

Play Calcáreo de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena. ¿Un Gigante Dormido?

AGUILERA, ROBERTO., RA GEOLOGIA E.U.

© Copyright 2009 ACGGP.

This paper was prepared for presentation at the X Simposio Bolivariano Exploración Petrolera en Cuenas Subandinas held in Cartagena, Colombia, July 2009. This paper was selected for presentation by the X symposium Technical Committee following review of information contained in an abstract submitted by the author(s).

Resumen

La Cuenca del Valle Medio del Magdalena es una de las más prolíficas del país, con importantes descubrimientos de clase mundial como por ejemplo el campo La Cira- Infantas. Sin embargo, oportunidades de ese tamaño no han sido encontradas desde su descubrimiento hace más de 80 años.

En el pasado se han hecho algunos trabajos para identificar oportunidades exploratorias en la cuenca, en particular de las secuencias calcáreas del Cretácico Inferior. Y hasta el momento este tipo de yacimientos ha sido descartado por la profundidad de los objetivos y la incertidumbre sobre la calidad del reservorio.

Sin embargo, la evidencia geoquímica, la historia de enterramiento en diversos lugares de la cuenca, y los mapas estructurales regionales indican que las rocas del Cretácico Inferior son las más maduras y probablemente más prolíficas en generación de hidrocarburos, lo cual aunado con una importante estructuración durante el Eoceno y la exposición sub-aérea que esta implicó, sugieren el desarrollo de puntos atractivos (sweet spots) en los que se han podido formar zonas de fracturamiento y/o dolomitización, que mejoren las propiedades del reservorio de los niveles calcáreos de la secuencia del Cretácico Inferior, y favorezcan la acumulación de hidrocarburos.

Introducción

Estimativos recientes a nivel mundial indican que el 60% de las reservas de hidrocarburos encontradas hasta el momento, se encuentran almacenadas en reservorios calcáreos (carbonatos). La mayor parte de estas se encuentran en el Oriente Medio.

En el caso de Colombia, la producción de hidrocarburos en reservorios calcáreos es marginal, con la mayor parte de los campos productores localizados en la cuenca del Valle Medio del Magdalena en sedimentos cretácicos de plataforma calcárea fracturados (c.e. Campos Totumal, Buturama, Guaduas). Es en esta cuenca en donde se encuentran las secuencias calcáreas mejor desarrolladas en Colombia, con formaciones como Rosablanca, Tablazo, El Salto y La Luna.

Trabajos previos de evaluación del potencial de la secuencia calcárea en el Valle Medio del Magdalena han sido

adelantados por (Reyes et al., 1998; Ortíz et al., 1998). Los resultados de estos estudios indican la existencia de áreas con potencial exploratorio por fracturamiento asociadas a pliegues anticlinales y subafloramientos contra la discordancia del Eoceno Medio (Reyes et al, 1998). Adicionalmente muestran que aunque los reservorios tienen, como era de esperarse, una pobre porosidad primaria, la porosidad secundaria asociada a fracturamiento y disolución por procesos diagenéticos, al menos en afloramientos de rocas de las Formaciones Rosablanca y Tablazo, presenta características consideradas como buenas para los reservorios calcáreos estudiados (Ortíz et al, 1998).

Sin embargo, permanecen algunas incertidumbres en cuanto a la extensión y comportamiento de los yacimientos fracturados, ya que la información es relativamente escasa tanto en pozos como afloramientos, y los análogos de superficie no parecen ser apropiados para caracterizar las estructuras observadas en el subsuelo, ya que las geometrías que involucran a los reservorios no son tan similares; en superficie se observan estructuras de cabalgamiento imbricado, y en el subsuelo estructuras sub-thrust en etapas más tempranas de desarrollo estructural bajo gruesas capas de sedimentos molásicos terciarios.

Estratigrafía

Las unidades calcáreas con potencial como reservorio fueron depositadas durante el Cretácico, en un ambiente marino relativamente somero de plataforma calcárea y las siguientes son sus características estratigráficas.

Formación Rosablanca: Depositada entre el Hauteriviano y el Barremiano, está constituida principalmente por calizas de color gris oscuro; la parte inferior presenta dolomitas y grainstones de oolitos, ostrácodos e intraclastos. La parte media consiste de micritas y biomicritas, y la parte superior contiene arenitas y lodolitas calcáreas interestratificadas con shales calcáreos negros (Etayo-Serna et al., 1983).

Formación Tablazo: Depositada durante el Albiano, está constituida por intercalaciones de calizas duras, de color gris azulado, fosilíferas, y lodolitas calcáreas, con predominio de las calizas en la mitad superior y de lodolitas calcáreas en la mitad inferior (Etayo-Serna et al., 1983).

Formación El Salto: Depositada entre el Albiano Superior y el Cenomaniano, corresponde con calizas arcillosas duras de color gris oscuro, con múltiples interestratificaciones delgadas de shales calcáreos de color gris oscuro delgadamente laminados y que localmente presentan nódulos ovoides (Etayo-Serna et al., 1983).

Formación La Luna: Depositada entre el Turoniano y en Santoniano, en el Valle Medio del Magdalena se ha subdividido de base a techo en: Miembro Salada, que corresponde con shales negros con interestratificaciones delgadas de micritas negras, con láminas y concreciones de pirita; Miembro Pujamana formado por shales calcáreos de color gris a negro con estratificación fina y Miembro Galembó constituido por shales calcáreos de color negro con intercalaciones delgadas de calizas arcillosas, que cerca al tope contiene capas de fosfatos (Etayo-Serna et al., 1983).

Evolución Estructural

Durante el Eoceno Medio se presenta un importante evento compresivo en la cuenca que deforma de manera importante los sedimentos cretácicos, plegándolos en sistemas estructurales formados por fallas inversas con vergencia oriental, los cuales quedan preservados por debajo de sedimentos del Eoceno Superior y Oligoceno. Esta deformación se observa desarrollada principalmente hacia la parte centro-occidental de la cuenca

En el margen oriental de la cuenca, se observa el desarrollo de estructuras sub-thrust desarrolladas a partir de fallas con vergencia occidental y raíz en la Cordillera Oriental, indicativas de una progresiva progradación del frente de deformación de la Cordillera en esa dirección. Estas estructuras sub-thrust son de reciente formación, probablemente Plio-Pleistocenas.

Estas dos fases principales de deformación en la cuenca, la primera asociada a la formación de la Cordillera Central y la segunda a la Cordillera Oriental, marcan el desarrollo de las principales estructuras observadas en el subsuelo. Las estructuras formadas en el margen occidental están preservadas en el actual margen "pasivo" de la cuenca bajo una secuencia sedimentaria que se adelgaza hacia el occidente, lo que implica que las estructuras se han preservado casi como se formaron desde el Eoceno, con un continuo enterramiento, lo que genera riesgos exploratorios asociados a procesos diagenéticos relacionados con el enterramiento, tales como compactación y cementación, que pueden haber reducido la porosidad secundaria en las calizas, generada por la deformación estructural y exposición sub-aérea (dolomitización) durante la primera fase de deformación.

En el caso del margen oriental de la cuenca, como este se encuentra involucrado en la deformación reciente del piedemonte de la Cordillera Oriental, los procesos diagenéticos de compactación y cementación, aún cuando existen debido a que en este margen es todavía más espesa la secuencia de sedimentos terciarios y hay una sobrecarga tect, están siendo modificados por procesos mecánicos asociados a la deformación estructural reciente, que dan lugar a la formación de porosidad secundaria por fracturamiento de las calizas.

Geometría regional de los reservorios calcáreos

La geometría regional de los reservorios calcáreos muestra una profundización de los mismos en un depocentro formado hacia la parte centro-oriente de la cuenca, en dirección de la Cordillera Oriental, profundización que hacia el sector de La Cira-Infantas es interrumpida por el alto del mismo nombre. Como lo muestra el mapa estructural al tope de la formación Rosablanca.

Hacia el margen occidental de la cuenca se somerizan los sedimentos cretácicos de la Formación Rosablanca a niveles entre 1000 y 2000 metros de profundidad. La caracterización petrofísica de fracturas realizada para los pozos del área por Reyes et al. (1998), muestra que los pozos localizados en el cierre norte de la cuenca hacia donde se somerizan los sedimentos calcáreos de la Formación Rosablanca presentan evidencias de fracturamiento, manifestadas en deflexiones negativas de la curva SP coincidentes con separaciones de las resistividades cortas y profundas. Mientras que este comportamiento no se observó en los pozos localizados en las áreas donde está enterrada más profundamente esta formación, con algunas excepciones en pozos cercanos a fallas con orientación NE-SW al norte de La Cira-Infantas.

Lo anterior sugiere que el grado de enterramiento y la diagénesis asociada al mismo, cumplen un papel importante en la preservación de la porosidad secundaria generada por fracturamiento. Esto aunado con la distribución de las fallas, su evolución y las geometrías que generan constituyen los factores más importantes a considerar al momento de evaluar las oportunidades exploratorias asociadas a yacimientos calcáreos fracturados.

Un análisis de curvatura gaussiana de la superficie regional al tope de la Formación Rosablanca, muestra una buena correlación entre los campos productores y los pozos con evidencias de hidrocarburos en reservorios de la Formación La Luna y el Grupo Calcáreo Basal (Formaciones Rosablanca y Tablazo). En este caso las zonas con mayor valor absoluto de curvatura (en rojo) (Lisle, 1994), pueden corresponder con zonas de tensión anormal causada por el fallamiento y su geometría asociada. Esto indica que las fallas y la curvatura gaussiana causada por su desplazamiento pueden ser un indicador de las zonas "sweet spots" más proclives a tener fracturas para generar hidrocarburos (Figura 1).

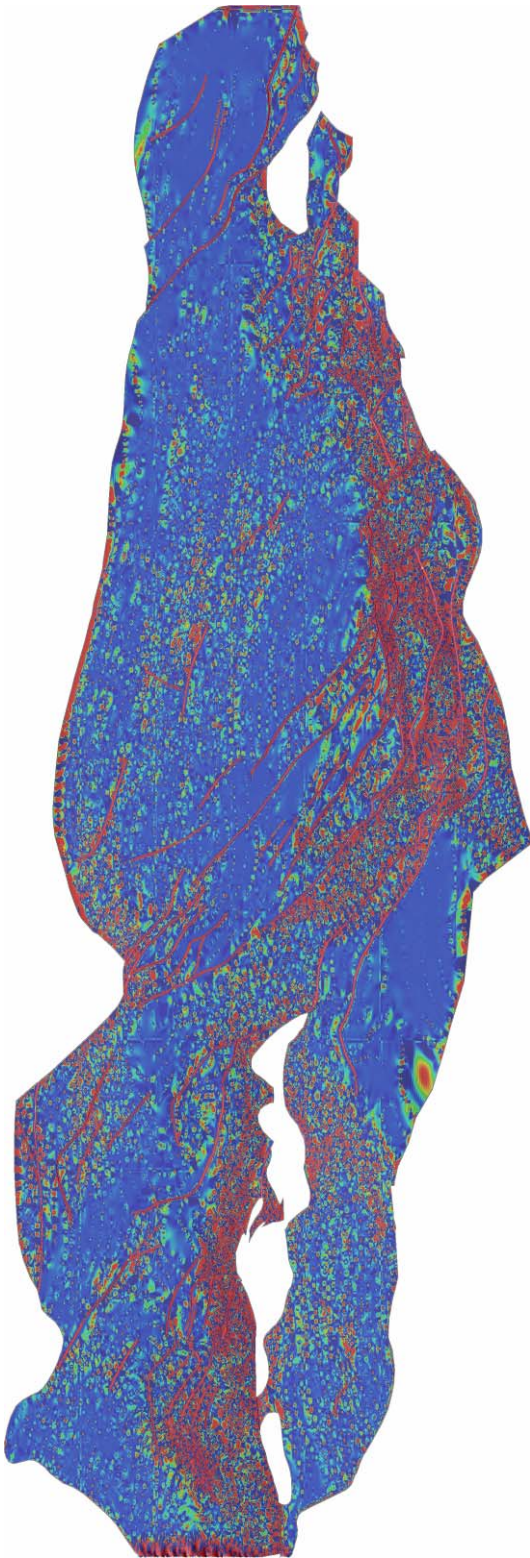


Figura 1: Mapa de curvatura gaussiana al tope de la Formación Rosablanca. Las áreas en rojo corresponden con las zonas de máxima curvatura cerca a las principales fallas regionales identificadas.

La distribución y geometría de los reservorios cretácicos al sur de La Cira-Infantas es bastante incierta ya que en este

sector de la cuenca, el espesor de los sedimentos terciarios aumenta a tal grado, que hace casi inviable la perforación de pozos con objetivo rocas del Cretácico, como ejemplo el pozo Capote-1 que perforó 13000 pies de secuencia al sur del alto de la Cira-Infantas, hasta la Formación Mugrosa sin encontrar sedimentos cretácicos.

Madurez de las rocas cretácicas

Otro aspecto importante a tener en cuenta para la prospectividad del play calcáreo del Valle Medio del Magdalena, es la madurez de las rocas cretácicas en particular las de aquellas que como los sedimentos calcáreos pueden actuar como generadora y reservorio al mismo tiempo, y por esto acumulan en si mismas la mayor parte del hidrocarburo que generan.

Por lo tanto el grado de madurez alcanzado por las rocas en la cuenca tiene un papel importante en la definición de lugares prospectivos, ya que a mayor madurez, mejor es la calidad del hidrocarburo generado, lo cual a su vez redundaría en una mayor productividad de la roca fracturada, ya que puede fluir mejor un hidrocarburo de alta gravedad API y baja viscosidad, que uno de baja gravedad API y alta viscosidad.

Un par de ejemplos del impacto de la madurez en la calidad de los crudos son los pozos Norean-1 e Infantas 1613. En el caso del pozo Norean-1 localizado hacia el cierre norte de la cuenca en donde se someriza la Formación Rosablanca, los datos de madurez (%Ro y Tmax) indican que las rocas del Cretácico Inferior en particular las formaciones Tablazo y Rosablanca estarían en una fase de madurez temprana para generación de hidrocarburos, en este pozo fue recuperado aceite de la Formación Rosablanca con una gravedad API de 27° (Figura 2).

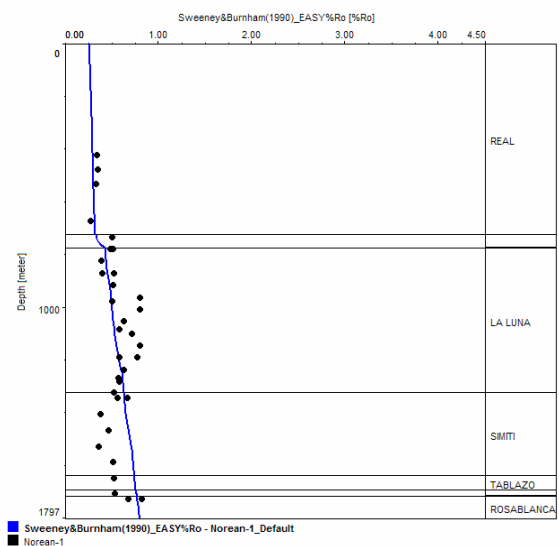


Figura 2: Madurez de la roca generadora (%Ro) del pozo Norean-1

En el caso del pozo Infantas-1613, perforado hacia la parte sur en inmediaciones del alto de La Cira-Infantas, y en donde los sedimentos cretácicos se encuentran más profundos, los datos de madurez (Tmax) indican que las rocas del Cretácico Inferior (Formación Rosablanca) alcanzaron condiciones de madurez tardía para generación de hidrocarburos. En este pozo se presentó producción en calizas de la Formación Simití de aceite de 40° API (Figura 3).

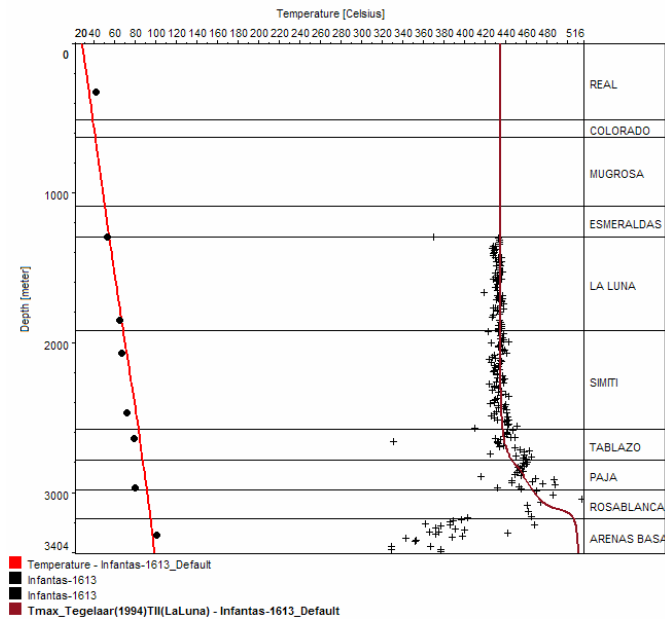


Figura 3: Madurez de la roca generadora (Tmax) del pozo Infantas-1613

Por lo tanto, existe una correlación entre la madurez de las rocas y la calidad de los crudos. Además que como es evidente, las rocas del Cretácico Inferior (Formaciones Rosablanca, Paja, Tablazo y Simití), se encuentran más maduras que las rocas del Cretácico Superior (Formación La Luna), lo que hace que los primeros sean más atractivos para prospectar hidrocarburos en yacimientos fracturados que los segundos.

Conclusiones

Es evidente que las rocas calcáreas cretácicas en el Valle Medio del Magdalena, implican una interesante oportunidad exploratoria que puede ser un gigante dormido en espera de ser despertado. Algunos aspectos que sugieren esto son:

La correlación de pozos con evidencias positivas de fracturamiento y el modelo de curvatura gaussiana regional, indica que hay extensas áreas favorables para encontrar yacimientos naturalmente fracturados que no han sido perforadas hasta el momento.

Existen oportunidades asociadas a dos eventos distintos de deformación en la cuenca, que han involucrado rocas calcáreas

del Cretácico. El primer evento afectó primordialmente al margen occidental de la cuenca durante el Eoceno, y desde ese momento hasta el presente, la deformación allí ocurrida ha permanecido prácticamente igual desde el punto de vista estructural, pero afectada muy probablemente por procesos diagenéticos relacionados al enterramiento que pueden reducir la porosidad secundaria causada por la deformación. El grado de reducción dependerá del enterramiento alcanzado luego del evento orogénico.

El segundo evento está relacionado con la deformación del piedemonte occidental de la Cordillera Oriental y que es más reciente, probablemente Plio-Pleistoceno, afecta de manera diferente a los reservorios calcáreos del Cretácico, ya que estas rocas que se encuentran profundamente enterradas están siendo deformadas activamente, y por lo tanto están siendo sometidas a esfuerzos y tensiones que generan porosidad secundaria y mejoran las condiciones de permeabilidad de los reservorios.

Teniendo en cuenta los parámetros de madurez existentes en la cuenca, se puede decir que aquellos reservorios del Cretácico, en particular del Cretácico Inferior, que hayan sido sometidos a poco enterramiento hacia el margen occidental de la cuenca, pueden presentar acumulaciones de hidrocarburos generados en condiciones de generación temprana con gravedades API entre 20° y 30°. Mientras que en el caso de los reservorios localizados en zonas profundas, en especial hacia el margen oriental de la cuenca, las condiciones de madurez alcanzadas por las mismas rocas son mayores (madurez tardía para hidrocarburos líquidos), pudiéndose encontrar en los reservorios acumulaciones de hidrocarburos con gravedades API por encima de 30°.

Referencias

- Etayo-Serna, F. et al., 1983, Mapa de Terrenos Geológicos de Colombia. Pub. Geol. Esp. Ingeominas. No. 14, 1-235.
- Lisle, R., 1994, Detection of Zones of Abnormal Strains in Structures Using Gaussian Curvature Analysis: AAPG, 78, 1811-1819.
- Ortíz, A. et al., 1998, Evaluación de la Calidad de Reservorio de las Formaciones Rosablanca y Tablazo en el Cretáceo del Valle Medio del Magdalena. Ecopetrol – ICP, 154 p.
- Reyes, J. et al., 1998, Evaluación Regional de Plataforma en el Valle Medio del Magdalena. Ecopetrol – ICP, 139 p.