

Estudio comparativo de testigos corona de las dos secciones enriquecidas de la Formación Vaca Muerta en la zona de shale gas, noroeste del Engolfamiento Neuquino

Arturo de BARRIO¹, Patricia FERRARESI¹, Guillermina KÖHLER², Denis MARCHAL² y Silvia BLANCO¹

¹LCV.

²Pampa Energía S.A. Email:denis.marchal@pampaenergia.com

RESUMEN

El presente trabajo muestra la comparación entre los intervalos Sección Enriquecida Inferior (SEI) y Sección Enriquecida Superior (SES) de la Formación Vaca Muerta, correspondiendo respectivamente a los dos eventos principales de transgresión que caracterizan el sector NO de la Cuenca Neuquina. El estudio se basa en el análisis detallado de dos intervalos de testigos corona (sumando un total de 69 m) obtenidos en un pozo *shale gas*, ubicado al sur del sector NO del Engolfamiento Neuquino. Ambos intervalos se caracterizaron desde el punto de vista litofacial, composicional (por petrografía y DRX), geoquímico y petrofísico. También fueron consideradas con especial énfasis las fracturas naturales. La Sección Enriquecida Inferior se caracteriza por el predominio de fangolitas algo calcáreas, la persistente participación de material volcániclastico, los altos valores de COT y la abundancia de fracturas horizontales, así como también de concreciones. Se interpreta para esta sección un ambiente de rampa/plataforma distal a cuenca. Por su parte, en la Sección Enriquecida Superior se observa el predominio de fangolitas calcáreas, mayor diversidad faunística, buenos valores de COT y condiciones más someras, evidenciadas además por las estructuras sedimentarias. La Sección Enriquecida Inferior muestra muy buenas características como reservorio *shale*, al igual que en otros sectores de la cuenca (centro-SE). Por su parte, la Sección Enriquecida Superior, que se encuentra en condiciones de *foreset* en la zona de estudio, muestra incipientes características como reservorio. Las mismas van mejorando paulatinamente hacia el NO, cuando evolucionan a un ambiente de *bottomset*.

Palabras clave: *Formación Vaca Muerta, corona, estudios de laboratorio, Reservorio, Sección Enriquecida, Engolfamiento Neuquino.*

ABSTRACT

Comparative core studies of the two enriched sections of Vaca Muerta Formation in the shale gas zone, northwest of the Neuquén Embayment.

This paper presents the comparison between the lower and the upper TOC enriched sections of the Vaca Muerta Formation, corresponding respectively to two main transgressive events that characterize the NW sector of the Neuquén Basin. This comparison is based on the detailed analysis of two cored intervals (69 m in total) of a shale gas well, drilled at the south of the NW sector of the Neuquén embayment. For both intervals we characterized the lithofacies, composition (from petrographic analysis and from XRD), geochemistry and petrophysics. We also thoroughly analyzed the natural fractures. The Lower Enriched Section is mainly composed by slightly calcareous mudstones and characterized by abundant ash beds, high TOC values, numerous concretions and horizontal fractures ("beefs"). We interpret a ramp/distal platform depositional environment for these sediments. The Upper Enriched Section is mainly composed by calcareous mudstones and characterized by faunal diversity, good TOC values and shallower depositional conditions, highlighted by sedimentary structures. Lower Enriched Section displays good shale reservoir characteristics (as in the SE and central areas of the Neuquén Basin). Meanwhile the Upper Enriched Section (foreset setting in the study zone) starts to display interesting reservoir conditions that can be better to the NW, when evolving to bottomset setting.

Keywords: *Vaca Muerta Formation, Core, Reservoir, Enriched section, Neuquén embayment, Shale Gas*

INTRODUCCIÓN

La Formación Vaca Muerta, principal roca madre de la Cuenca Neuquina, se convirtió estos últimos años en un objetivo exploratorio no-convencional muy atractivo. El *play shale* Vaca Muerta está principalmente desarrollado en la parte del engolfamiento de la Cuenca Neuquina (Fig. 1). Dicha formación se caracteriza por una gran variabilidad areal y vertical, tal como lo reflejan los diversos capítulos del libro *Transecta Regional de la Formación Vaca Muerta* (González *et al.* 2016).

El presente trabajo se orienta a mostrar una comparación entre los intervalos Sección Enriquecida Inferior y Sección Enriquecida Superior de la Formación Vaca Muerta correspondiendo respectivamente a los dos eventos transgresivos principales T1 y B4 (Desjardins *et al.* 2016) que caracterizan el sector NO de la cuenca (Fig. 2). Esta comparación se basa en el análisis detallado de testigos corona (69 m en total) extraídos de ambas secciones enriquecidas en un mismo pozo *shale gas*, ubicado al sur del sector NO del engolfamiento.

MARCO GEOLÓGICO

Según los estudios precursores de Mitchum y Uliana (1985), se evidencia con el mapeo de los quiebres de plataforma que las variaciones estratigráficas más importantes del intervalo Vaca Muerta - Quintuco ocurren a lo largo de un eje SE-NO (Fig. 1). Un mapeo actualizado de los mismos se presenta en Domínguez *et al.* (2017). La transecta regional de la Formación Vaca Muerta (González *et al.* 2016), de

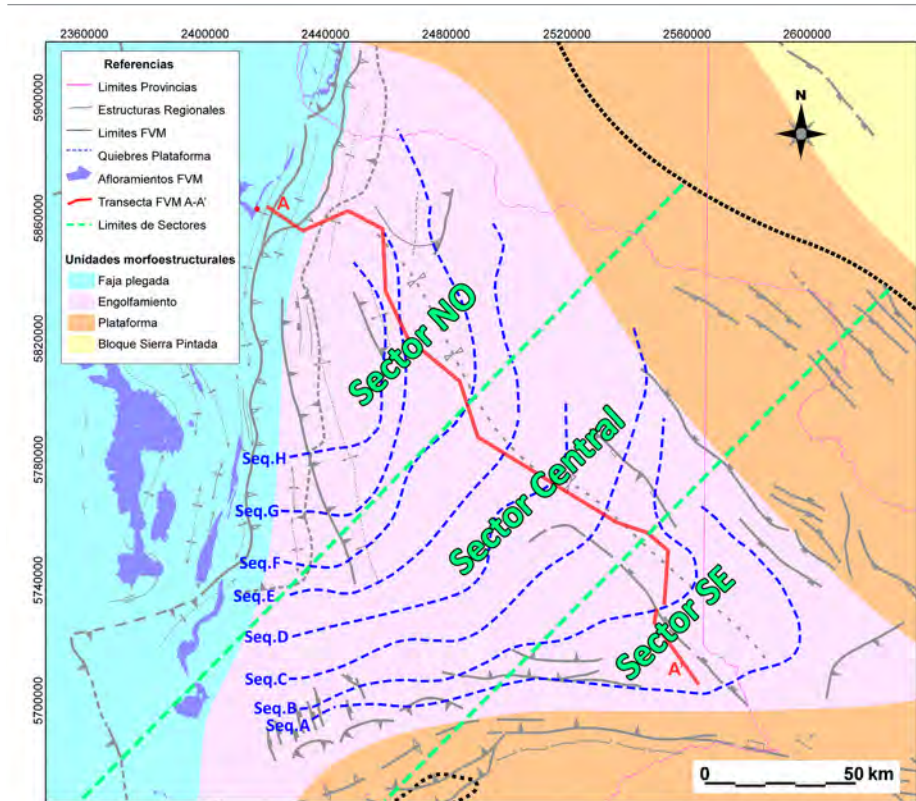


Figura 1. Mapa de la Cuenca Neuquina con zonación morfoestructural (modificado de Zapata *et al.* 2003) y sectorización del *play shale* Vaca Muerta (modificado de Desjardins *et al.* 2016). Los quiebres de plataforma corresponden a Mitchum y Uliana (1985).

dirección SE-NO, refleja esta variabilidad (Figs. 1 y 2). De SE a NO y desde la base del intervalo Vaca Muerta-Quintuco hasta su techo, los depósitos evolucionan de un patrón levemente a francamente progradante para las primeras unidades U1 a U4, evolucionando a un patrón más agradante para las unidades U5 y U6. Son las variaciones de la organización vertical y de la geometría de las progradaciones las que generan la heterogeneidad de primer orden que se observa en la Formación Vaca Muerta.

En la zona de estudio (Fig. 2), ubicada en la parte sur del sector NO del *play* Vaca Muerta, se identifican dos intervalos enriquecidos, con más de 2% de COT (Fig. 3). El primero de ellos, presente en gran parte de la cuenca en geometría de *bottomset*, se denomina Sección Enriquecida Inferior e incluye los depósitos desde la primera inundación, marcando el principio del intervalo Vaca Muerta - Quintuco (U1) hasta la parte basal de la unidad U4 en la zona de estudio (Fig. 2). La corona, tomada en la Sección Enriquecida Inferior, se

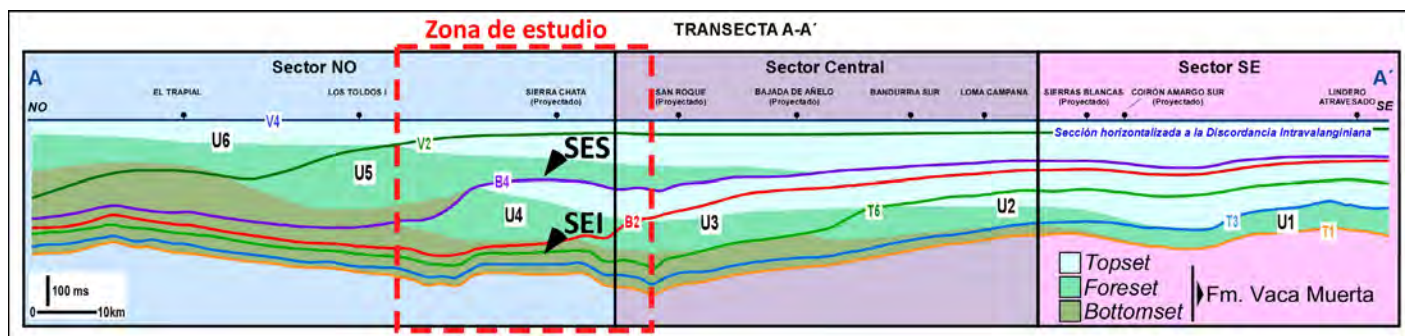


Figura 2. Zona de estudio sobre la transecta A-A' mostrando la sectorización geográfica, las unidades sísmicas y la distribución de los segmentos (*bottomset/foreset/topset*) de clinoformas (modificado de Marchal *et al.* 2016a). Ubicación de la Sección Enriquecida Inferior (SEI) y de la Sección Enriquecida Superior (SES).

ubica entre T4 y T5, en la U2. El segundo intervalo enriquecido, Sección Enriquecida Superior, ocurre en la base de la U5 y corresponde a un evento de inundación arealmente más limitado en la cuenca. La corona correspondiente a la SES fue tomada en la base de la U5, entre B4 y V1.

METODOLOGÍAS

Sobre los testigos corona se obtuvieron tomografías computadas 3D (Fig. 4) y se generaron los perfiles de dureza (Scratch Test) y de rayos *gamma* espectral para la corrección de la profundidad. Posteriormente, se efectuó el corte longitudinal de los testigos (*slabbing*). Luego se realizaron descripciones sedimentológicas detalladas a escalas 1:40 y 1:200 y se definieron facies para lo cual se consideraron la composición y litología predominantes, las estructuras sedimentarias (adaptadas de Lazar *et al.* 2015), el contenido faunístico y de materia orgánica. También se tomó en cuenta la respuesta al perfil de dureza, y se seleccionaron los puntos de muestreo para los estudios de petrografía, difracción de rayos X, microscopía electrónica de

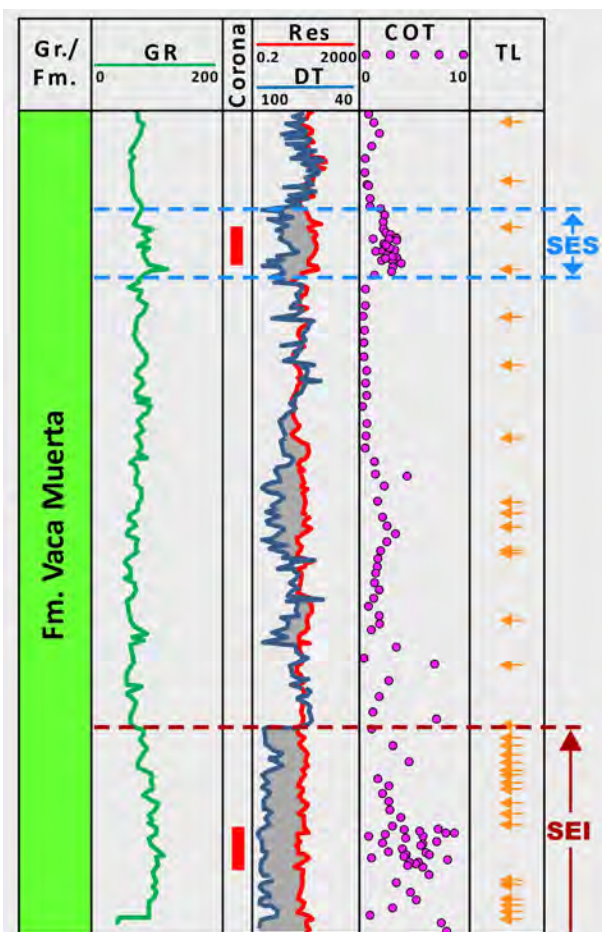
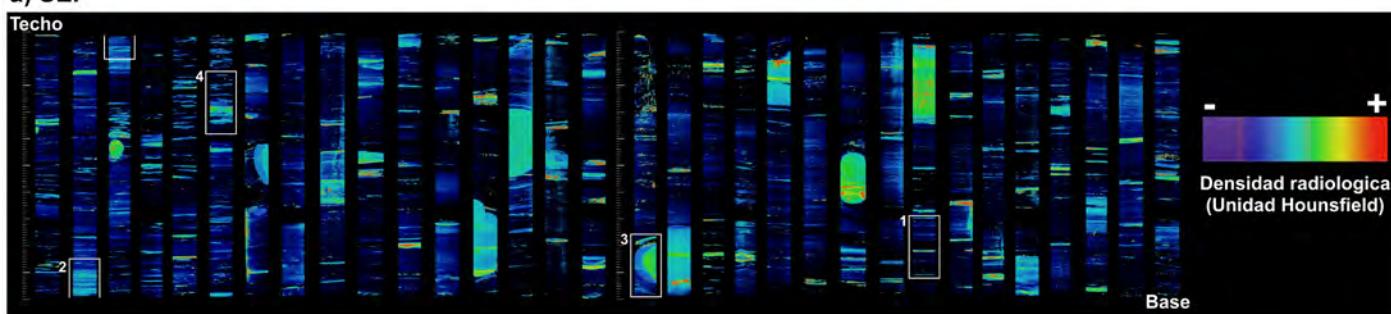


Figura 3. Log compuesto del pozo de estudio y ubicación de las dos secciones enriquecidas: Sección Enriquecida Superior (SES) y Sección Enriquecida Inferior (SEI). Nótese los altos valores de COT al nivel de las dos secciones enriquecidas. TL: Testigos laterales.

a) SEI



b) SES

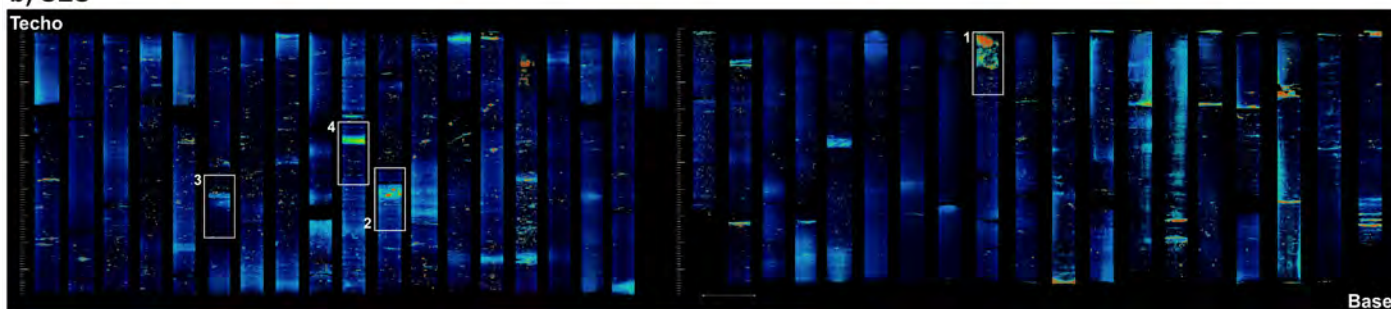


Figura 4. Mosaicos de imágenes de tomografía computada de alta definición con procesamiento de reconstrucción multiplanar. a) Sección Enriquecida Inferior (SEI): ver la heterogeneidad de este intervalo. Los colores verde-amarillentos corresponden a concreciones y las capas delgadas y horizontales celestes y verdes a piroclastitas y fracturas rellenas por calcita. Recuadros: imágenes de Figs. 6 y 12. b) Sección Enriquecida Superior (SES): obsérvese el aspecto homogéneo de este intervalo comparado con la SEI (véase a). Los intervalos celestes corresponden a los niveles más calcáreos en algunos casos laminados. Los puntos naranjas son principalmente restos fósiles. Nótese que la laminación está bien desarrollada sólo en la base del intervalo.

barrido (MEB y EDAX) y petrofísica específica para reservorios *shale*. Además, se realizaron estudios de geoquímica para evaluar el contenido de carbono orgánico total (COT). Para el estudio petrográfico las muestras se clasificaron siguiendo el esquema propuesto por Kietzmann y Rodríguez Schelotto (2016) y la porosidad según una modificación de la propuesta de Loucks *et al.* (2012).

RESULTADOS

Se describen a continuación los dos intervalos analizados que se resumen en la figura 5.

Sección Enriquecida Inferior

En términos generales, la Sección Enriquecida Inferior (Fig. 5a) está compuesta por capas delgadas (de espesores centimétricos) de fangolitas algo calcáreas que intercalan con fangolitas limosas, fangolitas calcáreas y niveles milimétricos a centimétricos de composición piroclástica (tobas argilizadas y/o piritizadas, Figs. 6 y 7a). Presentan laminación planar paralela marcada por sutiles variaciones composicionales, así como por la concentración de valvas y otros elementos faunísticos (por ejemplo, amonites). Las concreciones son frecuentes (alcanzan 30 cm de desarrollo) y, en ocasiones, se encuentran limitadas por fracturas tipo *beef*. Estas fracturas son comunes también en otros contrastes litológicos, por ejemplo, en las bases de las capas piroclásticas mencionadas. Cabe destacar que las fracturas tipo *beef* constituyen el 94% de todas las fracturas contabilizadas. Es importante señalar la presencia de niveles constituidos por una alternancia milimétrica de láminas carbonáticas con láminas de fangolitas, interpretados como producto de acción microbial. Para la descripción se contabilizaron todas las capas de piroclastitas presentes por metro, aún las más delgadas. Del mismo modo se contabilizaron y categorizaron todas las fracturas presentes, para lo cual se tuvo en cuenta apertura, relleno, roca hospedante y diseño, entre otras características (Fig. 8a). La participación de fracturas, concreciones y piroclastitas influyen en el comportamiento mecánico de las rocas, generando heterogeneida-

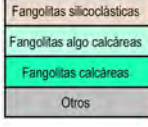
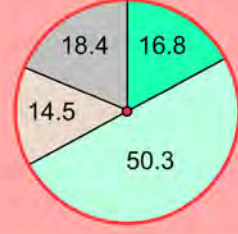
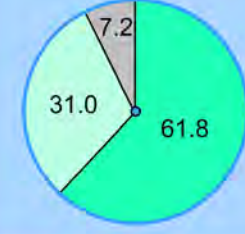
Característica	a) SEI	b) SES
Litología y facies 	Predominan las fangolitas algo calcáreas peloidales, microbialitas y piroclastitas milimétricas con laminación difusa. 	Predominan las fangolitas calcáreas masivas y bioturbadas. Sin microbialitas. 
Mineralogía	Altos a moderados valores de cuarzo y bajos de carbonatos	Altos valores de carbonatos y bajos de cuarzo
Fauna	Escasos y poco diversos: radiolarios, bivalvos y amonites	Más diversos y abundantes: foraminíferos, radiolarios, pelecípodos, anélidos, espículas de esponjas.
No esqueléticos	Abundantes silicoclásticos tamaño limo y abundantes peloides	Abundantes silicoclásticos tamaño limo y escasos peloides
Concreciones	Abundantes concreciones	No se observan
Capas piroclásticas	Abundantes	Muy escasas: calcitizadas. Plagioclasas dispersas (por bioturbación y corrientes)
Promedio COT	4,75% (máximo 10,20%)	2,48% (máximo 3,71%)
Fracturas	Abundantes	Muy escasas
Porosidad	Predominan poros interparticulares en la matriz. Subordinados poros intraparticulares (peloides) y en materia orgánica.	Predominan poros interparticulares asociados con la matriz. Poros intraparticulares subordinados.
Ambiente	Plataforma/rampa externa a cuenca	Plataforma/rampa media a externa

Figura 5. Resumen de las características de ambas secciones enriquecidas: a) Sección Enriquecida Inferior (SEI) en rojo; b) Sección Enriquecida Superior (SES) en azul.

des de diferente magnitud. Por esta razón resulta muy importante su estudio y caracterización.

Petrográficamente predominan las fangolitas limosas peloidales con matriz arcillosa y moderado contenido de calcita. La fauna es escasa y se reconocen radiolarios, amonites y valvas delgadas de pelecípodos (Fig. 9a). La porosidad promedio de la SEI medida en laboratorio es de 15,5 %. Analizada bajo el MEB (Fig. 6), está principalmente relacionada con poros interparticulares vinculados a la matriz, intraparticulares relacionados con peloides y en la materia orgánica. En función de las medidas realizadas, el tamaño predominante corresponde a nanoporos (<1 µm) seguidos por criptoporos (de 1 a 4 µm) y se reconocieron microporos de hasta 8,24 µm. La saturación total de gas promedio de las muestras analizadas es de 72% (% de volumen poral), mientras la de petróleo es solamente de 0,06%.

Se realizaron estudios de geoquímica para evaluar el contenido de carbono or-

gánico total (COT), con una frecuencia de una medición por metro. Los resultados indican un valor promedio de 4,75%, con un máximo de 10,20% y un mínimo de 0,25% (correspondiente a un nivel piroclástico). Las facies de fangolitas y fangolitas algo calcáreas laminadas presentan valores promedio más altos que los correspondientes a las fangolitas calcáreas: 6% y 4,7% respectivamente (Figs. 3 y 10).

La figura 11 muestra los resultados de DRX. Para su análisis y evaluación debe considerarse que las muestras comprenden tanto las litologías predominantes (facies principales, Fig. 6) como las subordinadas. Las muestras representativas del intervalo Sección Enriquecida Inferior se ubican en el sector central del triángulo; el resto corresponden a facies diagenéticas (concreciones), facies extracuencales (tobas) y/o facies que se encuentran subordinadas (fangolitas calcáreas), y a esto se debe la dispersión. La muestra que corresponde a la fangolita limosa (X en la figura 11) tiene un alto porcentaje de cal-

Figura 6. Sección Enriquecida Inferior: 1-4: fotos de corona; a-d) microfotografías de cortes delgados (ubicación de los mismos en fotos de corona 1-4, recuadros rojos). Laminación planar discontinua y capas milimétricas de origen piroclástico (foto 1). Radiolarios y abundantes granos silicoclásticos tamaño limo fino (foto a). Niveles microbiales (fotos 2 y b). Fracturas tipo *beef* (fotos 2, 3, 4 y c). Fractura subhorizontal rellena por cristales prismáticos de calcita perpendiculares a la laminación y asociada una lámina de toba reemplazada por pirita (foto 4). Microfotografía d: testa de radiolario conservando su composición silíceo original, característica de las facies anóxicas orgánicas basales. Nótese el color oscuro de las facies, indicadores de altos valores de COT; e y f) Fotografías tomadas con el microscopio electrónico de barrido donde se observa la porosidad intraparticular asociada a materia orgánica (foto e) y en granos esqueléticos (foto f); g) Espectro analítico de elementos obtenido a partir de un EDS realizado en la matriz de una fangolita algo calcárea. Los picos más altos corresponden a oxígeno, silicio y aluminio.

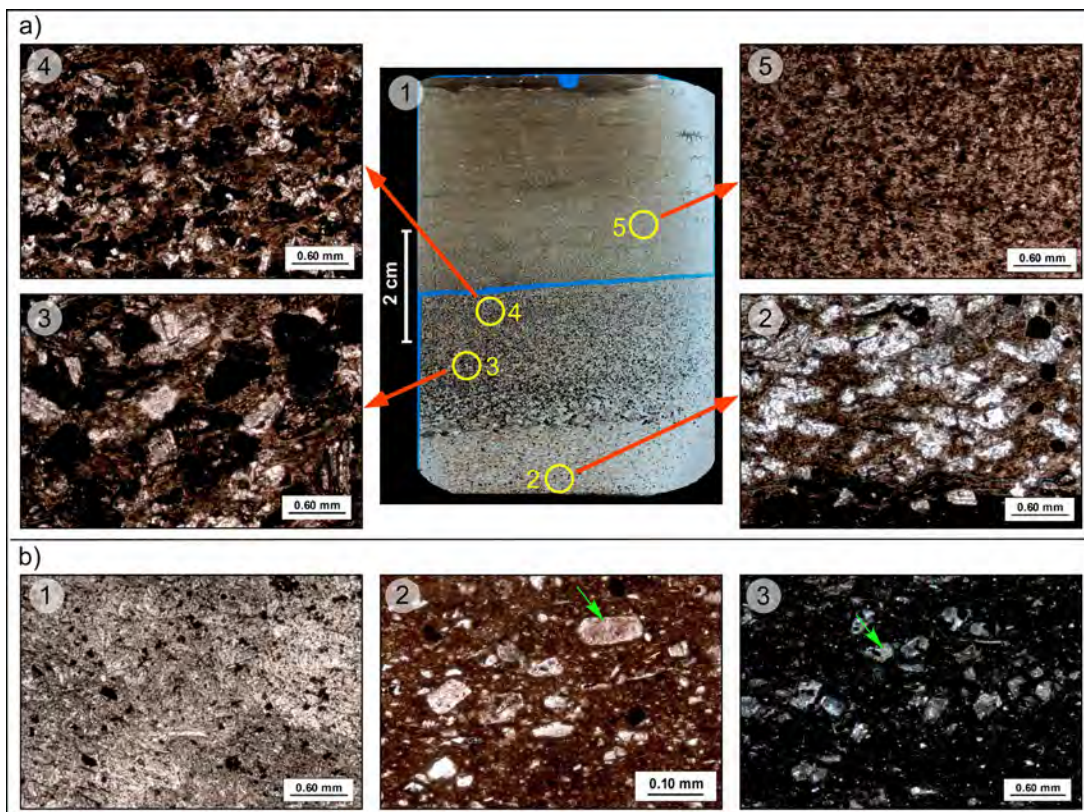
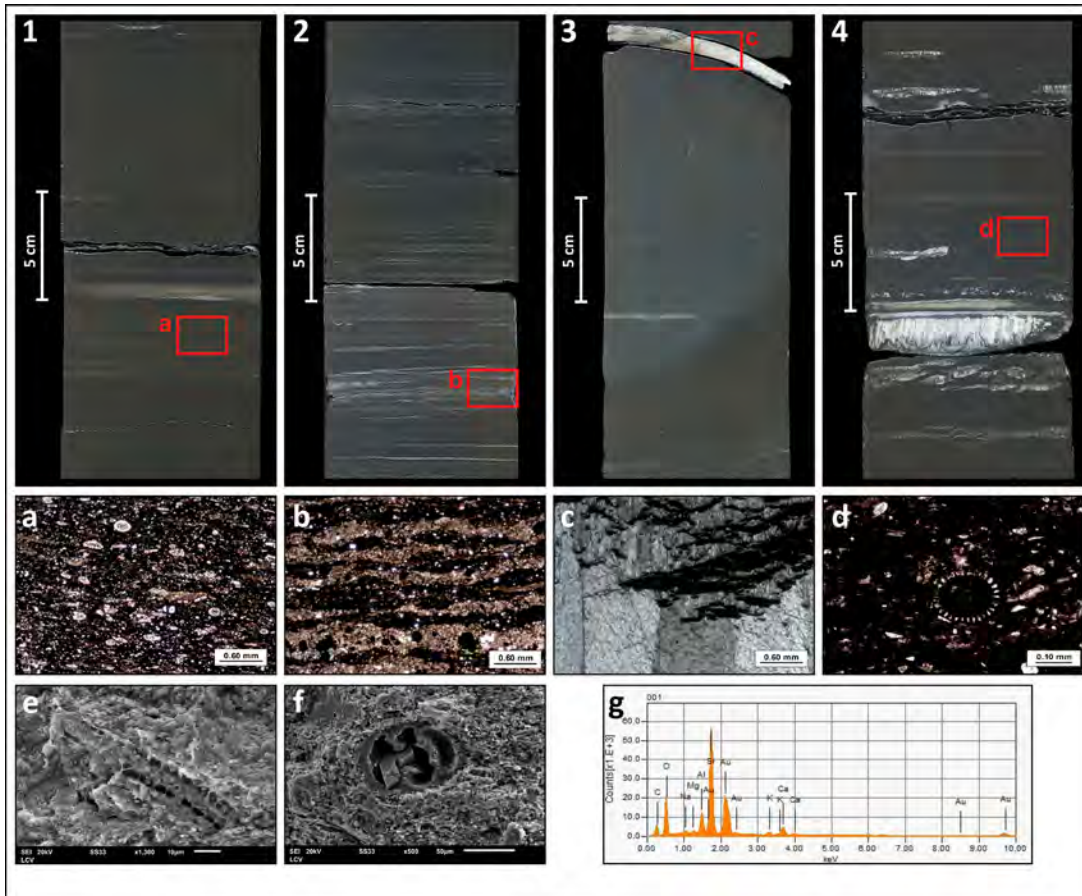


Figura 7. Niveles piroclásticos. a) Sección Enriquecida Inferior: las capas piroclásticas son abundantes: corte delgado sobredimensionado que corresponde a una superposición de depósitos piroclásticos (1). Sobre una capa de toba rica en cristales (2), se desarrolla una capa rica en cristales gradada y con abundante reemplazo basal, presentando un contacto neto basal. La misma capa presenta cristaloclastos gruesos piritizados en la parte basal (3) y una mayor participación de matriz y menor tamaño de cristales (4). Toba vítrea argilizada mostrando un contacto neto y un salto granulométrico respecto al nivel infrayacente (5); b) Sección Enriquecida Superior: las capas piroclásticas son escasas. Se reconocen niveles delgados reemplazados por calcita como un mosaico grueso inequigranular que preserva fantasmas de trizas e impurezas de la roca original (1). Son frecuentes los cristaloclastos de plagioclasas (flecha verde), de tamaño ceniza fina a media, alterados, dispersos en las fangolitas, nicoles paralelos (2). Plagioclasas, nicoles cruzados (3). Se interpreta que el aporte piroclástico estuvo presente pero por perturbación y acción de corrientes no se preservan como capas.

cio debido que se muestreó en un contacto con un *beef*.

Sección Enriquecida Superior

La Sección Enriquecida Superior (Fig. 5b) está compuesta por la intercalación de paquetes espesos de fangolitas calcáreas y fangolitas algo calcáreas. Ambas facies se adjetivaron como "limosas" debido a la abundante presencia de granos silicoclásticos tamaño limo. Participan, además, plagioclasas calcitizadas, en general de tamaño arena muy fina, y elementos faunísti-

cos. Se presentan con aspecto masivo (en parte como producto de bioturbaciones) o con laminación planar paralela difusa, dada por concentración variable de restos fósiles (Fig. 12). No se observaron concreciones y la participación de niveles piroclásticos como capas discretas es considerablemente menor que en la Sección Enriquecida Inferior, aunque se reconoce material de origen piroclástico disperso, también como producto de la actividad orgánica y la acción de corrientes (Fig. 7b). Las fracturas en esta sección son escasas (Fig. 8b).

Petrográficamente se caracterizaron como fangolitas limosas con matriz calcáreo-arcillosa. El contenido faunístico es escaso a moderado pero su diversidad es mayor que en la Sección Enriquecida Inferior. Se reconocieron radiolarios, pelecípodos, amonites, foraminíferos, espículas de esponjas y anélidos (Fig. 9b). La porosidad promedio de la SES medida en laboratorio es de ~8%. Analizada bajo el MEB (Fig. 12), está principalmente relacionada con poros interparticulares vinculados a la matriz, mientras que los poros

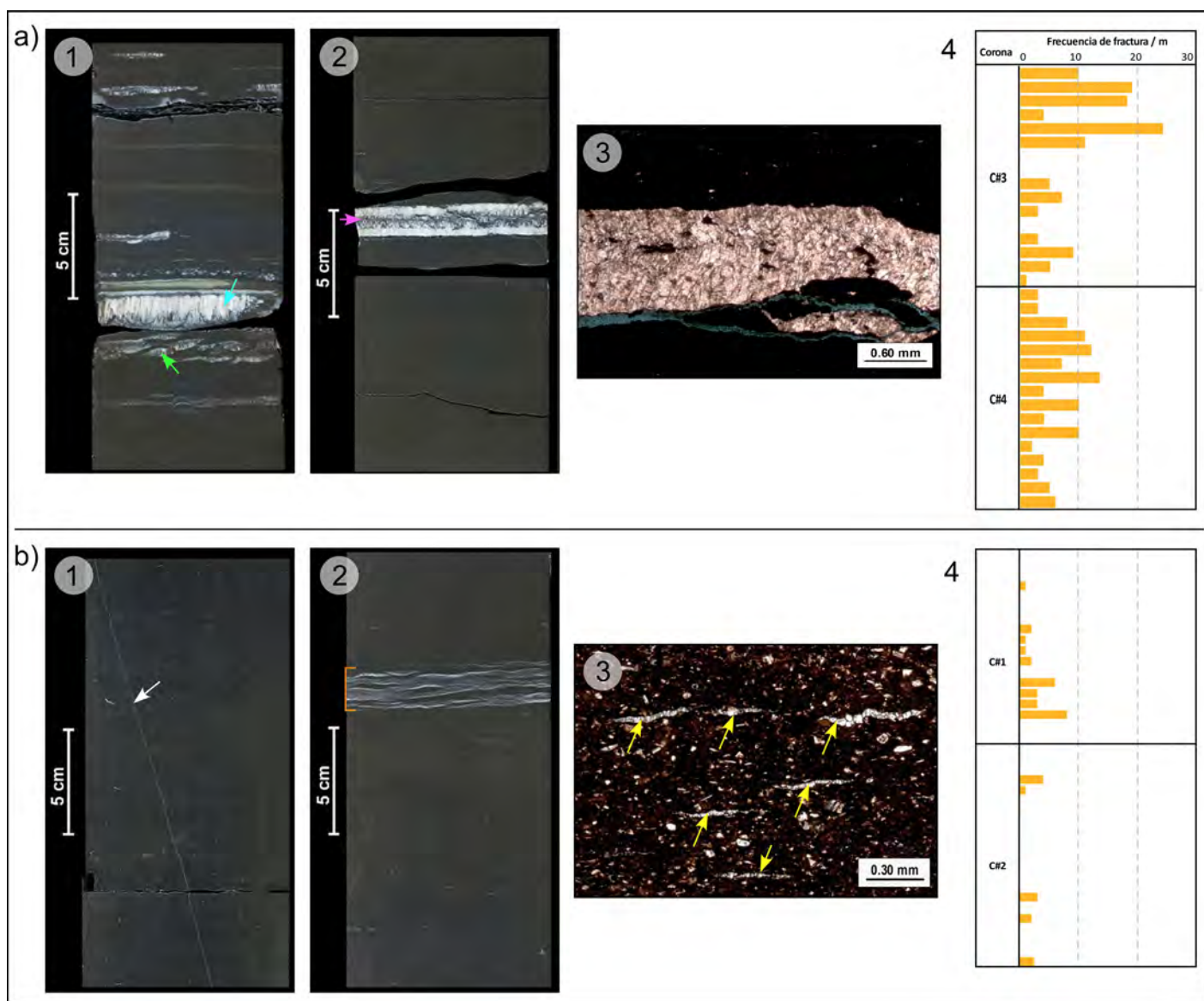


Figura 8. Ejemplos de fracturas. a) Sección Enriquecida Inferior: 1) Fracturas tipo *beef* tanto continuas, y mostrando estructuras internas cónicas (flecha azul), como discontinuas y con un arreglo en *échelon* (flecha verde); 2) Fractura tipo *beef* aislada con labios plano-paralelos donde la zona central está marcada con estructuras cónicas evidenciadas por el remanente de la roca hospedante (flecha rosa); 3) Corte delgado mostrando los cristales fibrosos de calcita perpendicular a los labios de la fractura; 4) Frecuencia de fracturas por metro en las coronas #3 y #4; b) Sección Enriquecida Superior: 1) Fractura oblicua rellena de calcita (flecha blanca); 2) Nivel de fracturas tipo *beef* incipientes (llave naranja); 3) Corte delgado mostrando algunas fracturas tipo *beef* incipientes (flechas amarillas), paralelas a laminación; 4) Frecuencia de fracturas por metro en las coronas #1 y #2.

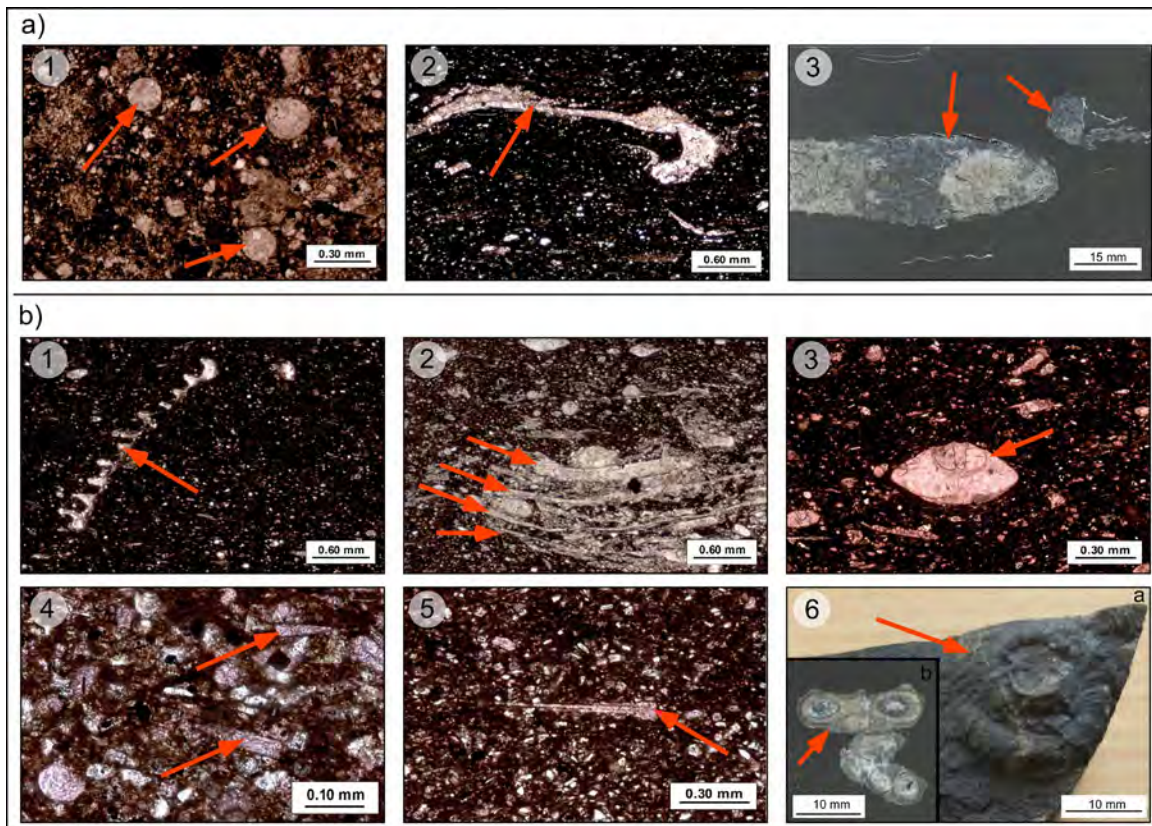


Figura 9. Ejemplos de fauna reconocida en las dos secciones enriquecidas. a) Sección Enriquecida Inferior: 1) radiolarios, 2) valva de pelecípodo, 3) amonites; b) Sección Enriquecida Superior: 1) amonite, 2) valvas de pelecípodos, 3) foraminífero, 4) espículas de esponjas, 5) espina de equinodermo, 6) serpulidas.

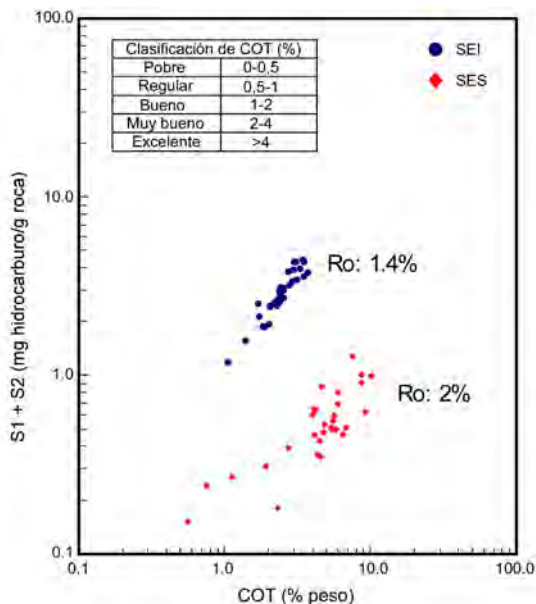


Figura 10. Potencial de generación a partir del COT y los picos S1 y S2 de pirólisis para los dos intervalos de corona. Se observa que las muestras de la Sección Enriquecida Inferior corresponden a valores de una roca madre exhausta, mientras que las pertenecientes a la Sección Enriquecida Superior aún tendrían algo de potencial para generar hidrocarburos. Se incluyen valores promedio de reflectancia de vitrinita. Nótese el buen agrupamiento de los datos en la Sección Enriquecida superior. La dispersión observada en la Sección Enriquecida Inferior se debe a los bajos valores de TOC obtenidos en capas con participación piroclástica o diagenética.

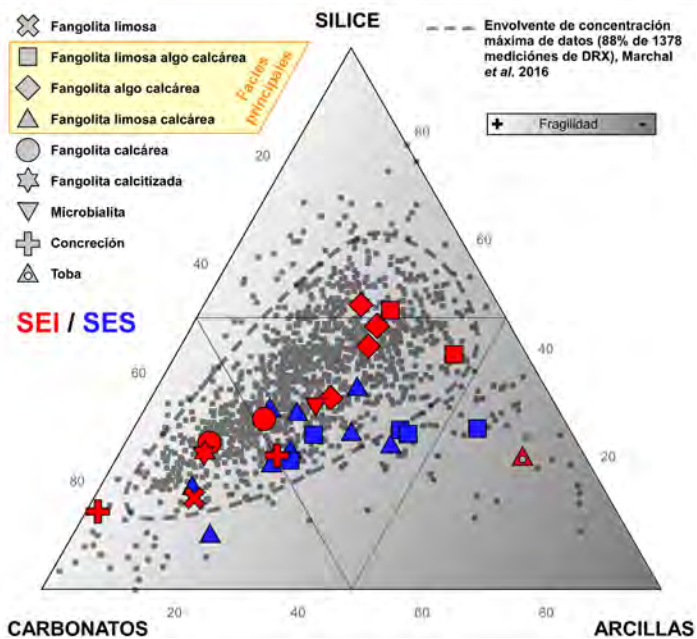


Figura 11. Diagrama ternario de los DRX realizados en las Sección Enriquecida Inferior y Sección Enriquecida Superior, discriminando los análisis por facies. Se compara con la recopilación de DRX de Vaca Muerta realizada por Marchal *et al.* (2016b).

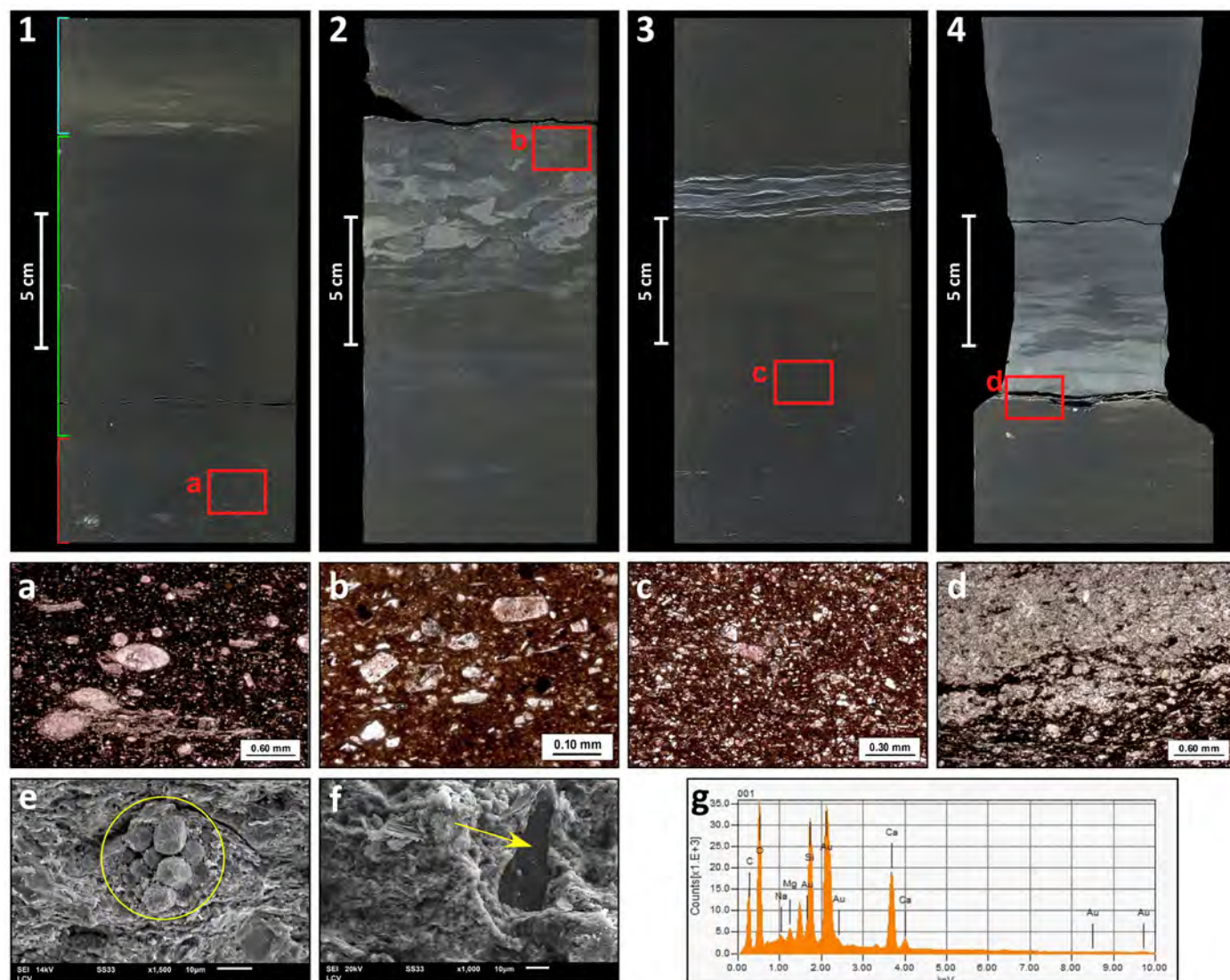


Figura 12. Sección Enriquecida Superior. 1-4 fotos de corona: 1) fangolita fosilífera (llave roja), fangolita algo calcárea (llave verde) y toba piritizada (llave azul); 2 y 4) capas piroclásticas alteradas a calcita o arcilla, parcialmente disturbadas por bioturbación; en algunos casos sólo quedan cristales tamaño arena fina de plagioclasas “flotando” en las fangolitas (foto b, flecha); 3) aspecto masivo de la fangolita. Nótese la abundancia de partículas silicoclásticas tamaño limo (puntos blancos, foto c); a-d) microfotografías de cortes delgados con nicóles paralelos (ubicación de los mismos en fotos de corona 1-4, recuadros rojos): a) fauna relativamente diversa compuesta por radiolarios, foraminíferos y valvas de pelecípodos; d) reemplazo por calcita como mosaico de cristales “sucios”; e-f) microscopía electrónica: e) porosidad intraparticular en framboides de pirita (círculo); f) aspecto de la matriz calcárea. Clasto de cuarzo (flecha); g) espectro analítico de elementos obtenido a partir de un EDS realizado en la matriz de una fangolita calcárea. Los picos más altos corresponden a oxígeno, silicio y calcio.

intrapartícula (en granos disueltos y en materia orgánica) están subordinados. La saturación total de gas promedio de las muestras analizadas es de 50% (% de volumen poral), mientras la de petróleo es de 2,5%.

Al igual que en la Sección Enriquecida Inferior, se realizaron estudios de geoquímica para evaluar el contenido de carbono orgánico total (COT), con la misma frecuencia. Los resultados indican un valor promedio de 2,48%, con un máximo de 3,71% y un mínimo de 1,06% (correspondiente también a un nivel piroclástico,

Figs. 3 y 10). Las fangolitas calcáreas alcanzan valores ligeramente menores que aquellas con menor contenido de carbonato.

Los resultados de DRX (Fig. 11) muestran un mayor contenido de carbonato que en la Sección Enriquecida Inferior. Las muestras que más se aproximan a los polos carbonatos y arcillas, corresponden a facies diagenéticas (tobas argilizadas y calcitizadas). Exceptuando estas dos muestras, las restantes son las representativas de esta sección.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los estudios realizados se interpreta que la Sección Enriquecida Inferior correspondería a un ambiente de plataforma/rampa externa distal a cuenca, en condiciones anóxicas a subóxicas, donde los procesos dominantes para la acumulación de estos depósitos son la floculación y decantación, la actividad microbial y el frecuente registro de eventos piroclásticos, así como el aporte de material silicoclástico tamaño limo fino. Por su parte, la Sección Enriquecida Superior

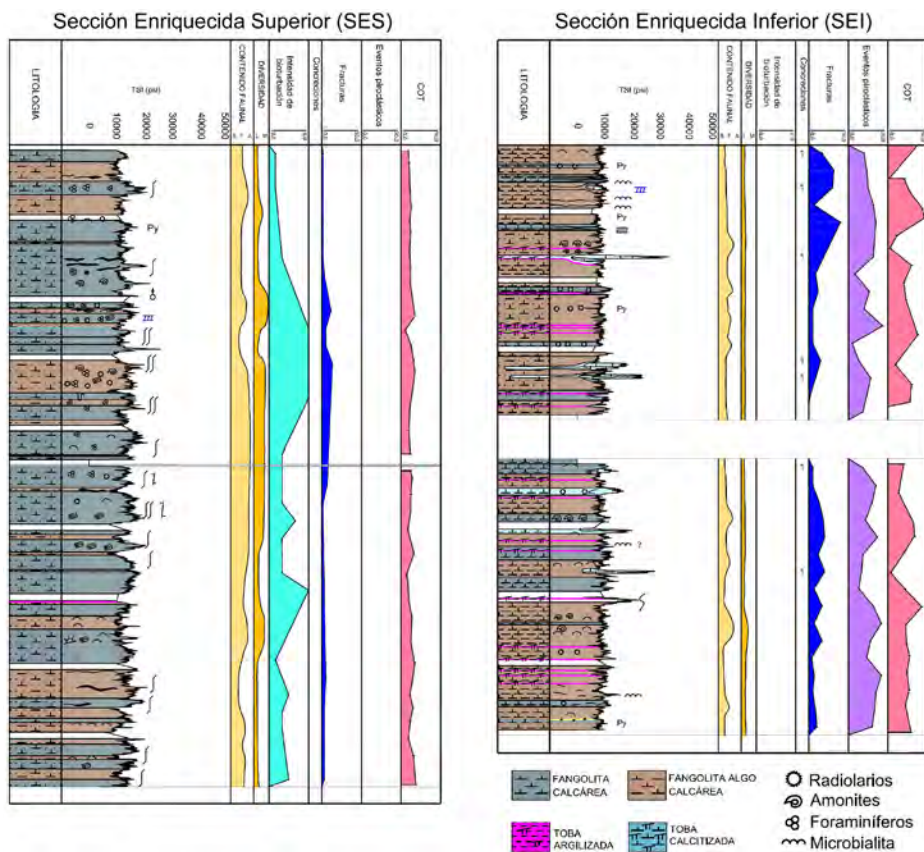


Figura 13. Interpretación paleoambiental – perfiles sedimentológicos simplificados resaltando las características (TSI, litologías, fauna, índice de bioturbación etc.) consideradas para la interpretación propuesta. a) Sección Enriquecida Inferior: plataforma/rampa externa a cuenca; b) Sección Enriquecida Superior plataforma/rampa media a externa. Ver además diferencias en el conteo de fracturas y capas piroclásticas.

refleja la sedimentación en un ambiente de plataforma/rampa media a externa en condiciones subóxicas a óxicas. Así lo evidencia la bioturbación, que homogeneiza los sedimentos disturbando las estructuras primarias y la mayor diversidad faunística, así como los escasos eventos piroclásticos observados. La figura 13 resume las características principales de los dos intervalos analizados, evidenciando las diferencias entre la Sección Enriquecida Inferior (*bottomset*) y la Sección Enriquecida Superior (*foreset*).

Como conclusión, se observa que la Sección Enriquecida Inferior, al igual que en otros sectores de la cuenca (centro-SE), muestra muy buenas características (TOC promedio >4,5 y porosidad >15%) como reservorio *shale*, razón por la cual resulta ser el objetivo principal de aterrizaje de los pozos horizontales (*landing*) para la mayoría de las compañías operadoras (Fig. 14). Particularmente, la corona descrita corresponde a la U2, el *landing* más perforado por pozos horizontales en la cuenca hasta la fecha dentro la Sección Enriquecida Inferior. Por otro lado, la Sección Enriquecida Superior se encuentra en condiciones de *foreset* en la zona de estudio y comienza a mostrar incipientes características como reservorio.

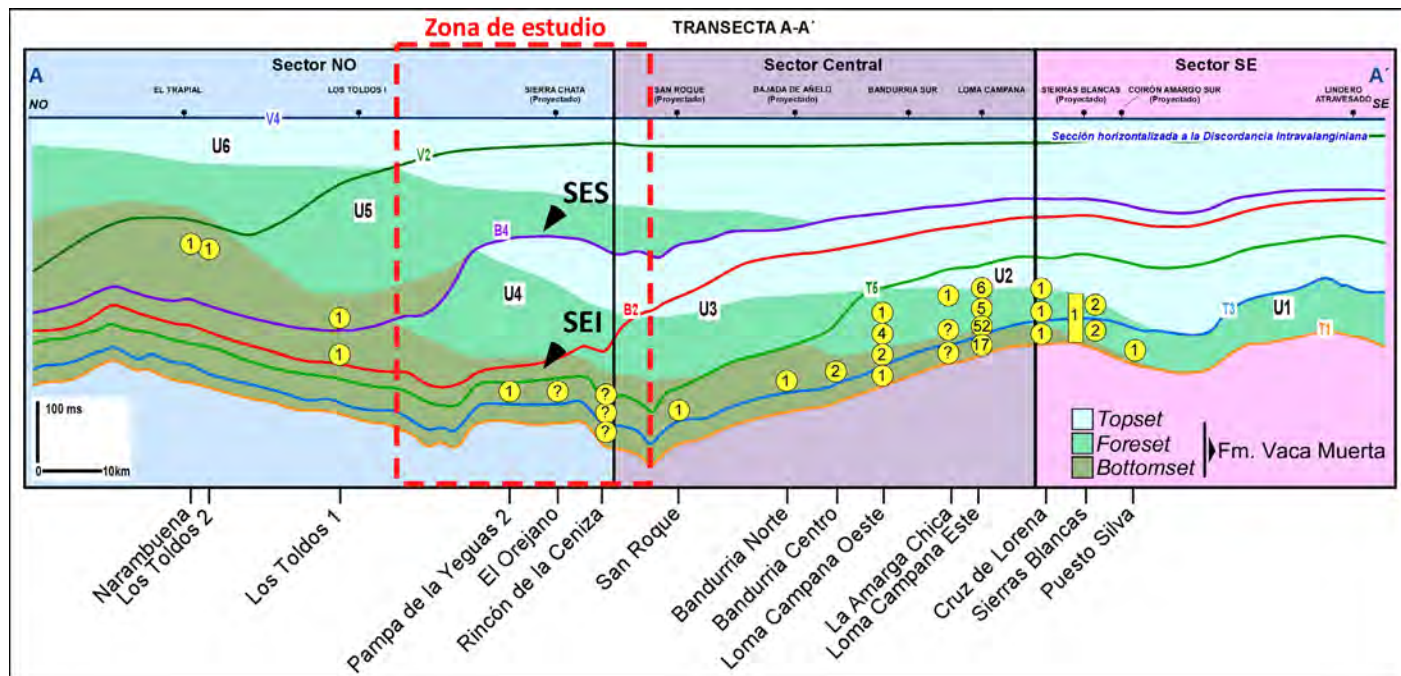


Figura 14. Evolución espacial de los niveles de *landing* conocidos a lo largo de la transecta regional de Vaca Muerta, gentileza de M. Fantin

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a las autoridades de Pampa Energía S.A., EMEA y G&P por permitir la publicación de este trabajo.

REFERENCIAS

- Desjardins P., Fantin M., González Tomassini F., Reijenstein H., Sattler F., Domínguez F., Kietzmann D., Leanza H., Bande A., Benoit S., Borgnia M., Vitorre F., Simo T. y Minisini D. 2016. Capítulo 2: Estratigrafía Sísmica Regional. En: González, G., Vallejo, M.D., Kietzmann, D.A., Marchal, D., Desjardins, p., Gonzalez Tomassini, F. Gómez Rivarola, L. y Domínguez, R.F. (eds.), Transecta Regional de la Formación Vaca Muerta. Integración de sísmica, registro de pozos, coronas y afloramientos. Instituto Argentino del Petróleo y el Gas - Asociación Geológica Argentina: 5-22, Buenos Aires.
- Domínguez, F., Reijenstein, H.M., Sattler, F. y Köhler, G. 2017. Distribución regional de quiebres de clinofomas del sistema Vaca Muerta - Quintuco. Simposio Geología de la Formación Vaca Muerta. XX Congreso Geológico Argentino, Actas: 38-45, San Miguel de Tucumán.
- González G., Vallejo D., Kietzmann D., Marchal D., Desjardins P, Gonzalez Tomassini F., Gómez Rivarola L., Domínguez R.F. (eds.), Transecta Regional de la Formación Vaca Muerta. Integración de sísmica, registro de pozos, coronas y afloramientos. Instituto Argentino del Petróleo y el Gas - Asociación Geológica Argentina: 244 p., Buenos Aires.
- Kietzmann, D. y Rodríguez Schelotto, M.L. 2016. Capítulo 3: Clasificaciones litológicas. En: González, G., Vallejo, M.D., Kietzmann, D.A., Marchal, D., Desjardins, p., Gonzalez Tomassini, F. Gómez Rivarola, L. y Domínguez, R.F. (eds.), Transecta Regional de la Formación Vaca Muerta. Integración de sísmica, registro de pozos, coronas y afloramientos. Instituto Argentino del Petróleo y el Gas - Asociación Geológica Argentina: 23-31, Buenos Aires.
- Lazar, O.R., Bohacs, K.M., Macquaker, J.H.S, Schieber, J. y Demko, T.M. 2015. Capturing key attributes of fine-grained sedimentary rocks in outcrops, cores, and thin sections: nomenclature and description guidelines. *Journal of Sedimentary Research* 85: 230-246.
- Loucks, R.G., Reed, R.M., Ruppel, S.C. y Hammes, U. 2012. Spectrum of pore types and networks in mudrocks and a descriptive classification for matrix-related mudrock pores. *American Association of Petroleum Geologists, Bulletin* 96: 1071-1098.
- Marchal, D., González, G. y Domínguez, R.F. 2016a. Capítulo 4: Análisis Mineralógico de la Fm. Vaca Muerta. En: González, G., Vallejo, M.D., Kietzmann, D.A., Marchal, D., Desjardins, p., Gonzalez Tomassini, F. Gómez Rivarola, L. y Domínguez, R.F. (eds.), Transecta Regional de la Formación Vaca Muerta. Integración de sísmica, registro de pozos, coronas y afloramientos. Instituto Argentino del Petróleo y el Gas - Asociación Geológica Argentina: 33-43, Buenos Aires.
- Marchal, D., Sattler, F. y Köhler, G. 2016b. Capítulo 14: Sierra Chata. En: González, G., Vallejo, M.D., Kietzmann, D.A., Marchal, D., Desjardins, p., Gonzalez Tomassini, F., Gómez Rivarola, L. y Domínguez, R.F. (eds.), Transecta Regional de la Formación Vaca Muerta. Integración de sísmica, registro de pozos, coronas y afloramientos. Instituto Argentino del Petróleo y el Gas - Asociación Geológica Argentina: 155-167, Buenos Aires.
- Mitchum, R.M. y Uliana, M.A. 1985. Seismic stratigraphy of carbonate depositional sequences, Upper Jurassic - Lower Cretaceous, Neuquén Basin, Argentina. En: Berg, B.R. y Wolberton, D.G. (eds), *Seismic stratigraphy II: an integrated approach to hydrocarbon analysis*. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 39: 255-283, Tulsa.
- Zapata, T.R., Zamora, G. y Ansa, A. 2003. The Agrio Fold and Thrust Belt: Structural Analysis and its Relationship with the Petroleum System Vaca Muerta-Agrio-Troncoso Inferior, Argentina. VIII Simposio Bolivariano - Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas, Actas: 168-176, Cartagena de Indias.

Recibido: 18 de diciembre, 2017

Aceptado: 18 de mayo, 2018