



FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

Tesina presentada para obtener el grado académico de
LICENCIADO EN GEOLOGÍA

**“UNA NUEVA ICNOFÁBRICA CRETÁCICA DESARROLLADA EN
AMBIENTES FLUVIALES VOLCANICLÁSTICOS DE PATAGONIA”**

LUCIANO SANTIAGO MASSA

SANTA ROSA (LA PAMPA)

ARGENTINA

2017

Prefacio

Esta Tesina es presentada como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Licenciado en Geología de la Universidad Nacional de La Pampa, y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad ni en otra Institución Académica. Se llevó a cabo en las Cátedras de Estudio del Geosistema, Geotectónica y Escuela de Campo dependientes del Departamento de Geología, durante el período comprendido entre el 1/07/2016 y el 14/12/2017, bajo la dirección del Dr. Emilio Bedatou (INCITAP-UNLPam) y la codirección del Dr. Aldo Martín Umazano (INCITAP-UNLPam).

Deseo expresar mi sincero agradecimiento a las personas e instituciones que se detallan a continuación. Todas ellas han contribuido de diferentes maneras para la realización de este trabajo.

- A la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de La Pampa que, además de brindarme su infraestructura como lugar de trabajo, financió el proyecto G01.
- Al CONICET por el proyecto PIP 11220130100005.
- A la ANPCyT por el PICT 2013 1129.
- A Emilio Bedatou y Martín Umazano, Director y Codirector respectivamente, por el acompañamiento y la buena predisposición en cada paso.
- A Ricardo Melchor y Graciela Visconti por revisar y corregir este trabajo.
- A Carlos Camilletti y Viviana Martínez por prestarme sus oficinas durante la redacción de ésta tesina.
- A Alexis Ponce por la realización de los cortes delgados, que nos permitieron hacer los estudios petrográficos y micromorfológicos.
- A la Fundación FAERAC y a Jorge Pico por brindarnos la posibilidad de realizar la tomografía en sus instalaciones de manera gratuita.

14-12-2017

Firma del autor

Departamento de Geología

“FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES”

“UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA”

Resumen: Se realizó el estudio de una icnofábrica continental descubierta en sedimentitas fluviales volcanoclásticas pertenecientes al Miembro Puesto La Paloma de la Formación Cerro Barcino (Cretácico Inferior), dentro de la cuenca Cañadón Asfalto, provincia de Chubut. Esta icnofábrica se compone de dos morfologías diferentes de trazas fósiles que no pudieron ser clasificadas icnotaxonómicamente. La morfología más común corresponde a excavaciones de sección circular, con pared lisa, relleno pasivo en general, aunque hay sectores meniscados, y de recorrido tortuoso e irregular que en conjunto forman una maraña de excavaciones no conectadas entre sí, siendo éste el aspecto general de la icnofábrica. El otro componente de la icnofábrica es un solo espécimen de una excavación mal preservada, de sección circular, relleno aparentemente activo y que sigue un recorrido arqueado que entra y sale de la capa portadora; es de mayor tamaño que las restantes trazas fósiles y su estado no permite mayor descripción. Los productores de las excavaciones que conforman la icnofábrica fueron las lombrices de tierra, principalmente de tipo endogeicas. La presencia de estos organismos indica que el suelo en el que habitaban tenía humedad suficiente para permitir la actividad de estos organismos y estaba bien drenado, impidiendo su anegamiento. Los rasgos pedológicos indican un clima estacional que en épocas posteriores al desarrollo de la icnofábrica se aridizó, al menos localmente. Esta interpretación paleoclimática concuerda con estudios previos de esta unidad. Comparándola con el resto de las icnofábricas complejas de Patagonia, y particularmente con las producidas por lombrices, se determinó que la estudiada aquí comprende un nuevo tipo, al cual se nombró, de manera informal, como “icnofábrica de *spaghetti*”, por su parecido con la red de excavaciones que la conforman. Temporalmente, el emplazamiento de la icnofábrica coincide con la aparición de las primeras evidencias de actividad de insectos, el comienzo de diversificación de las trazas fósiles de lombrices, y la decadencia de los registros de presencia de *crayfishes*.

Abstract: A continental ichnofabric discovered in fluvial volcanoclastic rocks belonging to the La Paloma Member of the Cerro Barcino Formation (Lower Cretaceous), within the Cañadón Asfalto basin, province of Chubut is studied here. This ichnofabric consists of two different kinds of trace fossils that could not be classified icnotaxonomically. Most common morphology is from rounded section burrows, with a smooth wall, commonly passively filled but with meniscate portions also, its paths are tortuous and random forming a tangled group of burrows. This is the overall appearance of the ichnofabric. Remaining component is an only specimen of a bad preserved burrow, rounded section, with supposed meniscate filling. This follow an arcuate path that penetrate and leaves the bed from above; this burrow is much bigger than the others and its preservation do not allow more description that is detailed. The producers of the ichnofabric were common earthworms, mainly of endogeic type. The presence of these organisms indicates that the soil they occupied was moist as to support these organisms and well drained to avoid permanent waterlogging. The pedological features indicate a seasonal climate which in later time to ichnofabric development became dryer, at least locally. This paleoclimatic interpretation agrees with previous interpretations for this unit. Comparing this ichnofabric with others from Patagonia, and particularly with those produced by earthworms, it was established that the one studied here represents a new type. It was named, informally, as "*spaghetti* ichnofabric", for its resemblance of the tangled excavations that dominate the ichnofabric. When comparing this ichnofabric with other paleosol ichnofabric from Patagonia, it can be inferred an emplacement coetaneous with the first records of insect activity, the beginning of diversification of earthworms trace fossils, and the decrease in dominance of crayfishes in the ichnological record.

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 Objetivos Generales.....	3
1.2.2 Objetivos Particulares.....	3
2 MARCO GEOLÓGICO.....	5
2.1 Geología de la cuenca.....	5
2.2 Área de estudio.....	9
3 METODOLOGÍA.....	14
3.1 Tareas de gabinete y laboratorio.....	14
3.1.1 Cortes delgados y micromorfología de paleosuelos.....	14
3.1.2 Análisis cuantitativo de la icnofábrica.....	15
3.1.3 Clasificación de trazas fósiles y nomenclatura de la icnofábrica.....	17
3.1.4 Tomografía.....	18
4 RESULTADOS.....	19
4.1 Descripción de la icnofábrica.....	20
4.2 Conteos composicionales.....	22
4.2.1 “Icnofábrica de <i>spaghetti</i> ”.....	23
4.2.2 Estratificación original.....	23
4.2.3 Pedofábrica.....	24
4.3 Cortes delgados y micromorfología de paleosuelos.....	25
4.4 Tomografía.....	27
5 DISCUSIÓN.....	30
5.1 Comparación con otros icnogéneros de morfología similar	30
5.2 Posibles productores.....	31
5.3 Orden de emplazamiento y relaciones de corte	34
5.4 Registros de icnofábricas continentales en Patagonia.....	35
5.5 Comparación con los registros de lombrices en Patagonia.....	36
5.6 Implicancias paleoclimáticas.....	39
6 CONCLUSIONES.....	41
7 BIBLIOGRAFÍA.....	43

1- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción

Se denomina icnofábrica al aspecto de la fábrica interna (textura y estructura) de un sedimento resultante de la bioturbación y/o bioerosión a cualquier escala (Ekdale y Bromley, 1983; Bromley y Ekdale, 1986). Es así que el estudio de las icnofábricas intenta complementar al análisis de icnofacies yendo más allá de un listado de asociaciones de icnotaxones al considerar todos los efectos que tiene la actividad de los organismos sobre el sustrato (Ekdale *et al.*, 2012). Además, durante un estudio de icnofábricas se tienen en cuenta también aquellas estructuras biogénicas que son excluidas del análisis de icnofacies por no ser clasificables taxonómicamente. Asimismo, cuantificar la extensión de la bioturbación e involucrar conceptos como el entrecruzamiento de las trazas y el escalonamiento (*tiering*), permiten realizar un estudio sinecológico de las mismas, o en otras palabras no solo del orden de emplazamiento sino de la evolución de las condiciones ambientales a lo largo de la evolución de la icnofábrica.

El estudio y análisis de icnofábricas ha demostrado ser muy importante para la resolución de problemas paleoambientales, estratigráficos, paleoecológicos y de exploración por hidrocarburos. Por ejemplo, la alteración de la estructura y textura primarias por organismos invertebrados puede modificar las propiedades físicas de las rocas cambiando su calidad como reservorio de hidrocarburos (*e. g.* Pemberton *et al.*, 2004). Una de las características más importantes a tener en cuenta durante cualquier estudio de trazas fósiles es que sus productores son muy sensibles a las condiciones ambientales en que se desarrollaron y formaron dicha traza. Por este motivo es posible inferir las condiciones paleoambientales durante y luego de la depositación de una capa. Si se considerara solamente la estructura sedimentaria la información que obtendríamos sería la de las condiciones del momento de depositación, que en ocasiones puede ser anómala. Es así que al hacer un análisis de icnofábrica se podrá combinar la información de las estructuras sedimentaria junto con otros datos micro y macropaleontológicos para caracterizar mucho mejor la facies involucrada y así comprender más acabadamente el paleoambiente de depositación (McIlroy, 2004a).

Aunque se han realizado numerosos estudios de icnofábricas de invertebrados en rocas de origen marino (*e. g.* Reineck, 1967; Frey y Pemberton, 1987; Bromley y Ekdale, 1986; Droser y Bottjer, 1989; Bottjer y Droser, 1991; Taylor y Goldring, 1993; Bottjer y Droser, 1994; Miller y Smail, 1997), su aplicación a emplazamientos continentales ha sido

mínima y restringida principalmente a algunos paleoambientes particulares, pero muy pocos de estos antecedentes hacen referencia sobre el análisis de icnofábricas en paleosuelos. Dentro de las escasas contribuciones, la mayoría solo aplican algunos escasos conceptos del análisis de icnofábricas al estudio de paleosuelos (Droser y Bottjer, 1986; Bown y Kraus 1987; Retallack 1990; Hasiotis *et al.*, 1993; González *et al.*, 1998; Hasiotis, 1997; Hasiotis y Dubiel, 1994; Hasiotis *et al.*, 1993; Miller y Mason, 2000; Tobin, 2004; Hembree y Hasiotis 2007, 2008; Smith *et al.*, 2008a, b); mientras que las que realizan un análisis completo de la icnofábrica en paleosuelos son aún más escasas (Genise *et al.*, 2004; Bedatou *et al.*, 2009; Bedatou, 2010).

El estudio de icnofábricas y trazas fósiles de invertebrados puede hacerse desde diferentes perspectivas. Dicho estudio comprende, por ejemplo, rasgos macro y micromorfológicos que pueden ser analizados mediante la preparación de cortes delgados de las trazas (Genise y Hazeldine, 1998a, Genise y Poiré, 2000), análisis con microscopía electrónica de barrido (Glaub *et al.*, 2007), secciones delgadas (Ligthart, 1997; Genise y Hazeldine, 1998a; Genise y Poiré, 2000; Cosarinsky, 2003a, b, 2004 a, b), reconstrucciones en 3D por computadora (Genise y Hazeldine, 1998b) incluyendo reconstrucciones tomográficas (Genise y Cladera, 1995; Bedatou, 2010), entre otras técnicas. Para realizar estimaciones cualitativas y/o cuantitativas del grado de bioturbación y relaciones de corte se pueden aplicar tanto las metodologías clásicas de los análisis de icnofábricas (e. g. Ekdale y Bromley, 1991; Taylor y Goldring, 1993; Bottjer y Droser, 1994; Miller y Snail, 1997; Wetzel y Uchman, 1998), como aquellas propuestas que analizan específicamente las icnofábricas que se desarrollan en paleosuelos (Genise *et al.*, 2004).

Los trabajos de campo desarrollados por el co-director de la presente tesina permitieron el hallazgo de una icnofábrica producida por organismos invertebrados en rocas fluviales cretácicas de la Formación Cerro Barcino, específicamente en el Miembro Puesto La Paloma, de edad aptiana según dataciones radiométricas inéditas (J.M. Krause, comunicación personal, 2017). Esta icnofábrica constituye el primer registro de su tipo para dicha formación y, pese a ser comparable con otras icnofábricas complejas registradas en paleosuelos diferentes localidades de Patagonia y en rocas de diferentes edades (Bedatou *et al.*, 2008; 2009; Bedatou 2010), presenta rasgos particulares como el tamaño y tipo de icnofósiles presentes que le confieren características particulares. La edad del depósito donde la icnofábrica se desarrolló, coincide con los primeros registros de icnofábricas producidas por insectos en los suelos de Patagonia, por lo que este registro

contribuye a ampliar el conocimiento de las icnofábricas en este importante momento de la evolución de las icnofaunas de los paleosuelos de Patagonia. En particular, la icnofábrica está incluida en una sucesión fluvial no confinada con abundante participación de material piroclástico (Umazano *et al.*, 2014, 2017), donde hay varios paleosuelos con coexistencia de rasgos hidromórficos y cálcicos desarrollados en un clima semiárido-árido y estacional (Krause *et al.*, 2014).

Los antecedentes icnológicos de esta formación son muy escasos. Entre ellos, es el Miembro Puesto La Paloma el que presenta mayor cantidad de menciones sobre icnofósiles, incluyendo *Taenidium barretti*, *Palaeophycus tubularis*, *Skolithos* isp., *Edaphichnium lumbricatum*, *Archaeonassa fossulata*, *Beaconites* isp., trazas de raíces, excavaciones asignadas probablemente a lepidosaurios y una “icnofábrica de *boxwork difusa*”, además de pisadas pequeñas de tipo mamiferoide (comparables a *Brasilichnium*), una huella tridáctila indeterminada y rastros de artrópodos (Pérez *et al.*, 2013a, b). Las publicaciones y menciones acerca de la icnología de los miembros restantes son menos abundantes, entre ellas se destaca un trabajo sobre bolas de rizolitos, asignadas probablemente, a la actividad de insectos en paleosuelos del Miembro Bayo Overo (Genise *et al.*, 2010). Además, se menciona la presencia de *Palaeophycus* en el Miembro Cerro Castaño y trazas vermiformes y actividad de raíces en el Miembro Las Plumas (Manassero *et al.*, 2000).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos Generales

Caracterizar la icnofábrica presente en la sucesión fluvial volcániclastica del Miembro Puesto La Paloma, Formación Cerro Barcino (Cretácico), aflorante en la localidad Tres Cerros, provincia de Chubut, Argentina; para así inferir sus condiciones de origen y productores y refinar la diagnosis paleoambiental de esa parte de la unidad, así como enmarcarla en el contexto de icnofábricas complejas continentales de la Patagonia Argentina.

1.2.2 Objetivos particulares

- * Reconocer las trazas fósiles presentes en la icnofábrica a estudiar, interpretarlas etológicamente y, si es posible, clasificarlas icnotaxonómicamente.
- * Determinar relaciones de escalonamiento y orden de emplazamiento de las trazas fósiles, si hubiere más de un tipo.

- * Caracterizar morfológicamente la icnofábrica.
- * Cuantificar la intensidad de la bioturbación.
- * Comparar esta icnofábrica con las icnofábricas complejas descritas previamente en Patagonia, Argentina; con énfasis en sucesiones volcaniclásticas análogas.
- * Refinar la interpretación paleoambiental y/o paleoclimática ya inferida para la zona de estudio.

2- MARCO GEOLÓGICO

2.1 Geología de la cuenca

La Cuenca de Cañadón Asfalto se encuentra en el centro-norte de la provincia de Chubut, entre el Macizo Nordpatagónico y la Cuenca del Golfo San Jorge (Figura 1), abarcando una superficie de 72.000 km² aproximadamente (Figari y Courtade, 1993; Cortiñas, 1996; Ranalli *et al.*, 2011; Figari *et al.*, 2015). Presenta una potente columna sedimentaria del Jurásico-Cretácico acumulada en hemigrábenes, pertenecientes a un sistema de *rift* formado por un proceso de extensión regional jurásico vinculado al desmembramiento de Gondwana y a la apertura del Océano Atlántico Sur.

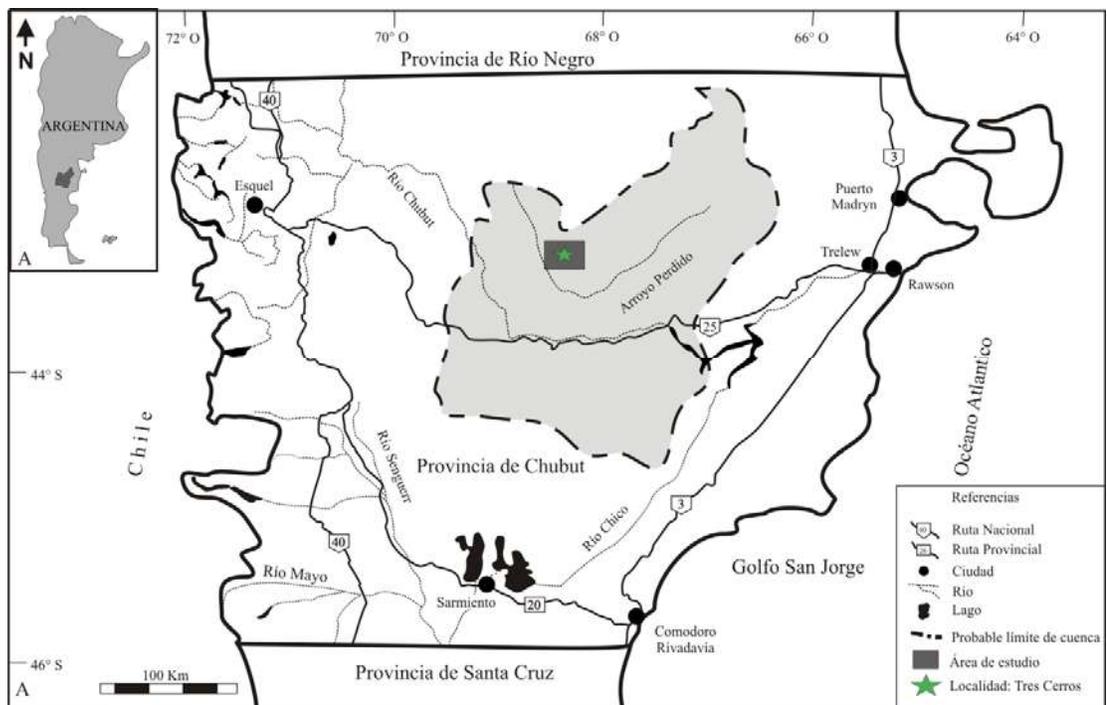


Figura 1. Ubicación de la cuenca Cañadón Asfalto y del área de estudio dentro de ella (modificado de Carmona, 2015).

De acuerdo a Figari *et al.* (2015) el relleno de la cuenca incluye tres megasecuencias depositacionales denominadas *J1*, *J2* y *K* separadas entre sí por discordancias regionales (Figura 2). El basamento está constituido por granitoides y metamorfitas del Paleozoico-Triásico que incluyen a las formaciones Cushamen (Volkheimer, 1964), Lipetrén (Coira *et al.*, 1975) y Mamil Choique (Sesana, 1968), así como sus equivalentes laterales. En su conjunto, estas rocas representan la etapa de *pre-rift* de la cuenca.

La Megasecuencia **J1** se acumuló durante el Jurásico inferior- Jurásico medio y está representada por las formaciones Las Leoneras, Lonco Trapial y Cañadón Asfalto. La Formación Las Leoneras (Nakayama, 1973, Chebli *et al.*, 1976) se inicia con depósitos de abanicos aluviales, o de sistemas fluviales con sinuosidad moderada y buen desarrollo de las planicies de inundación; y culmina con bancos de pelitas lacustres interestratificadas con depósitos piroclásticos de caída y de flujo (Pol *et al.*, 2011; Escapa *et al.*, 2015). Por encima se encuentra la Formación Lonco Trapial, en la cual predominan aglomerados y brechas volcánicas con matriz arenosa gruesa, en bancos potentes, de varios metros de espesor (Lesta y Ferello, 1972; Lizuaín y Silva Nieto, 2005). Culminando la megasecuencia J1 está la Formación Cañadón Asfalto, integrada por pelitas y calizas mayormente lacustres desarrolladas durante el Jurásico Medio (Proserpio, 1987; Cabaleri y Armella, 1999, 2005; Cabaleri *et al.*, 2005; Volkheimer *et al.*, 2008; Gallego *et al.*, 2011). Cabe mencionar que dataciones radiométricas recientes posicionan el límite entre las formaciones Lonco Trapial y Cañadón Asfalto en el intervalo 172 Ma - 168 Ma (Hauser *et al.*, 2017). Las formaciones mencionadas se encuentran separadas entre sí por discordancias erosivas y localmente angulares, que son el resultado del entorno tectónico de un *rift* incipiente a juvenil.

La Megasecuencia **J2** comprende sedimentos aluviales, lacustres y fluvio deltaicos pertenecientes a la Formación Cañadón Calcáreo (Proserpio, 1987) del Jurásico Superior, más específicamente de edad oxfordiana-kimmeridgiana (Cúneo *et al.*, 2013). Esta unidad yace en suave discordancia angular sobre la Formación Cañadón Asfalto (Figari, 2005), y se diferencia de ella por su escaso contenido de rocas carbonáticas y por presentar menor deformación (Proserpio, 1987; Volkheimer *et al.*, 2009). El espacio de acomodación para los sedimentos fue creado por una reactivación tectónica durante el Calloviano-Tithoniano, generando condiciones de *rift* maduro (Figura 2) (Figari *et al.*, 2015).

La Megasecuencia **K** corresponde a la etapa de *post-rift* de la cuenca e incluye a las sedimentitas cretácicas del Grupo Chubut (Gianni *et al.*, 2015, 2016), las cuales han sido asignadas por Figari *et al.*, (2015) al Barremiano-Campaniano sobre la base de relaciones estratigráficas, el contenido micropaleontológico (Musacchio, 1972; Musacchio y Chebli, 1975; Volkheimer *et al.*, 2009; Marveggio y Llorens, 2013) y dataciones radiométricas (Suarez *et al.*, 2014; Navarro *et al.*, 2015). Además, una edad absoluta recientemente publicada también es coherente con este rango temporal (Carballido *et al.*, 2017). El Grupo Chubut se ha dividido estratigráficamente utilizando

dos esquemas diferentes. Según Chebli *et al.* (1976), el Grupo Chubut está constituido por las formaciones Gorro Frigio, Cañadón de Las Víboras y Puesto Manuel Arce; y según Codignotto *et al.*, (1978), al cual se sigue en este trabajo, se divide en dos formaciones denominadas Los Adobes (Tasch y Volkheimer, 1970) y Cerro Barcino (Nakayama, 1973). La Formación Los Adobes, depositada luego de un episodio de rotación de bloques y reactivación tectónica, está constituida por los Miembros Arroyo del Pajarito y Bardas Coloradas; ambos son esencialmente silicoclásticos y registran depósitos de un ambiente aluvial (Allard *et al.*, 2009, 2010, 2011; Figari, 2005; Figari *et al.*, 2015; Villegas *et al.*, 2014; Brea *et al.*, 2016). La Formación Cerro Barcino fue depositada durante la etapa de hundimiento térmico; se compone principalmente de estratos tobáceos tabulares y areniscas canalizadas, representando ambientes aluviales con abundante influjo piroclástico desde el incipiente Arco Volcánico Andino, localizado más de 150 km al oeste (Gianni *et al.*, 2015; Echaurren *et al.*, 2016). La misma se subdivide en cinco miembros usando la coloración dominante de sus estratos; en orden estratigráfico ascendente ellos son: Puesto La Paloma (verdoso), Cerro Castaño (rojizo), Las Plumas (rosado y rojizo) y Puesto Manuel Arce (grisáceo). En algunos sectores, el Miembro Puesto Manuel Arce suele estar remplazado por rocas amarillentas y verdosas que se denominan Miembro Bayo Overo. Cabe mencionar que recientemente se planteó la necesidad de revisar la existencia del Miembro Bayo Overo, así como la posibilidad de reasignar las zonas mapeadas como tal a los Miembros Puesto La Paloma, Cerro Castaño y Las Plumas (Silva Nieto *et al.*, 2017). La distribución de los Miembros que conforman la Formación Cerro Barcino manifiestan una disminución de la edad hacia el este (Chebli *et al.*, 1976; Codignotto *et al.*, 1978), vinculada a una migración de los depocentros en tal dirección.

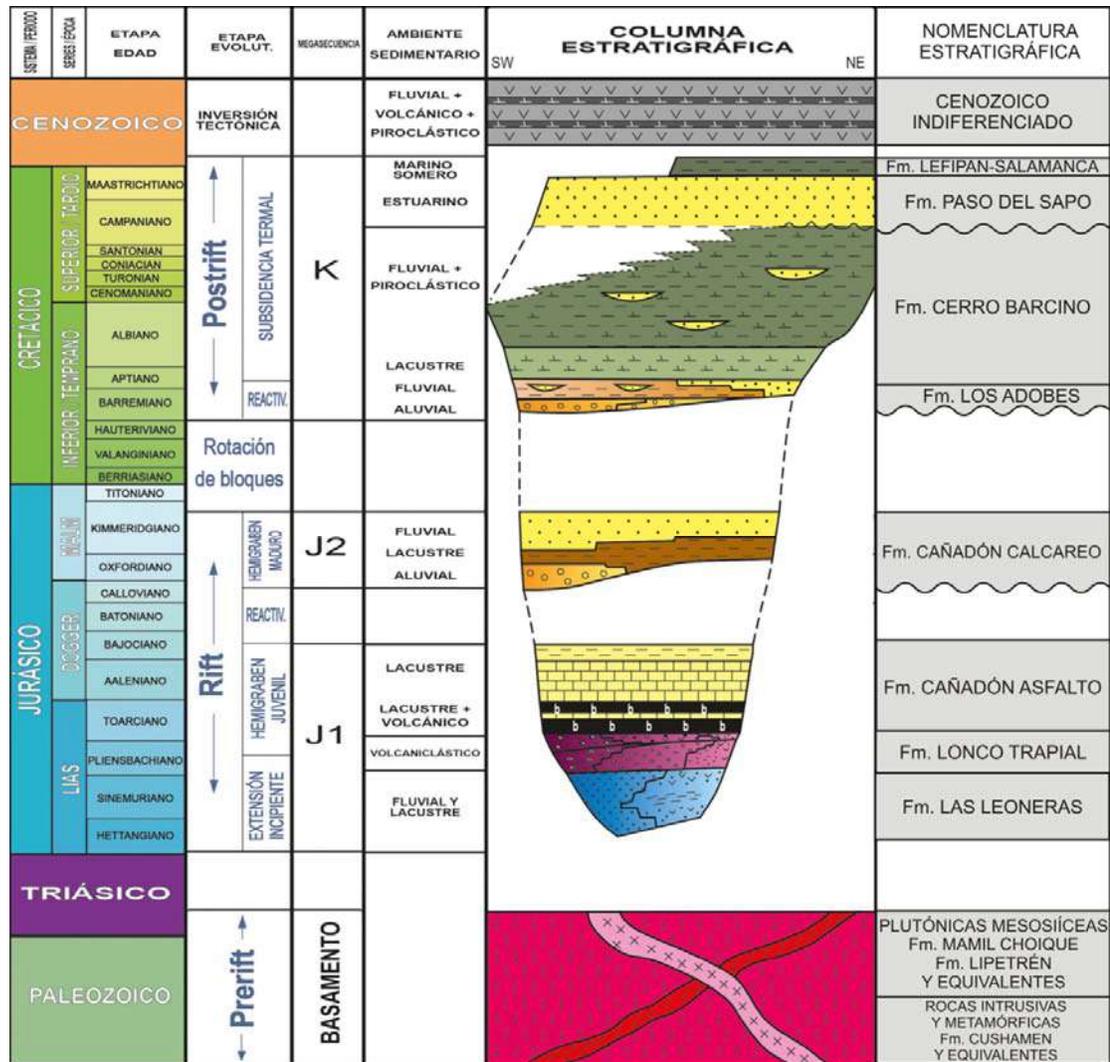


Figura 2. Columna estratigráfica general de la cuenca de Cañadón Asfalto (modificada de Figari *et al.*, 2015).

Paleoambientalmente, el Miembro Puesto la Paloma constituye principalmente el registro de sistemas fluviales efímeros no confinados, con reducida participación de facies de dunas eólicas, de interduna seca, lacustres y caída de ceniza volcánica (Allard *et al.*, 2010; Umazano, 2010; de la Fuente *et al.*, 2011; Umazano *et al.*, 2014; Villegas *et al.*, 2014; Brea *et al.*, 2016; Umazano *et al.*, 2016). Los miembros suprayacentes (Cerro Castaño, Las Plumas, Puesto Manuel Arce y Bayo Overo) están constituidos principalmente por sistemas fluviales con paleocanales areno-conglomerádicos permanentes que surcaban planicies de inundación vegetadas, interestratificados con depósitos tobáceos, registrando sistemas fluviales de diferentes diseños (e. g., Codignotto *et al.*, 1978; Manassero *et al.*, 2000; Allard *et al.*, 2010; Foix *et al.*, 2012; Umazano *et al.*, 2012a; Umazano y Krause, 2013; Umazano *et al.*, 2014; Carmona, 2015; Ruz Gatto, 2015;

Umazano *et al.*, 2016, 2017; Villegas *et al.*, 2017a). Hacia la periferia oriental de la cuenca, las facies fluviales del Miembro Las Plumas están relacionadas con un paleoambiente de abanico aluvial afectado por la actividad sin-sedimentaria de las fallas maestras (Allard *et al.*, 2014; Villegas *et al.*, 2017b).

Por encima del Grupo Chubut, y culminando la megasecuencia **K**, se encuentran las sedimentitas de las formaciones Paso del Sapo y Lefipán-Salamanca, depositadas en ambientes estuarinos y marinos litorales durante la primera transgresión atlántica en el Campaniano-Daniano (Page *et al.*, 1999). Posteriormente se depositó el Grupo Sarmiento compuesto principalmente por tobas y otras piroclastitas, muchas de ellas retrabajadas, que tuvieron su origen en efusiones ocurridas en el intervalo Eoceno a Mioceno Inferior (Belloso, 2010; Ranalli *et al.*, 2011). La estratigrafía cenozoica se completa con coladas basálticas y niveles aterrazados cenozoicos; y/o una cubierta aluvional moderna (Proserpio, 1987; Figari *et al.*, 2015 y referencias allí citadas).

2.2 Área de estudio

El área de estudio se ubica en el centro-norte de la provincia de Chubut, y forma parte de la Hoja Geológica 4369-IV “Los Altares”. La localidad se denomina Tres Cerros y se encuentra a los 43°14’00” S y 68°33’16” O, distante aproximadamente 220 km al oeste de Trelew (Figura 1). En Tres Cerros afloran, de manera sub-horizontal y en orden estratigráfico ascendente, los miembros Puesto La Paloma y Cerro Castaño de la Formación Cerro Barcino (Cretácico); la Formación Sarmiento (Oligoceno-Mioceno); y una colada basáltica neógena (Figura 3).

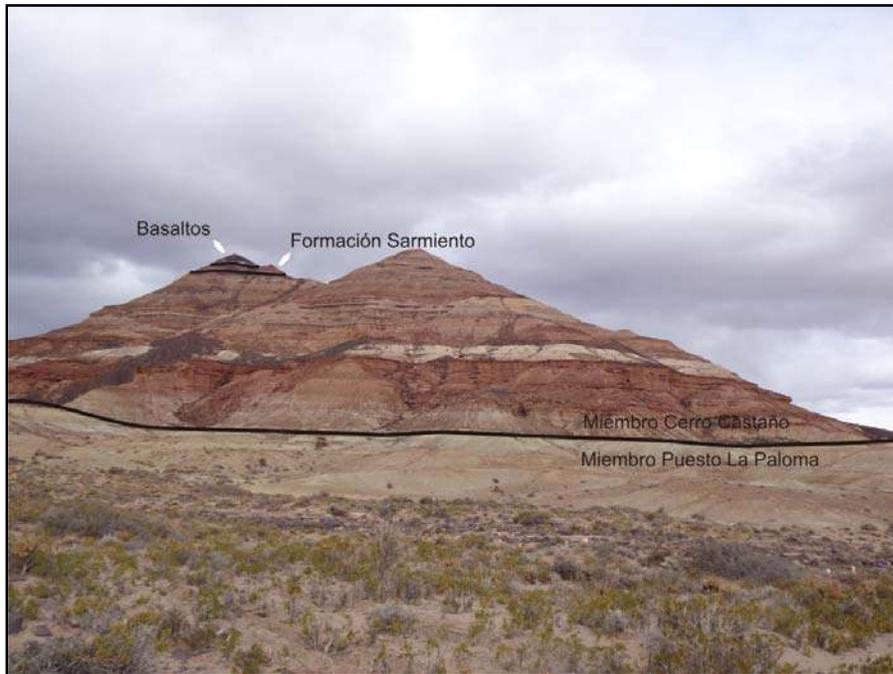


Figura 3. Imagen panorámica de la localidad de Tres Cerros donde puede observarse las unidades estratigráficas que afloran (modificada de Umazano *et al.*, 2017).

En Umazano *et al.* (2017) se presenta el perfil completo de la Fm. Cerro Barcino con el detalle completo de facies y asociaciones de facies. Aquí se presentan en la Tabla 1 las facies del Miembro Puesto La Paloma; que, en el contexto de Umazano *et al.* (2017) integran en su totalidad la asociación de facies FA2 (Figura 4). Esta asociación consiste de depósitos tabulares, con continuidad lateral de varios cientos de metros, mayormente compuestos de areniscas tobáceas moderadamente a bien seleccionadas, de grano fino a medio y con laminación paralela o maciza (Facies TSm y TSh que suelen gradar verticalmente de una a otra). Las bases de las capas son levemente erosivas. Subordinadamente pueden aparecer areniscas y areniscas tobáceas con estratificación entrecruzada en artesa (facies TSt y St), areniscas tobáceas con onduladas (facies TSr) y areniscas macizas (facies Sm). También es reducida la participación de la facies P, formada por areniscas con rizolitos, motas, nódulos y estructura de peds. La facies puede presentar rasgos tanto hidromórficos como cálcicos (Krause *et al.*, 2014).

La asociación de facies FA2 se interpreta como de flujos en manto (Umazano *et al.*, 2017) con remobilización de depósitos piroclásticos sobre la base de la geometría de los cuerpos y por la dominancia de areniscas tobáceas (Cas y Wright, 1987; Martina *et al.*, 2006; Fisher *et al.*, 2007; Hampton y Horton, 2007; Nichols y Fisher, 2007; Umazano *et al.*, 2008, 2012b). Estos depósitos serían el producto de un sistema fluvial no confinado

con fuerte influencia volcánica piroclástica, donde coexistió el desarrollo de flujos diluidos con concentraciones de sedimentos variables (facies TSm, TSh y Sm). La sucesión presenta abundantes evidencias pedológicas, como motas, horizontes estructurados, nódulos y rizoconcreciones, conformando un conjunto de paleosuelos apilados (facies P) (Figura 5). En el depósito sobre el cual se desarrolló la icnofábrica, los caracteres hidromórficos (motas) están presentes en mucha menor cantidad que en otros paleosuelos del perfil.

Facies	Litología y textura	Estructuras sedimentarias	Contenido fósil	Interpretación
TSm	Arenisca tobácea vítrea, fina a media, moderadamente bien seleccionada	Maciza, <i>scours</i> comunes en la base, escasas concreciones y anillos Liesegang	Excavaciones de invertebrados, huesos y huevos de dinosaurios, bolas de rizolitos.	Retrabajo del sustrato piroclástico por flujos diluidos con baja relación agua/sedimento
TSh	Arenisca tobácea vítrea, fina a media, moderadamente bien seleccionada	Laminación plana, paralela, laminas ocasionalmente deformadas, concreciones raras	Excavaciones de invertebrados	Retrabajo del sustrato piroclástico por flujos de corrientes con desarrollo de capas planas
TSt	Arenisca tobácea vítrea, fina, bien seleccionada	Estratificación entrecruzada en artesa, raros pliegues sinsedimentarios	Excavaciones de invertebrados	Retrabajo del sustrato piroclástico por flujos de agua con desarrollo de dunas 3D
St	Arenisca tobácea, gruesa a fina, moderadamente bien seleccionada	Estratificación entrecruzada en artesa, concreciones raras	Excavaciones de invertebrados, huesos de dinosaurios	Migración subcúea de dunas 3D
TSr	Arenisca tobácea de grano fino	Ondulas asimétricas		Retrabajo del sustrato piroclástico por corrientes de baja energía
Sm	Arenisca, media a fina, moderadamente bien seleccionada	Maciza, <i>scours</i> comunes en la base, escasas concreciones	Excavaciones de invertebrados	Flujos diluidos con alta concentración de sedimentos
P	Toba, fina; areniscas tobáceas o mudstones tobáceos	Maciza, raramente laminación relictual. Pedregos macro y microscópicos	Rizolitos y excavaciones de invertebrados	Desarrollo de suelos en depósitos primarios o retrabajados

Tabla 1. Modelo de facies de Umazano *et al.* (2017) para el Miembro La Paloma.

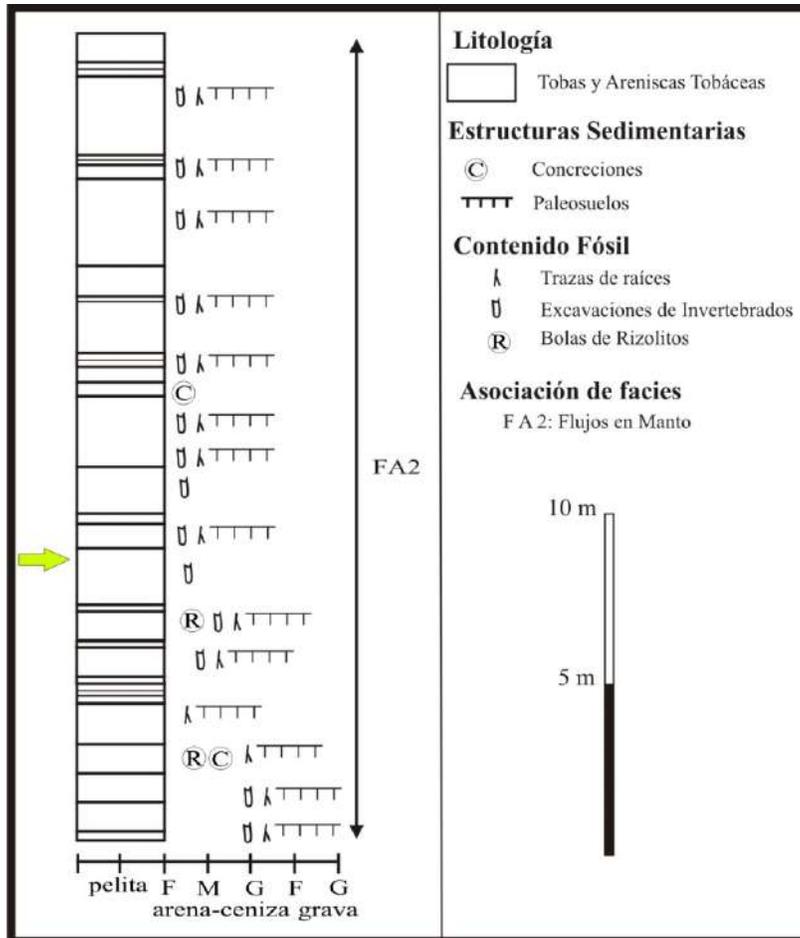


Figura 4. Registro sedimentario detallado del Miembro Puesto La Paloma en la Localidad de Tres Cerros (modificado de Umazano *et al.*, 2017). La flecha verde indica el nivel estratigráfico de la icnofábrica estudiada.

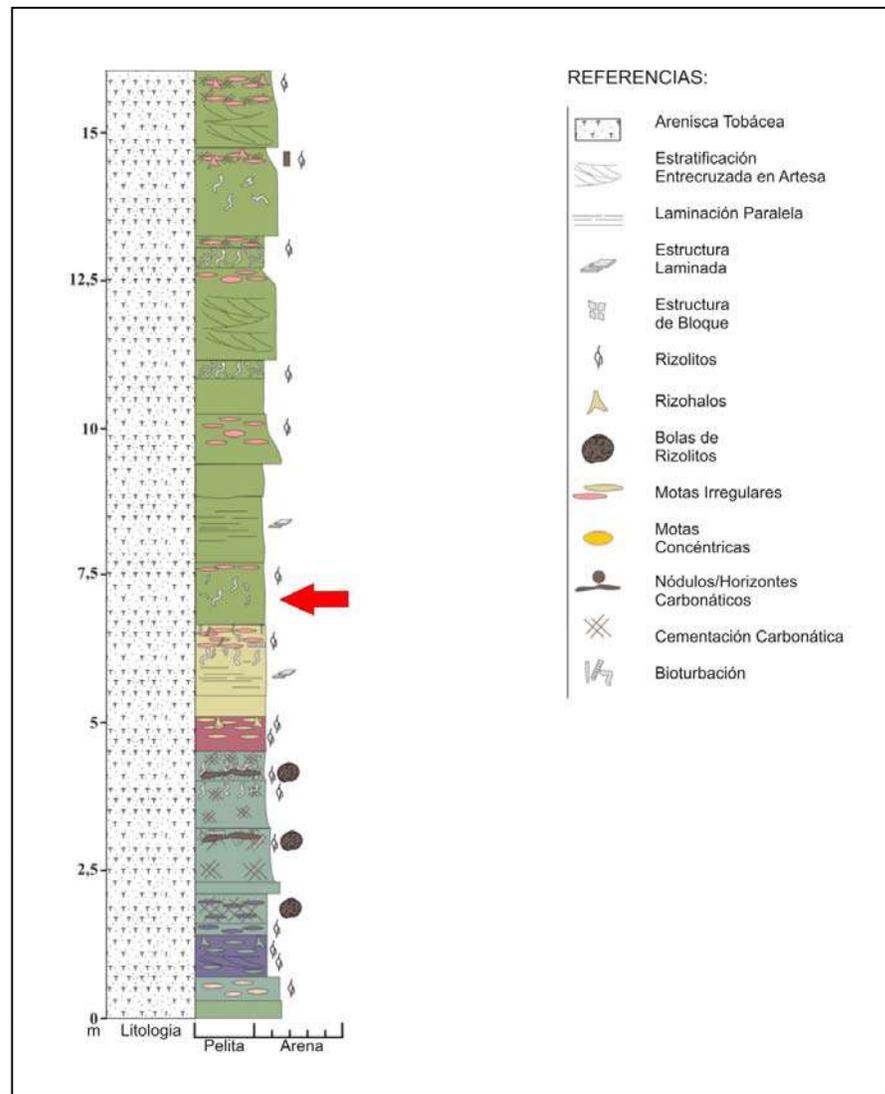


Figura 5. Perfil del Miembro Puesto La Paloma en la localidad de Tres Cerros. Los distintos colores indican diferentes colores de la matriz. La flecha roja indica el nivel estratigráfico de la icnofábrica estudiada.

El paleosuelo donde se encontró la icnofábrica, señalado con una flecha roja en la Figura 5, consta de 1,25 m de arenisca tobácea fina maciza, de color verde amarillo grisáceo (5GY 7/2), con sus 50 cm superiores intensamente bioturbados formando una icnofábrica compleja virtualmente monoespecífica (Figura 8). En el contexto paleoambiental interpretado por Umazano *et al.*, (2014, 2017), la roca registra un flujo diluido con alta concentración de sedimentos y una posterior modificación pedogenética del depósito resultante. La capa tiene una continuidad lateral mínima de aproximadamente 40 m, donde la intensidad de la bioturbación y su espesor se mantienen sin variaciones. Lateralmente, la capa se correlaciona con un paleosuelo con rizolitos, excavaciones indeterminadas y motas irregulares rosadas y grisáceas (Krause *et al.*, 2014).

Respecto a la posición geocronológica del Miembro Puesto La Paloma, recientes dataciones radiométricas de la base y el techo de la unidad en localidades aledañas a Tres Cerros indican una edad aptiana para el mismo (Krause, comunicación personal, 2017).

3- METODOLOGIA

Las actividades de campo relacionadas con el trabajo aquí presentado incluyeron la medición del perfil sedimentológico detallado del Miembro Puesto La Paloma, la descripción *in situ* de la icnofábrica y la toma de muestras. Estas actividades fueron realizadas en diciembre de 2011, previamente a la ejecución de esta tesina, por el codirector de la misma y J.M. Krause.

3.1 Tareas de gabinete y laboratorio

El procesamiento y análisis del material examinado se llevó a cabo en gabinetes y laboratorios del Departamento de Geología de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de La Pampa, excepto la tomografía computada que fue realizada en las instalaciones de la Fundación Ayuda Enfermo Renal y Alta Complejidad (FAERAC), en Santa Rosa, La Pampa.

3.1.1 Cortes delgados y micromorfología de paleosuelos

Se realizaron 13 cortes delgados de las 2 muestras disponibles. Algunos de los cortes se realizaron sobre la roca huésped para estudiarla petrográficamente, y otros se realizaron englobando algunas de las trazas fósiles para observar en detalle sus características y la relación con la roca hospedante.

Las secciones delgadas se elaboraron siguiendo la metodología descrita en Ireland (1971), en el Laboratorio de Corte y Pulido de Rocas de la Universidad Nacional de La Pampa utilizando una cortadora de disco de diamante y desbastadora Struers Discoplan-TS y una pulidora Struers Planopol-V.

Tanto los estudios petrográficos como los micromorfológicos se efectuaron en un microscopio Nikon Eclipse E400 POL de la Universidad Nacional de La Pampa. Las descripciones micromorfológicas de los paleosuelos se realizaron siguiendo a Bullock *et al.* (1985) usando la terminología en castellano sugerida por Stoops (1990).

Para su caracterización textural, debido a que se trata de un depósito piroclástico retrabajado, pero sin presentar mezclas con otros sedimentos, se utilizó la clasificación de Teruggi *et al.*, (1978). Para ello se utilizaron comparadores visuales.

Debido a que el depósito no se encuentra mezclado, también se pudo efectuar una clasificación composicional empleando el diagrama triangular que tiene en sus vértices cristales, líticos y vidrio (Schmid, 1981); una alternativa que fuera usada por Umazano *et al.*, (2009). Para ello se realizó un conteo composicional con un contador de puntos Prior modelo G, analizándose 400 puntos por sección delgada para determinar los porcentajes de vidrio, cristales, líticos, cemento, poros y alteritas.

3.1.2 Análisis cuantitativo de la icnofábrica

Para la descripción de la icnofábrica, se siguió la metodología propuesta por Genise *et al.*, (2004). En dicho trabajo se propone usar un diagrama ternario composicional (al cuál llamaron PITD según las iniciales de *Pedofabric Ichnofabric Ternary Diagram*), para ilustrar el grado en que un depósito sedimentario es modificado por la icnofábricas y los caracteres observables del suelo, además de mostrar el relicto, si hubiere, de estratificación original.

Este diagrama consiste en 6 campos que indican el índice de bioturbación que tiene un paleosuelo. En este tipo de diagramas se grafican los valores de icnofábrica (IF), pedofábrica (PF) y estratificación original (EO) obtenidos mediante un conteo de puntos composicional realizado macroscópicamente.

En IF se incluyen aquellos puntos que corresponden a cualquier parte de una traza fósil (incluyendo trazas de raíces). EO comprende todas las estructuras sedimentarias primarias preservadas. Finalmente, PF se calculó considerando el desarrollo de rasgos pedológicos macroscópicos que modifican la fábrica sedimentaria original (siempre y cuando no sean trazas fósiles ya que estas se incluyen como icnofábrica). Por otra parte, tanto la presencia de rasgos pedológicos microscópicos, como de enrojecimiento no son considerados en los cálculos de la pedofábrica, ya que no afectan ni modifican la fábrica del depósito, por lo que se contabilizan como estratificación original (EO). Además, si por el motivo que fuere, algún punto durante el conteo no pudo definirse entre IF, PF o EO fue considerado y contado como “nulo” y descartado de los cálculos posteriores, recalculando el porcentaje total con la sumatoria de los puntos válidos.

El conteo composicional de la icnofábrica se hizo sobre fotografías de secciones pulidas, a las que se les aplicó la técnica de tratamiento con aceite modificada de Bushinsky (Bromley, 1981) a una cara de la muestra previamente cortada y pulida.

El procedimiento para obtener la sección pulida y tratada con aceite fue el siguiente:

1. Se cortó la muestra con un disco de diamante, y luego se pulió una de sus caras con polvos de pulir hasta el grano 600.

2. Se secó a 40 °C en una estufa de laboratorio (Figura 6A), para eliminar la humedad y poder aplicarle de manera uniforme a la superficie previamente pulida, una pátina de lubricante especial para máquinas de coser y tejer “Lubritex” (Figura 6B).

3. Luego de aplicarle la capa de aceite, se dejó reposar la muestra durante 20 minutos para que éste penetrase en la roca, con la finalidad de aumentar el contraste entre las trazas y la roca hospedante.

4. El paso anterior se repitió 3 veces más, pero debido a la dureza y baja permeabilidad de la roca no se notaron cambios rápidamente.

5. Por último, se dejó reposar la roca durante 24 hs, permitiendo de ésta manera que el aceite penetre y se seque. Se fotografiaron las distintas etapas de secado, ortogonalmente a la superficie pulida, para elegir aquella en la que el contraste de la icnofábrica fuera más notorio y permitiera su mejor visualización (Figura 6C).



Figura 6: Proceso de aplicación de la técnica con aceite, modificada de Bushinsky. (A) Muestra original luego de ser entibiada al horno. (B) Primera aplicación de aceite sobre la muestra. (C) Resultado final luego del secado de 24 hs. (D) Grilla utilizada para el conteo composicional de la icnofábrica en una de las fotografías.

Con las imágenes finales obtenidas luego de la aplicación del aceite, se realizaron los conteos composicionales manualmente, utilizando para ello una cuadrícula de 31 x 15 hilos espaciados a 4 mm, lo que da un total de 465 intersecciones, o puntos de conteo (Figura 6D). El tamaño de grilla se eligió arbitrariamente para cubrir la mayor parte de la muestra. Se eligió esa separación entre hilos considerando el diámetro promedio de las trazas fósiles y la necesidad de asegurar intersectarlas. Con esto se pudieron calcular los porcentajes de icnofábrica (IF), estratificación original (EO) y pedofábrica (PF) que hay en la muestra y graficarlos en el diagrama PITD. El procedimiento se realizó sobre dos fotografías y por dos personas diferentes (el autor y el director de esta tesina) para reducir el error por operador.

3.1.3 Clasificación de las trazas fósiles y nomenclatura de la icnofábrica

Debido al gran número y a la distribución compleja que estas trazas presentan, no se puede determinar la forma y recorrido completos de los individuos; ya que por lo general solo se ven pequeños tramos de ellos. Esta misma situación tampoco permite recolectar especímenes individuales. Por ello, para su estudio se colectaron 2 bloques que contenían varias trazas.

Para la determinación icnotaxonómica de las trazas fósiles se recurrió a la comparación con otras trazas ya descritas para, eventualmente, asignarlas al icnotaxón correspondiente. En los casos que esto no fue posible se utilizó la nomenclatura abierta para hacer referencia a los componentes de la icnofábrica. Para asignarle a esta última un nombre se recurrió a un nombre descriptivo, ya que a las trazas fósiles que la componen no se pudieron asignar a un icnotaxón formal. Esta metodología de nomenclatura ha sido utilizada tradicionalmente en icnología para icnofacies de distribución mundial (i.e. Seilacher, 1967; Bromley y Asgaard, 1979; Frey *et al.*, 1984a, b; Bromley, 1996), aunque también ha sido utilizada para nombrar icnofábricas en estudios puntuales (Bockelie, 1991; Taylor y Goldring, 1993; McIlroy, 2004a, b; Bedatou *et al.*, 2009; Bedatou, 2010). En la mayoría de los casos se utiliza el nombre del icnotaxón dominante, aunque en algunos casos se utilizan nombres descriptivos.

3.1.4 Tomografía

En el centro privado de salud “Fundación Ayuda al Enfermo Renal y Alta Complejidad” (FAERAC) de la ciudad de Santa Rosa (La Pampa), se realizaron tres escaneos tomográficos computarizados en un bloque representativo de la icnofábrica de aproximadamente 20 x 25 x 12 cm, con la intención de estudiar la fábrica de la misma sin tener que destruirla. Los estudios se realizaron con un tomógrafo médico convencional Toshiba, helicoidal, multicorte, de 4 canales, configurado a 200 mA y 120 kV. La muestra fue escaneada en tres sectores diferentes denominados 1, 2 y 3 (Figura 7). En el Sector 1 el tiempo de escaneo fue de 0,5 segundo/vuelta y en los otros dos de 1 segundo/vuelta (cada vuelta incluye 4 cortes de 1 mm), y un campo de 240 y 400 mm respectivamente. El cambio en la configuración se hizo para mejorar la resolución del escaneo. De cada tramo se guardaron imágenes con dos filtros automáticos diferentes, ambos para tejidos blandos (cerebro y abdomen). En los Sectores 1 y 2, se tomaron 43 imágenes y en el último 22.

Los datos obtenidos se guardaron en un CD en formato DICOM, el cual permite su manejo en cualquier *software* para visualización y reconstrucción 3D de tomografías computadas. Gentilmente, FAERAC brindó un *software* libre que contiene algunas herramientas de procesamiento y visualización de datos llamado eFilmLt. En este programa se reconstruyeron las imágenes de las secciones de la muestra cada 1 mm, obteniendo así una serie de imágenes de cortes virtuales, separados 1 mm entre sí.

Posteriormente, se procedió a editar las imágenes originales con la finalidad de resaltar las características importantes y poder discriminar adecuadamente las trazas fósiles del paleosuelo portador de las mismas. En primer lugar, se las trabajó con el programa entregado por el técnico, invirtiéndole los colores y cambiándole los filtros automáticos (para tejidos blandos) por un filtro para huesos, ya que éste permitió una mejor visualización de la icnofábrica. Una vez mejorado el contraste entre las trazas y la roca hospedante se guardaron las imágenes en formato JPG, para su posterior edición con el *software* Picasa 3. Con dicha herramienta se aumentaron las sombras y se trabajó con diferentes efectos; entre estos, los que revelaron mayor información fueron el de “HDR” (alto rango dinámico) y “Esbozo a Lápiz”. Recién después de tratar las imágenes con este programa, se procedió a analizar las características que estas imágenes revelaron.

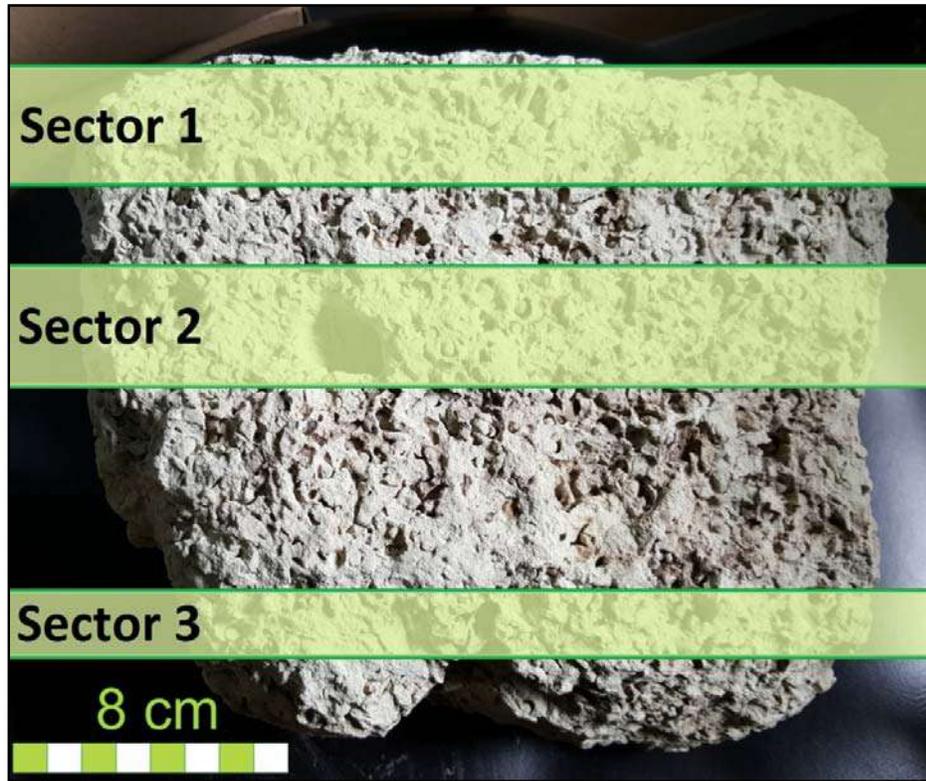


Figura 7. Sectores de la muestra donde se realizaron las tomografías computadas.

4- RESULTADOS

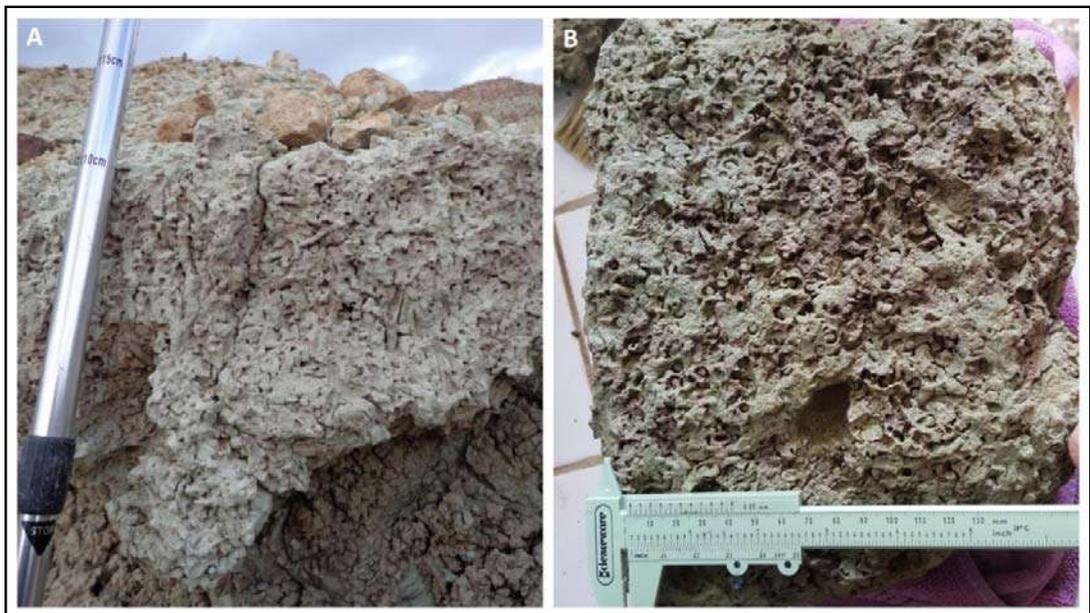


Figura 8. (A) Aspecto de la icnofábrica en el campo. (B) Bloque estudiado en el laboratorio, utilizado para las tomografías y para obtener los cortes delgados y las secciones pulidas.

4.1 Descripción de la icnofábrica

La icnofábrica está integrada por dos tipos de trazas. El primero de ellos (Tipo A) está representado por un único ejemplar, el cual consiste en un tubo simple, de trayectoria arqueada, cóncava hacia arriba, sin ramificaciones ni revestimiento o pared y que parece entrar y salir del depósito (Figuras 9 y 10). Es el icnofósil de mayor tamaño registrado, teniendo 20 mm de diámetro y 130 mm de largo. El relleno es de similar composición al paleosuelo, aunque más friable y con mayor proporción de arcilla. Una parte de este relleno es macizo y la otra parece estar dividida en paquetes de sección subcircular y de unos 17 mm de diámetro que podrían tratarse de pellets o meniscos, aunque el estado de preservación no permite definirlo (Figura 9A). Otra característica importante que se pudo observar, tanto en las tomografías como en la muestra de mano, es que se encuentra cortada por las trazas más pequeñas (Tipo B) que componen la icnofábrica (Figura 10).

El segundo tipo de traza fósil registrado (Tipo B), es más abundante y más representativo de la icnofábrica. Los especímenes consisten en excavaciones de sección subcircular, con diámetros bastante uniformes que varían entre 3,1 y 5 mm, siendo 4,2 mm el diámetro promedio ($n=18$, $\sigma=0.6$). Los recorridos que siguen estas excavaciones son irregulares y tortuosos con un largo máximo registrado de 48 mm (Figura 11) y sin ramificaciones observadas. En conjunto, los especímenes del Tipo B no forman una estructura tridimensional definida, como un *boxwork* por ejemplo (*sensu* Ekdale *et al.*, 1983) ya que no forman un sistema interconectado, sino un agrupamiento aleatorio que más bien recuerda un plato de fideos tipo “spaghetti”. Con este nombre informal pero descriptivo, se nombrará a la icnofábrica de aquí en adelante. Presentan una pared sin estructura, que se visibiliza al ser eliminada preferencialmente por la erosión. Además de cortar la traza fósil Tipo A, se observaron dos casos aislados en que las trazas Tipo B se cortan entre ellas (Figura 12). En cuanto al relleno, el mismo es de similar composición a la roca hospedante y en el 94% de los casos presentan relleno macizo, mientras que el 6% restante tiene relleno meniscado (Figura 11B). En general, no parecen tener una orientación preferencial, aunque sí se observaron una serie de casos en que los ejemplares son rectos o ligeramente curvos y están alineados vertical o subverticalmente.

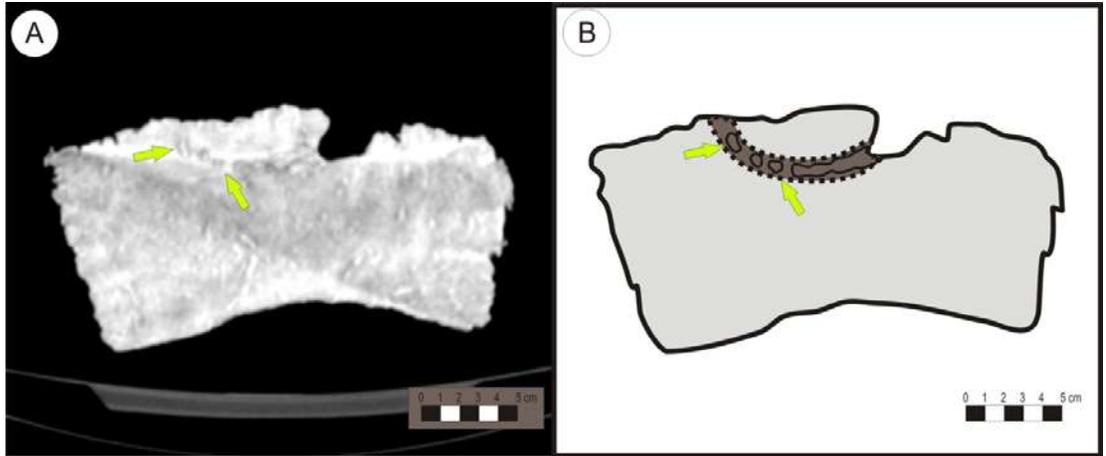


Figura 9. Imagen tomográfica de la traza Tipo A (A) y su representación gráfica (B). Las flechas indican los probables pellets o meniscos.

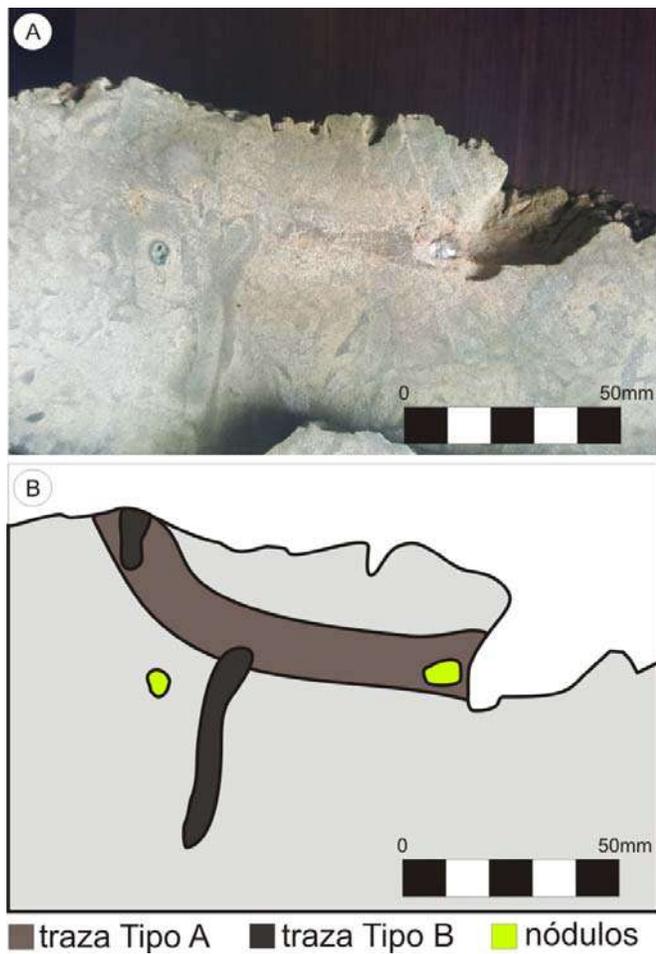


Figura 10. Relaciones de corte. Fotografía (A) y representación gráfica (B), de cómo las trazas de Tipo B y los nódulos carbonáticos, cortan a la traza Tipo A.

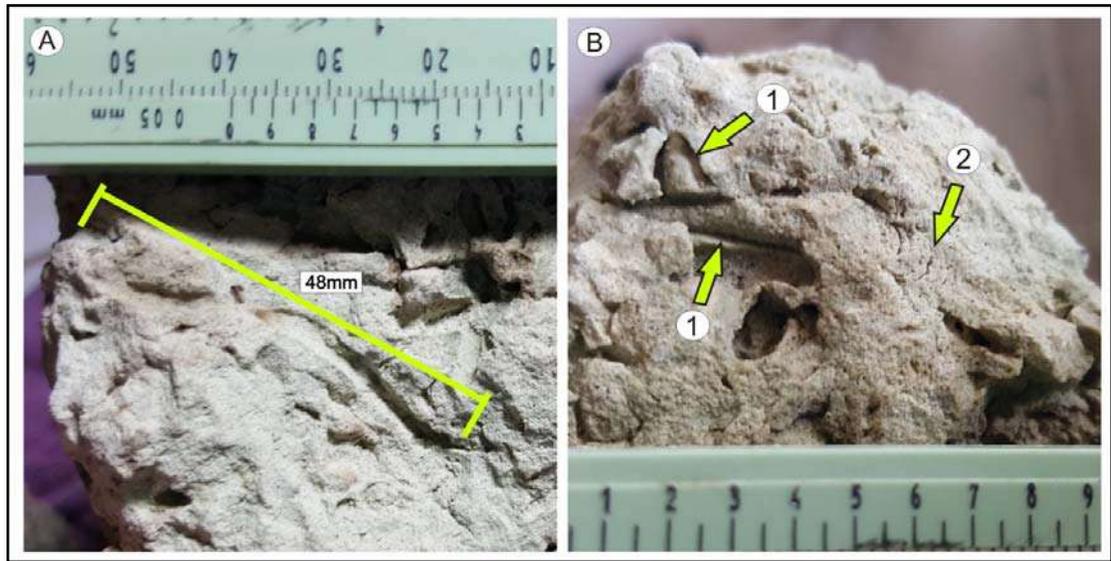


Figura 11. Trazas tipo B. (A) Especimen de traza Tipo B de mayor longitud reconocida y de recorrido sinusoidal. (B) Fotografía de traza tipo B donde se observa la pared erosionada (1) y el cambio de relleno macizo a meniscado en una excavación (2).

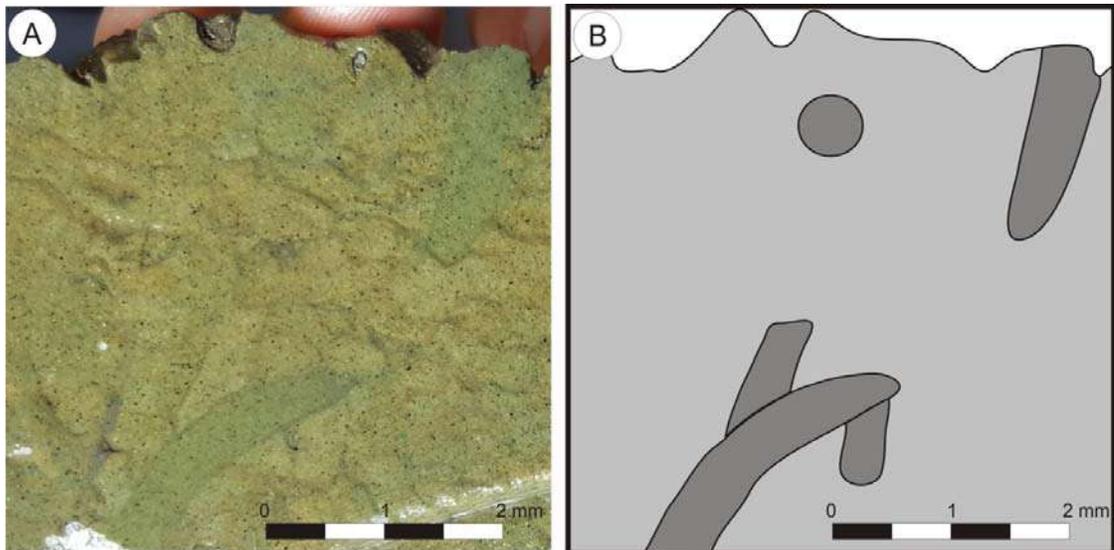


Figura 12. Sección pulida con trazas de Tipo B (A) y su correspondiente representación gráfica (B), obsérvese el corte entre los especímenes.

4.2 Conteos composicionales:

La Tabla 2 muestra los datos obtenidos en los conteos realizados y los valores porcentuales de EO, IF y PF luego de recalcular los totales para eliminar los datos nulos. Se determinó que el porcentaje de bioturbación es alto, con un máximo de 60% y un promedio de 58% del área de las secciones analizadas. Por su parte, la EO se encuentra representada por una estructura maciza alcanzando valores promedios del 41%; y la PF se

encuentra casi ausente a excepción de un conjunto de nódulos carbonáticos y motas aisladas, que alcanzan un valor promedio del 1%.

Con estos datos se graficó el diagrama PITD (Figura 13), que junto con la realización del diagrama de icnofábrica (Figura 14) siguiendo el modelo de Bedatou *et al*, (2009), en el cual se resumen los componentes de la icnofábrica, sus porcentajes, relaciones de corte e índice de bioturbación, permitió caracterizar gráficamente y de manera resumida la icnofábrica.

	Imagen 1		imagen 2		Promedio
	Operador 1	Operador 2	Operador 1	Operador 2	
EO	180	200	166	178	181
IF	271	254	262	254	260,25
PF	0	0	9	8	4,25
nulo	14	11	28	25	19,5
Suma	465	465	465	465	465
EO%	40	44	38	41	40,75
IF%	60	56	60	57	58,25
PF%	0	0	2	2	1

Tabla 2. Conteos composicionales obtenidos para cada imagen, con sus respectivos promedios.

4.2.1 “Icnofábrica de spaghetti”

La parte del paleosuelo considerada como icnofábrica en el conteo es la descrita en el punto 4.3. Los valores obtenidos (Tabla 2) dan un promedio de 58% de bioturbación en el sector de máxima intensidad. Lateralmente la capa presenta sectores menos afectados por la actividad biológica gradando hacia un paleosuelo con rizolitos, excavaciones sin meniscos visibles y motas irregulares.

4.2.2 Estratificación Original

En el nivel portador de la icnofábrica analizada no se observaron estructuras sedimentarias primarias *in situ* ni en laboratorio en los bloques colectados. Por su parte, el paleosuelo tampoco tiene estructura pedológica como para haber obliterado la fábrica depositacional original; por lo tanto, se asume que la organización interna del sedimento era sin estructura y durante el análisis se contabilizó como EO a todo lo que se observó como macizo y sin ninguna evidencia macroscópica de paleosuelo. El valor promedio calculado fue de un 41% (Tabla 2).

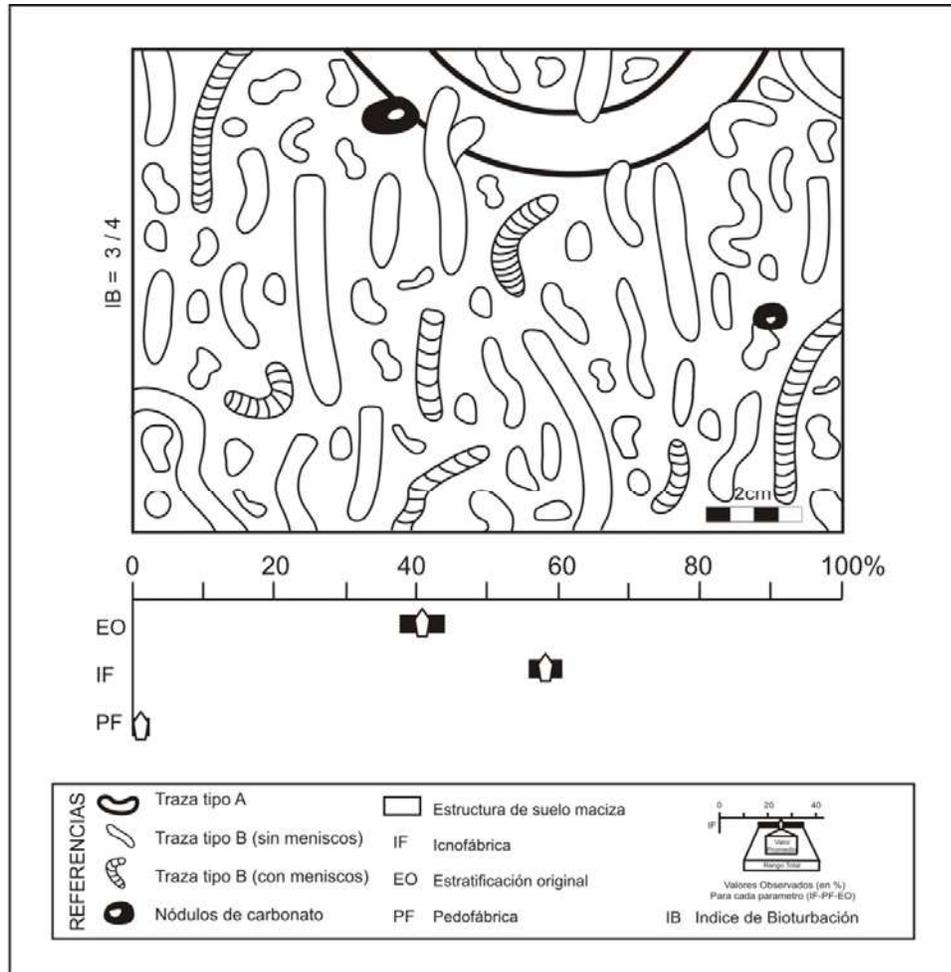


Figura 14. Diagrama de icnofábrica, siguiendo el modelo de Bedatou *et al.* (2009).

4.3 Cortes delgados y micromorfología de paleosuelos

Se observó que, en el paleosuelo Figura 15, existen dos fracciones de tamaño de grano: una pelítica compuesta por trizas vítreas englobadas en una matriz arcillosa; y una psamítica mayoritariamente constituida por cristales anhedrales o subhedrales de cuarzo, plagioclasa y biotita (sector 1 de la Figura 16), en menor medida también se observaron cristales completamente alterados de color rojizo (alteritas) y pequeños parches de calcita micrítica dispersos, que en algunos casos se encuentran rellenando pequeñas fisuras (Figura 17). La falta de reacción de la roca al agregado de HCl a pesar de presentar calcita, se puede explicar por la distribución dispersa que ésta tiene y porque en algunos casos la misma se encuentra reemplazada por sílice microgranular (Figura 17) (comparar con Tófalo y Pazos, 2002).

Las trizas que componen la porción más fina, presentan mayor angulosidad que los cristales mayoritarios, aunque éstos también están fragmentados y son angulosos.

En cuanto a la clasificación textural, según Teruggi *et al.* (1978) la roca puede considerarse una tufopelita (es decir una roca con piroclastos menores a 64 μ). Por otra parte, en el diagrama ternario de Schmid (1981) la roca se ubica en el campo de las tobas vítreas. Esto se determinó con el cálculo de los porcentajes, que fueron los siguientes: vitroclastos (48,5%), cristaloclastos (13,5%), lítoclastos (0), matriz arcillosa (31%), parches carbonáticos pedogenéticos (4%), poros (0) y alteritas (2%). Recalculados para poder ingresar al diagrama, los porcentajes finales resultaron: vitroclastos (78%), cristaloclastos (22%) y lítoclastos (0%).

En cuanto a las trazas fósiles, el ejemplar observado al microscopio tiene un diámetro de 4,6 mm, y una pared fina de aproximadamente 1,2 mm que raramente se logra ver, ya que suele desprenderse durante la confección de los cortes por su resistencia a ser impregnada.

El material que compone el relleno de las trazas presenta un mayor contenido de arcilla que la matriz de la roca. A su vez, los cristales que se observan en este relleno y en las paredes de las trazas son similares a los que presenta la roca hospedante, con la única diferencia que tienen un tamaño menor (Figura 16). No se observaron en el corte delgado meniscos ni otro tipo de estructuración en el relleno, pero sí una mayor birrefringencia (fábrica de birrefringencia cristalítica o *crystallitic b-fabric*) que la roca original.

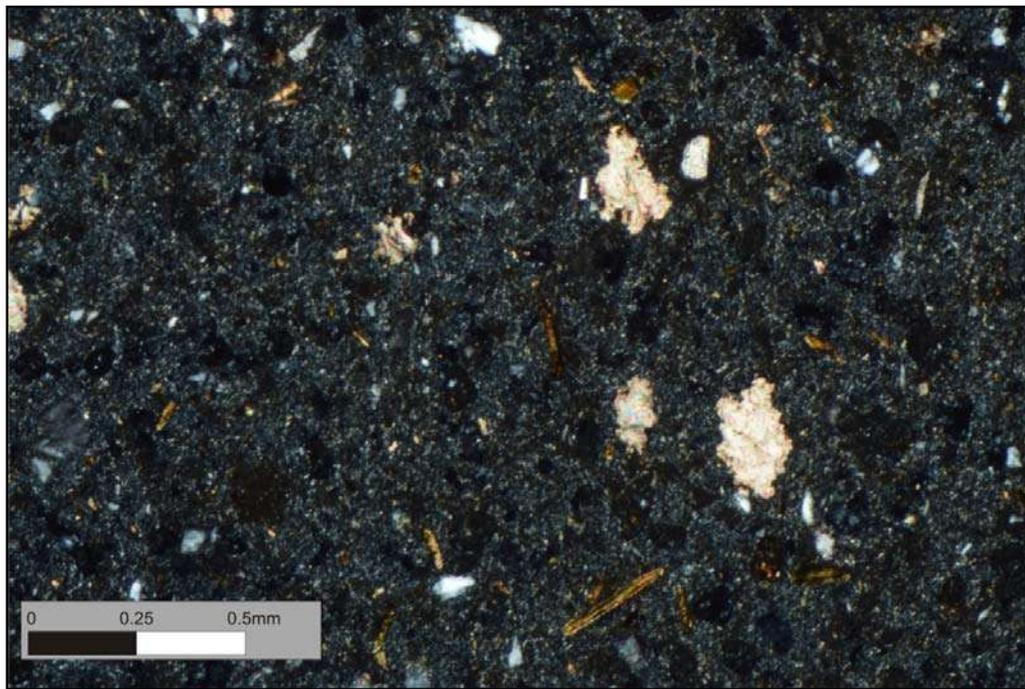


Figura 15. Corte delgado de la muestra, donde se ven las dos fracciones de tamaño y la fábrica de birrefringencia cristalítica. Nótese, en el centro, de la imagen los parches de calcita. Imagen tomada con nicols cruzados.

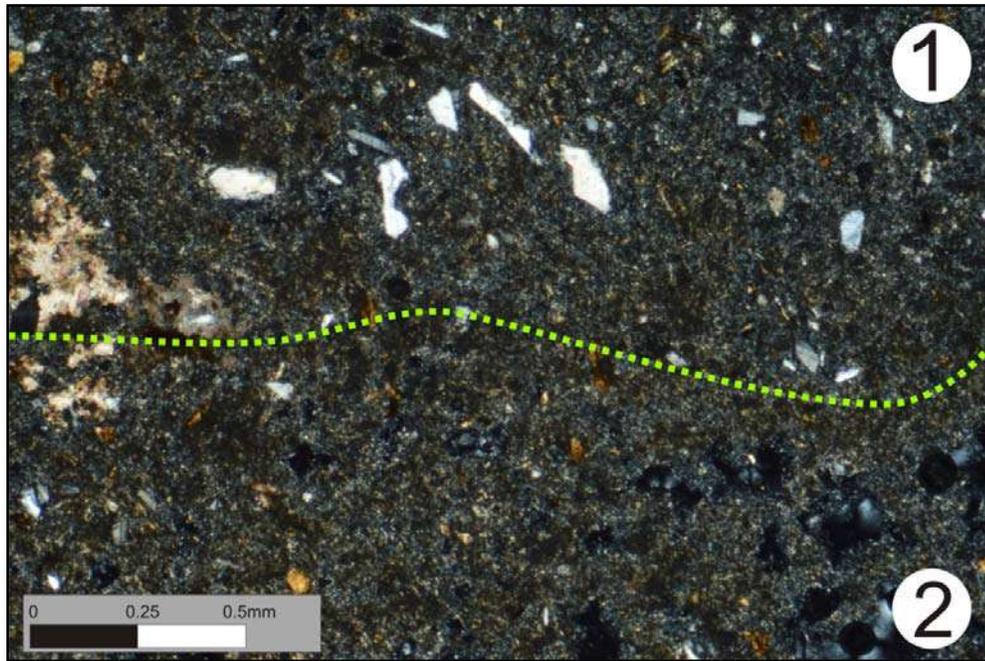


Figura 16. Diferencia en el tamaño de grano entre la roca hospedante (1), y el relleno de la traza Tipo B (2). Nótese, a la izquierda de la imagen, cómo el parche de calcita es posterior a la traza tipo B. Imagen tomada con nicoles cruzados.

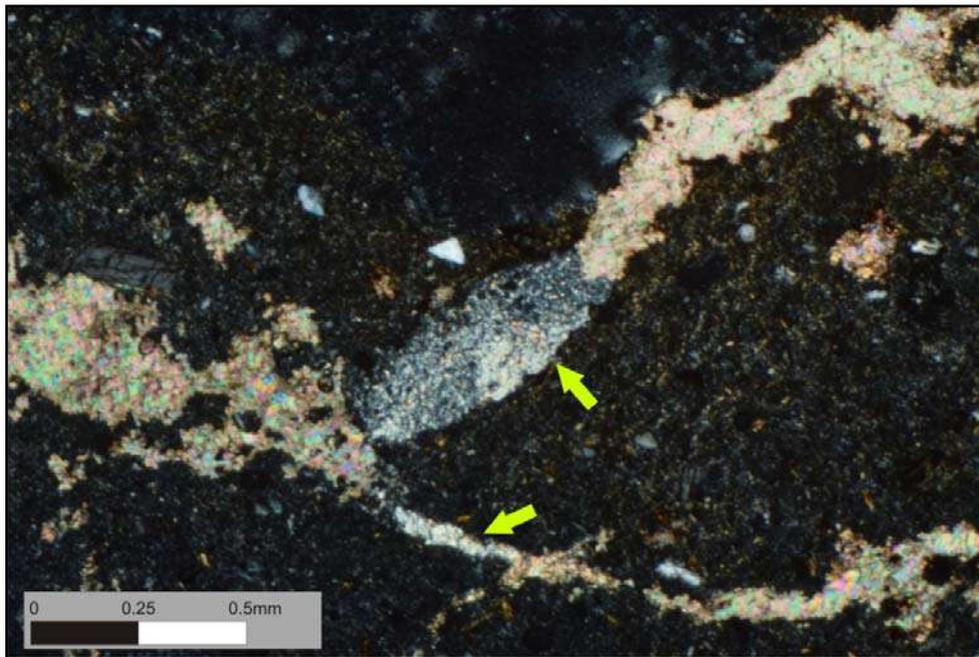


Figura 17. Calcita micrítica relleno de pequeñas fisuras, con flechas se indican las zonas donde la calcita es remplazada por sílice microgranular. Imagen tomada con nicoles cruzados.

4.4 Tomografía

El escaneo tomográfico se realizó sobre un bloque representativo de la icnofábrica estudiada. Debido al bajo contraste de densidad entre el paleosuelo y la icnofábrica, no fue

posible realizar una reconstrucción tridimensional del conjunto de trazas fósiles. Por lo tanto, el estudio se basó en el análisis de las secciones tomográficas obtenidas.

Las imágenes estudiadas y aquí presentadas se trataron previamente de acuerdo a lo planteado en el apartado 3.1.4. En ellas se confirmó la presencia de algunas características de las trazas descritas previamente a ojo desnudo, como la existencia de revestimiento y meniscos en algunas trazas (Figura 18); pero también surgieron una serie de características previamente no reconocidas. Éstas características, fueron la visualización de la traza Tipo A (Figura 9); la existencia de la orientación preferencial de vertical a subvertical en un conjunto de trazas (Figura 19); y la presencia de estructuras circulares de aproximadamente 15 mm de diámetro, que al cortar la muestra para su estudio, resultaron ser nódulos de carbonato (Figura 18). Estos nódulos presentan un núcleo blanquecino de carbonato, el que se desintegró completamente con el agregado de HCl, rodeado por una zona más dura, de color verde oscuro, que no reacciona con el HCl. Alrededor del nódulo se observa un halo de color más claro que el resto de la roca el cual presenta mayor friabilidad y decoloración (Figura 20) y que podría tratarse de un halo de empobrecimiento en carbonato de calcio ya que tampoco reacciona con el ácido.

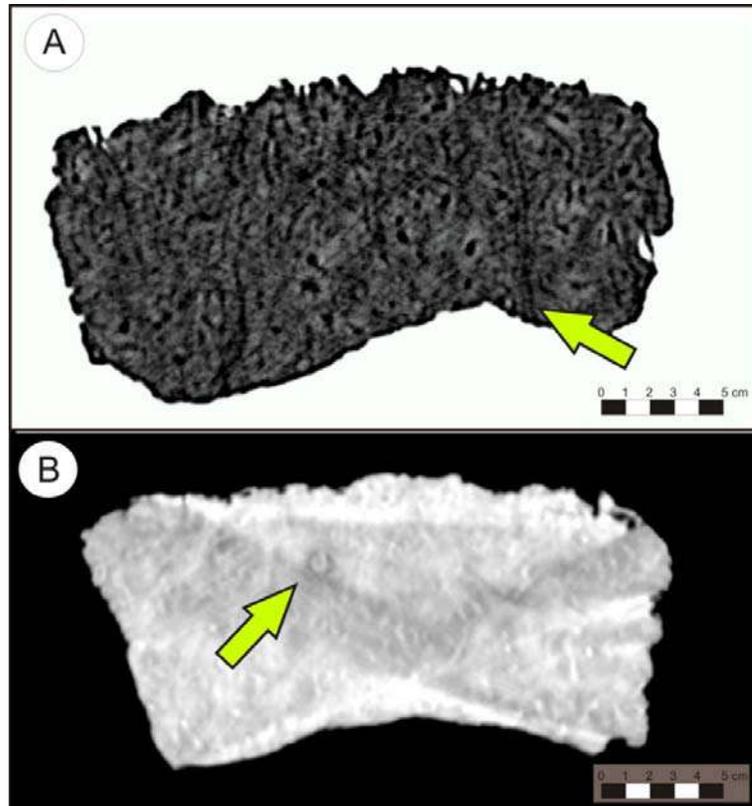


Figura 18. Imágenes tomográficas. (A) Imagen con inversión de colores donde se observa una traza vertical meniscada. (B) Imagen con filtro para huesos en la que se visualiza un nódulo carbonático de 15 mm de diámetro.

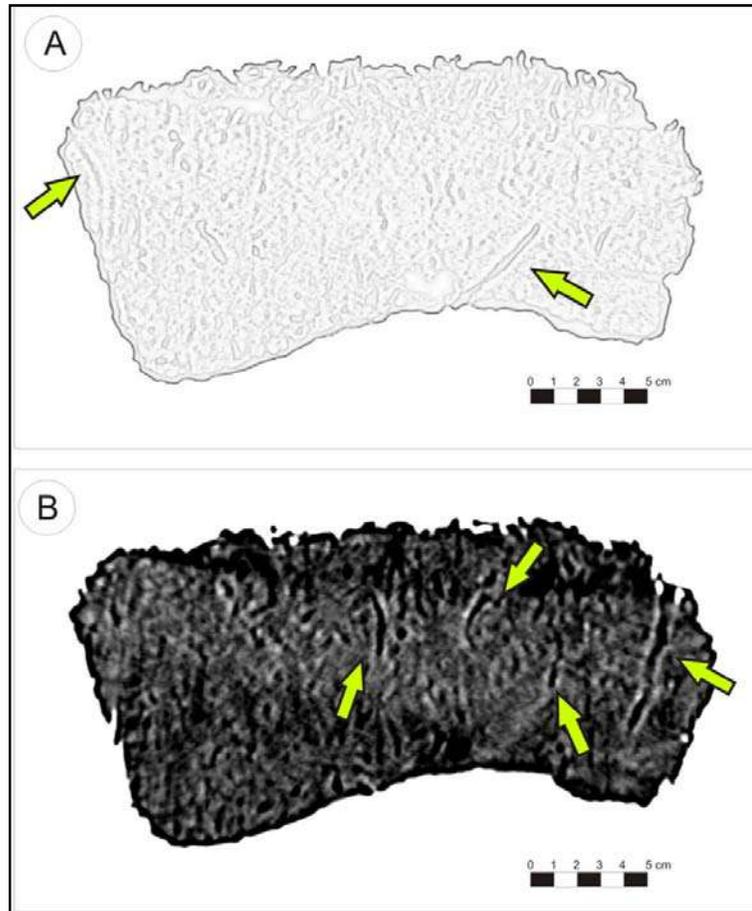


Figura 19. (A) imagen luego de aplicarle el efecto de esbozo a lápiz, que junto a (B), muestran la orientación vertical o inclinada en algunas trazas de recorrido recto o ligeramente curvado.

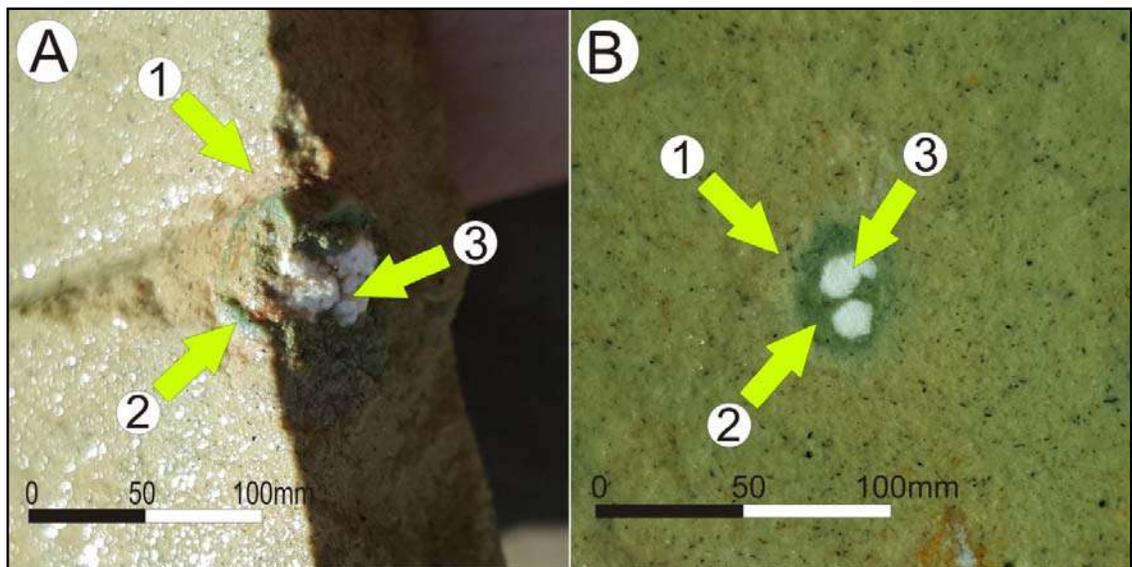


Figura 20. Nódulos carbonáticos. A: Imagen de un nódulo en muestra de mano. B: Imagen de un nódulo en una superficie pulida. Las flechas indican el halo de empobrecimiento alrededor de los nódulos (1), la cubierta silícea (2) y el núcleo carbonático (3).

5- DISCUSIÓN

5.1 Comparación con icnogéneros de morfología similar

La traza Tipo A no posee ningún rasgo distintivo y, además, se encuentra en mal estado de preservación por la bioturbación y los procesos pedogenéticos posteriores; por este motivo no es posible asignarla a un icnotaxón conocido. Sin embargo, como se ilustra en la Figura 9, el relleno podría estar peletizado o quizás meniscado, en este último caso podría compararse con los ejemplares de *Taenidium* o *Beaconites* de Bedatou *et al.* (2009). Si el relleno no estuviera meniscado esta traza tendría alguna semejanza con *Loloichnus* (Bedatou *et al.*, 2008) dada por la forma general y tamaño, aunque *Loloichnus* tiene pared y en el caso de la traza fósil tipo A esto no puede asegurarse. El estado de preservación y la falta de caracteres diagnósticos no permiten mayor confirmación.

De las excavaciones más pequeñas y mayoritarias (Tipo B), aquellas con relleno meniscado, son comparables a *Taenidium* (Heer, 1887; ver la revisión de Keighley y Pickerill, 1994). Esto se sustenta en la presencia de tubos cilíndricos rectos a sinuosos, sin una orientación preferencial, con un revestimiento fino o ausente y un relleno con presencia de meniscos. Estas trazas fósiles son poco abundantes en relación a las de relleno macizo y por lo tanto no constituyen un rasgo distintivo de la icnofábrica. Por su parte, las trazas tipo B que tienen relleno pasivo similar al material del paleosuelo en que ocurren y sin ninguna estructura, no se ajustan completamente a ningún icnotaxón conocido. *Palaeophycus* (Hall, 1847; ver la revisión de Keighley y Pickerill, 1994) se asemeja en su diagnosis ya que son predominantemente cilíndricas, no ramificadas, con presencia de revestimiento y con relleno similar a la roca huésped; pero difieren en que éstas se reservan para excavaciones preferentemente horizontales. *Planolites* (Nicholson, 1873) se asigna a excavaciones simples, cilíndricas a subcilíndricas, no revestidas ni ramificadas; pero tienden a ser horizontales u oblicuas a los planos de estratificación y con relleno de diferente litología que la roca hospedante. *Beaconites* (ver revisión de Keighley y Pickerill, 1994) consiste en trazas cilíndricas, no ramificadas, rectas a sinuosas; pero tienden a ser horizontales, meniscadas y a presentar una pared estructurada como característica diagnóstica, la cual no se encuentra en esta muestra, que solo presenta un revestimiento que es visible por la meteorización. *Skolithos* (Haldemann, 1840), se reserva para excavaciones verticales, rectas o levemente en forma de J, cilíndricas, sin revestimiento ni pared, sin entrecruzamiento ni ramificaciones, con paredes suaves y rellenos sin estructura,

son comúnmente paralelas entre sí, lo que ocurre entre algunas trazas de la muestra, pero no es la generalidad.

5.2 Posibles productores

Para determinar los posibles productores, se comparó esta icnofábrica con otras icnofábricas continentales complejas. La búsqueda de él o los posibles productores se focalizó en explorar candidatos que generen estructuras tridimensionales complejas en suelos, más específicamente en los sectores superiores de los mismos. Se consideraron tanto los ejemplos fósiles conocidos como los antecedentes de actividad actual de cada candidato. Debido a la ubicación y a los paleoambientes de la Formación Cerro Barcino, se hizo especial hincapié en las icnofábricas descritas para la Patagonia. Entre los posibles productores considerados se encuentran hormigas, termitas y lombrices.

- Hormigas:

A escala macroscópica, estos productores realizan sus nidos excavando el perfil del suelo, alterándolo y generando una estructura tridimensional compleja y discreta, compuesta por una serie de galerías y cámaras interconectadas entre sí (Laza, 1982; Holldobler y Wilson 1990; Genise, 2004). Esto se diferencia notablemente con la icnofábrica estudiada ya que ésta forma una estructura de gran continuidad lateral (se observa por más de 40 m en la misma capa), y se compone de abundantes tubos fósiles rellenos, que rara vez se cortan entre sí y no se ramifican. Tampoco hay registros de los montículos superficiales que las hormigas producen, ni de la acumulación de arcilla en las paredes de las galerías que éstos suelen generar por lixiviación (Cosarinsky y Roces, 2007).

Microscópicamente también se diferencian notablemente. En primer lugar, no se observó la microestructura esponjosa con huecos en forma de estrellas, ni los restos vegetales asociados a estas estructuras porosas (Cosarinsky, 2006). Por otra parte, la icnofábrica estudiada tiene una fábrica de birrefringencia cristalítica, cuando las paredes de los hormigueros suelen mostrar una típica fábrica de birrefringencia punteada (*dotted birefringence fabric*; Cosarinsky, 2006).

- Termitas:

Macroscópicamente ocurre algo similar al caso de las hormigas, ya que éstos productores generan estructuras tridimensionales discretas que alteran el perfil del suelo,

compuestas por cámaras y galerías interconectadas. También producen montículos, aunque a diferencia de las hormigas, para su construcción utilizan saliva y materiales fecales (Cosarinsky y Roces, 2007; Cosarinsky, 2006), rasgos que tampoco se observaron en esta icnofábrica.

Microscópicamente la morfología que generan las termitas difiere notablemente de las hormigas (Cosarinsky y Roces, 2007). Los caracteres diagnósticos que producen son la presencia de un *hypocoating* orgánico, una fábrica de birrefringencia “estriada circular” (*circular striated*) en las masas de suelo y galerías de relleno, así como bandas orgánicas que se resaltan con la diagénesis (Cosarinsky *et al.*, 2005). En este contexto, la “icnofábrica de *spaghetti*” muestra revestimiento de arcilla en las trazas, pero exhibe una fábrica de birrefringencia distinta a las producidas en suelos donde habitan las termitas, que típicamente es estriada circular. Tampoco se observaron microagregados de arcilla, ni una distribución porfirica marcada como es común tanto en los termiteros actuales como los fósiles (Cosarinsky *et al.*, 2005).

No hubo ningún registro de pellets, restos vegetales o fragmentos de cutículas de termitas en los cortes delgados, aunque la falta de estos caracteres orgánicos podría explicarse por las condiciones diagenéticas sufridas por la roca hospedante (Cosarinsky *et al.*, 2005).

- Lombrices:

Las diferentes especies de lombrices que habitan en los diferentes suelos actuales construyen diferentes tipos de sistemas de galerías. Normalmente, construyen dichos sistemas en la parte superior de aquellos, llegando a diferentes profundidades según las especies y las condiciones ambientales (West *et al.*, 1991; Bastardie *et al.*, 2003). Pero a diferencia de los otros posibles productores considerados, las lombrices sí suelen generar estructuras de mayor extensión lateral, debido a la gran intensidad en la actividad excavadora que pueden tener y a que los individuos de estas poblaciones no construyen un sistema comunal con límites definidos (Edwards y Bohlen, 1996) como, por ejemplo, es el caso de hormigas o termitas. La intensa actividad de las lombrices, según Kretzschmar (1984) y Jégou *et al.*, (1999) puede depender de la disponibilidad de alimento, temperatura, humedad y cantidad de oxígeno en el suelo; aunque considerando el tipo de material parental y la frecuencia con que se depositaban puede inferirse que la cantidad de materia orgánica incorporada podría haber sido poca. Esto concuerda con lo propuesto por Umazano *et al.* (2017), quienes plantean que el Miembro Puesto La Paloma se habría

depositado en condiciones sin-eruptivas y de alto aporte de sedimento piroclástico. Entonces, es posible que la extensión de los sistemas estudiados no se deba a un gran número de lombrices excavando un suelo muy rico en nutrientes, sino a un suelo formado recientemente con valores bajos de material orgánico, lo que incentiva la actividad excavadora de las lombrices (Edwards y Bohlen, 1996), permitiendo la formación de una extensa icnofábrica aún con baja disponibilidad de materia orgánica.

En cuanto a la morfología de los sistemas de excavaciones actuales que las lombrices generan, se observan similitudes con la icnofábrica cretácica estudiada. Es común que en un mismo sistema de excavaciones haya partes de una galería con relleno meniscado y a continuación otra parte con relleno macizo (Figura 11). En la “icnofábrica de *spaghetti*” la mayoría de las excavaciones tienen relleno pasivo mientras que las meniscadas son minoritarias (ver apartado 4.1). En sistemas actuales, un mismo individuo puede dejar partes de sus excavaciones abiertas (posteriormente se rellenan de manera pasiva) y otras partes con relleno activo (Edwards y Bohlen, 1996). Existen también lombrices que excavan el suelo sin procesar (Ehlers, 1975; Dexter, 1978; Edwards y Bohlen, 1996; Ligthart, 1997; Capowiez, 2000), por lo que es compatible que haya parte de la icnofábrica con relleno pasivo, en este caso una parte mayoritaria.

Por otra parte, la presencia de un revestimiento también es un rasgo común en las excavaciones actuales de lombrices (Edwards y Bohlen, 1996; Jégou *et al.*, 2001). Esta pared puede formarse por el mucus que deja el animal para lubricar su pasaje, lo cual luego es resaltado con la diagénesis. La acumulación de arcilla en la pared, sumada a la compactación del suelo generada alrededor de ella, favorece la formación del revestimiento.

Otra característica coincidente con las excavaciones de lombrices es que el relleno de las trazas presenta un mayor contenido de arcilla y un tamaño de grano menor que la roca original lo que, en conjunto con la presencia de algunos rellenos meniscados, sugiere que los sistemas estudiados fueron producidos, probablemente, por alguna especie que se alimentaba del material del suelo. Bouché (1972), clasificó las lombrices en tres grupos ecológicos diferentes, basándose en la morfología, o arquitectura, de sus sistemas de galerías y su ubicación en el perfil del suelo, además de por sus estrategias alimenticias. Las epigeicas son lombrices que viven en la superficie del suelo y que se caracterizan por una coloración oscura, de tamaño pequeño a medio, de corto tiempo de desarrollo y una dieta de restos vegetales acumulados en superficie. Las especies de este grupo no excavan el suelo por lo que todo el grupo puede descartarse como probable constructor de la

“icnofábrica de *spaghetti*”. El segundo grupo está conformado por las lombrices anécicas, que son aquellas que viven permanentemente en excavaciones verticales y que se caracterizan por tener una pigmentación dorsal medianamente oscura a muy oscura, gran tamaño, largo tiempo de desarrollo y una dieta también de material vegetal acumulado en superficie. Las excavaciones verticales a subverticales descritas en la icnofábrica podrían atribuirse a este grupo de lombrices. Finalmente, el tercer grupo es el de las lombrices endogeicas, integrado por lombrices que excavan en el suelo, se caracterizan por tener muy poca pigmentación o nula, tamaño medio, tiempo de desarrollo intermedio y una dieta conformada por suelo enriquecido con materia orgánica. A este último grupo podrían pertenecer los individuos productores de la mayor parte de la icnofábrica. En este caso la icnofábrica habría sido formada por una comunidad de lombrices en la que habría habido al menos dos especies diferentes de ellas conviviendo en un mismo suelo. Por lo tanto, las trazas de Tipo B presentes en la icnofábrica estudiada se interpretan como estructuras de alimentación y vivienda generadas por lombrices comunes de tierra.

5.3 Orden de emplazamiento y relaciones de corte

Analizando las relaciones de corte entre los diferentes componentes de la icnofábrica y los pedregos presentes puede establecerse la sucesión de eventos y condiciones ambientales a las que estuvo sujeto el depósito. Luego del evento de desborde y flujo no canalizado que depositó el sedimento, éste habría sido colonizado en primer lugar por los organismos constructores de la traza tipo A. Se infiere a este icnofósil como el más antiguo de los registrados ya que se encuentra cortado tanto por las trazas fósiles tipo B como por los nódulos carbonáticos, además de estar parcialmente obliterado por ellos. Tal como se sugiere en el apartado 5.1, la raza fósil tipo A es comparable a los *Taenidium* y *Beaconites* de Bedatou *et al.* (2009), quienes consideran que su emplazamiento ocurrió poco tiempo después de la depositación del sedimento cuando el porcentaje de agua que este contenía era aún elevado. Esta misma situación es factible para el caso de la traza fósil tipo A. Posteriormente, con el suelo ya drenado, se habrían instalado las lombrices endogeicas que construyeron las trazas fósiles tipo B. Las motas registradas en el paleosuelo son evidencias de hidromorfismo, de bajo grado, por lo que es posible suponer que durante parte del año el suelo quedaba anegado o al menos saturado, situación si bien no ideal pero tolerable para esos organismos. En otra parte del año el suelo debía drenarse, aunque mantendría un cierto grado de humedad suficiente para el desarrollo de la colonia de lombrices y es en esa etapa cuando construían sus excavaciones.

Luego de esa fase húmeda el clima se habría aridizado, acentuando la estacionalidad y permitiendo el desarrollo de pedregos cálcicos, tales como nódulos y parches carbonáticos. Estos pedregos cortan a la traza tipo A, y en algunos casos a las, tipo B (Figura 16). Estas relaciones de corte evidencian el emplazamiento de condiciones de aridez con posterioridad al desarrollo de la icnofábrica. La tolerancia que algunas especies de lombrices tienen a las sequías, les habría permitido continuar activas probablemente, durante las primeras etapas de aridización.

5.4 Registros de icnofábricas continentales en Patagonia

La asignación de las lombrices como probables productoras de la icnofábrica, permite ubicar a ésta además de en un contexto geográfico y temporal, en el marco de la evolución de las icnofábricas complejas de Patagonia (Bedatou, 2010).

Los primeros registros de lombrices en Patagonia (Figura 21) comienzan en el Jurásico Superior en las Formaciones Bajo Grande y Bajo Tigre, provincia de Santa Cruz. Sin embargo, desde esta época y durante gran parte del Cretácico los registros icnofosilíferos sugieren que los principales ocupantes de los suelos eran los *crayfishes* (Decápoda, Astacidea). Este dominio comenzó a declinar recién durante el Cretácico Superior, hasta reducirse notablemente en el Paleoceno-Eoceno (Bedatou, 2010), pero sin desaparecer. Por su parte, otros importantes integrantes de icnofábricas continentales en Patagonia, los insectos, aparecen a fines del Cretácico en la Formación Laguna Palacios, en la localidad Cañadón Puerta del Diablo, y tienen su auge durante el Eoceno en la Formación Sarmiento, en la localidad Gran Barranca (Bedatou, 2010). Éste cambio en el dominio de los productores pudo deberse a las modificaciones en el clima que limitaron los ambientes y condiciones propicias para los *crayfishes* limitándolos a unos pocos registros, provocando el desarrollo y aumento de los registros de insectos (Genise, 2004; Genise *et al.*, 2007; Bedatou *et al.*, 2009; Bedatou, 2010).

Las lombrices, luego de su aparición en los suelos de Patagonia durante el Jurásico Superior, tienen su mayor representación en el Cretácico Superior con la aparición de las icnofábricas de *Beaconites* y *Skolithos*, de *boxwork* difuso y de excavaciones horizontales dispersas (Bedatou *et al.*, 2009; Bedatou, 2010). Estas se registran en las Formaciones Bajo Barreal y Laguna Palacios, pertenecientes al Grupo Chubut en el ámbito de la provincia homónima. Durante el Eoceno-Mioceno las lombrices continúan registrándose (formaciones Sarmiento y Pinturas), aunque sin presentar icnofábricas ampliamente representadas como mostraban durante el Mesozoico (Bedatou, 2010). La icnofábrica aquí

estudiada estaría ubicada antes de esta diversificación y contemporánea al declive de los registros de *crayfishes* (Figura 21). Para esta época las lombrices tenían un papel importante en el ecosistema, no solo por su magnitud sino por el rol que probablemente cumplían allí, ya que como en la actualidad habrían favorecido el desarrollo de los suelos y la implantación de especies vegetales en ellos (Bedatou, 2010). Éste importante rol en el ecosistema se evidencia en que, a pesar de no aparecer en gran número de paleosuelos, cuando lo hacen, presentan un alto índice de bioturbación; como ocurre en este caso de estudio, en el cual el IB se encuentra entre el límite de 3 y 4, y los valores de IF promedios son de 58%.

5.5 Comparación con los registros de lombrices en Patagonia

Bedatou (2010) describe una serie de icnofábricas producidas por lombrices en la Patagonia. Las cuales se comparan a continuación con la “icnofábrica de *spaghetti*”:

Icnofábrica de *Boxwork* difuso: Se reconoció en las formaciones Bajo Grande (Jurásico Tardío – Cretácico Temprano) y Bajo Tigre (Cretácico temprano) de la localidad de Meseta de Baqueró, Bajo Barreal (Cretácico Tardío) de Puesto Confluencia, Laguna Palacios (Cretácico Tardío) de Cañadón Puerta del Diablo, Sarmiento (Eoceno-Mioceno) de Gran Barranca y Pinturas (Mioceno) de Portezuelo Sumich Norte (Figura 21). Se trata de excavaciones de pequeño diámetro, con rellenos tanto macizos como meniscados y que, en algunos casos, están asociadas a escasas cámaras subsféricas, interpretadas como estructuras de estivación. Las excavaciones del *boxwork* tienen cursos irregulares y tortuosos que interceptan formando un sistema tridimensional de excavaciones interconectadas entre sí. Las ramificaciones son comunes y se observan ensanchamientos, desde leves a moderadamente importantes, en los puntos de unión de dos o más galerías. La morfología de las trazas de esta icnofábrica difiere con la descrita en este trabajo fundamentalmente en que en estas últimas puede diferenciarse cada individuo y que estos no se conectan entre sí formando una sola estructura.

Icnofábrica de *Beaconites* y *Skolithos*: Esta icnofábrica se reconoce en las Formaciones Laguna Palacios (Cretácico Tardío) de la localidad Cañadón Puerta del Diablo, Koluel Kaike (Eoceno) de Estancia La Juanita y Pinturas (Mioceno) de la localidad Portezuelo Sumich Norte (Figura 21). Se caracteriza por presentar excavaciones de disposición netamente vertical y recorrido aproximadamente rectilíneo. Las excavaciones pueden contener relleno pasivo o meniscado y pueden o no tener una pared construida. Las trazas que la componen se diferencian de las de la “icnofábrica de *spaghetti*”; en primer

lugar, porque los especímenes de *Beaconites* presentan un tamaño mucho mayor y una estructura de relleno netamente meniscada, además de que su origen no corresponde a lombrices; y en segundo lugar porque los especímenes de *Skolithos* exhiben orientación vertical y carecen de revestimiento.

ICNOFÁBRICA DE EXCAVACIONES HORIZONTALES DISPERSAS: Se reconoce solo en las formaciones Bajo Barreal (Cretácico Tardío) de Puesto Confluencia y Laguna Palacios (Cretácico Tardío) de Cañadón Puerta del Diablo (Figura 21). Esta sencilla icnofábrica está integrada por un solo tipo de traza fósil. Se trata de excavaciones sin pared ni revestimiento, de relleno pasivo, igual que el sedimento hospedante, y de sección transversal circular a subredondeada. En relación con las trazas fósiles de la “icnofábrica de *spaghetti*”, aquellas presentan una densidad de bioturbación mucho menor y una orientación horizontal muy marcada, además no presentan ningún tipo de revestimiento o estructuración en las paredes, y tampoco relleno meniscado.

5.6 Implicancias paleoclimáticas:

De acuerdo a Umazano *et al.*, (2017), el Miembro Puesto La Paloma de la Formación Cerro Barcino registra básicamente un paleoambiente sedimentario de tipo fluvial efímero y no confinado, coetáneo con un voluminoso influjo piroclástico. A su vez, a escala local y de manera reducida, los flujos no canalizados interactuaron con lagunas alcalinas poco profundas, que pueden representar estancamiento en las posiciones distales de la planicie de inundación, así como también con dunas eólicas transversales y zonas de interduna seca (Villegas *et al.*, 2014; Brea *et al.*, 2016; Umazano *et al.*, 2017). Dichas características paleoambientales indican condiciones climáticas relativamente áridas o semiáridas (Tanner, 2010; Tomas *et al.*, 2017; Umazano *et al.*, 2017 y referencias allí citadas). Asimismo, los índices de alteración química y las precipitaciones medias anuales calculados a partir de datos geoquímicos son consistentes con las condiciones climáticas mencionadas (Krause *et al.*, 2014). Por otra parte, los paleosuelos desarrollados sobre los depósitos fluviales presentan, en algunos casos, características pedológicas cálcicas e hidromórficas indicando una marcada estacionalidad (Krause *et al.*, 2014).

El perfil medido del Miembro La Paloma en Tres Cerros no es representativo para hacer, solamente a partir de él, inferencias paleoambientales y paleoclimáticas para toda la unidad, aunque localmente sí se pueden hacer una serie de deducciones.

En esta localidad, al igual que en La Juanita, los paleosuelos descriptos para la parte superior de la unidad, presentan una alternancia de características hidromórficas y de calcificación, sugiriendo una estacionalidad en el clima (Krause *et al.*, 2014). En este contexto, la icnofábrica estudiada no posee rasgos que indiquen hidromorfismo; por el contrario, exhibe una serie de nódulos con núcleos carbonáticos, pequeños parches de calcita dispersos o relleno de fisuras y abundantes trazas de lombrices. Tanto los nódulos como las fisuras rellenas de calcita se encuentran cortando a las trazas de lombrices (tanto a las Tipo A, como a las tipo B), lo que indica que éstas se produjeron después y quizás en condiciones ambientales diferentes, durante algún período de mayor aridez que cuando habitaron las lombrices.

La icnofábrica estudiada se encuentra en la porción superior de un paleosuelo, ubicado en la base de la secuencia de paleosuelos que culminan la unidad, éstos son los menos desarrollados del perfil (color verde grisáceo, Figura 7), y a pesar de presentar algunas motas como características hidromórficas, su desarrollo es mucho menor que en los paleosuelos de la parte inferior del perfil.

Este tipo de paleosuelos no se observa en otros afloramientos del Miembro Puesto La Paloma, por lo que las condiciones que reflejan representarían sectores geográficamente restringidos.

La humedad del suelo es el factor que más afecta la supervivencia de las lombrices y, aunque generalmente muestran mayor actividad en suelos húmedos que en suelos secos, tienen una capacidad considerable para sobrevivir en condiciones adversas, ya sea moviéndose a un área con más humedad o por estivación (Edwards y Bohlen, 1996). En los casos que no pueden evitar el suelo seco, sobreviven perdiendo gran parte de la humedad de su cuerpo, la mayoría de las lombrices logra sobrevivir a la pérdida de hasta un 50% de la humedad su cuerpo (Grant, 1955), pero existen algunas especies que logran perder hasta un 70 o 75% y continuar con vida (Roots, 1956). En cuanto a los suelos anegados, también existen casos en los que las lombrices pueden adaptarse y sobrevivir largos períodos completamente sumergidas bajo agua, hasta 50 semanas en algunas especies según Madge (1969); sin embargo, no son capaces de desarrollarse tan ampliamente en suelos con éstas características (Edwards y Bohlen, 1996).

Por lo expuesto se puede suponer que en los suelos donde se desarrolló la “icnofábrica de *spagheti*” existía una estacionalidad climática tal como propusieran Krause *et al.* (2014). Puntualmente, en los períodos donde se desarrollaban las lombrices existía un grado de humedad mayor, evidenciado por el alto grado de desarrollo de la icnofábrica, pero no tan húmedo como para desarrollar rasgos marcados de hidromorfía. Por lo tanto, en los suelos no se estancaba el agua y/o estaban bien drenados. A su vez en los períodos de mayor sequía, cuando se formaban los nódulos carbonáticos, las lombrices se trasladaban a zonas con mejores condiciones de humedad o sobrevivían perdiendo la humedad de su cuerpo hasta que, eventualmente, el nivel de humedad aumentaba nuevamente. Los rasgos de hidromorfismo podrían deberse a encharcamientos producidos por la impermeabilización producto de la abundante caída de cenizas volcánicas en la zona (e. g. Manville *et al.*, 2009), y no por la existencia de un clima realmente húmedo y con suelos anegados.

6- CONCLUSIONES

Se estudió una icnofábrica desarrollada sobre un depósito areno tobáceo de la planicie de inundación de un sistema fluvial, el cual fue posteriormente afectado por procesos pedológicos, aunque no en un grado elevado. El paleosuelo pertenece al Miembro Puesto La Paloma de la Formación Cerro Barcino de edad cretácica. El estudio se llevó a cabo a través de cortes delgados, secciones pulidas y tomografías. Las principales conclusiones obtenidas son las siguientes:

1. La icnofábrica estudiada resultó ser una nueva icnofábrica continental compleja de Patagonia, y se la nombró informalmente como “icnofábrica de *spaghetti*”. Se compone de dos tipos diferentes de trazas fósiles denominadas A y B, que no pudieron ser asignadas a ningún icnotaxón conocido. El tipo A consiste de un ejemplar mal preservado de una excavación de sección subcircular, de recorrido arqueado y relleno probablemente meniscado o con pellets. El tipo B consiste de excavaciones tubiformes, de sección circular, con revestimiento, relleno generalmente pasivo, aunque en algunos sectores está meniscado. Las excavaciones siguen un recorrido aleatorio y tortuoso. Los icnofósiles tipo B le confieren a la icnofábrica su aspecto general que es una maraña de excavaciones no interconectadas entre sí; esta apariencia le da nombre a la “icnofábrica de *spaghetti*”.
2. El orden de emplazamiento de los componentes de la icnofábrica y los cambios en las condiciones del medio permitieron establecer la siguiente sucesión de eventos. Poco después del depósito del material sedimentario el mismo fue colonizado por el organismo productor de la traza tipo A. Luego, el incipiente suelo, ya bien drenado, fue colonizado por las lombrices productoras de la traza tipo B. Durante este estadio el clima era estacional con una época húmeda importante. Posteriormente, el clima se aridizó permitiendo el desarrollo de pedregos cálcicos.
3. Con los estudios realizados a través de la tomografía computada, se confirmaron aspectos de la icnofábrica descriptos a simple vista, pero también se descubrieron nuevos rasgos. Estos rasgos fueron la presencia de nódulos carbonáticos, la orientación vertical a subvertical de algunos de los componentes de la icnofábrica, y la existencia de la traza de Tipo A.
4. Se determinó que las trazas de Tipo B probablemente sean estructuras de alimentación y vivienda de alguna especie de lombriz común de tierra, del grupo de

las lombrices endogeicas en su mayoría. La comunidad de estos organismos habría estado formada por, al menos, dos especies diferentes. Por su parte, la traza de Tipo A debido a la mala preservación y al estar representada por un solo ejemplar, no permitió determinar cuál fue su productor.

5. Los altos valores de intensidad de bioturbación evidencian una gran actividad de los productores en el suelo donde se encontraban. Esta actividad probablemente no se debe a un gran número de lombrices excavando un suelo muy rico en nutrientes, sino, a un suelo recientemente formado con valores bajos de materia orgánica.
6. Comparándola con las icnofábricas de lombrices descritas previamente para la Patagonia, se la ubicó en un rango temporal que coincide con la aparición de las primeras trazas de insectos, el comienzo de diversificación de las lombrices, y la decadencia de los registros de *crayfishes*.
7. Paleoclimáticamente, el nivel donde se encontró la icnofábrica, a pesar de pertenecer a una serie de paleosuelos apilados con características hidromórficas, representa un periodo climático de mayor aridez relativa, donde no se producía el estancamiento del agua en el suelo. A pesar de ello, debía contener en algún momento de su evolución, humedad suficiente para sostener la actividad intensa de las lombrices.
8. La roca portadora de la icnofábrica se clasificó de dos maneras, según Teruggi *et al.* (1978) puede considerarse una tufopelita, y según Schmid (1981) se incluye en el campo de las tobas vítreas.

7- BIBLIOGRAFÍA

- Allard, J. O., Paredes, J. M. y Giacosa, R. E. 2009.** Fluvial dynamics, alluvial architecture and palaeohidrology of axial and transverse drainage systems in an extensional setting: Los Adobes Formation (Aptian), Cañadón Asfalto Basin, Argentina. *Actas 9° International Conference on Fluvial Sedimentology*, Tucumán: 12-13.
- Allard, J. O., Paredes, J. M., Foix, N., y Giacosa, R. E. 2010.** Variable response and depositional products of fluvial–alluvial systems in pyroclastic-rich successions: Cerro Barcino Formation (Cretaceous) of the Cañadón Asfalto Basin, Central Patagonia, Argentina. *Actas 18° Congreso Sedimentológico Internacional. Asociación internacional de Sedimentólogos*, Mendoza: 101.
- Allard, J. O., Giacosa, R. E. y Paredes, J. M. 2011.** Relaciones estratigráficas entre la Formación Los Adobes (Cretácico Inferior) y su sustrato Jurásico: implicancias en la evolución tectónica de la Cuenca de Cañadón Asfalto, Chubut, Argentina. *Actas 18° Congreso Geológico Argentino*, Neuquén: 1-2.
- Allard, J. O., Paredes, J. M., Foix, N. y Giacosa, R. E. 2014.** Depósitos aluviales de la Formación Cerro Barcino en el borde oriental de la Cuenca de Cañadón Asfalto: interpretación paleoambiental, evolución temporal y evidencias de actividad tectónica sinsedimentaria. *Actas 14° Congreso Geológico Argentino*, Córdoba: 2.
- Bastardie, F., Capowiez, Y., de Dreuz, J. R. y Cluzeau, D. 2003.** X-ray tomographic and hydraulic characterization of burrowing by three earthworm species in repacked soil cores. *Applied Soil Ecology* 24: 3-16.
- Bedatou, E. 2010.** Icnofábricas continentales complejas de Patagonia Central: significado y potenciales aplicaciones. Universidad Nacional de San Luis, Tesis Doctoral (inédita), San Luis: 1-255.
- Bedatou, E., Melchor, R. N., Bellosi, E., y Genise, J. F. 2008.** Crayfish burrows from Late Jurassic–Late Cretaceous continental deposits of Patagonia: Argentina. Their palaeoecological, palaeoclimatic and palaeobiogeographical significance. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 257(1): 169-184.
- Bedatou, E., Melchor, R. N. y Genise, J. F. 2009.** Complex palaeosol ichnofabrics from Late Jurassic–Early Cretaceous volcanoclastic successions of Central Patagonia, Argentina. *Sedimentary Geology* 218: 74-102.

- Bellosi, E. 2010.** Chapter: 19. Loessic and fluvial sedimentation in Sarmiento Formation pyroclastics, middle Cenozoic of central Patagonia. En: Madden, R. H., Carlini, A. A., Vucetich, M. G. y Kay, R. F. (Eds.) *The Paleontology of Gran Barranca: Evolution and Environmental Change through the Middle Cenozoic of Patagonia.* Cambridge University Press: 278-292.
- Bockelie, J. F. 1991.** Ichnofabric mapping and interpretation of Jurassic reservoir rocks of the Norwegian North Sea. *Palaios* 6: 206-215.
- Bottjer, D. J. y Droser, M. L. 1991.** Ichnofabric and basin analysis. *Palaios* 6: 199-205.
- Bottjer, D. J. y Droser, M. L. 1994.** The history of Phanerozoic bioturbation. En: Donovan, S. K. (Ed.) *The Paleobiology of Trace Fossils.* Wiley, New York: 155-176.
- Bouché, M. B., 1972.** Lombriciens de France. *Ecologie et systématique.* INRA, *Annales de Zoologie – Ecologie Animale*, 72(2): 1-671. Paris.
- Bown, T. M. y Kraus, M. J. 1987.** Integration of channel and floodplain suites: I. Developmental sequence and lateral relations of alluvial paleosols. *Journal of Sedimentary Petrology* 57: 587–601.
- Brea M., Bellosi E. S., Umazano A. M. y Krause J. M. 2016.** Aptian-Albian Cupressaceae (sensu stricto) woods from Cañadon Asfalto Basin, Patagonia Argentina. *Cretaceous Research* 58: 17-28.
- Bromley, R. G. 1981.** Enhancement of visibility of structures in marly chalk: modification of the Bushinsky oil technique: *Bulletin of the Geological Society of Denmark* 29: 111-118.
- Bromley, R. G. 1996.** *Trace Fossils: Biology, Taphonomy and Applications* (second edition). Chapman Hall, London: 1-361.
- Bromley, R. y Asgaard, U. 1979.** Triassic freshwater ichnocoenoses from Carlsberg Fjord, East Greenland. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 28: 39-80.
- Bromley, R. G. y Ekdale, A. A. 1986.** Composite ichnofabric and tiering of burrows. *Geological Magazine* 123(1): 59-65.
- Bullock, P., Federoff, N., Jongerius, A., Stoops, G. y Tursina, T. 1985.** *Handbook for Soil Thin Section Description.* Waine Research Publications, Albrighton: 1-152.
- Cabaleri, N. G. y Armella, C. 1999.** Facies lacustres de la Formación Cañadón Asfalto (Caloviano-Oxfordiano), en la quebrada Las Chacritas, Cerro Cóndor, provincia de Chubut. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 54: 375-388.

- Cabaleri, N. G., Armella, C. y Silva Nieto, D. 2005.** Saline lakes of Cañadón Asfalto Formation (Middle Upper Jurassic), Cerro Cóndor, Chubut province (Patagonia), Argentina. *Facies* 51: 350-364.
- Capowiez, Y. 2000.** Differences in burrowing behaviour and spatial interaction between the two earthworm species *Aporrectodea nocturna* and *Allolobophora chlorotica*. *Biology and Fertility of Soils* 30: 341-346.
- Carballido, J. L., Pol, D., Otero, A., Cerda, I. A., Salgado, L., Garrido, A. C., Ramezani, J., Cúneo, N. R., y Krause, J. M. 2017.** A new giant titanosaur sheds light on body mass evolution among sauropod dinosaurs. *Proceedings of the Royal Society B* 284: 20171219.
- Carmona, P. R. 2015.** Estratigrafía y paleoambientes de los Miembros Cerro Castaño y Las Plumas de la Formación Cerro Barcino, en estancia La Flecha, Cretácico de Patagonia, Argentina. Universidad Nacional de La Pampa. Tesis de licenciatura (inédita): 1-54.
- Cas, R. A. F., y Wright, J. V. 1987.** Volcanic Successions, Modern and Ancient: A Geological Approach to Processes, Products and Successions, 1-528.
- 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. *Actas 6° Congreso Geológico Argentino, Buenos Aires*: 375-392.
- Codignotto, J., Nullo, F., Panza, J. y Proserpio, C. 1978.** Estratigrafía del Grupo Chubut, entre Paso de Indios y Las Plumas, Chubut. *Actas 7° Congreso Geológico Argentino, Neuquén*: 471-480.
- Coira, B., Nullo, E., Proserpio, C. y Ramos, V. 1975.** Tectónica del basamento en la región occidental del Macizo Nordpatagónico (provincias de Río Negro y Chubut). República Argentina. *Revista Asociación Geológica Argentina* 30 (4): 361-383.
- Cortiñas, J. S. 1996.** La cuenca de Somuncurá-Cañadón Asfalto: sus límites, ciclos evolutivos del relleno sedimentario y posibilidades exploratorias. *Actas 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Buenos Aires*: 147-163.
- Cosarinsky, M. I. 2003a.** Micromorfología de nidos de termitas de la República Argentina. Tesis doctoral (Inédita), Universidad de Buenos Aires: 1-193.
- Cosarinsky, M. I. 2003b.** Micromorphology of the nest of *Cornitermes cumulans* (Kollar) (Isoptera: Termitidae). En: Buatois L.A. y M.G. Mángano (Eds.), *Iconología: Hacia*

una convergencia entre geología y biología. Publicación especial n° 9 de la Asociación Paleontológica Argentina: 53-64.

- Cosarinsky, M. I. 2004a.** Nest micromorphology of the neotropical termite *Termes saltans* (Isoptera: Termitidae). *Sociobiology* 43(3): 501-511.
- Cosarinsky, M. I. 2004b.** Nest micromorphology of the termite *Cortaritermes fulviceps* in different types of soil (Isoptera; Termitidae). *Sociobiology* 44(1): 153-170.
- Cosarinsky, M. I. 2006.** Nest micromorphology of the neotropical mound building ants *Camponotus punctulatus* and *Solenopsis* sp. *Sociobiology* 47: 329-344.
- Cosarinsky M. I. y Roces F. 2007** Neighbor leaf-cutting ants and mound-building termites: comparative nest micromorphology. *Geoderma* 141: 224–234.
- Cosarinsky, M. I., Bellosi, E. S. y Genise, J. F. 2005.** Micromorphology of modern epigeal termite nests and possible termite Ichnofossils: A comparative analysis (Isoptera). *Sociobiology* 45(3): 745-778.
- Cúneo, R., Ramezani, J., Scasso, R. A., Pol, D., Escapa, I., Zavattieri, A. M. y Bowring, S. 2013.** High-precision U-Pb geochronology and a new chronostratigraphy for the Cañadón Asfalto Basin, Chubut, central Patagonia: implications for terrestrial fauna. *Gondwana Research* 24: 1267–1275.
- de la Fuente, M. S., Umazano, A. M., Sterli, J. y 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.
- Dexter, A. R. 1978.** Tunnelling in soil by earthworms. *Soil Biology & Biochemistry* 10: 447-449.
- Droser, M. L. y Bottjer, D. J. 1986.** A semiquantitative field classification of ichnofabrics. *Journal of Sedimentary Petrology* 56: 558-559.
- Droser, M. L. y Bottjer, D. J. 1989.** Ichnofabric of sandstones deposited in high-energy near shore environments: Measurement and utilization. *Palaios* 4: 598-604.
- Echaurren, A., Folguera, A., Gianni, G., Orts, D., Tassara, A., Encinas, A., Giménez, M. y Valencia, V. 2016.** Tectonic evolution of the North Patagonian Andes (41° - 44° S) through recognition of syntectonic strata. *Tectonophysics* 677: 99–114.
- Edwards, C. A. y Bohlen, P. J. 1996.** *Biology and Ecology of Earthworms*. Third Edition. Chapman & Hall, Great Britain: 1-410.
- Ehlers, W. 1975.** Observations on earthworm channels and infiltration on tilled and untilled loess soil. *Soil Science* 119(3): 242-249.

- Ekdale, A. A. y Bromley, R. G. 1983.** Trace fossils and ichnofabrics in the Kjølbj Gaard Marl, Upper Cretaceous, Denmark. *Bulletin of the Geological Society of Denmark* 31: 107-119.
- Ekdale, A. A. y Bromley, R. G. 1991.** Analysis of composite ichnofabrics: an example in uppermost Cretaceous chalk of Denmark. *Palaios* 6: 232-249.
- Ekdale, A.A., Bromley, R. G., y Pemberton, S. G. 1984.** Ichnology-Trace Fossils in Sedimentology and Stratigraphy. SEPM Short Course. 1 -320.
- Ekdale, A. A., Bromley, R. G., y Knaust, D. 2005.** Chapter 5. The Ichnofabric Concept, En: Knaust, D. y Bromley, R. G. (Eds): In *Developments in Sedimentology*, Elsevier, 64: 139-155.
- Ekdale, A. A., Bromley, R. G., & Knaust, D. 2012.** The ichnofabric concept. Trace fossils as indicators of sedimentary environments. *Developments in Sedimentology*, 64, 139-155.
- Escapa, I. H., Bomfleur, B., Cúneo, N. R. y Scasso, R. 2015.** A new marattiaceous fern from the Lower Jurassic of Patagonia (Argentina): the renaissance of *Marattiopsis*. *Journal of Systematic Palaeontology* 13(8): 677-689.
- Figari, E. G. 2005.** Evolución tectónica de la Cuenca de Cañadón Asfalto (zona del valle medio del río Chubut). Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.
- Figari, E. G. y Courtade, S. 1993.** Evolución tectosedimentaria de la cuenca Cañadón Asfalto, Chubut, Argentina. *Actas 12º Congreso Geológico Argentino y 2º Congreso de Exploración de Hidrocarburos*, Mendoza: 66-77.
- Figari, E. G., Scasso, R. A., Cúneo, R. N. y Escapa, I. 2015.** Estratigrafía y evolución geológica de la Cuenca de Cañadón Asfalto, Provincia del Chubut, Argentina. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* 22 (2): 135-169.
- Fisher, J. A., Nichols, G. J., y Waltham, D. A. 2007.** Unconfined flow deposits in distal sectors of fluvial distributary systems: examples from the Miocene Luna and Huesca Systems, northern Spain. *Sedimentary Geology*, 195(1): 55-73.
- Foix, N., Allard, J. O., Paredes, J. M., y Giacosa, R. E. 2012.** Fluvial styles, palaeohydrology and modern analogues of an exhumed, Cretaceous fluvial system: Cerro Barcino Formation, Cañadón Asfalto Basin, Argentina. *Cretaceous Research*, 34: 298-307.

- Frey, R. W. y Pemberton, S. G. 1987.** The *Psilonichnus* ichnocoenose, and its relationship to adjacent marine and non-marine ichnocoenoses along the Georgia Coast. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology* 35: 333-357.
- Frey, R. W., Pemberton, S. G. y Fagerstrom, J. A. 1984a.** Morphological, ethological and environmental significance of the ichnogenera *Scoyenia* and *Ancorichnus*. *Journal of Paleontology* 58: 511-528.
- Frey, R. W., Curran, H. A. y Pemberton, S. G. 1984b.** Tracemaking activities of crabs and their environmental significance: the ichnogenus *Psilonichnus*. *Journal of Paleontology* 58: 333-350.
- Gallego, O. F., Cabaleri, N. G., Armella, C., Volkheimer, W., Ballent, S. C., Martínez, S., Monferran, M. D., Silva Nieto, D. G. y Páez, M. A. 2011.** Paleontology, sedimentology and paleoenvironment of a new fossiliferous locality of the Jurassic Cañadón Asfalto Formation, Chubut province, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 31: 54-68.
- Genise, J. F. 2004.** Ichnotaxonomy and ichnostratigraphy of chambered trace fossils in palaeosols attributed to coleopterans, ants and termites. En McIlroy, D. (Ed.) 2004. The application of ichnology to palaeoenvironmental and stratigraphic analysis. *Geological Society of London Special Publications* 228: 419-453.
- Genise, J. F. y Cladera, G. 1995.** Application of computerized tomography to study insect traces. *Ichnos* 4: 77-81.
- Genise, J. F. y Hazeldine, P. L. 1998a.** The ichnogenus *Palmiraichnus* Roselli for fossil bee cells. *Ichnos* 6: 151-166.
- Genise, J. F. y Hazeldine, P. L. 1998b.** 3D-reconstruction of insect trace fossils: *Ellipsoideichnus meyeri* Roselli. *Ichnos* 5: 167-175.
- Genise, J. F. y Poiré, D. G. 2000.** Fluidization in insect constructions in soils. *Ichnos* 7: 127-134.
- Genise, J. F., Bellosi, E. S. y González, M. G. 2004.** An approach to the description and interpretation of ichnofabrics in paleosols. En McIlroy, D. (Ed.) 2004. The application of ichnology to palaeoenvironmental and stratigraphic analysis. *Geological Society of London Special Publications* 228: 355-382.
- Genise, J. F., Melchor, R. N., Bellosi, E. S., González, M. G. y Krause, M. 2007.** New insect pupation chambers (*Pupichnia*) from the Upper Cretaceous of Patagonia, Argentina. *Cretaceous Research* 28: 545-559.

- Genise, J. F., Alonso-Zarza, A. M., Krause, J. M., Sánchez, M. V., Sarzetti, L., Farina, J. L., González, M. G., Cosarinsky, M. y Bellosi, E. S. 2010.** Rhizolith balls from the Lower Cretaceous of Patagonia: Just roots or the oldest evidence of insect agriculture? *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*: 128–142.
- Gianni, G., Navarrete, C., Orts, D., Tobal, J., Folguera, A. y Giménez, M. 2015.** Patagonian broken foreland and related synorogenic rifting: the origin of Chubut Group Basin. *Tectonophysics* 649: 81–99.
- Gianni, G., Folguera, A., Navarrete, C., Encinas, A. y Echaurren, A. 2016.** The north Patagonian orogen: meso-Cenozoic evolution from the Andes to the foreland area. En: Folguera, A., Naipauer, M., Sagripanti, L., Ghiglione, M.C., Orts, D.L., Giambiagi, L. (Eds.), *Growth of the Southern Andes*. Springer: 300–350.
- Glaub, I., Golubic, S., Gektidis, M., Radtke, G. y Vogel, K. 2007.** “Microborings and microbial endoliths: geological implications”. En: Miller W., III (Ed.). *Trace Fossils. Concepts, Problems, Prospects*. Amsterdam: 368-381.
- Gonzalez, M. G., Tófaló, O. R. y Pazos, P. 1998.** Icnología y paleosuelos del Miembro del Palacio de la Formación Asencio (Cretácico Superior-Terciario Inferior) del Uruguay. *Actas 2º Congreso Uruguayo de Geología*. Punta del Este: 38-42.
- Grant, W. C. 1955.** Studies on moisture relationship in earthworms. *Ecology* 36(3): 400-407.
- Haldeman, S. S. 1840.** Supplement to number one of “A monograph of the *Limniades*, and other fresh water univalve shells of North America”, containing descriptions of apparently new animal in different classes, and the names and characters of the subgenera in *Paludina* and *Anculosa*. Philadelphia: 1-3.
- Hall J. 1847.** Paleontology of New-York. Volume I. Containing descriptions of the organic remains of the Lower Division of the New-York system (equivalent to the Lower Silurian rocks of Europe). Albany: C. Van Benthuyssen: 338.
- Hampton, B. A., y Horton, B. K. 2007.** Sheetflow fluvial processes in a rapidly subsiding basin, Altiplano plateau, Bolivia. *Sedimentology*, 54(5): 1121-1148.
- Hasiotis, S. T. 1997.** Ant, termite, bee and wasp, and crayfish ichnofabrics: how to differentiate their ichnofabric signatures. *Actas 4º International Workshop on Ichnofabrics*, San Salvador: 1.
- Hasiotis, S. T. y Dubiel, R. F. 1994.** Ichnofossil tiering in Triassic alluvial palaeosols: implications for pangean continental rocks and paleoclimate. *Memoirs of the Canadian Society of Petroleum Geologists* 17: 311-317.

- Hasiotis, S. T., Aslan, A. y Bown, T. M. 1993.** Origin, architecture, and paleoecology of the Early Eocene continental ichnofossil *Scaphichnium hamatum*, integration of ichnology and paleopedology. *Ichnos* 3: 1-9.
- Hauser, N., Cabaleri, N. G., Gallego, O. F., Monferran, M. D., Nieto, D. S., Armella, C., y Reimold, W. U. 2017.** U-Pb and Lu-Hf zircon geochronology of the Cañadón Asfalto Basin, Chubut, Argentina: Implications for the magmatic evolution in central Patagonia. *Journal of South American Earth Sciences*.
- Heer, O. 1887.** Flora fossilis Helvetiae. Die vorweltliche Flora der Schweiz. J. Würster and Co. 182 p.
- Hembree, D. I. y Hasiotis, S. T. 2007.** Paleosols and ichnofossils of the White River Formation of Colorado: insight into soil ecosystems of the North American midcontinent during the Eocene-Oligocene transition. *Palaios* 22(2): 123-142.
- Hembree, D. I. y Hasiotis, S. T. 2008.** Miocene vertebrate and invertebrate burrows defining compound paleosols in the Pawnee Creek Formation, Colorado, U.S.A. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 270: 349-365.
- Holldobler, B. y Wilson, E. O. 1990.** *The Ants*. Harvard University Press, Cambridge, MA. 732 p.
- Ireland, H. A. 1971.** Preparation of thin sections. En: *Procedures in sedimentary petrology*. Carver, R. E. (Ed.) 1971. Wiley-Interscience, USA: 367-384.
- Jégou, D., Hallaire, V., Cluzeau, D. y Tréhen, P. 1999.** Characterisation of the burrow system of the earthworms *Lumbricus terrestris* and *Aporrectodea giardi* using X-ray computed tomography and image analysis. *Biology and Fertility of Soils* 29: 314-318.
- Jégou, D., Schrader, S., Diestel, H. y Cluzeau, D. 2001.** Morphological, physical and biochemical characteristics of burrow walls formed by earthworms. *Applied Soil Ecology* 17: 165-174.
- Keighley, D. K. y Pickerill, R. K. 1994.** The ichnogenus *Beaconites* and its distinction from *Ancorichnus* and *Taenidium*. *Palaeontology* 37: 305-337.
- Krause, J. M., Umazano, A. M., Bellosi, E. S. y White, T. S. 2014.** Hydromorphic paleosols in the upper Puesto La Paloma Member, Cerro Barcino Formation, mid Cretaceous, Patagonia Argentina: environmental and stratigraphic significance. *Actas 14º Reunión Argentina de Sedimentología*. Puerto Madryn: 146-147.
- Kretzschmar, A. 1984.** Besoins biologiques des vers et porosité du sol. *Bulletin du Groupe Francophone d'Humidimétrie et de transferts en milieux poreux* 15 : 96-102.

- Laza, J. H. 1982.** Signos de actividad atribuibles a *Atta* (Myrmicidae) en el Mioceno de la Provincia de La Pampa, República Argentina. Significación paleozoogeográfica. *Ameghiniana*, 19, 109-124.
- Lesta, P. 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, Córdoba: 601-653.
- Ligthart, T. N. 1997.** Thin section analysis of earthworm burrow disintegration in a permanent pasture. *Geoderma* 75(1-2): 135-148.
- Lizuaín, A. y Silva Nieto, D. 1996.** Estratigrafía Mesozoica del Río Chubut medio (Sierra de Tequetrén) provincia del Chubut. Actas 13º Congreso Geológico Argentino y 3º Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Buenos Aires: 479-493.
- Madge, D. S. 1969.** Field and laboratory studies on the activities of two species of tropical earthworms. *Pedobiologia* 9: 188–214.
- Manassero, M., Zalba, P.E., Andreis, R. y Morosi, M. 2000.** Petrology of continental pyroclastic and epiclastic sequences in the Chubut group (Cretaceous): Los Altares-Las Plumas area, Chubut, Patagonia Argentina. *Revista Geológica de Chile* 27: 13-26.
- Manville, V., Németh, K., y Kano, K. 2009.** Source to sink: a review of three decades of progress in the understanding of volcanoclastic processes, deposits, and hazards. *Sedimentary Geology*, 220(3): 136-161.
- Martina, F., Dávila, F. M., y Astini, R. A. (2006).** Mio–Pliocene volcanoclastic deposits in the Famatina Ranges, southern Central Andes: a case of volcanic controls on sedimentation in broken foreland basins. *Sedimentary Geology*, 186(1): 51-65.
- Marveggio, N. y Llorens, M. 2013.** Nueva edad de la base del grupo Chubut en la mena uranífera Cerro Solo, provincia del Chubut. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 70(3): 318-326.
- McIlroy, D. 2004a.** Some ichnological concepts, methodologies, applications and frontiers. *Geological Society of London Special Publication* 228(1): 3-27.
- McIlroy, D. 2004b.** Ichnofabrics and sedimentary facies of a tide-dominated delta: Jurassic Ile Formation of Kristin Field, Haltenbanken, offshore mid-Norway. *The Application of ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis*. D. McIlroy (Ed.). London, The Geological Society of London 228: 237-272.
- Miller, M. F. y Smail, S. E. 1997.** A semiquantitative method for evaluating bioturbation on bedding planes. *Palaios* 12: 391-396.

- Miller, W. R. y Mason, T. R. 2000.** *Stellavelum arborensis* igen. sp. nov., *Stellavelum uncinum* igen., isp. nov. and *Termitichnus namibiensis* isp. nov.; new ichnofossils from Cenozoic deposits of Namaqualand, South Africa. *Ichnos* 7: 195-215.
- Musacchio, E. 1972.** Charophytas del Cretácico Inferior en sedimentitas chubutenses al este de La Herrería, Chubut. *Ameghiniana* 9: 354-356.
- Musacchio, E. y Chebli, G. A. 1975.** Ostrácodos no marinos y carófitas del Cretácico Inferior de las provincias de Chubut y Neuquén. *Ameghiniana* 12: 70-96.
- Nakayama, C. 1973.** Sedimentitas prebayocianas en el extremo austral de la sierra de Taquetrén, Chubut, Argentina. *Actas 5° Congreso Geológico Argentino, Buenos Aires*: 269–278.
- Navarro, E. L., Astini, R. A., Belousova, E., Guler, M. V., y Gehrels, G. 2015.** Detrital zircon geochronology and provenance of the Chubut Group in the northeast of Patagonia, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 63: 149-161.
- Nichols, G. J., y Fisher, J. A. 2007.** Processes, facies and architecture of fluvial distributary system deposits. *Sedimentary Geology*, 195(1): 75-90.
- Nicholson, H. A. 1873.** Contributions to the study of the errant annelides of the older Palaeozoic rocks. *Proceedings of the Royal Society of London*, 21: 288-290.
- Page, R., Ardolino, A., de Barrio, R. E., Franchi, M., Lizuain, A., Page, S. y Silva-Nieto, D. 1999.** Estratigrafía del Jurásico y Cretácico de Macizo de Somún-Curá, provincias de Río Negro y Chubut. En: Caminos, R. (Ed.), *Geología Argentina: Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Anales*: 29: 460-488.
- Pemberton, S. G., Gingras, M. K. y Henk, F. 2004.** Assessing permeability/porosity trends in bioturbated media. *Actas 1° International Congress on Ichnology, Abstracts Book, Trelew*: 8-9.
- Perez, M., Umazano, A. M. y Melchor, R. N. 2013a.** Cretaceous burrows of probable vertebrate origin from volcanoclastic interdune deposits of the Cerro Barcino Formation, Patagonia, Argentina. En *Abstracts and Intra-Symposium Fieldtrip, del 2° Simposio Latino Americano de Icnología, SLIC 2013, Santa Rosa*: 57.
- Perez, M., Umazano, A. M. y Melchor, R. N. 2013b.** Early Cretaceous ichnofauna from eolian and associated deposits of Patagonia: the Cerro Barcino Formation, Chubut, Argentina. En *Abstracts and Intra-Symposium Fieldtrip, del 2° Simposio Latino Americano de Icnología, SLIC 2013, Santa Rosa*: 58.

- Pol, D., Garrido, A., y Cerda, I. A. 2011.** A new sauropodomorph dinosaur from the Early Jurassic of Patagonia and the origin and evolution of the sauropod-type sacrum. *Plos One* 6(1): e14572.
- Proserpio, C. A. 1987.** Hoja Geológica 44 e, Valle General Racedo, Provincia de Chubut. Dirección Nacional de Minería y Geología, Secretaría de Minería. Escala 1:200.000.
- Ranalli, J. N., Peroni, G. O., Boggetti, D. A. y Manoni, R. 2011.** Cuenca Cañadón Asfalto, modelo tectosedimentario. Actas 8° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Simposio Cuencas Argentinas. Asociación Argentina de Geólogos y Geofísicos Petroleros, Mar del Plata: 185-215.
- Reineck, H. E. 1967.** Layered sediments of tidal flat beaches and shelf bottoms of the North Sea. En: Lauff, G. H. (Ed). *Estuaries. Association for Advancement of Science Special Publication* 83: 191-206.
- Retallack, G. J. 1990.** *Soils of the Past.* Unwin Hyman, Boston: 1-404.
- Roots, B. I. 1956.** The water relations of earthworms. II. Resistance to desiccation and immersion, and behaviour when submerged and when allowed a choice of environment. *Journal of Experimental Biology* 33: 29–44.
- Ruz Gatto, D. 2015.** Análisis estratigráfico y paleoambiental del Miembro Las Plumas (Formación Cerro Barcino) en el cerro Las Leoneras, Cretácico de Patagonia, Argentina. Universidad Nacional de La Pampa. Tesis de licenciatura (inédita): 1-42.
- Schmid, R. 1981.** Descriptive nomenclature and classification of pyroclastic deposits and fragments. *Geologisches Rundschau* 70: 794–799.
- Seilacher, A. 1967.** Bathymetry of trace fossils. *Marine Geology* 5: 413-428.
- Sesana, F. 1968.** Rasgos petrológicos de la comarca de Río Chico, Río Negro. Actas 3° Jornadas Geológicas Argentinas, 99-107.
- Silva Nieto, D. G., Lizuaín, A., y Paez, M. 2017.** Reinterpretación estratigráfica de la formación Cerro Barcino (Grupo Chubut), en el Chubut central. Actas 20° Congreso Geológico Argentino, Tucumán Sesión Técnica 1, 127-128.
- Smith, J. J., Hasiotis, S. T., Woody, D. T. y Kraus, M. J. 2008a.** Paleoclimatic implications of Crayfish-mediated prismatic structures in paleosols of the Paleogene Willwood Formation, Bighorn Basin, Wyoming, USA. *Journal of Sedimentary Research* 78: 323-334.
- Smith, J. J., Hasiotis, S. T., Kraus, M. J. y Woody, D. T. 2008b.** *Naktodemasis bowni*: New ichnogenus and ichnospecies for adhesive meniscate burrows (AMB), and

- paleoenvironmental implications, Paleogene Willwood Formation, Bighorn Basin, Wyoming. *Journal of Paleontology* 82(2): 267-278.
- Stoops, G. 1990.** Multilingual translation of the terminology user in the “Handbook for soil thin section description”. *Developments in Soil Science* 19: 705-716.
- Suarez, M, Márquez, M., De La Cruz, R., Navarrete, C. y Fanning, M. 2014.** Cenomanian-?early Turonian minimum age of the Chubut Group, Argentina: SHRIMP U-Pb geochronology. *Journal of South American Earth Sciences* 50: 67-74.
- Tanner, L. H. 2010.** Continental carbonates as indicators of paleoclimate. En: Alonso-Zarza, A.M., Tanner, L.H. (Eds.), *Carbonates in Continental Settings: Facies, Environments and Processes*. *Developments in Sedimentology* 62: 179–214.
- Tasch, P. y Volkheimer, W. 1970:** Jurassic conchostracans from Patagonia. University of Kansas, *Paleontological Contributions* 50: 1–23.
- Taylor, A. M. y Goldring, R. 1993.** Description and analysis of bioturbation and ichnofabric. *Journal of the Geological Society of London* 150: 141-148.
- Teruggi, M. E., Mazzoni, M. M., Spalletti, L. A. y Andreis, R. R. 1978.** Rocas Piroclásticas: Interpretación y Sistemática. Asociación Geológica Argentina, Buenos Aires: 1-57.
- Tobin, R. J. 2004.** Ichnology of a late Pleistocene ichnofabric, Nebraska, USA. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 215: 111-123.
- Tófaló, O. R. y Pazos, P. J. 2002.** Caracterización de calcretes de la Formación Puerto Yeruá (Cretácico), en base a su micromorfología (Entre Ríos, Argentina). *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología* 9 (2): 127–134.
- Tomas, A. D. S., Vallati, P., y Martín-Closas, C. 2017.** Biostratigraphy and biogeography of charophytes from the Cerro Barcino Formation (upper Aptian–lower Albian), Cañadón Asfalto Basin, central Patagonia, Argentina. *Cretaceous Research*, 79: 1-11.
- Umazano, A. M. 2010.** Deposition and reworking of primary pyroclastic detritus in Puesto La Paloma Member, Cretaceous Cerro Barcino Formation, Somuncurá-Cañadón Asfalto Basin, Patagonia, Argentina. *Proceedings of International Geological Congress of the Southern Hemisphere*. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 51. Asociación Geológica Argentina, Mar del Plata: 93.
- Umazano, A. M. y Krause, J. M. 2013.** Señales alocíclicas en sucesiones fluviales volcanoclasticas: el caso de los Miembros Puesto La Paloma y Cerro Castaño. *Actas*

11° Jornadas Pampeanas de Ciencias Naturales. Consejo Profesional de Ciencias Naturales de La Pampa, Santa Rosa: 71.

- Umazano, A. M., Bellosi, E. S., Visconti, G., y Melchor, R. N. (2008).** Mechanisms of aggradation in fluvial systems influenced by explosive volcanism: an example from the Upper Cretaceous Bajo Barreal Formation, San Jorge Basin, Argentina. *Sedimentary Geology*, 203(3): 213-228.
- Umazano, A. M., Bellosi, E. S., Visconti, G., Jalfin, G. A. y Melchor, R. N. 2009.** Sedimentary record of a Late Cretaceous volcanic arc in central Patagonia: petrography, geochemistry and provenance of fluvial volcanoclastic deposits of the Bajo Barreal Formation, San Jorge Basin, Argentina. *Cretaceous Research* 30: 749–766.
- Umazano, A. M., Rosso, B. C., Perez, M. y Melchor, R. N. 2012a.** Procesos constructivos en planicies de inundación volcanoclasticas: la depositación del Miembro Cerro Castaño durante el Cretácico de Patagonia. *Actas 13° Reunión Argentina de Sedimentología. Asociación Sedimentológica Argentina, Salta*: 213-214.
- Umazano, A. M., Bellosi, E. S., Visconti, G., & Melchor, R. N. 2012b.** Detecting allocyclic signals in volcanoclastic fluvial successions: Facies, architecture and stacking pattern from the Cretaceous of central Patagonia, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 40, 94-115.
- Umazano, A. M., Krause, J. M., Bellosi, E. S., Perez, M. y Visconti, G. 2014.** Modification of fluvial style in a volcanoclastic setting: an example from the Cretaceous Cerro Barcino Formation, Patagonia, Argentina. *Actas 14° Reunión Argentina de Sedimentología, Puerto Madryn*: 271-272.
- Umazano, A. M., Bellosi, E. S. y Krause, J. M. 2016.** Allocyclic controls in volcanoclastic fluvial successions: lessons from alluvial architecture of Cretaceous Chubut Group, Patagonia. *Actas 7° Congreso Latinoamericano de Sedimentología y 15° Reunión Argentina de Sedimentología, Santa Rosa*: 171.
- Umazano, A. M., Krause, J. M., Bellosi, E. S., Perez, M., Visconti, G., y Melchor, R. N. 2017.** Changing fluvial styles in volcanoclastic successions: A cretaceous example from the Cerro Barcino Formation, Patagonia. *Journal of South American Earth Sciences* 77: 185-205.
- Villegas P. M., Visconti, G. y Umazano, A. M. 2014.** Respuestas sedimentarias de un sistema fluvial al influjo de sedimentos piroclásticos: el caso de los Miembros

- Bardas Coloradas y Puesto La Paloma durante el Cretácico de Patagonia. Actas 14° Reunión Argentina de Sedimentología. Puerto Madryn, Actas: 1, 295-296.
- Villegas, P. M., Umazano, A. M., y Melchor, R. N. 2017a.** Abanicos aluviales y ríos asociados en los depósitos volcanoclásticos cretácicos del Miembro Las Plumas, cuenca de Somuncurá-Cañadón Asfalto, Argentina. Actas 20° Congreso Geológico Argentino, Tucumán Sesión Técnica 7: 122-124.
- Villegas, P. M., Umazano, A. M., Melchor, R. N., y Kataoka, K. 2017b.** Soft-sediment deformation structures in conglomeratic fluvial deposit: an example from the cretaceous Cerro Barcino Formation, Somuncurá-Cañadón Asfalto basin, Argentina. Actas 20° Congreso Geológico Argentino, Tucumán Sesión Técnica 7: 125-126.
- Volkheimer, W. 1964.** Estratigrafía de la zona Extrandina del Dpto. de Chubut (Chubut) entre los paralelos 42° y 42° 30' y los meridianos 70° y 71°. Revista Asociación Geológica Argentina 19: 85-107.
- Volkheimer, W., Quattrocchio, M., Cabaleri, N. G. y Garcia, V. 2008.** Palynology and paleoenvironment of the jurassic lacustrine Cañadón Asfalto Formation at Cañadón lahuincó locality, Chubut province, central Patagonia, Argentina. Revista Española Micropaleontología 40: 77-96.
- Volkheimer, W., Gallego, O. F., Cabaleri, N. G., Armella, C., Narváez, P. L., Silva Nieto, D. G. y Páez, M. A. 2009.** Stratigraphy, palynology and conchostracans of a Lower Cretaceous sequence at the Cañadón Calcáreo locality, extra-andean central Patagonia: age and paleoenvironmental significance. Cretaceous Research 30: 270-282.
- West, L. T., Hendrix, P. F. y Bruce, R. R. 1991.** Micromorphic observation of soil alteration by earthworms. Agriculture, Ecosystems and Environments 34: 363-370.
- Wetzel, A. y Uchman, A. 1998.** Deep-sea benthic food content recorded by ichnofabrics: a conceptual model based on observations from Paleogene flysch, Carpatians, Poland. Palaios 13: 533-546.