

ANÁLISIS DE MATERIA ORGÁNICA EN NIVELES DE CARBÓN IDENTIFICADOS EN EL POZO PANG0001, EN LA FORMACIÓN TUNAS (PÉRMICO DE GONDWANA), CUENCA DE CLAROMECÓ, PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Guadalupe ARZADÚN¹, María Eugenia CISTERNAS², Nora Noemí CESARETTI³ y Renata Nela TOMEZZOLI⁴

¹ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca. E-mail: guadalupe.arzadun@gmail.com

² Instituto de Geología Económica Aplicada (GEA), Universidad de Concepción, Concepción, Chile. E-mail: mecistern@gmail.com.

³ Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca. E-mail: ghcesar@criba.edu.ar

⁴ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Instituto Daniel A. Valencio, Departamento de Geología, IGEB-CONICET, CABA.

RESUMEN

El pozo PANG0001 se encuentra ubicado en la Cuenca de Claromecó (provincia de Buenos Aires, Argentina) y atraviesa rocas pertenecientes a la Formación Tunas (Pérmico, Harrington 1947). Esta formación está compuesta por areniscas finas a medias que se intercalan con fangolitas negras y grises y con capas de carbón y fangolitas carbonosas de hasta 3 m de espesor. Para este trabajo se llevó a cabo un análisis petrográfico en las fangolitas negras y el carbón con el objetivo de determinar el tipo de carbón presente y su rango (o nivel de maduración), a fin de conocer de este último, su ambiente de depositación, su potencialidad oleogénica y el nivel de diagénesis alcanzado por la Formación Tunas. Los carbones están formados por bandas monomacéricas de collovitrinita y gelovitrinita, del grupo de la vitrinita y bandas de fusinita, del grupo de la inertinita. El ambiente original de depositación corresponde a un bosque pantanoso, con períodos de tiempo alternantes entre húmedos y secos. La reflectancia de la vitrinita presenta valores entre 1,3 y 2,4 %, los cuales permiten clasificar a los carbones como bituminosos con bajo contenido de volátiles a semiantracíticos. En función de estos datos se estima que la Formación Tunas alcanzó la ventana de generación de gases húmedos y condensados hasta gas metano, en un estadio de mesogénesis a mesogénesis tardía dentro de la diagénesis.

Palabras clave: *Carbón, Formación Tunas, Pérmico, Gondwana, Cuenca de Claromecó*

ABSTRACT

Analysis of organic matter into coal beds of Tunas Formation (Permian of Gondwana), Claromecó Basin, Buenos Aires Province

The PANG0001 well is situated at the Claromecó Basin (Buenos Aires Province, Argentina) and it is composed by rocks that belong to the Tunas Formation (Permian, Harrington 1947). It is composed of fine to medium sandstones interbedded with black and gray mudrocks. Coal and black carbonaceous mudstones beds are also interbedded, up to 3 m thick. In these last ones, a petrographic analysis was carried out, in order to determine the type of coal, its depositional environment and its rank (or maturation level), which allowed us to know the oleogenetic potential and the diagenesis level reached by the Tunas Formation. The coals are composed by monomaceralic bands of collovitrinite and gelovitrinite, belonging to vitrinite group and bands of fusinite, belonging to inertinite group. The original environment corresponds to a swamp forest, with alternating wet and dry periods. The vitrinite reflectance shows values from 1.3 to 2.4 %. These values allow classifying the coals as low volatile bituminous to semi-anthracitic. It can be concluded that the formation reached the oil window for condensate and wet gas to methane gas, in a mesogenetic to late mesogenetic stage into the diagenesis.

Keywords: *Coal, Tunas Formation, Permian, Gondwana, Claromecó Basin*

INTRODUCCIÓN

Debido al incremento de la demanda de recursos energéticos y a la disminución de las reservas de gas y petróleo, resulta de gran importancia la búsqueda de nuevos objetivos en lo que se conoce como

“cuencas de frontera”, es decir cuencas con evidencias de contener elementos del sistema petrolero pero de las que aún no se tienen datos concretos para localizarlos y delinearlos, con el fin de evaluar mediante distintas técnicas la potencialidad de sus formaciones para convertirse en

rocas generadoras de gas o petróleo. La Cuenca de Claromecó (Fig. 1), constituye un ejemplo de este tipo de cuencas y la presencia de material carbonoso intercalado en su registro carbo-pérmico (Lesta y Sylwan 2005), permite realizar distintos estudios aplicados al mismo.

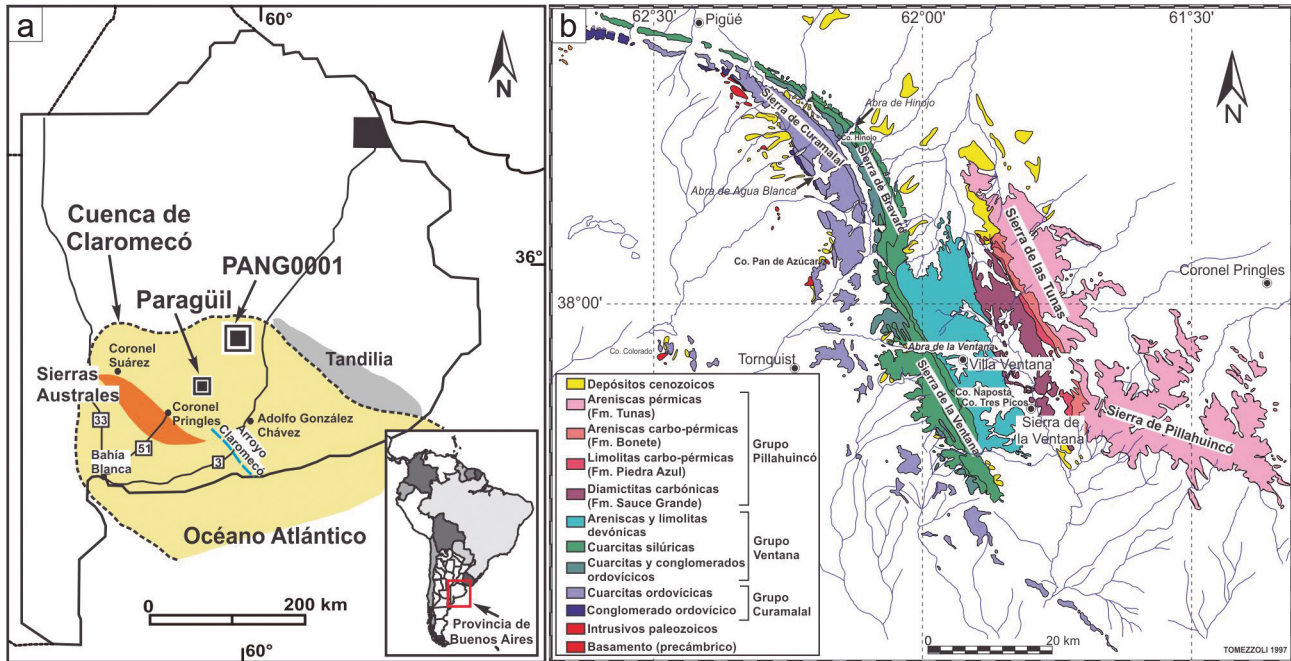


Figura 1: a) Ubicación del Pozo PANG0001 y del pozo Paragüil, en la Cuenca de Claromecó. La línea punteada es el límite propuesto para la cuenca según diversos autores: Kostadinoff y Font (1982), Fryklund *et al.* (1996), Álvarez (2004), Zilli *et al.* (2005) Pángaro y Ramos (2012); b) Mapa geológico de las Sierras Australes de la provincia de Buenos Aires, donde se muestra la ubicación de la Formación Tunas en afloramiento (sierra de las Tunas y sierra de Pillahuincó).

En el marco de la problemática mencionada, a partir de las últimas décadas comienza a retomar relevancia el carbón, debido a que existen nuevas formas de obtener energía a partir del mismo: combustión de mezclas de carbón, gas metano de carbón (*methane gas coal*; MGC) y gasificación subterránea de carbón (*underground coal gasification*, UCG, Ansolabehe *et al.* 2007, Podolski *et al.* 2008, Castro y Alfaro 2011). Por otro lado, mediante el estudio del material carbonoso es posible realizar una aproximación acerca del grado de diagénesis de una formación y de su potencialidad como roca generadora (Hackley *et al.* 2008, Xiao *et al.* 2013, Fallgren *et al.* 2013). Para este trabajo se realizó un análisis de la materia orgánica en muestras de carbón y fangolitas carbonosas de la Formación Tunas (Harrington 1947), provenientes de las coronas de perforación del pozo PANG0001 (37° 34' 48" latitud sur, 61° 6' 57,35" longitud oeste), ubicado en la Cuenca de Claromecó (Fig. 1). Las muestras proceden de una perforación llevada a cabo en el año 2008 con trépano tricono en la sección superior, con corona HQ3 en la sección inferior, desde la superficie hasta una profun-

dad de 958,7 metros. Dichos registros del pozo fueron donados al Departamento de Geología de la Universidad Nacional del Sur (Bahía Blanca, Argentina) por la empresa Rio Tinto Mining Exploring, en el año 2012.

El carbón se define como una masa estratificada compacta, compuesta por restos vegetales (principalmente terrestres), acompañada de cantidades menores de materia inorgánica, que ha sido modificada, química y físicamente, por agentes naturales (Francis 1961). Cuando un depósito sedimentario es sometido a soterramiento, se producen cambios irreversibles en la composición química de las sustancias vegetales que lo componen. El contenido de carbono de las plantas se incrementa mientras que el de hidrógeno disminuye. Estos cambios progresivos se conocen como carbogenización (Senftle y Landis 1991). El grado de carbogenización se conoce como rango del carbón.

Los factores más importantes en el desarrollo de cualquier yacimiento de carbón son: el origen de la materia orgánica que lo conforma (vinculada al ambiente sedimentario) y el grado de diagénesis que la misma ha sufrido. La materia orgá-

nica original define el tipo de carbón, lo que es equivalente a la calidad de la misma, mientras que el grado de diagénesis alcanzado, ya sea por efecto del soterramiento o de la deformación tectónica, define su rango, lo que es equivalente a la madurez de la materia orgánica. Este último parámetro es el más utilizado para clasificar al carbón según las normas ASTM (*American Society for Testing Materials*).

La primera clasificación del carbón se realiza en función del tipo de material que le da origen y define dos grandes grupos: húmicos, con apariencia bandeada y compuestos principalmente por restos herbáceos visibles a simple vista y sapropélicos, cuya materia orgánica está representada por restos de plantas microscópicas, razón por la cual su apariencia es homogénea (Stach *et al.* 1982). Los carbonos húmicos y sapropélicos pueden describirse de acuerdo a los macerales que los componen, entendiéndose por tal a la parte orgánica que puede identificarse en los carbonos. El término describe la forma y la naturaleza de los constituyentes microscópicamente reconocibles del carbón. Para distinguir y describir los mace-

rales, se utilizan parámetros como reflectancia, color, forma, relieve y dureza al pulido (Stach *et al.* 1982).

Según el *International Committee for Coal and Organic Petrology* (ICCP), los macerales se clasifican en tres grandes grupos: vitrinita, inertinita y liptinita (Cuadro 1).

La clasificación basada en la madurez de la materia orgánica o rango del carbón, se aplica a los carbones húmicos y permite diferenciar, de menor a mayor rango, entre lignito, carbón sub-bituminoso, carbón bituminoso y antracita. El método petrográfico por excelencia para determinar el rango es medir la reflectancia de la vitrinita (R_v) (Stach *et al.* 1982, Thomas 2002), en particular sobre el maceral collotelinita. La reflectancia es la proporción de luz reflejada por una superficie plana y pulida de una sustancia y se expresa como el porcentaje de luz incidente que es reflejada en dicha superficie. A medida que aumenta el rango del carbón, el material se torna más denso y la reflectancia de los macerales del grupo de la vitrinita se incrementa. A su vez, el rango del carbón puede relacionarse con el estado de diagénesis que ha alcanzado una secuencia y con la ventana de generación de hidrocarburos líquidos y gaseosos.

Para evaluar la potencialidad como roca generadora de gas o petróleo, se efectúan análisis de cantidad, calidad y madurez de la materia orgánica. La cantidad de materia orgánica se determina, entre otros métodos, por el análisis de carbono orgánico total (COT). Su calidad se define mediante el análisis del tipo de materia orgánica, que puede ser evaluado por examinación microscópica de los macerales del carbón (Tissot 1974). En cuanto a los análisis de madurez, uno de los métodos más reconocidos y de amplia aplicación, es la medición de la reflectancia de la vitrinita.

En este trabajo se presentan los resultados del análisis de materia orgánica (análisis de COT, análisis microscópico de macerales y reflectancia de la vitrinita) en muestras extraídas de testigos coronas de la Formación Tunas. Los mismos permiten estimar el nivel de diagénesis alcanzado por las rocas que la componen y

conocer su potencialidad como roca generadora. Esta información se considera de importancia debido que sus resultados aportan al conocimiento de potencial generador de una cuenca de frontera.

METODOLOGÍA

Se realizó el perfil sedimentológico tipo Selley de las coronas del pozo PANG 0001. A partir del mismo se extrajeron veintidós (22) muestras semicirculares de carbón y fangolitas carbonosas de 4 cm de diámetro por 2 de alto. Se utilizaron siete (7) de estas muestras para los análisis de la materia orgánica, cinco (5) de las cuales provienen de la parte inferior del perfil y dos (2) de la parte superior (Fig. 2). Adicionalmente, se efectuaron determinaciones de cantidad, calidad y madurez de la materia orgánica.

Los análisis de cantidad de materia orgánica, llevados a cabo mediante la determinación de carbono orgánico total (COT), se basan en la medición del carbono reducido de origen biológico que ha sido depositado, soterrado y conservado a través del tiempo geológico. El método consiste en pulverizar 1g de muestra y luego remover el carbono inorgánico mediante un tratamiento químico con ácido clorhídrico. La muestra se introduce en un equipo LECO en el cual el carbono se oxida a dióxido de carbono. Este último es detectado mediante un detector de conductividad térmica (Jarvie 1991). La relación entre el peso de CO_2 generado y el peso original de la muestra es el porcentaje de carbono orgánico presente en la misma. Estos análisis se llevaron a cabo mediante equipamiento del Instituto LANAIS-CONICET, del Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur.

Los análisis de calidad y madurez de materia orgánica requirieron la elaboración de briquetas. El procedimiento para su preparación se llevó a cabo en primera instancia en el Laboratorio de Petrotomía del Departamento de Geología de la Universidad Nacional del Sur (Bahía Blanca, Argentina) y luego en el Laboratorio de Petrografía de Carbones del Instituto de

Geología Económica Aplicada (GEA), de la Universidad de Concepción (Concepción, Chile), donde se realizaron además los análisis microscópicos de carbón. Para evaluar la calidad de la materia orgánica e identificar los componentes orgánicos y sus proporciones, se reconocieron microscópicamente los macerales y se calcularon los porcentajes de los mismos, como así también de la materia mineral. Para el reconocimiento de los macerales se siguieron las normas propuestas por el ICOP (*International Committee for Coal and Organic Petrology*), las cuales establecen que la descripción del maceral se realiza principalmente por su apariencia bajo la acción de luz reflejada, utilizando objetivos de inmersión en aceite (25 a 50x). Para determinar los macerales, se utilizó un microscopio Leitz ORTHOPLAN-POL con retículo incorporado en ocular 10x y objetivo 32x, para aceite de inmersión. En el caso del porcentaje relativo de los diferentes macerales y materia mineral se utilizó un contador automático de puntos Swift, con una distancia entre puntos de 0,5 milímetros. Se contabilizó sólo el maceral o la partícula mineral que se encuentra en la intersección del retículo del microscopio.

A fin de evaluar la madurez y determinar el rango del carbón, se efectuaron mediciones de reflectancia de vitrinita (R_v), utilizando un equipo Leitz ORTHOPLAN-POL con fotómetro espectral Leitz MPV-SP. La calibración del equipo se realizó con un estándar de SiC, con reflectividad de 7,47. La reflectancia promedio por muestra se obtuvo midiendo la reflectividad en 100 puntos, como indica la norma ASTM D 2798-99.

Los valores de R_v obtenidos permitieron determinar el rango en que se encuentran las muestras de carbón, el porcentaje de materia volátil que contienen y la ventana de generación correspondiente dentro de la diagénesis de la materia orgánica. Para ello, fue utilizado el gráfico de Teichmüller (1974), que muestra la relación entre la R_v media, el rango del carbón (según las normas ASTM D388) y el porcentaje de materia volátil que contiene, luego es posible estimar el estadio de la ventana

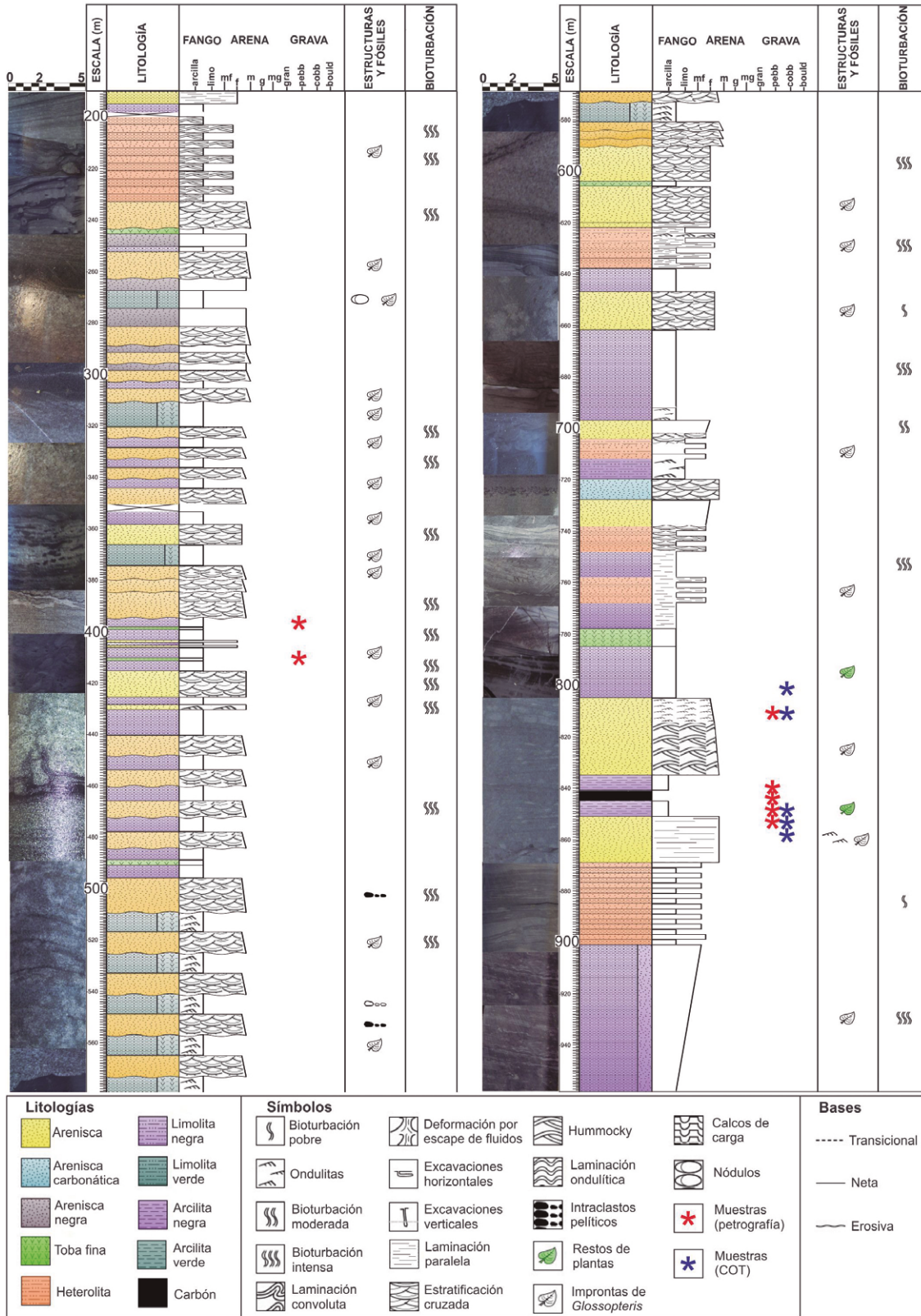


Figura 2: Perfil sedimentológico simplificado del pozo PANG001 en la Formación Tunas, que muestra la litología, estructuras, fósiles, bioturbación y la localización de las muestras de carbón que fueron analizadas. A la izquierda de cada columna, fotografías de las distintas litologías.

de generación de hidrocarburos en que se encuentra la roca. En algunos casos, no fue posible realizar el análisis de COT y el de petrografía del

carbón en la misma muestra, ya que el primer método es destructivo y el tamaño de las muestras en algunos casos fue insuficiente para la aplicación de ambos. Sin

embargo, las muestras para COT y petrografía de carbones provienen de niveles de similar profundidad (Fig. 2).

GEOLOGÍA Y ANTECEDENTES

Los primeros estudios en la zona fueron realizados por Monteverde (1937), Amos y Urien (1968), Zambrano (1974) y Kostadinoff y Font (1982), quienes reconocieron una Cuenca Intermontana que fue posteriormente definida como Cuenca de Claromecó (Ramos 1984, Kostadinoff y Prozzi 1998, Lesta y Sylwan 2005, Pángaro y Ramos 2012). Los límites para esta cuenca no se encuentran bien definidos, sin embargo, se considera, en base a estudios gravimétricos y de sísmica, que limita hacia el noreste con el Sistema de Tandilia, continúa hacia el oeste de las Sierras Australes, hacia el sur por debajo de la Cuenca del Colorado (Fryklund *et al.* 1996), se extiende hacia el este incluyendo una porción de la plataforma argentina. Los límites mencionados permiten definirla como una cuenca mixta, con una superficie de aproximadamente 45.000 km² en el continente y 20.000 km² en la plataforma (Zilli *et al.* 2005, Fig. 1). La Cuenca de Claromecó se habría desarrollado en el margen sudoccidental de Gondwana durante el Paleozoico (Ramos 1984). Se interpreta como parte de la Cuenca de Hesperides (Pennsylvaniano a Triásico temprano), que se continúa lateralmente con las cuencas de Kalahari, Karoo y Chaco-Paraná, en África y Sudamérica, con una extensión areal de más de 3000000 km² (Pángaro *et al.* 2015).

Varios autores han descripto litologías aflorantes en el ámbito de la Cuenca de Claromecó, en las cercanías de las localidades de Mariano Roldán, González Chávez, de la Garma y Lumb, que son asimilables a los afloramientos ubicados en las Sierras Australes (Monteverde 1937, Amos y Urien 1968, Zambrano 1974, Kostadinoff y Font 1982). La Cuenca de Claromecó, por lo tanto, representa la continuidad, en su mayor parte en profundidad, de la secuencia aflorante en las Sierras Australes (Ramos y Kostadinoff 2005, Zorzano *et al.* 2011).

Las Sierras Australes conforman una faja plegada y corrida de orientación noroeste-sudeste, situada entre los 37° y 39° de latitud sur y 61° y 63° de longitud oeste

(Fig. 1). Las mismas se componen de secuencias cuyas edades van desde el Precámbrico al Pérmico, con las más antiguas dispuestas hacia el oeste y las más jóvenes hacia el este. Estas unidades se encuentran cubiertas en discordancia por depósitos cenozoicos. La vergencia general del sistema es nororiental, disminuyendo la intensidad de la deformación hacia el este (Harrington 1947, Arzadún *et al.* 2011).

La Cuenca de Claromecó ha sido interpretada como una cuenca de antepaís por Ramos (1999). La disposición horizontal de su relleno permite sugerir que la deformación no fue intensa. Esto último se encuentra corroborado por estudios geofísicos de anisotropía de susceptibilidad magnética, realizados en afloramientos ubicados en el ámbito de Sierras Australes y de la Cuenca de Claromecó (Arzadún *et al.* 2011, 2013, 2014, 2015).

El pozo PANG0001, ubicado en el ámbito de la Cuenca de Claromecó, está conformado por 768 m de areniscas finas a medias intercaladas con fangolitas que corresponden a la Formación Tunas (Harrington 1947), separadas en discordancia por 191 m de sedimentos inconsolidados de tamaño limo.

La Formación Tunas aflora en la porción nororiental de las Sierras Australes, desde el norte de la Sierra de Las Tunas hasta el sur en la Sierra de Pillahuincó y en algunos asomos aislados de las planicies que se disponen hacia el este (alto de González Chávez de la Cuenca de Claromecó, Massabie *et al.* 2008, Tomezzoli y Vilas 1999).

En cuanto al espesor aflorante de la Formación Tunas, Andreis *et al.* (1979) midieron 710 m en el sector oeste, mientras que Suero (1972) menciona 2400 m y Japas (1986) 1000 m en el sector sudeste. En subsuelo, en el pozo Paragüil, ubicado en las cercanías de la localidad de Coronel Pringles (Fig. 1), dicha formación presenta un espesor de 600 m; no se conoce el techo de la misma ya que por encima se encuentra una discordancia de tipo erosiva cubierta por depósitos del Cenozoico (Lesta y Sylwan 2005).

En los afloramientos de las Sierras Aus-

trales, la Formación Tunas está integrada por areniscas finas de color verde claro, con laminación entrecruzada, que alternan con estratos tabulares de limolitas finamente laminadas de color morado y areniscas de grano medio de colores claros con estratificación cruzada (Harrington 1947, Andreis *et al.* 1979, Andreis y Cladera 1992, López Gamundi 1996). Existen además algunas intercalaciones delgadas de piroclastitas en la mitad superior de la formación, niveles en los cuales se ha destacado la formación de arcillas como la beidelita y vermiculita debido a la alteración del material vítreo durante la diagénesis (Iñiguez *et al.* 1988). En profundidad, la Formación Tunas se compone por una sucesión de areniscas finas a medias intercaladas por lutitas negras, lutitas carbonosas, algunos componentes calcáreos, mantos de carbón y arcilitas verdes que corresponderían a capas de ceniza volcánica (Lesta y Sylwan 2005, Zorzano *et al.* 2011).

Las limolitas de la Formación Tunas han proporcionado restos vegetales de Glossopteridales articuladas y algunas lycópsidas (Ruiz y Bianco 1985), junto a escasos restos marinos (principalmente bivalvos) mal preservados (Furque 1973, Harrington 1947). La flora de *Glossopteris* sugiere edades del Sakmario al Artinskiano (Archangelsky y Cúneo 1984). En base al hallazgo de *Cristatesporites*, *Granulosporites*, *Punctatisporites*, *Acnthotriletes*, *Leiotriletes*, entre otros, en el pozo Paragüil, se le adjudica a la formación una edad pérmica temprana (Lesta y Sylwan 2005). López-Gamundi *et al.* (2013), publicaron una edad pérmica temprana (280,8±1,9 Ma, Asseliano a Artinskiano temprano) en base a dataciones isotópicas radimétricas en afloramientos de tobas que se encuentran ubicados en las cercanías del arroyo Paretas, sobre las Ruta 51 (Fig. 1).

En cuanto a paleoambientes, en las facies de afloramiento ubicadas en las Sierras Australes, existen varias interpretaciones. La sección inferior ha sido interpretada como la culminación de un ciclo regresivo caracterizado por la formación de islas barreras, seguido hacia la parte media y superior por condiciones de inun-

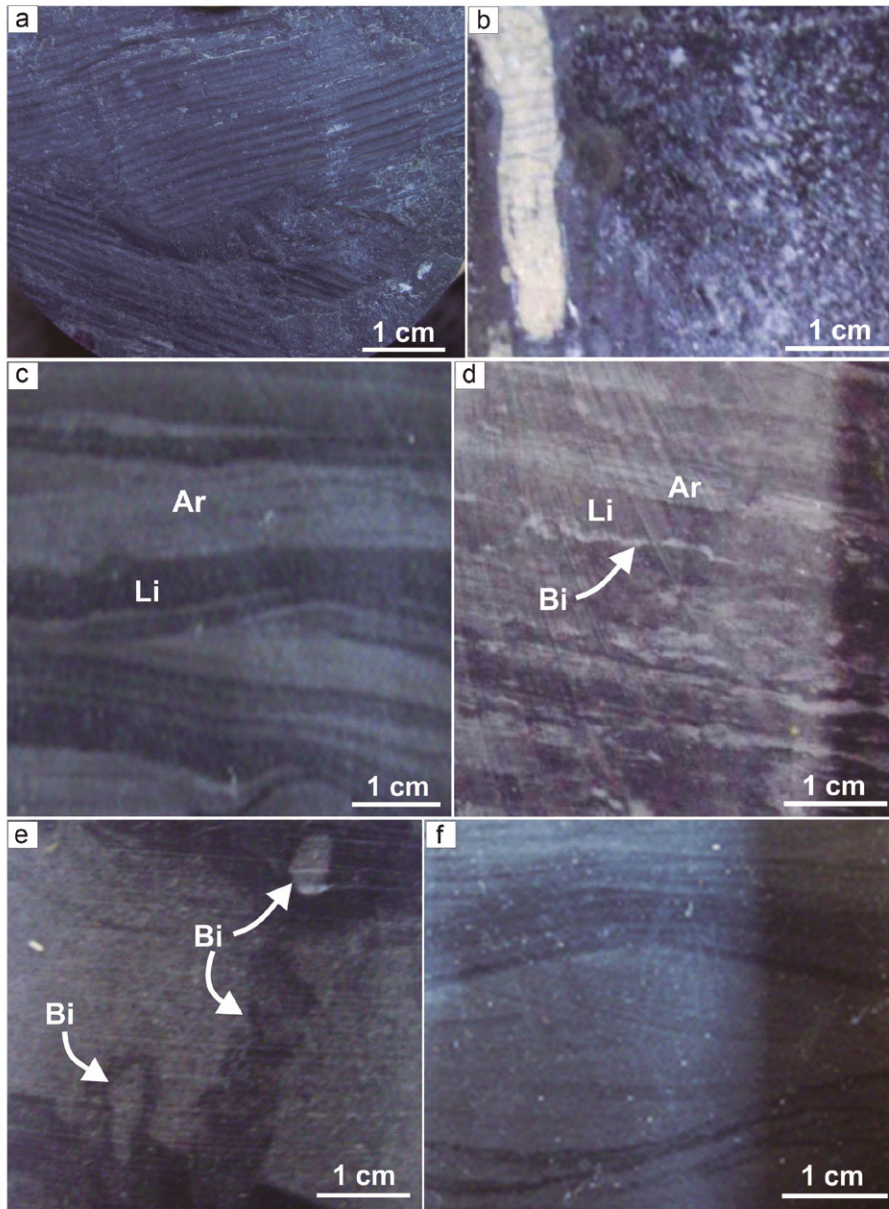


Figura 3: Facies Fl: a) Fangolitas con improntas vegetales; b) Pirita rellenando trazas fósiles. Facies Hl: c) Heterolita con laminación cruzada producida por óndulas, con láminas claras de tamaño arena (Ar) y oscuras de tamaño limo (Li); d) Bioturbación (Bi) intensa, obliterando la laminación. Facies Sr: e) Areniscas finas con bioturbación (Bi); f) Laminación cruzada producida por migración óndulas.

dación marina, interpretado así por la mayor presencia de pelitas (Andreis *et al.* 1979, Andreis *et al.* 1989). Por su parte, Zavala *et al.* (1993) informaron de la existencia de depósitos fluviales para la sección superior aflorante en la localidad de Las Mostazas. En estudios de subsuelo realizados por Zorzano *et al.* (2011), mediante análisis de facies complementado con registros de rayos gama, se reconocieron facies correspondientes a lutitas de plataforma a prodelta, lóbulos areno-

sos de plataforma, barras de plataforma a barras de desembocadura dominadas por ola y canales fluviales a estuarinos, pantano interdistributario a llanura aluvial. Esto indica un ambiente de tipo parálico, con influencia marina y continental. En cuanto al grado de diagénesis, Iñiguez Rodríguez y Andreis (1971) argumentan que las formaciones Bonete y Tunas no alcanzan un estado de metamorfismo. Por otro lado, Von Gosen *et al.* (1989) definen una zona de anquimeta-

morfismo para esta última a partir de datos de cristalinidad de la illita y recristalización del cuarzo.

Juan *et al.* (1996) y Fryklund *et al.* (1996), en base a estudios de perforaciones y de sísmica en la Cuenca del Colorado, consideran a las fangolitas de las formaciones Bonete y Tunas como posibles rocas generadoras de petróleo liviano (con valores de 39° API y de 3,4% de COT) y a las areniscas como posibles reservorios con un promedio de porosidad de 6%.

GEOLOGÍA DEL POZO PANG0001

En la secuencia del pozo PANG0001, se encuentran litologías correspondientes a la Formación Tunas entre los 191 y 958,7 mbbp (metros bajo boca de pozo). Su techo se muestra erosionado, cubierto en discordancia por material limoso más moderno, posiblemente de edad cenozoica; la base de dicha formación no se observa, por lo tanto se presume que el espesor de la Formación Tunas es mayor a 768 metros.

La sección inferior del registro de pozo está constituida por bancos de areniscas finas y heterolitas, de bases netas, intercalados con bancos de fangolitas negras que contienen nódulos de pirita. Se intercalan en esta sección, cuatro bancos de carbón de 0,5 a 1 m de espesor cada uno, separados entre sí por fangolitas carbonosas. A los 780 y los 610 mbbp, se observan bancos de tobas de hasta 1 m de espesor, con bases netas (Fig. 2). En las fangolitas se observan improntas de *Glossopteris*, *Gangamopteris*, lycópsidas y algunos restos leñosos carbonizados (Fig. 3a). Hacia la parte superior de la secuencia, se observan areniscas medias con bases erosivas intercaladas con fangolitas verdosas y bancos subordinados de fangolitas negras carbonosas, que en el último tramo presentan nódulos de hematita. Algunas facies tienen un importante contenido de carbonato, que se encuentra como cemento en areniscas y en delgados niveles de hasta 5 cm de espesor asociados a algas microbiales (Fig. 2).

Las litologías del pozo PANG0001 se

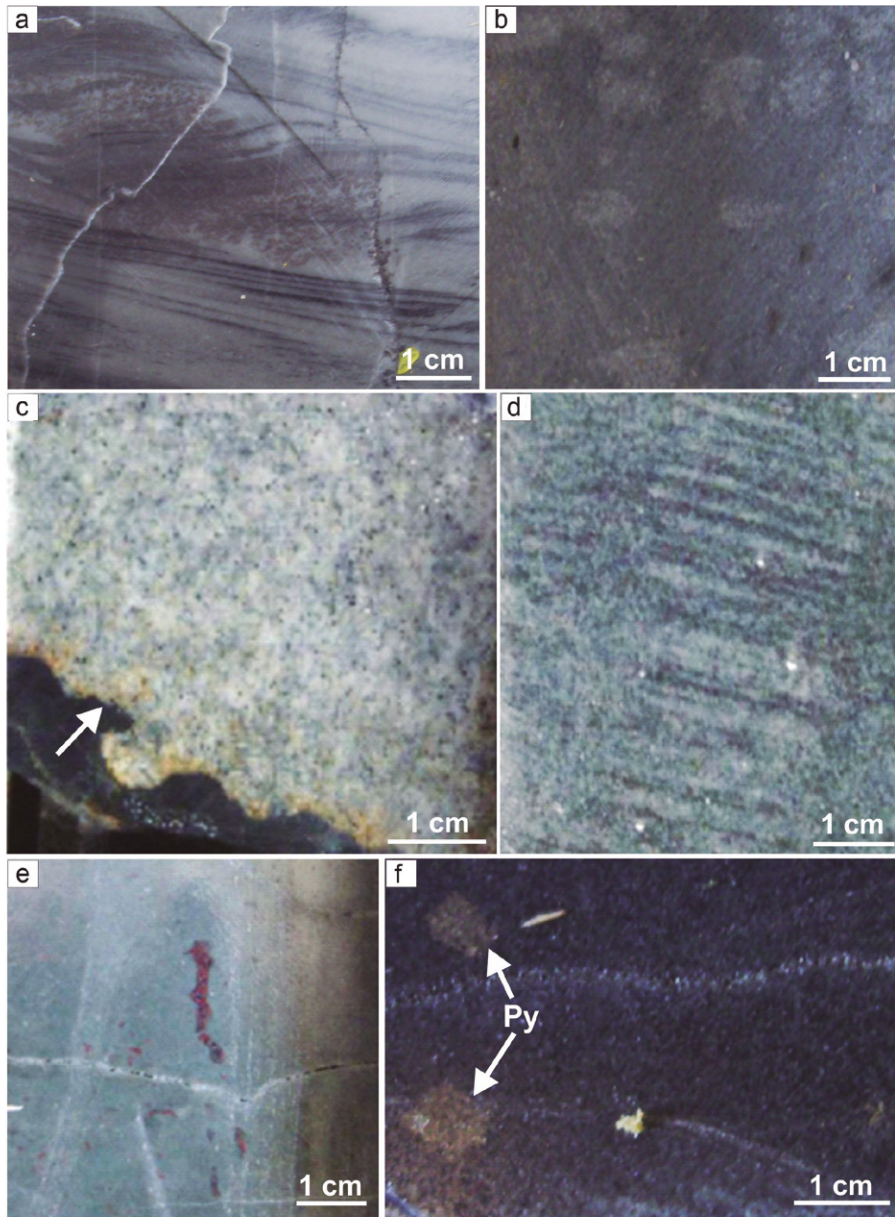


Figura 4: a) Facies Tf: Tobas de color verdoso con laminación cruzada; b) Facies Src: Arenisca con cemento carbonático. Facies St: c) Arenisca con base erosiva (indicada con flecha); d) con estratificación cruzada; e) Facies Fsm: Fangolita de color verdoso con nódulos de hematita; f) Facies Sm: Arenisca de color negro con nódulos de pirita (Py).

agruparon en diez facies, intercaladas a lo largo del perfil:

Facies Fl: fangolitas de color negro, con bases netas, en ocasiones con laminación paralela. Presentan bioturbación moderada a alta e improntas vegetales. Contienen gran cantidad de pirita, en forma de nódulos y como relleno de trazas fósiles (Fig. 3a y b).

Facies Hl: heterolitas de color gris oscuro, con bases netas, con bioturbación pobre a intensa y laminación cruzada por óndu-

las y de tipo *hummocky* (Fig. 3c y d).

Facies Sr: areniscas finas de color gris claro, con laminación paralela, cruzada y bases netas. Presentan moderada bioturbación (Fig. 3e y f).

Facies Tf: tobas de color verdoso, con laminación cruzada y paralela (Fig. 4a).

Facies Src: areniscas con cemento carbonático, de color gris claro, con estratificación entrecruzada (Fig. 4b).

Facies St: areniscas medias de color gris claro, con bases erosivas y estratificación

cruzada. Presentan moderada bioturbación (Fig. 4c y 4d).

Facies Fsm: fangolitas de color verdoso, probablemente con componentes tobáceos. Hacia arriba contienen nódulos de hematita (Fig. 4e).

Facies Sm: areniscas medias de color negro, masivas, con nódulos de pirita y bases netas (Fig. 4f).

Facies BO: niveles finos (hasta 5 cm) de *boundstones* correspondientes a matas algáceas, que fueron reconocidas siguiendo los criterios de Noffke *et al.* (2008). Conforman láminas de colores claros y oscuros intercalados, laminación irregular fina y discontinua, granos orientados y deformación plástica por escape de fluidos (Fig. 5a y b).

Facies C: capas de carbón y fangolitas carbonosas, en ocasiones con laminación paralela e improntas de vegetales (Fig. 5c y d).

ANÁLISIS DE LA MATERIA ORGÁNICA

La materia orgánica identificada en el pozo PANG0001, corresponde a niveles de carbón de dos orígenes distintos:

Carbón sapropélico: kerógeno tipo I, compuesto por niveles de algas microbiales que se encuentran a una profundidad de 842 mbbp (Fig. 2). Están compuestos por láminas claras de carbonato de hasta dos centímetros de espesor intercaladas con láminas oscuras de fangolitas carbonosas (Arzadún *et al.* 2013) (Fig. 5a y b).

Carbón húmico: kerógeno tipo III, compuesto por materia carbogenizada proveniente de plantas superiores. En la sección inferior del pozo, entre los 849,5 y 836 mbbp, se presentan cuatro bancos de 0.5 m a 1.5 m de espesor, intercalados con fangolitas carbonosas, llegando a un espesor conjunto de 13,5 metros. En la sección superior, entre los 412 y 396 mbbp, se encuentran láminas delgadas de carbón menores a 2 cm (Fig. 2). En los niveles de carbón húmico aún puede distinguirse la estructura vegetal de restos de *Glossopteris*, *Gangamopteris*, lycópsidas y además restos leñosos indefinidos (Fig. 5c y d).

En cinco muestras que contienen carbón

de tipo húmico, se determinó el contenido de carbono orgánico total (COT) y, en siete muestras, se realizaron los análisis petrográficos para determinar calidad y madurez sobre la base del reconocimiento y conteo de los macerales.

Cantidad de materia orgánica (COT)

En 4 muestras de fangolitas carbonosas se obtuvieron valores de COT que van desde 4,11 hasta 12,84 %, mientras que en una muestra de carbón se obtuvo un valor de 46,08 % (Cuadro 2).

Calidad de la materia orgánica: Análisis de macerales en niveles de carbón húmico

Microscópicamente, los carbones húmicos de la Formación Tunas están representados por bandas monomacrerálicas de hasta dos centímetros de espesor, formadas por macerales del grupo de la vitrinita, o bien de la inertinita, con ausencia completa de macerales del grupo de la liptinita. Asociados a éstos se observa pirita, generalmente en forma de nódulos (Fig. 6).

Del grupo de la vitrinita se observó mayoritariamente collotelinita y, en menor cantidad gelovitrinita; éste último se presenta relleno de celdas o huecos. En ocasiones no es posible distinguir el maceral (Fig. 6).

Del grupo de la inertinita se observó únicamente fusinita, maceral con alta reflectividad y estructura celular bien preservada (Fig. 6).

Los resultados del conteo de macerales muestran predominio de macerales del grupo de la vitrinita en todas las muestras (valor máximo de 64,9 %), seguido de fusinita (valor máximo de 28,5 %). El porcentaje de materia mineral, es muy variable, va desde 14 hasta 98 %, lo cual indica que el grado del carbón porcentaje de materia mineral) varía desde grado medio (menos de 20 % de materia mineral), grado bajo (entre 20 y 30 %) y grado muy bajo (entre 30 y 50 %). La muestra de fangolita carbonosa C-BOX 237 contiene poco carbón, mientras que su contenido de materia mineral es de 98 por ciento. El contenido de pirita también es variable, fluctuando entre 0,1 a 11, 44% (Cuadro 3).

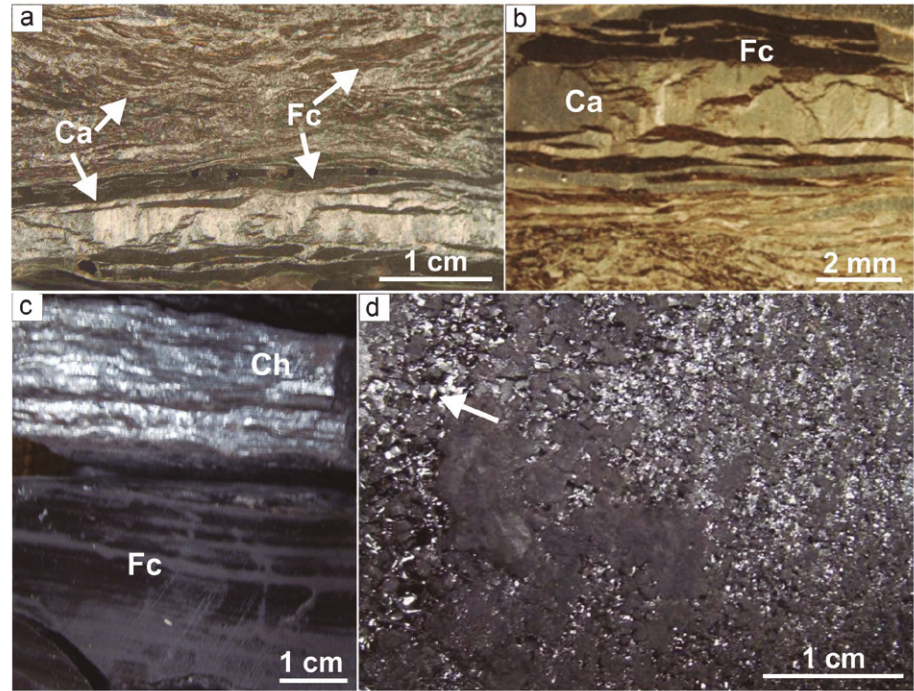


Figura 5: Facies BO: a-b) Fotografías tomadas bajo lupa binocular, de carbón sapropélico que corresponde a matas algáceas. Se observan láminas claras de carbonato (Ca) y láminas oscuras de fangolita carbonosa (Fc). Facies C; c) Fangolita carbonosa (Fc) con laminación paralela y carbón húmico (Ch), con mayor brillo, en la parte superior; d) Carbón húmico constituido por material proveniente de plantas, donde se observa la estructura leñosa (indicada con flecha).

Madurez de la materia orgánica: reflectancia de vitrinita (R_0)

La reflectancia se midió principalmente en collotelinita, sin embargo y como en algunas muestras no fue posible distinguir ésta de la gelovitrinita es posible que algunos valores resulten un poco más altos de lo que deberían. Esto se debe a que este último maceral presenta una mayor reflectancia lo que da a lugar a posibles errores de poca implicancia

Los resultados obtenidos de reflectancia media de la vitrinita (R_0 media) fluctúan desde 2% en la muestra extraída de la parte inferior del perfil (a 850 mbbp), a 1,36%, en la muestra extraída de la parte superior del mismo (a 396 mbbp) (Cuadro 4). Se puede observar, por lo tanto, una disminución en los valores de reflectancia de la vitrinita en las muestras extraídas de la parte superior de la secuencia.

Según los resultados de reflectancia de la vitrinita, los carbones extraídos en la sección inferior del pozo PANG0001 se clasificarían como semiantracíticos, con un

porcentaje de materia volátil entre 10 y 14% y los carbones extraídos en la parte superior clasificarían como bituminosos con bajo a medio contenido en volátiles, con un porcentaje de materia volátil entre 19 y 25% (Fig. 7).

Los resultados de R_0 obtenidos permiten comparar los rangos de diagénesis alcanzados por el carbón de la Formación Tunas en el pozo PANG0001 con las fases diagénéticas apropiadas para la generación de hidrocarburos, utilizando para ello el gráfico de Teichmuller (1974) (Fig. 7). A partir de esto, la sección inferior de la Formación Tunas habría alcanzado un estadio equivalente al de metanogénesis o catagénesis tardía, mientras que la parte superior alcanzó un estadio equivalente a la ventana de generación de gases condensados y húmedos (Fig. 7).

CONSIDERACIONES FINALES Y COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS

Los carbones de la Formación Tunas, de edad pérmica, hallados en subsuelo en la

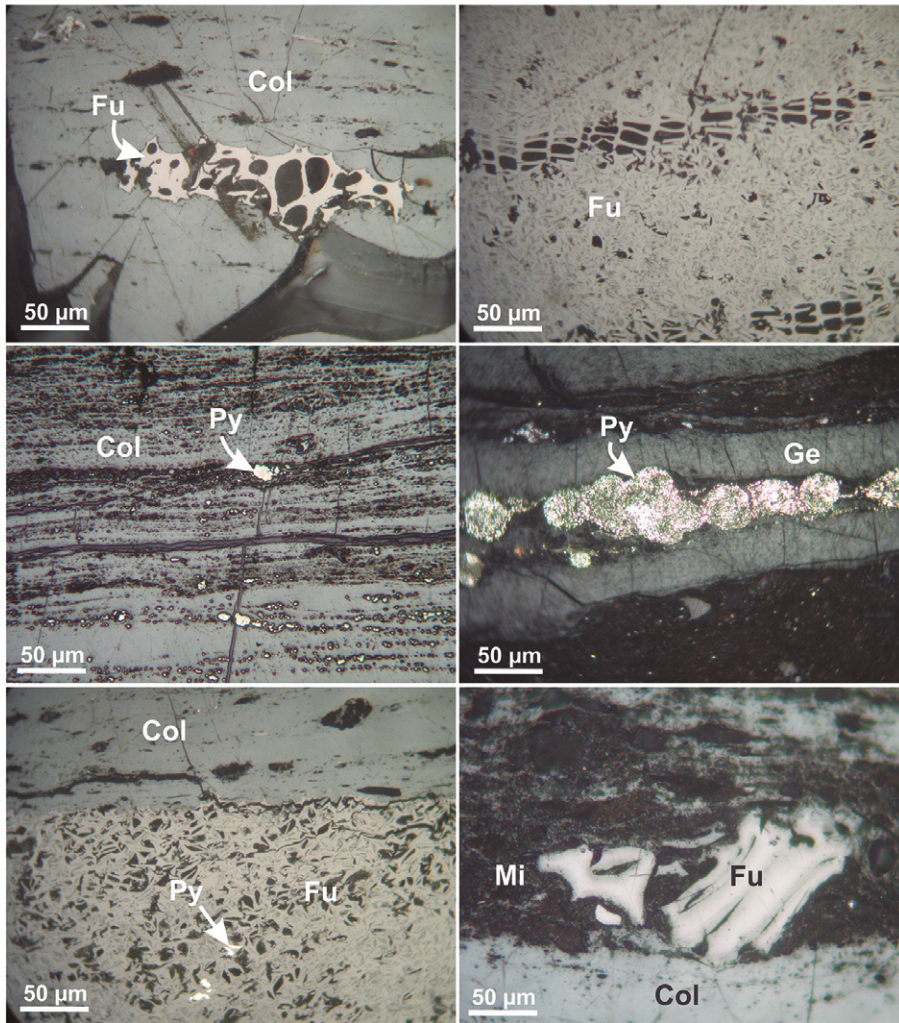


Figura 6: Fotomicrografías de briquetas de muestras de la Formación Tunas (pozo PANG0001), con luz reflejada, donde se observan los distintos componentes (macerales, materia mineral y pirita). Col: Colloitelinita; Ge: Gelovitrinita; Fu: Fusinita; Py: pirita; Mi: materia mineral.

Cuenca de Claromecó, son de tipo sapropélico, provenientes de algas, lo que da un kerógeno tipo I y húmico, proveniente de plantas superiores, lo que da un kerógeno tipo III. Estos últimos están compuestos por bandas monomacrerálicas, formadas principalmente por los macerales collovitrinita y gelovitrinita, del grupo de la vitrinita, o bien por fusinita, del grupo de la inertinita.

Consideraciones paleoambientales

Las bandas formadas por vitrinita en general derivan de tejidos leñosos como tallos, ramas y raíces, correspondientes a un ambiente de bosque pantanoso. Las bandas formadas por fusinita, en cambio, se forman por oxidación debido a ac-

tividad microbiana o pueden ser producto de incendios de pantanos, por lo cual representan períodos en donde la superficie de la turbera permanece seca, en parte por descenso del nivel de la capa freática (Bustin *et al.* 1989, Zdravkov y Kortenski 2004, Scott 2002, 2010). Esto indica que la Formación Tunas se depositó en un ambiente original de bosque pantanoso húmedo, alternante con períodos en los cuales la turbera se secaba, debido al descenso de la capa freática y en los cuales podrían haberse producido incendios. Estas interpretaciones paleoambientales coinciden con las propuestas previamente por otros autores (Ruiz y Bianco 1985, Lesta y Sylwan 2005, Zorzano *et al.* 2011). La existencia de incendios duran-

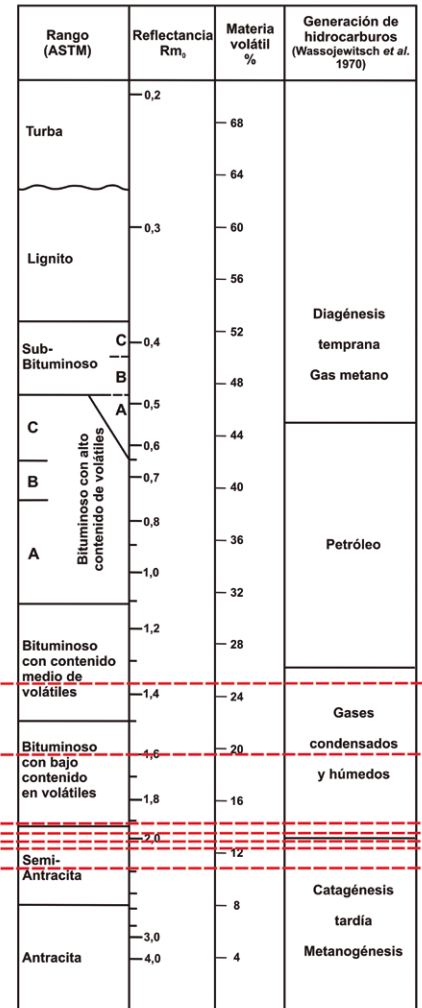


Figura 7: Gráfico donde se muestran los diferentes estados de carbogenización, según la clasificación de la American Society for Testing Materials (ASTM), los parámetros de reflectancia y materia volátil que los identifica y la relación con la ventana de generación (extraído y modificado de Teichmüller 1974). Con línea punteada roja se observan los valores de reflectancia media de la vitrinita (R_m) obtenidos para la Formación Tunas.

te el Pérmico de Gondwana se encuentra registrada, en base al estudio de inertinita o *charvoal*, en distintas cuencas: Cuenca de Paraná (Brasil), Cuenca de Karoo (Sudáfrica), Cuenca de Damodar (India) y en el área del Mar Muerto (Jordania, Jasper *et al.* 2008, 2011, 2012, 2013).

Consideraciones diagenéticas

Según los valores de reflectancia de la vitrinita obtenidos, los carbones de la parte inferior pueden clasificarse como semiantracíticos y los de la parte superior como bituminosos con bajo contenido

de volátiles, con un porcentaje de materia volátil que va de 10 a 14% en las muestras extraídas en la parte inferior y de 19 a 25% en las muestras extraídas de la parte superior. A partir de dichos resultados se puede inferir que la Formación Tunas alcanzó, durante el soterramiento, un estado de catagénesis a metagénesis respecto a la maduración de la materia orgánica y un estado de mesogénesis a mesogénesis madura de la materia orgánica respecto a la diagénesis mineral (Tissot *et al.* 1974, Smith y McDonald 1979). Como muestra la figura 8, de existir facies generadoras de hidrocarburos líquidos equivalentes en grado de diagénesis a las estudiadas en este trabajo, éstas serían “sobremaduras” para la generación de petróleo, ya que habrían generado gas seco o gas metano (en la parte inferior) hasta gases condensados y húmedos (en la parte superior).

Los fluidos asociados al carbón sapropélico de la Formación Tunas y su estadio de diagénesis, fueron analizados por Arzadún *et al.* (2013) y Arzadún (2015) mediante inclusiones fluidas, estudiadas en láminas de carbonato asociadas a las matas algáceas. Dichos autores concluyeron que esta formación se encuentra en un estadio de metagénesis de la materia orgánica, que se corresponde con una ventana de generación de gas metano, consistente con los resultados obtenidos en este trabajo.

Los tenores de materia orgánica de la Formación Tunas tienen valores de 4 a 13% en fangolitas carbonosas y de 46% en carbón. Estos valores son un poco más altos que los obtenidos por Juan *et al.* (1996) y Fryklund *et al.* (1996) en subsuelo de la Cuenca de Colorado, para las formaciones Bonete y Tunas. Dichas diferencias pueden deberse a que el pozo PANG0001 se encuentra en un sector más cercano al depocentro de la Cuenca de Claromecó, con una profundidad mayor al momento de la depositación, lo que sugiere una mayor presión litostática (por lo menos 800 m de sedimentos por encima). Dicha diferencia concuerda con los estudios geofísicos de Kostadinoff y Font (1982) e Introcaso (1982), según los cuales el depocentro de la Cuenca de Claro-

CUADRO 1: Clasificación y características del carbón según sus grupos macerales y sus macerales.

Gr maceral	Reflectividad	Color	Maceral	Características
Vitrinita	Intermedia	Gris medio	Telinita	Estructura visible.
			Collotelinita	Estructura no visible.
			Vitrodetrinita	Pequeños fragmentos.
			Collodetrinita	Como motas.
			Corpogelinita	Cuerpos homogéneos y discretos (relleno de celdas).
			Gelinita	Homogéneo y sin estructura. Rellena huecos.
Inertinita	Alta	Gris claro, blanco, amarillo	Fusinita	Alta reflectividad. Estructura celular bien preservada.
			Semifusinita	Reflectividad intermedia entre vitrinita y fusinita.
			Funginita	Restos de hongos.
			Inertodetrinita	Fragmentos muy pequeños. Estructura no distinguible al microscopio (<10µm).
			Secretinita	Forma redondeada a oblada, sin formas celulares.
			Macrinita	Cuerpos grandes y compactos, sin estructura, comúnmente elongados.
			Micrinita	Granos muy pequeños redondeados (<2µm).
			Sporinita	Polen y esporas. 10 a 200µm. Comprimidas y alineadas según los planos de estratificación.
			Resinita	Recinas. Rellenos de celdas o cuerpos aislados circulares, ovalados, elongados o rellenando espacios vacíos.
			Cutinita	Cutículas de hojas o tallos. Forma de bandas de espesor variable. En horizontal pueden verse celdas.
Liptinita	Baja (en alto rango puede parecerse a la de la vitrinita)	Gris oscuro	Alginita	Algas. Pueden conservar la estructura original de las colonias de algas. Formas ovaladas, esféricas, tabulares radiadas.
			Suberinita	Paredes celulares. Formas rectangulares o masas laminares o celdas (partes oscuras).

CUADRO 2: Valores de COT de muestras del pozo PANG0001.

Muestra	Litología	Profundidad (mbbp)	COT (%)
120 BOX 222	Fangolita carbonosa	801,68	12,84
111 BOX 226	Carbón	813,10	46,08
83 BOX 240	Fangolita carbonosa	850,33	4,93
79 BOX 242	Fangolita carbonosa	856,87	6,92
76 BOX 243	Fangolita carbonosa	858,03	4,11

CUADRO 3: Porcentaje de los distintos macerales, materia mineral y pirita de las muestras de la Formación Tunas que contienen carbón húmico, extraídas del pozo PANG0001.

Muestra	Profundidad (mbbp)	Vitrinita (%)	Inertinita (%)	Mat mineral (%)	Pirita (%)
433 - BOX 76	396,18	46,63	12,15	40,32	0,90
420 - BOX 81	412,65	55,20	24,17	17,74	2,89
111 - BOX 226	813,10	56,77	28,52	14,70	0,00
C - BOX 237	842,00	0,83	1,05	98,03	0,09
A - BOX 237	842,00	58,26	0,00	30,30	11,44
83 - BOX 240	850,33	64,91	2,11	30,82	2,16
79 - BOX 242	856,87	54,02	13,00	31,72	1,26

CUADRO 4: Valores de reflectancia media de la vitrinita (R_0 media), medidos en muestras extraídas a distintas profundidades del pozo PANG0001 (mbbp), correspondientes a la Formación Tunas. Porcentaje de materia volátil y rango, calculados a partir de los valores de R_0 y según las normas de la American Society for Testing Materials (ASTM).

Muestra	Profundidad (mbbp)	R_0 media	Materia volátil %	Rango (ASTM)	Ventana de generación
433 - BOX 76	856,87	1,365	25	Bituminoso medio en volátiles	Gas húmedo
420 - BOX 81	850,33	1,600	19,8	Bituminoso bajo en volátiles	Gas húmedo
111 - BOX 226	813,10	2,380	10,5	Semiantracita	Gas húmedo
C - BOX 237	842,00	2,022	13	Semiantracita	Gas metano
A - BOX 237	842,00	1,988	13,5	Semiantracita	Gas metano
83 - BOX 240	412,65	2,071	12,2	Semiantracita	Gas metano
79 - BOX 242	396,18	1,945	14	Semiantracita	Gas húmedo

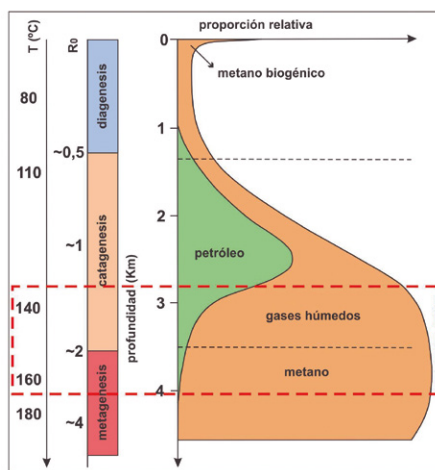


Figura 8: Condiciones de generación de petróleo y gas en función de la profundidad, relacionadas con los estadios de diagénesis, la reflectancia de la vitrinita (R_0) y la temperatura (T). La línea interrumpida roja es el rango en el que se encuentra la Formación Tunas (Tissot *et al.* 1974).

mecó coincidiría con el arroyo Claromecó, donde se concentró y preservó mayor cantidad de materia orgánica.

CONCLUSIONES

Los datos aportados en este trabajo permiten afirmar la existencia de distintos tipos de carbón de edad pérmica en el subsuelo de la Cuenca de Claromecó para la Formación Tunas. El análisis petrográfico de este carbón permitió realizar interpretaciones paleoambientales y diagénéticas en una “cuenca frontera”, aportando datos inéditos hasta el momento.

Mediante los estudios realizados, se puede concluir que las facies finas carbono-

sas de dicha formación se depositaron en un ambiente de bosque pantanoso húmedo, con ascensos y descensos de la capa freática, que determinaron etapas secas y húmedas alternantes.

Los indicadores de madurez o grado de soterramiento permiten concluir que esta unidad alcanzó un estadio de metanogénesis o mesogénesis avanzada. Estos resultados, además de los tenores de TOC que fluctúan entre 4 a 13% en fangolitas carbonosas y 46% en carbón, permiten caracterizar a dicha formación, en la Cuenca de Claromecó, como una potencial secuencia generadora en un sistema de petróleo/gas/carbón. De este modo, podrían presentarse tres modelos hipotéticos:

- 1) El gas generado diagenéticamente durante el Pérmico, a partir de las capas de carbón y fangolitas carbonosas, podría haber migrado y estar alojado en las facies más gruesas.
- 2) El gas generado diagenéticamente durante el Pérmico, a partir de las capas de carbón y fangolitas carbonosas no migró a otras facies y podría estar alojado en las mismas secuencias generadoras, lo que se asemejaría a un reservorio de tipo shale gas.
- 3) El carbón puede ser potencialmente combustionado para la generación, lo que se conoce como gas de carbón (GDC).

Por otro lado, la presencia de matas algáceas (kerógeno tipo I) y el hecho de que se han encontrado facies con mayor influencia marina, permiten proponer la posible existencia de niveles con keróge-

nos de tipo II, más propensos a generar petróleo que gas. En este sentido, se requiere realizar estudios estructurales y de análisis de facies en aquellos sectores donde el soterramiento pudiese haber sido menor, de manera tal que la materia orgánica haya sido sometida a una transformación catagenética coincidente con la ventana de generación de petróleo y coincidiese con el estado de catagénesis o ventana de generación de petróleo (Tissot *et al.* 1974; Fig. 8).

AGRADECIMIENTOS

Al Lic. Santiago Gígola por facilitar las tramitaciones correspondientes para la donación de los testigos corona del pozo PANG0001. Al Instituto de Geología Económica Aplicada (GEA) de la Universidad de Concepción, Chile, por facilitar el equipamiento que permitió el análisis microscópico del carbón. Al Lic. Juan Carlos Gasparoni, del Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur, por haber realizado los análisis correspondientes al contenido de materia orgánica. A la Secretaría General de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada bajo el marco de pasantías para jóvenes docentes, que permitió financiar una pasantía en la Universidad de Concepción. Al Departamento de Geología de la UNS por haber facilitado el instrumental y la infraestructura necesarios para llevar adelante esta investigación. A la SECYT – UNS por el PGI 24/H128, a la Comisión de Investigaciones Científicas (CIC) y al CONICET por el PIP – CONICET-2013-2015-099 que permitieron financiar parte de las actividades. Los editores agradecen el trabajo de los revisores Silvia Barredo y Oscar Mancilla.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Álvarez, G.T. 2004. Cuencas paleozoicas asociadas a la prolongación norte del sistema de Sierras de Ventania, Provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral, Universidad Nacional del Sur (inédita), 163 p., Bahía Blanca.
- Amos, A.J. 1980. Correlación de las formaciones carbonáticas y pérmicas marinas de Argenti-

- na. *Anales de la Academia Brasileira de Ciências* 53: 347-356.
- Amos, A.J. y Urien, C.M. 1968. La falla "Abra de la Ventana" en las Sierras Australes de la provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 23: 197-206.
- Andreis, R.R. y Cladera, G. 1992. Las epiclastitas pérmicas de la Cuenca Sauce Grande (Sierras Australes, Buenos Aires, Argentina). Parte 1: Composición y procedencia de los detritos. 4° Reunión de Sedimentología, Actas 1: 127-134, La Plata.
- Andreis, R.R., Iñiguez Rodríguez, A.M., Lluch, J.J. y Rodríguez, S. 1989. Cuenca paleozoica de ventania. Sierras Australes de la provincia de Buenos Aires. En: Chebli, G. y Spalletti, L. (ed), *Cuencas sedimentarias argentinas, Serie Correlación Geológica* 6: 265-298, San Miguel de Tucumán.
- Andreis, R.R., Lluch, J.J. e Iñiguez Rodríguez, A.M. 1979. Paleocorrientes y paleoambientes de las Formaciones Bonete y Tunas, Sierras Australes de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. 6° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 207-224, Buenos Aires.
- Ansolabehere, S., Beer, J., Deutch, J., Ellerman, D., Friedmann, J., Herzog, H., Jacoby, H.D., Joskow, P.L., McRae, G., Lester, R., Moniz, J.E. y Steinfeld, E. 2007. The future of coal. MIT coal energy study, Massachusetts Institute of Technology, 175 p, Massachusetts.
- Archangelsky, S. y Cúneo, R. 1984. Zonación del Pérmico continental de Argentina sobre la base de sus plantas fósiles. 3° Congreso latinoamericano Paleontológico, Memoria 143-153, Ciudad de México.
- Arzadún, G. 2015. Análisis del soterramiento de la Formación Tunas en las Sierras Australes de la Provincia de Buenos Aires a partir de índices de compactación y de empaquetamiento. Tesis doctoral, Universidad Nacional del Sur (inédita), 243 p., Bahía Blanca.
- Arzadún, G., Cesaretti, N.N., Fortunatti, N. y Cisternas, M.E. 2013. Análisis de petrografía y fluorescencia de inclusiones fluidas en carbonato de matas algáceas de la Formación Tunas, Cuenca de Claromecó, Provincia de Buenos Aires, Argentina. 11° Congreso de Mineralogía y Metalogénia, Actas, 1: 165-169, San Juan.
- Arzadún, G., Tomezzoli, R.N., Cesaretti, N.N. 2011. Análisis de anisotropía de susceptibilidad magnética (ASM) en la Formación Tunas, Sierras Australes de la Provincia de Buenos Aires – Cuenca de Claromecó – Argentina. 2° Reunión Bienal de la Asociación Latinoamericana de Paleomagnetismo y Geomagnetismo (LATINMAG), Actas 1(2): 1-6, Tandil.
- Arzadún, G., Tomezzoli, R.N. y Cesaretti, N.N. 2013. Análisis de anisotropía de susceptibilidad magnética (AMS) y compactación en la Formación Tunas, Sierras Australes de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. 3° Reunión Bienal de la Asociación Latinoamericana de Paleomagnetismo y Geomagnetismo (LATINMAG), Actas 3: 1-6, Montevideo.
- Arzadún, G., Tomezzoli, R.N., Cesaretti, N.N. 2014. Relación entre la anisotropía de susceptibilidad magnética (ASM) y las distintas facies sedimentarias de la Formación Tunas (Pérmico), Sierras Australes-Cuenca de Claromecó, Provincia de Buenos Aires. 19° Congreso Geológico Argentino, Actas: 275-276, Córdoba.
- Arzadún, G., Tomezzoli, R.N., Cisternas, M. E., Cesaretti, N.N. y Fortunatti, N. 2014. Análisis diagenético y estructural en la Formación Tunas (Pozo PANG0001 - Pérmico de la Cuenca de Claromecó-Sierras Australes, Provincia de Buenos Aires, Argentina). 9° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Actas: 481-497, Mendoza.
- Bustin, R.M., Cameron, A.R., Grieve, D.A., Kalkreuth, W.D. 1983. Coal Petrology. Its principles, methods, and applications. Geological Association of Canada, 273 p., Canada.
- Castro, L.N. y Alfaro, G. 2011. Los depósitos de carbón de Argentina y Chile: importancia de la matriz energética y alternativas de uso. *Carbón en Argentina y Chile. Geotemas* 20: 9-27.
- Cobbold, P., Gapais, D. y Rossello, E. 1991. Partitioning of transpressive motions within a sigmoidal foldbelt: the Variscan Sierras Australes, Argentina. *Journal of Structural Geology* 13: 743-758.
- Cobbold, P.R., Massabie, A.C. y Rossello, E.A. 1987. Hercynian wrenching and thrusting in the Sierras Australes Foldbelt, Argentina. *Hercynica* 2: 135-148.
- Di Pasquo, M., Martínez, M.A. y Freije, H. 2008. Primer registro palinológico de la Formación Sauce Grande (Pennsylvaniano-Cisuraliano) en las Sierras Australes, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Ameghiniana* 45: 69-81.
- Fallgren, P.H., Jin, S., Zeng, C., Ren, Z., Lu, A. y Colberg, P.J.S. 2013. Comparison of Coal Rank for Enhanced Biogenic Natural Gas Production. *International Journal of Coal Geology* 115: 92-96.
- Francis, W. 1961. Coal: its formation and composition. Edward Arnold Ltd. 806 p, London.
- Fryklund, B., Marshall, A. y Stevens, J. 1996. Cuenca del Colorado. En Ramos V.A. y Turic M.A. (ed.), *Geología y Recursos Naturales de la Plataforma Continental Argentina, Relatorio 8, Asociación Geológica Argentina*: 135-158, Buenos Aires.
- Furque, G. 1973. Descripción geológica de la Hoja 34n, Sierra de Pillahuincó, Provincia de Buenos Aires. *Boletín del Servicio Nacional de Minería y Geología* 141, 70 p., Buenos Aires.
- Gregori, D.A., Grecco, L.E. y Llambías, E.J. 2003. El intrusivo López Lecube: Evidencias de magmatismo alcalino Gondwánico en el sector sudoeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 58: 167-175.
- Gregori, D.A., Kostadinoff, J., Strazzere, L., Raniolo, A. 2008. Tectonic significance and consequences of the Gondwanide orogeny in northern Patagonia, Argentina. *Gondwana Research* 14: 429-450.
- Hackley, P.C., Guevara, E.H., Hentz, T.F. y Hook, R.W. 2009. Thermal maturity and organic composition of Pennsylvanian coals and carbonaceous shales, north-central Texas: Implications for coalbed gas potential. *International Journal of Coal Geology* 77: 294-309.
- Harrington, H.J. 1947. Explicación de las Hojas Geológicas 33m y 34m, Sierras de Curamalal y de la Ventana, Provincia de Buenos Aires. *Servicio Nacional de Minería y Geología* 61, 43 p., Buenos Aires.
- Harrington, H.J. 1972. Sierras Australes de Buenos Aires. En: Lanza A.F. (ed.) *Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias*: 395-405, Córdoba.
- Introcaso, A. 1982. Características de la corteza en el positivo bonaerense: Tandilia-Cuenca Interserrana-Ventania a través de datos de gravedad. *Observatorio Astronómico Municipalidad de Rosario, Publicación del Instituto de Física de Rosario* 8: 1-6, Rosario.
- Iñiguez Rodríguez, A. M. y Andreis R. R. 1971. Caracteres sedimentológicos de la Formación Bonete, Sierras Australes de la provincia de Buenos Aires. *Reunión Geológica de las Sierras Australes Bonaerenses, Actas*: 103-120,

- Bahía Blanca.
- Iñiguez Rodríguez, A.M., Andreis, R.R. y Zalba P.A. 1988. Eventos piroclásticos en la Formación Tunas (Pérmico), Sierras Australes, Provincia de Buenos Aires. *Jornadas Geológicas Bonaerenses, Actas 2*: 383-395.
- Japas, M.S. 1986. Caracterización geométrico-estructural del Grupo Pillahuincó. 1. perfil del arroyo Atravesado. Sierra de Las Tunas, Sierras Australes de Buenos Aires. *Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Actas 38*: 145-156, Buenos Aires.
- Japas, M.S. 1995a. Evolución estructural de la porción austral del arco de las Sierras Australes de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina 49*: 368-372.
- Japas, M.S. 1995b. El Arco Noroccidental de las Sierras Australes de Buenos Aires: Producto de megakinks extensionales durante el proceso de la deformación? 4º Jornadas Geológicas Bonaerenses, Actas 1: 257-263, Junín.
- Japas, M.S. 1999. Revisión de las teorías acerca del origen del arco de las Sierras Australes de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina 54*: 9-22.
- Jarvie, D. M. 1991. Total organic carbon (TOC) analysis. En: Merrill, R. K. (ed.), *Source and migration processes and evaluation techniques*. American Association of Petroleum Geologists, *Treatise of Petroleum Geology 1*: 113-118, Tulsa.
- Jasper, A., Uhl, D., Guerra-Sommer, M. y Mosbrugger, V. 2008. Palaeobotanical evidence of wildfires in the Late Palaeozoic of South America – Early Permian, Rio Bonito Formation, Paraná Basin, Rio Grande do Sul, Brazil. *Journal of South American Sciences 26*: 435-444.
- Jasper, A., Uhl, D., Guerra-Sommer, M., Cerruti Bernardes-de-Oliveira, M.E. y Galarce Machado, N.T. 2011. Upper Paleozoic charcoal remains from South America: Multiple evidences of fire events in the coal bearing strata of the Paraná Basin, Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 306*: 205-218.
- Jasper, A., Guerra-Sommer, M., Uhl, D., Bernardes-de-Oliveira, M.E.C., Ghosh, A.K., Tewari R. y Secchi, M.I. 2012. Palaeobotanical evidence of wildfire in the Upper Permian of India: Macroscopic charcoal remains from the Raniganj Formation, Damodar Basin. *The Paleobotanist 61*: 75-82.
- Jasper, A., Guerra-Sommer, M., Abu Hamad, A.M.B., Bamford, M., Bernardes-de-Oliveira, M.E.C., Tewari R. y Uhl, D. 2013. The burning of Gondwana: Permian fires on the southern continent-A palaeobotanical approach. *Gondwana Research 24*: 148-160.
- Juan, R., Jager, J., Russell, J., Gebhard, I. 1996. Flanco Norte de la Cuenca del Colorado. En Ramos V.A. y Turic M.A. (ed.), *Geología y Recursos Naturales de la Plataforma Continental Argentina, Relatorio 7*: 117-133, Buenos Aires.
- Kostadinoff, J. 1993. Geophysical evidence of a Paleozoic Basin in the interhilly area of Buenos Aires Province, Argentina. *Comptes Rendus 13 ICCP 1*: 397-404, Buenos Aires.
- Kostadinoff, J. 2007. Evidencia geofísica del umbral de Trenque Lauquen en la extensión norte de la Cuenca de Claromecó, Provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina 62*: 69-75.
- Kostadinoff, J. y Font de Affolter, G. 1982. Cuenca Interserrana Bonaerense, Argentina. 5º Congreso Latinoamericano de Geología, Actas 4: 105-121, Buenos Aires.
- Kostadinoff, J. y Prozzi, C. 1998. Cuenca de Claromecó. *Revista de la Asociación geológica Argentina 53*: 461-468.
- Lesta P. y Sylwan, C. 2005. Cuenca de Claromecó. 6º Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Simposio Frontera Exploratoria de la Argentina, Actas 217-231, Mar del Plata.
- Llambías E.J. y Prozzi, C. R. 1975. Ventania. 6º Congreso Geológico Argentino, Relatorio 79-102, Buenos Aires.
- López Gamundi, O.R. 1996. Modas detríticas del Grupo Pillahuincó (Carbonífero tardío-Pérmico), Sierras Australes de la Provincia de Buenos Aires: su significado geotectónico, *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología 3*: 1-10.
- López Gamundi, O.R., Fildani, A., Weislogel, A. y Rossello, E. 2013. The age of the Tunas Formation in the Sauce Grande basin-Ventana foldbelt (Argentina): implications for the Permian evolution of the southwestern margin of Gondwana. *Journal of South American Earth Sciences 45*: 250-258.
- Massabie, A.C., Nestiero, O.E. y Sanguinetti, A.S. 2008. Brechas y microbrechas cohesivas en cuarcitas de las Sierras Australes de Buenos Aires. Similitudes, diferencias y aproximaciones a su vinculación tectónica. *Revista de la Asociación Geológica Argentina 63*: 163-171.
- Monteverde, A. 1937. Nuevo yacimiento de material pétreo en González Chaves. *Revista Minera 8*: 116-124.
- Morel, E., Gutiérrez, P.R. 2000. Malanzania nana Archangelsky, Azcuy y Wagner (Lycophyta) en el Carbonífero Superior de Buenos Aires, Cuenca de Claromecó, Argentina. *Ameghiniana 37*: 247-250.
- Noffke, N., Beukes, N., Bower, D., Hazen, R.M. y Swift, D.J.P. 2008. An actualistic perspective into Archean worlds cyano-bacterially induced sedimentary structures in the siliciclastic Nhlazatse Section, 2.9 Ga. Pongola Supergroup, South Africa. *Geobiology 6*: 5-20.
- Pángaro, F. y Ramos, V.A. 2012. Paleozoic crustal blocks of onshore and offshore central Argentina: Newpieces of the southwestern Gondwana collage and their role in the accretion of Patagonia and the evolution of Mesozoic south Atlantic sedimentary basins. *Marine and Petroleum Geology, 1-22*.
- Pángaro, F., Ramos, V.A. y Pazos, P.J. 2015. The Hesperides basin: a continental-scale upper Paleozoic to Triassic basin in southern Gondwana. *Basin Research 1-27*.
- Podolski W.F., Schmalzer D.K., Conrad V., Lowenhaupt D.E., Winschel R.A., Klunder E.B., McIlvried III H.G., Ramezan M., Stiegel G.J., Srivastava R.D., Winslow J., Loftus P.J., Benson C.E., Wheeldon J.M., Krumpelt M., Smith L. 2008. Energy Resources, Conversion, and Utilization. En Gren D.W. y Perry R.H., *Perry's Chemical Engineers' Handbook, 60p*, McGraw-Hill, Nueva York.
- Ramos, V.A. 1984. Patagonia: un nuevo continente paleozoico a la deriva? 9º Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 311-325, Bariloche.
- Ramos, V.A. 1999. Evolución tectónica de la Argentina. En Caminos, R. (ed.) *Geología Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales 29(24): 715-789, Buenos Aires.
- Ramos, V.A. y Kostadinoff, J. 2005. La Cuenca de Claromecó. En: De Barrio, R., Etcheverry, R.O. y Caballé, M.F. (eds.), *Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Buenos Aires*. Asociación Geológica Argentina, 16º Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 471-480, La Plata.

- Rocha Campos, A.C. y Carvalho, R.G. 1975. Two new bivalves from the Permian "Eurydesma Fauna" of Eastern Argentina. *Boletim Instituto Geologico, Universidade Sao Paulo* 6: 181-191, San Pablo.
- Rossello, E.A. y Massabie, A.C. 1981. Micro y mesoestructuras en las formaciones Lolen y Sauce Grande y sus implicancias tectónicas. Sierras Australes de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 36: 272-285.
- Rossello, E.A. y Massabie, A.C. 1992. Caracterización tectónica del kinking mesoscópico de las Sierras Australes de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 47: 179-187.
- Ruiz, L. y Manera de Bianco, T. 1985. Presencia de restos de Lycopsidias arborescentes en Las Mostazas, Paleozoico Superior de las Sierras Australes, Provincia de Buenos Aires. *Primeras Jornadas Geológicas Bonaerenses, Tandil. Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires*, 217p., Buenos Aires.
- Schmidt, V. y McDonald, D.A. 1979. The role of secondary porosity in the course of sandstone diagenesis. En: Scholle, P.A. y Schluger, P.R. (ed.), *Aspects of Diagenesis. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication* 26: 159-173, Tulsa.
- Scott, A.C. 2002. Coal petrology and the origin of coal macerals: a way ahead? *International Journal of Coal Geology* 50: 119-134.
- Scott, A.C. 2010. Charcoal recognition, taphonomy and uses in palaeoenvironmental analysis. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 291: 11-39.
- Sellés Martínez, J. 1986. Las Sierras Australes de Buenos Aires: Su vinculación a un zizallamiento regional. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 41: 187-190.
- Sellés Martínez, J. 1989. The structure of Sierras Australes (Buenos Aires-Argentina). An example of folding in a transpressive environment. *Journal of South American Earth Sciences* 2: 317-329.
- Senftle, J.T. y Landis, C.R. 1991. Vitrinite reflectance as a tool to assess thermal maturity. En Merrill, R.K. (ed.) *Source and Migration Processes and Evaluation Techniques, Treatise of Petroleum Geology, American Association of Petroleum Geologists*, 119-126, Tulsa.
- Stach, E., Mackowsky, M., Teichmüller, M., Taylor, G.H., Chandra, D. y Teichmüller, R. 1982. *Stach's Textbook of Coal Petrology, Gebrüder Borntraeger*, 535 p., Stuttgart.
- Suero, T. 1972. En Ministerio de Obras Públicas, LEMIT, División Geología (ed.) *Compilación geológica de las Sierras Australes de la provincia de Buenos Aires* 3: 135-147, La Plata.
- Teichmüller, M. 1974. Entstehung und Veränderung bituminöser Substanzen in Kohlen in Beziehung zur Entstehung und Umwandlung des Erdöls. En: Stach, E., Mackowsky, M., Teichmüller, M., Taylor, G.H., Chandra, D., Teichmüller, R. (eds.), *Stach's Textbook of Coal Petrology, Gebrüder Borntraeger*, 535 p., Stuttgart.
- Teichmüller, M. 1979. Die Diagenese der kohligen Substanzen in den Gesteinen des Tertiärs und Mesozoikums des mittleren Oberrheingrabens. En: Stach, E., Mackowsky, M., Teichmüller, M., Taylor, G.H., Chandra, D., Teichmüller, R. (eds.), *Stach's Textbook of Coal Petrology, Gebrüder Borntraeger*, 535 p., Stuttgart.
- Thomas, L. 2002. *Coal Geology. John Wiley*, 111 p., New York.
- Tissot, B., Durand, B., Espitalié, J. y Combaz, A. 1974. Influence of the nature and diagenesis of organic matter in formation of petroleum. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 58: 499-506.
- Tomezzoli, R.N. 1999. La Formación Tunas en las Sierras Australes de la Provincia de Buenos Aires. Relaciones entre sedimentación y deformación a través de su estudio paleomagnético. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 54: 220-228.
- Tomezzoli, R.N. 2001. Further Palaeomagnetic results from the Sierras Australes fold and thrust belt, Argentina. *Geophysical Journal International* 147: 356-366.
- Tomezzoli, R.N. y Cristallini, E.O. 1998. Nuevas evidencias sobre la importancia del fallamiento en la estructura de las Sierras Australes de la Provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 53: 117-129.
- Tomezzoli, R.N. y Cristallini, E.O. 2004. Secciones estructurales de las Sierras Australes de la provincia de Buenos Aires: Repetición de la secuencia estratigráfica a partir de fallas inversas? *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 59: 330-340.
- Tomezzoli, R.N. y Vilas, J. F. 1999. Paleomagnetic constraints on age of deformation of the Sierras Australes thrust and fold belt, Argentina. *Geophysical Journal International* 138: 857-870.
- Wassojewitsch, N.B., Korchagina, J.I., Lopatin, N.V. y Chernyshev, V.V. 1970. Principal phase of oil formation. En: Stach, E., Mackowsky, M., Teichmüller, M., Taylor, G.H., Chandra, D., Teichmüller, R. (eds.), *Stach's Textbook of Coal Petrology, Gebrüder Borntraeger*, 535 p., Stuttgart.
- Von Gosen, W., Buggisch, W. y Dimieri, L.V. 1990. Structural and metamorphic evolution of the Sierras Australes (Buenos Aires province/Argentina). *Geologisches Rundschau* 79: 797-821.
- Von Gosen, W., Buggisch, W. y Krumm, S. 1989. Metamorphism and deformation mechanisms in the Sierras Australes fold and thrust belt (Buenos Aires Province, Argentina). *Tectonophysics* 185: 335-356.
- Xiao, D., Peng, S., Wang B. y Yan X. 2013. Anthracite bio-degradation by methanogenic consortia in Qinshui basin. *International Journal of Coal Geology* 116: 46-52.
- Zambrano, J.J. 1974. Cuencas sedimentarias en el subsuelo de la provincia de Buenos Aires y zonas adyacentes. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 29: 443-469.
- Zavala, C.A., Santiago, M.F., Amaolo, G.E. 1993. Depósitos fluviales de la Formación Tunas (Pérmico). *Cuenca Paleozoica de Ventania, Provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Argentina* 48: 307-316.
- Zdravkov, A. y Kortenski, J. 2004. Maceral composition and depositional environment of the coals from Beli Breg basin, Bulgaria. *Review of the Bulgarian Geological Society* 65: 157-166.
- Zilli, N., Vallejo, E., Pelliza, H. y Dos Santos, P. 2005. El esfuerzo exploratorio en Argentina. En Chebli, G., Cortiñas, J.S., Spalletti, L.A., Legarreta, L y Vallejo, E.L. (ed.), *Simposio frontera Exploratoria de la Argentina*: 5-40 p, Mar del Plata.
- Zorzano, A., Di Meglio, M., Zavala, C. y Arcuri, M.J. 2011. La Formación Tunas (Pérmico) en la Cuenca Interserrana. Primera correlación entre campo y subsuelo mediante registros de rayos gamma. 18° Congreso Geológico Argentino, Actas 2-6, Neuquén.

Recibido: 12 de abril, 2016

Aceptado: 6 de septiembre, 2016