

ANÁLISIS DIAGENÉTICO Y ESTRUCTURAL EN LA FORMACIÓN TUNAS POZO PANG0001. PÉRMICO DE LA CUENCA DE CLAROMECÓ. SIERRAS AUSTRALES DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES, ARGENTINA

**Guadalupe Arzadún¹, Renata Nela Tomezzoli², María Eugenia Cisternas³,
Nora Noemí Cesaretti⁴, Natalia Fortunatti⁴**

1: Departamento de Geología, UNS, CIC. guadalupe.arzadun@gmail.com

2: Laboratorio de Paleomagnetismo Daniel A. Valencio, IGEBA, CONICET. renata@gl.fcen.uba.ar

3: Instituto de Geología Económica Aplicada (GEA), Universidad de Concepción. mecistern@gmail.com

4: Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur. ghcesar@criba.edu.ar, nfortuna@uns.edu.ar

Palabras clave: Formación Tunas, Sierras Australes, Cuenca de Claromecó, Petrografía del carbón, Anisotropía de susceptibilidad magnética

ABSTRACT

Structural and Diagenetic analysis of Tunas Formation, PANG0001 well. Permian of Claromecó Basin, Sierras Australes fold and thrust belt, Buenos Aires province, Argentina

The Tunas Formation (Permian, Harrington 1947) outcrops in Sierras Australes of Buenos Aires Province and continues to the east in Claromecó Basin as subsurface record. In order to know about diagenesis level, structural evolution and tectonic context, petrographic analysis on well PANG0001 coal samples and magnetic susceptibility anisotropy (MSA) studies of outcropping samples were made. Coals are formed by collovitrinite and gelovitrinite (Vitrinite Group) belts, alternate with fusinite (Inertinite Group) belts. The values of vitrinite reflectance are between 1,3 and 2,38% R₀, which allow us to classify the coals as semianthracitic to low volatile bituminous. According to this, the Tunas Formation reaches the methane gas to wet to condensate gases window generation. The K_{max} axes of AMS ellipsoids show a NW-SE direction showing a maximum stress direction from SW-NE. The K_{min} axes, with a SW-NE strike, are in horizontal positions at west progressively changing to vertical positions at east, while the anisotropy magnitude decreases toward the East. All these aspects indicate a progression of the magnetic fabric, from a tectonic imprint to a sedimentary fabric, evidencing a decreasing of the deformation to the East while principal compressive stress comes from SW. This research takes into account different methods and allows a good knowledge about diagenesis degree and deformation features recording. Results inform that the Tunas Formation have reached the catagenesis-metagenesis zone and that can be characterized as a potential component of an oil/gas/coal system.

INTRODUCCIÓN

La economía global creciente de las últimas décadas ubica al tema carbón con una revaloriza-

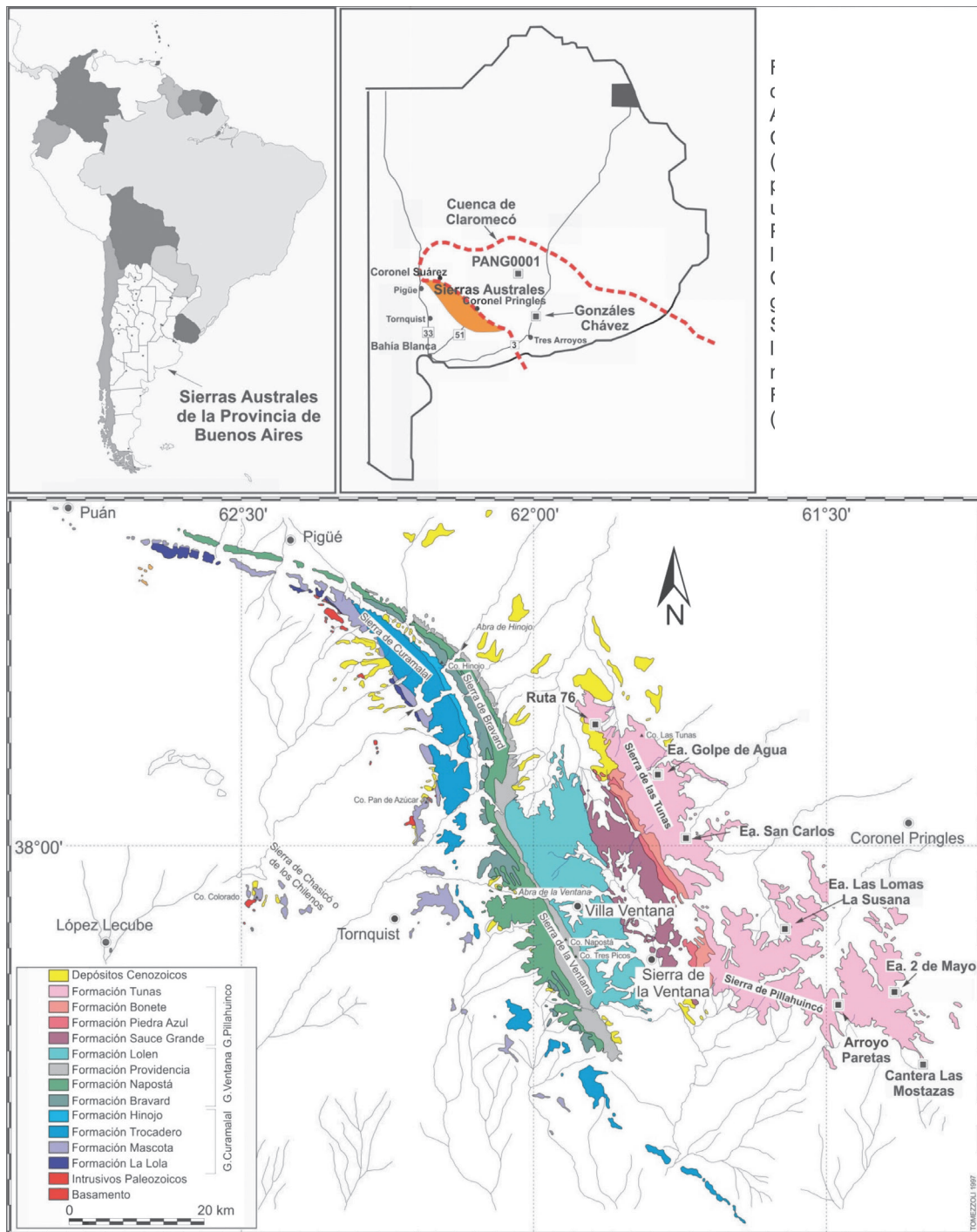


Figura 1. Arriba, mapas de ubicación de Sierras Australes (naranja) y Cuenca de Claromecó (límite en línea punteada roja); ubicación del Pozo PANG0001 y la localidad de Gonzales Chávez. Abajo, mapa geológico de las Sierras Australes, con las localidades de muestreo de la Formación Tunas (coloreada en rosa).

ción, en función de la mayor demanda de recursos energéticos y de la disminución de las reservas de petróleo y gas. Esto se debe a que existen nuevas formas de obtención de energía a partir del carbón: combustión de mezclas de carbón, gas metano de carbón, gasificación de carbón en sub-

suelo (UCG), entre otras. Por este motivo, es de fundamental importancia que se realicen diversos estudios en carbón o material carbonoso en distintas cuencas con fines exploratorios, destinados al conocimiento del recurso dentro de las fronteras de nuestro país y su posible aplicación a la matriz energética actual.

Entre las cuencas que se conocen como “cuenca frontera”, la Cuenca de Claromecó posee escasos estudios publicados de subsuelo, en donde se menciona la presencia de capas con carbón (Lesta y Sylwan, 2005). La Cuenca de Claromecó se encuentra ubicada entre las provincias geológicas de Ventania y Tandilia, (Provincia de Buenos Aires, Argentina) y sus límites se extienden hacia el Este abarcando una parte de la plataforma argentina (Figura 1). En función de esta característica se define como una cuenca mixta, con una superficie aproximada de 45.000 km² dentro del continente y 20.000 km² en el *offshore* (Zilli *et al.* 2005).

Se reconocen para la Cuenca de Claromecó dos sectores (Ramos y Kostadinoff 2005): a) un sector suroccidental que comprende la secuencia rocosa altamente deformada, con espesores engrosados, cuyo esquema geológico puede consultarse en los siguientes trabajos: Von Gosen *et al.* (1990), Tomezzoli y Cristallini (1998), Ramos (1999) y Dimieri *et al.* (2005). El ejemplo de esta configuración se observa directamente en las Sierras Australes de la Provincia de Buenos Aires; b) El segundo sector o sector nororiental se conoce como la antefosa de Claromecó y se caracteriza por la escasa deformación, dado que se han reconocido capas horizontales en subsuelo, al Este de la localidad de Tres Arroyos (Figura 1).

En el sector de Sierras Australes de la Provincia de Buenos Aires la secuencia rocosa ha sido interpretada como una faja plegada y corrida, cuya deformación disminuye hacia el este y los ejes de los pliegues tienen una dirección noroeste-sureste. Los afloramientos más antiguos se encuentran hacia el oeste (Von Gosen *et al.* 1990 y Tomezzoli y Cristallini 1998).

La Formación Tunas (Harrington 1947) corresponde a la parte superior del Grupo Pillahuincó (Harrington 1947). Dicha formación se extiende en el sector oriental de las Sierras Australes, desde el norte de la Sierra de Las Tunas hasta el sur de la Sierra de Pillahuincó y continúa en subsuelo hacia el Este en la Cuenca de Claromecó, con algunos afloramientos aislados en la zona de Gonzales Cháves.

Harrington (1947) le asigna una edad pérmica en base a su contenido paleoflorístico. López Gamundi *et al.* (2013) publican una edad pérmica temprana (280.8 ± 1.9 Ma, Asseliano a Artinskiano temprano) en base a dataciones isotópicas radimétricas en afloramientos de tobas de la Formación Tunas.

Existen diversos estudios publicados para la Formación Tunas en afloramientos pertenecientes a las Sierras Australes. La formación está integrada por areniscas finas de color verde claro, con laminación entrecruzada, silicificadas, que alternan con limolitas y lutitas finamente laminadas de color morado y verdoso (Harrington 1947; Andreis *et al.* 1979; Andreis y Cladera 1992; López Gamundi 1996). En cuanto al espesor, Andreis *et al.* (1976) midieron 710 metros de espesor en el

sector oeste, mientras que Suero (1972) menciona 2400 metros en el sector sudeste y Japas (1986) ha medido 1000 metros.

Los estudios de procedencia publicados por López Gamundi (1996) para la Formación Tunas, indican que existen diferentes áreas de procedencia, evidenciadas por paleocorrientes dominantes desde el sudoeste y modas detríticas caracterizadas por porcentajes bajos a moderados de cuarzo y abundantes fragmentos líticos de origen volcánico y metamórfico. Dicho autor interpreta que estas modas son típicas de cuencas que evolucionaron de una fase inicial extensional a una parte posterior de antepaís. Estas características se relacionarían con eventos tectónicos que afectaron el margen sudoccidental de la cuenca durante el Pérmico Temprano a Tardío (Tomezzoli 2001; Massabie *et al.* 2008).

En cuanto a paleoambientes, la parte basal de esta formación ha sido considerada como la culminación de un ciclo regresivo caracterizado por la formación de islas barrera, seguido hacia la parte media y superior por condiciones de inundación marina, como lo señala la mayor proporción de pelitas (Andreis *et al.* 1989). Zavala *et al.* (1993) reportaron la existencia de depósitos fluviales en la localidad de Las Mostazas.

En cuanto al grado de diagénesis, Iñíguez Rodríguez y Andreis (1971) argumentan que las formaciones Bonete y Tunas no alcanzan un estado de metamorfismo. Buggisch (1989), a partir de datos de cristalinidad de la illita y recristalización del cuarzo, establece un ámbito de catagénesis a metamorfismo de muy bajo grado para las formaciones Piedra Azul y Bonete. Por otro lado, Von Gosen *et al.* (1989) definen una zona de anquimetamorfismo para las Formaciones Bonete y Tunas a partir de datos similares.

Estudios paleomagnéticos indican que la Formación Tunas adquiere su magnetización durante el plegamiento en distintos estadios de la deformación (Tomezzoli 1997; Tomezzoli y Vilas 1999; Tomezzoli 2001). En la Sierra de las Tunas (base de la secuencia) las magnetizaciones son claramente sintectónicas y de edad pérmica temprana, mientras que hacia el techo de la secuencia en la Sierra de Pillahuincó las magnetizaciones están menos afectadas por la deformación y son previas al Pérmico Temprano Tardío. La presencia de magnetizaciones sintectónicas con diferentes porcentajes de despliegue, permitió demostrar que hacia el techo de la secuencia disminuye el grado de acortamiento tectónico indicando una migración del frente orogénico hacia el este-noreste, con una atenuación gradual de la deformación a lo largo del tiempo (Tomezzoli 1999; Tomezzoli y Vilas 1999; Tomezzoli 2001). A partir de la integración de estos resultados con otros de localidades vecinas, Tomezzoli (2012) propuso que la deformación en este sector del Gondwana habría comenzado en el Devónico Tardío como consecuencia de la colisión de Chilenia y Patagonia y habría continuado hasta el Pérmico Temprano Tardío – Pérmico Tardío Temprano como producto de la acomodación de estas microplacas (Figura 2).

En cuanto a datos de subsuelo de la Formación Tunas, Lesta y Sylwan (2005) publicaron datos estratigráficos de la Cuenca de Claromecó basados en la perforación Paragüil y en una línea sísmica.

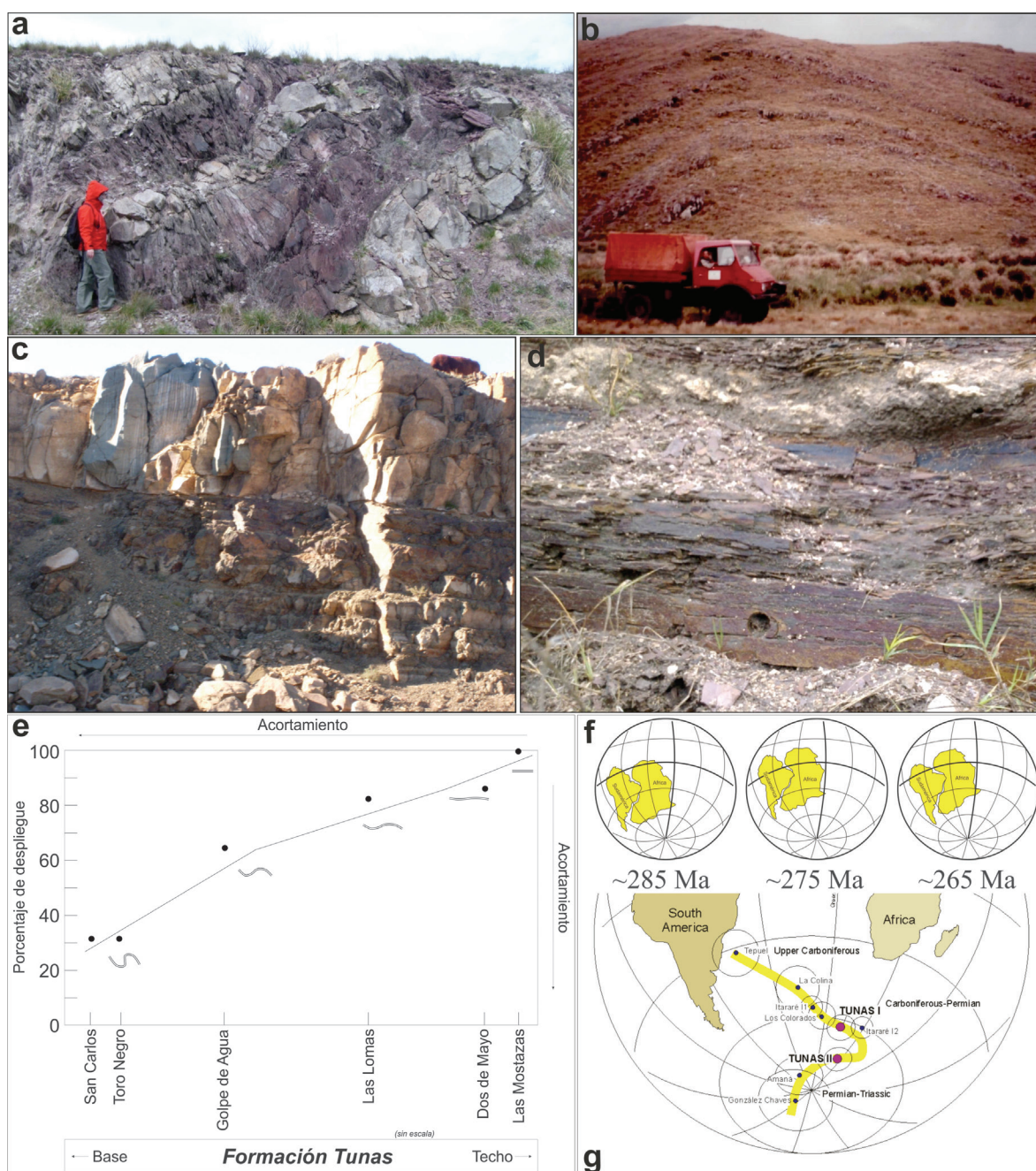


Figura 2. Fotografías de afloramientos de distintas localidades de la Formación Tunas, que muestran un plegamiento más cerrado con longitudes de onda más cortas en las localidades de la base y un plegamiento más abierto con longitudes de mayores longitudes de onda en las del techo: a) Ruta 76, b) Estancia San Carlos, c) Cantera Las Mostazas, d) Gonzales Chavez. e) Valores de acortamiento en las diferentes localidades de acuerdo a su posición estratigráfica (Tomezzoli 1999). Los estratos en el techo de la secuencia se observan prácticamente horizontales. f) Reconstrucción paleomagnética Pérmica basada en los polos paleomagnéticos Tunas I y Tunas II (Tomezzoli y Vilas 1999; Tomezzoli 2001). g) Curva polar aparente propuesta por Tomezzoli (2009). Tunas I corresponde a la base de la secuencia y Tunas II al techo.

mica, pertenecientes a la empresa Pan American Energy. Dichos autores describen a la Formación Tunas como una intercalación de areniscas y limolitas, con la presencia de fangolitas carbonosas e interpretan un ambiente de condiciones infralitorales y con escasa actividad de mareas, en una

plataforma de muy escasa pendiente.

Los registros de subsuelo del Pozo PANG0001 fueron donados por la Empresa Rio Tinto Mining and Exploration Limited, Sucursal Argentina, a la Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina. Dicho pozo se encuentra ubicado en la Cuenca de Claromecó (37° 34' 48" Lat. S, 61° 6' 57,35" Long. O; Figura 1). Las rocas perforadas en el mismo corresponden a la Formación Tunas. La parte inferior del pozo atraviesa capas de areniscas finas de bases netas intercaladas con bancos de fangolitas negras que contienen nódulos de pirita. Se intercalan en esta sección tres capas de carbón de aproximadamente un metro de espesor cada una. En las fangolitas se indentifican improntas de *Glossopteris*, *Gangamopteris*, *Lycopsidas* y algunos restos leñosos carbonizados. Hacia la parte superior se observan areniscas medias de bases erosivas intercaladas en menor cantidad con fangolitas negras, carbonosas y fangolitas verdosas, que en el último tramo presentan nódulos de hematita. En toda la secuencia se observan intercalaciones de láminas de hasta dos centímetros de espesor de matas algáceas (Figura 3).

Zorzano *et al.* (2011) realizan un análisis de facies en el pozo PANG0001, complementado con registros de rayos gamma. Esto permitió reconocer 4 secuencias elementales de facies, correspondientes a: 1) lutitas de plataforma a prodelta, 2) lóbulos arenosos de plataforma, 3) barras de plataforma a barras de desembocadura dominadas por olas y 4) canales fluviales a estuarinos, pantano interdistributario a llanura aluvial.

Desde el punto de vista oleogenético, es importante definir tanto el nivel de diagénesis alcanzado por una formación, así como también comprender el contexto tectónico y estructural vinculado a su depositación y evolución geológica. Con este criterio, en el primer caso, se analizaron muestras de carbón y pelitas carbonosas de la Formación Tunas, provenientes de las coronas de perforación del pozo PANG0001. Mediante el estudio de la petrografía en dichas muestras (análisis de macerales y reflectancia de vitrinita), se pretende determinar el rango (clasificación) del carbón. De este modo es posible conocer el nivel de diagénesis alcanzado por la formación, conocer su potencialidad como roca generadora de hidrocarburos (ventana de generación) y definir el ambiente donde los mantos de carbón se han depositado. Para comprender el marco tectónico y estructural se realizaron estudios de anisotropía de susceptibilidad magnética (ASM) en muestras extraídas de afloramientos, que fueron comparados con estudios paleomagnéticos previos.

METODOLOGÍA

En el Laboratorio de Petrografía de Carbones del Instituto de Geología Económica Aplicada (GEA), de la Universidad de Concepción (Concepción, Chile), se analizaron siete briquetas de muestras de carbón y pelitas carbonosas pertenecientes a la Formación Tunas, extraídas en el pozo PANG0001, cinco provenientes de la parte inferior de perfil y dos de la parte superior. Inicial-

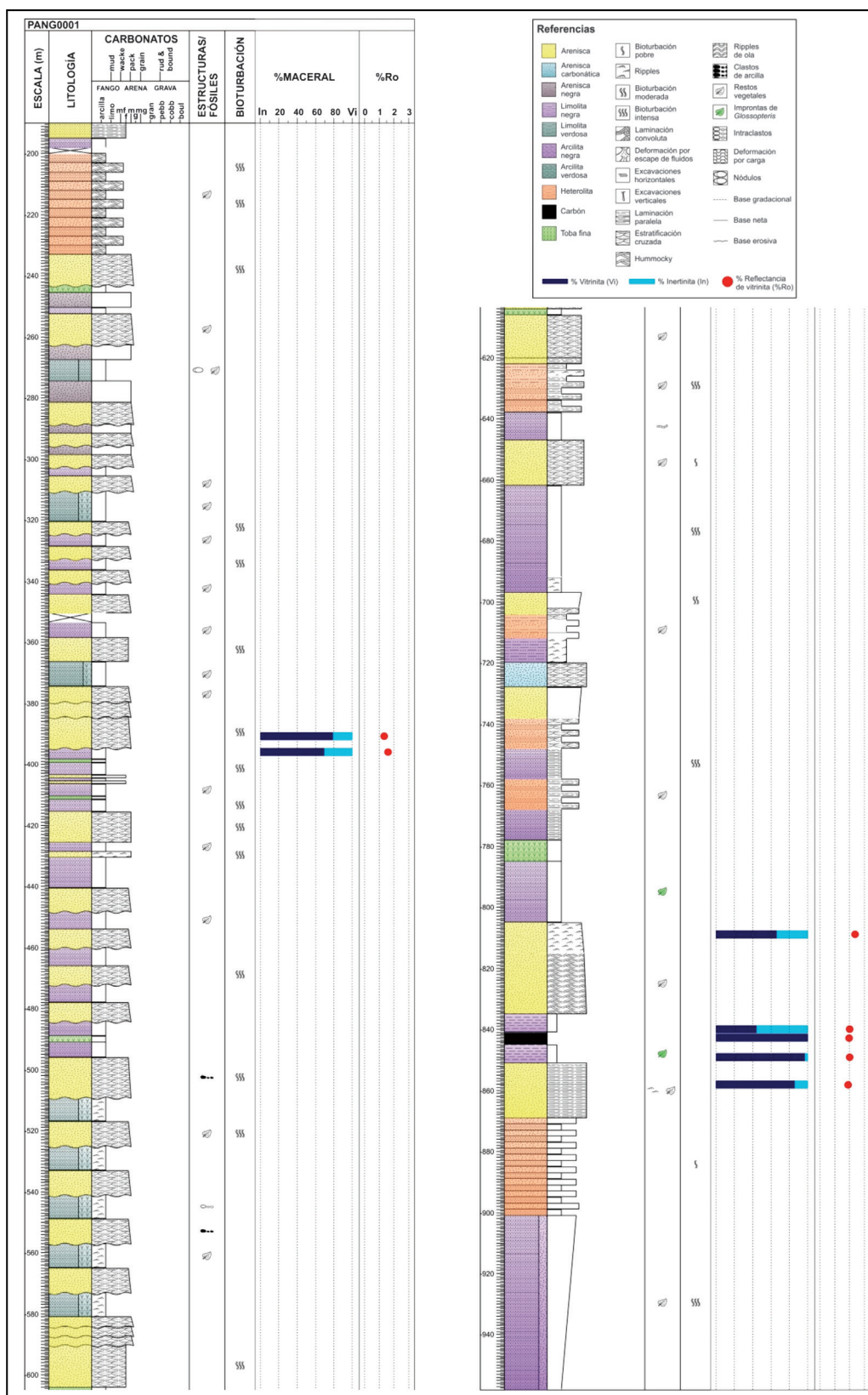


Figura 3. Perfil de la Formación Tunas en el pozo PANG0001, los porcentajes de macerales (In: inertinita, en azul; Vi: vitrinita, en celeste) y los porcentajes de reflectancia media de la vitrinita (%Ro, puntos rojos).

mente se reconocieron los macerales y, mediante contador puntual, se calculó el porcentaje de los mismos y de la materia mineral. En collotelinita, o en algunos casos en gelovitritina, se midió la reflectancia de la vitritina.

El equipo utilizado para la Petrografía de carbones corresponde a un microscopio Leitz MPV-Combi con retículo incorporado, objetivo 32x para aceite de inmersión y contador automático Swift. Para el caso del conteo de macerales, la distancia entre puntos debe ser de 0,5mm. Se miden como mínimo 1000 puntos sobre toda la superficie útil de una briqueta, pulida según especificaciones de norma ASTM 2797. Se contabiliza sólo el maceral (o partícula mineral) que se encuentra en la intersección del retículo del microscopio.

En el caso de la reflectancia, se utiliza un equipo Leitz ORTHOPLAN-POL con fotómetro espectral Leitz MPV-SP, con suministro de corriente de energía estable y una unidad de control MPV COMB. Se utilizó un estándar de SiC, con reflectividad de 7,47. Con el contador se miden 100 puntos por muestra, utilizando las bases de la norma ASTM D 2798-99. En carbones de alto rango se recomienda realizar mediciones solo en collotelinita.

Los valores de reflectancia de la vitritina obtenidos se utilizaron para conocer el rango de las muestras de carbón y el porcentaje de materia volátil que contienen, utilizando el gráfico de Borntraeger (1982). El mismo, muestra la relación entre la reflectancia de la vitritina, el rango del carbón (según las normas ASTM), el porcentaje de materia volátil que contiene y permite observar en qué estadio de la ventana de generación se encuentra.

La anisotropía de susceptibilidad magnética (ASM) es una técnica efectiva utilizada para medir la petrofábrica de las rocas, ya sea de origen primario o tectónico (Graham 1954; Borradaile 1988).

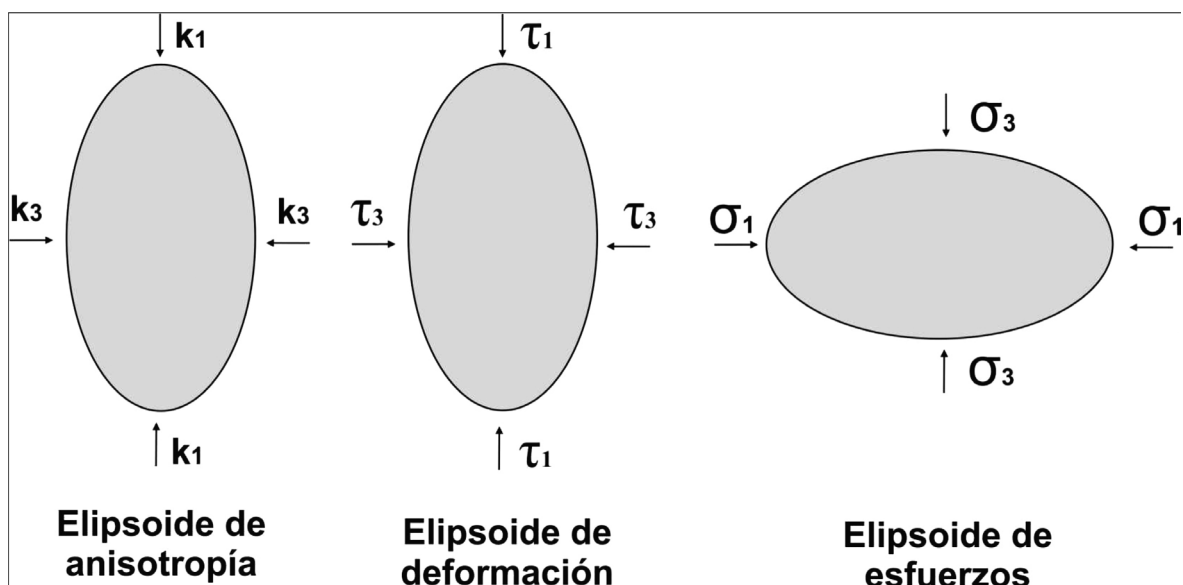


Figura 4. Relaciones entre el elipsoide de anisotropía, deformación y esfuerzo. K_1 ($K_{\max}$): eje mayor del elipsoide de anisotropía; K_3 ($K_{\min}$): eje menor del elipsoide de anisotropía; T (tao): deformación; σ (sigma): esfuerzo (Tarling y Hrouda 1993). El eje mayor ($K_{\max}$) del elipsoide de anisotropía es perpendicular al máximo esfuerzo (σ_1) y el eje menor ($K_{\min}$) perpendicular al plano de estratificación.

El método está basado en la medición de la intensidad de la magnetización y en la orientación de los minerales ferromagnéticos (Gleizes *et al.* 1993) presentes en las rocas. Mediante el mismo se obtiene un elipsoide de anisotropía, que es coaxial con el elipsoide de esfuerzos, siendo el eje mayor ($K_{\text{máx}}$) del primero perpendicular al máximo esfuerzo (σ_1) y el eje menor (K_{min}) perpendicular al plano de estratificación (Figura 4).

Las mediciones de ASM fueron realizadas en el Laboratorio de Paleomagnetismo “Daniel A. Valencio” (INGEODAV) del Departamento de Geología de la Universidad de Buenos Aires, con un equipo Kappabridge. Se utilizaron 480 especímenes estándar para paleomagnetismo provenientes de 8 localidades de la Formación Tunas, aflorantes en las Sierras Australes, que ocupan posiciones estratigráficas y estructurales diferentes dentro de las Sierras Australes y de la Cuenca de Claromecó: Estancia San Carlos, Estancia Peñaflor y Ruta 76, aflorantes en el ámbito de las Sierra de las Tunas, Estancia Las Lomas-La Susana, Estancia 2 de Mayo, Arroyo Paretas sobre la ruta provincial N° 51 y Cantera Las Mostazas, en la Sierra de Pillahuincó; y Gonzáles Chavez, en el ámbito de la Cuenca de Claromecó (Figura 1). Se determinaron los principales ejes de anisotropía (K_{max} , K_{int} y K_{min}) y su magnitud (P_j).

RESULTADOS

Análisis de macerales

Los macerales son los constituyentes microscópicos de origen orgánico. La identificación de los mismos se realiza sobre la base de sus características de reflectividad y morfología.

Los carbones de la Formación Tunas están representados por bandas monomacerálicas de hasta dos centímetros de espesor, formadas por macerales del grupo de la vitrinita, o bien de la inertinita, con completa ausencia de macerales del grupo de la liptinita.

- Del grupo de la vitrinita predominan collotelinita (Col) y gelovitrinita (Ge). En menor cantidad se observó corpogelinita (Cor; Figura 5).
- Del grupo de la inertinita se observó únicamente fusinita (Fu; Figura 5).

Las muestras presentan pirita (Py), generalmente en forma de nódulos (hasta 11%; Figura 5).

La Figura 6 muestra los resultados del análisis de macerales, con indicación de los porcentajes relativos de cada grupo maceral, además de materia mineral y pirita.

Reflectancia de vitrinita

La reflectancia se midió principalmente en collotelinita, aunque en algunas muestras no fue posible distinguir ésta de gelovitrinita, por lo cual los valores pueden resultar un poco más altos

de lo que deberían, dando lugar a algunos errores.

Los valores obtenidos de reflectancia media de la vitrinita (R_o media) son de alrededor de 2% en las muestras extraídas de la parte inferior del perfil (a 850 metros de profundidad aproximadamente) y llega a valores mínimos de 1,36%, en las muestras extraídas de la parte superior del mismo (a 400 m de profundidad aproximadamente). 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 (Figuras 3 y 7).

Según los resultados de reflectancia de la vitrinita, las muestras de carbón extraídas en la sección inferior del pozo PANG0001 clasifican como semiantracíticos y las muestras extraídas en la parte superior clasifican como bituminosos con bajo a medio contenido en volátiles. El contenido de materia volátil calculado según gráfico de Borntraeger (1982; Figura 8) va de 9 a 14% en las muestras extraídas en la parte inferior y de 18 a 24% en las muestras extraídas de la parte superior (Figura 7).

Se infiere, sobre la base de los datos de reflectividad de vitrinita obtenidos en el perfil del pozo PANG0001, que la parte inferior de la Formación Tunas alcanzó la ventana de generación de gas metano (catagénesis tardía; Borntraeger 1982), mientras que la parte superior sólo alcanza la ventana de generación de gases condensados y húmedos (Figuras 7 y 8).

Anisotropía de susceptibilidad magnética (ASM)

En todas las localidades analizadas, los datos de ASM muestran buena consistencia interna dentro de cada sitio de muestreo. Esto permite correlacionar los rasgos estructurales presentes en cada localidad de muestreo con los patrones de ASM encontrados, que van cambiando en términos de la expresión tectónica sobreimpresa. Los ejes $K_{máx}$ del elipsoide de anisotropía, que marcan la dirección de máxima elongación, se orientan con rumbo NO-SE, paralelos al rumbo de los ejes de los pliegues y tienden a ser constantes en todas las localidades de muestreo (Figura 9). Este tipo de registro parece estar tectónicamente controlado. Los ejes K_{min} , relacionados con ejes de acortamiento, muestran una distribución bimodal aunque se ubican paralelos a los polos de los planos de estratificación. En la base de la columna estratigráfica, en las localidades más occidentales y con mayor deformación, los ejes se encuentran cercanos a la horizontal, con rumbos aproximados SO-NE, indicando un esfuerzo máximo compresivo (σ_1) en la misma dirección (Figura 9). En contraste, hacia el techo y en las localidades más orientales, el K_{min} tiende a ubicarse en la vertical, mostrando una fábrica claramente sedimentaria, con planos de estratificación horizontales.

Los valores de la magnitud de la anisotropía (P_i) son menores al 9,2% y muestran una disminución hacia el este, hacia las localidades donde se registra del techo de la secuencia.

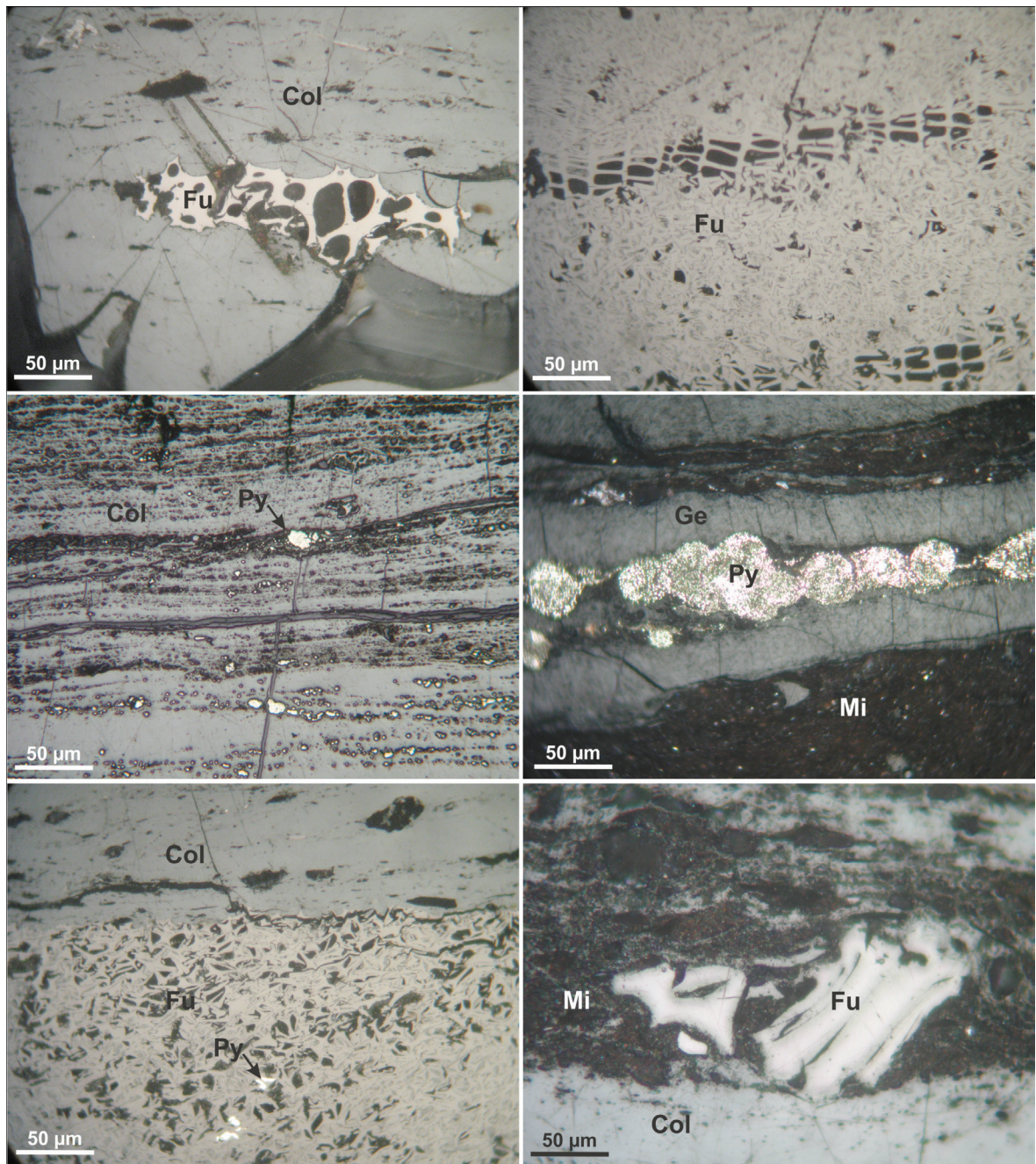


Figura 5. Microfotografías de briquetas de muestras de la Formación Tunas, extraídas del pozo PANG0001, con luz reflejada, donde se observan los distintos componentes (macerales, materia mineral y pirita). Col: collotelinita; Fu: fusinita; Py: pirita; Ge: gelinita; Mi: materia mineral.

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

Figura 6. Porcentaje de los distintos macerales, materia mineral y pirita de las muestras de la Formación Tunas extraídas del pozo PANG0001.

Muestra	Ro media	% Mat. Volátil	Rango (ASTM)	Ventana de generación
79 - BOX 242	1,945	13	Semiantracita	Gas húmedo
83 - BOX 240	2,071	12	Semiantracita	Gas metano
A - BOX 237	1,988	12,6	Semiantracita	Gas húmedo
C - BOX 237	2,022	12,2	Semiantracita	Gas metano
111 - BOX 226	2,380	9,5	Semiantracita	Gas metano
420 - BOX 81	1,600	18,2	Bituminoso bajo en volátiles	Gas húmedo
433 - BOX 76	1,365	23	Bituminoso medio en volátiles	Gas húmedo

Figura 7. Valores de reflectancia media de la vitrinita (Ro media), medida en muestras extraídas a distintas profundidades del pozo PANG0001, correspondientes a la Formación Tunas. A la derecha, porcentaje de materia volátil, rango (según las normas ASTM) y ventana de generación en que se encuentra el carbón, calculados a partir de Ro media.

DISCUSIONES

Los distintos métodos aplicados en muestras de la Formación Tunas, tanto en afloramiento como en subsuelo, proporcionaron un buen conocimiento sobre el grado de diagénesis que la misma ha alcanzado y sobre el contexto tectónico-estructural en que se encuentra dicha formación.

Los carbones de la Formación Tunas (de edad pérmica) están compuestos por bandas monomacerales formadas principalmente por los macerales collovitrinita y gelovitrinita, del Grupo de la Vitrinita, o bien por fusinita, del Grupo de la Inertinita. Las bandas formadas por vitrinita en general derivan de tejidos leñosos como tallos, ramas y raíces, lo cual indica un ambiente de bosque pantanoso. Las bandas formadas por fusinita, en cambio, son producto de incendios de pantanos, por lo tanto representan períodos en que la superficie de la turbera permanece seca y descende el nivel de la capa freática (Bustin *et al.* 1989). Este ambiente coincide con algunas de las interpretaciones previas realizadas por otros autores (Lesta y Sylwan 2005; Zorzano *et al.* 2011).

Los valores de reflectancia de la vitrinita fluctúan entre 1,9% y 2,38% en las muestras extraídas de la parte inferior de la Formación Tunas y entre 1,3% y 1,6% en las muestras extraídas de la parte superior de la misma. Estos valores permiten clasificar a los carbones de la parte inferior como se-

miantracíticos y a los de la parte superior como bituminosos con bajo contenido de volátiles. A partir de estos valores, podemos concluir que la Formación Tunas alcanzó, durante el soterramiento, la ventana de generación de gas seco o gas metano (en la parte inferior) hasta gases condensados y húmedos (en la parte superior). Se debe considerar un posible error debido a la dificultad en el reconocimiento de los macerales (si se mide R_o en gelovitrinita se obtendrán valores mayores a los reales).

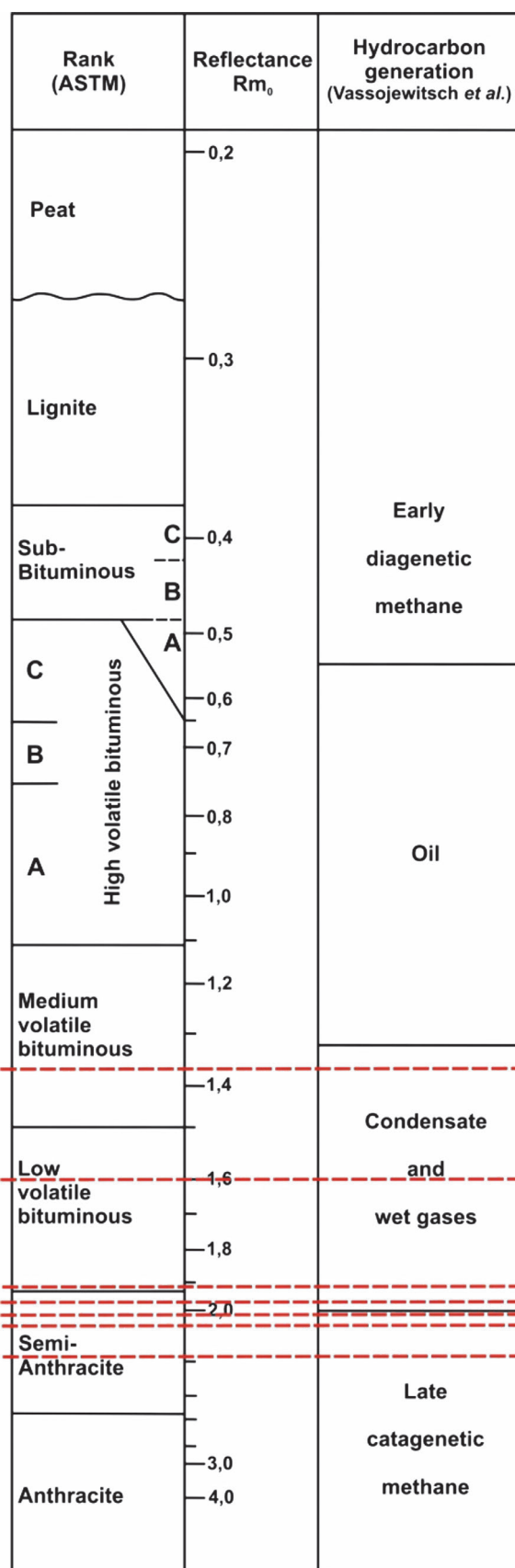


Figura 8. Gráfico donde se observan (con línea punteada roja) los valores de reflectancia media de la vitrinita (R_{m0}) obtenidos en los carbones de la Formación Tunas, el rango del mismo (según la norma ASTM) y el estado en el que se encuentra en relación a la ventana de generación de hidrocarburos líquidos gaseosos o sólidos (Extraído y modificado de Borntraeger, 1982).

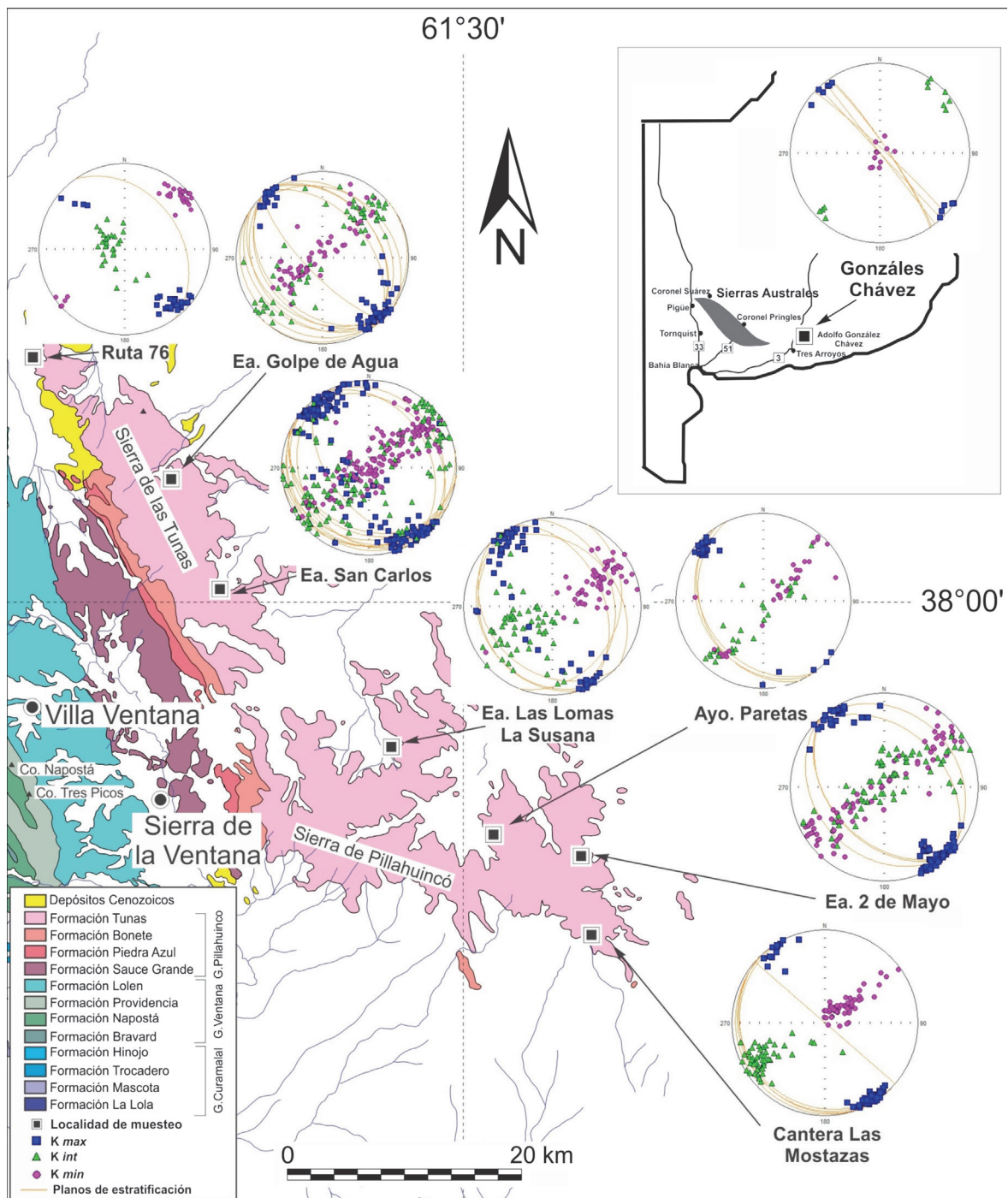


Figura 9. Elipsoides de anisotropía de susceptibilidad magnética obtenidos en cada una de las localidades de la Formación Tunas. Se observa un K_{max} con dirección noroeste-sudeste y un K_{min} que tiende a posiciones verticales hacia las localidades del oeste, hacia el techo de la formación.

Por otro lado, las diferencias encontradas en los patrones de las fábricas magnéticas entre la base y el techo de la Formación Tunas son consistentes con las diferencias estratigráficas, paleomagnéticas y estructurales, presentes en la cuenca de depositación. En las localidades

ubicadas hacia el Este de la cuenca donde los estratos son más jóvenes, y las magnetizaciones son sintectónicas al 85% de despliegue, los ejes K_{min} están casi en la vertical, evidenciando fábricas predominantemente sedimentarias. Sin embargo en las localidades ubicadas hacia el Oeste, con registro de la base de la columna estratigráfica y por lo tanto más antiguas, con mayor deformación y magnetizaciones sintectónicas al 35% de despliegue, los ejes K_{min} tienden a ubicarse en la horizontal y perpendicular a los ejes de los plegamientos, evidenciando claramente la influencia de los esfuerzos tectónicos actuantes al momento de la depositación de los sedimentos.

Todas estas evidencias geológicas estarían indicando que la deformación en la región actuó desde el sudoeste y se fue atenuando durante el Pérmico Temprano al Pérmico Tardío, evidenciando también la migración del frente orogénico hacia la cuenca de antepaís ubicada en el noreste, dejando en la Cuenca de Claromecó una leve impronta tectónica.

Los datos aportados en este trabajo permiten caracterizar a la Formación Tunas como una potencial roca generadora de un sistema de petróleo/gas/carbón. Las capas de carbón y fangolitas carbonosas podrían haber generado gas durante su historia diagenética y el mismo podría estar alojado en las facies más gruesas, que actuarían como reservorio. Por otra parte, este carbón podría estar alojando actualmente gas, lo que se conoce como gas de carbón (GDC).

REFERENCIAS CITADAS

- Andreis, R.R. y G. Cladera, 1992, Las epiclastitas pérmicas de la Cuenca Sauce Grande (Sierras Australes, Buenos Aires, Argentina), Parte 1: Composición y procedencia de los detritos, *Actas 4° Reunión de Sedimentología*, 1: 127-134, La Plata.
- Andreis, R.R., A.M. Iñiguez Rodríguez, J.J. Lluch y S. Rodríguez, 1989, Cuenca paleozoica de Ventania. Sierras Australes de la provincia de Buenos Aires, En: Chebli, G. Spalletti, L. (Eds.): *Cuencas sedimentarias argentinas, Serie Correlación Geológica*, 6:265-298, San Miguel de Tucumán.
- Andreis, R.R., J.J. Lluch y A.M. Iñiguez Rodríguez, 1979, Paleocorrientes y paleoambientes de las Formaciones Bonete y Tunas, Sierras Australes de la Provincia de Buenos Aires, Argentina, *Actas 6° Congreso Geológico Argentino*, Buenos Aires, 2: 207-224.
- Borntraeger, G., 1982, Stach's Textbook of Coal Petrology, Eds: Stach, E., Th. Mackowsky, M., Teichmüller, M., Taylor, G.H., Chandra, D., Teichmüller, R.
- Borradaile, G.J., 1988, Magnetic susceptibility, petrofabrics and strain, *Tectonophysics*, 156, 1-20.
- Buggisch, W. E., 1989, Stratigraphy and Very Low Grade Metamorphism of the Sierras Australes de la Provincia de Buenos Aires (Argentina) and Implications in Gondwana Correlation, *Zbl. Geol., Paläont, Teil I (7/8)*: 819-837, Stuttgart.
- Bustin, R.M., A.R. Cameron, D.A. Grieve, y W.D. Kalkreuth, 1983, Coal Petrology, Its principles, methods, and applications, Ed: Geological Association of Canada.
- Dimieri, L., S. Delpino, y M. Turienzo, 2005, Estructura de las Sierras Australes de Buenos Aires, EN: *Geología y Recursos Minerales de la provincia de Buenos Aires, Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino*, La Plata, 101-118.

- Gleizes, G., A. Nédélec, J.L. Bouchez, A. Autran y P. Rochette, 1993, Magnetic susceptibility of the Mount Louis-Andorra ilmenite type granite (Pyrenees): a new tool for the petrographic characterization and regional mapping of zoning granite plutons, *Journal of Geophysical Research*, 98, 4317-4331.
- Graham, J.W., 1954, Magnetic susceptibility, an unexploited element of petrofabric, *Geological Society of American Bulletin* 65, 1257-1258.
- 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, Boletín 61.
- Iñiguez, A. M. y R.R. Andreis, 1971, Caracteres sedimentológicos de la Formación Bonete, Sierras Australes de la provincia de Buenos Aires, *Reunión Geológica de las Sierras Australes Bonaerenses*, Provincia de Buenos Aires, Comisión de Investigaciones Científicas, La Plata, p. 103-120.
- Japas, M.S., 1986, Caracterización geométrico-estructural del Grupo Pillahuincó. I. perfil del arroyo Atravesado. Sierra de Las Tunas, Sierras Australes de Buenos Aires, *Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, Buenos Aires, *Anales* 38:145-156.
- Lesta P. y C. Sylwan, 2005, Cuenca de Claromecó, VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Simposio Frontera Exploratoria de la Argentina, pp. 217-231, Eds: Chebli, G.A., Cortiñas, J.S., Spalletti, L.A., Legarreta, L., Vallejo, E.L.
- 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): 1-10.
- López Gamundi, O.R., A. Fildani, A. Weislogel, y E. Rossello, 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, p. 250-258. Massabie, A.C., O.E.
- Massabie, A.C., Nestiero, O.E., 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 (2): 163-171.
- 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 J. Kostadinoff, 2005, La cuenca de Claromecó. Relatorio del 16° Congreso Geológico Argentino, 471-480, La Plata.
- Tomezzoli, R.N., 1997, Geología y Paleomagnetismo en el ámbito de las Sierras Australes de la provincia de Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires, Tesis doctoral inédita, 327p.
- 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 (3): 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., 2012, Chilenia y Patagonia: el mismo continente alóctono a la deriva?, *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 69 (2), 220 – 237.

- Tomezzoli, R.N. y E. O. Cristallini, 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(1): 117-129.
- Tomezzoli, R.N y J. F. Vilas, 1999, Paleomagnetic constraints on age of deformation of the Sierras Australes thrust and fold belt, Argentina, *Geophysical Journal International*, 138: 857-870.
- Von Gosen, W., W. Buggisch y L.V. Dimieri, 1990, Structural and metamorphic evolution of the Sierras Australes (Buenos Aires province/Argentina), *Geologisches Rundschau*, 79(3): 797-821.
- Von Gosen, W., W. Buggisch y S. Krumm, 1989, Metamorphism and deformation mechanisms in the Sierras Australes fold and thrust belt (Buenos Aires Province, Argentina), *Tectonophysics*, 185: 335-356.
- Zilli, N., E. Vallejo, H. Pelliza, y P. Dos Santos, 2005, El esfuerzo exploratorio en Argentina. En Chebli, G., Cortiñas, J.S., Spalletti, L.A., Legarreta, L y Vallejo, E.L. (editores): *Simposio frontera Exploratoria de la Argentina, VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos*: 5-40 p.
- Zavala, C.A., M.F. Santiago y G.E. Amaolo, 1993, Depósitos fluviales de la Formación Tunas (Pérmico), Cuenca Paleozoica de Ventania, Provincia de Buenos Aires, *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. 48 (3-4): 307-316.
- Zorzano, A., M. Di Meglio, C. Zavala y M.J. Arcuri, 2011, La Formación Tunas (Pérmico) en la Cuenca interserrana, Primera correlación entre campo y subsuelo mediante registros de rayos gamma, *Actas del XVIII Congreso Geológico Argentino*, Eds. Leanza, Franchini, Impiccini, Pettinari, Sigismondi, Pons y Tunik, p. 345. Neuquén, Argentina.