

10º Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos
Programa de Estudiantes

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL HIDROCARBURIFERO DEVÓNICO DEL NOA

Claudio Asiares¹, Gonzalo Martínez¹ y Eduardo Gallardo²

1: Estudiante de geología de la Universidad nacional de Salta,

claudio.asiares@gmail.com, gonmartinez95@gmail.com

2: Docente de la carrera de geología de la Universidad nacional de Salta

Palabras clave: Devónico, Los Monos, COT, *Shale*

RESUMEN

El noroeste argentino es uno de los puntos de interés petrolífero importantes del país debido a los reservorios convencionales que actualmente allí se explotan, cuya génesis es la cuenca paleozoica, la cual se extiende desde el Subandino sur de Bolivia hasta el NOA. La roca madre por excelencia de esta cuenca es la Formación Los Monos, de edad Devónica superior, descrita como pelitas de pobre a moderado contenido orgánico (*shales*) e interpretada como depósitos de plataforma distal de una cuenca sedimentaria marina de extensa distribución areal. La formación está poco representada en superficie, mientras que en subsuelo de las Sierras Subandinas alcanza espesores de 700 a 1000 m. Los Monos es la responsable de la carga tanto de los reservorios devónicos como carbóníferos de la cuenca. En este trabajo desarrollaremos el sistema petrolero devónico y plantearemos el potencial no convencional de la Formación los Monos y que la convertiría en una importante reserva de *shale* gas/ *shale* oil del estado. El potencial de Los Monos incentiva su continuo estudio.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo describe las características estratigráficas y estructurales de las Sierras Subandinas, con énfasis en la geoquímica y mineralogía de la Formación Los Monos, cuyo objetivo es el de evaluar el potencial no convencional del mismo. Estudios preliminares sugieren que Los Monos debe seguir siendo estudiado para llegar a definir los atributos para incorporarse a los yacimientos de hidrocarburos no convencionales, ya sea *shale* oil y/o *shale* gas (Veizaga, *et al.*, 2014).

La cuenca del noroeste es una secuencia sedimentaria clástica que contiene rocas del Paleozoico Inferior hasta el Terciario. En el presente trabajo concentraremos el análisis en las unidades del Silúrico y Devónico de la Argentina, las cuales afloran en las Sierras Subandinas, el Sistema de Santa Bárbara y se extienden en el subsuelo del Chaco Salteño, del Chaco paraguayo y de la Cuenca Chacoparanense. Formaron parte de una cuenca sedimentaria marina de extensa distribución areal y espesas sucesiones psamo-pelíticas.

Los antecedentes estratigráficos de las unidades del Silúrico-Devónico hasta el Carbonífero Superior fueron desarrollados por Starck *et al.* (1993a, b), Sempere (1995), Starck (1995, 1999), Vistalli (1999), Suárez Soruco (2000), Azcuy y di Pasquo (2000) y Miranda *et al.* (2000), entre otros.

Starck, (1995), postuló un esquema tectono-estratigráfico para el norte de Argentina y sur de Bolivia. Dentro del ciclo Silúrico-Devónico, determinó tres supersecuencias granocrecientes denominadas estratigráficamente Cinco Picachos, Las Pavas y Aguaragüe (Figura N°1).

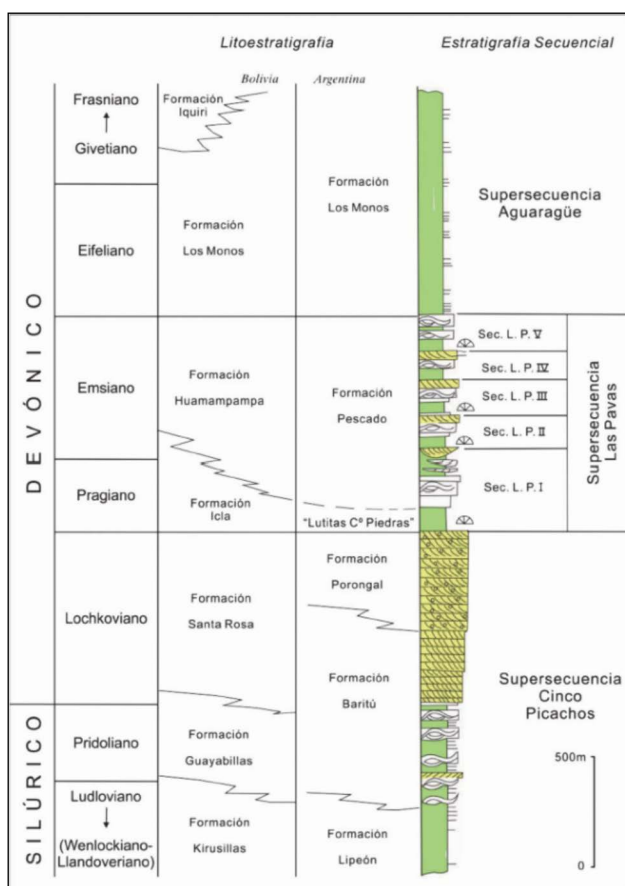


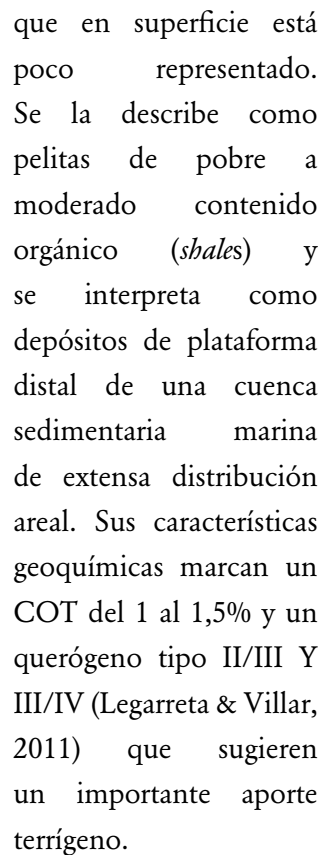
Figura N°1. Columna estratigráfica del Silúrico-Devónico (adaptada de Starck 1995)

Las Sierras Subandinas son una consecuencia de la tectónica andina, especialmente de sus fases más jóvenes (Starck & Schulz, 2017). Limitan hacia el oeste con Cordillera Oriental, al Sur con Sistema Santa Bárbara, al este con la Llanura Chaqueña y hacia el norte con el Subandino Sur de Bolivia. Ésta provincia geológica corresponde a una faja plegada y fallada de piel fina en la que el factor topografía presenta un fuerte control estructural.

La conspicuidad del Subandino es la presencia de estructuras anticlinales estrechas, concéntricas y bastantes apretadas, separadas por valles longitudinales. Los ejes estructurales presentan una alineación norte-sur que llegan a alcanzar cientos de kilómetros de longitud. Las culminaciones anticlinales individuales se encuentran separadas por sillas estructurales, y a veces, por el desplazamiento en planta de los ejes.

Mientras que los sinclinales, separados por los ejes positivos, suelen ser más amplios (Fig. 2). Es así que las Sierras Subandinas adoptan un estilo estructural claramente “eyectivo” (Starck & Schulz, 2017).

Cruz *et al.*, 2002 propone a la Formación Kirusillas e Icla como las rocas generadoras más antiguas de la cuenca, y considerando a la Formación Los Monos como la roca generadora más importante de reservorios devónicos-carboníferos. Las importantes dimensiones que alcanzó Los Monos (Devónico Superior) llegaron a espesores de entre 700 a 1000 metros en subsuelo, mientras



un importante aporte
terrígeno.

Consistió principalmente en la recopilación de información geológica, geoquímica y mineralógica de la Formación los Monos. En función de esta información, se analizó las propiedades de la Formación Los Monos, su comparación con otros yacimientos tipo *shale* y se evaluó cada uno de los parámetros para ser considerado un yacimiento no convencional.

Es necesario tener en cuenta el concepto de *shale*, que por definición son rocas ricas orgánicamente, de grano fino, capaces de producir cantidades comercialmente importantes de hidrocarburos con una amplia fractura. Los *shales* suelen servir como roca madre, reservorio y sello de los hidrocarburos producidos a partir de ellos y pueden ser parte de un sistema petrolero con acumulaciones de hidrocarburos tanto no convencionales y convencionales (Jarvie, *et al.*, 2007).

151

alto gamma ray, alta resistividad, alto contenido de materia orgánica (>2-3%), madurez en ventana de petróleo o gas, fragilidad (>40% de cuarzo), espesor (>50 metros), porosidad (4%), depositados en ambientes marinos, querógeno tipo II y presencia de barreras de fractura (Jarvie *et al.*, 2007).

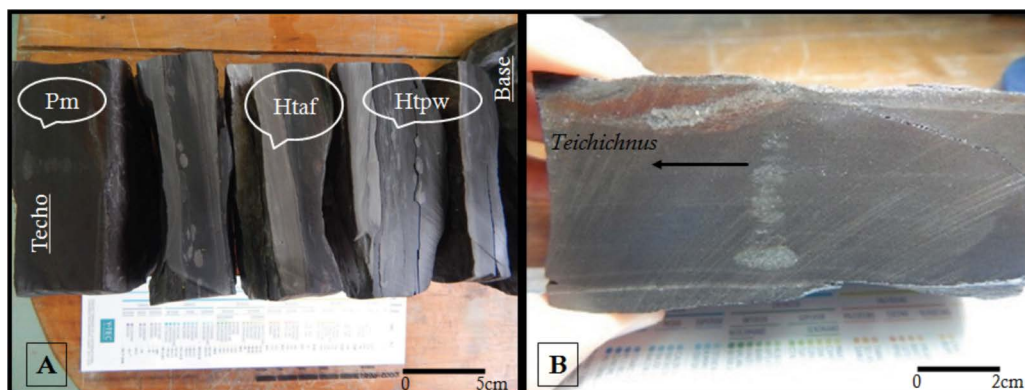


Figura N°4. Facies típicas de la Fm Los Monos. A. Facies de pelitas y heterolitas. B. Pelitas con bioturbación (Teichichnus).

Geoquímica

Desde el punto de vista geoquímico la Formación Los Monos es una roca madre de regular calidad debido a que presenta tenores de COT pobres a moderados del orden del 0,5 al 1,5% y contenido de hidrocarburos (S1+S2) entre 2 y 3 mg/g en promedio (Veizaga, *et al.*, 2014). Estos, si bien son bajos, se compensan con el gran espesor y la distribución areal de la unidad. Además, brinda un alto *Source* Potencial Index (SPI) de poco más de 4 tHC/m² (toneladas de hidrocarburos por metro cuadrado); valores similares son mencionados por Disalvo y Villar (1998) para la zona del Chaco Salteño, mientras que Legarreta y Villar, 2011 postulan valor de 1 a 3 tHC/m². El querógeno de la unidad prácticamente carece de estructura, y es de Tipo II/III a Tipo III/IV de acuerdo a análisis por el método de Rock-Eval (Legarreta & Villar, 2011). Estos querógenos tenderían a generar principalmente gas. Una característica general de la unidad es su tendencia a generar hidrocarburos livianos (petróleo, condensado, gas) debido a la dilución del querógeno (marino amorfo-algal con variable contribución terrestre) en la roca (bajo COT%) y a su calidad regular (picos S2 de pirólisis originales promedio estimados en no mayores de 400 mg HC/g COT). Ello origina un déficit en el proceso de expulsión, retención de los hidrocarburos generados en la roca madre y un craqueo continuo hacia compuestos cada vez más livianos. Razones análogas son invocadas por Moretti *et al.* (1996) y Moretti (1997) para explicar los altos valores de Gas *Oil* Relation (GOR) del Subandino sur de Bolivia.

Debido al limitado contenido de materia orgánica y al carácter parcialmente refractario del querógeno, se cree que la etapa de expulsión de hidrocarburos comienza a niveles relativamente

altos de stress térmico, a una Reflectancia de Vitrinita Equivalente (RVE) mayor a 0.9-1.0%, con predominio de hidrocarburos gaseosos.

Los estudios realizados en la Formación Los Monos consideran que en general sus características geoquímicas se mantienen más o menos constantes a lo largo de toda la cuenca, que combinado con la distribución homogénea de espesores, facies y de madurez, asegura la disponibilidad de roca madre prácticamente en toda la cuenca. Esta situación no rige en posiciones más occidentales de la cuenca (Sierras Subandinas Occidentales), donde la disminución de los espesores de la Formación Los Monos reduce la disponibilidad volumétrica de roca generadora. En este contexto de abundancia de roca madre, la acumulación de volúmenes comerciales dependerá entonces de la eficiencia de la expulsión y del entrapamiento.

Mineralogía

En función del análisis mineralógico por difracción de rayos X es posible observar que Los Monos presenta una mineralogía de la roca total promedio, compuesta principalmente por cuarzo (70%), plagioclasa (10%), arcillas (20%) y trazas de calcita, dolomita, siderita, clinoptilolita y pirita (Fig. x). En cuanto a la mineralogía de la fracción arcilla se caracteriza por la presencia en promedio de illita (45%), illita/esmectita (20%), clorita (25%) y (10%) caolinita (Fig. 5) (Veizaga, *et al.*, 2014).

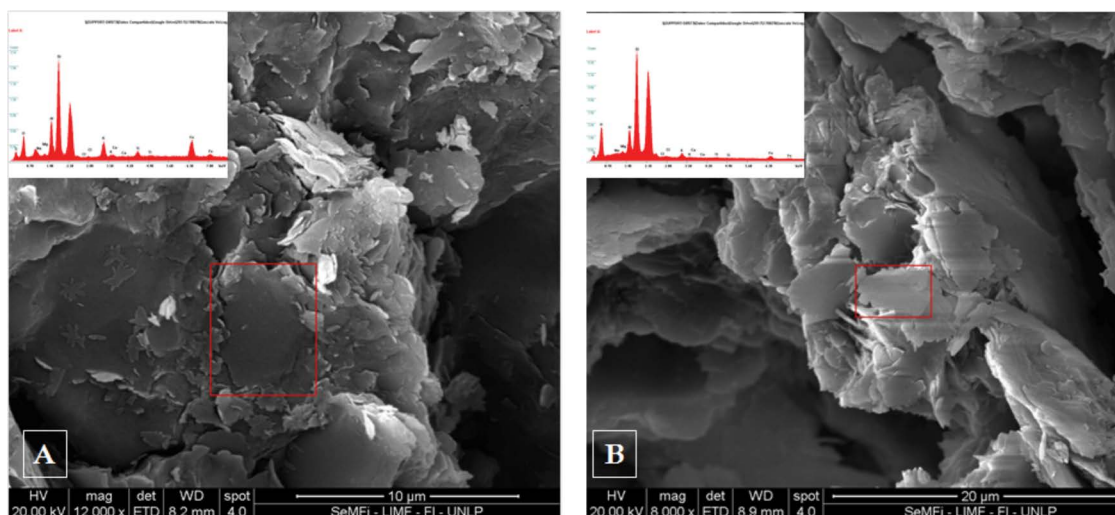


Figura N°5. Microfotografía de la Formación Los Monos por Microscopía electrónica de barrido. Arcillas del grupo de la Illita relleno de poros y provocando pérdida de porosidad.

La geomecánica de un reservorio que es definido como no convencional, debe presentar un mayor contenido de componentes silíceos, ya que permite un proceso de fracturación más sencillo si se los compara con aquellos cuerpos enriquecidos en minerales arcillosos, materia orgánica y/o carbonatos (Stinco & Barredo, 2014). La Formación Los Monos presenta características

mineralógicas aptas para ser considerada un *shale source play* definiéndose zonas frágiles con porcentajes de arcillas menores al 40%, porcentajes de cuarzo mayor al 30% y zonas dúctiles con porcentajes de arcillas mayores al 40% (Fig. 6 y 7).

CONCLUSIÓN

A partir de la recopilación de información se puede destacar los puntos a favor y en contra para considerar a la Formación Los Monos como un potencial reservorio no convencional.

Teniendo en cuenta la sedimentología, Los Monos es considerado un *shale*, que por su gran espesor (700-1000 metros) y extensión areal, se lo toma en cuenta como un posible no convencional.

Desde el punto de vista geoquímico y comparando datos de la Formación Los Monos con valores estándares de otros reservorios tipo *shales*, se concluye que el COT (Carbono Orgánico Total) de la Formación Los Monos es bajo (1-1,5%) en comparación con otros no convencionales. Por otra parte, el querógeno TIPO II/III a Tipo III/IV indicaría un potencial reservorio principalmente de gas y secundariamente petróleo.

Según la mineralogía, Los Monos tiene buenas condiciones geomecánicas para ser fracturado mediante proceso de fracking debido al alto porcentaje de silicio (70% cuarzo y 20% arcillas).

Es necesario seguir estudiando a detalle las propiedades de la Formación Los Monos para que pueda ser incorporada a los yacimientos hidrocarburos no convencionales.

BIBLIOGRAFÍA

- Hernández, R. & Echavarria, L., 2009. Faja plegada y corrida subandina del Noroeste. s.l.: Revista de la Asociación Geológica Argentina 65 (1): 68 - 80.
- Jarvie, D. M., Hill, R. J., Ruble, T. & Pollastro, R. M., 2007. Unconventional *Shale*-Gas System: Barnett *Shale* of North Central Texas, as one model for thermogenic *shale*-gas assessment. s.l.: AAPG Bulletin, 9, p. 475-499.
- Legarreta, L. & Villar, H., 2011. Geological and Geochemical keys of the potencial *shale* resources, Argentina basin. s.l., Search and discovery article.
- Starck, D., 1995. Silurian – Jurassic stratigraphy and basin evolution of Northwestern Argentina, en A. J. Tankard, R. Suarez S. y H. J. Welsink (eds.). s.l., Petroleum Basin of South America, AAPG Memoir 62, p. 251-267..
- Starck, D. & Schulz, A., 2017. Corte estructural de Sierritas Subandinas a los 22,5°. Aspectos estratigráficos, estructurales y geología del petróleo de la cuenca paleozoica del noroeste. Tucumán, Actas XX Congreso Geológico Argentino.
- Stinco, L. & Barredo, S., 2014. Características geológicas y recursos asociados con los reservorios no convencionales del tipo *shale* de las cuencas productivas de la Argentina., s.l.: Nota Técnica, Petrotécnica.
- Veizaga, J., Poiré, D., Vergani, G. & Salfity, J., 2014. Formación Los Monos (Devónico), Cuenca

de Tarija: Aproximación geoquímica y mineralógica del potencial como *Shale Gas* y *Shale Oil*. s.l., Conference: IX Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos - Simposio de Re-

ursos No Convencionales: Ampliando el Horizonte Energético.