

ESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN EL IMPERIAL (PENSSYLVANIANO-CISURALIANO) EN EL CAÑÓN DEL ATUEL, CUENCA SAN RAFAEL

Pablo J. PAZOS¹, Francisco J. RUSCONI², María L. LOSS³, Carolina GUTIÉRREZ² y Arturo M. HEREDIA¹

¹UBA-CONICET “Instituto de Estudios Andinos “Don Pablo Groeber”, Ciudad Autónoma de Buenos Aires. E-mail: pazos@gl.fcen.uba.ar

²UBA, Dpto. de Ciencias Geológicas, Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

³YPF. S.A., Ciudad Autónoma de Buenos Aires

RESUMEN

La Formación El Imperial es una unidad sedimentaria clásica de la estratigrafía del Paleozoico superior (Pennsylvaniano-Cisuraliano) de la cuenca San Rafael, una de las más conocidas del centro-oeste de Argentina. Esta unidad presenta una falta de adecuación al Código Argentino de Estratigrafía, como la definición de localidad, sección tipo y divisiones internas. En este trabajo se resuelven estos aspectos y además, se propone un hipostratotipo para la localidad de Cañón del Atuel, donde se definen formalmente dos miembros a los que se caracteriza. Se proponen correlaciones con la sección y localidad tipo y se discute esta propuesta estratigráfica con otras previas. Por otra parte, se analiza la edad de la unidad y la relevancia del hallazgo de facies marinas en el superior o Miembro Cabecera del Cañón, en lo referente a la evolución del relleno sedimentario.

Palabras Clave: *Estratigrafía, correlaciones, transgresión marina, Paleozoico superior, Cuenca de San Rafael*

ABSTRACT

Stratigraphy of the El Imperial Formation (Pennsylvanian-Cisuralian) in the Atuel canyon, San Rafael Basin

The El Imperial Formation is the classic sedimentary unit of the upper Palaeozoic (Pennsylvanian-Cisuralian) of the San Rafael Basin. It is one of the best known basins in the central-western of Argentina. The studied unit is not in complete agreement with the rules of the Código Argentino de Estratigrafía, like the type section and area, and formal internal divisions. In this paper several stratigraphic aspects are sorted out, but also a hypostratotype for the Cañón del Atuel locality is proposed. Two formal members are defined and characterized. Correlation with the type section is proposed and an analysis of this new stratigraphic proposal is discussed with previous ones. In other hand, the age and the relevance of the discovery of marine deposits in the upper member or Cabeceras del Cañón Member, and the significance of such transgression in the evolution of the sedimentary infill are analyzed.

Keywords: *Stratigraphy, correlations, marine Trasgression, late Paleozoic, San Rafael Basin*

INTRODUCCIÓN

La Formación El Imperial es una unidad clásica del registro sedimentario del Paleozoico superior de la cuenca San Rafael (Azcuay *et al.* 1986). Dicha cuenca, conforma un engolfamiento con apertura hacia el oeste y se halla ubicada en la provincia de Mendoza con borde oriental que se extiende hacia el límite con la provincia de La Pampa y conforma una de las denominadas cuencas paleopacíficas del Paleozoico superior de Argentina (Limarino *et al.* 2006). La Formación El Imperial, marca el inicio del relleno Neopaleozoico de la misma, ya que unidades asignadas al Mississippiano,

como la Formación Agua del Toro, han sido reubicadas en el Pennsylvaniano, con sólidos fundamentos sedimentológicos y paleontológicos por Espejo (1993). De esta manera, la Formación El Imperial es la que presenta mayor distribución areal y espesor en la cuenca, sin descartar que otras unidades temporalmente equivalentes hayan sido mencionadas en sectores de borde de cuenca, particularmente hacia el sur como es el caso de la Formación Agua Escondida (González Díaz 1972). La Formación Carapacha (Melchor 1999, 2000) aflorante en la provincia de La Pampa, es considerada como parte del relleno de la denominada cuenca homónima. Sin embargo, recientemente Melchor y

Cardonatto (2014) mencionan para uno de sus miembros (el inferior) un ambiente de fiordo y lo relacionan con los depósitos de la Formación el Imperial e implícitamente la posicionan genéticamente como parte las cuencas paleopacíficas, antes que con las unidades temporalmente equivalentes en la Sierra de la Ventana como se ha especulado a lo largo de años.

La Formación El Imperial tiene un abundante contenido paleontológico que incluye palinomorfos (García, 1995, 1996); trazas fósiles (Pazos *et al.* 2007, 2013) restos planíferos (Espejo y Césari, 1987), abundantes invertebrados marinos documentados en el área tipo en el intervalo inferior de

la unidad (Dessanti, 1945, 1956; Giudice, 1971), siendo el contenido paleontológico sintetizado por Ottone (2008). Esta unidad presenta algunas imprecisiones acerca de formalidades estratigráficas, en lo referente a su adecuación al Código Argentino de Estratigrafía (1992) (CAE) ya que carece de divisiones formales, estratotipo y localidad tipo. En este trabajo se adecúa la nomenclatura de la unidad, discutiendo la naturaleza y alcance de las divisiones internas y se propone un hipoestratotipo en la localidad de Cañón del Atuel (Fig. 1). Esto último, es importante ya que esa sección aflorante se halla bien expuesta, en un ámbito público y luego accesible en forma permanente. Sumado a ello el hallazgo de facies marinas, casi desconocidas en la zona hacen posible discutir edad y correlaciones con otras localidades y el significado de dicha ingresión marina en un contexto regional.

ANTECEDENTES

La historia de los estudios de esta unidad se halla muy bien explicada en Azcuy *et al.* (1986) y fueron ampliados por Gutiérrez (2008), en el léxico estratigráfico del Pérmico de Argentina. Esta unidad fue mencionada, sin rango formacional formal (véase Ottone (2008) y ha recibido numerosos nombres, hasta llegar a conocerse como Formación El Imperial (González Díaz 1972), sin haber sido previamente definida una localidad o sección tipo acorde a las recomendaciones del CAE que había sido dado a conocer poco tiempo antes. La unidad fue mencionada con otro rango en las inmediaciones del arroyo El Imperial por Dessanti (1945, 1956), donde fueron reconocidos dos miembros con una discutible continuidad estratigráfica y luego fue analizada por Giudice (1971). Espejo (1993), claramente expone discrepancias vinculadas con la edad, naturaleza de los contactos y relaciones estratigráficas con otras unidades y coincide en gran medida con las observaciones de Dessanti (1956), difiriendo sustancialmente con Amos (1980). El Léxico Estratigráfico del Pérmico de Argentina se ocupa de la Formación El Imperial y es muy claro en aspectos fundamentales tales como: nunca fue definida ni una sección ni localidad tipo y da cuenta de los cambios de nombres que ha tenido la unidad (Ottone 2008). Originalmente, Dessanti (1945) de-

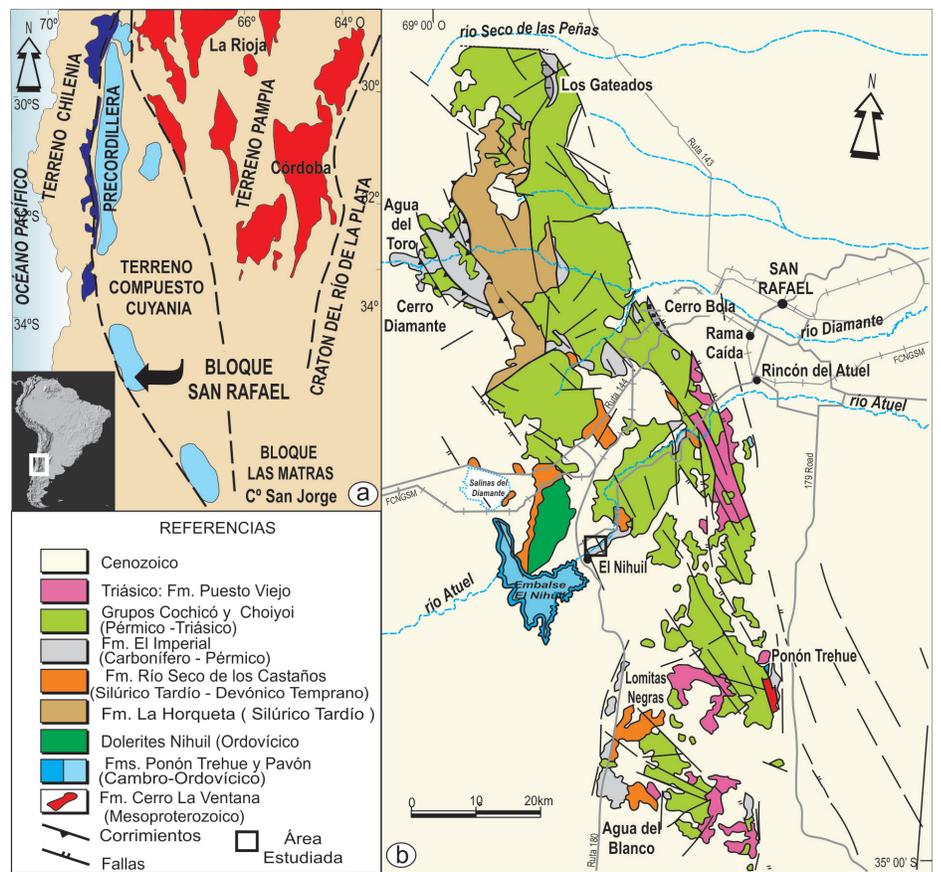


Figura 1: a) Mapa de ubicación geodinámica y de las unidades aflorantes en la región del cañón del río Atuel; b) Ubicación de la localidad de Cañón del Atuel, donde se levantó el perfil sedimentario (Figura 2), definido como hipoestratotipo de la unidad. Modificado de Manassero *et al.* (2009).

finió una unidad a la que denominó Sistema del Imperial compuesta por dos miembros, a los que nomina como inferior y superior y remarca que no se hallan en contacto primario. Posteriormente, Dessanti (1956) la llama Serie del Imperial, designación que fue mantenida por Volkheimer (1967). Dessanti y Caminos (1967) se refieren al Grupo del Imperial y, Polanski (1970) la denomina como Serie Imperial. Criado Roque (1972) cambia serie al rango de formación, aunque la llama Formación del Imperial. Por su parte, Ortega-Furlotti *et al.* (1974) la mencionan como Grupo El Imperial, mientras que González Díaz (1972) la menciona con el nombre actual por primera vez y la incluye en el Grupo Valle Grande. Desde entonces, la Formación El Imperial no ha tenido cambios formales. Arias y Azcuy (1986), definen informalmente para la zona del cañón del Atuel, tres unidades que incluyen cuatro sistemas depositacionales, y Espejo (1993) propone una correlación entre los

afloramientos de la zona tipo, con los del cañón del río Atuel. Independientemente del trabajo que se considere, todos los autores que han trabajado en la unidad coinciden en que existe una continentalización hacia el tope de la misma en la localidad tipo, y ausencia total de facies marinas en la sección cuspidal, o sección superior de Arias y Azcuy (1986) en el cañón del río Atuel (e.g. Espejo 1993; López Gamundi *et al.* 1994 y en el área tipo (Espejo y López Gamundi, 1994). Esta continentalización de los ambientes depositacionales incluye, además, un cambio en el patrón de paleocorrientes hacia el sudoeste y ha llevado a López Gamundi *et al.* (1994) a proponer el cambio vinculado con los primeros estadios de la Fase San Rafael. Consideraciones respecto a la edad de la unidad se basan en datos paleontológicos y por correlaciones. Las mismas la incluyen en el Pennsylvaniano-Cisuraliano en la mayoría de los esquemas bioestratigráficos de las cuencas neopaleozoicas del centro oeste

del país (Taboada y Shi 2011). Cabe destacar que en la sección superior de la unidad en varias localidades (véase Espejo 1993) se han reconocido restos de la flora de *Gan-gamopteris* que permitirían asegurar que la unidad alcanza el Pérmico (Espejo y Césari 1987), aunque Césari *et al.* (2011) señalan dudas si estos registros no pueden ser más antiguos. Por otra parte, hacia la base se ubican depósitos glaciogénicos, depósitos postglaciales marinos a deltaicos que ubican la unidad en el Pennsylvaniano (Pazos *et al.* 2007, Henry *et al.* 2014, Pángaro *et al.* 2015), siguiendo el esquema de episodios glaciales propuesto por Isbell *et al.* (2003) correspondería al Estadío II. En lo que respecta a edades absolutas, solo se cuenta con la inferencia de Rocha Campos *et al.* (2006) que dataron un zircón de dudoso origen volcánico en el Pérmico temprano hacia el tope de la unidad. Discordancia mediante, es cubierta por la Formación Embalse los Reyunos que ha sido datada por U-Pb con circones en ignimbritas que indican una edad de 280 Ma aproximadamente (Rocha Campos *et al.* 2011) y teniendo en cuenta que entre ambas unidades hay plegamiento y erosión, la unidad debe ser considerablemente más antigua.

Otras interpretaciones, basadas en metodologías que delimitan unidades por discontinuidades también han sido propuestas. Una llevada a cabo por Loss (2006) donde analizó en detalle la sección inferior y media de la unidad y otra focalizada en la sección superior, resumidas por Rusconi (2014). Loss y Pazos (2006) propusieron un esquema estratigráfico secuencial que ha sido recientemente adoptado por Henry *et al.* (2014) y que es coincidente con los límites de unidades informales propuesto por Arias y Azcuy (1986). En este sentido, este trabajo no ahonda en aspectos paleoambientales de la unidad en el cañón del río Atuel, pero suma detalles que refuerzan las evidencias marinas hacia el tope de la unidad dadas a conocer por Pazos *et al.* (2013).

NOMENCLATURA ESTRATIGRAFICA

Lectoestratotipo

La ausencia de una definición formal del estratotipo, obliga a definir un lectoestratotipo en la misma zona de la localidad tipo de acuerdo a la Código Argentino de Estra-

tigrafía (CAE) en su artículo 15.5. Según Dessanti (1945) el mismo se compone de dos miembros que no se hallan en contacto normal, a los que denomina Inferior y Superior, respectivamente, aunque los vincula mediante contacto tectónico y que alcanzan en conjunto los 1200 metros de espesor. Sin embargo, Espejo (1993) discute los aspectos estratigráficos en detalle y sugiere que existe continuidad estratigráfica entre ambos miembros. Si bien inferior y superior son desaconejados como nombres por el CAE (Art. 34.7) la sugerencia de nuevos nombres para la sección tipo escapa el alcance del presente trabajo.

Localidad y área tipo

Siguiendo el criterio de prioridad en el uso de nombres y localidades, es la zona del arroyo El Imperial (34°30'-35°30'S) el área tipo de la unidad, respetando los estudios pioneros de Dessanti (1945, 1956).

Hipoestratotipo

En este trabajo se define la localidad del cañón del Atuel que se integra por la columna aflorante de la unidad desde las inmediaciones de la desembocadura del arroyo Aisol, hasta el contacto con La Toba Vieja Gorda en la cabecera del cañón homónimo, como perfil de referencia para esta localidad (Fig. 2). De acuerdo a las recomendaciones del CAE, corresponde el rango de hipoe-stratotipo por haber sido definido con posterioridad a la definición de la localidad y sección tipo, por hallarse por fuera de ella y por resultar importante para ampliar el conocimiento de la unidad (Art. 15.7). Comprende la sección estratigráfica descrita por Arias y Azcuy (1986), Espejo (1993), López Gamundí *et al.* (1994) y Loss (2006). Arias y Azcuy (1986) propusieron tres miembros informales, siendo el superior el equivalente al estudiado en detalle en este trabajo.

Contactos: La Formación El Imperial se apoya sobre distintas unidades del Paleozoico inferior, fundamentalmente sobre metasedimentitas de la Formación La Horqueta y la Formación Río Seco de los Castaños; unidades que han sido recientemente datadas como silúricas, pudiendo alcanzar el Devónico más temprano (véase Cingolani *et al.* 2014) siendo diferenciables por su grado metamórfico y porque en la última se preservan abundantes registros icnológicos (Pazos *et al.* 2015a, b). Una notable discordancia

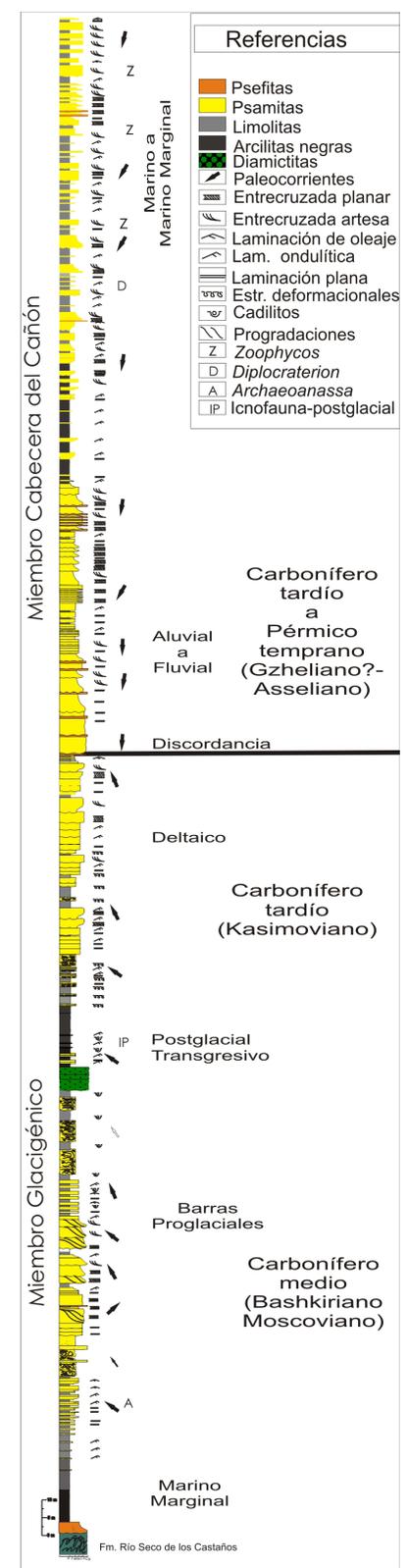


Figura 2: Perfil sedimentológico de la unidad. Se observa la separación de los miembros definidos en este trabajo por una discordancia y se mencionan los principales ambientes deposicionales y edades sugeridas para la sucesión sedimentaria.

angular correspondiente a la fase Chánica, separa las unidades silúricas y pre-silúricas intensamente plegadas y falladas de la sucesión del Paleozoico superior, mientras que la Formación El Imperial se presenta horizontal en escala de afloramiento y suavemente plegada a mayor escala (véase Manassero *et al.* 2009, Kleiman y Japas 2009). El contacto superior es una discordancia angular, que muestra que el plegamiento ha sido erodado, y sus depósitos están documentados en el Miembro Psefítico Basal de la Formación Embalse Los Reyunos (Pazos *et al.* 2011) aunque en el cañón del río Atuel son los depósitos de la Toba Vieja Gorda los que se hallan mayormente en contacto, con excepción de la zona del embalse Valle Grande donde se hallan presentes y fueron estudiados por Espejo (1992a, b).

Localidad tipo: Cañón del Atuel entre las represas I y II hasta la cabecera del cañón homónimo (Fig. 1).

Miembro Glacigénico

Derivación del nombre: Hace referencia a que todo el registro sedimentario que lo compone se halla directa o indirectamente vinculado con un episodio glacial y su inmediata desaparición.

Caracterización: alcanza un espesor de 300 metros y es equivalente a las tres facies inferiores de Arias y Azcuy (1986) y comprende en su totalidad a las unidades inferior y media de dichos autores e incluye a las secuencias depositacionales I y II de Loss (2006) y Loss y Pazos (2006). El mismo es variable en su espesor dado que la sección inferior se halla sobre un paleorelieve muy marcado y el espesor es muy variable, como lo han mencionado Henry *et al.* (2014), mientras que la parte media a superior es más homogénea. Sobre el paleorelieve, las sedimentitas de la unidad se apoyan en discordancia angular muy marcada sobre las metamorfitas de bajo grado de la Formación Río Seco de los Castaños (Manassero *et al.* 2009).

El inicio de la sedimentación no muestra evidencias marinas y desde el punto de vista icnológico se han dado a conocer formas simples y epiestratales como *Archaeoanassa* (Pazos *et al.* 2007), su vinculación con el episodio glacial no es claro, ya que no hay evidencias de glaciación directa (Pazos *et al.* 2007), aunque el marcado paleorelieve puede ser el resultado de un paisaje relíctico luego de la fase Chánica, pero también

puede ser modelado por los inicios de la glaciación como ya había sido mencionado por Dessanti (1956) para la zona tipo y como lo han sugerido Henry *et al.* (2014). Desde el punto de vista litológico se trata de areniscas finas y pelitas alternantes con abundantes microentrecruzamientos escalonados (*climbing*) lo que indica alta carga sedimentaria o flujos desacelerantes. Según Arias y Azcuy (1986) son facies marinas profundas, en tanto que Pazos *et al.* (2007) lo consideran un ambiente somero aunque con ausencia de evidencias marinas, indiscutibles. Por su parte, Henry *et al.* (2014) consideran un ambiente marino restringido con abundantes evidencias de escape de fluidos y altas tasas de sedimentación.

Luego, y según Arias y Azcuy (1986), sobreviene una sección de prodelta proximal a frente deltaico distal, con evidencias glacigénicas como cadilitos (Fig. 3a). Sin embargo se han reconocido diamictitas, depósitos de deslizamientos gravitacionales subácueos (Fig. 3b) pelitas con *dropstones*, ritmitas de aspecto varvítico, un intervalo de pelitas negras y luego arreglos granocrecientes y progradacionales de origen deltaico postglacial (Pazos *et al.* 2007, Henry *et al.* 2014), con evidencias de acción marina directa como estructuras de tormenta (*hummocky cross stratification*) de acuerdo con Henry *et al.* (2014) y palinomorfos continentales piritizados y deteriorados que indicarían mezclas de aguas dulces y marinas según Pazos *et al.* (2007). Desde el punto de vista icnológico contiene una icnofauna dominada por trazas de pastoreo, de locomoción de artrópodos y peces (Pazos *et al.* 2007) principalmente concentrada en las pelitas y ritmitas postglaciales y en parte comparable con otras documentadas en la vecina cuenca Paganzo (ej. Pazos 2000, 2002). Finalmente sobrevienen facies deltaicas proximales y de planicie deltaica (Arias y Azcuy 1986) donde las paleocorrientes unidireccionales son predominantemente hacia el noroeste (Loss 2007, Pazos *et al.* 2007), con mayor dispersión de los indicadores de acción de oleaje (Henry *et al.* 2014). Desde el punto de vista composicional dominan las areniscas arcóscas hasta cuarzosas (López Gamundí *et al.* 1994).

Miembro Cabecera del Cañón

Derivación del nombre: Su nombre refiere a que aflora ampliamente en la cabecera del

cañón del río Atuel.

Caracterización: Se define para una sucesión de aproximadamente 200 metros de espesor según Rusconi (2014). López Gamundí *et al.* (1994) llamaron la atención a un cambio de paleocorrientes hacia el sudoeste y variaciones composicionales y relacionaron dichos cambios a las primeras evidencias del advenimiento de la fase diastrófica San Rafael, que muestra su inicio indiscutible con el plegamiento de la unidad (Kleiman y Japas 2009). Sin embargo todos los trabajos en la formación hasta hace muy poco tiempo marcaban la naturaleza continental del mismo (Arias y Azcuy 1986; Azcuy *et al.* 1986; Espejo *et al.* 1996, López Gamundí *et al.* 1994). Loss (2006) señala la naturaleza continental, pero encuentra una notable participación de intervalos pelíticos, que la hacen interpretarlos como ríos meandriformes, en un arreglo granodecreciente a diferencia de otros trabajos previos que sugerían sistemas de ríos anastomosados (Espejo 1993). Sin embargo, notablemente, casi todos los trabajos previos notaron la existencia de un conglomerado basal (Fig. 3c), con abundantes clastos de rocas sedimentarias metamorfizadas y en menor medida del basamento ígneo metamórfico, que Espejo (1993), asocia con facies de abanicos aluviales, que son sucedidas por las mencionadas facies fluviales. En este sentido, Pazos *et al.* (2013) dan cuenta de depósitos marinos tabulares (Fig. 3d) con icnofósiles de indiscutible filiación marina como *Zoophycos* (Fig. 3e) y *Diplocraterion* (Fig. 3f). En tanto que Rusconi (2014) documentan abundantes rasgos mareales en la sucesión. El conjunto de evidencias desmiente la continentalización de la cuenca hacia el tope y permite abrir especulaciones acerca de la edad de dicha transgresión. El hallazgo de restos de invertebrados marinos (braquiópodos) que se encuentran en estudio, hacia el tope de la sucesión completa el conjunto de evidencias marinas de la sucesión antes que depósitos continentales como ha sido ampliamente sugerido.

DISCUSIÓN: EDAD Y CORRELACIONES

Espejo (1993) sobre la base de características petrofaciales y siempre sobre la inexistencia de facies marinas correlaciona el aquí definido Miembro Cabecera del Cañón,

con la sección cuspidal del Miembro Superior de la localidad tipo según el esquema petrofacial propuesto por Espejo y López Gamundí (1994). Llama la atención que en la misma el espesor total alcance los 2500 metros y no se observen evidencias glaciogénicas directas, más que simples cadilitos hacia la base (véase Espejo, 1993; Espejo y López Gamundí 1994), mientras que las diamictitas son indiscutibles en el hipoestratotipo, que no supera los 500 metros de espesor, aunque esto podría explicarse por tratarse de sectores más alejados de la costa, en un contexto glacimarino. Por otra parte la existencia de facies proximales en la base del Miembro Cabecera del Cañón con cambios en la dirección de paleocorrientes hacia el SO, tiene solamente una explicación tectónica. Este episodio tectónico, tiene que haber tenido lugar con posterioridad al Serpukhoviano-Bashkiriano que es la edad del episodio glacial documentado en la unidad y correlacionable con la cuenca Paganzo y Calingasta-Uspallata (Henry *et al.* 2014) y con posterioridad a la progradación deltaica, clásica en muchas cuencas neoploeozoicas. Por otra parte, como bien lo marcan Césari *et al.* (2011) la flora de *Gangamopteris* notablemente extendida en el Cisuraliano temprano, no tiene una edad base perfectamente conocida. Por su parte, la composición palinológica favorece una edad carbonífera tardía del Mb. Cabecera del Cañón, aunque la aparición de granos de polen teniados es frecuente en el Pérmico temprano (Césari *et al.* 2013), coincidente con los restos paleoflorísticos y palinológicos se la ha extendido hasta el Pérmico (e.g. Espejo y Césari 1987, Espejo y López Gamundí 1994, Césari y Gutiérrez, 2001). Si esto es correcto, la discordancia representada entre ambos miembros, podría estar representado aproximadamente 5 Ma entre el Kasimoviano tardío y el Gzheliano temprano en el hipoestratotipo, resultando comparable lo que sucede en la Formación Guandacol en la Cuenca Paganzo y que ha quedado demostrado con las dataciones de Gulbranson *et al.* (2010, Fig. 4). Notablemente, el arreglo sedimentario recuerda, incluida la discordancia y cambio composicional, al pasaje entre las formaciones Guandacol y Tupe de la cuenca Paganzo en la Cuesta de Huaco (véase Pazos 2002) pero difiere en la ausencia la flora de *Gangamopteris*. Sin embargo, esta flora que tradicionalmente ha sido asignada al Cisuraliano por correlaciones con África y Australia principalmente, podría aparecer en el Carbonífero tardío, con dudas (Cesari *et al.* 2011). En efecto, la Formación El Imperial siguiendo el esquema de Césari *et al.* (2011) marca esa posibilidad, ya que la palinoflora es carbonífera tardía a pérmica temprana (Césari *et al.* 2013). En este sentido y dado que los restos de *Gangamopteris* podrían provenir del miembro inferior en la localidad de Puesto La Josefa (Espejo y Césari 1987) y que Arias y Azcuy (1986) señalan la presencia de *Gangamopteris* en el miembro superior, resulta comprensible que los depósitos glacimarinos se encuentren hacia la base como lo propuso Espejo (1993) y Espejo y López Gamundí (1994) para la localidad tipo indicando que la Formación El Imperial se extiende mayormente durante el Carbonífero superior y alcanza el Pérmico temprano. Sin embargo, resulta difícil de conciliar que existan depósitos marinos en esta localidad estudiada y continentales en el centro de cuenca (localidad tipo) como se ha propuesto en las correlaciones de Espejo (1993). El hallazgo de braquiópodos en el Miembro Cabecera del Cañón, aunque en estudio permitirían sugerir que podrían pertenecer temporalmente equivalentes a la biozona de *Tivertonia*

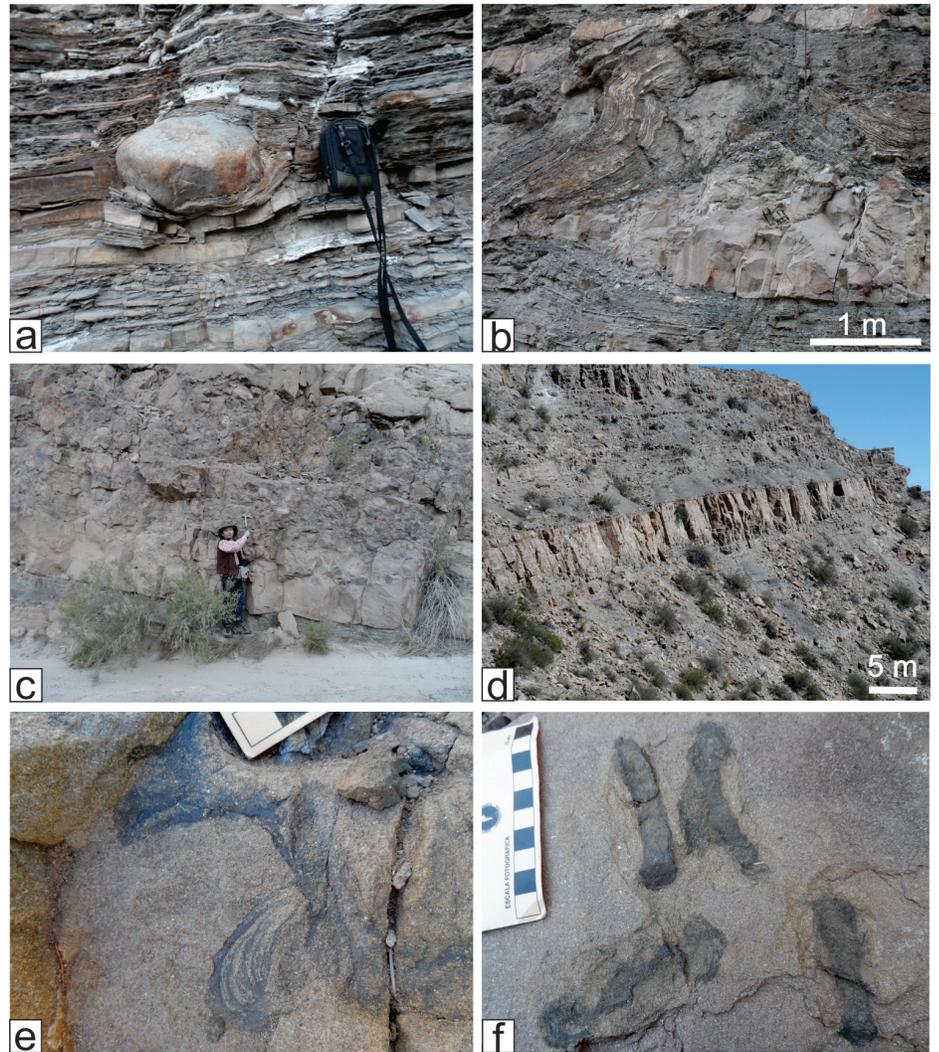


Figura 3: Rasgos sedimentológicos e icnológicos: a) Cadilito observable en las ritmitas postglaciales; b) deslizamiento gravitacional subcúeo; c) Conglomerados de guijones y guijarros localizados en la base del Miembro Cabecera del Cañón; d) vista de los depósitos marinos tabulares, anteriormente interpretados como fluviales; e) ejemplar fragmentado de *Zhoophycos* isp. Donde se observan el alto contenido de materia orgánica en una estructura mayormente sub-horizontal; f) *Diplocraterion*, ejemplar documentado en depósitos con influencia de oleaje.

nada al Cisuraliano por correlaciones con África y Australia principalmente, podría aparecer en el Carbonífero tardío, con dudas (Cesari *et al.* 2011). En efecto, la Formación El Imperial siguiendo el esquema de Césari *et al.* (2011) marca esa posibilidad, ya que la palinoflora es carbonífera tardía a pérmica temprana (Césari *et al.* 2013). En este sentido y dado que los restos de *Gangamopteris* podrían provenir del miembro inferior en la localidad de Puesto La Josefa (Espejo y Césari 1987) y que Arias y Azcuy (1986) señalan la presencia de *Gangamopteris* en el miembro superior, resulta comprensible que los depósitos glacimarinos se

encuentren hacia la base como lo propuso Espejo (1993) y Espejo y López Gamundí (1994) para la localidad tipo indicando que la Formación El Imperial se extiende mayormente durante el Carbonífero superior y alcanza el Pérmico temprano. Sin embargo, resulta difícil de conciliar que existan depósitos marinos en esta localidad estudiada y continentales en el centro de cuenca (localidad tipo) como se ha propuesto en las correlaciones de Espejo (1993). El hallazgo de braquiópodos en el Miembro Cabecera del Cañón, aunque en estudio permitirían sugerir que podrían pertenecer temporalmente equivalentes a la biozona de *Tivertonia*

jachalensis-Streptorhynchus inaequiornatus reconocida en la cuenca Paganzo por alcanzar el Pérmico temprano (Sterren y Cisterna 2010, Taboada y Pagani 2010, fig. 8; Cisterna *et al.* 2011), aunque la misma como tal no ha sido documentada en la cuenca San Rafael hasta el presente. La posición de los restos de invertebrados en el tope de la sucesión y siguiendo la correlación sugerida por Espejo (1993) para la localidad tipo es coincidente con facies fluviales en la última, lo que en principio desde el punto de vista paleoambiental sugeriría que las facies marinas a marino-marginales deberían hallarse por debajo estratigráficamente, algo esperable hacia el centro de la cuenca y que por lo tanto la continentalización sugerida hacia el tope de la unidad no es comprobable en la localidad estudiada, e invita a revisar dicha interpretación para la localidad tipo, dada las diferencias de espesores entre ambas localidades. No es descartable, que la sección superior en la localidad tipo represente depósitos correlacionables con el miembro superior de la Formación Carapacha.

La edad de la discordancia presente en el techo de la unidad es incierta, pero las volcánicas datadas en el Miembro Toba Vieja Gorda (Rocha Campos *et al.* 2011) ponen una edad más antigua a los 280 Ma para el tope de la unidad. A ello debe sumarse que por debajo se encuentran los conglomerados y brechas analizados por Espejo (1992a, b) que se hallan por encima de la Formación el Imperial y en discordancia, estando la unidad de estudio suavemente plegada (Kleiman y Japas 2009). El plegamiento y levantamiento dieron lugar a la depositación de las psefitas (conglomerados del Cerro Colorado-Miembro Psefítico Basal) de la Formación Embalse Los Reyunos, e indican destechamiento progresivo o *unroofing* ya que contienen abundantes clastos y bloques de la Formación el Imperial (Pazos *et al.* 2011). En forma independiente al esquema de correlación seguido, esta localidad cuenta con registro palinológico, icnofósiles, restos florísticos e invertebrados marinos, todo en una sección tradicionalmente interpretada como fluvial. Además, permitirá a futuro ajustar con mejor precisión el intervalo estratigráfico representado por la discordancia que claramente no puede interpretarse como un efecto del rebote glacioisostático postglacial, teniendo en cuenta cambios de paleopendiente regional y composición.

Históricamente en todos los trabajos que se ocuparon de la sección superior de la unidad, se la ha interpretado en el cañón del Atuel como de origen continental. De la misma manera que en la localidad tipo de la unidad (véase Dessanti, 1945, 1956, Arias y Azcuy 1986, 1983, Espejo 1993, Espejo *et al.* 1996, López Gamundí *et al.* 1994, Loss 2006, Loss y Pazos 2006). Sin embargo la indiscutible presencia de icnofósiles de filiación marina (Pazos *et al.* 2013) y las evidencias de acción mareal y oleaje documentadas por Rusconi (2014), no solo modifican la interpretación paleoambiental sino que dan cuenta que la mencionada continentalización es inexistente y que por el contrario hacia el tope de la unidad se registra un intervalo marino que se documenta en numerosas cuencas de Gondwana sudoccidental y ampliamente distribuido en la cuenca Paganzo (Limarino *et al.* 2006) que es también correlacionable con las sucesiones de sierra de la Ventana (Pángaro *et al.* 2015, fig. 2) aunque no es tan clara la correlación con las sucesiones de la llamada cuenca de Carapacha (Melchor 1999) a la que Melchor y Cardonatto (2014), vincularían con la cuenca San Rafael, al menos en lo que se desprende de las características del Miembro Inferior de la Formación Carapacha, mediando una discordancia con el Miembro Superior de naturaleza continental, el que podría ser equivalente a la discordancia entre ambos miembros en la Formación El Imperial, con facies equivalentes a las registradas en la localidad tipo (véase Espejo 1993), e indicando que el hiato que representa la misma es mayor hacia el sur.

CONCLUSIONES

En este trabajo se propone la formalización de la localidad y sección tipo de la Formación El Imperial, originalmente analizada por Dessanti (1945, 1956) en las inmediaciones del arroyo el Imperial como lectoestratotipo, para ajustar la nomenclatura al Código Argentino de Estratigrafía (1992). Se propone la localidad de Cañón del Atuel para un hipoestratotipo, ya que es de fácil acceso y en donde se han dado a conocer recientemente facies marinas desconocidas para la unidad, en esta localidad y posición estratigráfica. Allí se definen formalmente dos miembros uno inferior denominado Miembro Glacigénico y otro superior o

Miembro Cabecera del Cañón, mediando entre ellos una marcada discordancia, que posiblemente represente un hiato mínimo de 5 Ma, y que sea temporalmente equivalente al que se presenta entre las Formaciones Guandacol y Tupe en la vecina Cuenca Paganzo.

Se discute la nueva propuesta estratigráfica con otras propuestas litoestratigráficas y se analiza lo que representa el hallazgo de facies marinas hacia el techo de la unidad, cuando ha sido sostenido tradicionalmente un modelo de continentalización para la cuenca. Asimismo, se correlaciona preliminarmente dicho intervalo marino con otros eventos transgresivos y se favorece una edad pérmica temprana para la sucesión en la localidad de Cañón del Atuel.

Se destaca la importancia para el estudio del Paleozoico superior de contar con una nueva localidad que es conocida por contener un buen registro de la glaciación neopaleozoica, registros palinológicos, paleoflorísticos y trazas fósiles en más de un intervalo y preliminarmente la mención de invertebrados marinos hacia el tope de la sucesión, junto a indicadores mareales y abundantes trazas fósiles de afinidad marina.

Todos los aspectos mencionados, justifican la proposición de un hipoestratotipo para la localidad, ya que además de la buena exposición se amplía el conocimiento de la unidad, una de las razones esgrimidas en el Art. 15.7 del Código Argentino de Estratigrafía; y que servirá de referencia en correlaciones futuras, dentro y fuera de la cuenca, particularmente cuando la documentación de fauna marina se incremente y sea precisa.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecemos a la Dra. G. Cisterna y al Dr. A. Taboada con quienes intercambiamos opiniones acerca de la importancia de encontrar fósiles marinos en la localidad estudiada y la posible filiación de los restos de invertebrados en estudio. Las revisiones de los Dres. C. Cingolani y O. López Gamundi han sido muy valiosas para mejorar este trabajo. El mismo es una contribución financiada con el Proyecto UBACyT de la programación 2012-2015, aunque se ha iniciado con una programación anterior. Es la contribución R-203, del Instituto de Estudios Andinos "Don Pablo Groeber", IDEAN.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Amos, A.J. 1980. Una nueva formación de edad Carbónica, Agua del Toro, río Diamante, Mendoza, Argentina. 2° Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía y 1° Congreso Latinoamericano de Paleontología, Actas 4: 3-10, Buenos Aires
- Arias, W.E. y Azcuy, C.L. 1986. El Paleozoico Superior del Cañón del río Atuel, provincia de Mendoza. Revista de la Asociación Geológica Argentina 41: 262-269.
- Césari, S.N. y Gutiérrez, P.R. 2001. Palynostratigraphic study of the Upper Paleozoic central-western Argentinian sequences. *Palynology* 24: 113-146.
- Césari, S.N., Limarino, C.O. y Gulbranson, E.L. 2011. An Upper Paleozoic biochronostratigraphic scheme for the western margin of Gondwana. *Earth-Science Reviews* 106: 149-160.
- Césari, S.N., Perez Loinaze V.S. y Limarino, C.O. 2013. La Biozona *Pakhapites fusus-Vittatina subsaccata* en la Formación Patquía (Pérmico), Precordillera de La Rioja, Argentina. *Revista Museo Argentino Ciencias. Naturales* 15: 71-88.
- Cingolani, C.A., Manassero, M.J., Uriz, N.J. y Basei, M.A.S. 2014. Provenance insights of the Silurian-Devonian Rio Seco de los Castaños Unit, San Rafael Block, Mendoza: U-Pb zircon ages. 19° Congreso Geológico Argentino, Actas CD, Córdoba.
- Cisterna G, Sterren, A.F. y Gutiérrez P.R. 2011. The Carboniferous-Permian boundary in the South American central western Argentinean basins: paleontological evidences *Andean Geology* 38: 349-370.
- Criado Roque, P. 1972. Bloque de San Rafael. En: Leanza, A.F. (ed.), *Geología Regional Argentina*. Academia Nacional de Ciencias, 288-295, Córdoba.
- Comité Argentino de Estratigrafía 1992. Código Argentino de Estratigrafía. Asociación Geológica Argentina, Serie B 20, 62 p., Buenos Aires.
- Dessanti, R.N. 1945. Sobre el hallazgo del Carbonífero marino en el arroyo El Imperial de la sierra Pintada (dpto. de San Rafael, prov. de Mendoza). *Notas del Museo de La Plata, Geología* 10: 205-220.
- Dessanti, R.N. 1956. Descripción geológica de la Hoja 27c-Cerro Diamante (provincia de Mendoza). Dirección Nacional de Geología y Minería, Boletín 85, 79 p., Buenos Aires.
- Dessanti, R.N. y Caminos, R. 1967. Edades potasio-argón y posición estratigráfica de algunas rocas ígneas y metamórficas de la Precordillera, Cordillera frontal y Sierras de San Rafael, provincia de Mendoza. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 22: 135-162.
- Espejo, I.S. 1992a. Los Conglomerados Brechosos del Cerro Colorado, Parte I: paleoambientes de sedimentación. 4° Reunión Argentina de Sedimentología, Actas 1: 103-110, La Plata.
- Espejo, I.S. 1992b. Los Conglomerados Brechosos del Cerro Colorado, Parte II: petrografía, rasgos diagenéticos y áreas de aporte. 4° Reunión Argentina de Sedimentología, Actas 1: 111-117, La Plata.
- Espejo, I.S. 1993. Reordenamiento de la estratigrafía neopaleozoica en el sector norte de la Cuenca San Rafael. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 2: 57-62. Mendoza.
- Espejo, I.S. y Césari, S.N. 1987. Primer hallazgo de flora pérmica en la Cuenca San Rafael. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 42: 472-474.
- Espejo, I.S. y López Gamundí, O.R., 1994. Source versus depositional controls on sandstone Composition in a foreland basin: the El Imperial Formation (Mid Carboniferous-Lower Permian), San Rafael Basin, western Argentina. *Journal of Sedimentary Research* 64: 8-16.
- Espejo, I.S., Andreis, R.R. y Mazzoni, M. 1996. Cuenca San Rafael. En: Archangelsky, S. (ed.), *El Sistema Pérmico en la República Argentina y en la República Oriental del Uruguay*. Academia Nacional de Ciencias, 163-172, Córdoba.
- García, G.B. 1995. Palinología de la Formación El Imperial, Paleozoico Superior, Cuenca San Rafael, Argentina. Parte I: esporas. *Ameghiniana* 32: 315-339.
- García, G.B. 1996. Palinología de la Formación El Imperial, Cuenca San Rafael, República Argentina. Parte II granos de polen, incertae sedis, acritarcas. *Ameghiniana* 33: 7-33.
- Giudicci, A.R. 1971. Geología de las adyacencias del río Diamante al este del cerro homónimo, provincia de Mendoza, República Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 26: 439-458.
- González Díaz, E.F. 1972. Descripción geológica de la Hoja 27d, San Rafael, provincia de Mendoza. Servicio Nacional Minero Geológico, Boletín 132, 128 p., Buenos Aires.
- Gulbranson, E.L., Montañez, I.P., Schmitz, M.D., Limarino, C.O., Isbell, J.L., Marensi, S.A., y Crowley, J.L. 2010. High-precision U-Pb calibration of Carboniferous glaciation and climate history, Paganzo Group, NW Argentina. *Geological Society of America Bulletin* 122: 1480-1498.
- Ottone, G.E. 2008. Formación el Imperial. En: Gutiérrez, P.R. (ed.), *Léxico Estratigráfico de la Argentina: Pérmico*. Servicio Geológico Minero Argentino: <http://www.segemar.gov.ar/pdf/institucional/lexico/permico.pdf>
- Henry, L.C., Isbell, J.L. y Limarino, C.O. 2014. The late Paleozoic El Imperial Formation, western Argentina: Glacial to post-glacial transition and stratigraphic correlations with arc-related basins in southwestern Gondwana. *Gondwana Research* 25: 1380-1395.
- Isbell, J.L., Miller, M.F., Wolfe, K.L. y Lenaker, P.A. 2003. Timing of late Paleozoic glaciation in Gondwana: was glaciation responsible for the development of northern hemisphere cyclothems? En: Chan, M.A., Archer, A.W. (eds.), *Extreme Depositional Environments: Mega End Members in Geologic Time*. Geological Society of America, Special Paper 370: 5-24.
- Kleiman, L.E. y Japas, M.S. 2009. The Choiyoi volcanic province at 34°S-36°S (San Rafael, Mendoza, Argentina): Implications for the Late Paleozoic evolution of the southwestern margin of Gondwana. *Tectonophysics* 473: 283-299.
- Limarino, C.O., Tripaldi, S., Marensi, S. y Fauché, L. 2006. Tectonic, sea-level, climatic controls on Late Paleozoic sedimentation in the western basins of Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 22: 205-226.
- López Gamundí, O.R., Espejo, I., Conaghan, P., Mc. Powell, C. y Veevers, J. 1994. Southern South America. En: Veevers, J. y Mc. Powell, C. (eds.), *Permian-Triassic Pangean basins and foldbelts along the Panthalassan margin of Gondwana*. Geological Society of American Members 184, 281-329, Boulder.
- Loss, M.L. 2006. Facies y estratigrafía secuencial en la Formación El Imperial, Cañón del Atuel, Cuenca de San Rafael. Trabajo Final de Licenciatura, Universidad de Buenos Aires (inédito), 194 p., Buenos Aires.
- Loss, M.L. y Pazos, P.J. 2006. Arquitectura deposicional de la Formación El Imperial (Carbonífero superior), en el Cañón del Atuel, Cuenca San Rafael, Mendoza, Argentina. 4° Congreso Latinoamericano de Sedimentología, Actas: 114, San Carlos de Bariloche.
- Manassero, M.J., Cingolani, C.A. y Abre, P. 2009. A Silurian-Devonian marine platform-deltaic system in the San Rafael Block, Argentine Precordillera-Cuyania terrane: lithofacies and provenance. *Geological Society, London, Special Publications* 314: 215-240, London.
- Melchor, R.N. 1999. Redefinición estratigráfica de la Formación Carapacha (Pérmico), provincia

- de La Pampa. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 54: 99-108.
- Melchor, R.N. 2000. Stratigraphic and biostratigraphic consequences of a new $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ date for the base of the Cochicó Group (Permian), Eastern Permian Basin, San Rafael, Mendoza, Argentina. *Ameghiniana* 37: 271-282.
- Melchor, R. y Cardonatto, M.C. 2014. Insights on the Behavior of Late Paleozoic Aquatic Crustaceans (Pygocephalomorpha?): Compound Trace Fossils from Western Argentina. *Ichnos* 21: 76-99.
- Ortega Furlotti, A., Rodríguez Pujadas, E.J., Prieto, A.O. y Valdiviezo, A. 1974. El nuevo distrito uranfíero de Sierra Pintada, provincia de Mendoza (República Argentina). 5° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 267-284, Córdoba.
- 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, doi: 10.1111/bre.12126.
- Pazos, P.J. 2002. Palaeoenvironmental framework of the late Palaeozoic glacial to postglacial transition in the Paganzo-Calingasta basin (South America) and Karoo-Kalahari basins (Southern Africa): ichnological implications. *Gondwana Research* 5: 619-640.
- Pazos, P.J., Di Pasquo, M., y Amenábar, C.R. 2007. Trace fossils of the glacial to postglacial transition in the El Imperial Formation (Upper Carboniferous), San Rafael basin, Argentina. *Society for Sedimentary Geology, Special Publication* 88: 137-147.
- Pazos, P.J., Rey, F.G., Marsicano, C.G. y de la Fuente, M. 2011. Permian unroofing in the Yacimiento los Reyunos Formation (Cisuralian), Bloque San Rafael Argentina. *Gondwana* 14°, Actas: 173, Río de Janeiro.
- Pazos P.J., Gutiérrez C., Heredia A. y Rusconi F. 2013. Primer registro *Zoophycos* en las "facies fluviales" de la Formación El Imperial (Pensilvaniano-Cisuraliano) en el Cañón del Atuel, Paleozoico Superior de Argentina. 2° Latinoamericano Symposium on Ichnology, Abstracts: 67, La Pampa.
- Pazos, P.J. Gutiérrez, C., Fernández, D. E., Comerio, M. y Heredia, A. 2015a. The unusual record of *Nereites*, wrinkle marks and undermat mining trace fossils in the late Silurian-earliest Devonian of central-western margin of Gondwana (Argentina). *Palaeoecology, Palaeoclimatology, Palaeogeography* 239: 4-16.
- Pazos P.J., Heredia A., Fernández D.E. Gutiérrez C. y Comerio M. 2015b. The ichnogenus *Dictyodora* from late Silurian deposits of central-western Argentina: Ichnotaxonomy, ethology and ichnostratigraphical perspectives from Gondwana. *Palaeoecology, Palaeoclimatology, Palaeogeography* 239: 27-37.
- Polanski, J. 1970. Carbónico y Pérmico de la Argentina. EUDEBA, 216 p., Buenos Aires.
- Sterren, A.F. y Cisterna, G.A. 2010. Bivalves and brachiopods in the Carboniferous-Early Permian of Argentine Precordillera: diversification and faunistic turnover. *Geologica Acta* 8: 501-517.
- Rocha Campos, A.C., Basei, A.C., Nutman, M.A.S. y Santos, P.R. 2006. SHRIMP U-Pb zircon geochronological calibration of the Late Paleozoic supersequence, Paraná Basin, Brazil. 5° South American Symposium on Isotope Geology, Abstract: 322, Punta del Este.
- Rocha Campos, A.C., Basei, M.A., Nutman, A.P., Kleiman, L.E., Varela, R., Llambías, E., Canile, F.M. y da Rosa, O.R. 2011. 30 million years of Permian volcanism recorded in the Choiyoi igneous province (W. Argentina) and their source for younger ash fall deposits in the Paraná Basin: SHRIMP U-Pb zircon geochronology evidence. *Gondwana Research* 19: 509-523.
- Rusconi, F.J. 2014. Sedimentología y estratigrafía de la sección superior de la Formación el Imperial (Pensilvaniano-Cisuraliano) en el Cañón del Atuel, cuenca San Rafael. Trabajo Final de licenciatura, Universidad de Buenos Aires (inédito), 128 p., Buenos Aires.
- Taboada A.C. y Pagani M.A. 2010. The coupled occurrence of *Cimmeriella-Jakutoproductus* (Brachiopoda: Productidina) in Patagonia: implications for Early Permian high to middle paleolatitudinal correlations and paleoclimatic reconstruction. *Geológica Acta* 8: 513-534.
- Taboada A.C. y Shi, G.R. 2011. Taxonomic review and evolutionary trends of *Levipustulini* and *Absenticostini* (Brachiopoda) from Argentina: Palaeobiogeographic and palaeoclimatic implications. *Memoirs of the association of Australasian Palaeontologists* 41: 87-114.
- Volkheimer, W. 1967. Herpolitas de la sierra Pintada (con un perfil del río Atuel, (provincia de Mendoza). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 22: 75-78.

Recibido: 30 de noviembre de 2015

Aceptado: 5 de septiembre de 2016