

Tectónica Transpresiva e Inversión de Grabenes Jurásicos en Los Andes Septentrionales Venezolanos, región de Barbacoas-Los Humocaros estado Lara y Árbol Redondo-Santa Ana estado Trujillo, Venezuela.

Transpressive Tectonics and Tectonic Inversion of Grabens in the Northern Venezuelan Andes Barbacoas-Los Humocaros región Lara state and Árbol Redondo-Santa Ana Trujillo state, Venezuela

González, Leonardo^{1*}; Castrillo, José¹; Hervouiet, Yves²; Dhont, Damien²; Odreman, Oscar^{1†}; Bongiorno, Francisco¹; Mazuera, Fernando¹

¹Grupo de Investigación en Geología Aplicada, GIGA

¹Departamento de Geomecánica, Escuela de Ingeniería Geológica, Facultad de Ingeniería

²Géologie Structurale et télédétection, UMR 5831 Imagerie Géophysique, CURS-IPRA, Univ de Pau, BP 1155, L4013 Pau Cedex. France

*gml@ula.ve/

Resumen

En los Andes venezolanos, la sedimentación post-herciniana inicia durante el Jurásico con depósitos continentales rojos (Fm. La Quinta) localizados en grabenes con orientación NE-SW, formados durante el rifting que afectó la margen septentrional suramericana. El área de estudio está localizada en la parte septentrional de los Andes venezolanos, dividido en dos sectores: en Lara, dentro de la Plataforma de Barbacoas y en Trujillo, sector Árbol Redondo Santa Ana (Graben de San Lázaro). El objetivo principal de este estudio es realizar un modelo de evolución para la región de Barbacoas – Los Humocaros y Árbol Redondo – Santa Ana como consecuencia de una sucesión de eventos tectónicos complejos a partir del Mioceno, vinculados a la reactivación en transurrencia de fallas como Boconó, Hato Viejo, Burbusay - El Empedrado y Valera, resultado de la compresión asociada a una dirección de esfuerzos regionales orientados E – W y NE – SW. Entre las dos fallas principales (Boconó y Valera), la compresión da origen a la formación de fallas inversas por inversión tectónica positiva sobre los antiguos planos normales preexistentes jurásicos y sobre los sedimentos cretácicos. Esta inversión provoca la formación de estructuras tipo “Pop up” y cabalgantes con vergencia hacia el NW y algunas con juego antitético hacia el SE involucrando el basamento y la cobertura.

La metodología se basa en la toma de datos y mediciones “in situ”, siendo luego procesadas en laboratorios y analizadas generando estereogramas (análisis de estados tensionales) y modelos para comprender la geodinámica de la región.

Las estructuras de inversión son identificables: casos de las fallas de Árbol Redondo que pone en contacto formaciones Cretácicas y Paleozoicas, Trujillo que pone en contacto las formaciones Jurásicas y el Paleozoico y Hato Viejo que marca el contacto del Jurásico con el Cretácico inferior, representando los límites de los grabenes de San Lázaro y Humocaros.

Palabras clave: Transurrencia, Inversión Tectónica, Graben, Neógeno, Andes venezolanos.

Abstract

In the Venezuelan Andes, the post-hercynian sedimentation began in the Jurassic time with conspicuous red sandstones identified as the La Quinta Formation, with reflects deposition in continental setting located in northeast – southwest orientated grabens formed from the Jurassic rift phase attributed to the fragmentation of Pangea and that affected the southern edge of South America.

The study area is located in the northern part of the Venezuelan Andes more specifically divided in two sectors; one into the Barbacoas Platform (Barbacoas and Humocaros region) in Lara state and the other ones, in the *Árbol Redondo – Santa Ana zone (San Lázaro Graben)* in Trujillo state. The aim of this study is to make an evolution model for the Barbacoas, Los Humocaros and *Árbol Redondo – Santa Ana* regions as a result of a succession of complex tectonics events from the Miocene, linked to the reactivation in transcurrent movements of faults like a Boconó, Hato Viejo, Burbusay – El Empedrado and Valera, resulting from compression associated with regional efforts oriented E-W and NE-SW. between the two main faults (Boconó and Valera faults), this compression gives rise to the inverse faults by positive tectonic inversion on the old pre-existing normal planes of faults in the Jurassic structures and cretaceous sediments. This positive inversion cause the formation of a series of structures “pop Up” types and rides with vergence to the NW and others with antithetical game towards the SE involving the basement and coverage.

The methodology used is obtaining and “in situ” measurements, being later processed in laboratory and analyzed in office generating stereograms (analysis of tensional state) and models to understand the geodynamic of the region.

The inversion structures are identifiable as the case of the *Árbol Redondo* fault that puts in contact Paleozoic and Cretacic formations, Trujillo fault that directly places the Paleozoic in contact with the Jurassic and Hato Viejo fault that marks the Jurassic contact with the lower Cretacic, thus representing the boundaries of the San Lázaro and Humocaró grabenes

Keywords: Transcurrent fault, Tectonic inversion, Grabens, Neogene, Venezuelan Andes.

1 Introducción

La cordillera venezolana o Andes de Mérida, orientada de NE-SW se extiende desde la frontera colombiana al SW hasta Barquisimeto (transversal de Barquisimeto, región de Carora – Curarigua) al NE en su parte septentrional, y constituyen un cinturón ancho de 100 km con picos que alcanzan hasta 5000 m.s.n.m. Ésta cadena comenzó a elevarse en el Mioceno, probablemente como consecuencia de la colisión del arco de Panamá contra la placa Sudamericana. El levantamiento de los Andes de Mérida se aceleró durante el Plio-Cuaternario debido a una transpresión relacionada con la convergencia oblicua entre dos bloques independientes pertenecientes a la placa de América del sur, el bloque de Maracaibo hacia el norte y el escudo de Guyana al sur (Audemard 1993 en Dhont y col., 2002). Fallas de desgarre importantes se asocian a este movimiento oblicuo. Las principales fallas como Boconó, de deslizamiento lateral derecho divide los Andes venezolanos en dos partes a lo largo de su dirección NE; Valera, de tendencia N-S y desplazamiento lateral izquierdo es otro accidente principal, que se ramifica de la falla de Boconó en una geometría de triple unión. Estas dos fallas individualizan el bloque triangular de Trujillo, expulsado al NNE como consecuencia de la convergencia relativa entre el bloque de Maracaibo y el escudo de Guyana.

Esta configuración compleja permite el desarrollo de estructuras plicativas asociadas a fallas transcurrentes haciéndose notable estructuras en flor positivas, cabalgamientos y retrocabalgamientos.

Localización del área de estudio:

La zona de estudio se sitúa sobre la esquina NNE de los Andes de Mérida en los estados Trujillo y Lara. (Fig. 1). Se encuentra dentro de una zona triangular delimitada por

las fallas de Valera y Boconó. La zona de estudio es dividida en dos sectores, la Plataforma de Barbacoas (sector Barbacoas-Los Humocaros) y el Graben de San Lázaro (sector *Árbol Redondo-Santa Ana*).

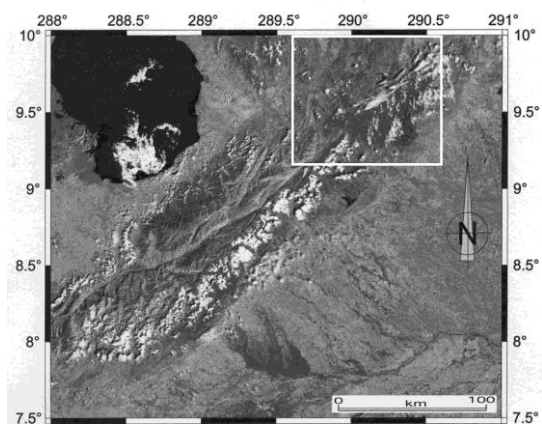


Figura 1. Imagen Landsat TM. Se indica en recuadro superior la región de estudio

La región de estudio se caracteriza por una muy abundante vegetación en casi toda su extensión y relieves pronunciados que alcanzan los 3000 m.s.n.m., las zonas más bajas llegan a los 500 m., dándole una connotación variada a las geformas estudiadas.

2 Marco Teórico

2.1 Geología Regional (Fig. 2)

La margen sur del Mar Caribe ha sido interpretada como una frontera de transformación entre las placas Caribe y Sur América debido a la existencia de grandes zonas transcurrentes en la parte Norte de Venezuela (fallas de El Pilar, de Oca-Ancón y de Boconó), (Stephan 1977, Schubert

1985, Pindell y col., 1995). Estas grandes unidades estructurales representan los límites estructurales de un bloque crustal de forma triangular situado al NW de América del Sur denominado Bloque de Maracaibo.

Este bloque es limitado también por la falla transcurrentesenestral de Santa Marta – Bucaramanga la cual lo separan del bloque Nor-Andino (Cordillera Oriental de Colombia).

El Neógeno constituye el periodo de levantamiento principal de la parte NW de la América del Sur, durante esta etapa ocurre la colisión del Arco de Panamá (Panamá Block) con la margen NW de la placa Sur Americana. Es contemporáneo de una aceleración de la velocidad de desplazamiento de la placa Caribe. En consecuencia hay un cambio en la dirección de convergencia entre la placa Caribe y América del Sur., desde una orientación NE-SW hacia una orientación E-W (Pindell y col., 1995). Durante el Mioceno superior la Cordillera Oriental de Colombia, la Sierra de Perijá y los Andes de Mérida se levantan. Durante el Plioceno, la actividad tectónica continúa y se intensifica; la cadena andina adquiere entonces su morfología actual. La deformación es controlada por una tectónica de basamento caracterizado por el cabalgamiento con vergencia NW asociado aretrocabalgamientos. (Audemard 1991, Colleta y col., 1996, Castrillo y col., 1996, González 2004).

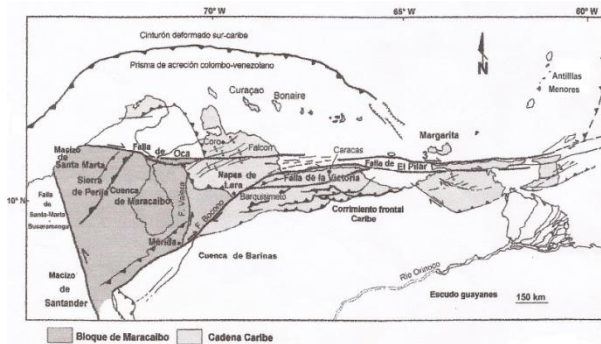


Figura 2. Cuadro geológico – estructural del área de estudio. Se muestran las principales fallas del país y los límites del Bloque de Maracaibo, así como los terrenos que conforman al Bloque de Maracaibo, las napas de Lara o terreno Caribe y el Escudo guayanés.

2.2 Cuadro Estratigráfico (Fig. 3)

La estratigrafía de la zona de estudio está constituida por un complejo ígneo-metamórfico que corresponde al basamento del Paleozoico superior correspondiente a la Asociación Mucuchachí y a las Formaciones Carache y Palmarito.

Las rocas sedimentarias más antiguas aflorantes en la zona corresponden al Carbonífero Pensilvaniano representado por la Fm. Carache (edo. Trujillo) y por el Jurásico representado por la Fm. La Quinta, está última caracterizada por sedimentos molásicos rojos. El Cretácico está constituido por sedimentos detríticos- carbonáticos de plataforma depositados en una margen extensiva pasiva continental. La transgresión comienza entre el Neocomiense

– Barremiense y termina en el Cenomaniense – Turoniense. El Cretácico inferior lo representa la Fm. Peñas Altas (Barremiense – Albiense).

El Cretácico superior corresponde a la Fm. La Luna. Que representa una fase anóxica depositada durante el máximo de profundidad de la transgresión. La regresión comienza en el Cretáceo superior tardío con la depositación de las lutitas marinas de la Fm. Colón. Dentro de la plataforma de Barbacoas y justo en ésta última formación se presenta el Miembro Cujisal, dándole una connotación importante a la Formación Colón con espesores cercanos a los 100 metros.

Durante el Terciario los depósitos continentales y marinos se acumulan en concordancia encima del Cretácico. En la región de Barbacoas – Los Humocaros la serie terciaria ha sido dividida en varias formaciones. El Paleógeno está representado por las calizas y limolitas de la Fm. Humocaro, la secuencia con hierro chamosítico de la Fm. Quebrada Arriba y las lutitas y areniscas de la Fm. Morán.

Existe una diferencia entre la secuencia terciaria que se presenta en la subcuenca de Lara y la subcuenca de Trujillo donde en ésta última aparecen las formaciones Misoa, Caüs, Valle Hondo, Ranchería, Trujillo y Paují como cierre de cuenca.

Era	Sist. Per. ca	Epo. ca	Sistema	Formación	Espesor en m.	Litología	Ma		
Cenozoico	Paleógeno	Eoceno	Quaternario						
							39		
								49	
								50	
					Luteciense	Quebrada Arriba	Morán	350 480	[Litología]
					Ypresiense				
					Thanetiense	Humocaro	Morán	170 210 280	[Litología]
					Selandiense				
					Daniense				
			Mesozoico	Cretácico	Inferior superior	Maestrichtiense	Colón	700	[Litología]
								74	
		Campaniense				La Luna	310 130 70	[Litología]	
		Santoniense							
		Coniaciense							
		Turoniense				Peñas Altas	700	[Litología]	
		Cenomaniense							
		Albiense							
		Aptiense							96
		Barremiense							116
						135			
			Jurásico	La Quinta	1500	[Litología]	205		
Paleozoico							245		
							295		

Figura 3. Columna estratigráfica para la sub-cuenca de Lara. Modificado de González, 2004.

3 Metodología

Todo trabajo de campo conlleva una secuencia de

pasos los cuales consisten en actividades de pre-campo, campo propiamente dicho y post-campo. La primera etapa se basa en la observación previa de imágenes satelitales, y fotografías aéreas para la identificación de estructuras a nivel regional y local, así como las litologías existentes. Mapas tanto topográficos como geológicos y realización de un mapa preliminar de trabajo. Revisión bibliográfica correspondiente. Luego, en la segunda etapa, observación directa en campo de afloramientos, toma de muestras y mediciones de interés. Realización de cortes geológicos interpretativos, capturas fotográficas de los lugares de medición. Finalmente en la tercera etapa, realización de trabajos de laboratorio y su interpretación, elaboración de mapas definitivos y realización de modelos, cortes, y otros apoyados en programas computacionales para llegar a las conclusiones correspondientes.

En lo que respecta a éste trabajo el apoyo en las imágenes Landsat, Radar, Spot y fotografías aéreas es de suma importancia. Se realizan mediciones de rumbos, buzamientos de estratificación así como, mediciones de estrías de fallas, planos y ejes en diferentes estructuras plicativas. Finalmente procesadas en varios programas computacionales como Stereonet y Tensor para luego ser analizadas e interpretadas. Se generan varios cortes, modelos numéricos de terreno y mapas definitivos.

4 Discusión: Evolución y configuración estructural durante el Mioceno – Plioceno

4.1 Individualización del Bloque de Trujillo (Fig. 2 y 4)

El bloque de Trujillo se encuentra situado en el sector nor-oriental de los Andes de Mérida. Conformar una estructura crustal individualizada dentro del bloque de Maracaibo, limitado al W por la falla de Valera – Río Momboy y al SE por la falla de Boconó. Al norte, este bloque se encontraría recubierto por el alóctono Caribe, representado por las napas de Lara (Hervouët y col., 2001).

La falla de Valera continúa hacia el norte a lo largo de decenas de kilómetros y su desaparición se efectúa sobre el Anticlinorio de Falcón más al norte, próximo a la falla de Oca-Ancón. Ella divide de manera general a la parte septentrional de los Andes de Mérida en dos sectores o compartimientos uno occidental y otro oriental con comportamientos estructurales y tectónicos diferentes.

En efecto, las estructuras presentes en el compartimiento oriental de la falla de Valera pueden ser asociados con un transporte tectónico hacia el NW. Ellas están ausentes en el compartimiento occidental, cuyo elemento más conspicuo lo constituye el Corrimiento de Las Virtudes.

Al N y NE de Valera, encontramos estructuras plicativas tales como pliegues y micropliegues orientados N70° a N80°E y estructuras de fallas orientadas N-S a N20°E subparalelas a la falla de Valera y que han jugado durante la orogénesis andina.

Estas observaciones tienden a demostrar que la falla de Valera constituye una falla de transferencia (Transfer fault) hacia el norte del cabalgamiento crustal andino en el compartimiento oriental (Flanco Norandino) y no una rampa lateral afectando solamente la cobertura ya que ella aísla la esquina NE del bloque de Maracaibo. Durante el intervalo que va desde el Mioceno al Pleistoceno (las fallas no parecen afectar la cuenca reciente de Carora), esa esquina avanzaría hacia el norte de una manera independiente. Su frente septentrional se remarcaría en superficie por la génesis de los plegamientos de Falcón orientados N70° a N80°E (Pindell y col., 1995, Hervouët y col., 2001).

En el compartimiento oriental se observan estructuras de orientación N-S como la falla de El Empedrado – Burbusay de comportamiento senestral asociada a pliegues cuyos ejes están orientados de N10°E a N20°E. Igualmente en el contacto Autóctono andino – Alóctono Caribe se observan pliegues con orientaciones que van de N70° a N100°E.

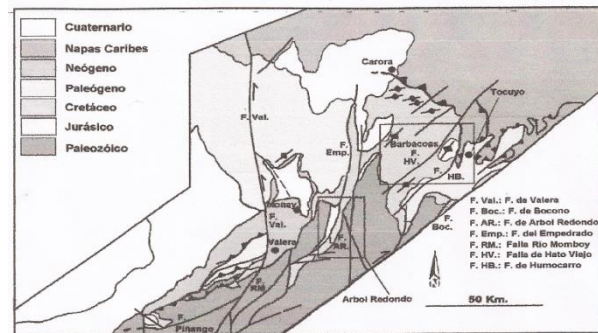


Figura 4 Cuadro geológico-estructural del Bloque de Trujillo. Destacan en recuadro inferior el sector de Árbol Redondo y en recuadro superior el sector de Barbacoas – Los Humocaros.

4.2 Tectónica de inversión:

La configuración estructural de los Andes septentrionales, región de Barbacoas – Los Humocaros y Árbol Redondo – Santa Ana se interpreta en este trabajo como una serie de estructuras que conforman un patrón estructural en anticlinorios y sinclinorios desarrollados sobre un sistema de rampas (fault-bend folds) como resultado de la reactivación compresiva y/o transtensiva ocurrida durante el Neógeno que provocó la inversión positiva de estructuras distensivas pre-existentes de edad Jurásico – Cretácico temprano.

Los diferentes niveles de despegue (Detachment), durante la evolución tectónica al curso de la deformación se sitúan en el seno de las formaciones cretácicas superiores (La Luna y Colón) quienes sirvieron de estructuras de compensación y reajuste para absorber el acortamiento horizontal causado por la compresión. La inversión tectónica positiva se produce (Mitra 1990) porque el despegue en los planos horizontales no pueden continuar compensando el empuje compresional (Merle 1994) y cambia su movimiento de despegue normal sobre el plano

pre-existente, lo cual trae como consecuencia un cambio a inverso para adaptarse a las nuevas condiciones estructurales. El desarrollo de pliegues de arrastre en el interior de estas formaciones confirma esta interpretación.

4.3 La región de Barbacoas – Los Humocaros:

Esta zona constituye una sucesión de accidentes sub-verticales y sub-parallelos entre sí (fig. 5 y 6). Del NW al SE, ellas forman un dispositivo estructural en pilares y depresiones colocados escalonadamente que la cortan en varios bloques levantados y hundidos separados por fallas. Estas fallas presentan un juego vertical importante antes del emplazamiento final provocado por la tectónica de inversión como resultado de la compresión andina y en la actualidad conforman un patrón estructural de anticlinorios y sinclinorios (fig. 5). Las fallas regionales de Hato Viejo, Barbacoas y Humocar Bajo, orientadas NE – SW asociadas a una serie de estructuras anticlinales plurikilométricas (La Peña, San Pedro, etc.), así como a sinclinales (Humocar, Barbacoas, etc.), corresponden a la inversión positiva de los grabenes y horst jurásicos. La existencia de estructuras monoclinales asimétricos, de extensión decamétricas con vergencia tanto NW como SE asociados a estas estructuras mayores y desarrollados en los límites de las formaciones cretácicas y terciarias evidencian el estilo estructural de pliegues en rampas del tipo fault-bend folds propuesto para la región.

La existencia de estas estructuras tipo sugieren igualmente la evolución a partir de pliegues de tipo “rollover” desarrollados en el flanco deprimido de las fallas normales pre-existentes que pudieron haber sido reactivadas durante la deformación.

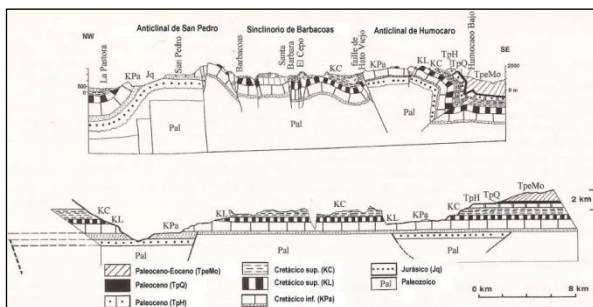


Figura 5. Arriba: Corte geológico interpretativo de la región de Barbacoas – Humocaros Bajo. Abajo: Reconstrucción palinspática para la región Barbacoas – Humocaros Bajo.

Las estructuras plicativas más importantes y observables en el terreno e identificables en imágenes satelitales y fotografías aéreas a diferentes escalas son:

Anticlinal de El Empedrado:

Es una estructura plurikilométrica bordeada por las fallas de El Empedrado y la planicie o depresión de Pie de Cuesta la cual fosiliza una falla de dirección norte sub-parallela a la anteriormente

mencionada. Sobre este anticlinal sólo se observan rocas del Cretácico superior, mientras que de la parte occidental de la falla de El Empedrado se observan rocas de la Fm. Misoa (Eoceno inferior a medio. Ver figs. 6 y 14)

2 Anticlinal de San Pedro:

Las crestas del anticlinal de San Pedro dominan por más de 1500 metros la depresión de La Pastora (figs. 4 y 5). La estructura está orientada NE-SW y alcanza 10 Km. de anchura por unos 30 Km. de largo. Se caracteriza por presentar al Cretácico inferior (Fm. Peñas Altas) en la mayor parte de su extensión. Igualmente están presentes las formaciones La Luna y Colón, sin embargo la presencia del Paleozoico y el Jurásico lo distinguen de otras estructuras de la región (fig. 5 y 6).

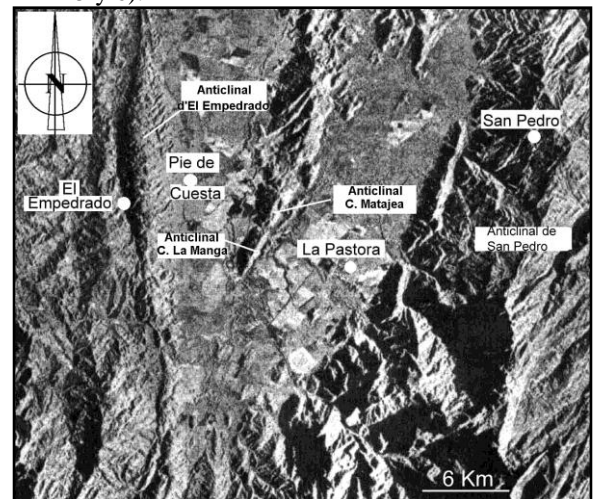


Figura 6. Fragmento de la imagen de Radar SLAR 1977., en ella se aprecian los anticlinales de El Empedrado y San Pedro. Igualmente se observan las planicies de Pie de Cuesta y La Pastora.

Anticlinal de Santa Bárbara:

Es una estructura de menor envergadura que los precedentes dentro del sinclinorio de Barbacoas. Corresponde a un pliegue anticlinal estrecho con orientación N30°E. Su longitud no sobrepasa los 2 km y su amplitud llega a los 500 m. Se presenta entre el relevo de fallas transcurrentes senestrales en régimen compresivo. Estas fallas muestran igual orientación al eje del anticlinal (figs. 7 y 14).

Anticlinal de Nunca Jamás:

Es una estructura en el interior del sinclinorio de Barbacoas. Corresponde a un pliegue anticlinal estrecho con una orientación N20°E. Tiene una longitud superior a los 3 km y su amplitud no llega a los 500 m. En su interior se logran desarrollar fallas inversas y grietas de tensión (fig. 7).

Al igual que los anticlinales de Santa Bárbara,

El Empedrado, Los Aposentos y otros en la región, constituyen excelentes ejemplos de estructuras en flor positivas (Pop up) asociadas a fallamiento transcurrente (fig. 14).

Anticlinal de La Peña:

Es una estructura que se encuentra inmersa en el anticlinorio de Humocaro. En su parte central está integrada por la Fm. Peñas Altas, limitada por dos fallas que al igual que el anticlinal de El Empedrado y Santa Bárbara constituyen verdaderas estructuras en flor positivas (Figs. 8 y 14).



Figura 7. Imagen Spot en la que se indican los Anticlinales de Santa Bárbara y Nunca Jamás ejemplos claros de estructuras en flor positivas.



Figura 8. Anticlinal de La Peña al seno del anticlinorio de Humocaro. Ejemplo de una estructura en flor positiva.

Anticlinal de Los Aposentos:

Es una estructura limitada por dos fallas en el centro del anticlinorio de Humocaro, éste se encuentra un poco más al sur, cerca de Humocaro Alto. Presenta poca longitud y su amplitud no sobrepasa los 600 m. (Figs. 9 y 13).

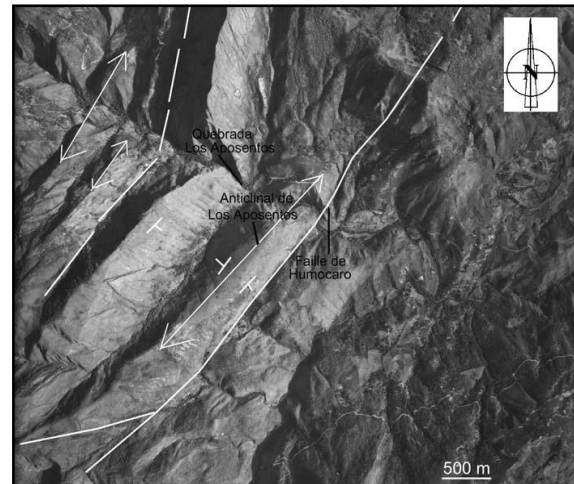


Figura 9. Extracción de la fotografía aérea n° 890 de 1977, en ella se indica el anticlinal de Los Aposentos y la falla de Humocaro.

Anticlinal de Humocaro Bajo:

Es una estructura de 9 km de ancho por 16 km de largo orientado NE – SW, el mismo se encuentra inclinado hacia el SW. El Jurásico (Fm. La Quinta) aflora en la parte norte cerca del caserío de Guacara, al este de la falla de Hato Viejo.

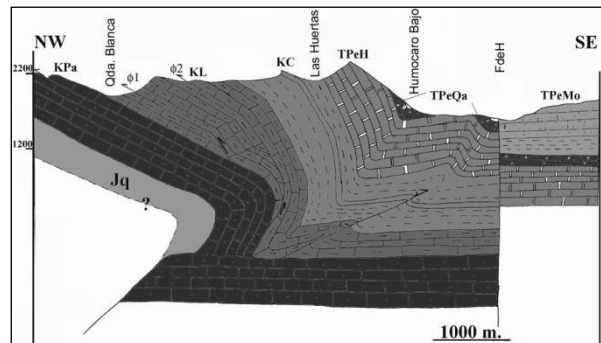


Figura 10. Corte geológico esquemático del sector Hato Arriba – Humocaro Bajo en el que se aprecia el flanco oriental del anticlinal de Humocaro. Jq: Jurásico Fm. La Quinta, KPa: Cretácico inferior Fm. Peñas Altas, KL: Cretácico superior Fm. La Luna, KC: Cretácico superior, TPeH: Terciario Paleoceno – Eoceno Fm. Humocaro, TPeQa: Terciario Paleoceno – Eoceno Fm. Quebrada Arriba, TPeMo: Terciario Paleoceno – Eoceno Fm. Morán, φ1y2: Cabalgamientos, FdeH: Falla de Humocaro.

Los estereogramas realizados a los datos de esta región en su mayoría muestran orientaciones N25°E enmarcados por las fallas transcurrentes con la misma orientación como se puede apreciar en las figuras 6,7 y 9. Éstos desde el

punto de vista geodinámico son cónsonos con una compresión NW.SE.

4.4 El Graben de San Lázaro:

La falla de Trujillo. El Cretácico fosilizando la estructura Jurásica.

Este graben representa una estructura jurásica orientada SW – NE reactivada varias veces desde el Eoceno. Este graben se encuentra delimitado por dos estructuras mayores: La falla de Trujillo con una orientación N15°E que marca el límite oeste y pone en contacto al Jurásico (Fm. La Quinta) y al Paleozoico superior (Fm. Mucuchachí). Sobre este sector el Cretácico inferior representado por la Fm. Peñas Altas, fosiliza la falla de Trujillo ya que los sedimentos de esta formación no son afectados por la falla jurásica en las sucesivas reactivaciones ocurridas a partir del Eoceno.

La inversión tectónica sobre el sector oeste no presentó la magnitud suficiente para invertir la estructura, lo que trajo como resultado que la falla siga presentando un salto normal a pesar de la inversión tectónica producida a nivel regional. Para producir esta compensación la falla de Santa Ana (figs. 11, 12 y 13) tuvo que haber funcionado como falla normal durante la inversión a objeto de absorber la deformación por compresión. Las características de las estructuras encontradas a nivel del afloramiento confortan esta interpretación. (fig. 11). Por otro lado, la falla de Árbol Redondo al Este representa el límite oriental del graben y pone en contacto por corrimiento al Paleozoico superior (Asociación Mucuchachí) sobre el Cretácico inferior (Fm. Peñas Altas).

Aquí se observa asociado a esta falla la existencia de un pliegue de propagación cuyo eje presenta una orientación N-35°E con vergencia de 60°NW. Este transporte tectónico es compatible con el desplazamiento general de los Andes de Mérida encontrado en el compartimiento occidental situado al oeste de la falla de Valera.

Esta estructura de corrimiento generada también por inversión evidencia la tectónica compresiva que involucra el basamento en la deformación. De manera particular se observan despegues en el interior de la serie Cretácica (Fms. Peñas Altas, La Luna y Colón).

Experimentalmente se han realizado modelos numéricos y analógicos desarrollados sobre estructuras explicativas asociadas a sistemas transcurrentes para entender mejor estas estructuras observadas en terreno como el caso de la figura 14 (González 2004) que muy bien se adapta a nuestro estudio y explicaría los pliegues de El Empedrado, Santa Bárbara, Nunca Jamás y Los Aposentos.

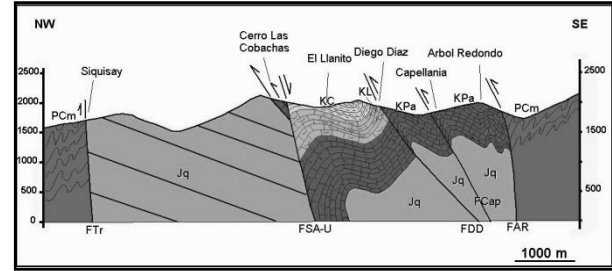


Figura 11. Corte geológico del sector Siquisay – Árbol Redondo. Se observan las fallas de Trujillo (FTr) y Árbol Redondo (FAR) límites del graben de San Lázaro como también las fallas de Santa Ana- La Urbina (FSA-U), la falla de Diego Díaz (FDD) y la falla de Capellanía (FCap).

[PCm: Paleozoico Fm. Mucuchachí; Jq: Jurásico Fm. La Quinta; KPa: Cretácico inferior Fm. Peñas Altas; KL: Cretácico superior Fm. La Luna; KC: Cretácico superior Fm. Colón. Tomado de González L, 2004.

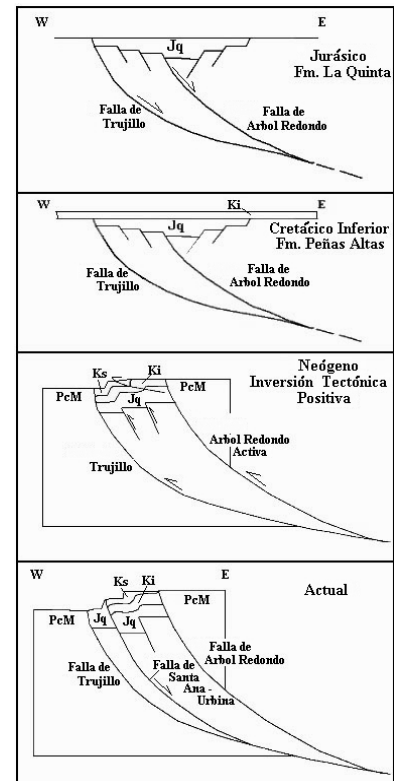


Figura 12. Reconstrucción de la configuración actual del Graben de San Lázaro. PcM: Asoc. Mucuchachí; Jq: Fm. La Quinta; Ki: Fm. Peñas Altas; Ks: Fms. La Luna y Colón [González L., 2004].

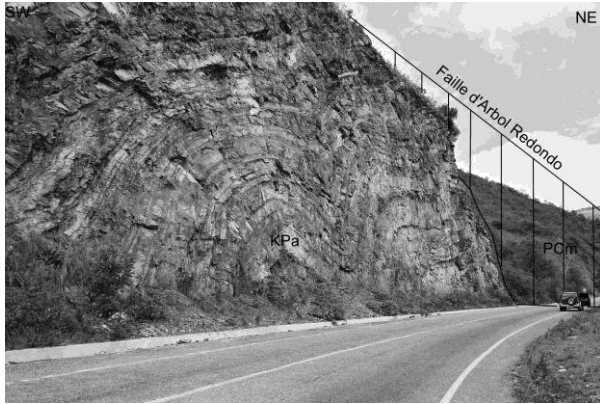


Figura 13. Pliegue sinclinal y anticlinal que conforman la estructura de Árbol Redondo producto de la inversión tectónica al interior del graben de San Lázaro. PCm: Asociación Mucuchachí, KPa: Fm. Peñas Altas.

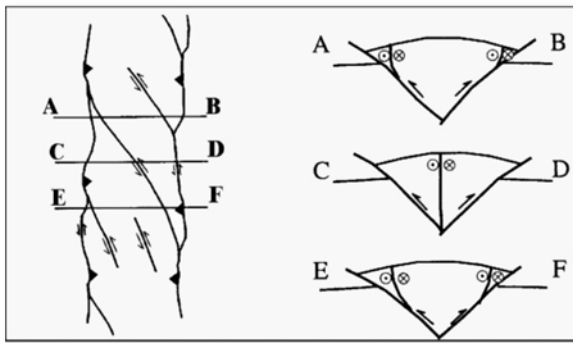


Figura 14. Sistema coalescente idealizado de fallas siniestrales que conllevan a la formación de estructuras "Pop Up". Corte AB sería la idealización para los anticlinales de El Empedrado, Santa Bárbara, La Peña y Los Aposentos. Tomado de González, 2004.

5 Conclusiones

Los resultados de este estudio tienen importantes implicaciones regionales. En efecto, ellos han permitido proponer que la configuración estructural actual de la región son el resultado de una sucesión de eventos complejos a partir del Mioceno, vinculados a la reactivación en transcurrencia de fallas como Boconó y Valera que independizan un sub-bloque crustal (Bloque de Trujillo), así como también otras fallas como Hato Viejo y El Empedrado, resultado de la compresión asociada a una dirección de esfuerzos regionales E-W y NW-SE. Esta compresión actuante sobre un patrón estructural distensivo jurásico pre-existente, provoca una inversión tectónica positiva que involucra el basamento en la deformación. Dicha deformación es muy compleja y se produce a lo largo de fallas inversas de ángulo alto.

Esta deformación es caracterizada por la aparición de los cabalgamientos con vergencia NW, como el cabalgamiento de Árbol Redondo y el de La Peña y a su vez por la formación de pliegues monoclinales asimétricos en el interior de la serie sedimentaria característicos de una evolución de pliegues sobre rampas ("fault bend folds"). A

su vez, estos pliegues vendrían a comportarse como verdaderas estructuras en flor positivas.

6 Agradecimientos

Los autores quieren agradecer la Universidad de Los Andes y a la Escuela de Ingeniería Geológica, al Laboratoire d'Imagerie Géophysique de l' Université de Pau et des Pays de L'Adour, a Petroleos de Venezuela (PDVSA), al Comité Ecos-Nord (Acción Ve00U2), al FONACIT y al Programa Spot-ISIS.

Referencias

- Audemard F, 1991, Tectonic of western Venezuela. Ph. D. Thesis, Rice University, Houston, p.245
- Audemard FA, 1993, Néotectonique, sismotectonique et aléa sismique du Nord-Ouest du Venezuela (système de failles d'Oca-Ancón). These Doc. Univ. Montpellier II, p.369.
- Bellizzia A, 1985, Sistema montañoso del Caribe Una cordillera alóctona en la parte norte de América del Sur. VI Congreso Geológico Venezolano, Caracas, Tomo 10, pp. 6657-6836.
- Colleta B, Roure F, De Toni B, Loureiro D, Passalacqua H, y Gou Y, 1996. Tectonic inheritance sur la géodynamique andine. Saint-Malo, France, p. 323-326.
- Castrillo JT, Hervoüet Y, 1996, Tectonic model of thrust and imbricated thrusting wedge on the North-western flank of the Mérida Andes between Torondoy and Valera (Venezuela). Troisième symposium international sur la géodynamique andine. Saint-Malo, France, p. 307-310.
- Dhont D, Backé G, Hervoüet Y, González L, Castrillo JT, 2002, Venezuelan andean tectonics revealed by SAR JERS Imagery. 5th ISAG. Extended abstrac, p. 179 – 182.
- Gonzalez L, Hervoüet Y, Dhont D, Castrillo JT, 2002, Poly-phased tectonics in the northern Venezuela Andes. 5th ISAG. Extended abstrac, p. 271 – 274.
- González L, 2004, Analyse structurale et evolution tectonique des Andes vénézuélienne nord orientales. Thèse Doctorat, L' Université de Pau. p. 216.
- Hervoüet Y, Castrillo JT, Odreman O, 2001, Interaction entre un chevauchement imbriqué et une zone transcurrente: le flanc nord-ouest des Andes vénézuéliennes. Bull. Soc. Géol. France, t 172, n° 2, p. 159-175.
- Hervoüet Y, González L, Dhont D, Backe G, Castrillo JT, 2005, Déformation des Andes vénézuéliennes nord-orientales. Influence de l'allochtone caraïbe. Soc. géol. Fr., T. 176, N° 1, pp. 93-105.
- Merle O, 1994, Nappes et Chevauchements. Ed. Masson 136 p.
- Mitra S, 1990, Fault propagation folds: geometry, kinematic evolution and hydrocarbon traps. American Association of petroleum Geologist Bulletin, 74, 921-945.
- Pindell JL, Erickson, J, 1995, Aspects of the stratigraphy and Petroleum geology of the Serraniadel Interior, Eastern

Venezuelan Basin. A field trip and short course. Ined. 143 p.
 Pindell JL, Higgs R, Odreman O, 1995, Mesozoic-Cenozoic tectonics and sedimentation in the Venezuelan Andes region, and implications for Petroleum exploration. Guidebook, Field trip n° 6, IX Congreso Latinoamericano de Geología. A.I.S.G.M.-M.E.M., Caracas, 79 p.
 Schubert C, 1985, Comments on "Subduction of the Caribbean plate and basement uplifts in the overriding South American plate" by J.N. Kellogg and W.E. Bonini, Tectonics, 4 p. 781-783.
 Stephan JF, 1977, El contacto cadena Caribe-Andes Merideños entre Carora y El Tocuyo, edo Lara: Observaciones sobre el estilo y la edad de las deformaciones Cenozoicas en el occidente venezolano. Memoria, II Congreso Latinoamericano de Geología, Boletín de Geología, Caracas, Pub. Esp., n°2, tomo 7.

Recibido: 13 de julio de 2017

Aceptado: 31 de marzo de 2018

González Leonardo: Ingeniero Geólogo, egresado de la Universidad de Los Andes, Mérida - Venezuela en 1994. Doctor en Ciencias de la Litosfera 2004 realizado en la Universidad de Pau y Paises del Adour - Francia. Actualmente Profesor Titular Jubilado de la Escuela de Ingeniería Geológica, Universidad de Los Andes.

Castrillo, Jose Tomas: Ingeniero Geólogo, egresado de la Universidad de Oriente. Doctor en Ciencias Geológicas de la Universidad de Pau y Paises del Adour, Francia. Profesor Titular Jubilado de la Escuela de Ingeniería Geológica (ULA). Correo electrónico: cjoset@ula.ve

Hervoüet, Yves: Doctor de Estado de la República de Francia. Profesor Jubilado Emérito de L'Université de Pau et des Pays de L'Adour. Agregado de Investigación para los Programas CNRS ECOS de Francia. Correo electrónico: yves.hervouet@univ-pau.fr

Dhont, Damien: Doctor. Ex-Maitre de Conference de L'Université de Pau et des Pays de L'Adour, Francia. Tectonicien a Total. Correo electrónico: damien_dhont@univ-pau.fr

Odreman, Oscar: Doctor en Paleontología de la Universidad de La Plata, Argentina. Profesor Contratado de la Escuela de Ingeniería Geológica. Miembro del comité fundador de la Escuela de Ingeniería Geológica. †

Bongiorno, Francisco: Ingeniero Geólogo egresado de la Universidad de Los Andes. PhD. en Gerencia Educacional de la Universidad de Yacambú. Profesor Titular de la Escuela de Ingeniería Geológica. Correo electrónico: frabon@ula.ve

Mazuera, Fernando: Ingeniero Geólogo (ULA), candidato a Doctor en Ciencias de la Ingeniería (UCV, 2018). Docente-investigador en geología del petróleo; geofísica aplicada a la ingeniería; estudios de amenaza sísmica, modelado sísmico de estructuras corticales y litosféricas; y modelado geodinámico. Correo electrónico: mazueraf@ula.ve

