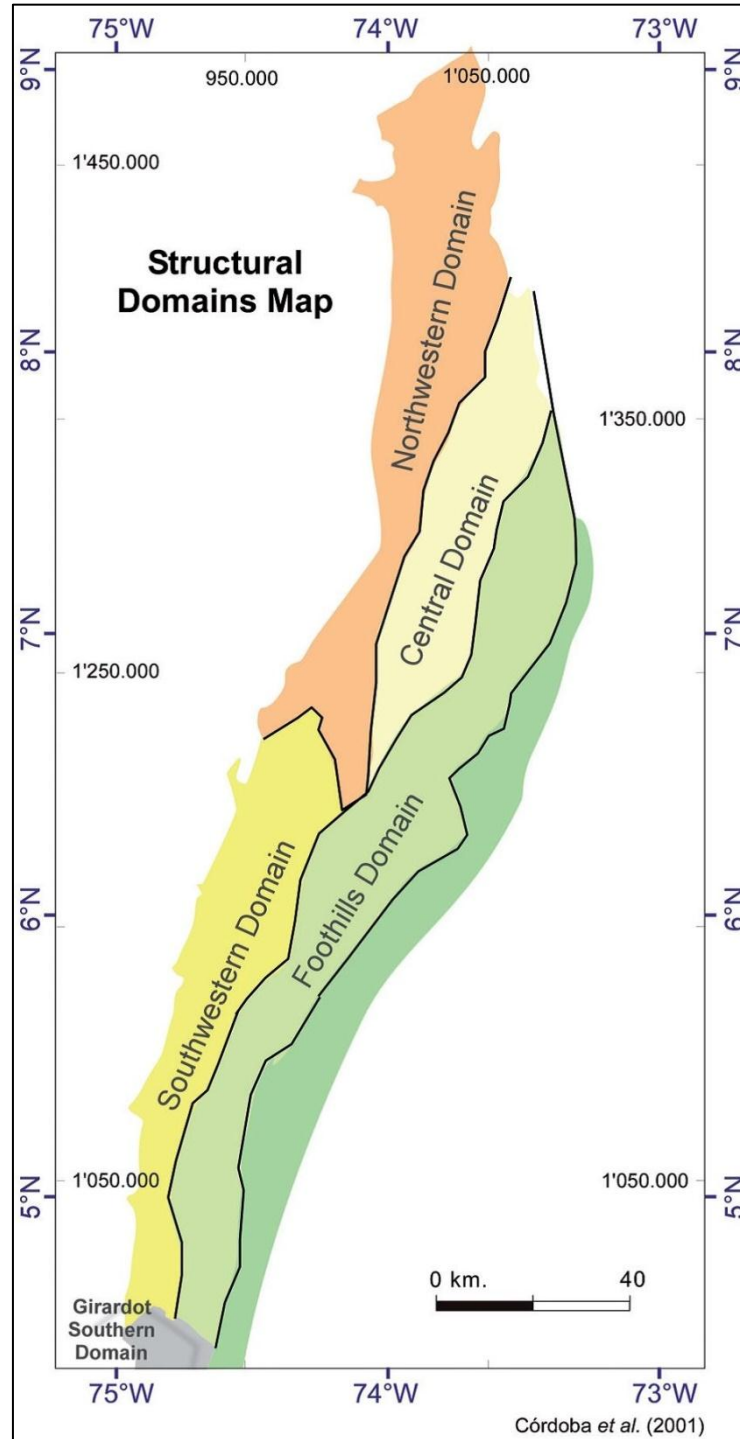


Figura 2-6 Terrenos estructurales de la cuenca del VMM.

Muestra la división y ubicación de los terrenos dentro de la cuenca.

Tomado de Córdoba et al., 2001 (Citado por Sarmiento, 2011).

2.2.4 Terreno Piedemonte de la Cuenca del VMM.

Ubicado en la totalidad del sector E de la cuenca, bordeando la Cordillera Central; se caracteriza por amplios sinclinales, anticlinales angostos y fallas inversas; al igual que el terreno Central se vio afectado por los procesos extensionales, compresivos y de inversión que dieron origen a las cordilleras y que generaron estructuras como fallas inversas con diferentes maneras de afectar los sedimentos (dúplex) (Restrepo-Pace, Colmenares, Higuera, & Mayorga, 2004) (Figura 2-9).

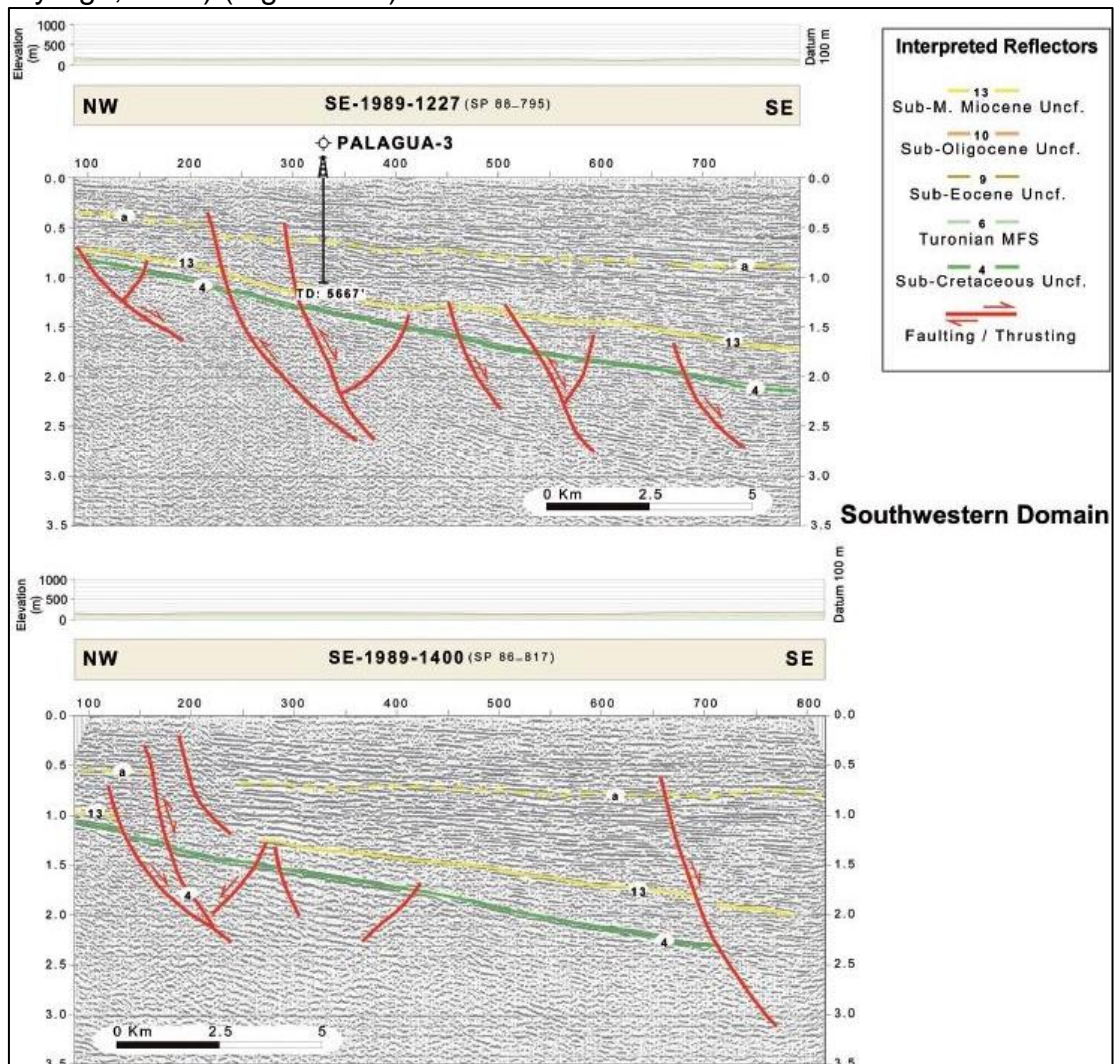


Figura 2-7 Sección sísmica interpretada del terreno estructural SW.

Así como en el terreno NW se muestra como las capas se inclinan hacia el E y los diferentes tipos de fallas. Se resalta la trampa estructural que se configura en el pozo Palagua-3. Tomado de Geotec, Robertson Research, ECOPETROL, 1998 (Citado por Sarmiento, 2011).

2.2.5 Terreno Sur de Girardot de la Cuenca del VMM.

Ubicado en el extremo S de la cuenca. Debido a esfuerzos positivos y a regímenes de rumbo con acortamiento perpendicular, se encuentran fallas en forma de flor y fallas reactivadas durante la última parte del Cenozoico. Entre las estructuras más destacadas en este terreno se encuentran: la falla de Cambao y el sinclinal de Guaduas y el cinturón plegado de Girardot (Cortés, Collett, & Angelier, 2006).

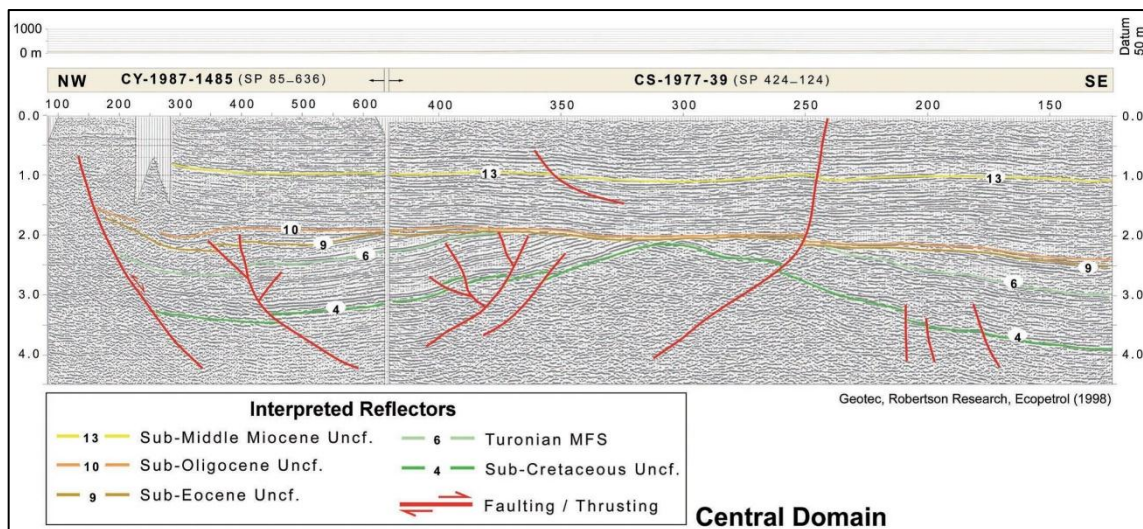


Figura 2-8 Sección sísmica interpretada del terreno estructural Central. Al NW se muestran las fallas que han sufrido inversión y que solo afectan al Cretácico. Tomado de Geotec, Robertson Research, ECOPETROL, 1998 (Citado por Sarmiento, 2011).

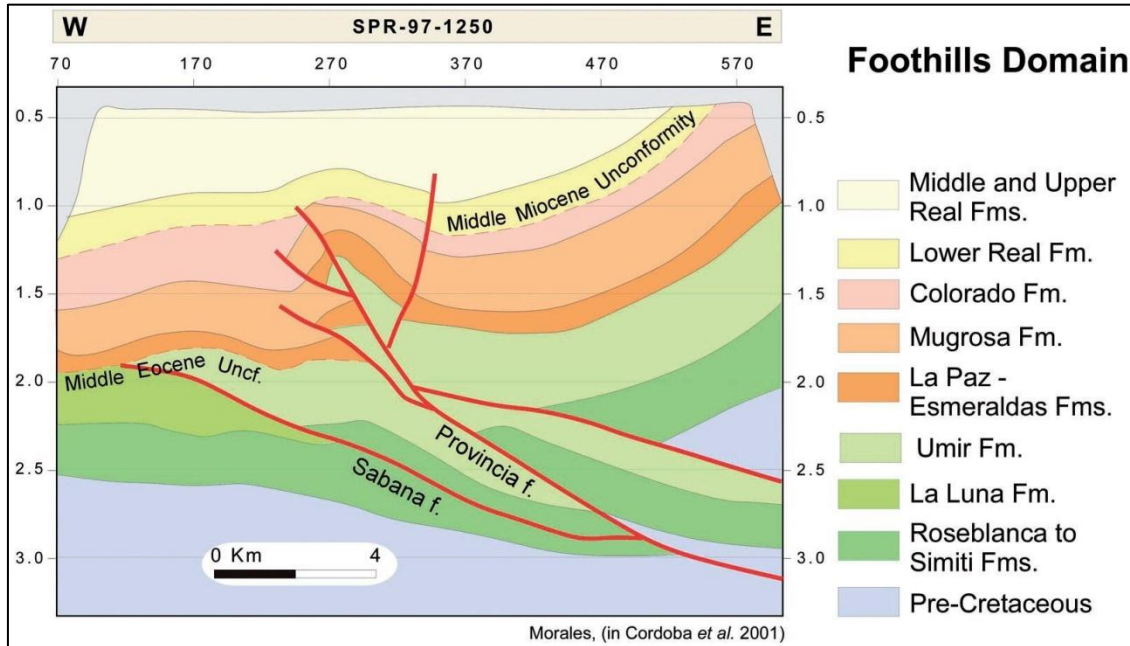


Figura 2-9 Sección sísmica interpretada del terreno estructural Piedemonte. Se muestra el acortamiento de la cuenca en la parte central, producido por las fallas Provincia y Sabana, además estas fallas pliegan los sedimentos. Tomada de Córdoba et al., 2001 (Citado por Sarmiento, 2011).

3. GEOFÍSICA

Los datos gravimétricos y magnetométricos son particularmente útiles para revelar la presencia de grandes estructuras y macizos sepultados, así como para cartografiar la topografía del basamento.

La Figura 3-1 y la Figura 3-2 muestran los mapas de anomalías gravimétricas de Bouguer y de anomalías magnéticas reducidas al polo de la MMB, compilados por Graterol & Vargas, (2010).

Para el mapa gravimétrico de la Figura 10, los valores de gravedad teórica se calcularon de IGSN71 y WGS84 y se usaron las densidades de 2.67 g/cm³ y 1.03 g/cm³ para correcciones en tierra (rocas) y océano (agua de mar) respectivamente (Graterol & Vargas, 2010). Se observaron valores mínimos locales los cuales representan los espesores máximos de la columna sedimentaria en la cuenca.

El mapa de intensidad magnética total reducida al polo, Figura 11, representa una compilación (COLMAG.DAT Magnetic Data Base of Colombia) de datos adquiridos por la ANH entre los años 2007 a 2010, más información disponible en ECOPETROL (Rey, Briceño, Cerón, & Vargas, 2008).

3.1 MAPA DEL BASAMENTO

La Figura 3-3 muestra un mapa a la profundidad del tope del basamento económico calculado por Cerón, (2004) de un mapa de anomalía gravimétrica de Bouguer y un mapa estructural de la Formación Rosablanca (Córdoba et al., 2001), calibrado con varios pozos y afloramientos del basamento en la Cordillera Central. De acuerdo con esta interpretación, el tope del basamento económico (rocas pre-Cretácicas) se tiende a confundir con el tope de la Formación Rosablanca. Este mapa muestra claramente el incremento en profundidad del basamento hacia el este, sugiriendo una inflexión inclinada de la corteza. El mapa también muestra la paleo-altura de Cáchira formando un arco con una orientación aproximada N-S en la parte sur y NNE en la parte norte.

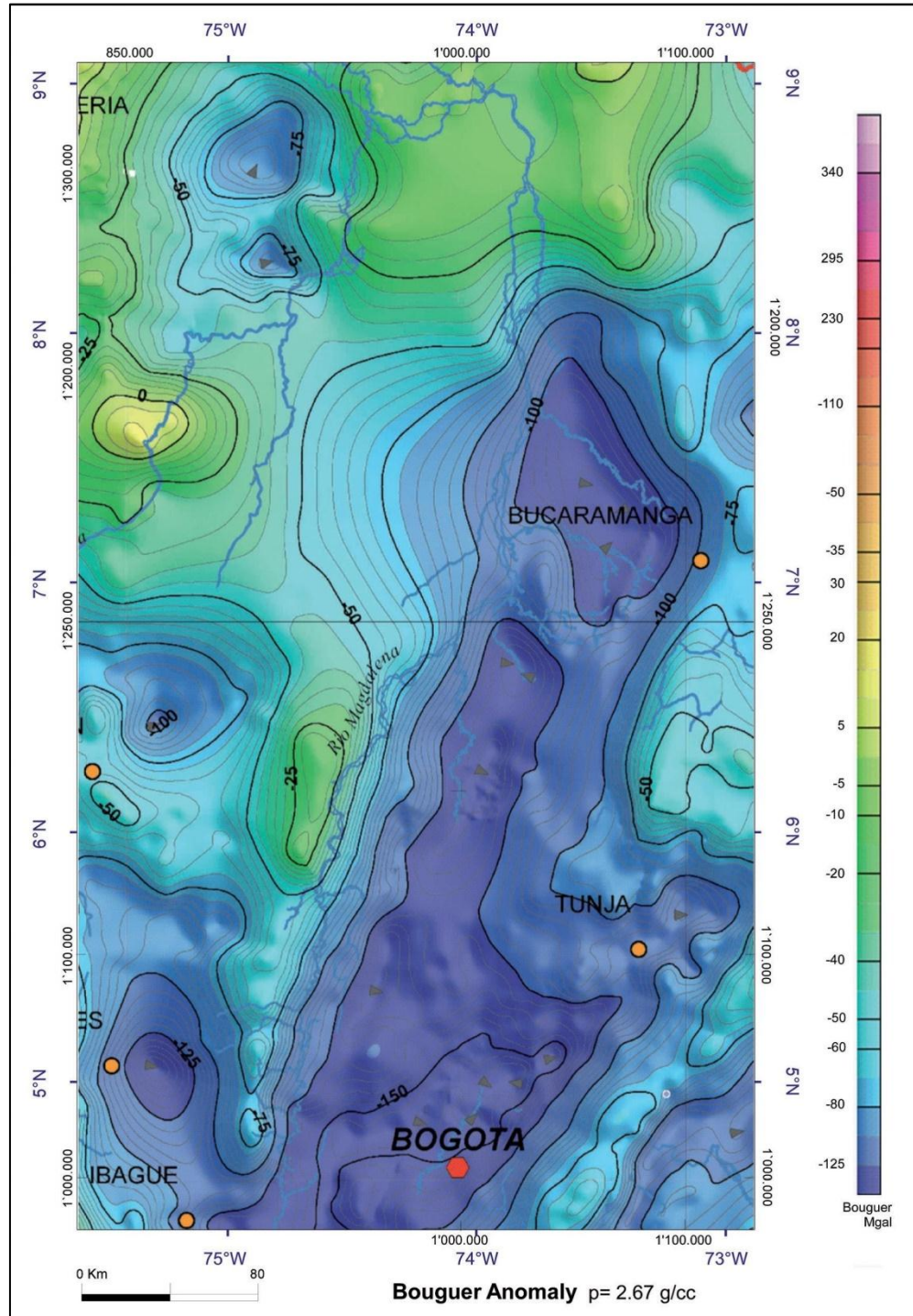


Figura 3-1 Mapa de anomalía gravimétrica de Bouguer de la MMB. Tomada de (Graterol & Vargas, 2010)..

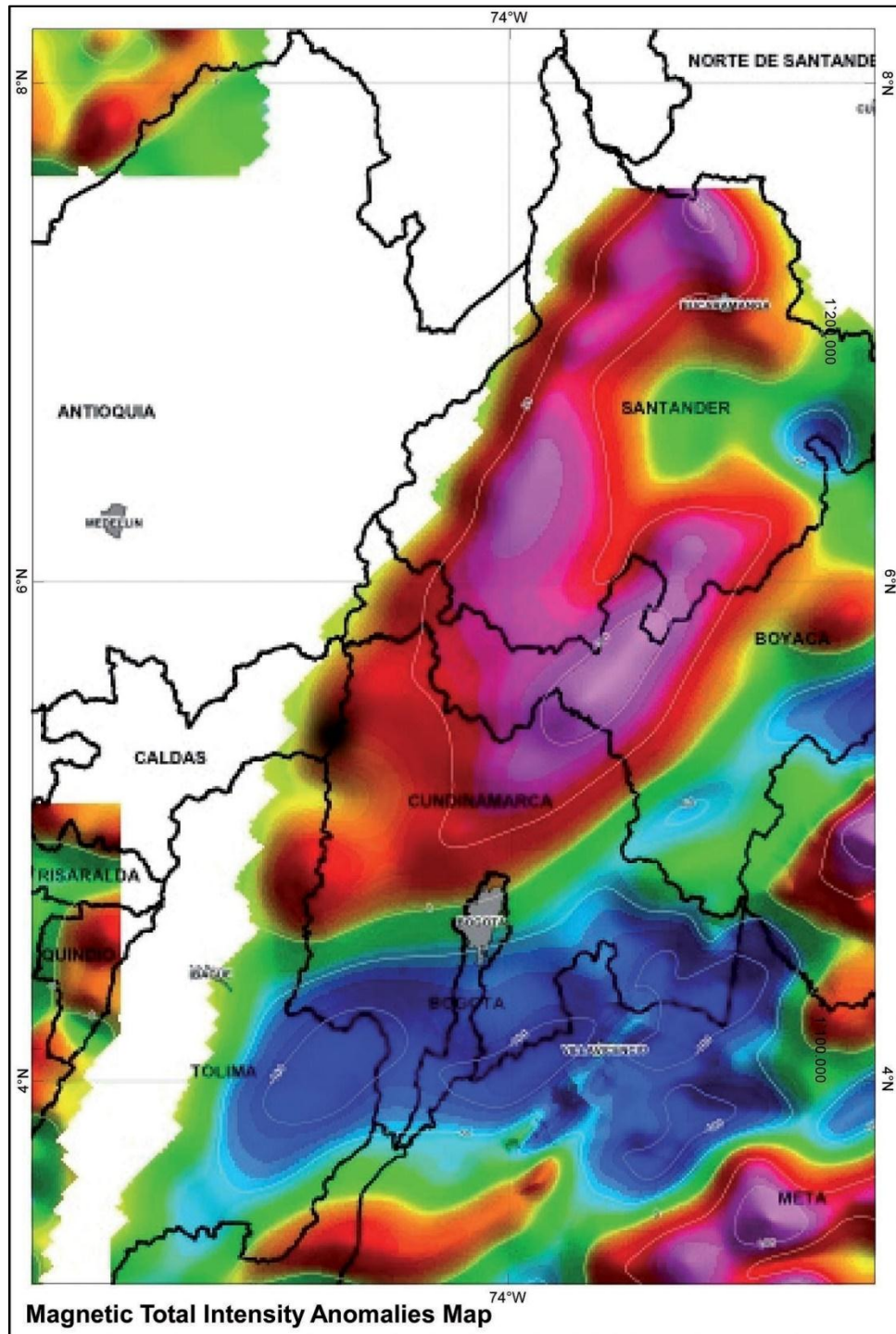


Figura 3-2 Mapa de intensidad magnética total reducida al polo de la MMB.
Tomada de (Graterol & Vargas, 2010).

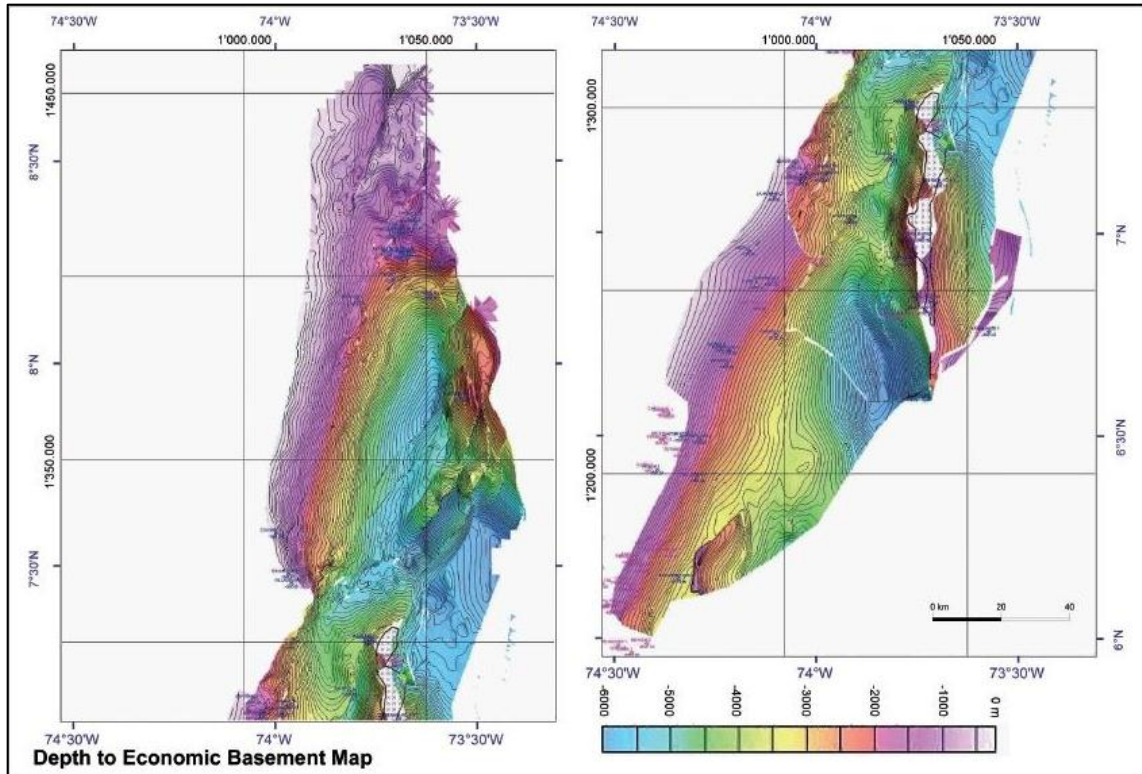


Figura 3-3 Mapa estructural del basamento económico pre-Cretácico de la MMB.

Calculado de la inversión de los datos de gravedad y con las profundidades del basamento en algunos pozos para petróleo.

Tomada de Cerón 2004 (Citado por Sarmiento, 2011).

4. SISTEMA PETROLERO

La cuenca del VMM, ha sido ampliamente caracterizada ya que de esta hacen parte campos petroleros como Infantas, Cantagallo, Llanito, entre otros.

El sistema petrolero lo componen:

- Como roca fuente las formaciones Paja, Tablazo, La Luna y Rosa Blanca.
- Como roca Reservorio las formaciones La Paz, Esmeraldas, Mugrosa, Colorado, Umir y Lisama.
- Como roca sello las formaciones Paja, Simití, Umir, Lisama, los shales de La Paz, Esmeraldas, Mugrosa y Colorado.

A continuación se describen las formaciones que hacen parte directa de la generación de hidrocarburos (Sarmiento, 2011).

- Formación La Luna, de origen marino, alcanza porcentajes de cantidad de materia orgánica mayores al 4%, con crudos de gravedad API correspondiente a crudos pesados y con una temperatura mayor a los 435 °C lo que la hace una roca madura.
- Formación Rosa Blanca, también de origen marino, con porcentaje de contenido de materia orgánica mayores al 4%, con temperaturas entre los 430 y 440 °C y %Ro entre 0.6 y 1.5; lo que indica que es una roca madura.
- Formación La paja, depositada en un ambiente marino somero con porcentaje de contenido de materia orgánica mayores al 4%, con temperaturas entre los 422 y 458 °C y %Ro de hasta de 0.6; lo que indica que va de una roca inmadura a madura.
- Formación Tablazo, depositada en un ambiente marino de plataforma, con materia orgánica menor o igual a 5%, con temperaturas entre los 440 y 460 °C y %Ro de aproximadamente 1; lo que indica que la roca es madura.
- Formación Simití, depositada en ambiente marino, tiene un porcentaje de cantidad de materia orgánica promedio de 2.6%, con temperaturas mayores a 435 °C y %Ro entre los 0.56 y 1; lo que indica que la roca es madura.

Las formaciones que hace parte de las rocas de almacenamiento de hidrocarburos (Sarmiento, 2011) son:

- Formación Rosa Blanca, en su mayoría tiene una porosidad menor al 3%; refleja deficiencias en la capacidad de almacenamiento de petróleo.
- Formación Tablazo, porosidad del 1 al 15%; refleja deficiencias en la capacidad de almacenamiento de petróleo.
- Formación La Luna, porosidad del 1 al 7%; refleja deficiencias en la capacidad de almacenamiento de petróleo.
- Formación Umir, porosidad del 1 al 3%; refleja deficiencias en la capacidad de almacenamiento de petróleo.
- Formación Lisama, porosidad del 1 al 20%; yendo de una roca con capacidad deficiente a óptima para el almacenamiento de petróleo y con una permeabilidad de 5 a 500 mD.
- Formación La Paz, porosidad del 10 al 23%; es una roca óptima para el almacenamiento de petróleo y con una permeabilidad de 500 mD.
- Formación Mugrosa, porosidad del 9 al 26%; es una roca óptima para el almacenamiento de petróleo y con una permeabilidad de 500 a 1000 mD.
- Formación Colorado, porosidad del 9 al 25%, es una roca óptima para el almacenamiento de petróleo y con una permeabilidad de 500 a 1000 mD.
- Grupo real, porosidad del 25%; es una roca óptima para el almacenamiento de petróleo.

Las formaciones que hacen parte de roca que no permite la migración de los hidrocarburos son (Sarmiento, 2011):

- Formación Rosa Blanca, porosidad entre 0.5 y 4%; es una roca impermeable.
- Formación Tablazo, porosidad menor a 1 y hasta 5%; es una roca impermeable.
- Formación La Luna, porosidad entre 1 y 7%; es una roca impermeable.

Dentro del sistema petrolero de esta cuenca podemos encontrar estructuras geológicas que incrementan el potencial petrolero, debido a su capacidad de impedir la movilidad de hidrocarburos, esta complementa el papel de la roca sello, existen diferentes tipos de trampas: estructurales, estratigráficas y combinadas, ejemplo de estas son (Sarmiento, 2011):

- Los campos Casabe y Llanito, sus trampas son anticlinales, producidas por fallas escalonadas.
- Los campos Hermitaño-Caipal, Velásquez y Galaeste, tiene trampas asociadas a fallas normales.

- Campo La Cira, sus trampas están asociadas a anticlinales producidos por fallas inversas.
- Campo Toquiqui, presenta trampa estratigráfica, debido a truncación de las capas contra una disconformidad.
- Campos Totumal y Buturama, tienen trampas combinadas, asociada a anticlinales con calizas fracturadas.

4.1 MODELAMIENTO GEOLÓGICO DE GENERACIÓN Y EXPULSIÓN DE HIDROCARBUROS

Tomando en cuenta las características geológicas generales de la cuenca, para construir el modelo, se toma como base el pseudopozo VMM (Figura 4-1), que atraviesa la secuencia sedimentaria hasta el basamento, donde la cuenca alcanza la mayor profundidad.

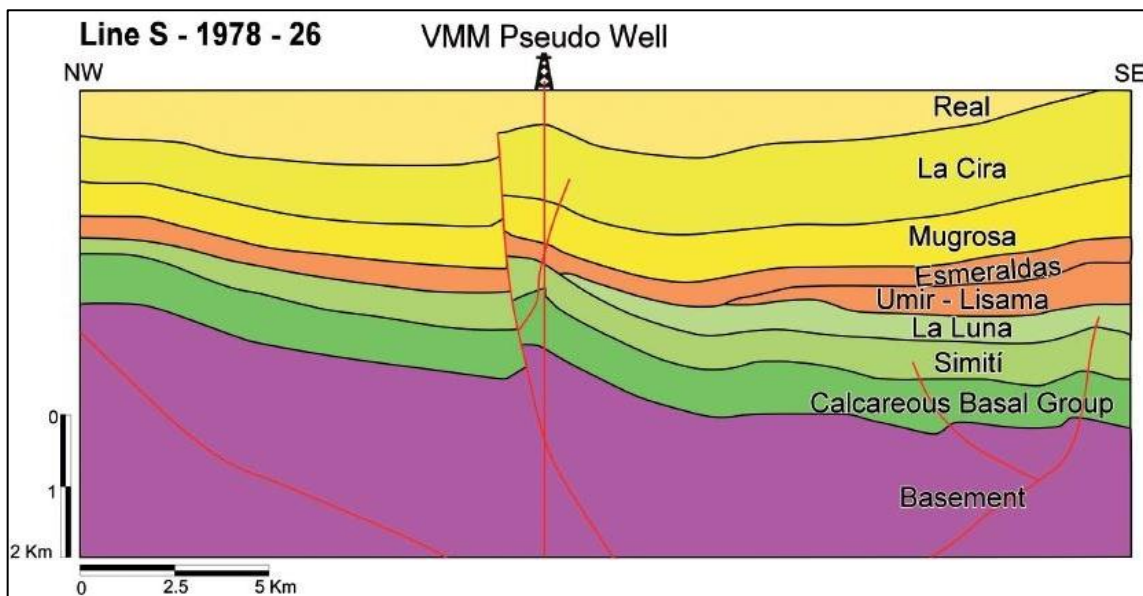


Figura 4-1 Localización del Pseudopozo en la Línea sísmica S-1978-26 en el VMM.

Se muestra como el pozo atraviesa todas las capas y además una trampa asociada a fallas normales.

Tomada de (Sarmiento, 2011).

Según el modelo geológico (Figura 4-2) de expulsión y generación de hidrocarburos de Sarmiento, (2011) podemos decir que el enterramiento de la secuencia sedimentaria finaliza en el plioceno, alcanzando profundidades máximas de:

- 12400 ft y temperaturas de hasta 435°F para el Cretácico temprano.
- 10000 ft y temperaturas de hasta 425°F para el Cretácico tardío
- 7000 ft y temperaturas de hasta 275°F para el Eoceno.
- 6400 ft y temperaturas de hasta 250°F para el Oligoceno.
- 3000 ft y temperaturas de hasta 190°F para el Mioceno.

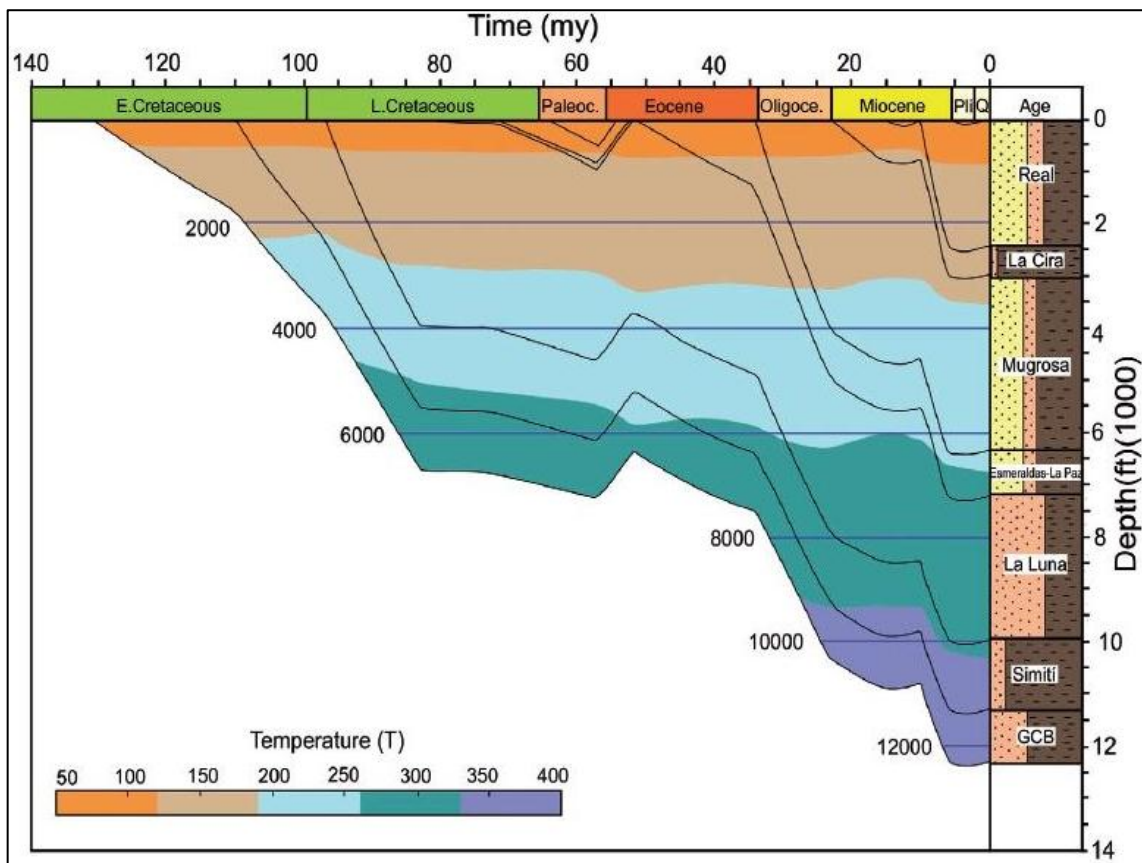


Figura 4-2 Curva de máximo enterramiento de la cuenca de VMM.

Se muestra como la columna estratigráfica alcanza su máxima profundidad y temperatura durante el plioceno.

Tomada de (Sarmiento, 2011).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barrero, D., Pardo, A., Vargas, C. A., & Martinez, J. F. (2007). *Colombian Sedimentary Basins, Nomenclature, Boundaries and Petroleum Geology, a New Proposal* (p. 92). Bogotá: ANH. Recuperado a partir de http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Cuencas-sedimentarias/Documents/colombian_sedimentary_basins.pdf
- Beltran, M. Z., & Romero, M. L. (1992). *Análisis geométrico de las estructuras principales que enmarcan la parte norte del Valle Medio del Magdalena con énfasis en el anticlinal de La Tigra*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Cerón, J. F. (2004). Mapa en profundidad a la base del Cretácico en el Valle Medio de Colombia. En *Laverde, F.; L.F. Sarmiento, E. Cardozo, M. Suarez, C.A. Alfonso, L.J. Navarro 2005. Play Fairways Maps of Colombia Phase I* (Vol. 6 Vols). Bogotá: Vicepresidencia de Exploración Ecopetrol S. A.
- Córdoba, F., López, C., Rolón, I., Buchelli, F., & Sotelo, C. (2001). *Proyecto evaluación regional del Valle Medio del Magdalena y Cordillera* (Informe Interno). Bogotá: Ecopetrol.

-
- Cortés, M., Collett, B., & Angelier, J. (2006). Structure and tectonics of the central segment of the Eastern Cordillera of Colombia. *Journal of South American Earth Sciences*, 21(4), 437–465.
- Gómez, E. (2001). *Tectonic control on the late Cretaceous to Cenozoic sedimentary fill of the Middle Magdalena Valley Basin, Eastern Cordillera and Llanos basin, Colombia*. Cornell University, New York.
- Graterol, V., & Vargas, A. (2010). Mapa de anomalía de Bouguer total de la República de Colombia. Escala 1 : 2 500 000. Bogotá: ANH Agencia Nacional de Hidrocarburos.
- Restrepo-Pace, P. A., Colmenares, F., Higuera, C., & Mayorga, M. (2004). A fold-and-thrust belt along the western flank of the Eastern Cordillera of Colombia—style, kinematics, and timing constraints derived from seismic data and detailed surface mapping. *AAPG Memoir: Thrust tectonics and hydrocarbon systems*, 82, 598-613.
- Rey, C., Briceño, L. A., Cerón, J. F., & Vargas, C. (2008). Magnetic total intensity anomalies map for Colombia. Escala 1 : 2 000 000. Bogotá: ANH Agencia Nacional de Hidrocarburos.
- Sarmiento, L. F. (2011). *Middle Magdalena Basin Vol. 11* (p. 193). Medellín, Colombia: ANH-University EAFIT. Department of Geology.
- Sarmiento-Rojas, L. (2001). Mesozoic rifting and cenozoic basin inversion history of the Eastern Cordillera, Colombian Andes, Inferences from

tectonic models. *Bogotá, Ecopetrol-Netherlands research, School of Sedimentary Geology, 295.*