

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL Y ESTRATIGRAFÍA DEL ÁREA MAJAYURA (GUAJIRA)

Carlos A. Vargas*, Luis A. Montes*, Carlos Ortega**

RESUMEN

Vargas C.A., L. A. Montes, C. Ortega: Geología estructural y estratigrafía del área Majayura (Guajira). Rev. Acad. Colomb. Cienc. **36** (140): 385-398, 2012. ISSN 0370-3908.

Han sido migradas en profundidad tres líneas sísmicas pre-apiladas en tiempo del programa Majayura-72, en busca de mejorar la coherencia y claridad de reflectores asociadas a las formaciones Cretácicas y Neógenas en el área Majayura, cuenca Baja Guajira. El amarre de las secciones con base en sismogramas sintéticos, coraciones y registros de los pozos Los Manantiales-1, Maicao-1, Guaitapa-1 y Saure-1, permitió realizar una interpretación secuencial con el fin de reconocer las unidades y ambientes de depósito en este sector de la cuenca.

Ciclos de alta y media frecuencia asociadas al aumento y disminución del nivel base, sugieren al menos dos sucesiones principales. La sucesión Cretácica, con tres secuencias: una secuencia inferior, correspondiente a un ambiente continental; una secuencia intermedia relacionada con un ambiente de plataforma externa a batial. Y una secuencia superior relacionada con un ambiente de plataforma media a externa y limitada al tope por la discordancia a la base del Neógeno. Para la sucesión Neógena, se interpreta un primer ciclo de subida de la relación acomodación-suministro (A/S) que representa una secuencia transgresiva (Mioceno Superior), y se correlaciona con la Formación Jimol. Para el Plioceno (Formación Castilletes) se definen dos secuencias estratigráficas que representan disminución de la relación A/S, correspondiente a un evento regresivo con marcados cambios eustáticos.

Palabras clave: Majayura, Cuenca Baja Guajira, Migración en Profundidad, Análisis de Secuencias Estratigráficas.

ABSTRACT

There were migrated in depth three time pre-stack seismic lines of the Majayura-72 program in order to improve coherence and definition of reflectors associated to the Cretaceous and Neogene formations of the Majayura's area, Lower Guajira basin. Seismic sections were tied with synthetic seismograms, cores and records of the Los Manantiales-1, Maicao-1, Guaitapa-1 and Saure-1 wells, for making sequential interpretation in order to define geologic units and paleo-environments in this area of the basin.

* Universidad Nacional de Colombia-Departamento de Geociencias, Bogotá-Colombia. Grupo de Investigación en Geofísica. E-mail: cavargasj@unal.edu.co, lamontesv@unal.edu.co

** Gerencia de Exploración Nacional, Ecopetrol, Bogotá, Colombia. Email: carlosa.ortega@ecopetrol.com.co

Cycles of high and low frequency, associated to advance and retreat of the base line, suggest at least two main sequences. The Cretaceous sequence, with three sub-sequences: a lower sub-sequence, corresponding to a continental environment; a middle sequence related with an external bathyal shelf. And an upper sequence associated with a medium to external shelf and bounded in the top by discordance in the Neogene base. Into the Neogene sequence was interpreted a first cycle linked with a rise of the accommodation – supplies (A/S) that represents a transgressive sequence (Upper Miocene), and it is correlated with the Jimol formation. Into the Pliocene sequence (Castilletes formation) were defined two subsequences that represent a decrease of the A/S ratio, corresponding to regressive sequences with strong eustatic changes.

Key words: Majayura, Lower Guajira basin, Depth Migration, Sequential Stratigraphy.

1. Introducción

El área de Majayura se sitúa al norte de la Falla de Oca y la Serranía de Perijá, aproximadamente entre las coordenadas 1°185.000-1°205.000E y 1°720.000-1°740.000N (Figura 1). Su historia es compartida con la sub-cuenca de la Baja Guajira, la cual se encuentra limitada al norte con la Falla de Cuiza que la separa de la sub-cuenca de la Alta Guajira; al sur por la Falla de Oca, que la separa de la Cuenca Cesar-Ranchería y la Serranía de Perijá; y al occidente por la Sierra Nevada de Santa Marta. Su geología a través del Cenozoico ha sido testigo del fallamiento de rumbo asociado a los eventos tectónicos que ocurrieron desde inicios del Neógeno en el norte de Colombia.

Debido al interés exploratorio que representa esta área, principalmente por su cercanía a grandes yacimientos en la Cuenca de Maracaibo y al potencial gasífero probado en importantes estructuras como la de los Campos Chuchupa y Ballenas, se presenta en este trabajo un análisis estratigráfico y estructural basado en varias secciones sísmicas reprocesadas y un análisis secuencial basado en datos de pozos perforados en la zona.



Figura 1. Ubicación del proyecto Majayura-72 en la Cuenca de la Guajira.

Aunque los resultados reportados en este trabajo deben ser asumidos en el marco de una interpretación geológica preliminar, a lo largo del trabajo será expuesta toda la evidencia estratigráfica que sugiere secuencias con alta ciclicidad, las cuales permiten identificar acumulación y preservación de facies arenosas y arcillosas depositadas en ambientes de plataforma media a externa (ocasionalmente batial), y que parecen repetirse en toda la zona.

2. Marco geológico y estructural

En la Cuenca de la Guajira se reportan rocas ígneo-metamórficas del basamento las cuales se consideran de edad Precámbrica - Paleozoica, sin existir evidencia fósil ni datación que soporte esta idea (Rollins, 1960). En superficie han sido reportadas y estudiadas en las serranías de Jarara, Macuira y Cocinas, variando en composición en cada localidad. La sucesión estratigráfica reconocida es incompleta y su registro va desde el Triásico al Cuaternario (Figura 2). En general las condiciones y ambientes de depositación de las unidades geológicas Mesozoicas y Cenozoicas son muy similares, en su mayoría marinas someras a continentales en facies proximales. La geometría de la cuenca se ve afectada principalmente en el Cenozoico debido a fenómenos orogénicos que permitieron el levantamiento de las serranías de Cocinas, Jarara y Macuira. La Orogenia Andina y el desplazamiento dextral y vertical de las fallas de Oca y Cuiza hacia el Mioceno, explican que unidades Cretácicas y del basamento se pongan en contacto con rocas del Mioceno Superior.

Se describe a continuación la estratigrafía regional de la cuenca de la Guajira con el fin de establecer un referente evolutivo que será útil durante la interpretación de los datos sísmicos y de pozo abordados en este trabajo.

2.1 Estratigrafía

Basamento Indiferenciado

Al noroeste de la Serranía de Jarara se presenta intercalaciones de pizarras, filitas, lutitas silíceas y micáceas de colores

**CUENCA DE LA GUAJIRA
COLUMNA ESTRATIGRÁFICA GENERALIZADA**

PERIODO	ÉPOCA	ÍGNEAS	METAMÓRFICAS	SEDIMENTARIAS	ESPESOR (M)		
C	HOLOCENO						
	PLEISTOCENO						
T	PLIOCENO			Fm. Galinas			
	MIOCENO			Fm. Castilete	592		
				Fm. Jimo	940		
	OLIGOCENO			Fm. Utpa	342		
				Fm. Siamana	302		
	EOCENO	Cuarzodiorita de Peruabi Tcp		Fm. Macarao	>253		
C	PALEOCENO	Granitos de Jarara UK (?)					
	MAAST	Serpentinitas	Fm. Carpintero				
			Fm. Jarara		Fm. Guaramani	>600	
	CAMP		Fm. Epana				
	SAN	Gabbro					
	CON						
	TUR			Fm. La Luna	79-130		
	CEN						
	C	ALB		Fm. Paraunkren Ipenarubo			
		APT					
		BARR	Riolita Ipapure Kiv				
		HAJ		Metamorfitas de alex		Fm. Maraca	
		VAL				Fm. Cogollo Interior	>700
J		BERR					
	SUPERIOR						
	MEDIO				Fm. Yuruma		
INFERIOR				Fm. Moina	50-350		
J	SUPERIOR						
	MEDIO						
T	SUPERIOR	Pegmatitas					
	MEDIO						

Adaptado del mapa de terrenos geológicos de Colombia. Etayo, et. al. 1986
 Mapa geológicos de la Península de La Guajira 1972
 Preparado por Víctor Ramírez

Figura 2. Columna estratigráfica de Cuenca de la Guajira (Rubio y Ramírez, 2000).

gris oscuro a negro, también se presentan algunas calizas cristalinas sin contenido fosilífero que se disponen discordantemente sobre rocas metamórficas. Intrusivos graníticos han sido reportados en la Serranía de Macuira, compuestos por ortoclasas ligeramente coloreados y en contacto con el complejo metamórfico; en la Serranía de Jarara el cuerpo ígneo observado corresponde a una diorita hornbléndica cristalina que intruye esquistos micáceos y pizarras de color gris; y en la Serranía de Cocinas y el Cerro Julanal, se observa un granito de ortoclasa de color rosado, que también se presenta intruyendo el complejo metamórfico.

Formación La Quinta

Definida originalmente *Kündig* (1938) en Rollins (1960) como una formación de edad Triásica Superior (Carniano-Raethiano), la cual está constituida por capas rojas de conglomerados arcóscicos masivos, oscuros, areniscas rojizas e intercalaciones de arcillolitas, lutitas y areniscas delgadas. En menor proporción se observan intercalaciones de calizas grises, intercalados con areniscas y lutitas. Las calizas contienen restos de bivalvos. Las areniscas están compuestas por granos de cuarzo grueso a fino y feldespato, de buena selección principalmente al tope de la sucesión, presenta estratificación cruzada en artesa, y están intercaladas con limolitas. Intercalaciones de lutitas y arcillolitas se presentan en casi toda la unidad a excepción de la parte inferior.

Formación Cojoro (Fm. Uitpana)

De acuerdo a Rollins (1960) se trata de una formación de edad Triásica Superior a Jurásica Inferior que consiste de areniscas cuarzosas de grano muy grueso a fino, limpias, de colores gris a blanco, con estratificación masiva a cruzada, bien cementada, e intercalaciones con niveles de areniscas conglomeráticas cuarzosas de cantos subangulares a subredondeados. A la base de la unidad se observan niveles calcáreos, algunos conglomeráticos de cantos subangulares de color gris oscuro y algunas calizas cristalinas.

Formación Cheterlo

Rollins (1960) la define como una formación de edad Jurásica Inferior (Hettangiano-Toarciano), la cual consiste de cuarzoarenitas de color gris a gris verdoso, grano muy fino a fino, con capas cuyos espesores varían entre 10 cm y 30 cm hacia la parte superior (30%-40% areniscas), e intercalaciones con lutitas limosas y limolitas arcillosas micáceas y ligeramente carbonáceos; hacia la parte inferior arcillolitas verdes a rojas oscuras, intercaladas con areniscas en menor proporción (20%).

Formación Caju

Rollins (1960) señala que la Formación Caju tiene una edad que oscila entre Jurásico Medio a Jurásico Superior. Se trata

de una formación constituida por lutitas grises que alteran a un color oliva opaco, micáceos y limosos que presentan concreciones hacia la parte inferior de la sucesión con amonitas pobremente preservadas, intercalaciones con limolitas y delgadas capas de areniscas y calizas. Las areniscas son de composición cuarcítica de grano fino y capas muy delgadas que se presentan principalmente en la parte superior de la unidad. Hacia la parte inferior de la formación se observan delgadas capas de calcárenitas y algunas calizas dolomíticas altamente fracturadas y hacia la parte superior se presenta contenido de fósiles ostreoides.

Formación Pachepa (Fm. Chinapa)

Descrita por Rollins (1960) como una formación de Jurásico Medio (pre-Kimmeridgiano?), la cual está compuesta por areniscas arcóscicas de grano grueso a medio, localmente grano fino en la parte inferior de la sección, con presencia de micas y matriz arcillosa. Las capas son de espesores superiores a 10 cm. Presenta intercalaciones de capas de conglomerados con cantos de granito subangulares a subredondeados, así como rocas metamórficas y bloques retrabajados. Hacia la parte inferior de la sucesión las areniscas se presentan intercaladas con delgadas capas de lutitas limosas y calizas dolomíticas de colores café amarillento.

Formación Jipi (Incluye El Shale de Cuiza)

En su descripción Rollins (1960) hace referencia a esta formación como de edad Jurásico Superior (*Kimmeridgiano a Portlandiano*), la cual consiste de delgadas capas de lutita micáceas, limosas, de colores gris oscuro a negro, localmente carbonosas, intercaladas con areniscas calcáreas de capas delgadas hacia la parte inferior y media y limolitas hacia la parte superior. También se presentan capas de dolomitas, calizas arenosas y biohermos bien desarrollados en la parte superior de la unidad. Las dolomitas por lo general están presentes en los niveles de lutita y se observan fracturadas y recementadas.

La riqueza bioestratigráfica de micro y macro fauna asociada a esta formación, y colectada por autores como *Bürgl, Renz y Rollins* y estudiada por *G.H. Fraunfelter y J.A. Frangertrom* (Rollins, 1960) permite el reconocimiento de un ambiente depositacional marino somero.

Formación Río Negro (Fm. Palanz – Fm. Ipapure)

Se trata de una formación de edad Berriasiano a Valangiano (Rollins, 1960), la cual presenta hacia la base niveles de cuarzoarenitas de grano grueso y hacia la parte superior areniscas cuarzosas localmente arcóscicas, areniscas conglomeráticas y conglomerados arcóscicos de color café rojizo. Igualmente, presenta Intercaladas algunas capas delgadas de

arcillolitas y calizas. Hacia el este las areniscas inferiores se pinchan contra el basamento y cambia lateralmente a calizas arrecifales que corresponden al Miembro Cuiza y las areniscas y conglomerados superiores parecen cambiar lateralmente a calizas no cristalinas. Los depósitos arrecifales parecen interdigitarse con calcarenitas, arcillolitas calcáreas y lutitas calcáreas.

Ambientalmente es variable según los depósitos estudiados en varias localidades, pero se asume como una unidad depositada en ambientes continentales a marinos someros, con cambios de facies que muestran el desarrollo de varios subambientes.

Formación Yuruma (Grupo Yuruma)

Se trata de una unidad de edad Valanginiano-Barremiano (Renz, 1956), compuesta por calizas masivas en gran proporción y lutitas calcáreas, margas y areniscas calcáreas. A la base de la unidad se presentan calizas intercaladas con lutita calcárea tipo marga, calizas margosas y calizas masivas en la parte media de la sucesión, constituyendo lo que se ha denominado Yuruma Inferior o Formación Moina. Estas calizas son densas, masivas y resistentes de color gris y negro, con niveles fosilíferos.

El nivel superior o Formación Yuruma superior está caracterizado a la base por una sucesión de lutitas grises a negras en capas delgadas intercaladas con margas y hacia el tope calizas masivas de color gris oscuro, textura fina, muy resistentes, y fosilíferas con abundantes restos de conchas finas. Localmente presenta niveles de cuarzoarenitas de granos gruesos. Hacia la parte más superior en el contacto con la unidad suprayacente se encuentra abundante fauna exogyras y ostreoides. El ambiente de depósito para esta unidad es considerado como marino somero con variaciones laterales y verticales que permiten el reconocimiento de varios subambientes.

Grupo Cogollo

El Grupo Cogollo fue definido originalmente como Aptiano – Cenomaniano por Garner (1926) en Rollins (1960). Presenta una unidad informal Cogollo Inferior que consiste de lutitas limosas en capas muy delgadas, calcáreas y fosilíferas que expelen un ligero olor a petróleo, intercaladas con calizas limosas de color negro a café oscuro, con estratificación plana, en capas que varían de 12 cm a 30 cm de espesor presentando laminaciones hacia la parte superior de la sucesión. Estas presentan finas laminaciones de limolitas y son altamente fosilíferas.

La Unidad informal Cogollo Superior (Formación Maraca) está compuesto por calizas masivas de color gris a gris

azuloso, textura microcristalina a cristalina muy gruesa, fosilíferas, intercaladas con *lutita* calcárea. Abundante fauna colectada e identificada por varios autores (Sutton, 1948; Renz, 1956; Rollins 1960) permiten determinar con buena precisión la edad para esta unidad.

Formación La Luna

De acuerdo a Garner (1926) en Rollins (1960) se trata de una formación de edad Cenomaniano-Turoniano que contiene en la base *cherts* negros finamente estratificados e intercalados con delgadas capas de calizas de color negro, con abundante contenido de foraminíferos, presencia de nódulos intraestratificados, alto a moderado contenido de pirita y aceite. El ambiente de depositación sugerido por Rollins es probablemente en una cuenca restringida, con poca circulación de fluidos y condiciones reductoras.

Formación Colon (Fm. Guaralamai)

Liddle (1928) en Rollins (1960) la define como un conjunto de calizas cristalinas de edad Campaniano, las cuales presentan color negro, y en ocasiones se presentan arcillosas, limosas y arenosas, dispuestas en capas delgadas y con fuerte olor a aceite, intercaladas con lutitas calcáreas negras de láminas delgadas que conforman el 40% de la unidad. La Formación Colón está constituida en otras cuencas en su mayor parte por lutitas, y es correlacionada con las facies Santa Rosa (Cuenca de Maracaibo) en su mayor parte calcárea. El ambiente de depósito sugerido corresponde a condiciones clásticas marinas superficiales.

Formación Macarao

De acuerdo a Rollins (1960), se trata de una formación de edad Eoceno Superior que consiste de areniscas glauconíticas de color verde-café, de grano fino, en capas delgadas, estratificación en artesa, intercaladas con arcillolitas de color gris claro, con contenido de selenio, ligeramente carbonáceas y calizas masivas fosilíferas hacia la parte superior de la sucesión.

El ambiente de depositación para esta unidad es marino somero en condiciones de bahía abierta, en el cual las calizas se depositan en sub-ambientes arrecifales de bancos de conchas, y las areniscas y arcillolitas en sub-ambientes tipo “*lagoon*” conformados por barreras arrecifales detrás de la línea de costa.

Formación Siamana (Fm. Sillamana)

Según Rollins (1960) se trata de una unidad Oligoceno Superior a Mioceno Inferior, la cual se encuentra compuesta por lutitas y arcillas limosas de color gris a café oscuro, presen-

tan contenidos de selenio y dentro de sus laminas se observan algunos lentes de areniscas de grano fino, intercalados con areniscas calcáreas de color canela a café, grano fino, fosilíferas y localmente arcillosas; se presentan dispuestas en capas delgadas. En menor proporción se encuentran capas de calizas arenosas o arcillosas fosilíferas. Esta unidad se depositó en un ambiente marino profundo en condiciones neríticas.

Formación Uitpa

Se trata de un conjunto de calizas margosas, calizas arrecifales y calizas arenosas de colores grises de abundante contenido fosilífero, intercaladas en menor proporción con arcillolitas ligeramente grises. En esta unidad litológica prevalece el contenido de calizas.

Fue depositada en un ambiente marino somero dentro de una cuenca estrecha, con aguas cálidas persistentes que permitieron el crecimiento de los corales y el hábitat de moluscos en el fondo. Para Rollins (1960) esta unidad es de edad Oligoceno, en tanto *Renz* (1960) de acuerdo a observaciones e interpretación de fauna colectada en el área la ubica en el Mioceno Inferior. Rubio y Ramírez (2000) con interpretación bioestratigráfica de pozos de la Alta Guajira la consideran de edad Mioceno Inferior. Corresponde a la zona cronoestratigráfica I M en el sentido de estos últimos autores.

Formación Jimol (Fm. Guararies)

Rollins (1960) describe esta unidad como de edad Miocena, la cual consiste principalmente de calizas arenosas masivas, resistentes y muy fosilíferas con abundantes escombros de conchas y algas, intercaladas con areniscas calcáreas de color blanco a gris, grano medio a grueso, cuarzosas, de buena selección; éstas se encuentran principalmente a la base de la unidad. En menor proporción se presentan arcillolitas limosas de color gris claro intercaladas con calizas que se encuentran a la base de la unidad. El intervalo superior es más calcáreo.

Dentro de las capas se observan cantos de cuarzo finos atrapados entre las capas y concentrados hacia la base, que dan idea de un incremento en el régimen de flujo. Corresponde a la zona crono-estratigráfica II M (Mioceno Inferior-Medio) de Rubio y Ramírez (2000).

Formación Castilletes

De acuerdo con Rollins (1960) se trata de un conjunto de rocas de edad Mioceno Medio a Plioceno Inferior, constituidas por calizas margosas de color gris, textura gruesa y fosilíferas, predominantes hacia la base de la sucesión y arcillolitas limosas de color gris a gris verdoso, algunas rojizas motea-

das, intercaladas con delgadas capas de areniscas y que predominan en la parte superior de la sucesión estratigráfica. La Formación Castilletes corresponde a las zonas crono-estratigráficas III M y IV M de Rubio y Ramírez (2000).

Formación Gallinas

Rollins (1960) se refiere a esta formación como un conjunto de rocas de edad Plioceno superior a Pleistoceno?, constituidas por arcillolitas intercaladas con areniscas hacia la base de la sucesión y arcillolitas rojas, grises y ocre, suaves y plásticas, intercaladas con areniscas de mala selección y conglomerados arenosos hacia el tope de la sucesión. El espesor de los finos es mucho mayor. Esta unidad corresponde a la zona cronoestratigráfica V M de Rubio y Ramírez (2000).

Depósitos Cuaternarios

Para el intervalo Pleistoceno – Holoceno se han asociado depósitos de arcillolitas arenosas intercaladas con bancos de areniscas de grano medio a grueso y conglomerados con cantos de tamaño decimétrico de origen ígneo, encerrados en una matriz areno-arcillosa. Sobre estas secuencias se encuentran de manera intermitente ocurrencias de depósitos de cauce aluvial, llanura aluvial y dunas que se extienden sobre toda la zona de estudio (Rollins, 1960).

2.2 Geología estructural

La Cuenca de la Baja Guajira fue generada por la interacción de las placas Caribe y Suramericana durante el Paleogeno en la orogenia post-Eoceno (Mantilla & Mullet, 1991) y por el desplazamiento dextral de las fallas de Oca y Cuiza. El emplazamiento de estas estructuras y la posterior reactivación de la Falla Bucaramanga-Santa Marta (con terminación abrupta en la Falla de Oca), no solamente explican el origen posible de la Sierra Nevada de Santa Marta, la depresión del Tayrona, el Alto de Carraipía, entre otras, sino la generación de una tectónica muy compleja para la Baja Guajira, que durante mucho tiempo se comportó como una plataforma relativamente estable afectada solamente por cambios eustáticos y fenómenos de subsidencia. La deformación dentro de la Cuenca de La Baja Guajira genera un marco estructural complejo donde se observan tres estilos prevalecientes: “(1) conjunto de fallas inversas de alto ángulo, longitudinales, (2) un grupo de fallas rumbo deslizantes de componente dextral, (3) un conjunto menor de fallas laterales izquierdas” (Rollins, 1960), que indican una combinación de esfuerzos tensionales y compresivos asociados.

Las fallas de Cuiza y Oca, rasgos estructurales importantes que limitan la cuenca de la Baja Guajira, corresponden a fallas rumbo deslizantes de tipo transcurrente (Nilsen &

Sylvester, 1999), de componente dextral, con dirección preferencial este-oeste y desplazamientos de pocos kilómetros durante el Oligoceno - Mioceno Inferior; estos son de aproximadamente 15 a 25 km para la falla de Cuiza (Castro *et. al.*, 1991) y 60 a 100 km para la Falla de Oca, y dan lugar a una cuenca de rumbo (*Strike slip basin*) con gran variedad de sucesiones sedimentarias y atributos estructurales de un alto interés prospectivo.

Dentro de la Cuenca de la Baja Guajira es posible determinar varios tipos de sub-cuencas clasificadas como *strike slip basin*, sin embargo se observan características que hacen pensar en una cuenca transrotacional (*transrotational basin*) que se caracteriza por desarrollarse entre fallas rumbo deslizantes y como el resultado de la rotación de bloques en la misma dirección del esfuerzo de cizalla principal (Figura 3). Estas generan geometrías triangulares a lo largo de los már-

genes de los bloques rotados (Nielsen and Sylvester, 1999). Por efecto de cizalla entre las fallas de Oca y Cuiza, se generan una serie de fallas de rumbo, de componente sinextral y dirección preferencial NW –SE, con un importante componente de desplazamiento vertical. Adicionalmente, se presentan fallas de rumbo dextrales, subparalelas, de dirección preferencial este-oeste.

El comportamiento extensivo de las fallas Oca y Cuiza genera grandes depocentros hacia su costado norte. Las fallas de Oca y Cuiza se desplazaron durante el Oligoceno - Mioceno Inferior y presentan reactivación como fallas de tipo extensional (Rubiano, 1998) que posiblemente contribuyen al basculamiento de la cuenca hacia el norte.

La Orogenia Andina podría explicar la ausencia de las sucesiones Paleocenas-Eocenas y el comienzo del cabalgamiento de unidades Cretácicas y basamento sobre rocas de similar edad, que se aprecia en las secciones de los programas Majayura-72 y Maicao-69 bajo la discordancia del Eoceno Medio-Superior. Este fallamiento inverso con vergencia hacia el noroeste tiene una edad pre-Mioceno Superior ya que sólo afecta la parte media de la unidad superior Jimol (Rubiano, 1998).

3. Datos

Para el desarrollo de este trabajo se reprocesaron los primeros 5s de tres secciones sísmicas asociadas al programa Majayura-72. Las secciones M-72-01, M-72-07 y M-72-13, pre-apiladas en tiempo, fueron migradas en profundidad mediante la aplicación del algoritmo Kirchhoff (Kessinger, 2002). El procesamiento se orientó a lograr la continuidad de los reflectores y definición de las unidades estratigráficas para determinar los ciclos de subida y caída del nivel base a partir de registros de pozo amarrados a la sísmica. Los pozos utilizados en este procedimiento fueron Guaitaza-1, Los Manantiales-1, Guaitapa-1 y Saure-1.

Finalmente, una vez las secciones fueron interpretadas desde el punto de vista estructural y estratigráfico, se ajustaron a las observaciones litoestratigráficas de los corazones de los Pozos Guaitaza-1 y Los Manantiales-1 y el análisis de los registros de los Pozos Guaitapa-1, Los Manantiales-1 y Saure-1.

4. Metodología

Se describieron litoestratigráficamente a escala 1:100 los corazones preservados de los Pozos Guaitaza-1 y Los Manantiales-1 en busca de reconocer el ambiente de depósito y correlacionar las unidades estratigráficas de la cuenca. No se tuvo posibilidad de uso de dataciones radiométricas y/o bioestratigráficas.

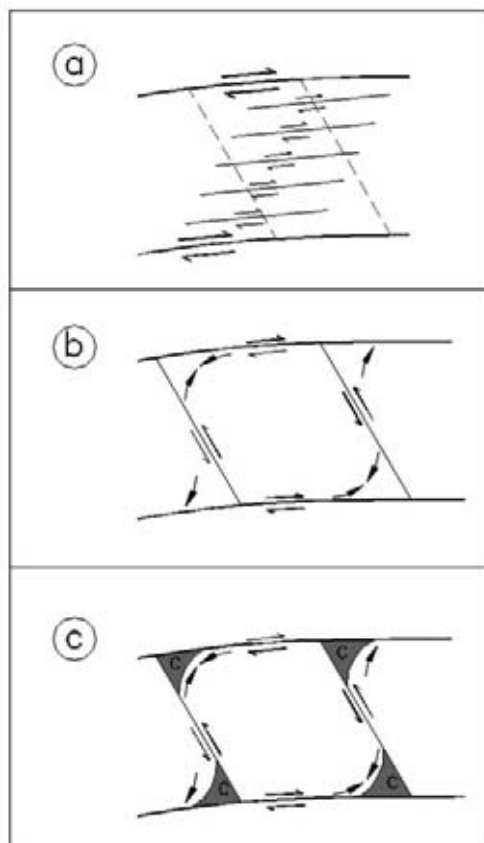


Figura 3. Estilo estructural de la cuenca Baja Guajira. Representación esquemática de una cuenca transrotacional. a) Sistema de fallas de rumbo de componente dextral, que generan fallas paralelas y de cizalla oblicuas, b) detalle de posibles esfuerzos al interior del esquema donde se indica el movimiento, c) zonas de interés donde se concentran esfuerzos compresivos. Las fallas en sentido E-W podrían corresponder a las fallas de Cuiza y Oca.

Posteriormente se elaboraron sismogramas sintéticos (mediante el uso de la herramienta *Syntool de Landmark*), para amarrar la información de pozo a la sísmica. Aun sin contar con VSP, ni registros de densidad para el caso de Manantiales-1, los sintéticos basados en registros sísmicos mostraron buen amarre con la sísmica (se asumió una densidad constante de 2.3 gr/cm). Debido a la ausencia de registro sísmico en el pozo Guaitapa-1, se usó el registro sísmico de Los Manantiales-1 debido a la similitud litológica y cercanía.

Igualmente fueron utilizados registros de potencial espontáneo, conductividad, resistividad, Gamma Ray, la información de historias de pozo con sus respectivas descripciones litológicas, y el control de los corazones preservados. Finalmente se hizo interpretación secuencial sobre los registros de pozo, definiendo ciclos de alta y media frecuencia de aumento y disminución del nivel base (Figura 4). Finalmente fueron reconocidas las principales secuencias y las sucesiones estratigráficas en pozo que se amarraron a la sísmica para su interpretación final.

5. Resultados

Según la sucesión estratigráfica observada en los registros y los corazones preservados de los Pozos Saure-1, Guaitapa-1 y Los Manantiales-1, se reconoce la presencia de rocas de edad Neogena (Mioceno a Pleistoceno) correspondientes a las formaciones Jimol, Castilletes y Gallinas, que reposan

discordantes sobre rocas del basamento cristalino para el caso de Saure-1, y sobre el Cretácico sedimentario para el caso de los Pozos Guaitapa-1 y Los Manantiales-1 (Figura 5).

Descripción del pozo Saure-1

Es el pozo más septentrional del área, ubicado en las coordenadas *Gauss* 1'740.789,8 N y 1'196.055,8 E. Fue perforado por la *International Petroleum (Colombia) Limited* entre enero y febrero de 1958 a una profundidad total de 8.284 pies. En este pozo se corrieron registros de potencial espontáneo, resistividad normal y resistividad lateral. No se tiene historia de pozo por lo que su descripción se hace de una forma muy sencilla, teniendo en cuenta los registros de potencial y resistivos. En éste se encuentran unidades Neogenas de las formaciones Jimol, Castilletes y Gallinas, suprayaciendo discordante a rocas no diferenciadas del basamento que aparecen desde 8150' en adelante.

Intervalo 8150 - 7500 pies. La Formación Jimol no se encuentra descrita en el registro gráfico compuesto pero es reportada en este pozo y observable en líneas sísmicas regionales que controlan la estructura (Programa Sísmico Maicao-69). Parece corresponder a una intercalación de arcillolitas con areniscas (predominando las primeras). La Formación Jimol de edad Mioceno inferior a medio corresponde a la zona cronoestratigráfica II M de Rubio y Ramírez (2000).

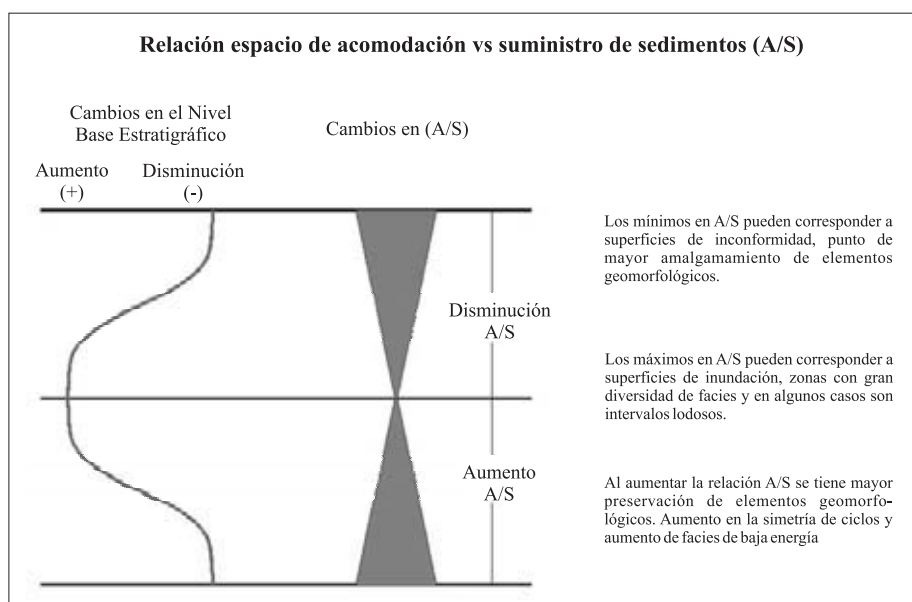


Figura 4. Diagrama Ciclos Estratigráficos. Esquema explicativo de la metodología secuencial escogida para el siguiente trabajo. Tomado de Fajardo y Ramón (2000).

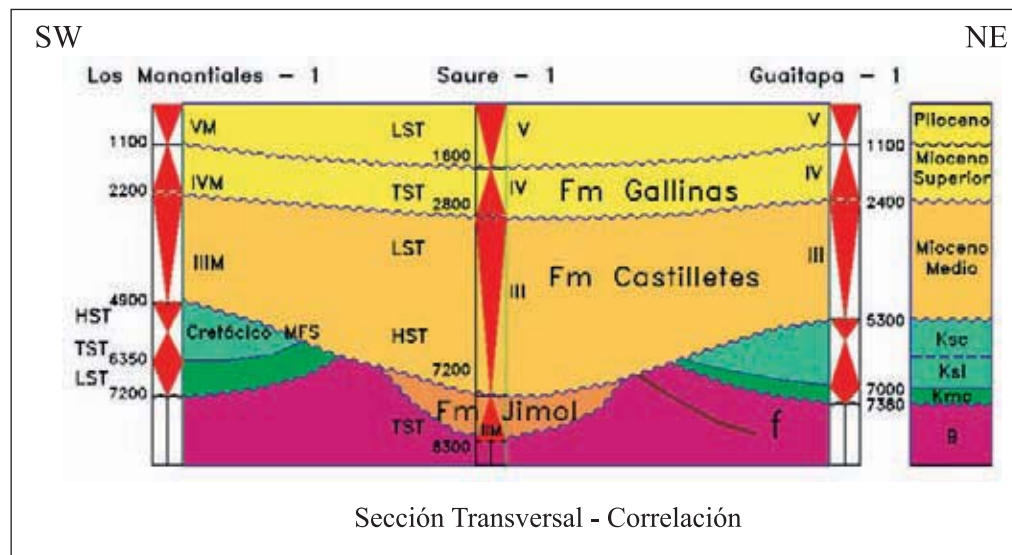


Figura 5. Correlación estratigráfica de los pozos Los Manantiales-1, Saure-1 y Guaitapa-1. Las unidades del Cretácico Superior pueden corresponder a las Formaciones Colón y La Luna, y las del Cretácico Inferior al Grupo Cogollo. Tomado de Rubio y Ramírez (2000).

Intervalo 7500 - 2800 pies. Intercalación de arcillolitas, areniscas y calizas de espesores similares. El espesor de los finos es mayor al tope de la sucesión y el de las areniscas a la base de la misma. Este intervalo corresponde a la Formación Castilletes de edad Mioceno medio a superior y es correlacionable con las zonas cronoestratigráficas III M y IV M de Rubio y Ramírez (2000). Esta unidad suprayace discordantemente a la Formación Jimol.

Intervalo 2800 - 0 pies. Intercalación de arcillolitas y lutitas con conglomerados arenosos hacia el tope de la sucesión estratigráfica y de arcillolitas y areniscas hacia la base. El espesor de los finos es mucho mayor a lo largo de la unidad. Este intervalo corresponde a la Formación Gallinas de edad Plioceno Superior a Pleistoceno y es correlacionable con la zona cronoestratigráfica V M de Rubio y Ramírez (2000). Esta unidad suprayace en contacto discordante a la Formación Castilletes.

Descripción del pozo Guaitapa-1

Es el pozo más oriental del área de trabajo localizado en las coordenadas Gauss 1'736.700,68 N y 1'202.975,30 E. Fue perforado por *International Petroleum (Colombia) Limited* en el año de 1958 con una profundidad total de 7.453 pies. En este pozo se corrieron registros de potencial espontáneo, resistividad lateral y resistividad normal. La descripción de este pozo se hace teniendo en cuenta su historia de pozo, la descripción litológica de los intervalos preservados y los registros de potencial y resistividad. En este pozo se encuen-

tran unidades Neogenas correspondientes a las formaciones Gallinas y Castilletes, que suprayacen en contacto discordante a rocas del Cretácico superior. La sucesión cretácica es conformada por las formaciones Colón y La Luna, El Grupo Cogollo y posiblemente la Formación Río Negro. Estas a su vez se depositan discordantes sobre rocas no diferenciadas del basamento.

Intervalo 7380 - 7081 pies. Consiste de un conglomerado con clastos ígneos y cuarzosos intercalado con arcillolitas arenosas a limosas y ocasionalmente lutitas. Puede corresponder al Cretácico basal o a rocas pre-cretácicas. En la muestra corazonada correspondiente al intervalo 7125.5'-7114 pies se observa un conglomerado clasto-soportado a la base, de clastos angulares a sub-redondeados, color rojizo y variable composición; con niveles de arenisca de grano medio y color rojizo hacia la parte superior, y abundante contenido de matriz arcillosa. Se observan varias sucesiones grano-decrecientes con superficies de reactivación a la base, lo que indica un régimen de flujo alto. Esta unidad parece corresponder a un ambiente continental tipo canal.

Intervalo 7081 - 5800 pies. Esta unidad consiste de intercalaciones de calizas fosilíferas con lutitas negras. Litológicamente puede corresponder al Grupo Cogollo; no obstante en 6384 pies se reporta *Choffatella decipiens* (según la historia de pozo) asociado al Hauteriviano Superior - Barremiano Inferior, que de acuerdo a la nomenclatura adoptada en este trabajo corresponden a rocas de la Formación Yuruma. En los corazones descritos se observa en el intervalo 6389-6380

pies niveles de *mudstone* fosilífero de color gris, con abundantes restos de bivalvos, gastrópodos y ostreoides bien preservados.

Para el intervalo 6240-6232 pies se observa *mudstone* bioturbado de color gris, con abundantes madrigueras dispuestas horizontal y verticalmente, lo que sugiere un leve aumento en el régimen de flujo posiblemente o una mayor cercanía a la zona de acción de las olas. Se observan fracturas rellenas de calcita que evidencian eventos tectónicos posteriores. Para este intervalo se sugiere un ambiente de plataforma media a externa, con buenas condiciones de oxigenación y un régimen de flujo preferencialmente bajo. El intervalo total corazonado es de aproximadamente 17 pies.

Intervalo 5800 - 5348 pies. Corresponde a un intervalo compuesto en su mayoría por *lutitas* negros a grises calcáreos, intercalados con calizas fosilíferas de color gris. De acuerdo con los corazones observados consiste de *mudstone* fosilífero de colores gris claro a gris oscuro, con abundancia de bivalvos de concha delgada, bien preservados, dispuestos en capas delgadas a medias; se observan niveles arenosos orientados que indican leves aumentos en el régimen de flujo. También se observan fracturas de alto ángulo rellenas por calcita con algunas trazas de pirita. En el intervalo 5367-5377 pies se encontró *Cibicides* 66 (Coniaciano).

Estas rocas expelen un fuerte olor a aceite. El intervalo total preservado en los corazones es de aproximadamente 26 pies. Esta unidad corresponde a rocas del Cretácico Superior posiblemente las formaciones Colón y La Luna. Su ambiente de depósito corresponde a plataforma media, con buenas condiciones de oxigenación y bajo régimen de flujo.

Intervalo 5348 - 2400 pies. Consiste de areniscas intercaladas con arcillolitas en muy poca proporción. Esta unidad corresponde a la Formación Castilletes (zona cronoestratigráfica III M y IV M según Rubio y Ramírez, 2000). Descansa discordante sobre rocas del Cretácico Superior, posiblemente asociadas a la Formación Colón aunque en la historia de pozo se mencione la Formación La Luna.

Intervalo 2400 - 0 pies. Arcillolitas rojas y ocasionalmente grises, suaves y plásticas intercaladas con areniscas; el espesor de las arcillolitas es mucho mayor y las areniscas se van incrementando hacia la base. Esta unidad corresponde a la Formación Gallinas y se correlaciona con la zona cronoestratigráfica V M (Rubio y Ramírez, 2000). Esta unidad suprayace discordante a la Formación Castilletes.

Descripción pozo los Manantiales-1

Es el pozo más occidental del área de trabajo; ubicado en las coordenadas *Gauss* 1'732.700 N y 1'189.600 E. Fue perforado por la *Aquitaine Colombie* y *British Petroleum* con la operación de la primera compañía en el año de 1972 y llegó a una profundidad total de 7.952 pies. En este pozo se corrieron registros sísmicos, potencial espontáneo, resistividad y conductividad.

Los datos utilizados en la descripción fueron la historia de pozo, los registros y los intervalos corazonados preservados. En Los Manantiales-1 se presentan unidades litológicas similares a las observadas en el Pozo Guaitapa-1 y en condiciones geológicas parecidas, a excepción posiblemente de rocas del Cretácico basal o pre-Cretácico.

Intervalo 7952 - 7200 pies. Hacia la parte superior de la sucesión se presenta un basalto espilítico muy fracturado, con niveles de epidota, calcita y clorita; debajo se encuentra una roca dacítica. Esta unidad es considerada el basamento económico del pozo, y de acuerdo con dataciones K-Ar da una edad de 136 +/- .5 millones de años (Jurásico - Cretácico).

Intervalo 7200 - 6350 pies. La parte inferior de la sucesión presenta una intercalación de limolitas y arcillolitas grises, con trazas de pirita, glauconita y arcillolitas calcáreas en menor proporción; también algunos *mudstone* de color *beige*. En los niveles calcáreos se encuentran restos de moluscos y foraminíferos.

Hacia la parte superior el intervalo se hace más calcáreo, con presencia de niveles de *mudstone* de color *beige* a gris, muy compactas y de abundante contenido fosilífero, intercalado con limolita silíceas de colores gris oscuro a negro, ligeramente calcárea, laminación ondulada paralela, masiva y ocasionalmente fracturada con rellenos de calcita. Los restos fósiles son de concha delgada y se presentan bien conservados. Las asociaciones faciales reconocidas y las características de la roca permiten determinar un ambiente de plataforma media a externa, con un régimen de flujo bajo y condiciones de oxigenación favorables para el desarrollo de organismos. Esta unidad corresponde al Cretácico Superior. El intervalo corazonado es de 31 pies.

Intervalo 6350 - 4700 pies. Hacia la parte inferior corresponde a una intercalación de arcillolitas grises, muy friables intercaladas con calizas cristalinas tipo *esparita*. En la parte superior y media de la sucesión se reconoce un intervalo predominantemente limo arcilloso, de color gris claro, con presencia de mica y pirita, muy fosilífero, intercalado con calizas. La fauna reportada y estudiada por *Aquitaine* es datada como *Campaniano* a *Maastrichtiano*, que corresponde a la Formación Colón de edad Cretácico Superior.

Intervalo 4700 - 2600 pies. Arenisca arcillosa de varios colores, mal seleccionada e intercalada con arcillolitas y limo-

Sucesión Cretácica

De acuerdo a las descripciones en las historias de pozo y los corazones preservados, se reconocen rocas del Cretácico Superior. Dichos datos de pozo presentan evidencia de repeticiones que se descartan en la sísmica, sugiriendo cambios en el nivel del mar en ciclos de alta frecuencia. Por otra parte el espesor para las unidades Cretácicas reconocidas en la sísmica permite considerar que la sucesión preservada puede corresponder al Cretácico Inferior, tardío a superior.

De acuerdo con lo anterior, se establecieron secuencias estratigráficas para cada una de las unidades litológicas reconocidas en el subsuelo. Las rocas del basamento no fueron caracterizadas litológicamente pero se observó que presentan variaciones en cada uno de los pozos. No obstante, esta superficie discordante sobre la que se depositan las unidades cretácicas se consideró un límite de secuencia.

La sucesión Cretácica se dividió en tres secuencias estratigráficas en donde al parecer están presentes rocas de la Formación Río Negro (Rollins, 1960) o Formación Ipapure (Rubio y Ramírez, 2000), Formación Yuruma?, el Grupo Cogollo, la Formación La Luna (Guitapa-1) y la Formación Colón (Los Manantiales-1).

La **secuencia inferior** es predominantemente clástica y depositada en un ambiente continental (Formación Río Negro); está limitada a la base por la discordancia al tope del basamento y hacia la parte superior por la discordancia pre-Cretácico Medio. Representa un ciclo de disminución de A/S que corresponde a un *Lowstand System Tract* (LST) donde se observa una prevalencia de facies de alta energía con un patrón de apilamiento progradacional. Esta observación se detecta solamente en el Pozo Guaitapa-1.

La **secuencia intermedia**, compuesta por lodolitas y calizas, fue depositada en un ambiente marino de plataforma media-externa a batial, (formaciones Cogollo y La Luna) que representa un aumento de A/S; esta secuencia está limitada a la base por la discordancia al tope del basamento en el pozo Los Manantiales-1 y la discordancia pre-Cretácico Medio en el pozo Guaitapa-1 (LST) y al tope por una superficie de máxima inundación (MFS) ubicada en la parte superior de la Formación La Luna, que en este trabajo se denomina **Cretácico MFS**. La parte basal del Cretácico Medio representaría el *transgressive System Tract* (TST).

La **secuencia superior** compuesta por lodolitas y calizas, depositada en un ambiente marino de plataforma media a externa (Formación Colón), corresponde al desarrollo del *Highstand System Tract* (HST); y está limitada a la base por la MFS **Cretácico MFS** y al tope por la discordancia a

la base del Neogeno que correspondería posiblemente a un *LST*, erosionado por efectos de la Orogenia Andina.

La Formación Río Negro (en el sentido de Rollins, 1960) marca el comienzo del Cretácico en un ambiente continental de características similares a la Formación Yaví en el Valle Superior del Magdalena y la Formación Girón en el Valle Medio del Magdalena, en tanto las unidades del Cretácico Medio a Superior representan el máximo aumento del nivel del mar y el comienzo de la regresión final de este periodo. En las secciones sísmicas interpretadas (Figuras 7, 8 y 9), se observan terminaciones tipo *onlap*, *downlap*, *toplap* y truncaciones erosionales que permiten reconocer cambios eustáticos. Al tope del Cretácico aparece una discordancia producto de erosión subaérea para los comienzos del Neogeno.

Sucesión Neogena

Formación Jimol. La Formación Jimol que descansa discordante sobre el basamento en el Pozo Saure-1 y suprayace discordante a la Formación Castilletes, no fue interpretada debido a carencia de información. El intervalo observado en el Pozo Saure-1 puede corresponder a la parte superior de esta unidad según lo observado en programas sísmicos regionales como Maicao-69. Sus terminaciones *onlap* sobre el basamento (Figura 7), sugieren un aumento de la relación A/S representando una secuencia transgresiva. Por ausencia de información es imposible determinar el ambiente de depósito para esta unidad en el área de Majayura.

Formación Castilletes. La sucesión litológica de la Formación Castilletes se dividió en dos secuencias estratigráficas que en análisis de ciclos de baja frecuencia corresponden a disminución de la relación A/S, correspondientes a las zonas cronoestratigráficas III M y IV M (Rubio & Ramírez, 2000). En análisis de ciclos de alta frecuencia se evidencia gran variedad de cambios eustáticos y de sucesiones estratigráficas; este intervalo podría asumirse como un ciclo de disminución de la relación A/S correspondiente a un gran evento regresivo. En los registros de pozo se observa aumento y apilamiento de facies de alta energía y una pérdida de simetría de ciclos que pueden corresponder con la evolución posterior de un *Highstand System Tract* (HST) en ciclos estratigráficos de baja frecuencia donde predomina una disminución de la relación A/S. Hacia la parte superior de cada uno de estas secuencias se observan terminaciones *downlap* de eventos progradantes que corresponden a un LST.

Para la zona III M, el límite inferior es la discordancia al tope de la Formación Jimol en el Pozo Saure-1 y la discordancia Cretácica para los pozos Guaitapa-1 y Los Manantiales-1; y el límite superior es la discordancia que en este trabajo ha sido denominada Castilletes-1. Para la zona IV M el límite

inferior corresponde a **Castilletes-1** y el superior a la discordancia al tope de la Formación Castilletes que en este trabajo se denomina **Castilletes-2**. Por ausencia de información es imposible determinar el ambiente de depósito para esta unidad en el Área de Majayura.

Formación Gallinas. La sucesión litológica de la Formación Gallinas se dividió en dos secuencias estratigráficas correspondiente a la zona cronoestratigráfica V M de Rubio y Ramírez (2000). El ciclo inferior está limitado a la base por la discordancia Castilletes-2 que posiblemente corresponde a un LST y al tope con un MFS denominado en este trabajo como Gallinas MFS. La secuencia superior está limitada a la base por Gallinas MFS y al tope por una discordancia tipo LST.

6. Discusión

En la línea sísmica M-72-1 la sucesión Cenozoica suprayace discordante a rocas Cretácicas, las cuales a su vez reposan discordantemente sobre rocas del basamento. Tanto el basamento como el Cretácico se ven afectados por fallas de rumbo con componente vertical tipo inverso. En la línea sísmica M-72-7, hacia el costado occidental se observa la sucesión Cenozoica descansando discordantemente sobre el Basamento y hacia la parte central-oriental, suprayace también discordante a rocas Cretácicas; en la línea M-72-13, bajo la sucesión Cenozoica, se registran también en contacto discordante rocas de edad Cretácica.

La interpretación de las tres líneas sísmicas de Majayura evidencia que en la Baja Guajira, hacia la parte más oriental, se presentaron depósitos marinos de plataforma, correspondientes al Grupo Cogollo?, Formación la Luna y Formación Colón para el Cretácico Inferior a Superior y las Formaciones Jimol y Castilletes de edad Mioceno; en estas unidades es muy probable encontrar depósitos arrecifales dependiendo de la posición en la cuenca. Sobre estas, en contacto discordante se depositaron rocas de ambiente continental correspondientes a la Formación Gallinas de edad Plioceno-Pleistoceno.

De acuerdo con las características estratigráficas y los ambientes de depositación, las unidades Cretácicas son correlacionables con unidades de importancia económica en los campos gigantes Mara y La Paz del noroeste de Venezuela, con reservas de 900 millones de barriles. La interpretación de las líneas sísmicas M-72-1, M-72-7 y M-72-13 (Figuras 7, 8 y 9), permite reconocer un estilo estructural predominantemente extensional, en una pequeña cuenca transrotacional cortada por esfuerzos de cizalla de dirección NW –SE. Los trenes de cizalla afectan principalmente rocas del basamento al Cretácico Superior. Esto es concordante con la idea de que

la orogenia no permitió el depósito de sedimentos de edad Paleoceno-Oligoceno para esta parte de la cuenca. Desplazamientos posteriores en menor magnitud de la Falla de Oca son responsables de trenes de cizalla que afectan sedimentos del Mioceno para esta parte de la cuenca.

En las secciones sísmicas se observa para el Cretácico una serie de fallas inversas, con dirección de transporte hacia el NW, que ponen en contacto rocas del basamento con sucesiones Cretácicas; es posible que estas fallas correspondan a la reactivación - en sentido contrario - de planos de falla normales que para una edad pre-Cretácica afectaron el basamento, permitiendo el desarrollo de una paleotopografía abrupta donde se observan altos estructurales del basamento (ver las tres líneas sísmicas), que posteriormente son afectados durante el Paleogeno por los eventos orogénicos mencionados anteriormente. Posteriormente se reconocen fallas menores que afectan la secuencia post-Mioceno que son el resultado de una tectónica extensiva, acompañada de emplazamientos posteriores de las Falla de Oca en su dirección preferencial.

En general la cuenca corresponde a una plataforma extensa (Figura 10) que se profundiza hacia el sur oriente, con depositación de gran variedad de sucesiones sedimentarias durante el Cretácico – Neogeno, producto de aumento y disminución de la relación A/S. La cuenca fue afectada principalmente durante la Orogenia Andina generando estructuras de alta complejidad.

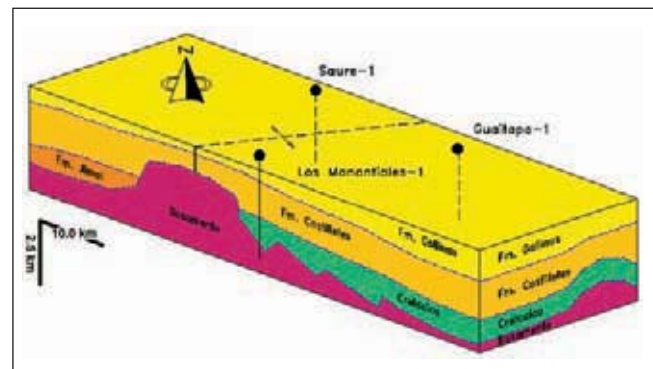


Figura 10. Bloque Diagrama Esquemático-Área Majayura.

Conclusiones

El área de Majayura ha sido analizada estratigráficamente. En ella se han reconocido al menos dos sucesiones principales. La sucesión Cretácica se caracterizaron tres secuencias: La secuencia inferior reportada en el Pozo Guaitapa-1, predominantemente clástica, correspondiente a un ambiente continental y asociada a un LST. La secuencia intermedia compuesta por lodolitas y calizas de un ambiente de platafor-

ma media-externa a batial, limitada al tope por una superficie de MFS entre las Formaciones La Luna y Colon, y llamada en este trabajo Cretácico MFS. La secuencia superior compuesta por lodolitas y calizas de un ambiente de plataforma media a externa, limitada al tope por la discordancia a la base del Neogeno, que podría corresponder a un LST.

Para la sucesión Neogena, se interpreta un primer ciclo de subida de la relación A/S que representa una secuencia transgresiva (Mioceno Superior), y se correlaciona con la Formación Jimol reportada únicamente en el Pozo Saure-1. Para el Plioceno (Formación. Castilletes) se definen dos secuencias estratigráficas que representan disminución de la relación A/S, correspondiente a un evento regresivo con marcados cambios eustáticos. La parte inferior de estos ciclos corresponde a un HST en su fase terminal y la superior a un LST. Para el Pleistoceno (Formación. Gallinas) se observa el desarrollo de un ciclo estratigráfico completo, con una secuencia inferior de aumento de la relación A/S, limitado al tope por una máxima MFS, denominada Gallinas MFS, y una secuencia superior de disminución de la relación A/S, que muestra el desarrollo de un LST hacia la parte superior.

Desde el punto de vista estructural se sugiere que la cuenca de La Baja Guajira corresponde a una cuenca de rumbo, y el Área de Majayura como una pequeña sub-cuenca tipo transrotacional.

Agradecimientos

Los autores agradecen a ECOPEPETROL-ICP su apoyo en el desarrollo de este proyecto. Fue fundamental la gestión del personal del ICP para tener acceso a su Litoteca, así como a la Universidad Nacional Colombia, en particular al programa de Maestría en Geofísica, por facilitar sus instalaciones y laboratorio de cómputo.

Referencias

- Bendeck, J.** 1992. Perfiles eléctricos una herramienta para la evaluación de formaciones. Memorias de Curso ACGGP, Bogotá, Colombia.
- Castro, E., López, G., Pulido, O. y Cristancho, J.** 1991, Interpretación Sismo - Estratigráfica de la Subcuenca de la Baja Guajira, Ecopetrol. Informe Geofísico 2301, ISN 18914, Bogotá.
- ICP – Ecopetrol** 1988. Evaluación regional de la Cuenca de la Baja Guajira. Informe Interno. Piedecuesta, Santander, Colombia.
- Fajardo, A., Ramón, J.C.** 2000. Aplicación de la estratigrafía secuencial en exploración y desarrollo. Memorias de Curso ACGGP, Bogotá.
- Huguett, A.** 1977. Resumen del estudio hidrogeológico de la Baja y Media Guajira. *Boletín Geológico de Ingeominas*, Vol 29 (14): 47 – 83, Bogotá, Colombia.
- Kessinger, W.** 2002. Curved-ray time migration can improve seismic imaging. *Oil and Gas Journal* (October).
- Mantilla, M., Mullet, F.** 1991. Modelo preliminar de evolución tectónica para el extremo oriental de la falla de Oca, Departamento de la Guajira, Colombia, Tesis, Universidad Industrial de Santander UIS., Bucaramanga.
- Nielsen G. and Sylvester J.** 1999, Strike Slip Faulting. The Leading Edge, Tulsa Ok.
- Renz, O.** 1956, Cretaceous in Western Venezuela and Guajira Colombia: Paper present at 20th International Geological Congress. Mexico City.
- Rubio, R., & Ramírez, V.** 2000, Evaluación regional de la Cuenca de La Baja Guajira, Informe interno, Ecopetrol. Bogotá.
- Rollins, J. F.** 1960, Stratigraphy and Structure of the Guajira Peninsula, Northwestern Venezuela and Northeastern Colombia. PhD Thesis, University of Nebraska., Lincoln, Nebraska.
- Pubiano, J.** 1998. Evaluación regional Cuenca de la Baja Guajira. Informe Interno ICP. Piedecuesta, Santander, Colombia.
- Schlumberger**, 1990. Seminario de interpretación básica de perfiles. Memorias de Curso.
- Schlumberger**, 1998, Seminario de Borehole seismic review. Memorias de Curso.
- Sutton, F. A.** 1946, Geology of Maracaibo basin, Venezuela. *AAAPG Bulletin*, Vol. 30 (1): 1621 – 1741.
- Teatin, P.** 1991. The Siamana Formation Carbonate Unit, Lower Guajira Sub - basin Colombia: Its Depositional Setting and Diagenesis. Msc Thesis, University of South Carolina, USA. Informe Geológico Ecopetrol 27789, ISN 17884.

Recibido: 14 de junio de 2011

Aceptado para publicación: 5 de septiembre de 2012.