

INTERPRETACIÓN ESTRUCTURAL DEL ÁREA ALREDEDOR DE LOS CAYOS QUITASUEÑO Y SERRANA, EN EL CARIBE, COSTA AFUERA DE COLOMBIA

F. MUNAR

Ecopetrol - Instituto Colombiano del Petróleo, A.A. 4185 Bucaramanga, Santander, Colombia
E-mail: fmunar@ecopetrol.com.co

La región Caribe de Colombia, ha sido poco explorada, y por tal motivo surgen muchos interrogantes desde el punto de vista estratigráfico y estructural. Uno de los interrogantes es la identificación del basamento en el área y su relación con las islas. Con la interpretación de 1700 km de líneas sísmicas de los programas Cayos 77 y Cayos 82 de Ecopetrol, y el amarre de los pozos Miskito 1 y Miskito 2 en el área alrededor de los Cayos (parte inferior del promontorio de Nicaragua), al norte de la cuenca Colombia, se determinó la posición del horizonte B" dentro de la secuencia estratigráfica y se definieron dos orientaciones o tendencias estructurales que afectan los Cayos Quitasueño y Serrana, una en sentido noreste-suroeste y otra en sentido noroeste-sureste, en una tectónica de *horts* y *grabens*. Adicionalmente, la litología mayormente ígnea del basamento determinado por algunos pozos en el área sugiere que dicho basamento puede ser desde el punto de vista exploratorio un buen sello.

The Caribbean basin has been poorly explored and poses a wide array of geological questions, due to its uncertain stratigraphic relations, its structural frame and the nature of its basement related to the islands. By interpreting 1700 km seismic lines, from the Ecopetrol Caribbean surveys, Cayos 77 and Cayos 82, and by tightening two wells, Miskito 1 and Miskito 2, in the area of cays (lower Nicaragua rise), north of the Colombia Basin, we determined the stratigraphic position of the basement B" and found out two trends NE-SW and NW-SE for the Quitasueño and Serrana Cays, in a *horst* and *graben* style. In addition to that, the facies for the basement are for the most part igneous and from an exploration point of view, it gives the opportunity for a good seal.

Palabras clave: interpretación estructural, líneas sísmicas, basamento, horizonte B", placa caribe, cayos quitasueño y serrana, segundos, múltiples.

INTRODUCCIÓN

El área de estudio se encuentra al oriente de la plataforma de Nicaragua, dentro de los límites internacionales de Colombia, que corresponde a los cayos (cayo Roncador, banco Quitasueño, banco Serrana y banco Serranilla) localizados entre los 14° y los 16° de latitud Norte y los 79° y los 82° de longitud oeste (Figura 1).

Los cayos de Quitasueño y Serrana se localizan en la provincia geológica definida por Case *et al.*, (1984), como promontorio sur de Nicaragua (Southern Nicaragua Rise) Figura 1, y pertenecen a una cadena de islas volcánicas que se extienden con una dirección aproximadamente noreste, e incluyen las islas de Providencia, San Andrés, los cayos Roncador, Serranilla y otras, que se alinean constituyendo lo que Cristofferson (1983),

define como un límite activo de placas que separa la placa Caribe de la CAM (América central sur), y que consiste de fallas de transformación (transform faults) sinestrales en una cuenca de apertura (pull apart basin).

Case *et al.*, (1984) determinó para esta provincia (promontorio sur de Nicaragua) un espesor de sedimentos de 500 m (1640') a 1.000 m (3280'), sobre un basamento acústico generalmente irregular, y con la información de la perforación No. 152 (Figura 2), del Deep Sea Drilling Project (DSDP), (Edgar *et al.*, 1973), realizada sobre la misma, se concluyó, que está constituida por carbonatos, chert y caliza sílicea (Campaniano a Paleogeno Temprano) sobre basaltos que se correlacionan con el horizonte sísmico B" (basaltos y sedimentos pelágicos del Cretáceo Tardío).

La provincia anterior, se encuentra delimitada al nor-

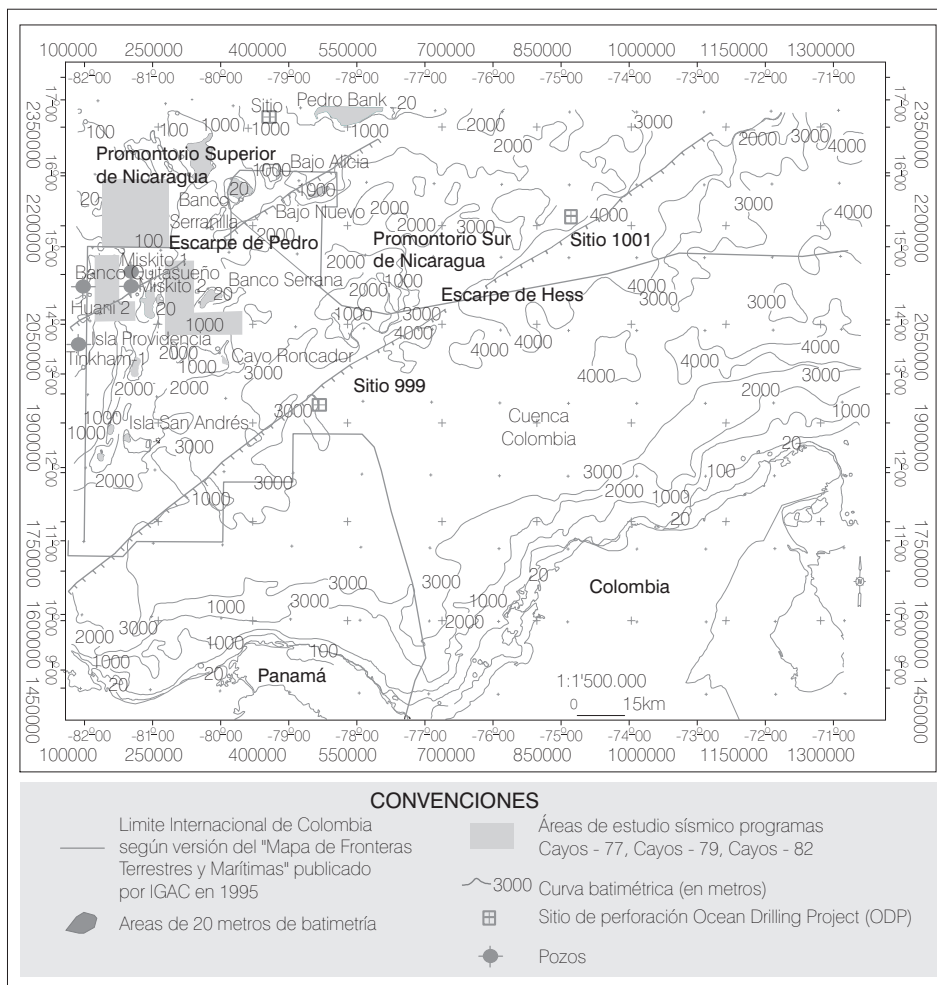


Figure 1. Localización del área de estudio

te por la de un rasgo estructural regional denominado el escarpe de Pedro (Figura 2), que la separa del promontorio superior de Nicaragua; y por el escarpe de Hess al sur, con la cuenca Colombia, que corresponde a cuenca alargada en dirección noreste-suroeste, en donde se asume que la corteza oceánica es de edad Pre Campaniano, sobreyacida por rocas de edad Campaniano y sedimentos pelágicos más jóvenes.

El escarpe de Pedro y de Hess son rasgos regionales, que se extienden en una dirección suroeste y se destaca ampliamente por formar un rompimiento en la batimetría en la cuenca Colombia y el promontorio sur Nicaragua.

La Información que se tiene del área de los cayos es de un total de 9057 km de líneas sísmicas, que corresponden a los programas cayos 77, cayos 79 y cayos 82 adquiridos por Ecopetrol. Información de pozos se tiene de los Miskito 1 y Miskito 2, perforados por Occidental, en 1970 en el promontorio superior de Nicaragua, que es una provincia geológica localizada al norte del promontorio sur de Nicaragua (Figura 2) y que (Case *et al.*, 1984) dividen en cuencas del promontorio Nicaragua- Mosquita, cuenca Nicaragua norte y banco de Pedro.

Adicionalmente se tiene, de áreas vecinas, referencia de dos perforaciones del Ocean Drilling Program (ODP), (Sigurdsson *et al.*, 1997) en su último crucero por el Caribe, el Sitio 999, en la cuenca Colombia, dentro del límite internacional de Colombia y el Sitio 1001 (Figura 1), fuera de su límite, pero dentro de la misma provincia geológica (promontorio sur de Nicaragua).

Información sísmica se ha interpretado anteriormente con un objetivo exploratorio. Aunque no se han encontrado acumulaciones comerciales en la zona, se ha contado con varios intentos por lograrlo. Yory *et al.*, (1979), definieron siete prospectos estructurales en el programa cayos 77, al nivel del basamento. Arango, C. (1980) interpretó el programa cayos 79 y definió un horizonte sísmico B, y a ese nivel no se definieron prospectos. García *et al.*, (1984) interpretaron el programa Cayos 82, definiendo un horizonte A que corresponde al basamento sísmico donde podrían encontrarse altos de desarrollo calcáreo, con posibilidades de exploración estratigráfica. Este horizonte A debe corresponder al horizonte B" en la nomenclatura usada para el Caribe por diferentes autores, entre ellos, Mauffret y Leroy (1997), para referenciar al horizonte sísmico que corresponde a basaltos de edad Campaniano, en la cuenca de Venezuela.

Por las diferentes denominaciones acerca del basamento, se ha generado incertidumbre acerca de su definición y ubicación dentro de la secuencia estratigráfica y su relación estructural con la islas. El objetivo de este trabajo fué definir un marco estratigráfico y estructural ubicando el basamento en una estratigrafía regional y definiendo su sentido estructural, con base en la interpretación sísmica alrededor de las islas o cayos Serrana y Quitasueño.

MÉTODO DE TRABAJO

Para la interpretación de la información sísmica se tuvieron en cuenta líneas sísmicas de los programas de Ecopetrol, cayos 77 y cayos 82, que en total suman 1700 km. Se dispuso de secciones migradas, a los cuales, en su reproceso, les fueron aplicados filtros para la eliminación de múltiples eventos sísmicos que afectaban en forma importante la calidad de la información sísmica. Esta información fue cargada en estación de trabajo e interpretada en ambiente Landmark. Adicionalmente, se amarraron los pozos Miskito 1 y Miskito 2 en líneas sísmicas de papel, del programa cayos 79, para interpretar el horizonte que corresponde al basamento y se tuvo en cuenta la información geológica de las dos perforaciones de la ODP, Sitio 999 y 1001. Los sismogramas sintéticos de los dos pozos Miskitos fueron generados en ambiente LOGM, a partir de registros sísmicos, con intervalo de muestreo de 0,0002 segundos, control de ganancia de 0,0, amplitud de 1,0 y los múltiples no se consideraron.

Finalmente, se compararon las tendencias estructurales encontradas para el basamento con la información estructural regional de Géister (1992), definida previamente para el área.

MARCO ESTRATIGRÁFICO

La estratigrafía del área fue definida en la cuenca de Venezuela por Ladd and Watkin, (1980, en Mauffret and Leroy, 1997).

El DSDP, en la perforación de los pozos No. 146 y 153 Figura 2 (Edgar *et al.*, 1973), en la cuenca de Venezuela y en el estrecho de Aruba (Aruba Gap) respectivamente, determinaron la presencia de tres intervalos sísmicos principales: el superior, que corresponde a una unidad de lodo calcáreo margoso y de arcilla de edad Mioceno Temprano al Reciente (eM), el segundo intervalo sísmico coincide con una unidad de calizas de

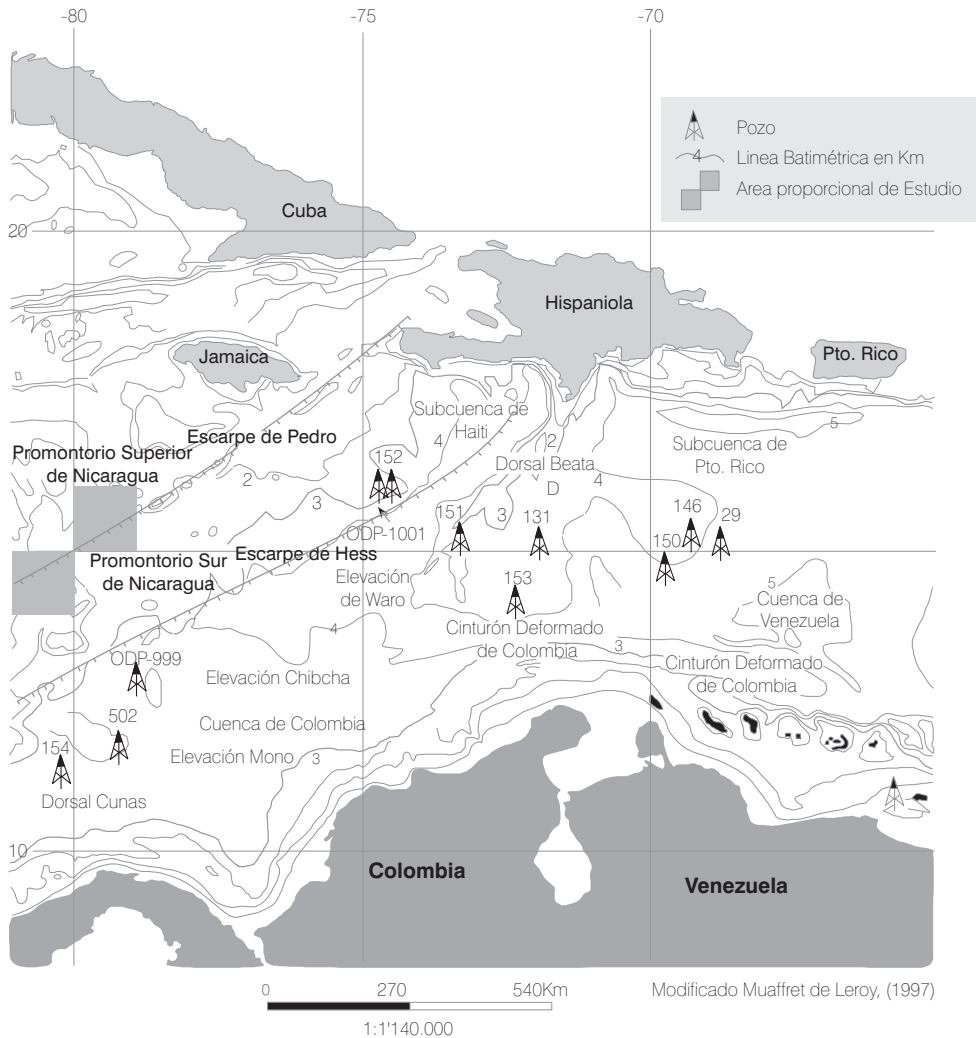


Figura 2. Rasgos Fisiográficos mayores del Caribe

radiolarios (radiolarian chalk) del Eoceno Medio al Mioceno Inferior, y denominado horizonte A". El tercer intervalo se correlaciona con calizas (chalk) litificadas, cherts, caliza con foraminíferos, shales negros, y areniscas volcánicas que se encuentran sobre basaltos amigdaloides. La edad de las areniscas volcánicas y de las calizas con foraminíferos es de Turoniano Tardío y Coniaciano respectivamente, en el Sitio 153, (Edgar *et al.*, 1973), determinadas por la presencia de los foraminíferos Globotruncana schneegansi y Globotruncana concavata. El tope de estos basaltos corresponde al tope del Horizonte B" (Figura 3).

El horizonte B" se correlaciona con flujos basálticos y silos de edad Coniaciano a Santoniano. En el Sitio 152,

del DSDP, (Edgar *et al.*, 1973), al norte de la elevación de Waro (Figura 2), reportó una edad más joven, Campaniano, y en el Sitio 1.001, también al norte de la elevación de Waro, del ODP la misma edad Campaniana fue asignada, por la presencia de la zona Globotruncana ventricosa, (Sigurdsson *et al.*, 1997).

El horizonte B" se correlaciona con el basamento acústico, tope de la corteza oceánica, reflectores KI4, KII4 y KIII4 interpretados por Lu y McMillen (1983), en la Cuenca Colombia.

Estudios de reflexión y de refracción de la estructura de la corteza en la cuenca Colombia, determinan que la cuenca Colombia está infrayacida por una corteza oceánica, que se puede caracterizar sísmicamente como

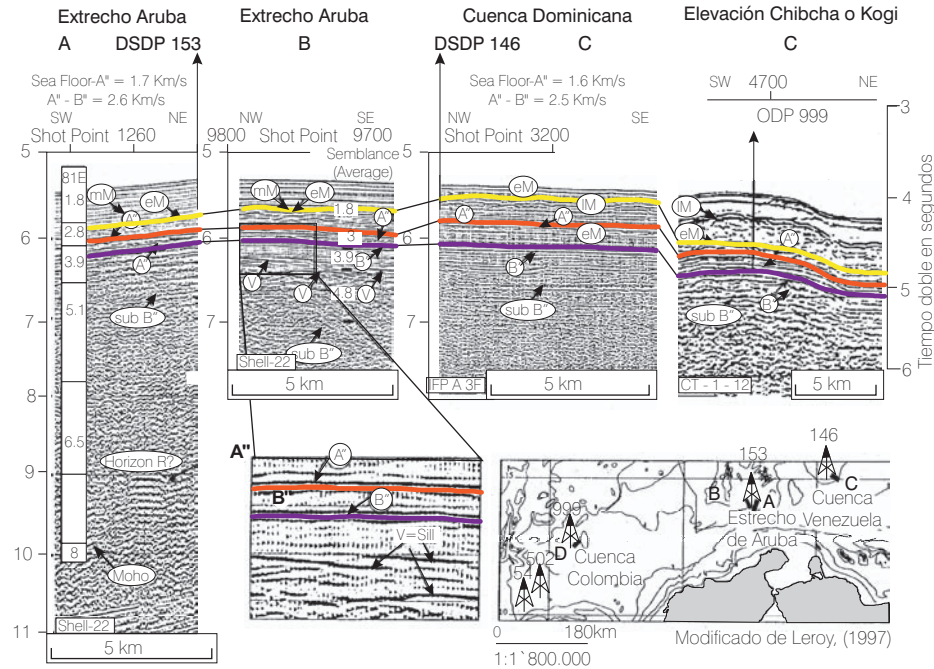


Figura 3. Correlación entre las secuencias sísmica (B', A'' y eM) y los Pozos perforados por el Deep Sea Drilling Project (DSDP). Sitio 153, 146 y 999.

suave y rugosa (Figura 3, de Bowland 1993) y ha tenido una gran influencia para la deposición de las secuencias sedimentarias posteriores en la cuenca Colombia oriental.

El basamento acústico es de naturaleza ondulosa en el área del abanico del Magdalena, y contrasta con un horizonte B'' suave en el mar Caribe Oriental y es posible que sea de edad Coniaciano o más viejo, (Kolla *et al.*, 1984).

En la cuenca Colombia, los pozos que se han perforado son el 999 de la ODP, el 154 y el 502 de la DSDP (Figura 2), pero ninguno ha llegado hasta el basamento acústico que se correlaciona con el horizonte B''.

En el promontorio sur de Nicaragua se han perforado dos pozos: el Sitio 1001 de la ODP y el Sitio 152 de la DSDP. Ambos tuvieron una profundidad de 477,5 m (1566,6') y alcanzaron 6,06 m (19,9') del horizonte B'', que coincide con calizas con foraminíferos e intercalaciones de basaltos amigdaloides.

En el promontorio superior de Nicaragua se han perforado dos pozos Miskito 1 y Miskito 2, cuyo amarre con la información sísmica permitió aproximarse a un horizonte B'' dentro de la secuencia estratigráfica. La línea sísmica considerada para el amarre de los dos pozos fue la W 79 1A, en versión papel, apilado final de 1979.

En Miskito 1 se tiene a una profundidad final de 2050,7 m (6628'), un reflector que corresponde con unas cuarzdioritas. El reflector en la sísmica es continuo y fuerte pero por tramos desaparece. En Miskito 2, a una profundidad de 1814 m (5950') se tiene un reflector fuerte y discontinuo que coincide con andesitas amigdaloides. La característica sísmica determinada se refiere a que el basamento representa el reflector más profundo, relativamente continuo y de alta amplitud observado en las secciones sísmicas. Sin embargo, esta característica no es constante a través de todas las líneas, además de la regular calidad de estas, lo cual dificulta el seguimiento, especialmente en el programa cayos 82, por ser de menor calidad.

MARCO ESTRUCTURAL

La interpretación estructural de la información sísmica del área de los cayos se enmarca dentro de los modelos regionales del área, entre los cuales se destacan los modelos evolutivos de Pindell *et al.*, (1998) y el modelo estructural de Geister (1992). Este último modelo es tomado en cuenta para esta interpretación.

En la Figura 4 se tiene el marco regional del área, donde la principal estructura que se tiene es la Placa

Caribe que, según Geister (1992) y Pindell *et al.*, (1998), se formó durante el Mesozoico como un segmento de la Placa del Pacífico, posteriormente movida hacia el Atlántico.

Dentro de la Placa Caribe es posible diferenciar rasgos estructurales importantes que enmarcan un modelo regional:

Promontorio inferior de Nicaragua

Se extiende desde la costa de Nicaragua hasta Jamaica. Conforman un cinturón amplio y sumergido de corteza espesa transicional y limitado por el escarpe de Pedro al noroeste y por el escarpe de Hess al sureste. La parte inferior del promontorio inferior de Nicaragua es de origen oceánico, y probablemente fue creado en el pacífico durante el Mesozoico Tardío para luego formar parte de la placa Caribe, Geister (1992), (Figura 4).

El promontorio inferior de Nicaragua coincide con la provincia geológica llamada por Case *et al.*, (1984) promontorio sur de Nicaragua (Southern Nicaragua Rise).

Escarpe de Hess y escarpe de Pedro

Al observar el mapa de provincias geológicas de (Case *et al.*, 1984), estos rasgos estructurales se extienden por más de 1000 km. en una dirección suroeste y se destaca ampliamente por formar un rompimiento en la batimetría entre la cuenca Colombia al sur y el promontorio de Nicaragua al norte. El escarpe de Hess y el escarpe de Pedro son paralelas y han sido probablemente originadas por fallas de rumbo, que han sido interpretadas como fallas sinextrales, de edad Cretáceo Tardío, y parece relacionarse con el movimiento de placas durante las fases tempranas de la formación del mar Caribe (Figura 4).

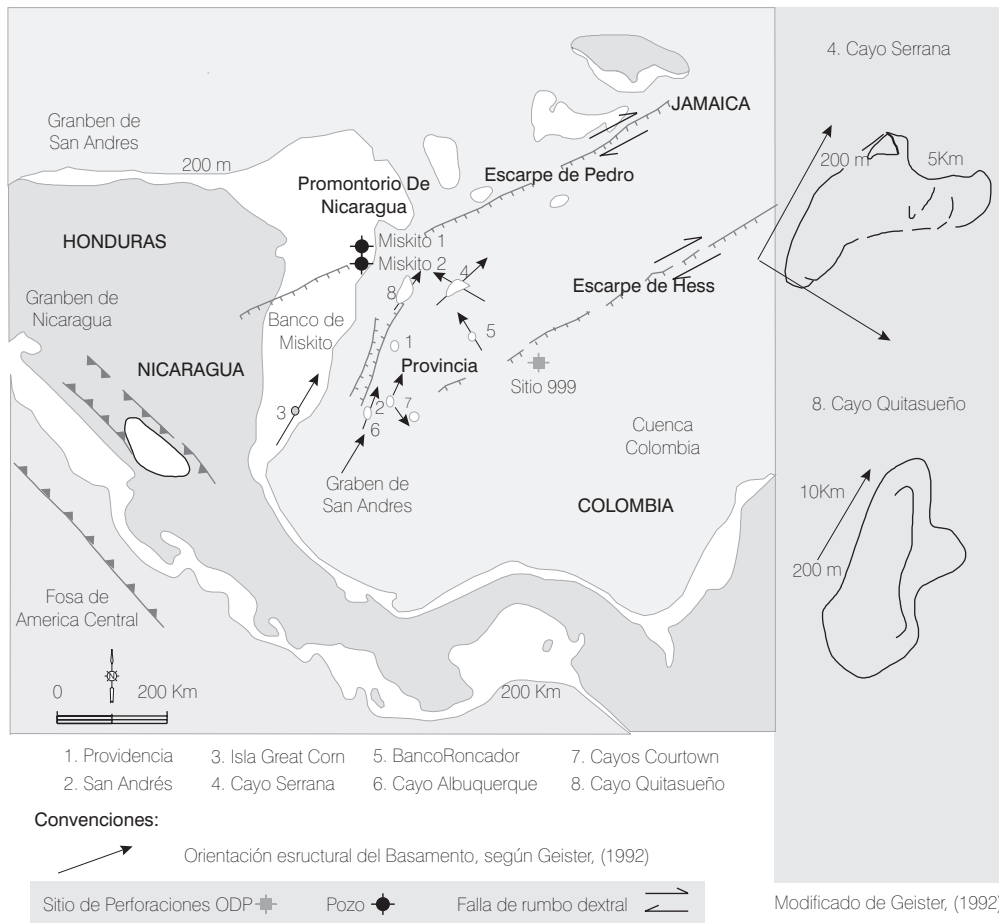


Figura 4. Marco regional estructural para el Caribe que incluye el área de estudio, alrededor de los Cayos Serrana y Quitasueño. Zonas que corresponden a áreas emergidas.

Graben de San Andrés

Se localiza en la parte inferior del promontorio de Nicaragua, con una tendencia estructural de 15° NE, y se constituye en un rasgo extensional mayor. Este graben está compuesto por depósitos altamente estratificados, probablemente turbiditas que han formado una pequeña planicie abisal, Geister (1992), (Figura 4).

Bancos de Corales, Atolones e Islas

Las observaciones de campo realizadas por Geister (1992) en San Andrés y Providencia hacen evidente que el basamento de las islas, atolones y bancos de corales son de origen volcánico y que los volcanes se originaron a lo largo de fracturas tectónicas del piso oceánico, las cuales muestran una tendencia estructural noreste-suroeste y noroeste-sureste. Estas fracturas pueden ser fallas de transformación (transform faults) antiguas, las cuales pueden estar ocultas bajo una cobertura de sedimentos y pueden representar un punto caliente en la litosfera, que estaría de acuerdo con Cristofferson (1983), quien define un límite activo de placas entre placa Caribe y la CAM (América central sur), en una cuenca de apertura (pull apart basin).

La tendencia estructural noreste-suroeste del basamento fue observada en los cayos Serrana y Quitasueño, parte norte de los cayos Courtown, en las islas de San Andrés y Providencia y en los cayos Albuquerque.

De otro lado, los bancos someros de la parte superior del promontorio de Nicaragua tienen una tendencia estructural del basamento noroeste-sureste y están separados unos de otros por depresiones topográficas someras que pueden corresponder a unas estructuras de horst y graben. Aparentemente una tectónica de extensión del Paleoceno al Eoceno Temprano produjo estos grabens con tendencia noroeste-sureste. Adicionalmente hay unas estructuras con tendencia noroeste-sureste en parte inferior del promontorio de Nicaragua, el banco de Roncador, la parte sur del atolón de los cayos Courtown y posiblemente la parte norte del banco Serrana, Geister (1992), (Figura 4).

Las anteriores estructuras son paralelas a la fosa de América Central y al graben de Nicaragua, sugiriendo que los rasgos pudieron formarse durante o después de la formación de la fosa de América Central, esto es, después del establecimiento de la placa Caribe (Figura 4).

Para la interpretación estructural de la información sísmica del área de estudio se siguió el reflector que

determina la posición del horizonte B". Adicionalmente, se definen tres zonas de deformación (zonas I, II y III), con diferentes características en cuanto a su tectónica (Figura 5).

Mapa estructural en tiempo doble al tope de B" (Cretáceo Superior)

En este mapa se tienen la zona I de deformación al este, la zona II en la parte central y una zona III, de forma alargada localizada al oeste del área (Figura 5).

La zona I es la más estructurada por involucrar una tectónica de horst y graben, donde se destaca un alto de basamento que corresponde a la isla o cayo Serrana, interpretada como un horst limitado por fallas normales con una orientación estructural noreste-suroeste, en una tectónica de bloques (Figura 5).

La tendencia anterior está probablemente relacionada con el movimiento hacia el este de la placa Caribe, es similar a la tendencia estructural del escarpe de Hess y a la del graben de San Andrés (Figura 4).

En la línea sísmica S-77-10E, Figura 6, se muestran los dos desplazamientos verticales mayores de las fallas que afectan la isla Serrana, que representan la estructura de horst más notable en el área, esto es, en su parte este, la falla tiene un salto vertical de dos segundos y al oeste la falla tiene un salto de 2,3 segundos.

Hacia el oeste de la isla Serrana, se tienen bloques basculados que, en general, representan un sinclinatorio. Dentro de este sinclinatorio, las fallas se caracterizan por tener una tendencia estructural noreste-suroeste. En esta área se identificaron dos fallas normales principales y un complejo sistema de fallas normales que cruzan la mayor parte de la sección estratigráfica, indicando que son fallas muy jóvenes o de actividad tectónica reciente (Figura 6).

La primera falla normal con desplazamiento vertical de 0,1 segundos y la segunda falla normal, con uno de 0,4 segundos, limitan bloques de basamentos contiguos a la isla Serrana, Figura 6, línea S-77-10 E.

Hacia el sur, la segunda falla normal, Figura 5, limita al oeste un bloque de basamento (horst), con un salto vertical de 1,5 segundos.

Continuando hacia el oeste de la segunda falla normal, y dentro de la zona I, se tiene un sinclinatorio adicional de menor magnitud, con cabeceo al norte, y cuyo plano axial está limitado por una falla normal que pierda su salto al norte y al sur. Este sinclinatorio es un blo-

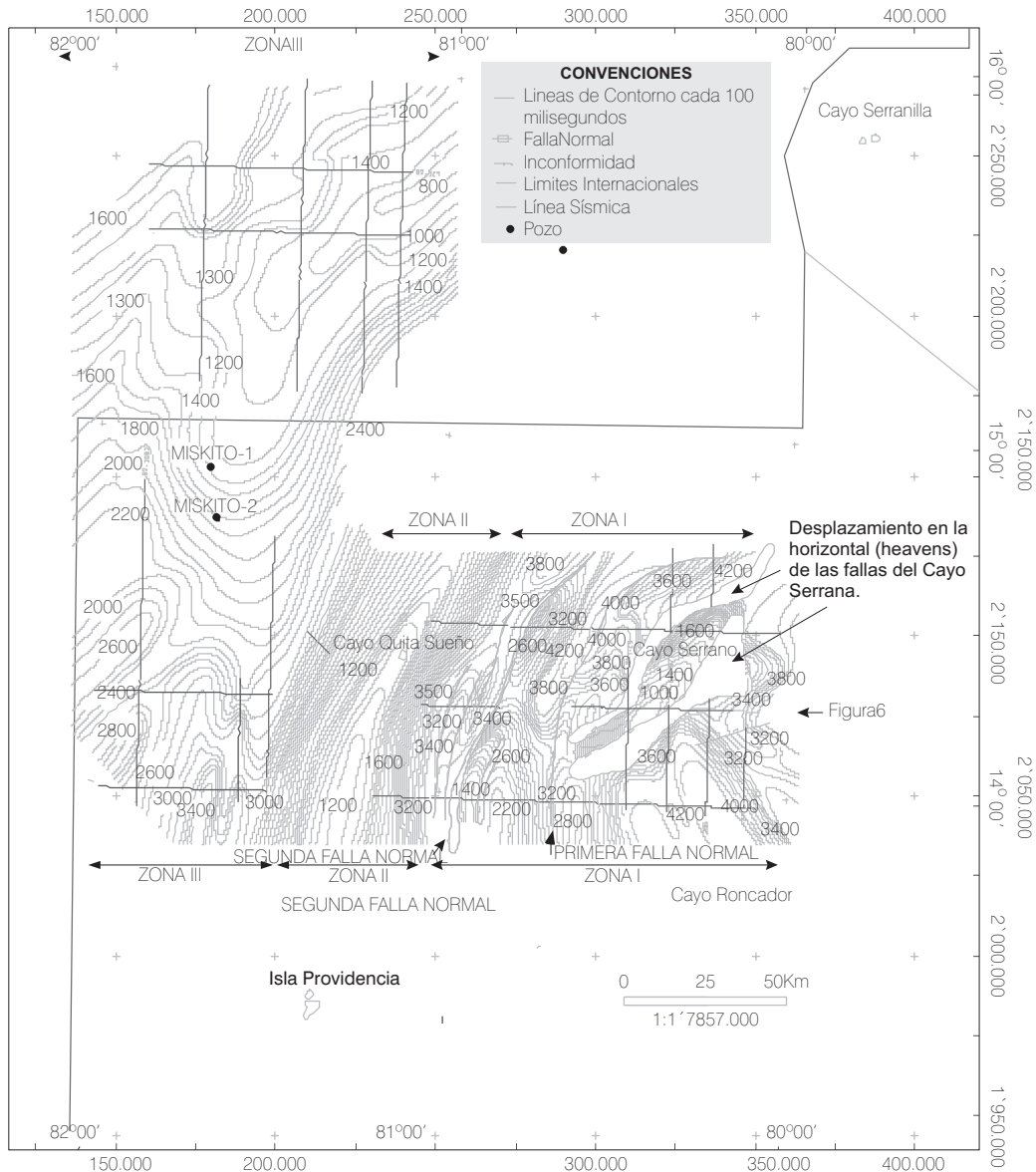


Figura 5. Mapa estructural en tiempo doble al tope de "B" (Cretacio Superior)

que basculado que por deformación interna forma un horst y un graben de menor escala (Figura 5).

Al sur de la isla Serrana se tienen un anticlinorio y un sinclinorio asimétricos, que presentan un notable cambio en la tendencia estructural dentro de la Zona I, Figura 5, con una dirección estructural noroeste-sureste, que coincide con la dirección dada por Geister (1992) al cayo Serrana (Figura 4).

Para la zona II de deformación, se tiene sólo una estructura anticlinoria amplia, con bordes pronuncia-

dos, con dirección noreste-suroeste, que corresponde con un alto de basamento y que coincide con la isla Quitasueño (Figura 5).

Finalmente, se tiene la zona III de deformación, de menor estructuración, que coincide con la plataforma de Nicaragua, donde se localizan los pozos Miskito-1 y Miskito-2. Se caracteriza por poseer un eje general noreste-suroeste, que representa un anticlinorio amplio y suave, que al sur se estrecha para formar un anticlinal y dos sinclinales asimétricos apretados con un sentido estructural Norte-Sur (Figura 5).

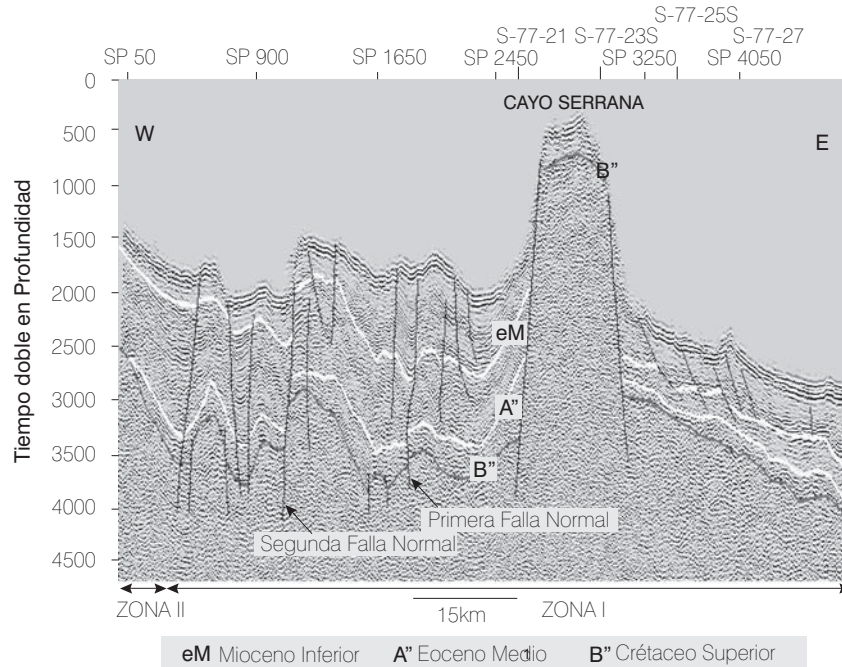


Figura 6. Línea sísmica S-77-10E . Muestra el alto del Basamento B'' que corresponde al Cayo Serrana y a las dos fallas normales principales cartografiadas.

CONCLUSIONES

- En cuanto a las provincias geológicas determinadas, unos autores se refieren al promontorio sur de Nicaragua (Southern Nicaragua Rise), (Case *et al.*, 1985); otros al promontorio de Nicaragua (Nicaragua Rise), Geister, (1992), y otros al promontorio inferior de Nicaragua (lower Nicaragua Rise), Mauffret y Leroy (1997) lo que puede crear confusión, porque para Geister (1992) es una sola unidad que involucra un cinturón de corteza más amplio que incluye el promontorio sur y el superior de Nicaragua, sin embargo todos se están refiriendo al cinturón de corteza oceánica a transicional que va desde el escarpe de Hess hasta el escarpe de Pedro.
- La edad de la corteza oceánica en la cuenca Colombia realmente no se ha determinado, pero por correlación con el horizonte B'' de la cuenca de Venezuela de edad Cretáceo tardío, se puede interpretar que dicho horizonte también está presente en la cuenca Colombia y por lo tanto, que esta es de naturaleza oceánica.
- En los pozos Miskito 1 y Miskito 2 no es claro si han tenido dataciones para la cuarzdiorita y la ande-

sita respectivamente; Pentronic, (1987) para las andesitas sugiere una probable edad pre-Eoceno Medio, y para la cuarzdiorita una edad de Cretáceo Superior. En el Sitio 1001, se han reportado calizas con foraminíferos de edad Cretáceo Superior (Campaniano). Este último dato de edad es el más confiable que se tiene en esta provincia, por lo cual en la interpretación sísmica se asume que dicho reflector pudiera ser el equivalente al horizonte B'' de la cuenca de Venezuela.

- Por la información de los pozos Miskitos se asume que la este horizonte B'' coincide con rocas ígneas (cuarzdiorita y andesitas). Aquí surge una dificultad porque lo que se ha reportado como horizonte B'' es de origen oceánico constituido por basaltos y aquí estamos diciendo que podría correlacionarse con B'', las rocas encontradas en los pozos Miskito 1 y Miskito 2 que no son de naturaleza basáltica. Una posibilidad es que estas rocas sean emplazamientos menores y más recientes sobre la corteza oceánica y que los basaltos estén más profundos. La calidad de la sísmica no permite definir un reflector entre rocas basálticas y rocas ácidas, o entre rocas andesitas y basaltos. Por lo encontrado entonces en los

pozos Miskitos se asume que el horizonte B" es mayormente ígneo y que sus posibilidades exploratorias se restringirían para constituir un buen sello lateral y vertical en áreas donde los horizontes estratigráficos superiores (A", Eoceno Medio y eMMioceno Inferior, Figura 6) se acuñan contra las islas. Para la zona I este sello podría ser importante debido a que hay un fallamiento normal, de grandes saltos, hay trampas asociadas a fallas normales y a bloques colgantes. Para la zona II, con estructuras en forma de domo, el sello también debe ser ígneo, porque coincide con la isla Quitasueño y, en la zona III, donde hay poca deformación, trampas estratigráficas (arrecifes) son susceptibles de ser encontrados. Allí el sello debe encontrarse dentro de los intervalos sedimentarios superiores (Oligoceno). El factor crítico para el sello en el área es que no desconoce su distribución vertical y lateral. Adicionalmente, y desde un punto de vista exploratorio, no debe descartarse que las calizas encontradas en el sitio 1001 puedan ser generadoras.

- En cuanto a la geología estructural, la tectónica determinada en este estudio corresponde a un estilo de horsts y grabens. Las dos tendencias estructurales determinadas con la sísmica corresponden a eventos regionales, la tendencia noreste-suroeste, que es la tendencia dominante en el área de estudio, es producto del movimiento hacia el este de la placa Caribe, que está actuando desde comienzos del Campaniano según Pindell *et al.*, (1998) y desde comienzos del Oligoceno según Geister (1992). De otro lado, la tendencia noroeste-sureste responde a la formación de la fosa de América Central, posterior al establecimiento de la placa Caribe. La magnitud de estos eventos regionales se reflejan en el área de estudio con una tectónica de bloques, como en el caso de la isla Serrana, cuyas fallas que la limitan tienen saltos verticales de 2 y 2,3 segundos. Este valor en segundos, con aplicaciones de velocidades intervalo, podrían corresponder a valores aproximados de 3660 m (12000'). Las tendencias estructurales determinadas aquí, con información sísmica, coinciden con la dirección de las fracturas determinadas por Geister (1992) en los arrecifes de San Andrés y Providencia.
- Estas fracturas corresponden a fallas profundas en la placa del Caribe, y dichas fallas, aún activas, han permitido el origen volcánico de las islas oceánicas

del Caribe y que posiblemente estén reflejando un punto caliente en la litosfera.

REFERENCIA

- Arango, C., 1980. "Interpretación sísmica y geológica regional del área marina de los Cayos". *Informe de Ecopetrol*. Master File Number en Ecopetrol-ICP No. 32212.
- Bowland, C. L., 1993. "Depositional history of the western Colombian basin, Caribbean Sea, revealed by seismic stratigraphy: Geological Society of America Bulletin". v.105, p. 1321-1345.
- Cristofferson, E., 1989. "Plate model of the collapsing caribbean margin of Nicaragua, 10 th Caribbean Cgeological Conference, cartagena, Colombia". August, 1993: Bogota, Ingeominas, p. 1-6.
- Case, J. E., Holcombe, T. L. and Martin, R. G., 1984. "Map of geologic provinces in the Caribbean region, in :The Caribbean South America Plate Boundary and Regional Tectonics, edited by Bonini, W., E., Hargraves R., B. and Shangan R., Geological Society of America". Memoir 162.
- Edgar, T. N., Sunders, J. B. *et al.*, 1973. "Initial reports of the Deep Sea Drilling Prpject, San Juan, Purto Rico to Cristobal Panama v.XV". Sites 146-154, *National Science Foundation*.
- Garcia, C., Prince, R. y Rodríguez, F., 1984. "Interpretación geológica preliminar de la información sísmica del programa Cayos-82". *Informe geofísico* No.813. ISN Ecopetrol 13061.
- Geister, J., 1992. "Modern reef development and Cenozoic evolution of an oceanic islan/reef complex: Isla de Providencia (Western Caribbean sea, Colombia), FACIES 27/ 1992". *Institut für paläontologie der Universität Erlangen-Nürnberg*, Bern.
- Mauffret, A., Leroy, S., 1997. "Seismic stratigraphy and structure of the Caribbean igneous province", Dept. de Geptectonique, CNRS URA, Case 129, 4 Place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05, France, in *Tectonophysics* 283 (1997) 61-104GAC, 1995.
- Mapa de Fronteras Terrestres y Marítimas, IGAC, 1995. Escala 1:500.000
- Petronic, 1987. "Petroleum potencial of the caribbean margin of Nicaragua", *main text, Empresa Nicaraguense del Petroleo*.
- Kolla, V., Buffler, R. T. and Ladd, J. W., 1984. "Seismic strigraphy and sedimentation of the Magdalena fan,

- southern Colombia basin, caribbean sea: American Association of Petroleum Geologist". *Bulletin*, v. 68. P. 316-332.
- Lu, R. S., McMullen, K. J., 1982. Multichannel seismic survey of the Colombia basin and adjacent margins: American Association of Petroleum Geologist, Memoir, v. 34, p. 395-410.
- Sigurdsson, H., Leckie, R.M. and Acton, G.D. *et al.*, 1997. Proc. ODP, Init. Repts., Vol. 165, Sites 998-1002, Caribbean Ocean History and Cretaceous/Tertiary Boundary Event: College Station, Texas, Ocean Drilling Program, 865 p.
- Pinedell, J. L., George, R. P., Jr. Kennan, L., Higgs, R. and Cristancho, J., 1998. "The Colombian Hydrocarbon Habitat: Integrated Sedimentology, Geochemistry, Paleogeographic Evolution, Geodynamics, Petroleum Geology, and Basin Analysis". appendix 1, Text part 2 of 2: Plate Kinematics of plates affecting the evolution of Colombia, and Appendix 2, Text part 2 of 2: Synopsis of the evolution of the Caribbean Region. By *Tectonic Analysis*, Inc. In research collaboration with Ecopetrol.
- Yory, M., Garcia, C., Arango, C. y Sanchez, O., 1979. Interpretación sísmica preliminar área marina de los cayos, Informe No. 339 de Ecopetrol.