

# Evolución Tectono – Estratigráfica en el área de Sarare, Venezuela Occidental, Estados Táchira – Apure.

DUERTO, Leonardo<sup>1</sup>, BOUJANA, Mustapha<sup>2</sup>, RAMÍREZ, Rafael<sup>1</sup>, HERNÁNDEZ, Carlos<sup>1</sup>\*, VARELA, Darvis<sup>1</sup>, ACOSTA, Natasha<sup>1</sup>, ISSA, Naim<sup>1</sup>, SILVA, Maria<sup>1</sup>,  
1- Petróleos de Venezuela PDVSA, Pto. La Cruz – Venezuela.  
2- EGAL, C. A. Caracas – Venezuela.

## RESUMEN

Un nuevo modelo estructural se ha propuesto para el área de Sarare, extremo Nororiental de la Serranía Oriental Colombiana, localizada entre los Estados Táchira y Apure en Venezuela.

La deformación en el área, corrimientos y dúplex avanzaron de Oeste a Este, generando en cada depocentro un nivel de retrocorrimientos, así la estructuración del área correspondería a zonas triangulares anidadas con presencia de un sistema de pliegues fallados fuera de secuencia hacia el oeste. La edad de la deformación principal comienza a partir del Cretácico Tardío y se extiende hasta el Mioceno - Plioceno. Esto se evidencia en las variaciones de espesores de las formaciones Colón - Mito Juan, Barco - Los Cuervos y Carbonera - León y en los importantes eventos erosivos propuestos para el final del Cretácico, Paleoceno y Oligoceno-Mioceno respectivamente.

Sobre la base de los datos Bioestratigráficos y a los espesores medidos en superficie y subsuelo así como la generación de cortes estructurales y mapas de Geología de superficie actualizados del área, se propone que la evolución tectónica de Sarare responde a un sistema de corrimientos y de inversión de grábenes, que ocurren como respuesta a la migración del depocentro de la Cordillera Oriental Colombiana superpuesto a la evolución de los Andes Venezolanos. Esta migración tendría lugar en el Flanco Surandino de Oeste a Este desde el Cretácico Tardío hasta el Mioceno.

Se proponen cuatro niveles principales de despegue identificados en sísmica y superficie. Estos niveles se encuentran en las formaciones Colón Mito Juan, Los Cuervos y Carbonera-León que corresponden a tres episodios de profundización de la cuenca. El acortamiento general se estima en 20 Km.

## 1. INTRODUCCIÓN

El área de estudio se encuentra ubicada al Oeste del Estado Apure, Venezuela Occidental,

limitando con la frontera colombiana (Figura 1 y 2); cubre un área de 4.100 Km<sup>2</sup> aproximadamente. El objetivo principal de este estudio es definir la evolución Tectono – Estratigráfica durante el Meso - Cenozoico, con el fin de generar nuevas oportunidades exploratorias de hidrocarburos.

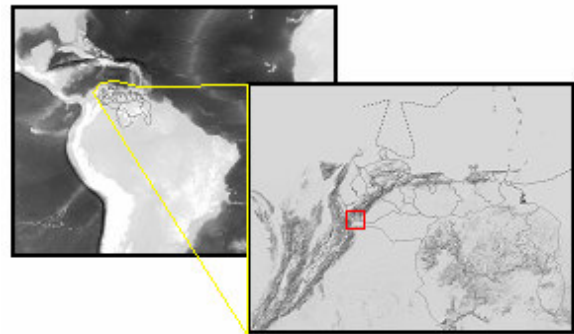


Figura 1. Localización del área de estudio.

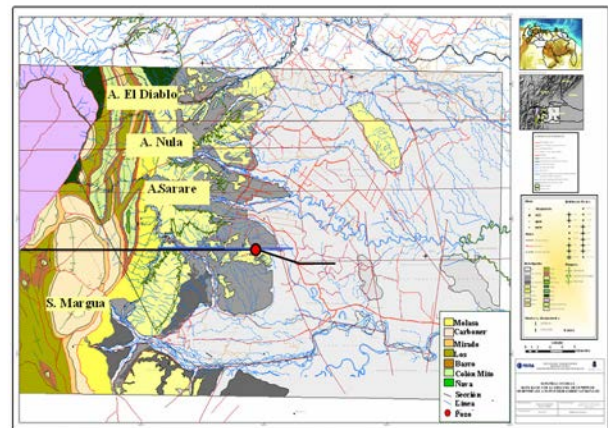


Figura 2. Mapa geológico de superficie del área donde se muestra ubicación de la sección estructural realizada, línea sísmica y pozo.

La Geología de superficie del área, ha sido actualizada utilizando técnicas de interpretación a través de imágenes satelitales y apoyándose en trabajos previos (Varela, D., et al., en preparación).

## 2. METODOLOGÍA

Se realizó una integración de Geología de superficie y subsuelo, utilizando técnicas de interpretación de imágenes satelitales y líneas sísmicas respectivamente. Así como también, estudios Bioestratigráficos y correlación estratigráfica de pozos perforados cerca de la zona, permitiendo generar un modelo geológico estructural. Aunque no existen líneas sísmicas en el área de montaña en Venezuela, se pudo utilizar las líneas cercanas al área para establecer la correlación Cronoestratigráfica hacia el Este.

Se elaboraron secciones estructurales Este – Oeste a partir de las cuales se cartografiaron algunos niveles estratigráficos de interés.

Las secciones estructurales se integraron tridimensionalmente con la imagen satelital del área, con el fin de tener una mayor perspectiva y sinergia de las unidades del subsuelo con las de superficie.

El modelo generado se restauró y se comparó con el modelo estructural establecido en el área del pozo Gibraltar 1 en Colombia (Villamil et al., 2004), para tener un mejor control geológico hacia el Sur. Esto arrojó un buen engranaje con el modelo planteado, ya que el estilo estructural que se maneja en Colombia es de tipo Dúplex, además, las formaciones productoras en dicho pozo son las mismas que se están considerando en este estudio.

## 3. INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA DEL MODELO REGIONAL.

La Geología local consta principalmente de tres ciclos sedimentarios en el Mesozoico y Cenozoico (Figura 3). En el Mesozoico los sedimentos de margen pasivo corresponden a las formaciones Apón, Aguardiente, Escandalosa, Navay y Colón – Mito Juan. En el Cenozoico dos ciclos marcan eventos de profundización en el área, un ciclo corresponde a las formaciones Barco y Los Cuervos y el otro a las formaciones Mirador y Carbonera-Leon. Sobre estos ciclos sedimentarios se depositan las molasas andinas de edad Mio-Plioceno.

Sobre la base del contenido lutítico, se propone la existencia de cuatro niveles principales de despegue, en las formaciones Apón, Colón, Los Cuervos y Carbonera-Leon.

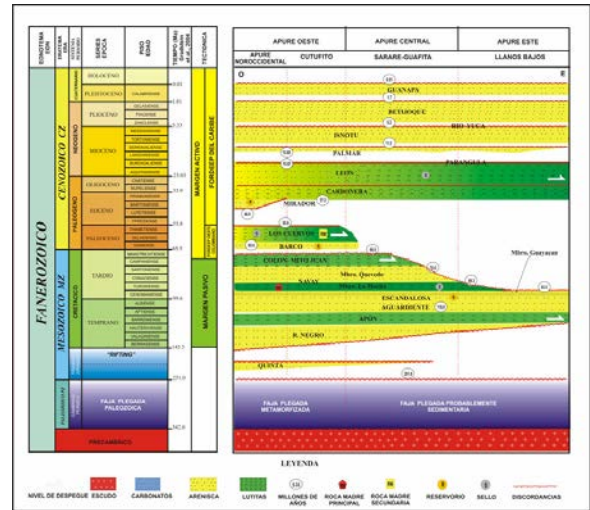


Figura 3. Cuadro Crono-estratigráfico del área.

En los mapas de Geología de superficie se ha interpretado una serie de anticlinales que involucran únicamente las formaciones Colón, Barco y Los Cuervos (Figura 2). Estos anticlinales son de Este a Oeste los siguientes: Sarare, Nula y El Diablo. Los anticlinales de Nula y El Diablo son muy parecidos en cuanto al espesor de las Lutitas de la Formación Colón en su núcleo (aproximadamente 1000 metros). El anticlinal de Sarare en cambio posee un espesor equivalente al encontrado en los pozos del área (menor a 300 metros). Suprayacente a la Formación Barco, se encuentran los sedimentos lutíticos de la Formación Los Cuervos. Es de notar que los anticlinales de Nula y El Diablo poseen buzamientos altos a volcados, mientras que en el anticlinal de Sarare estos no sobrepasan los 70 grados siendo la vergencia principal de todas las estructuras hacia el Este.

Al Suroeste de estos anticlinales afloran las Formaciones Mirador y Carbonera en el sinclinal de Margua, con buzamientos suaves no superiores a 20 grados.

Las líneas sísmicas más cercanas, ubicadas al Este del anticlinal de Sarare, muestran adelgazamiento hacia el Frente de Montaña, indicando erosión en la parte superior del Paleógeno y acuñamientos a nivel del Mioceno – Plioceno (Figura 4 y 5).

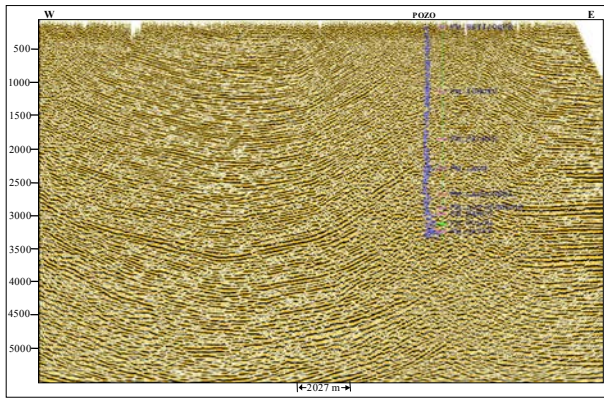


Figura 4. Línea Sísmica utilizada en la sección estructural.

Utilizando la información de Geología de superficie y de líneas sísmicas cercanas al área, se han elaborado varias secciones estructurales de las cuales se muestra la más meridional, en ésta se proponen dos estilos estructurales relevantes, un sistema de dúplexes en el núcleo de una zona triangular, que conforma el Frente de Montaña hacia el Este y un sistema de fallas normales invertidas hacia el Oeste (Figura 5).

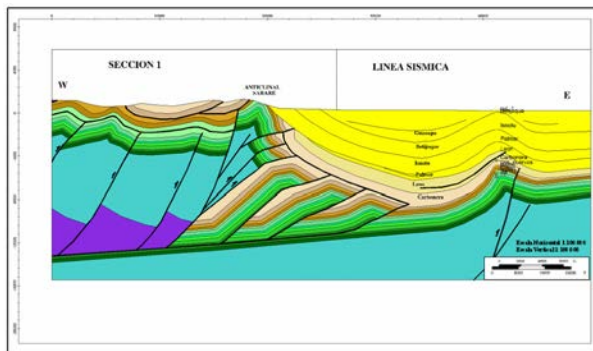


Figura 5. Sección estructural.

Este sistema de Dúplex representa un sistema de trampas estructurales con buzamiento hacia el Oeste. Hacia el Norte las escamas están levantadas hasta llegar a la erosión parcial de las más orientales (Figura 6).

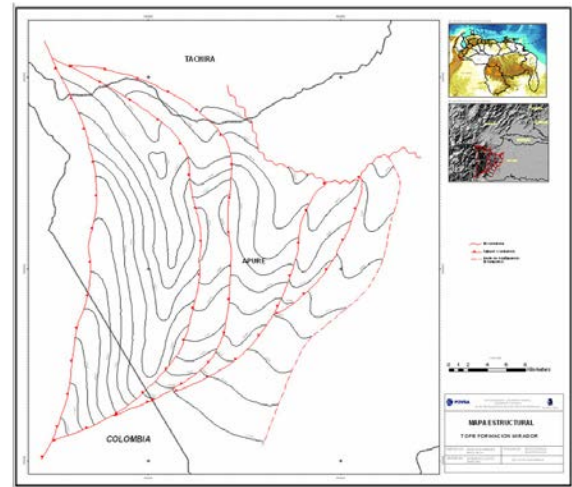


Figura 6. Mapa de subsuelo estructural al tope de la Formación Mirador.

Un hecho relevante al realizar la integración geológica de superficie con el subsuelo, es la variación en dirección Este-Oeste de los espesores de las formaciones Colon, Barco - Los Cuervos y Mirador – Carbonera.

Hacia el Oeste en los afloramientos de intramontaña se observa que la Formación Colón alcanza 1200 m. de espesor, mientras que en el anticlinal de Sarare y en los pozos cercanos, la misma no sobrepasa los 100 m. En el caso de Barco y los Los Cuervos, el espesor en superficie es de 750 m, mientras que en subsuelo no sobrepasa 200 m. La Formación Carbonera-León en superficie muestra 750 m de espesor, mientras que en los pozos del área no sobrepasa los 450m. En general, los espesores de estas unidades decrecen hacia el Este.

Debido al contenido lutítico, las formaciones Colon, Los Cuervos y Carbonera-León, podrían correlacionarse a eventos de profundización de la cuenca en sus diferentes periodos de evolución.

Es importante señalar que la Formación Mirador se acuña estratigráficamente hacia el Este, no siendo reportada en los pozos perforados en el área.

Las molasas presentes en la zona, son la respuesta sedimentaria de al menos tres pulsos tectónicos que ocurren desde el Mioceno hasta el Plioceno. Es de notar, que la Formación Palmar no aparece en el Frente de Montaña y la Formación Isnotú se encuentra en contacto con la Formación Barco.



La sección estructural mostrada fue retrodeformada (Figura 7) siendo el acortamiento de la sección 20 Km.

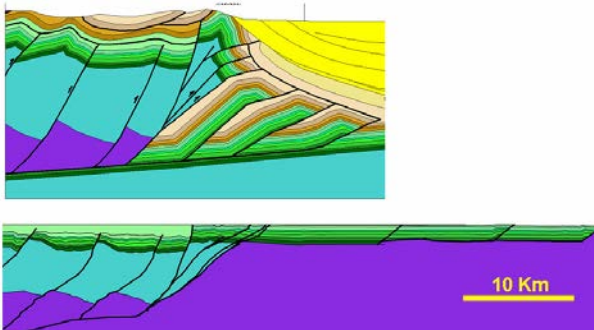


Figura 7. Sección Estructural Retrodeformada al tope del Cretácico.

El sistema petrolero está identificado con la presencia de tres posibles rocas reservorios, como lo representan las formaciones Mirador, Barco y Escandalosa; debido a sus características litológicas y además por analogía en otras zonas donde producen. Según análisis geoquímico de menes y de crudos, son probablemente unidades del Cretácico y del Paleoceno, representada por las formaciones La Morita y Los Cuervos respectivamente, los responsables de la generación de hidrocarburos en el área. Las unidades que actúan como sello están representadas por las formaciones Carbonera-León, Los Cuervos y La Morita (Figura 8).

#### 4. EVOLUCIÓN TECTONO – ESTRATIGRÁFICA.

Sobre la base de la actualización del nuevo mapa geológico de superficie en el área y de la interpretación de cortes estructurales, se propone la siguiente evolución Tectono – Estratigráfica:

Una vez que culmina la sedimentación de rocas relacionadas a la apertura Jurásica en sistemas de grábenes, comienza la evolución de margen pasivo en el Cretácico representado por las formaciones del Cretácico Inferior.

Al final del Cretácico se tiene el comienzo del crecimiento de la Cordillera Oriental Colombiana (Villamil, T., 1999; Villamil, et al., 2004; Bayona et al., 2006). Para este tiempo, ocurre la sedimentación regional de la Formación Colón, pero las variaciones de espesor pudieran estar relacionadas a un rejuvenecimiento de las fallas normales del Jurásico y activadas por la flexura del foreland Colombiano.

Durante el Paleógeno ocurren dos secuencias relacionadas a material arenoso y lutítico, que pueden indicar la migración del depocentro Colombiano hacia el Este, siendo estas las formaciones Barco – Los Cuervos y Mirador – Carbonera-León.

Para finales del Oligoceno comienza del Mioceno, comienza nuevamente la deformación a través de una zona triangular con despegue de techo en la Formación Carbonera-León. El hecho de tener la Formación Palmar erosionada por la Formación Isnotú haría pensar que posiblemente para el tiempo de deposición de esta última, se produjo el mayor avance de la deformación relacionada a este estilo estructural. La Formación Isnotú en contacto con la Formación Barco indica el importante evento erosivo que produjo que dicha unidad estratigráfica también erosionara las unidades de techo de la zona triangular. Este evento está relacionado con el surgimiento de los Andes Venezolanos y que produjo el levantamiento de todo el sistema hacia el Norte.

Luego de un periodo de disminución de velocidad de la deformación, ocurre un nuevo pulso compresivo que genera el plegamiento de las Formaciones Isnotú y Betijoque y la sedimentación de la Formación Guanapa con probable fuera de secuencia de la falla que infrayace al anticlinal de Sarare.

En éste período, se supone que ya estaba erosionado el techo de la zona triangular, al rejuvenecerse la compresión, se forma el

Formaciones	Series Época	Tiempo Mb	Eventos Tectónicos			Sistema Petrolero			Indicadores de Producción	
			Local	Estad(Mb)	Regional	R.Micho	Reservorio	R Sitio	Graber IX	Jordin IX
Sedimentarios	Holoceno	001								
Clariza	Pleistoceno	180		1.70						
Betijoque	Pleistoceno	330		5.20						
Isnotú	Mioceno	11.20		11.70						
Palmar		13.65		15.97						
Lañ	Oligoceno	28.50		Pulso 1	Margen Activo					
Carbonera	Eoceno	37.00		Fordep 2				Carbonera		
Mistr		40.00						Mistr		
Los Cuervos	Paleoceno	61.70		Fordep 1				Los Cuervos		
Barco		65.00		1				Barco		
Colón/Ms/Lan		85.00						Colón/Ms/Lan		
Quevedo		88.00								
La Morita		91.50			Margen Pasivo			La Morita		
Capacho/Escard	Oligoceno	99.00						Capacho/Escard		Escardosa
Ajardiente		118.00								
Apin		118.00								
Pio Negro		145.00								
La Quinta	Jurásico	251.00								
Paleozoico		560.00								

Figura 8. Síntesis Exploratoria en el área de estudio.

corrimiento intra Formación León (out of syncline) observado en el pozo de la figura 5.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se propone un sistema Tectónico - Estratigráfico que involucra trampas estructurales en zona triangular e inversión de grábenes en el área de Sarare.

La evolución estructural del área involucra la superposición de la tectónica Colombiana durante el Cretácico tardío – Oligoceno con la tectónica andina durante el Mioceno.

Las escamas que forman dicha estructura cubren extensas áreas de manera regional, poseen buzamiento hacia el Oeste y están levantadas y erosionadas parcialmente hacia el Norte en su último periodo de deformación.

Se considera que el modelo Estructural planteado es similar al modelo Colombiano en el área del pozo Gibraltar 1, es decir, hay concordancia con el sistema Tectono – Estratigráfico, lo que significa un incremento de certidumbre para la prospectividad del área.

Se recomienda adquirir sísmica en el área de estudio, para tener un mayor control Estructural y mejor definición de posibles prospectos exploratorios.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Chaplet, M. (1998), Mapa Geológico de Superficie, región Táchira – Apure. Aguasuelos Ingeniería, C.A. Reporte Interno.

Bayona, G.; Cortes, M.; Aristizabal, J.; Jaramillo, C.; Ojeda, G.; Reyes-Harker, A.; Rueda, M. Y Villamarin, P. (2006) Pinch Out of Upper Cretaceous-Oligocene Reservoir Units in the Llanos Basin of Colombia: a Result of Flexural Deformation in a Broken Foreland? Tectonics and Sedimentation of Fold and Thrust Belts II.

Creole petroleum Corporation (1964). Compilación de Mapas geológicos a escala 1:100.000. hoja H2D.

Heybroek, F., 1953. Geological report on the mountain range west of Block "B" (Eastern rim of the Cordillera Oriental, Táchira-Apure, western Venezuela). *Informe inédito* Shell/Corpoven: 59 p.

Leonard, B. (1956), Progress report on Southwets tachira and Apure. Informe N° 4600.11-5. *Informe inédito*.

Trump, G. W. y Salvador, A. 1964. Guidebook to the geology of western Táchira. Asoc. Venezolana Geol., Min., Pet., Bol. Inf., 25 p.

Varela, D., Hernández, C., Acosta, N., Duerto, L., Ramírez, R., Issa, N., Boujana, M. (en preparación), Clasificación automatizada de la Geología de Superficie para Sarare La Cuchilla (Edos. Táchira-Apure), mediante la percepción remota y Sistemas de Información Geográfica. 4 p.

Villamil, T., Muñoz, J., Sánchez, J., J. Aristizabal, J., Velasco, J., Luna, P. E., Mantilla, A., Fajardo, A., Peña, L. E., Paz, M. G., Silva, O., Sánchez, E., and Meza, N. (2004), The Gibraltar Discovery, Northern Llanos Foothills, Colombia: Case History Of An Exploration Success In A Frontier Area. *Journal of Petroleum Geology*, V27, No.4.

Villamil, T. (1999), Campanian-Miocene tectonostratigraphy, depocenter evolution and basin development of Colombia and western Venezuela. 36 p.

## 7. AGRADECIMIENTOS

En forma sincera agradecemos a la Gerencia de Exploración de PDVSA División Oriente, por la autorización de la presentación de este trabajo en el IX SIMPOSIO BOLIVARIANO DE EXPLORACIÓN PETROLERA EN LAS CUENCAS SUBANDINAS, ya que esto permite incrementar el desarrollo geocientífico e intercambiar conocimientos y metodologías sobre la exploración de hidrocarburos, a nivel mundial, con el fin de fortalecer el desarrollo socio económico de cada nación.