NUEVA EDAD DE LA BASE DEL GRUPO CHUBUT EN LA MENA URANÍFERA CERRO SOLO, PROVINCIA DEL CHUBUT

Nilda MARVEGGIO[1] y Magdalena LLORENS[1, 2]

[1] Comisión Nacional de Energía Atómica, Regional Patagonia. E-mail: marveggio@cnea.gov.ar
[2] Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

RESUMEN

En este trabajo se analizan las características litológicas de la roca hospedante de la mineralización de uranio del yacimiento Cerro Solo, que corresponde al miembro inferior de la Formación Los Adobes, unidad basal del Grupo Chubut en su sector norte. Se analiza la asociación de polen angiospérmico de allí recuperada, y en base a ese análisis, se establece una edad albiana temprana para la asociación polínica, que determina una edad más joven que la considerada hasta el momento para el inicio de la depositación de las sedimentitas del Grupo Chubut en el depocentro del yacimiento Cerro Solo.

Palabras clave: *Formación Los Adobes, polen tricolpado, Albiano, Patagonia*

ABSTRACT

New age of the base of the Chubut Group at the Cerro Solo uranium reservoir, Chubut Province.
This paper analyzes the lithological characteristics of the uranium mineralization host rocks from Cerro Solo reservoir, corresponding to the lower member of the Los Adobes Formation, basal unit of the Chubut Group in its northern sector. The angiosperm pollen association there recovered is analyzed. According with this analysis, an early Albian age for the pollen association is established, that determines a younger age than that considered until now for the beginning of deposition of the Chubut Group sediments at the Cerro Solo reservoir depocentre.

Keywords: *Los Adobes Formation, tricolpate pollen, Albian, Patagonia*

INTRODUCCIÓN

El Grupo Chubut es una unidad de gran interés económico, que contiene los principales yacimientos de hidrocarburos y uranio de la provincia de Chubut. Es ampliamente reconocido también por su contenido paleontológico, que cuenta principalmente con numerosos restos fósiles de vertebrados (*e. g.* Rich *et al.* 1998, De la Fuente *et al.* 2011, Novas *et al.* 2005, Gaffney *et al.* 2007), y algunas menciones de invertebrados y flora (Musachio, 1972, Musachio y Chebli, 1975, Frenguelli, 1930, Menéndez, 1959, Gamerro, 1977, Passalia *et al.* 2000 y 2009).

El Grupo se depositó en la cuenca del Golfo San Jorge, abarcando un área muy extensa que puede ser dividida en dos sectores: norte y sur, siendo la sierra Cuadrada el límite entre ambos (Lesta *et al.* 1980, Anselmi *et al.* 2004). En el sector sur, en la zona de Sierra de San Bernardo y alrededores, la exploración de hidrocarburos ha permitido obtener numerosos reportes palinológicos (*e. g.* Archangelsky *et al.* 1994), en tanto el sector norte cuenta con muy escasos y dispersos hallazgos paleontológicos con valor bioestratigráfico y esto hace muy difícil establecer edades a esos sedimentos.

La edad de esta unidad en el sector norte ha sido fundada mayormente por dataciones relativas, que establecen la edad del techo por los movimientos inter-senonianos que determinaron la finalización de la depositación de la cuenca, y la base, posterior a la colmatación de la subyacente cuenca de Cañadón Asfalto (definida en Homovc *et al.*, 1991 y Figari y Courtade, 1993).

De esta manera, la edad del Grupo Chubut ha sido considerada como valanginiana temprana-senoniano por diversos autores (Barcat *et al.* 1989, Proserpio 1987 y Cortiñas 1996), o su base de edad valaginiana-hauteriviana (Lesta y Ferello 1972, Berizzo 1976). Sin embargo, ya Masiuk (1991, en Figari y Courtade 1993) reconsideró la bioestratigrafía de la sección superior en la subyacente cuenca Cañadón Asfalto datada como jurásica, y concluyó que debía ser incluida en una serie sedimentaria cretácica de edad berriasiana-hauteriviana, estableciendo así una edad al menos barremiana tardía-campaniana para el Grupo Chubut.

Recientemente, un estudio detallado de la microflora y contenido de conchostracos de la sección superior de la cuenca de Cañadón Asfalto permitió confirmar su edad cretácica, ubicándola dentro del Valanginiano (Volkheimer *et al.* 2008). De esta manera, esa edad quedó descartada para la base del Grupo Chubut.

Por otra parte, existe un estudio de pa-

leomagnetismo que revela una orientación normal de los cristales en las muestras tomadas en ambas unidades formacionales dentro del Grupo Chubut, que las ubica dentro del supercrón normal del Cretácico, que abarca desde el Aptiano al Campaniano (Geuna *et al.* 2000). De esta manera, quedaron descartadas también las edades neocomiana y barremiana para la base del Grupo Chubut.

En el sector norte de la cuenca, se contaba hasta el momento con dos únicas evidencias bioestratigráficas; una corresponde a una asociación de carofitos, ostrácodos y megasporas proveniente de la zona del Barrancal y de la estancia Los Manantiales, referida al "Chubutiano" (Musacchio 1972, Gamerro 1977). De esta manera, Musachio y Chebli (1975) establecen una edad aptiana para el Miembro Cerro Barcino de la Formación Gorro Frigio de Nakayama (1972) (equivalente a la Formación Cerro Barcino de Codignotto *et al.* 1978). Actualmente, los niveles portadores de esa asociación en la localidad del Barrancal se han redefinido y son hoy atribuibles a la sección superior de la Formación Cañadón Asfalto (Figari 2005). El hallazgo de ostrácodos (Musacchio 1995) y palinomorfos (Vallati 2001) en la sierra de la Manea permitió a estos autores proponer una edad neocomiana para la Formación Los Adobes. Sin embargo, en una propuesta estratigráfica reciente (Figari 2011), los niveles portadores de esa asociación fueron incluidos en una nueva unidad formacional de edad titho-neocomiana, subyacente a la Formación Los Adobes.

Más recientemente, la Comisión Nacional de Energía Atómica desarrolló estudios de maduración y diagénesis de la materia orgánica en muestras provenientes de la base del Grupo Chubut en el yacimiento Cerro Solo (Maloberti *et al.* 2005). Se menciona allí el hallazgo de material palinológico en una de las muestras analizadas, lo que permitió proponer una edad albiana para el piso de la Formación Los Adobes. Esta edad fue confirmada luego por un estudio palinológico de numerosas muestras que representan un número considerable de sondeos del mismo yacimiento (Llorens y Marveggio 2009).

En este trabajo se realiza una descripción de las secuencias estratigráficas atravesadas por perforaciones en el área denominada como distrito uranífero Pichiñán Este y se describe el tipo de facies sedimentarias que integran la columna fluvial del Miembro Arroyo del Pajarito, unidad estratigráfica basal del Grupo Chubut. Se hace especial hincapié en las facies portadoras de materia orgánica vegetal y palinomorfos, que al mismo tiempo conforman la roca hospedante de la mineralización de uranio, y su distribución vertical dentro de la columna fluvial. Mediante un análisis palinoestratigráfico se establece la edad de las mismas en base a la asociación de polen angiospérmico.

MARCO GEOLÓGICO

El Grupo Chubut es una de las unidades cretácicas de Patagonia con mayor extensión areal, y corresponde a una potente sucesión de rocas sedimentarias continentales de origen fluvial y lacustre en la sección basal, cubiertas por otra de naturaleza eminentemente piroclástica. La depositación de esos sedimentos tuvo lugar dentro de la cuenca del Golfo San Jorge, que abarca gran parte de la provincia de Chubut, noreste de Santa Cruz y una porción de la plataforma continental. Su estratigrafía ha sido largamente discutida y de difícil interpretación, debido a que se depositó durante un prolongado lapso de tiempo con una gran distribución geográfica donde los sedimentos muestran relaciones de engranaje lateral, recibiendo diferentes nombres en sus sectores norte y sur (Lesta *et al.* 1980, Fitzgerald *et al.* 1990, Figari *et al.* 1999, Figari *et al.* 2002, Anselmi *et al.* 2004).

Ha habido numerosas interpretaciones estratigráficas para estos sedimentos cretácicos del centro y norte de la provincia de Chubut (Cuadro 1) pero en la actualidad es ampliamente aceptado el esquema estratigráfico propuesto por Codignotto y colaboradores (1978) para el sector norte, que separa a este grupo en dos formaciones de amplia distribución geográfica. La inferior, llamada Formación Los Adobes con los miembros Arroyo del Pajarito y Bardas Coloradas, y la superior llamada Cerro Barcino, con los miembros Puesto La Paloma, Cerro Castaño y Las Plumas, en orden decreciente de edad. A estas unidades, pueden sucederlas en diferentes perfiles estratigráficos las formaciones Bayo Overo y Puesto Manuel Arce, de menor extensión areal.

La característica de la sedimentación de la Formación Los Adobes es la brusca variación lateral de espesor y rápido pasaje lateral de facies, que muestra el importante control tectosedimentario sobre esta unidad. En este sentido, Figari (2005) describe al Miembro Arroyo del Pajarito como una sección con barras gravosas gruesas de bajadas aluvionales proximales que rellenan depocentros aislados. En uno de esos depocentros se emplaza el yacimiento Cerro Solo, que forma parte del distrito uranífero Pichiñán Este, en el centro de la provincia del Chubut, dentro de la comarca geológica conocida como Chubut extraandino. El depocentro limita al oeste con el faldeo oriental de la sierra de los Pichiñanes y al este con el valle General Racedo (arroyo Perdido) y la sierra de Santa Ana, donde alcanza un espesor menor al de otros depocentros (perfiles de Cerro Fortín, Arroyo del Pajarito, Estancia Santana). En este distrito la secuencia estratigráfica inicia con un basamento volcánico de composición mesosilícica a básica, correspondiente al Miembro Pampa de Agnia de la Formación Lonco Trapial, de edad Jurásico Medio (Bajociano-Bathoniano) según Proserpio (1987). Esta subunidad mapeada en el ámbito del distrito y reconocida en subsuelo por las perforaciones realizadas, está integrada por facies lávicas y en menor medida tobáceas. Según Figari y García (1992) y Figari (2005), las volcanitas de la Formación Lonco Trapial y las otras unidades pre Grupo Chubut (Formación Cañadón Asfalto y Formación Sierra de La Manea) cuando están presentes, son afectadas por un intenso tectonismo extensional/transtensional, con importante rotación de bloques (Geuna *et al.* 2000), que lleva a la formación de estructuras de *horst* y graben. Este paisaje de bloques diferenciales

CUADRO 1: Cuadro comparativo de las propuestas estratigráficas para el sector norte de la cuenca del Golfo San Jorge.

Facies predominantes	Chebli *et al.* (1976)	Nakayama (1972)	Robbiano (1971)	Proserpio (1987)	Codignotto *et al.* (1978)
Tobácea de color ocre amarillenta	Fm. Puesto Manuel Arce			Fm. Cerro Barcino: Mb. Bayo Overo	Fm. Puesto Manuel Arce: Mb.Bayo Overo
Tobáceo arenosa abigarrada	Fm. Cañadón de las Víboras: Miembro Co. Castaño	Fm. Gorro Frigio: Miembro Cerro Barcino	Fm. Cerro Fortín: Miembro Superior	Fm. Cerro Barcino: Mb. Cerro Castaño	Fm. Cerro Barcino: Mb. Las Plumas; Mb. Cerro Castaño
Tobácea verde	Miembro Puesto La Paloma			Mb. Puesto La Paloma	Mb. Puesto La Paloma
Limo arenosa borravino	Miembro Cerro Mirador	Miembro Bardas Coloradas	Miembro Inferior	Fm. Los Adobes: Mb. Bardas Coloradas	Fm. Los Adobes: Mb. Bardas Coloradas
Conglomerádica basal		Miembro Arroyo del Pajarito		Mb. Arroyo del Pajarito	Mb. Arroyo del Pajarito

da lugar al desarrollo, discordancia mediante, de depósitos pedemontanos conformados por ruditas producto de la alteración de las rocas de la Formación Lonco Trapial, en disposición caótica, a los que Berizzo (1976) denominara Formación Escarra y que por relaciones estratigráficas se la ubica en el Cretácico Inferior, actualmente en revisión.

A continuación, se depositó una potente sucesión de rocas sedimentarias de origen fluvial en la sección basal, cubiertas por otra de naturaleza eminentemente piroclástica, conjunto reconocido con el nombre de Grupo Chubut, al que Figari y García (1992) asignan una edad cretácica (barremiana a santoniana). El mismo está integrado, de base a techo, por la Formación Los Adobes, en la que se distinguen los Miembros Arroyo del Pajarito y Bardas Coloradas, compuestas por sedimentos fluviales de alta y baja energía respectivamente, los que a su vez son cubiertos por rocas piroclásticas de la Formación Cerro Barcino con sus miembros Puesto La Paloma y Cerro Castaño, según Codignotto *et al.* (1978).

Al norte del yacimiento, en el cañadón La Orientala, han sido mapeadas coladas basálticas atribuidas con dudas a la Formación Sarmiento (Nakayama 1972, Chebli 1973), a la que se atribuye una edad terciaria, sobre las que se apoyan en discordancia, depósitos inmaduros interpretados como de relleno o colmatación de bajos, con desarrollo de sistemas aluviales de poca envergadura, a los que Berizzo (1976) denominara Formación Renguenao, asignándole una edad terciaria media a superior; siendo posteriormente, por relaciones de campo, equiparados con los depósitos paleopleistocenos más antiguos de Nullo (1983), autor que les asigna una edad cuaternaria inferior.

En el distrito han sido reconocidas estructuras tectónicas pertenecientes al Sistema Gastre (Coira *et al.* 1975), donde han prevalecido esfuerzos tensionales provenientes del cuadrante Sudoeste, con un sistema de fallamiento de rumbo N 50º-55º O y su conjugada Noreste, con movimientos de desplazamiento lateral, y componentes verticales subordinados.

METODOLOGÍA

Las caracterizaciones sedimentarias se realizaron mediante el estudio de testigos de roca provenientes de sondeos realizados por la Regional Patagonia de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) en los sectores A, B y C del yacimiento Cerro Solo durante las tareas de exploración por uranio, y que se encuentran depositados en instalaciones de la mencionada institución.

Teniendo en cuenta la distribución de la materia orgánica dentro de la columna fluvial, preferentemente concentrada en la denominada facies clástica ácida se procedió a la selección de aquellas provenientes de la destrucción mecánica de materia vegetal de mayor tamaño, contenida en facies limo argilaceas y asociadas a mineralización de uranio.

De esos materiales se extrajeron 60 muestras de 18 sondeos y fueron procesadas para extracción palinológica según el método tradicional de digestión ácida resumida por Volkheimer y Melendi (1976). De esta manera se obtuvieron y analizaron 37 muestras con contenido polínico, provenientes de 14 pozos, de los cuales 12 son del sector C y 2 del B (Fig. 1a). La ubicación de las muestras estudiadas se grafica en la figura 1(c-f), dentro de los perfiles de correlación de los sondeos.

A efectos de sintetizar la graficación, y teniendo en cuenta el reducido espesor de las sedimentitas que componen a los Miembros Bardas Coloradas (Formación Los Adobes) y Puesto la Paloma (Formación Cerro Barcino), en la figura 1 se ha unificado en un solo nivel a ambas unidades.

La observación del material palinológico se llevó a cabo mediante un microscopio Nikon E200, ubicado en la Regional Patagonia de la CNEA. Las microfotografías de microscopía electrónica fueron tomadas en un microscopio Jeol JSM-6460LV, ubicado en Aluar S.A.

Los límites considerados dentro del Cretácico responden a la escala de tiempo geológico de Gradstein y Ogg (2004), y la nominación de las unidades geológicas consideradas corresponden a la propuesta estratigráfica de Codignotto *et al.* (1978).

RESULTADOS

Miembro Arroyo del Pajarito, roca hospedante de la mineralización

Las sedimentitas portadoras de la paragénesis mineral uranio-molibdeno pertenecen al Miembro Arroyo del Pajarito, integrada por depósitos de origen fluvial de alta energía que constituyen el miembro inferior de la Formación Los Adobes, subunidad estratigráfica basal del Grupo Chubut. La litología que lo caracteriza está dada por la alternancia e interdigitación de bancos de composición psefítica, psamítica y pelítica, con clastos eminentemente de origen volcánico que en este distrito alcanzan potencias de hasta 150 m, pero que en otros depocentros como el de Cerro Fortín o Gorro Frigio pueden superar varios cientos de metros (Figari 2005). Estos depósitos

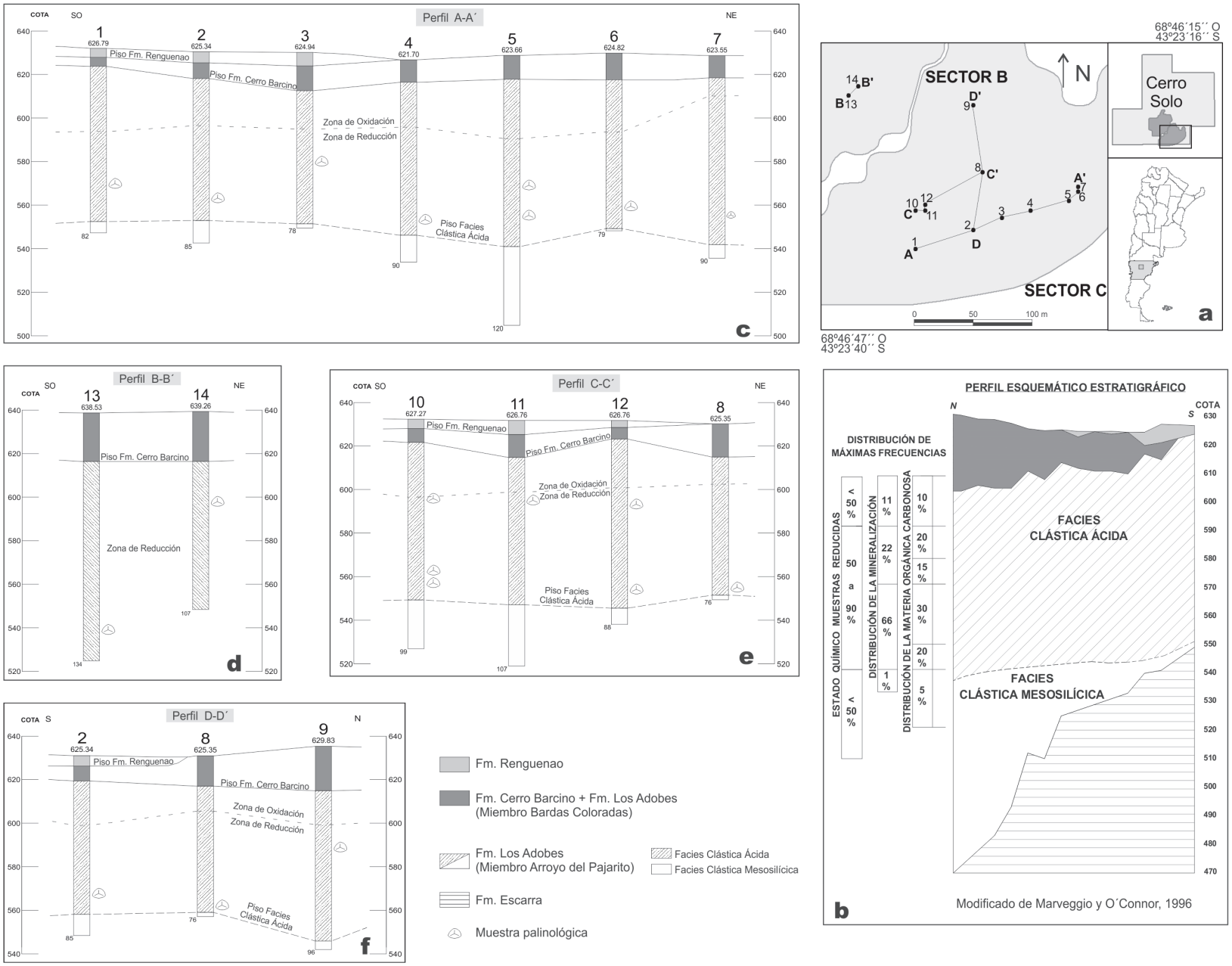

Figura 1: Ubicación del área de estudio y muestras palinológicas. a) Mapa de ubicación de los sectores B y C del yacimiento Cerro Solo con la ubicación de los sondeos estudiados. b) Perfil esquemático de la estratigrafía en el área y distribución de las frecuencias máximas de muestras reducidas, mineralización de uranio y materia orgánica carbonosa. c-f) Perfiles de correlación estratigráfica entre los sondeos con ubicación de las muestras palinológicas.

sedimentarios pertenecen en este distrito a un sistema fluvial de tipo entrelazado o *braided*, de baja sinuosidad, multicanal, con neto predominio de carga de lecho. Los depósitos dominantes son las barras de tipo longitudinal, oblicuas y en menor proporción las transversales. En el arreglo vertical de litofacies, conforman secuencias de tipo granodecreciente (Fig. 2a), que comienzan con texturas psefíticas (con ó sin estratificación) y culminan con psamitas finas a pelitas (Fig. 2c). La preservación de estas últimas litofacies dentro del sistema fluvial es baja, frente a un nuevo ciclo de canalización que puede ser lateral ó superior.

Los bancos pelíticos poseen textura limo-argilácea, cuya composición tiene origen principalmente en productos de alteración de cenizas volcánicas y están frecuentemente asociados a contenidos altos de materia orgánica carbonosa fina (Fig. 2c).

Marveggio (1997, 2011) mediante interpretación de registros gamma y análisis de cutting, definió en las sedimentitas del Miembro Arroyo del Pajarito, la existencia de dos asociaciones de facies en sentido vertical que difieren en la composición química de los clastos, los que tienen una composición predominantemente mesosilícica en la parte basal y eminentemente ácida en el resto de la columna hasta el contacto con el Miembro Bardas Coloradas (Fig. 1b).

En la facies clástica mesosilícica predominan clastos de volcanitas con texturas porfíricas y tobas, de composición dacítica y traquítica; atribuídas a la Formación Lonco Trapial, notándose próximo a la base un notable incremento de clastos de andesitas y basaltos. Esta sección se caracteriza por una mayor potencia de los bancos conglomerádicos, escasa preservación de bancos pelíticos y ausencia de materia orgánica, sulfuros y mineralización de uranio, tal como se observa en el gráfico columnar de distribución de materia orgánica y mineralización de uranio contenidas en muestras de perforaciones (Fig. 1b).

En la facies clástica ácida en cambio, predominan clastos de volcanitas de naturaleza riolítica: tobas, ignimbritas y volcanitas con texturas eutaxíticas y porfíricas, provenientes probablemente de la Formación Marifil, caracterizada por secuencias granodecrecientes, con litofacies finas portadoras de abundante materia orgánica carbonosa, facies hospedante de la mineralización de uranio que forma depósitos económicos (Fig.1b).

El relleno de las cubetas por depósitos de alta energía que integran el Miembro Arroyo del Pajarito, habría sido segregado en dos ciclos que marcan una paulatina expansión de las áreas inundadas, representados por las facies clástica mesosilícica y ácida, siendo el contacto entre ambas facies un plano subhorizontal (Fig. 1b) identificado en todos los yacimientos del distrito uranífero Pichiñan Este (Marveggio 1997).

Los fenómenos de oxido-reducción que afectaron las sedimentitas del Miembro Arroyo del Pajarito, delimitan verticalmente zonas oxidadas y zonas reducidas, cuyos espesores varían en los distintos sectores del yacimiento. No obstante, gran parte de la columna sedimentaria permanece con estado químico reducido (Fig.1d), en función del desarrollo de bancos de material pelítico dispuestos en la parte alta de la secuencia fluvial, que constituyeron una barrera impermeable a la circulación de aguas subterráneas oxidantes durante el cambio de pendiente hidrológica producto de la tectónica terciaria.

En el perfil esquemático estratigráfico (Fig. 1b), se observa que la distribución vertical de la zona de máxima reducción en la secuencia fluvial, determinada a partir de análisis estadísticos de las muestras de perforaciones, corresponde a la comprendida entre las cotas 550-595 para el sector C del yacimiento Cerro Solo. Asimismo, en los perfiles de correlación de los sondeos de la figura 1, se ilustra la distribución exclusiva de las muestras palinológicas dentro de las facies clástica ácida del Miembro Arroyo del Pajarito.

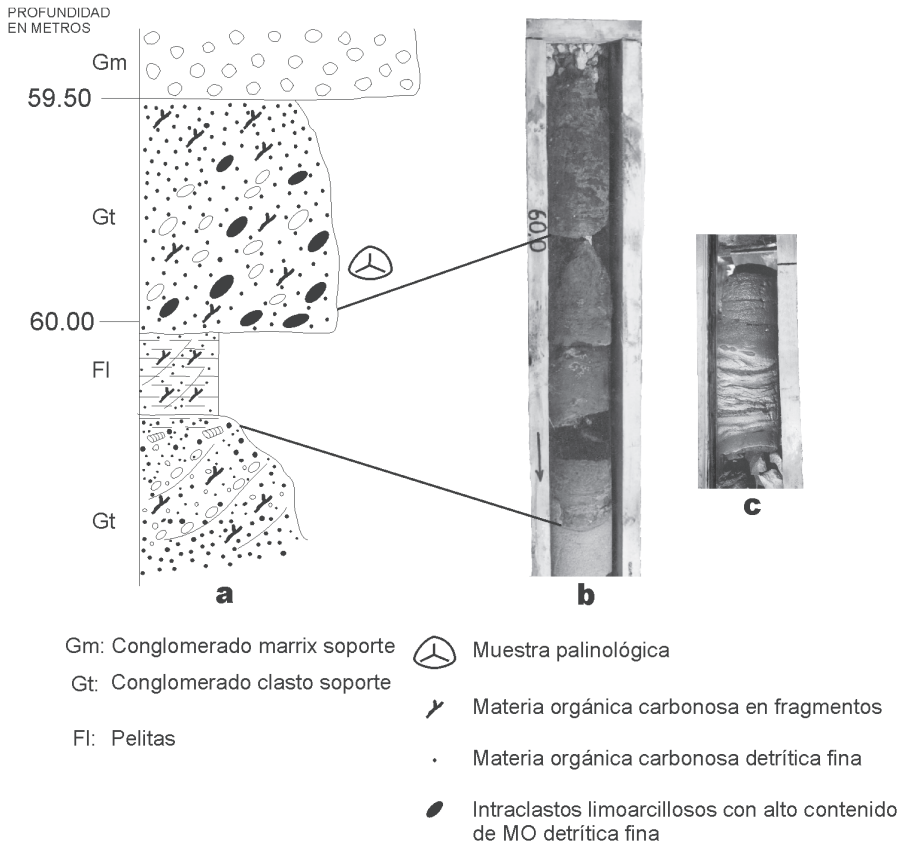

Figura 2: Litofacies del Miembro Arroyo del Pajarito. a) Perfil columnar de las facies pelíticas con contenido polínico. b) y c) Fotografía de los testigos de roca de la sección con contenido de materia orgánica.

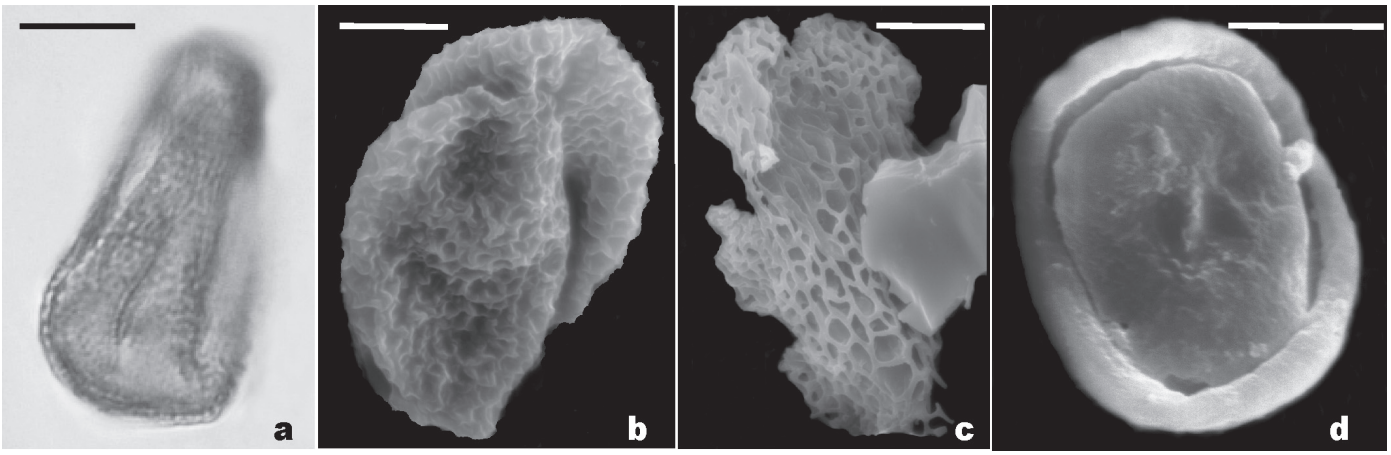

Figura 3: Taxones polínicos característicos de la microflora del Miembro Arroyo del Pajarito. a-b) Polen tricolpado (*Retitricolpites* sp.) observado con microscopía óptica y electrónica, respectivamente. c) *Stephanocolpites* sp. d) *Classopollis* sp. Las barras corresponden a 10 μm.

Facies con contenido polínico

Análisis estadísticos realizados en muestras correspondientes a sondeos del sector C del yacimiento (Marveggio y O´Connor 1996), permitieron determinar que el 14 % del total de las muestras en estudio contienen materia orgánica carbonosa en distintas proporciones, con una distribución vertical prácticamente ininterrumpida en la porción media superior de la columna fluvial o facies clastica ácida, dentro de un ambiente geoquímico reducido (Fig. 1b). La presencia de materia orgánica en esas facies está asociada a la mineralización de uranio, por lo que se la considera el principal elemento precipitante y fijador de la mineralización (Marveggio y Paez 1997).

La mayor acumulación y preservación de materia orgánica se ubica en la facies clástica ácida (Fig. 1b), de donde se obtuvieron las muestras palinológicas, cuya distribución vertical queda acotada además a la zona de reducción (Figs. 1c, d, e y f).

La materia orgánica es generalmente clástica de origen singenético, y el tamaño del fragmento tiene relación directa con el tipo de depósito y la distribución en el mismo. Se la describe como finas partículas, clastos de tamaño arena gruesa, briznas y fragmentos medianos a grandes en los que aún se conserva la estructura vegetal (vasos leñosos). La materia orgánica vegetal fina tiene origen en la destrucción mecánica de fragmentos grandes y/o biodegradación de los mismos, como también en la acumulación de polen y esporas, de acuerdo a lo observado en cortes delgados por Bianchi y Maloberti (1991). Este tamaño de materia carbonosa se vincula a facies pelíticas y su existencia implica condiciones de poco transporte y de rápida sedimentación con establecimiento de un ambiente químicamente reductor.

La litología portadora de materia orgánica clástica, finamente dividida y diseminada la constituyen limos y areniscas muy finas (Fig. 2).

Este tipo de facies está asociada a zonas de planicies de inundación y relleno de canales menores abandonados, también interpretada por Maloberti (1991) como formando depósitos de intercanal, zonas de desbordamiento o culminando a otras litofacies en episodios de crecida. Son depósitos de baja preservación en este tipo de sistema fluvial.

La disposición de la materia orgánica en los distintos estratos puede ser de manera diseminada y homogénea, dispuesta en sets y orientada según la estratificación (Fig. 2c), en la base de litofacies conglomerádicas, constituyendo depósitos de reducido espesor en el tope de secuencias pelíticas ó incluida en intraclastos pelíticos (Fig. 2).

Asociaciones esporopolínicas

En un análisis preliminar de la microflora, se han identificado 62 especies, que en su conjunto conforman una asociación netamente continental con la participación de 33 tipos de esporas, 17 granos de polen de gimnospermas, y 12 de angiospermas. Las esporas observadas representan a diversos grupos vegetales como los musgos, hepáticas y helechos, y dentro de éstos últimos, la Familia Schizaceae es un componente importante de la asociación.

Las asociaciones polínicas analizadas están caracterizadas por un amplio dominio de polen de gimnospermas, en especial de *Classopollis*, que representa a la Familia Cheirolepidiaceae (Fig. 3d), acompañado por la Familia Araucariaceae. Las angiospermas en cambio, son un componente subordinado de la microflora. Ellas evidencian una amplia diversificación (Llorens y Marveggio 2009), que abarca distintos tipos morfológicos como los complejos *Clavatipollenites* y *Asteropollis/ Stephanocolpites* (Fig. 3c), y formas triaperturadas, con aperturas simples -*Tricolpites, Retitricolpites*- (Figs. 3a, b) y compuestas (*Myrthaceidites*).

Edad

La evolución morfológica del polen de angiospermas marca un hito biológico con la aparición del tipo polínico tricolpado, que marca el origen del clado de las *eudicots* (APG II 2003). Esta novedad evolutiva ha sido datada en bajas paleolatitudes en el lapso Barremiano-Aptiano y en el Albiano en altas paleolatitudes, con un alto grado de consenso, por lo que constituye una importante herramienta bioestratigráfica para depósitos del Cretácico Inferior.

Recientemente se ha realizado un trabajo de compilación de registros de angiospermas primitivas de cinco cuencas cretácicas de Argentina (Archangelsky *et al.* 2009). Allí se analizaron las evidencias palinológicas y de restos foliares para determinar la secuencia morfológica en la evolución temprana de este grupo vegetal. De esta manera, se establecieron tres estadios en la evolución del grupo dentro del lapso Barremiano-Coniaciano. El estadio uno (*stage* I) comprende el lapso Barremiano-Aptiano, y fue caracterizado por el origen e incipiente diversificación de las formas polínicas monocolpadas. El estadio dos (*stage* II) en cambio, abarca el lapso Aptiano tardío-Albiano temprano, y se caracteriza por la aparición de las formas polínicas tricolpadas. Por último, el estadio tres (*stage* III), está definido por el progresivo incremento de la diversidad y abundancia relativa de las angiospermas durante el lapso Albiano medio-Coniaciano. La microflora de la Formación Los Adobes puede ser ubicada dentro del *stage* II por el amplio dominio del polen de gimnospermas y el registro de formas tricolpadas (Figs. 3a, b) . Dentro de ese estadio, se identifican dos momentos diferentes, uno para el Aptiano tardío, donde hay un incremento en la diversificación de formas monocolpadas, y otro para el Albiano temprano, donde se registran los primeros granos tricolpados.

La microflora de la Formación Los Adobes presenta las características descriptas en el *stage* II, aunque con algunas particularidades. Por una parte, el registro frecuente de *Stephanocolpites* (Fig. 3c), que no había sido registrado hasta el momento asociado al polen tricolpado, y por otra la presencia de polen con aperturas compuestas (*Myrthaceidites*), que se encuentra en asociaciones más jóvenes. Sin embargo, el polen de afinidad angiospérmica representa un porcentaje muy bajo (1 %) del contenido polínico total, y se encuentra ausente en algunos niveles, demostrando que ese grupo vegetal era un componente claramente subordinado de la flora en ese momento.

De esta manera, su vinculación con el *stage* II es clara, con características combinadas de las dos etapas que lo componen, aunque la presencia de formas tricolpadas confirmaría una edad Albiano temprano para la asociación polínica de la Formación Los Adobes.

CONCLUSIONES

En el yacimiento Cerro Solo las facies pelitícas portadoras de la palinoflora estudiada, tienen una distribución vertical restringida a la parte media superior del Miembro Arroyo del Pajarito (Facies Clástica Acida).

La depositación de un importante volumen de materia orgánica vegetal con contenido polínico fue concomitante con el aporte casi exclusivo de clastos de volcanitas de naturaleza riolítica para la edad en que las cabeceras de los grandes canales fluviales habrían alcanzado terrenos del Plateau Ignimbrítico de la Formación Marifil.

La relación entre diversidad y abundancia relativa de polen angiospérmico, sumado a la presencia de polen tricolpado, permite establecer una edad albiana temprana para la roca hospedante de la mineralización de uranio en el yacimiento Cerro Solo, Miembro Arroyo del Pajarito de la Formación Los Adobes.

Esta determinación asigna al piso del Grupo Chubut en el depocentro del área estudiada, una edad más joven a la considerada hasta el momento.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Consejo de Investigación Científica y Tecnológica (CONICET PIP 512) y a la Gerencia Exploración de Materias Primas de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) por el apoyo económico para las tareas de este estudio, y a la Sra. Raquel Crespo y los Sres. Alejandro y Mariano Scagliotti y Pedro Porfiri por su apoyo técnico en la realización de las ilustraciones. La Dra. Llorens agradece también a ALUAR S.A. y al Sr. Jaime Groizard, por su servicio técnico en microscopía electrónica. Este trabajo forma parte del Simposio de Uranio realizado en el marco del 18° Congreso Geológico Argentino.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

Anselmi, G., Panza, J.L., Cortés, J.M.D., Ragona, D. y Genini, A. 2004. Hoja Geológica 4569-II, El Sombrero, Provincia del Chubut. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 271, 70 p., Buenos Aires.

APG (Angiosperm Phylogeny Group) II 2003. An update of APG classification for the orders and families of flowering plants. Botanical Journal of the Linnean Society 141: 399-436.

Archangelsky, S., Bellosi, E.S., Jalfin, G.A. y Perrot, C. 1994. Palynology and alluvial facies from the mid-Cretaceous of Patagonia, subsurface of San Jorge Basin, Argentina. Cretaceous Research 15: 127-142.

Archangelsky, S., Barreda, V., Passalia, M.G., Gandolfo, M., Prámparo, M., Romero, E., Cúneo, R., Zamuner, A., Iglesias, A., Llorens, M., Puebla, G.G., Quattrocchio, M., Volkheimer, W. 2009. Early angiosperm diversification: evidence from southern South America. Cretaceous Research 30: 1072-1083.

Barcat, C., Cortiñas, J.S., Nevistic, V.A., Zucchi, H.E. 1989. Cuenca Golfo San Jorge. En Chebli, G. y Spalletti, L. (eds.) Cuencas Sedimentarias Argentinas, Serie Correlación Geológica 6: 319-345, Universidad Nacional de Tucumán.

Berizzo, J.A. 1976. Estado actual del conocimiento en el área de influencia del yacimiento Los Adobes. Vertiente oriental de la Sierra de Pichiñán. Departamento Paso de Indios. Comisión Nacional de Energía Atómica, (inédito), 23 p., Córdoba.

Bianchi, R.E. y Maloberti, A. 1991. Formación Los Adobes: Análisis de facies sedimentarias. Cañadones El Ganso y la Orientala, Sierra de Pichiñán, Departamento Paso de Indios, Provincia de Chubut. Comisión Nacional de Energía Atómica, (inédito), 21 p., Trelew.

Chebli, G.A. 1973. Geología y estratigrafía de la región Central del Chubut, al Sur del río homónimo, entre Sierra de Cañadón Grande, Sierra Cuadrada, Sierra del Guanaco e inmediaciones de la Sierra Negra (Dpto. paso de Indios). Provincia de Chubut. Tesis doctoral, Universidad Nacional de Buenos Aires, (in-

édita), 157p., Buenos Aires

Chebli, G.A., Nakayama, C., Sciutto, J.C. y Serraiotto, A.A. 1976. Estratigrafía del Grupo Chubut en la región central de la provincia homónima. 6º Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 375-392, Bahía Blanca.

Codignotto, J., Nullo, F., Panza, J. y Proserpio, C. 1978. Estratigrafía del Grupo Chubut entre Paso de Indios y Las Plumas, Provincia del Chubut, Argentina. 7º Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 471-480, Neuquén.

Coira B.L., Nullo, F., Proserpio, C. y Ramos, V. 1975. Tectónica de basamento de la Región Occidental del Maciso Nordpatagónico. Provincias de Río Negro y Chubut. Revista de la Asociación Geológica Argentina 30: 361-383.

Cortiñas, J.S. 1996. La cuenca de Somuncurá-Cañadón Asfalto: sus límites, ciclos evolutivos del relleno sedimentario y posibilidades exploratorias. 13º Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 1: 147-163, Buenos Aires.

De la Fuente, M.S., Umazano, A.M., Sterli, J. and Carballido, J.L. 2011. New chelid turtles of the lower section of the Cerro Barcino formation (Aptian-Albian?), Patagonia, Argentina. Cretaceous Research 32: 527-537.

Fígari, E. 2005. Evolución tectónica de la cuenca de Cañadón Asfalto (zona del Valle Medio del Rio Chubut). Tesis doctoral, Universidad Nacional de Buenos Aires (inédita), 198 p., Buenos Aires.

Figari, E., 2011. The Sierra de la Manea Formation (Titho-Neocomian) composit-estratotype, Cañadon Asfalto Basin, Patagonia, Argentina. 18º Congreso Geológico Argentino, Actas CD-ROM: 1012-1013, Neuquén.

Figari, E. y Courtade, S.F. 1993. Evolución tectosedimentaria de la cuenca de Cañadon Asfalto, Chubut, Argentina. 12º Congreso Geológico Argentino y 2º Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 1: 66-77, Buenos Aires.

Fígari, E. y García, D. 1992. Análisis litofacial y arquitectónico de los depósitos continentales mesocretácicos aflorantes en el Cerro Fortín, Provincia del Chubut, Argentina. 4° Reunión Argentina de Sedimentología, Actas 1: 119-126, La Plata.

Figari, E. G., Strelkov, E., Laffitte, G., Cid De La Paz, M., Courtade, S., Celaya, J., Vottero, A., Lafourcade, P., Martinez, R. y Villar, H. 1999. Los Sistemas Petroleros de la Cuenca del Golfo San Jorge: Síntesis Estructural, Estratigráfica y Geoquímica. En: Laffitte, G., Villar, H. y Legarreta , L. (eds.) Los Sistemas Petroleros de Argentina. 4º Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Actas 1: 197-227, Mar del Plata.

Figari, E. G., Strelkov, E., Cid De La Paz, M., Celaya, J., Laffitte, G. y Villar, H. 2002. Cuenca del Golfo San Jorge: Síntesis Estructural, Estratigráfica y Geoquímica. En: Haller, M. (ed.) Geología y Recursos Naturales de Santa Cruz, Relatorio 15º Congreso Geológico Argentino: 571-601, El Calafate.

Fitzgerald, M.G., Mitchum, R. M. Jr., Uliana, M. A. y Biddle, K.T. 1990. Evolution of the San Jorge Basin, Argentina. American Association of Petroleum Geologists Bullettin 74: 879-920.

Frenguelli, J. 1930. Sobre restos vegetales procedentes de la Sierra de San Bernardo en el Chubut. Anales de la Sociedad Científica de Santa Fé 2: 29-39.

Gaffney, E.S., Rich, T.H., Vickers-Rich, P., Constantine, A., Vacca, R. and Kool, L. 2007. Chubutemys, a New Eucryptodiran Turtle from the Early Cretaceous of Argentina, and the Relationships of the Meiolaniidae. American Museum Novitates 3599: 1-35.

Gamerro, J. C. 1977. Megasporas del Cretácico de Patagonia III. Megasporas petrificadas del "Chubutense", Prov. del Chubut, Argentina. Ameghiniana 14: 100-116.

Geuna, S. E., Somoza, R., Vizán, H., Figari, E. G. y Rinaldi, C. A. 2000. Paleomagnetism of Jurassic and Cretaceous rocks in central Patagonia: a key to constrain the timing of rotations during the breakup of southwestern Gondwana? Heart and Planetary Science Letters 181: 145-160.

Gradstein, F. and Ogg, J. 2004. A Geologic Time 2004- why, how, and where next! Lethaia 37: 175-181.

Homovc, J., Figari, E. G. y Courtade, S. 1991. Geología de la Cuenca de Cañadón Asfalto, Provincia del Chubut, YPF, (inédito), 24 p., Buenos Aires.

Lesta, P.J.y Ferello, R. 1972. Región extraandina de Chubut y norte de Santa Cruz. En Leanza, A.F. (ed.). Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias de Córdoba: 601-653, Córdoba.

Lesta, P., Ferello, R. y Chebli, G. 1980. Chubut Extraandino. En Caminos, R. (ed.). Geología Regional Argentina, Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales 2: 1307 - 1387, Buenos Aires.

Llorens, M. y Marveggio, N. 2009. Palinoflora de la Formación Los Adobes (Cretácico) y su implicancia en la edad del Grupo Chubut. 14o Simposio Argentino de Paleobotánica y Palinología. Ameghiniana 46, Suplemento: 126R.

Maloberti, A.L. y Bianchi, R.E. 1991. Proyecto Cerro Solo-Primera Etapa; informe preliminar comisión geológica de superficie. Dpto. Paso de Indios, Provincia de Chubut. Comisión Nacional de Energía Atómica, (inédito), 5 p., Trelew.

Maloberti, A.L., Villar, H.J. y Spikermann, J.P. 2005. Asociación Uranio-materia orgánica. Distribución y fijación del Uranio en el yacimiento Cerro Solo, Chubut. 16º Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 779-786, La Plata.

Marveggio, N., 1997. Secciones ácida y mesosilícica del Miembro Arroyo del Pajarito, Formación Los Adobes. Comisión Nacional de Energía Atómica, (inédito), 11 p., Trelew.

Marveggio, N. 2011. Perfilaje Gamma: una herramienta para identificar unidades litológicas en la Formación Los Adobes, Provincia del Chubut. 18º Congreso Geológico Argentino, CD-ROM: 939-940, Neuquén

Marveggio, N. y O'Connor, E. 1996. Análisis Estadístico de las sedimentitas del Miembro Arroyo del Pajarito para el sector C - Yacimiento Cerro Solo - Paso de Indios, Provincia del Chubut. Comisión Nacional de Energía Atómica, (inédito), 54 p., Trelew.

Marveggio, N. y Paez, M. 1997. Geología del Sector C y parámetros geológicos relacionados a la mineralización de uranio. Yacimiento Cerro Solo, Provincia del Chubut. Comisión Nacional de Energía Atómica, (inédito), 49 p., Trelew.

Menéndez, C.A. 1959. Flora Cretácica de la Serie del Castillo al Sur del Cerro Cachetamán, Chubut. Revista de la Asociación Geológica Argentina 14: 219-238.

Musacchio, E.A. 1972. Charophytas del Cretácico Inferior en sedimentitas "Chubutenses" al Este de La Herrería, Chubut. Ameghiniana 9: 354-356.

Musacchio, E.A. 1995. Estratigrafía y micropaleontología del Jurásico y el Cretácico en la Comarca del Valle Medio del Río Chubut,

Argentina. 6º Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía, Actas: 179-187, Trelew.

Musacchio, E. y Chebli, W. 1975. Ostrácodos no marinos y carófitas del Cretácico Inferior de las provincias de Chubut y Neuquén, Argentina. Ameghiniana 12: 70 -96.

Nakayama, C. 1972. Informe Geológico preliminar de la region comprendida entre Laguna Salada y Carhué Niyeo al norte y Arroyo Perdido y Sierra Rosada al sur. Provincia de Chubut. YPF, (inédito), 54 p., Buenos Aires.

Novas, F.E., de Valais, S., Vickers-Rich, P. and Rich, T. 2005. A large Cretaceous theropod from Patagonia, Argentina, and the evolution of carcharodontosaurids. Naturwissenschaften 92: 226 -230.

Nullo, F. 1983. Descripción geológica de la hoja 45c, Pampa de Agnia, Provincia del Chubut. Servicio Geológico Nacional, Boletín 199, 94 p., Buenos Aires.

Passalia, M.G., Noettinger, S., Lenarduzzi, M.E. y Romero, E.J., 2000. Nuevos aportes a la flora cretácica de la Formación Castillo (Albiano-Cenomaniano) al sur de la Sierra de San Bernardo, Chubut, Argentina. 11º Simposio Argentino de Paleobotánica y Palinología, Resúmenes: 87, Tucumán.

Passalia, M.G., Llorens, M. y Páez, M. 2009. Hojas de angiospermas de la Formación Puesto Manuel Arce (Grupo Chubut), pre-Maastrichtiano, Chubut. 14º Simposio Argentino de Paleobotánica y Palinología. Ameghiniana 46, Suplemento: 135R.

Proserpio, C.A. 1987. Descripción geológica de la hoja 44-e, Valle General Racedo, Provincia del Chubut. Dirección Nacional de Geología y Minería, Boletín 201, 102 p., Buenos Aires.

Rich, T.H., Vickers-Rich, P., Novas, F.E., Cuneo, R., Puerta, P. y Vacca, R. 1998. Theropods from the 'Middle' Cretaceous Chubut Group of the San Jorge sedimentary basin, central Patagonia. A preliminary note. Gaia 15: 111-115.

Robbiano, 1971. Contribución al conocimiento estratigráfico de la Sierra del Cerro Negro, Pampa de Agnia, Provincia de Chubut, República Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina 26: 41-56.

Vallati, P. 2001. Bioestratigrafía (palinología) del Cretácico temprano y medio de patagonia Septentrional y Central. Tesis doctoral, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, (inédita), 278 p., Comodoro Rivadavia.

Volkheimer, W. y Melendi, D. 1976. Palinomorfos como fósiles guías. Tercera parte: Técnicas de laboratorio palinológico. Revista Minera. 34: 19-30.

Volkheimer, W., Gallego, O.F., Cabaleri, N.G., Armella, C., Narváez, P.L., Silva Nieto, D.G. y Páez, M.A. 2008. Stratigraphy, palynology, and conchostracans of a Lower Cretaceous sequence at the Cañadón Calcáreo locality, Extra-Andean central Patagonia: age and palaeoenvironmental significance. Cretaceous Research 30: 270 -282.

Recibido: 19 de noviembre, 2012
Aceptado: 14 de marzo, 2013