

APLICACIÓN DE LA ESTRATIGRAFÍA SECUENCIAL EN LA PREDICCIÓN DE DEPÓSITOS DÍSTALES DE ARENAS, UN EJEMPLO EN EL BLOQUE DE BOYACÁ, FAJA PETROLÍFERA DEL ORINOCO, ESTADO GUÁRICO-VENEZUELA.

Zambrano Mario¹, Baptista Noelia¹

1. PDVSA, Gerencia de Proyectos Exploratorios y de Delineación, Puerto La Cruz, Venezuela, zambranomav@pdvsa.com y baptistanu@pdvsa.com

Resumen

El trabajo presenta un modelo predictivo de trampas estratigráficas formadas en una cuenca antepaís (*foreland*), caracterizada por una cuña sedimentaria para el período Paleógeno (Oligoceno) en la región Centro-Sur del Estado Guárico. Se utilizaron registros de 19 pozos para determinar patrones de apilamiento, además de integrar información bioestratigráfica y sedimentológica. A partir del análisis secuencial se determinaron diez superficies estratigráficas clave: cinco límites de secuencia (SB) y cinco superficies de máxima inundación (mfs), las cuales conforman dos secuencias estratigráficas de segundo orden y tres de tercer orden. Las dos secuencias de segundo orden corresponden al Cretácico y Paleógeno y son el resultado de la actividad tectónica, siendo ésta última la sección de interés, denominada Secuencia E. De base a tope, las secuencias de tercer orden correspondientes al Paleógeno son las siguientes: la Secuencia 1 constituida por 300 a 500 pies aproximadamente de sedimentos arenosos con un patrón de apilamiento predominantemente agradacional; la Secuencia 2, de 300 a 400 pies de espesor total, en la cual predomina un patrón retrogradacional, producto de la subida del nivel del mar (origen eustático); y la Secuencia 3 que presenta un espesor variable entre 300 y 500 pies, predominando un patrón progradacional, producto del descenso del nivel del mar y aumento en la tasa de sedimentación. Como resultado del modelo, se evidencia que durante la depositación de la Secuencia E (Paleógeno) la cuenca profundiza hacia el Norte, siendo la fuente principal de sedimentos el Cratón de Guayana. La paleobatimetría varía en el área de estudio desde continental al Sur a nerítico interno al Norte, predominando un ambiente transicional. Se interpretan dos zonas de aporte de sedimentos, una con dirección Norte-Sur y la otra con dirección Este-Oeste, las cuales confluyen al Norte de Boyacá,

permitiendo inferir la posible existencia de depósitos de arenas dístales que podrían ser de interés exploratorio en el área.

Introducción

Como parte del Proyecto Exploratorio de Generación de Oportunidades Guárico Sur, se realizó un modelo estratigráfico secuencial, focalizado en el Paleógeno (Oligoceno principalmente), asociado litoestratigráficamente a las formaciones La Pascua, Roblecito y parte basal de Chaguaramas, en el bloque de Boyacá de la Faja Petrolífera del Orinoco (antiguamente campo Machete), que constituye una predicción de depósitos dístales de arenas al norte del área de estudio (campo Las Mercedes).

El modelo fue realizado aplicando estratigrafía secuencial e integración con datos sedimentológicos, bioestratigráficos y sísmicos. La estratigrafía secuencial aborda temas tales como la reconstrucción de cotroles alogénicos al momento de la sedimentación y la predicción de la arquitectura de facies en zonas no exploradas (Catuneanu, O. 2006), permitiendo construir modelos geológicos predictivos de utilidad en la exploración de petróleo y gas.

Ubicación del Área de Estudio

Conocido por sus reservas de crudo pesado y extra-pesado, limita al norte con el área mayor del campo Las Mercedes, al sur con la rivera norte del Río Orinoco, al este con el bloque Junín y al oeste con un límite arbitrario que se extiende desde Calabozo hasta San Fernando de Apure PDVSA-CVP, 2010 (Figura 1).

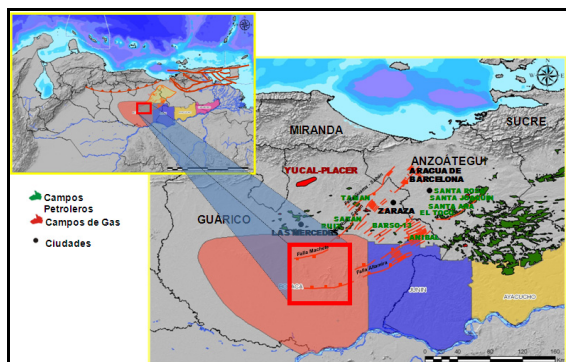


Figura 1. Ubicación del área de estudio (PGO Guárico Sur, 2010)

Marco Estratigráfico del Bloque de Boyacá

Las secuencias de orden mayor que se encuentran en el bloque de Boyacá, van desde el Jurásico hasta el Neógeno y se denominan en éste trabajo de base a tope: SJ (Jurásico), SK (Cretácico), SE (Paleógeno), SN (Neógeno) (Figura 2).

La secuencia estratigráfica de interés para el estudio fue la secuencia SE, siendo ésta una tectonosecuencia asociada al margen activo ubicado al norte del área durante el Oligoceno (*foredeep* de la subcuenca de Guárico).

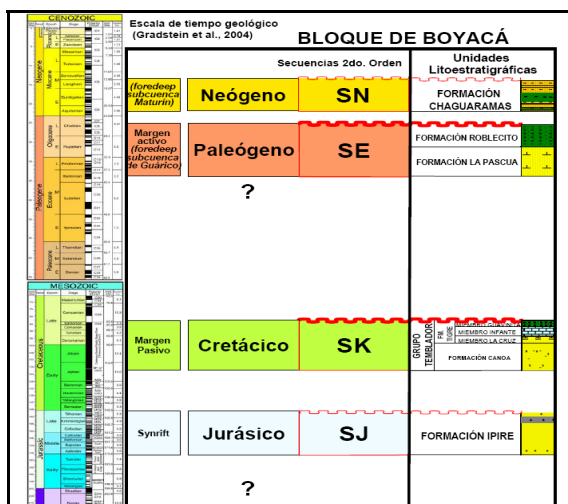


Figura 2. Columna estratigráfica generalizada del Bloque de Boyacá (PGO Guárico Sur, 2010)

Metodología.

Para la construcción del modelo, se utilizaron estudios previos y se recopiló información de pozos (registros eléctricos, datos sedimentológicos y bioestratigráficos). Se

analizaron los patrones de apilamiento en los registros de pozos y se determinaron diez superficies claves: cinco límites de secuencia (SB) y cinco superficies de máxima inundación (mfs), que conforman dos secuencias estratigráficas de segundo orden y tres secuencias estratigráficas de tercer orden.

Basado en éste análisis se realizó la correlación de pozos, se elaboraron mapas (paleoambiental e isópaco), para interpretar la geometría y distribución (depocentro) de la Secuencia E, así como el ambiente sedimentario (Figura 3).

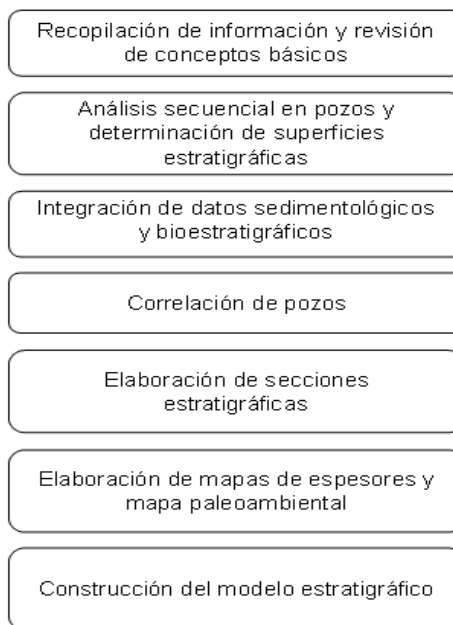


Figura 3. Flujo de trabajo

Resultados.

Dentro de la secuencia de orden mayor, depositada durante el Paleógeno (SE), se interpretaron tres secuencias menores denominadas Secuencia 1, 2 y 3. La Secuencia 1 está constituida por aproximadamente 300 a 500 pies de sedimentos arenosos y presenta un patrón de apilamiento predominantemente agradacional, mientras que en la Secuencia 2, con 300 a 400 pies de espesor total, predomina un patrón de apilamiento retrogradacional, producto de la subida del nivel del mar. La Secuencia 3 presenta un espesor variable entre 300 y 500 pies, predominando un patrón de apilamiento progradacional producto del descenso del nivel del mar y aumento en la tasa de sedimentación.

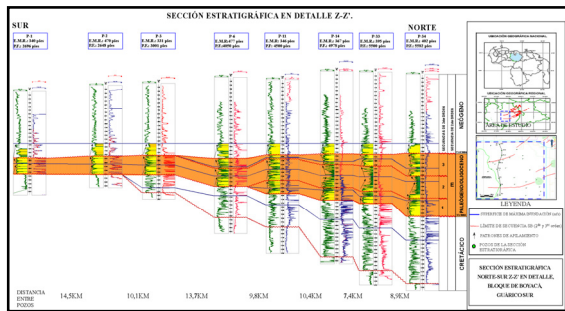


Figura 4. Sección estratigráfica Z-Z' (norte-sur) en detalle para la Secuencia E (Paleógeno)

De acuerdo a los mapas elaborados, se tiene que para el Oligoceno existen dos direcciones principales de aporte de sedimentos: una dirección norte-sur y otra aproximadamente sureste-noroeste, las cuales confluyen al norte del área estudiada. Con la integración de los datos estratigráficos, sedimentológicos y bioestratigráficos se interpreta que para el Oligoceno predominaba un ambiente transicional, deltaico con influencia de marea, profundizando hacia el norte, donde se encuentra un ambiente nerítico interno. La Figura 5 integra el mapa de arena neta y mapa paleoambiental.

La Secuencia 1 en la parte basal está constituida por una sucesión de arenas mayormente agradacionales a retrogradacionales y se asocia litoestratigráficamente a la Formación La Pascua. Se puede observar como el intervalo agrada y retrograda cambiando a materiales mas finos (lutitas) producto de la subida del nivel del mar; este intervalo está delimitado por las superficies estratigráficas SB-B / mfs-P y se interpreta como un Sistema Transgresivo o *Transgressive Systems Tract (TST)*. La superficie mfs-P representa la superficie de máxima inundación y para esta etapa es donde se produce un ambiente estuarino, debido al dominio del mar sobre los ambientes desarrollados en la costa. Seguidamente, se presenta el intervalo delimitado por las superficies estratigráficas mfs-P / SB-P interpretado como un Sistema de Nivel Alto o *Highstand Systems tract (HST)* poco desarrollado y erosionado por la discordancia SB-P (figura 6).

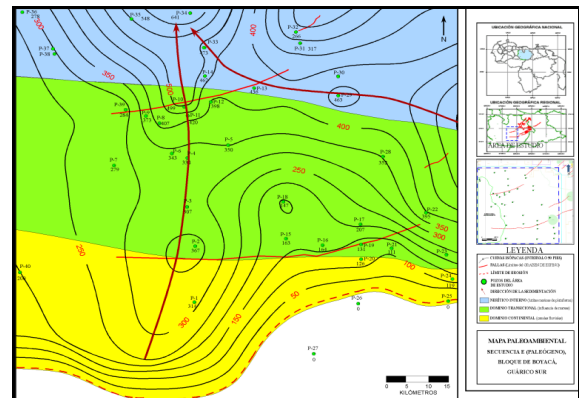


Figura 5. Mapa integrado paleoambiental y arena neta para la Secuencia E (Paleógeno/Oligoceno)

La Secuencia 2 en la parte basal está delimitada por las superficies estratigráficas SB-P / mfs-M. Para este intervalo se interpreta una subida del nivel del mar y se tiene un patrón de apilamiento retrogradacional (grano decreciente), bien definido, y se considera un Sistema Transgresivo (TST), relacionado a la máxima profundización de la cuenca durante el desarrollo del *foredeep* de la sub-cuenca de Guárico. Para el intervalo limitado por las superficies mfs-M / SB-M se observa un patrón de apilamiento progradacional, en la etapa de *Highstand Systems Tract (HST)* o Sistema de Nivel Alto, poco desarrollado, y erosionado por la discordancia SB-M (figura 6). Este intervalo se asocia litoestratigráficamente a la Formación Roblecito.

La Secuencia 3 en su parte basal, esta limitada por las superficies SB-M / mfs-T. Para este intervalo predomina un patrón de apilamiento retrogradacional producto de un aumento del nivel de mar, culminando con una superficie de máxima inundación (mfs-T). Siguiendo el modelo evolutivo, este intervalo está en la fase del Sistema Transgresivo o *Transgressive Systems Tract (TST)*. Seguidamente, en el intervalo delimitado por las superficies estratigráficas mfs-T / SB-T, el patrón de apilamiento es progradante (grano creciente), lo cual indica el avance de los sedimentos hacia la cuenca (construcción de los deltas) producto de la caída del nivel del mar y aumento en la tasa de sedimentación, ubicándose en la etapa del *Falling Stage Systems Tract (FSST)* o Sistema Sedimentario de Caída del nivel del Mar y *Falling Stage Systems Tract and Lowstand Systems Tract (LST)*. Cabe destacar que no se analizaron pozos donde se reconozca la fase de *Lowstand Systems Tract (LST)* o Sistema

Sedimentario de Nivel Bajo, pero de acuerdo al modelo realizado se puede inferir su existencia en áreas dístales de la sub-cuenca de Guárico, hacia el norte del Bloque de Boyacá.

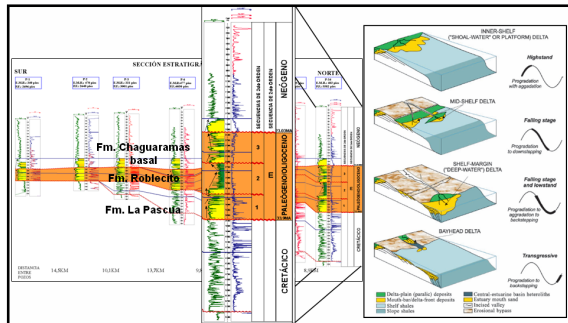


Figura 6. Sección estratigráfica detallada Z-Z' (izquierda) y modelo evolutivo de un delta, asociado a los ciclos relativos de caídas y subidas del nivel del mar (derecha); tomado de Porebski y Steel, (2003)

De acuerdo a las interpretaciones anteriores, el modelo estratigráfico realizado permite soportar la existencia de depósitos de arenas dístales, de interés como trampas estratigráficas, al norte del bloque de Boyacá, donde existe la oportunidad exploratoria A-1 (figura 7).

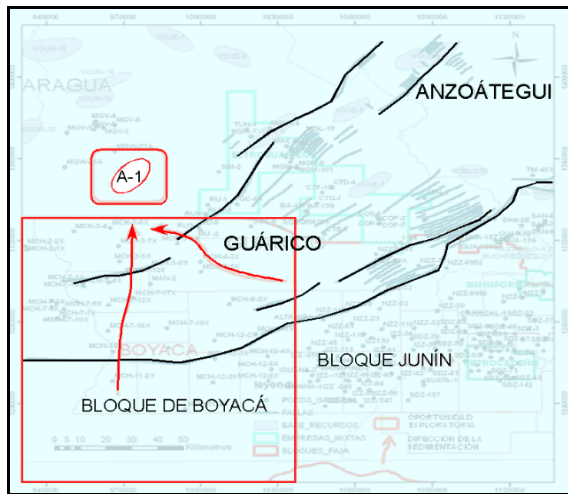


Figura 7. Oportunidad Exploratoria A-1 (PGO Guárico Sur, 2011)

Conclusiones.

De acuerdo al análisis estratigráfico secuencial, la tectonosecuencia paleógena (23,8 Ma - 65,5 Ma) se subdivide en tres (03) secuencias estratigráficas menores (Secuencias 1, 2 y 3), limitadas por las superficies SB-B\SB-P, SB-P\SB-M y SB-M\SB-T, respectivamente. La Secuencia 1 está constituida por un predominio

de sedimentos arenosos agradacionales, mientras que en la Secuencia 2, existe un patrón retrogradacional grano decreciente, producto de la subida del nivel del mar. En la Secuencia 3 predomina un patrón de apilamiento progradacional, producto del descenso del nivel del mar.

Existen en el área de estudios dos direcciones de sedimentación, una sur-norte y la otra sureste-noroeste. La fuente principal de aporte de sedimentos en la zona de estudio es el Cratón de Guayana.

La cuenca durante el Paleógeno en el bloque de Boyacá profundiza en la dirección sur-norte.

De acuerdo a la integración de los datos sedimentológicos, en la Secuencia E predomina un ambiente transicional; hacia el norte del área se tienen profundidades que alcanzan un ambiente nerítico interno y hacia el sur el ambiente continental es predominante.

El modelo realizado permite predecir la existencia de depósitos de arenas dístales hacia el norte del bloque de Boyacá (campo Las Mercedes), que pueden ser trampas de interés exploratorio.

Referencias.

Buatois L. (2009) **ICNOLOGÍA APLICADA AL ANALISIS DE NÚCLEOS**. Curso dictado en Puerto la Cruz, Venezuela, del 16 al 17 de Mayo de 2009, 28 p.

Catuneanu, O. (2006) **PRINCIPLES OF SEQUENCE STRATIGRAPHY**. Elsevier B.V. All rights reserved, 375 p.

Falcón, R. (2010). **ESTRATIGRAFÍA POR SECUENCIAS**. Curso dictado en Ciudad Bolívar, Universidad de Oriente, noviembre 18-19 del 2010.

LÉXICO ESTRATIGRÁFICO DE VENEZUELA (L.E.V) (2010). [[http:// www.pdv.com/lexico](http://www.pdv.com/lexico)].

PDVSA-C.V.P. (2010). **PROYECTO MAGNA RESERVAS, BLOQUE BOYACÁ**. Informe integral.

P.G.O. Guárico Sur (2013). **Proyecto de Generación de Oportunidades Guárico Sur**. Petróleos de Venezuela, PDVSA-Exploración

(informe integral), Puerto La Cruz, Venezuela, 392 p.

Porebski J. y Steel R. (2003). **SHELF-MARGIN DELTAS: THEIR STRATIGRAPHIC SIGNIFICANCE RELATION TO DEEPWATER SANDS.** Earth-Science Reviews 62, pp 283–326.

Salazar, M. (2006). **EVOLUCIÓN ESTRUCTURAL E IMPLICACIONES TECTÓNICAS DEL GRABEN DE ESPINO.** Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela; trabajo de grado no publicado, pp 73-84.

Mario R. Zambrano G.