

# Estudio estratigráfico y de facies del yacimiento de icnitas de dinosaurios Sol de la Pita 1 en el Cretácico Inferior de la Cuenca de Cameros (Préjano, La Rioja, España)

J. Hernán<sup>(1)</sup> y J. J. Moratalla<sup>(2)</sup>

(1) Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía de Madrid, Universidad Politécnica de Madrid, Ríos Rosas 21, 28003 Madrid.  
javierhernan\_es@yahoo.es

(2) Museo Geominero, Instituto Geológico y Minero de España, Ríos Rosas 23, 28003 Madrid.  
j.moratalla@igme.es

## RESUMEN

Los sedimentos estudiados, en su mayor parte de naturaleza carbonatada, pertenecen al Grupo Enciso (Secuencia Depositional 7 de edad Barremiense superior—Aptiense inferior). Las facies y las asociaciones de facies presentes en la columna estratigráfica de Sol de la Pita (Préjano) sugieren la presencia de un medio lacustre carbonatado. Las huellas fósiles se encuentran mayoritariamente aisladas y han sido producidas por dinosaurios terópodos, ornitópodos y saurópodos. Estos últimos están representados solamente por la impresión de una huella de mano cuya morfología sugiere que su autor pertenecía al clado Titanosauriformes. Aunque modesto en extensión y en número de icnitas, Sol de la Pita 1 es un ejemplo muy interesante de la icno-diversidad dinosauriana típica de los ecosistemas continentales del Cretácico de la Cuenca de Cameros.

Palabras clave: Cretácico, Cuenca de Cameros, Dinosauria, España, estratigrafía, icnología, La Rioja, litofacies.

## ***Stratigraphic and facies study of a dinosaur tracksite, Sol de la Pita 1, from the Lower Cretaceous of the Cameros Basin (Préjano, La Rioja province, Spain)***

### ABSTRACT

*The studied deposits, mostly formed by carbonate sediments, belong to the Enciso Group (Depositional Sequence 7, upper Barremian–lower Aptian in age). The facies and facies associations of the Sol de la Pita (Préjano) stratigraphic section suggest the presence of a shallow, low-energy ramp carbonate lake. The footprints are mostly isolated and they have been produced by theropod, ornithopod, and sauropod dinosaurs. The latter group is only represented by an isolated manus impression whose morphology suggests that it was caused by an animal belonging to the clade Titanosauriformes. Despite its modest size and number of footprints, Sol de la Pita 1 is a very interesting example of the dinosaur ichno-diversity of these continental Cretaceous ecosystems from the Cameros Basin.*

*Key words: Cameros Basin, Cretaceous, Dinosauria, ichnology, La Rioja province, lithofacies, Spain, stratigraphy.*

### **Introduction and methods**

The Cameros Basin is located on the northwestern margin of the Iberian Range. The sedimentary infill is organized into eight depositional sequences (Tithonian—Early Albian) deposited in alluvial and lacustrine systems with rare marine incursions. The presence of a rich vertebrate ichnofauna (mostly dinosaurs, but pterosaur, turtle and bird tracks also occur) is the main characteristic of the Enciso Group (depositional sequence 7, upper Barremian—lower Aptian). Therefore, the aim of this paper is to provide an accurate sedimentological context (facies, facies associations and depositional environment) of the multiple dinosaur track-bearing levels that appear in the Sol de la Pita creek. Moreover, we discuss their icnotaxonomy and palaeobiological significance within the Cameros basin paleoichnological record.

### **Results and discussion**

The analysis of the stratigraphic section in Sol de la Pita creek has allowed the recognition of 19 facies (Table 1) organized into eight lacustrine facies associations (AF1—AF8) deposited in three sedimentary environments. Markov-chain procedure has been applied to this analysis. AF1 is composed of laminated limestone (the lamination is defined by ostracod shells) deposited in the open-sublittoral zone. AF2 is formed by intralittoral massive bioclastic limestones. AF3 is made up of limestone with evidence of emergence (nodular and/or with mud-cracks) interpreted as eulittoral sequences. AF4 is dominated by dark mudstones deposited by settling from suspension below a wave-base in a sublittoral, open or prodelta environment. AF5 is characterized by horizontal and cross-laminated sandstones deposited in a wave-dominated intralittoral zone. AF6 is typically composed of horizontally laminated (and minor massive) sandstone, and AF7 by massive sandstones, they both interpreted as mouth bar deposits. AF8 is represented by cross-stratified sandstones deposited in distributary channels. The three sedimentary environments are described as follows.

Shallow carbonate lake (AF1↔AF2). It is the most abundant (about 60%), and most of the track-bearing beds occur in this environment. It is interpreted as a carbonate lake with repeated expansion, retraction phases due to small-scale water-level fluctuations, represented by open sublittoral (AF1) and intralittoral (AF2) sediments. Eulittoral deposits can also appear (AF3: subaerially exposed littoral or palustrine limestones). This fluctuating environment allows the formation of frequent surfaces suitable for the preservation of the tracks. The vertical stacking pattern of tabular and laterally extensive limestone beds points to the presence of a low-gradient margin, and the predominance of mudstone/wackestone textures indicates a low-energy environment. These characteristics suggest that deposition took place in a low-energy ramp carbonate lake.

Shallow siliciclastic lake (AF4↔AF5). It represents a shallow-water siliciclastic lacustrine system with cyclical high-low lake stands. Similarly to the previous case, the shallowness of the water body allows small-scale water-level fluctuations to cause abrupt expansion, retraction stages, being recorded in the repeated deposition of open-sublittoral (AF4a) and intralittoral (AF5) sediments. In a different way, the intralittoral deposits show abundant wave-generated sedimentary structures suggesting a moderate- to high-energy environment.

Siliciclastic lacustrine deltas (AF4b→AF6 or AF7→AF8). They are characterized by an overall coarsening, upward pattern resulting in a change in the mechanism of deposition (from suspension settling to traction) and an increase in the energy environment. The delta succession comprises a fine-grained mudstone prodelta (AF4b), overlain by sand-rich mouth bars (AF6 or AF7) and capped by the cross-bedded sandstones of the distributary channel (A8).

Although there are abundant poor impressions in the stratigraphic levels throughout the Sol de la Pita creek, we have selected those levels with relatively well preserved dinosaur tracks.

The first level (I-1) has yielded an impressive mould of a large tridactyl footprint (SPL/1) caused by an ornithopod dinosaur. The track is 65 cm in length and 57 cm wide. The digits are robust and broad with rounded distal ends. The heel surface is relatively broad, with two slight indentations in the medial and marginal outline. It also shows a rounded posterior margin. Digit III is well developed (mesaxonic condition).

While levels I-2, I-3 and I-4 have yielded some theropod and ornithopod not very well preserved tracks, level I-5 seems to be more interesting with the presence of well preserved theropod tridactyl tracks, some of them forming a trackway (SLP5-R1). The trackway direction is about 0° N and its tracks are clearly tridactyl, with long and slender digits showing clear acuminate endings. The heel surface is asymmetrical, showing a conspicuous medial indentation. These general features are also shared by the other level I-5 isolated tracks, suggesting that the trackmaker belonged to the clade Theropoda.

Similar tridactyl dinosaur tracks were found at the small level I-6 (about 3 m<sup>2</sup>). All of them are isolated tracks and relatively variable in size (28 to 56 cm in length), with long, robust and distally acuminate digit endings. Digit III has the typical V shaped morphology and the heel outline is clearly asymmetric, with an internal marked indentation. All these features suggest that these tracks were produced by theropod dinosaurs and

they could be included within the ichnogenus *Megalosauripus*, i.e., a group containing the typical theropod footprints from the European Lower Cretaceous.

Despite these interesting theropod tracks, the most noteworthy impression of level I-6 is an isolated sauropod manus print. This track is relatively small, 20 cm in length and 23 cm wide. It shows a convex anterior outline and a concave posterior margin. The print is wider than longer, with a relatively broad inner surface. The digits I and V show a similar development rate and both digits are broad, short and with a rounded distal end. The general morphology, the size, and the digital shape suggest that this manus impression has been caused by a derived sauropod dinosaur, i.e., by a member of the clade *Titanosauriformes* or even by a titanosaur. However, there are no more sauropod impressions in this tracksite and thus we have no complementary trackway information about this.

The different levels of the *Sol de la Pita 1* locality make up a good representative sample of the *Cameros* basin ichnocenosis and, in addition, of the *Enciso* Group record. The tracks are relatively similar to those of other *La Rioja* tracksites. The *SPL-1* track is a spectacularly well preserved cast of an ornithopod tridactyl footprint, relatively similar to those from other *Cameros* localities. All these dinosaur tracks have been attributed to dinosaurs of the family *Iguanodontidae* despite this group is considered as a paraphyletic one. As we have seen, most of the tridactyl footprints from the other *Sol de la Pita* levels are of theropod origin, with slender, long and acuminate digital endings. Finally, the sauropod manus track from this site is very similar to those from other *Cameros* basin tracksites and also very similar to the ichnogenus *Titanosauri-manus*.

### Conclusions

The *Sol de la Pita* stratigraphic section is dominated by lacustrine environments, both carbonate and siliclastic shallow lakes. Nevertheless, the track-bearing levels occur only on the littoral deposits of a low-energy ramp carbonate lake. The cyclic expansion, retraction phases due to small-scale water-level fluctuations, allowed the formation of frequent surfaces for the preservation of the tracks.

The *Sol de la Pita 1* site is a rather a modest tracksite in comparison with other well-known locations in the *Cameros* basin. Nevertheless, its track-bearing levels have yielded dinosaur tracks from three of the big dinosaur groups: theropods, ornithopods and sauropods. The study of these tracks provides a good complement to the knowledge of the ichnocenosis from the *Cameros* basin.

## Introducción

Los sistemas lacustres actuales son áreas favorables para la preservación de huellas de vertebrados (Cohen *et al.*, 1993; Cohen *et al.*, 1991). Esta preferencia se observa también en el registro geológico, existiendo numerosos ecosistemas lacustres fósiles con una rica icnofauna de vertebrados. En este contexto, el sistema fluvio-lacustre del Grupo *Enciso*, en la cuenca de *Cameros*, destaca sobremanera por su abundancia en huellas de dinosaurios (Moratalla and Hernán, 2010; Pérez-Lorente, 2002) y, en menor medida, aves, tortugas y pterosaurios (Moratalla and Hernán, 2009; Moratalla *et al.*, 2003).

El objetivo de este trabajo es describir las facies y asociaciones de facies de la columna estratigráfica levantada en el barranco de *Sol de la Pita* (Préjano, *La Rioja*), definiendo el contexto sedimentológico preciso para los medios lacustres desarrollados en el Grupo *Enciso*, así como de sus yacimientos icnológicos. Además, se pretende describir las icnitas de dinosaurios que aparecen, identificarlas y discutir su significado dentro del registro paleoicnológico de la cuenca de *Cameros*.

## Contexto geológico

La cuenca de *Cameros* se localiza en el extremo noroccidental de la actual Cadena Ibérica (Fig. 1A). Durante el segundo ciclo del *rifting* finijurásico—eocretácico, constituye una de las numerosas cuencas sedimentarias existentes en el Sistema de *Rift* Mesozoico Ibérico (Mas *et al.*, 2002). Debido a la importante actividad distensiva acontecida, la cuenca se compartimenta en dos subcuencas muy subsidentes: *Cameros* oriental y occidental. Su registro sedimentario *sinrift* (hasta 10000 m de espesor) se organiza en una única megasecuencia constituida por depósitos continentales con esporádicas incursiones marinas (Titónico—Albiense inferior). Esta megasecuencia, a su vez, se divide en ocho secuencias deposicionales (SD), cada una de las cuales está compuesta por depósitos de naturaleza fluvial que pasan, lateralmente y/o hacia techo, a depósitos lacustres (Mas *et al.*, 2002).

El Grupo *Enciso*, que ocupa unos 245 km<sup>2</sup> de extensión, se sitúa en la parte superior de la SD7, con una edad probable Barremiense superior—Aptiense inferior (Mas *et al.*, 2002). Se dispone formando un sinclinal asimétrico con un gran desarrollo longitudinal

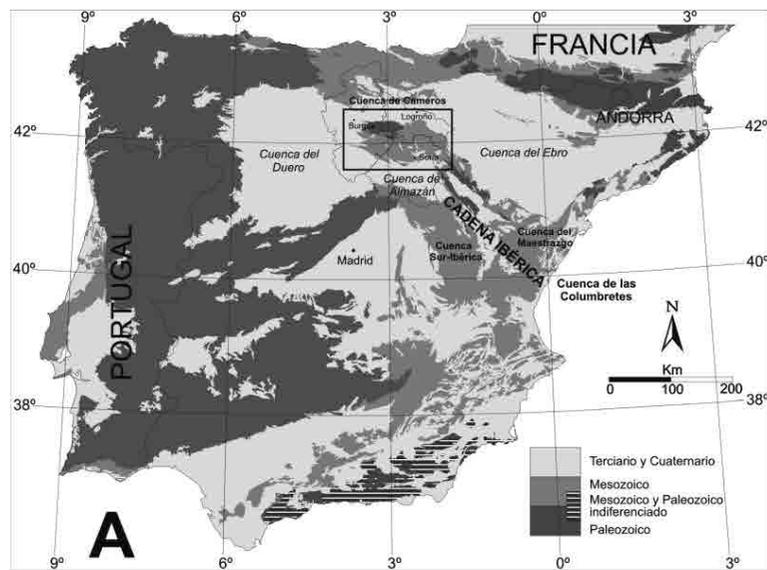
de su traza axial (unos 50 km), de orientación preferente NO—SE, paralela a la dirección del cabalgamiento (Fig. 1B). El flanco meridional presenta buzamientos suaves, una gran superficie aflorante, y una potente serie que alcanza unos 1400 m en el área depocentral. Por el contrario, el flanco septentrional muestra buzamientos elevados, poca extensión, un menor espesor de la serie, así como un elevado grado de fracturación y complejidad tectónica debido a que la mayor parte de la compresión terciaria se acomoda en esta zona. Esta disposición estructural favorece que la práctica totalidad de sedimentos afloren en el flanco meridional donde, consecuentemente, aparecen la mayoría de los yacimientos icnológicos. En el flanco septentrional existe un número significativamente menor de yaci-

mientos icnológicos y de menor calidad (Moratalla and Hernán, 2010).

Sol de la Pita 1 es uno de los escasos yacimientos icnológicos que aparecen en el flanco norte del sinclinal. En las cercanías del área estudiada aparecen también los yacimientos de Sol de la Pita 2, La Basta, Valdemurillo, Fuente Amarga y Cuesta del Peso (Moratalla García *et al.*, 1997; Moratalla *et al.*, 1994; Moratalla *et al.*, 1999) (Fig. 1B).

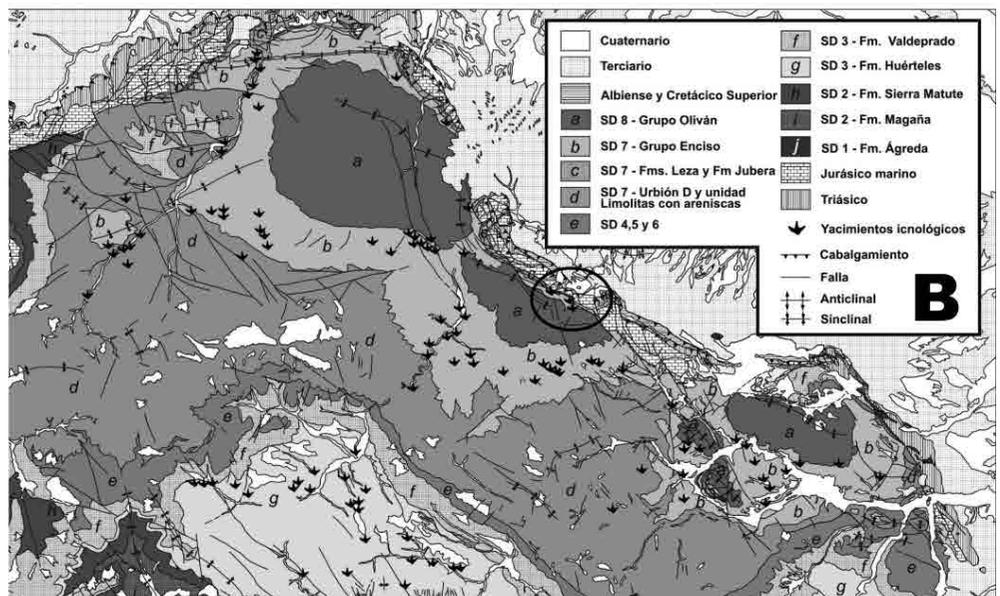
### Metodología

A fin de determinar el ambiente deposicional de los yacimientos icnológicos se ha levantado una columna



**Figura 1.** A) Mapa geológico simplificado de la Península Ibérica mostrando la posición de la Cuenca de Cameros (rectángulo). B) Mapa geológico en detalle de la sub-cuenca de Cameros oriental indicando la posición de los yacimientos icnológicos y de Sol de la Pita, Préjano (elipse). Ambos modificados de Moratalla y Hernán (2010).

**Figure 1.** A) Simplified geologic map of the Iberian Peninsula highlighting the location of the Cameros basin (rectangle). B) Detailed geological map of the eastern Cameros sub-basin with the location of the dinosaur tracksites and Sol de la Pita, Préjano (ellipse). Both are modified from Moratalla and Hernán (2010).



en detalle de la totalidad de la Secuencia Deposicional 7 aflorante en el barranco de Sol de la Pita. En esta zona, los depósitos *sinrift* se localizan en una estrecha franja de dirección NO–SE representada únicamente por los materiales de la SD7 y SD8. La SD7 consta de: a) 120 m de conglomerados con intercalaciones de areniscas y lutitas depositados en abanicos aluviales asignables a la Formación Jubera, b) 80 m de calizas y margas depositadas en un sistema de humedales costeros pertenecientes a la Formación Leza (Suárez-González *et al.*, 2013), en los cuales aparecen icnitas aisladas, restos fragmentarios de pterosaurios y escamas ganoideas (Moratalla *et al.*, 1998, 1999; Moratalla *et al.*, 1997) y, c) 140 m de intercalaciones de carbonatos y siliciclásticos finos pertenecientes a sistemas fluvio-lacustres del Grupo Enciso *sensu stricto* (Fig. 2). En el presente trabajo se han estudiado únicamente los materiales pertenecientes al Grupo Enciso. Se han identificado 19 litofacies en función de su litología, textura y estructuras sedimentarias (Tabla 1), que se agrupan en 8 asociaciones de facies (AF) atribuibles a tres medios sedimentarios (Fig. 2).

Las asociaciones de facies (141 transiciones) y los medios sedimentarios (83 transiciones) se han determinado por medio de un análisis markoviano siguiendo el método de Harper (Harper Jr., 1984), utilizando el programa Strati-Signal (Ndiaye, 2007). Los niveles de confianza aceptado como no aleatorios son (Xu and MacCarthy, 1998): significación alta (SA: >99.5%), significación moderada (SM: 95–99.5%) y, significativa (S: 90–95%).

Los niveles de icnitas de dinosaurios se han cartografiado *in situ*. Las icnitas individuales se han dibujado en detalle y se han fotografiado. Se han estimado las variables métricas de las huellas individuales así como del único rastro presente en los afloramientos estudiados. La identificación de las icnitas se ha llevado a cabo considerando aquellos caracteres morfológicos que se han usado tradicionalmente en paleoicnología de vertebrados: morfología general de la icnita, relación longitud/anchura, morfología de los dedos, desarrollo relativo de los mismos, tamaño relativo de la superficie plantar, morfología del borde proximal del talón, morfología de los bordes medial y lateral de la icnita, situación relativa de los hypexes, etc.

Facies (Abundancia)	Litología	Estratificación y estructuras sedimentarias	Contenido paleontológico
Facies As (0.6%): Areniscas con estratificación cruzada de surco.	Arenitas–grauvacas de grano fino. Color: 5B 5/1 y 5B 8/2.	Estratificación cruzada de surco a gran escala. Potencia: 10–50 cm.	Ostrácodos (A).
Facies Ap (2.9%): Arenitas con estratificación cruzada planar.	Arenitas de grano medio. Color: 5PB 3/2.	Estratificación cruzada planar a gran escala. Potencia: 13–40 cm. Costras y moteado por óxidos de Fe (A), y laminación cruzada (E).	Nulo.
Facies Ah <sub>1</sub> (0.9%): Arenitas con laminación horizontal.	Arenitas de grano fino–medio. Color: 5PB 3/2	Laminación horizontal formada por acumulaciones milimétricas de micas. Tabular–ligeramente cuneiforme. Potencia: 15–30 cm. Moteado por óxidos de Fe (A), costras de Fe (E), y laminación cruzada (E).	Ostrácodos (E). Bioturbación leve (E). Icnitas (E).
Facies Ah <sub>2</sub> (2.3%): Grauvas con laminación horizontal.	Grauvas de grano fino. Matriz arcillosa rica en materia orgánica. Color: 5PB 3/2.	Laminación horizontal: alternancia de láminas oscuras (<0.5 cm) de limolitas arenosas ricas en materia orgánica, y láminas claras (0.3–1.5 cm) de grauvas fina. Tabular–cuneiforme. Potencia: 10–80 cm. Costras ferruginosas a techo (A) y moteado por óxidos de Fe (A).	Ostrácodos (E). Fragmentos de moluscos (E). Bioturbación leve (E).

**Tabla 1.** Descripción de las principales litofacies que aparecen en el Grupo Enciso [(A) abundante y (E) escaso]. El código del color se basa en la tabla de Munsell.

**Table 1.** Description of the main lithofacies occurring in the Enciso Group [(A) abundant and (E) rare]. The colour code is based on the Munsell Chart.

Facies (Abundancia)	Litología	Estratificación y estructuras sedimentarias	Contenido paleontológico
Facies Am <sub>1</sub> (4.8%): Arenitas masivas.	Arenitas de grano fino—medio. Matriz arcillosa y/o micrítica. Color: 5B 5/1 y 5B 8/2.	Masivo. Tabular. Potencia: 10—200 cm. Costras de Fe (A), moteado (A), nódulos (E), y estructuras de carga (E).	Ostrácodos (E). Fragmentos de moluscos (E). Bioturbación intensa (A).
Facies Am <sub>2</sub> (2.5%): Grauvacas masivas.	Grauvacas de grano fino a muy fino. Matriz arcillosa rica en materia orgánica. Moderadamente seleccionadas. Color: 5B 5/1 y 5PB 3/2.	Masivo. Tabular—cuneiforme. Potencia: 10—54 cm. Costras de Fe (A) y estructuras de carga (A).	Ostrácodos (A). Fragmentos de moluscos (E). Bioturbación intensa (A).
Facies Ar (5%): Areniscas con rizaduras de oscilación.	Arenitas de grano medio y grauvacas de grano fino a muy fino. Matriz arcillosa rica en materia orgánica y/o micríticas. Localmente limolitas o calizas arenosas. Color: 5PB 3/2, 5B 5/1 y 5B 8/2.	Rizaduras de oscilación y/o laminación cruzada de surco. Tabular. Potencia: 5—81 cm. Laminación horizontal (E), costras de Fe (A), y moteado (A).	Ostrácodos (E). Bioturbación (E).
Facies Lh (10.3%): Lutitas con laminación horizontal.	Limolitas y arcillolitas muy ricas en materia orgánica. Localmente algo arenosas. Aspecto pizarroso. Color: N1, N2 y 5PB 3/2.	Laminación horizontal por alternancia de láminas oscuras (0.1—1 mm) de arcillolita rica en materia orgánica y láminas claras (0.2—2 mm) de limolita gruesa. Tabular. Potencia: 12—197 cm. Laminación cruzada de surco (E), costras ferruginosas (E), nódulos (E), y pirita (E).	Ostrácodos (E). Neomiodontidae indet. (E). Fragmentos de bivalvos (E). Bioturbación leve (E).
Facies Lm (10.5%): Lutitas masivas.	Limolitas y arcillolitas (localmente algo arenosas). Cemento carbonatado (E). Color: N1, N2 y 5PB 3/2.	Masivo. Tabular. Potencia: 20—600 cm. Laminación cruzada de surco (E), costras de Fe (A), moteado (A), nódulos (E), y estructuras de carga (E).	Ostrácodos (A). Fragmentos de moluscos (E). Bioturbación intensa (A).
Facies Lg (0.6%). Lutitas con grietas de retracción.	Arcillolita rica en materia orgánica. Color: N5 y N6.	Masivo con grietas de retracción. Tabular. Potencia: 30—34 cm.	Ostrácodos (A). Bioturbación (A).
Facies Mm (0.9%): Margas masivas.	Margas deleznales con delgadas hiladas ricas en materia orgánica y/o lignito Color: N1, N2, N5 y N6.	Masivo o con laminación horizontal. Tabular—lenticular. Potencia: 32—63 cm. Pirita botroidal (E), cantos negros de micrita (E), y fragmentos de rocas (E).	Ostrácodos (A): <i>Darwinula</i> sp. y <i>Cypridea</i> sp. Oogonios de carofitas (E). Bioturbación intensa (A).

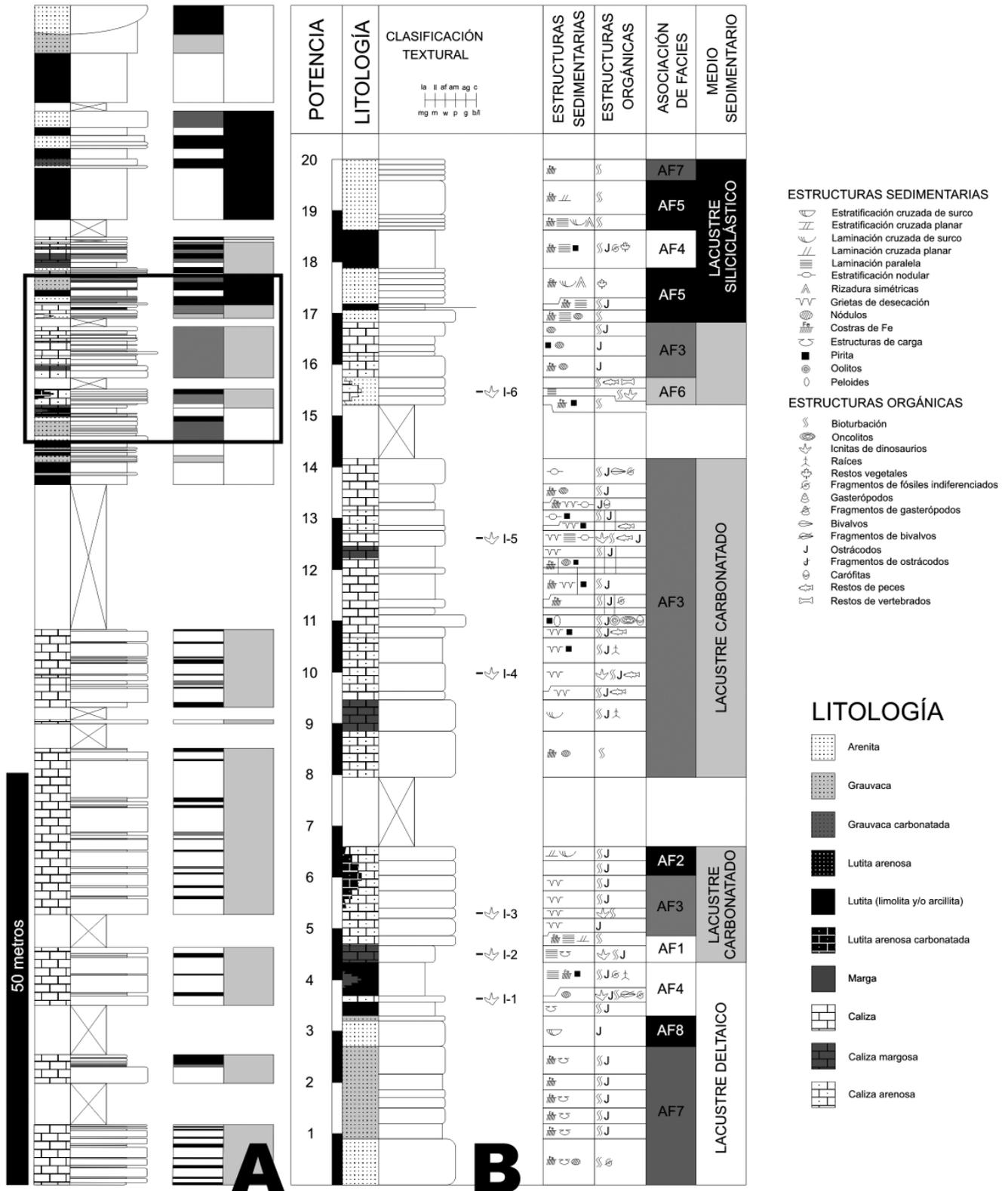
**Tabla 1.** Descripción de las principales litofacies que aparecen en el Grupo Enciso [(A) abundante y (E) escaso]. El código del color se basa en la tabla de Munsell.

**Table 1.** Description of the main lithofacies occurring in the Enciso Group [(A) abundant and (E) rare]. The colour code is based on the Munsell Chart.

Facies (Abundancia)	Litología	Estratificación y estructuras sedimentarias	Contenido paleontológico
Facies Ch (38.3%): Calizas con laminación horizontal.	Biomicrocritas (ocasionalmente algo margosas y/o arenosas) muy ricas en materia orgánica. Color: N1 y N2.	Laminación horizontal irregular por alternancia de láminas (0.5–2 mm) grano-soportada de biomicrocrita <i>packstone</i> de ostrácodos y láminas matriz-soportadas de biomicrocrita <i>mudstone–wackestone</i> de ostrácodos. Tabular. Potencia: 19–446 cm. Laminación cruzada de surco (E), costras de Fe (E) y estructuras de carga (E).	Ostrácodos (A). Escamas de peces (E). Restos óseos (E). Bioturbación leve (E). Icnitas de dinosaurios (E).
Facies Cm (10.5%): Calizas masivas.	Microcritas y biomicrocritas <i>mudstone–wackestone</i> . Localmente algo margosas. Carbono Orgánico Total: 2–11%. Color: N1 y N2.	Masivo. Tabular. Potencia: 5–60 cm. Estructuras fenestrales (E).	Ostrácodos (A). Trazas de raíces (E). Bioturbación intensa (A). Fragmentos fósiles (E).
Facies Cg (5.5%): Calizas con grietas de retracción.	Microcritas y biomicrocritas <i>mudstone–wackestone</i> . Localmente margosas y/o arenosas. Carbono Orgánico Total: 2–9%. Color: N1 y N2.	Masivo con grietas de retracción. Tabular o lenticular. Potencia: 9–55 cm. Pátinas de Fe (E), moteado por óxidos de hierro (E), nódulos (E), y pirita (E).	Ostrácodos (A): <i>Darwinula</i> sp. Fragmentos fósiles (E). Escamas de peces (A). Bioturbación intensa (A). Icnitas de dinosaurios (A).
Facies Cn (3.5%). Calizas nodulares.	Microcritas y biomicrocritas granulares (grumelar). Intramicrocritas <i>packstone</i> y <i>floatstone–rudstone</i> . Localmente arenosas y/o margosas. Color: N1 y N2.	Masivo. Tabular irregular. Potencia: 10–90 cm. Costras y moteado por óxidos de Fe (A), nódulos (A), laminación horizontal (E), grietas de retracción (E), estructuras fenestrales (A) y pirita (E).	Ostrácodos (A). Bioturbación intensa (A). Icnitas de dinosaurios (A). Escamas de peces (E). Fragmentos fósiles (E).
Facies Co (0.2%). Calizas con oncolitos.	Microcritas y biomicrocritas <i>floatstone–rudstone</i> . Color: N1 y N2.	Masivo. Tabular. Potencia: 24 cm. Oncolitos (A), oolitos (A), y pirita (A).	Ostrácodos (A). Bioturbación (A).
Facies CAm (0.4%). Calizas arenosas.	Microcritas y biomicrocritas <i>wackestone–packstone</i> . Color: N1 y N2.	Masivo. Tabular. Potencia: 42 cm. Costras de Fe (A), y pirita (A).	Ostrácodos (A).
Facies Qo (<0.1%). Lumaquelas de ostrácodos.	Biomicrocritas <i>packstone–grainstone</i> . Color: N1 y N2.	Masivo. Tabular. Potencia: 5 cm.	Ostrácodos (A). Bioturbación (A).
Facies Qm (<0.1%). Lumaquelas de moluscos.	Biomicrocritas <i>floatstone–rudstone</i> . Color: N1 y N2.	Masivo. Tabular. Potencia: 10 cm.	Bivalvos (A): Neomiodontidae. Ostrácodos (A). Bioturbación (A).

**Tabla 1.** Descripción de las principales litofacies que aparecen en el Grupo Enciso [(A) abundante y (E) escaso]. El código del color se basa en la tabla de Munsell.

**Table 1.** Description of the main lithofacies occurring in the Enciso Group [(A) abundant and (E) rare]. The colour code is based on the Munsell Chart.



**Figura 2. A) Columna estratigráfica del Grupo Enciso en el barranco de Sol de La Pita. B) Detalle de la columna anterior con indicación de los yacimientos icnológicos.**

**Figure 2. A) Stratigraphic section of the Enciso Group in the Sol de la Pita creek. B) Detailed section showing the track-bearing levels.**

## Asociaciones de facies

*Asociación de facies 1 (AF1≈38%)*. Esta asociación está compuesta exclusivamente por calizas oscuras organógenas, con laminación horizontal (Ch). Constituyen cuerpos tabulares de espesores comprendidos entre 20 y 446 cm, con una extensión lateral de centenares de metros. La ausencia de rasgos de exposición subaérea, la escasa o nula bioturbación (que permite la preservación de la laminación) y la riqueza en materia orgánica, indican una sedimentación subacuática en aguas de cierta profundidad y poco oxigenadas. La laminación está formada por acumulaciones de ostrácodos: la presencia de numerosos caparzones enteros y/o aplastados sugieren un transporte mínimo por corrientes tractivas poco competentes desde la zona litoral. Se asemejan en muchos aspectos a las acumulaciones originadas por el lavado de los finos en la zona sublitoral del lago Turkana (Cohen, 1987). Todas estas características indican una sedimentación en el dominio abierto—sublitoral de un lago carbonatado.

*Asociación de facies 2 (AF2≈10%)*. Está formada por el apilamiento vertical de estratos de calizas bioclásticas *mudstone—packstone*, masivas y oscuras (Cm). Se agrupan en cuerpos tabulares con potencias comprendidas entre 12 y 118 cm, de gran extensión lateral a escala del afloramiento. La ausencia de rasgos de exposición subaérea indica un ambiente de deposición subacuático permanente. La abundancia de fósiles límnicos sugiere zonas con una gran productividad, característica de la orla litoral. Esta asociación se interpreta como perteneciente al dominio intralitoral (Arp, 1995; Eugster and Kelts, 1983), donde se favorece la producción y deposición del carbonato en ausencia de aportes terrígenos significativos.

*Asociación de facies 3 (AF3≈11%)*. Está constituida por el apilamiento vertical de estratos de calizas organógenas nodulares (Cn) y/o con grietas de retracción (Cg) [SM: Cn↔Cg]. De manera subordinada, aunque significativa (S), aparecen niveles de calizas arenosas masivas [CAM→Cn], calizas con oncolitos [Cg→Co], y lumaquelas de ostrácodos [Cg→Qo→Cn]. En menor cuantía y sin significación, se intercalan escasos estratos de calizas bioclásticas masivas (Cm), calizas arenosas con rizaduras de oscilación (Ar), y lumaquelas de bivalvos (Qm). Esta asociación de facies se organiza en paquetes de geometría tabular (10—622 cm de potencia) con una continuidad lateral de varios centenares de metros. La presencia de nódulos (Cn) y grietas de retracción (Cg) indican periodos de emersión y el desarrollo de procesos pedogenéticos originados por la desecación del sedimento expuesto, de modo

permanente o periódico, a condiciones subaéreas debido a la caída del nivel de agua. Las calizas arenosas masivas (CAM) señalan la entrada de corrientes tractivas de poca competencia y carácter episódico, que aportan terrígenos gruesos al área lacustre, los cuales posteriormente pueden ser retrabajados por el oleaje (Ar). Las calizas bioclásticas masivas (Cm) muestran un elevado contenido en fósiles límnicos, así como un mayor desarrollo de microtexturas indicativas de pedogénesis tales como trazas de raíces, marmorización, grietas circumgranulares, estructuras fenestrales, etc. Las lumaquelas (Qo y Qm) se interpretan como niveles de acumulación selectiva de bioclastos por el viento y/o el oleaje durante una etapa de aguas bajas (Cohen, 1989; De Deckker, 1988; McGlue *et al.*, 2010). Esta asociación de facies se interpreta como depósitos palustres (lacustres emergidos) desarrollados en la orla eulitoral de lagos carbonatados. Representan estadios palustres poco evolucionados, indicando etapas subaéreas con poco tiempo de residencia (Alonso-Zarza and Wright, 2010).

*Asociación de facies 4 (AF4≈22%)*. Está dominada por potentes y monótonas sucesiones de lutitas negras organógenas con laminación horizontal (Lh) o masivas (Lm). En función de la facies más representativa se diferencian dos asociaciones típicas:

*AF4a*. Se organiza en paquetes métricos (74—627 cm) de arcillitas y limolitas finamente laminadas (Lh), con un contenido en ostrácodos bajo (< 3%). En ocasiones se observa cierta laminación cruzada de surco coexistiendo con la laminación horizontal. En una de las muestras aparecen bivalvos asignables a la familia Neomiodontidae, lo cual sugiere algunas etapas con aguas salobres, en el rango oligo a mesohalino (Mortner, 1984). De manera subordinada aparecen delgadas intercalaciones centimétricas de areniscas finas con evidencias de la acción del oleaje [SA: Lh→Ar y SM: Ar→Lh].

*AF4b*. Está conformada por sucesiones tabulares métricas (104—600 cm) de arcillitas y limolitas organógenas masivas (Lm). Ocasionalmente aparecen intercalados delgados niveles de areniscas finas—medias [SM: Lm→Ah<sub>2</sub> y Lm→Ar] y/o, muy raramente lutitas con grietas de desecación (S: Lg→Lm). Esta asociación de facies muestra un mayor contenido en ostrácodos y fragmentos fósiles que en AF4a, así como una bioturbación más generalizada y desarrollada.

Ambas asociaciones (AF4a y AF4b) tienen muchos elementos en común. Tanto el tamaño de grano fino del sedimento, como la escasez de estructuras sedimentarias de tracción, sugieren que han sido depositadas por decantación del material en suspensión en una masa de agua poco energética.

La escasez de estructuras de emersión, junto con la práctica inexistencia de estructuras de oleaje, indican una sedimentación por debajo del nivel de base del oleaje (sublitoral—abierto). La preservación de pirita sinsedimentaria y abundante materia orgánica sugieren condiciones anóxicas, aunque la presencia de tramos bioturbados y moteados apuntan a etapas con aguas más oxigenadas. Esta sedimentación se ve eventualmente alterada por la entrada de material arenoso. Estas delgadas intercalaciones de areniscas constituyen eventos de escasa entidad y carácter ocasional. Los techos y muros netos, planos—irregulares y no erosivos son indicativos de flujos no confinados. Las grauvacas laminadas ( $Ah_2$ ) se atribuyen a flujos turbidíticos (Leclair and Arnott, 2005) o alternativamente, a la decantación de plumas de sedimento puestos en suspensión durante las tormentas (Reineck and Singh, 1972). Las areniscas con rizaduras simétricas (Ar) ponen de manifiesto la acción ocasional del oleaje: en general, éste se restringe a la zona litoral, aunque durante las tormentas puede alcanzar el dominio sublitoral e incluso abierto. Ocasionalmente, debido al poco gradiente del lago, las caídas del nivel de agua más acusadas alcanzan la zona más profunda del lago (Lg). Asociaciones de facies similares a AF4a se depositan, normalmente, en el dominio abierto—sublitoral (Renaut and Tiercelin, 1994; Smith *et al.*, 1986), y la asociación AF4b se asemeja a los depósitos típicos del prodelta lacustre (Smith *et al.*, 1986; Tye and Coleman, 1989a, b).

*Asociación de facies 5 (AF5≈6%)*. Se organiza en cuerpos tabulares a cuneiformes, poco potentes (entre 64 y 169 cm), y con una continuidad lateral de decenas a centenares de metros. Está constituida por el apilamiento de estratos de areniscas finas a medias con evidencias de haber estado sometidas a la acción del oleaje. Así pues, consta de sucesiones dominadas por la facies Ar, que puede aparecer aislada o interestratificada con arenitas masivas ( $Am_1$ ) y/o laminadas ( $Ah_1$ ) [SA:  $Ar \rightarrow Am_1$  y SM:  $Am_1 \rightarrow Ah_1 \rightarrow Ar$ ]. De manera esporádica aparecen intercalados delgados niveles de lutitas con laminación horizontal [SA:  $Lh \rightarrow Ar$  y SM  $Ar \rightarrow Lh$ ]. La presencia de rizaduras de oscilación y/o laminación cruzada (Ar) indica una sedimentación en aguas someras bajo la acción del oleaje (zona intralitoral). En este contexto, la arenita  $Ah_1$  se interpreta como el resultado de un flujo oscilatorio en capas (*sheet flow*) (Clifton, 1976). La arenita masiva ( $Am_1$ ) se considera el producto final de la acción bioturbadora de los numerosos organismos que habitan en la zona litoral. La textura de las areniscas, dominadas por arenitas, evidencia un medio litoral con la suficiente energía como para eliminar los materiales finos rese-

dimentándolos en los sectores más profundos de la cubeta lacustre. Sin embargo, la aparición ocasional de delgadas intercalaciones de lutitas (Lh) apunta a períodos de menor energía del oleaje que permite la decantación del material fino resuspendido. Esta asociación de facies se interpreta como depósitos intralitorales en un lago con sedimentación siliciclástica.

*Asociación de facies 6 (AF6≈4%)*. Está constituida por el apilamiento de estratos tabulares cm—dm de areniscas finas a medias laminadas. Conforman cuerpos tabulares o ligeramente lenticulares—cuneiformes, de potencia generalmente métrica (54—230 cm) y gran continuidad lateral a escala del afloramiento (decamétrica—hectométrica). Puede exhibir muros ligeramente erosivos. Está dominada por areniscas con laminación horizontal ( $Ah_2$  o  $Ah_1$ ) con escasos niveles inter-estratificados de areniscas masivas [SA:  $Ah_2 \leftrightarrow Am_2$  y SM:  $Am_1 \rightarrow Ah_1$ ]. La arenita con laminación horizontal ( $Ah_1$ ) se deposita por corrientes energéticas bajo aguas poco profundas (Best and Bridge, 1992). La grauvaca con laminación horizontal ( $Ah_2$ ) es producida por corrientes unidireccionales con un régimen de flujo bajo (McBride *et al.*, 1975). Las areniscas masivas ( $Am_1$  y  $Am_2$ ) se depositan por decantación rápida de la carga en suspensión de corrientes fuertemente cargadas en sedimentos que sufren una desaceleración rápida (Arnott and Hand, 1989). La ausencia de superficies de acreción lateral y el amalgamamiento de estratos en la vertical, sugieren una sedimentación por varios eventos o avenidas. La ausencia de estructuras de tracción menos energéticas a techo indica flujos con una importante pérdida de competencia que no permiten, en última instancia, la formación de formas de lecho de baja velocidad (Tunbridge, 1981). Se interpretan como mantos de arroyada o barras de desembocadura en un delta lacustre (Pérez-Arlucea and Smith, 1999; Wells *et al.*, 1994).

*Asociación de facies 7 (AF7≈5%)*. Esta asociación se compone de apilamientos verticales de estratos de arenitas o grauvacas finas a medias de naturaleza masiva ( $Am_1$  y  $Am_2$ ). Constituyen paquetes de geometría tabular o levemente cuneiforme (60—270 cm de potencia) con extensiones laterales de decenas a centenares de metros. Están limitados en su base por superficies irregulares con abundantes estructuras de carga, sugiriendo un alto grado de aportes y de agradación. En algunos casos, la apariencia masiva se vincula a la acción bioturbadora de los organismos. Si no se puede atribuir a la bioturbación, se interpreta como una decantación en masa provocada por una fuerte desaceleración en una corriente cargada de sedimentos al alcanzar una masa de agua o al expandirse sobre un área extensa (Arnott and Hand, 1989). Todas estas características sugieren que se trata de

barras de desembocadura en sectores donde se produce la entrada de material detrítico (Pérez-Arlucea and Smith, 1999; Wells *et al.*, 1994).

**Asociación de facies 8 (AF8~4%).** Está compuesta por *sets* centimétricos de areniscas de grano fino—medio que se agrupan en *cosets* que forman mesoformas acanaladas con potencias comprendidas entre 60 y 350 cm. Su extensión lateral es limitada (10—30 m), mostrando una geometría tipo acintada (*ribbon*) (Gibling, 2006). Se dispone en cuerpos de morfología plano—cóncava, con un techo más o menos plano de contacto gradual o neto con el suprayacente, y un muro cóncavo neto marcadamente erosivo. No se observa conexión con otros cuerpos canalizados. El relleno del canal está constituido exclusivamente por areniscas con estratificación cruzada de gran escala, de tal forma que o bien predomina la de surco o planar. Estas facies indican unos canales poco profundos, con carga de fondo arenosa en los cuales las dunas eran las formas de lecho predominantes, dunas de crestas rectas (Ap) y/o de cresta sinuosa (As). La ausencia de superficies de acreción lateral caracteriza canales relativamente estables que han sido rellenados verticalmente más que lateralmente (Haszeldine, 1984). La falta de superficies erosivas internas de importancia apunta a canales monoepisódicos (Friend *et al.*, 1979). En algunos canales se observa una disminución en el espesor de los *sets* hacia techo, registrando una progresiva somerización del canal debido a la colmatación por agradación (Cant and Walker, 1978). En los canales con predominio de la litofacies Ap pueden aparecer, de manera subordinada, niveles poco potentes de lutitas con laminación horizontal [SA: Ap→Lh<sub>1</sub> y SM: Lh<sub>1</sub>→Ap]. Estas lutitas registran fases de escasa competencia del río, favoreciendo su deposición por decantación. Así pues, aunque lo habitual eran unos paleocauces con un flujo relativamente estable, permitiendo la migración de dunas en el fondo del canal, existían etapas en las cuales la corriente era muy fluctuante en su competencia. Se interpretan como canales distributarios en aparatos deltaicos lacustres asociados a sistemas fluviales avulsivos (Kraus and Wells, 1999; Pérez-Arlucea and Smith, 1999; Slingerland and Smith, 2004).

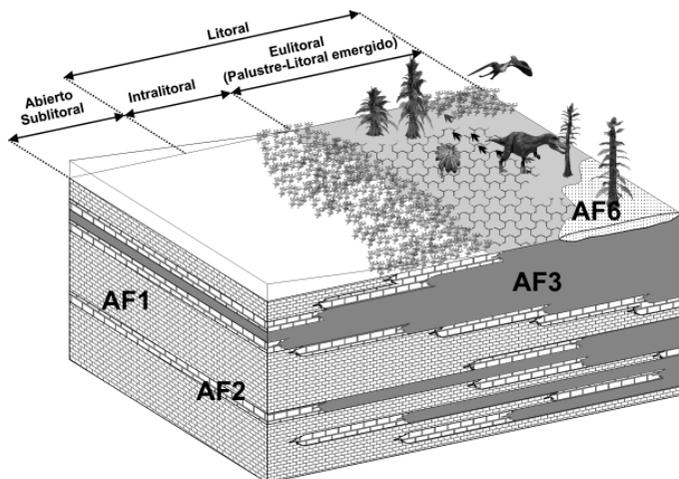
## Medios sedimentarios

Finalmente, el análisis de las asociaciones de facies y su distribución vertical permite reconocer tres medios lacustres principales:

**Lacustre carbonatado somero** (Fig. 3). Es el medio sedimentario más abundante y muestra un importante desarrollo. Comprende aproximadamente

el 59% de la serie, siendo predominante en la mitad inferior de la columna levantada. Asimismo, es el medio donde aparecen la mayoría de los yacimientos icnológicos. Está definido, básicamente, por una repetición cíclica de las asociaciones de facies AF1 y AF2 [SA: AF1↔AF2] y, de manera subordinada, AF3. Se interpreta como un medio lacustre carbonatado, con una mínima influencia terrígena, donde alternan etapas de expansión y retracción de la masa de agua, definidas por las asociaciones representativas del dominio abierto—sublitoral (AF1) e intralitoral (AF2). La asociación de facies AF3 es representativa del dominio eulitoral (litoral emergido o palustre). De manera ocasional, no significativa, la entrada de mantos de arroyada o avenidas de material arenoso (AF6) alcanza la zona litoral del lago. El apilamiento vertical de extensas capas tabulares de calizas sugiere un margen con poco gradiente topográfico. La preponderancia de texturas *mudstone*—*wackestone*, así como la casi total ausencia de estructuras de tracción, indican una sedimentación en un medio poco energético. La ostracofauna encontrada está dominada por los géneros *Darwinula* y *Cypridea*, los cuales se consideran formas típicas de aguas dulceacuícolas a oligohalinas. Además, *Cypridea* se considera un indicador de cierta temporalidad de la masa de agua debido a su capacidad para producir huevos resistentes a la desecación (Horne, 2002; Wilkinson, 2008). Todas estas características son típicas de medios lacustres carbonatados tipo rampa de baja energía (Platt and Wright, 1991; Tucker and Wright, 1990). Estos lagos son muy dinámicos, reaccionando rápidamente frente a mínimas variaciones de cualquier factor que modifique su régimen hidrológico.

**Lacustre siliciclástico somero.** Este medio muestra una sucesión cíclica de las asociaciones de facies AF4a y AF5 [SM: AF4a↔AF5]. Representa un sistema lacustre somero siliciclástico con una alternancia muy repetitiva entre el dominio abierto—sublitoral (AF4a) e intralitoral (AF5). Al igual que en el medio lacustre anterior, este dinamismo se manifiesta en marcadas oscilaciones del nivel de la lámina de agua (patrón de vaciado—llenado), permitiendo cambios bruscos entre ambientes abiertos y litorales, lo cual explicaría la ausencia de secuencialidad observada. La distribución espacial de los siliciclásticos está influenciada por la batimetría, y muestran una gradación hacia depósitos cada vez más finos desde las zonas marginales hacia el centro de la cubeta. Este fenómeno es un simple reflejo de la atenuación de la energía del oleaje, de la influencia de los ríos y de la resuspensión. El dominio intralitoral está constituido por los siliciclásticos más gruesos, en este caso, areniscas finas—medias con evidencias de la acción del oleaje (AF5).



**Figura 3.** Modelo deposicional del sistema lacustre carbonatado somero, tipo rampa de baja energía.  
**Figure 3.** Depositional model for the low-energy ramp carbonate lake.

El dominio abierto—sublitoral se caracteriza por las lutitas organógenas (AF4a) que ocasionalmente se ve afectado por el oleaje durante las tormentas (intercalaciones arenosas Ar). Se interpretan como ciclos de expansión—retracción de sistemas lacustres someros de naturaleza siliciclástica.

**Deltaico siliciclástico lacustre.** Este medio sedimentario es el único que muestra un marcado carácter secuencial en las asociaciones de facies involucradas, así como una tendencia granocreciente [SM: (AF4b→(AF6 o AF7)→AF8)]. Se caracteriza por un incremento en la energía del medio (aumento del tamaño de grano y de la proporción arena hacia techo) y un cambio en el mecanismo de sedimentación (decantación a tractivo). Se diferencian tres subambientes deltaicos que constituyen secuencias granocrecientes hacia techo, resultantes de una progresiva transición hacia condiciones más someras y energéticas. Los depósitos del prodelta (asociación de facies AF4b) constituyen el término inferior, exhibiendo las granulometrías más finas del complejo deltaico. Se caracteriza por ser un subambiente subacuático (aunque en ocasiones puede sufrir raras etapas de emersión) y poco energético (por debajo del nivel de base de las olas), cuya sedimentación se produce por decantación de los siliciclásticos más finos que son transportados como carga en suspensión hasta el lago. Los depósitos de barra de desembocadura constituyen un ambiente de transición, más energético que el prodelta. La sedimentación se caracteriza por un tamaño de grano arena depositada por fenómenos tractivos. Existen dos tipos de barras de desembocadura: barras AF6 y

barras masivas AF7, ambas excluyentes entre sí. La amplia extensión lateral y su tendencia a coalescer lateralmente sugiere deltas que progradan sobre lagos de pendientes suaves, someros y poco energéticos que favorecen la formación de barras extensas muy semejantes a las que se producen en los *sheet deltas* (Flint *et al.*, 1989; Smoot, 1991). Finalmente, a techo aparece el canal distributivo AF8, que puede presentar elementos lutíticos [S: AF8→AF4a/b] reflejo de la etapa de abandono del canal.

### Descripción: icnitas de dinosaurios

Aunque existen impresiones y estructuras de carga muy difusas en diversos niveles estratigráficos del yacimiento Sol de la Pita 1, se han seleccionado únicamente aquellos niveles cuyas icnitas proporcionan una información morfológica plenamente consistente (Fig. 2A).

**Nivel I-1:** Está constituido por un estrato (facies Cn) donde se pueden observar diversas impresiones difusamente marcadas en el sedimento así como una icnita aislada de gran talla. Esta icnita, denominada SPL1/1, es claramente tridáctila y lo que se observa de ella es precisamente el sedimento de relleno (contramolde) que cubrió la impresión original. Este contramolde se ha preservado relativamente bien y sobresale claramente por encima del sedimento donde se formó la icnita real. SPL1/1 presenta una longitud de 65 cm y una anchura de 57 cm. El molde natural está fragmentado en las zonas distales de los dedos izquierdo y derecho (Fig. 4) aunque estas fracturas no afectan significativamente a la morfología de los mismos. Los dedos son robustos y con una terminación distal redondeada. El dedo derecho presenta un menor grado de desarrollo, aunque esto parece ser más bien producto de factores de locomoción y/o preservación. La icnita presenta una amplia superficie plantar con un talón distalmente redondeado, así como dos escotaduras no muy marcadas a ambos lados, menos visible la correspondiente al lado derecho debido a la irregularidad con que aquí se ha conservado el molde. El dedo III (central) está mucho más desarrollado que los laterales evidenciando una clara condición mesaxónica.

**Niveles I-2 y I-3:** El nivel I-2 (facies Ch) contiene únicamente una icnita muy mal preservada y extremadamente erosionada cuya morfología sugiere que ha sido producida por un dinosaurio ornitópodo. Por el contrario, el nivel I-3 (facies Cg) contiene una única icnita de terópodo, igualmente muy mal conservada, que está situada a techo de un estrato muy cuarteado y fragmentado. Debido a su pobre estado de preservación, hemos prescindido de figurarlas en el presente trabajo.



**A**



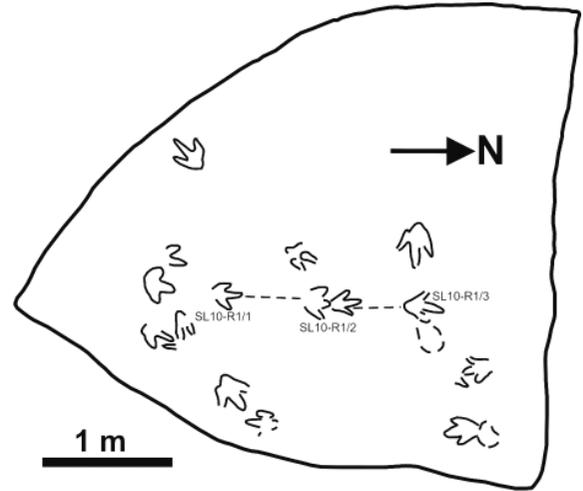
**B**

**Figura 4.** Dibujo esquemático y fotografía de la icnita SPL-1/1, del nivel I-1 del yacimiento de Sol de la Pita (Préjano, La Rioja). La longitud total del ejemplar es de 65 cm lo que sugiere la presencia de un dinosaurio iguanodóntido de gran talla, con una altura de la extremidad superior a los 2.5 m.

**Figure 4.** Schematic drawing and photograph of footprint SPL-1/1, level I-1 from the Sol de la Pita tracksite (Préjano, La Rioja). The total length is 65 cm suggesting the presence of a large iguanodontid, with a hip height of more than 2.5 m.

**Nivel I-4:** Este nivel (facies Cg) contiene algunas icnitas aisladas muy someras cuya morfología general sugiere que han sido producidas por dinosaurios ornitópodos de talla media. Aunque la preservación es muy mediocre, se observa nítidamente la forma de los dedos, que son cortos, muy anchos y muy redondeados distalmente así como también la superficie plantar, muy amplia y que dibuja proximalmente un contorno abierto y redondeado.

**Nivel I-5:** Las icnitas de este nivel (facies Cn) pueden observarse en la figura 5. Se trata de una serie de huellas de talla media, la mayoría aisladas, aunque tres de ellas se encuentran formando un pequeño rastro que ha sido denominado SPL5-R1. Este rastro presenta un sentido de progresión muy cercano a los 0° N y, aunque las huellas no estén muy bien preservadas, se aprecian claramente las marcas de los dedos, largos y delgados con la terminación distal acuminada. La icnita n° 2 de este rastro (SLP5-R1/2) presenta el dedo III roto debido a que se superpone con una de las icnitas aisladas. Los pasos medidos entre las tres icnitas presentan valores de 70 y 80 cm según el sentido de progresión. Las icnitas están muy alineadas entre sí y su rotación parece ligeramente interna, es decir, hacia el interior de la línea media de la pista. Otras icnitas aisladas de este mismo nivel han permitido observar la presencia de una fuerte escotadura medial, lo que confiere a la zona



**Figura 5.** Cartografía de detalle de las icnitas de dinosaurios del nivel I-5 (Sol de la Pita, Préjano). Se trata de icnitas de pequeña talla producidas por dinosaurios terópodos. Destaca la presencia de un rastro (SPL1-R1) formado por tres icnitas.

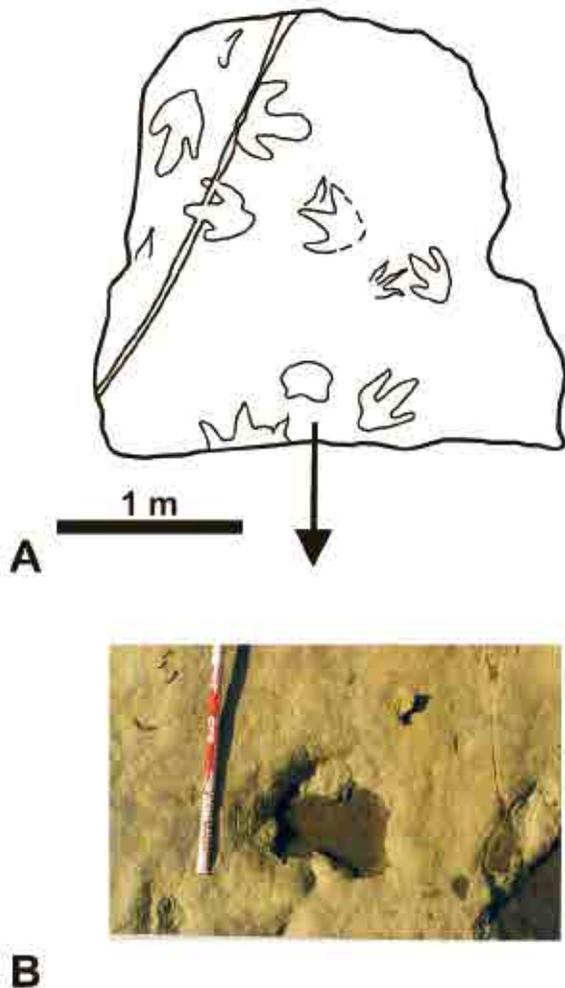
**Figure 5.** Map of the dinosaur tracks from level I-5 (Sol de la Pita, Préjano). The impressions are relatively small theropod footprints. The presence of one trackway (SPL1-R1) formed by three tracks is noticeable.

icnológica proximal de estas huellas un aspecto netamente asimétrico.

**Nivel I-6:** Este nivel (facies Ah<sub>1</sub>) presenta una extensión de unos 3 m<sup>2</sup> (Fig. 6A). A pesar de ello, su material es muy interesante ya que ha proporcionado una serie de icnitas tridáctilas de relativa gran talla, en ocasiones bastante bien preservadas, así como una huella aislada de pequeño tamaño que es atribuida a la mano de un dinosaurio saurópodo (Fig. 6B).

Las icnitas tridáctilas se encuentran todas aisladas, es decir, sin formar parte de ningún rastro. Son relativamente variables en tamaño (de 28 a 56 cm de longitud) y presentan dedos muy largos, robustos y de terminación distal acuminada. En aquellos casos donde hay una buena preservación, el dedo III (central) presenta forma de V. El talón es asimétrico y en ocasiones prolongado proximalmente, dando lugar también a una superficie plantar estrecha. No se observan estructuras internas tales como almohadillas u otras marcas. Todos estos caracteres sugieren que las pisadas fósiles de este nivel han sido producidas por dinosaurios terópodos y, en principio, pueden ser incluidas dentro del icnogénero *Megalosauripus* (Lockley *et al.*, 1996; Lockley *et al.*, 2000) que engloba las típicas icnitas de media-gran talla del Cretácico Inferior europeo (Fig 6A).

Lo más significativo del afloramiento es, sin duda, la presencia de la impresión aislada de una mano de



**Figura 6.** Cartografía de detalle del nivel I-6 del yacimiento de Sol de la Pita (Préjano, La Rioja). Entre diversas icnitas aisladas de terópodos, destaca la presencia de una impresión (SPL1-6/S1) producida por la mano de un dinosaurio saurópodo del clado Titanosauriformes (véase también la figura 7).

**Figure 6.** Map of level I-6 of the Sol de la Pita tracksite (Préjano, La Rioja). The presence of an isolated sauropod manus print (SPL1-6/S1), produced by a sauropod dinosaur belonging to the clade Titanosauriformes I, is noticeable (see also Figure 7) among some theropod tracks.

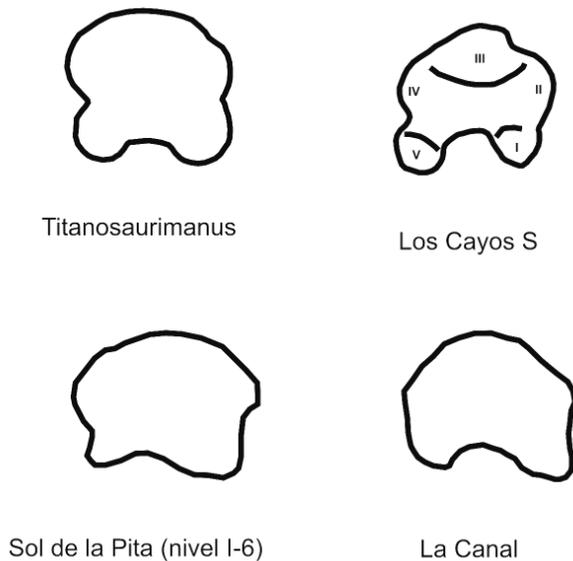
dinosaurio saurópodo. Esta huella es pequeña, con una longitud de 20 cm y una anchura de 23 cm. La icnita es anteriormente convexa y posteriormente cóncava (Fig. 6), más ancha que larga, con una superficie interior relativamente amplia y sin estructuras internas apreciables. En los bordes de ambos lados se pueden apreciar dos ligeras escotaduras, algo más marcada la del borde izquierdo, que terminan posteriormente en un par de impresiones de dedos (I y V), anchos, cortos y con un desarrollo parecido entre sí. Tanto la forma general de la icnita, como el escaso desarrollo de los dedos posteriores, de un tamaño relati-

vo similar, así como la baja relación longitud/anchura sugieren que esta impresión fósil ha sido producida por la mano de un saurópodo muy derivado, es decir, por un miembro del clado Titanosauriformes o incluso por un saurópodo del taxón Titanosauria. Lamentablemente, la escasa extensión del afloramiento no permite observar otras marcas que haya podido realizar el mismo animal, por lo que no disponemos de información complementaria de cómo es el rastro ni de cómo son las icnitas de los pies, lo que permitiría una aproximación más consistente.

### Discusión paleoicnológica

Los diversos afloramientos con icnitas de dinosaurios del yacimiento de Sol de la Pita 1 representan una muestra característica de la icnocenosis de la cuenca de Cameros y, más concretamente, de la típica del Grupo Enciso. Las icnitas de estos afloramientos son muy semejantes a las ya conocidas de otros yacimientos de la provincia de La Rioja (Casanovas Cladellas *et al.*, 1994; Casanovas Cladellas *et al.*, 1993; Moratalla *et al.*, 2003; Moratalla and Sanz, 1997; Moratalla *et al.*, 2004; Pérez-Lorente, 2002; 2003; y referencias contenidas en estos trabajos).

La icnita SPL1/1 constituye un espectacular contra molde, bien preservado, cuyos caracteres morfológicos sugieren sin duda que ha sido producida por un dinosaurio ornitópodo de gran talla. Icnitas semejantes a ésta han sido halladas en diversos yacimientos de la cuenca de Cameros: La Magdalena (Moratalla *et al.*, 1988), Navalsaz (Casanovas Cladellas and Santafé Llopis, 1974), Era del Peladillo (Casanovas Cladellas *et al.*, 1994), Cabezón de Cameros (Moratalla *et al.*, 1992b), La Regadera (Moratalla *et al.*, 1993; Moratalla *et al.*, 1992a), Umbría del Portillo (Viera *et al.*, 1984), Valdecevillo (Casanovas Cladellas and Santafé Llopis, 1974). Todas estas icnitas han sido identificadas como Ornithopoda y, dentro de este clado, con miembros de la familia Iguanodontidae aunque, de hecho, la familia Iguanodontidae sea considerada como un grupo parafilético (Norman, 2004; Paul, 2007), por lo que esta identificación supone solamente una postura aproximativa. La ausencia de más ejemplares, así como el hecho de que se trata de un contra molde, obliga a mantener una actitud prudente aunque se podría mantener dentro del rango del icnogénero *Iguanodontipus* (Sarjeant *et al.*, 1998). La mayor resistencia del relleno a los agentes erosivos ha debido ser responsable de la preservación de este contra molde natural, así como de otros relativamente semejantes que se pueden observar en otros yacimientos de la cuenca de Cameros: Tenadas de Costalomo (Moratalla,



**Figura 7.** Las huellas de las manos de los dinosaurios saurópodos son muy significativas ya que permiten una identificación bastante consistente de su autor. Estas impresiones están caracterizadas por la presencia de un borde anterior amplio y convexo, un dedo I relativamente reducido y redondeado distalmente (con unas dimensiones relativamente semejantes al dedo V aunque este parece ligeramente más ancho), una zona amplia del dedo III y un arco I-V relativamente cerrado (formando un ángulo en torno a los 270° o incluso superior). Estos caracteres evidencian la presencia de un autópodo anterior – probablemente producido por la mano derecha- muy derivado dentro de Sauropoda, característico del clado Titanosauria o al menos del clado Titanosauriformes. Su presencia en diversos afloramientos del Grupo Enciso de la Cuenca de Cameros sugiere que estos saurópodos fueron relativamente abundantes en estos ecosistemas del Cretácico Inferior. A, *Titanosaurimanus* (Cretácico Inferior de Italia) (Dalla Vecchia *et al.*, 2000); B, Los Cayos S (Cornago, La Rioja) (Moratalla and Hernán, 2008); C, La Canal (Munilla, La Rioja) (Moratalla, 2009); D, Sol de la Pita (nivel I-6). Aunque las dimensiones son muy semejantes, los esquemas no están a escala sino que su tamaño se ha igualado para facilitar la comparación.

**Figure 7.** The sauropod manus tracks are very important because they allow us to identify the trackmaker group with some consistency. These tracks are characterized by a convex anterior margin, a reduced and distally rounded digit I (with a size relatively similar to that of the digit V), a broad digit III area, and a I-V relatively narrow arch (with an I-V of about 270° or more). These features suggest the presence of a manus print (probable the right one) belonging to a derived sauropod of the clade Titanosauria or, at least, belonging to the group Titanosauriformes. The presence of this type of track in several Cameros basin sites suggests that these sauropods were relatively abundant in these Lower Cretaceous lacustrine ecosystems. A, *Titanosaurimanus* (Lower Cretaceous of Italy) (Dalla Vecchia *et al.*, 2000); B, Los Cayos S (Cornago, La Rioja) (Moratalla and Hernán, 2008); C, La Canal (Munilla, La Rioja) (Moratalla, 2009); D, Sol de la Pita (nivel I-6). Despite the tracks being relatively similar in size, in order to facilitate their comparison the drawings are not exactly the same scale.

1993; Platt and Meyer, 1991; Torcida Fernández-Baldor *et al.*, 2006) y La Regadera (Moratalla, 1993).

La mayoría de las icnitas de los niveles I-3 y I-6, son muy semejantes entre sí. Son huellas tridáctilas, con

dedos largos y esbeltos, y de terminación distal acuminada. La superficie plantar es muy reducida y, en el borde medial, se observa la presencia de una fuerte escotadura que da lugar a un área proximal asimétrica. Estos caracteres, sin duda, permiten identificar estas improntas con el clado Theropoda y también con el icnogénero *Megalosauripus* (Lockley *et al.*, 1996; Lockley *et al.*, 2000) que es un clado que engloba las típicas icnitas de terópodos de media-gran talla del Jurásico Superior y del Cretácico Inferior.

Respecto a la icnita de saurópodo del nivel I-6 (SPL1-6/S1) (Fig. 5), su hallazgo es muy interesante ya que pone en evidencia, una vez más, la presencia de saurópodos muy derivados en el Grupo Enciso de la cuenca de Cameros (Aptiense inferior). Esta conclusión se deriva también del hallazgo de icnitas muy semejantes a ésta en otros yacimientos muy cercanos y de una edad semejante como son Los Cayos S y La Canal (Moratalla, 2009) (Fig. 7). La huella SPL1-6/S1 se caracteriza por la presencia de una amplia superficie anterior (área del dedo III), el similar desarrollo de los dedos I y V, el ángulo I-V en torno a los 270°, la forma redondeada del dedo I, la pronunciada concavidad posterior así como la alta relación longitud/anchura. Estos caracteres indican claramente que la huella puede ser atribuida a un saurópodo del clado Titanosauriformes o incluso a un Titanosaurio. Lamentablemente, la ausencia de más impresiones no permite observar caracteres típicos del rastro -muy determinantes para la clasificación de este tipo de icnitas- ni la observación de las icnitas de los pies. En cualquier caso, los caracteres de la mano descritos anteriormente permitirían su identificación dentro del icnogénero *Titanosaurimanus* (Dalla Vecchia *et al.*, 2000; Dalla Vecchia *et al.*, 2001).

A pesar del modesto tamaño y del estado de preservación del yacimiento de Sol de la Pita 1, los diferentes niveles paleoicnológicos muestran una icno-diversidad relativamente alta, con icnitas representando a tres de los grandes grupos de dinosaurios: terópodos, ornitópodos y saurópodos. Este registro añade un dato más a la ya bien conocida icnocenosis de la cuenca de Cameros.

## Conclusiones

El análisis de facies, en la serie de Sol de la Pita, pone de manifiesto un predominio de los medios lacustres, tanto carbonatados como siliciclásticos. Destacan sobre todo los depósitos asignables a un sistema lacustre carbonatado somero, tipo rampa de baja energía. La alternancia de etapas de expansión y retracción debidas a las fluctuaciones de la lámina de agua

permitió la emersión de extensas áreas litorales, y facilitó el tránsito de grandes vertebrados como los dinosaurios, algunas de cuyas pisadas se preservaron y dieron lugar a los yacimientos paleoicnológicos estudiados aquí. A pesar de su modesto registro, los diferentes niveles estratigráficos de Sol de la Pita 1 han proporcionado icnitas de dinosaurios terópodos y ornitópodos cuyas características son muy semejantes al registro de otros yacimientos de la cuenca de Cameros. La presencia de una icnita aislada de la mano de un saurópodo sugiere la presencia de un titanosaurio (o al menos de un titanosauriforme) en estos ecosistemas lacustres.

## Agradecimientos

Este trabajo forma parte del proyecto CGL2009-11838 del Ministerio de Economía y Competitividad, cuyo objetivo es el estudio de los ecosistemas continentales del Cretácico de la Península Ibérica. Quisiéramos expresar nuestra más sincera gratitud a D. Santiago Jiménez García (Director del Museo de Ciencias de Arnedo, La Rioja) por su constante apoyo y ayuda en los trabajos de campo. A lo largo de diversas campañas de estudio, siempre tuvimos la inestimable ayuda de numerosos voluntarios sin cuya colaboración este trabajo no habría sido posible. Gracias también al Dr. José Carlos García Ramos y a un revisor anónimo por las interesantes sugerencias realizadas gracias a las cuales el trabajo ha mejorado notablemente.

## Referencias

- Alonso-Zarza, A.M. and Wright, V.P. 2010. Palustrine carbonates. In: Alonso-Zarza, A.M. and Tanner, L.H. (eds.), *Carbonates in Continental Settings: Facies, Environments, and Processes*. Elsevier, Amsterdam, 103-131.
- Arnott, R.W.C. and Hand, B.M. 1989. Bedforms, primary structures and grain fabric in the presence of suspended sediment rain. *Journal of Sedimentary Petrology*, 59 (6), 1062-1069.
- Arp, G. 1995. Lacustrine bioherms, spring mounds, and marginal carbonates of the Ries-impact-crater (Miocene, Southern Germany). *Facies*, 33 (1), 35-89.
- Best, J. and Bridge, J. 1992. The morphology and dynamics of low amplitude bedwaves upon upper stage plane beds and the preservation of planar laminae. *Sedimentology*, 39 (5), 737-752.
- Cant, D.J. and Walker, R.G. 1978. Fluvial processes and facies sequences in the sandy braided South Saskatchewan River, Canada. *Sedimentology*, 25 (5), 625-648.
- Casanovas Cladellas, M.L., Ezquerro Miguel, R., Fernández Ortega, A., Pérez-Lorente, F., Santafé Llopis, J.V. and Torcida Fernández, F. 1993. Tracks of a herd of webbed ornithopods and other footprint found in the same site (Igea, La Rioja. Spain). *Revue de Paléobiologie*, Volume Spécial 7, 29-36.
- Casanovas Cladellas, M.L., Ezquerro Miguel, R., Fernández Ortega, A., Pérez-Lorente, F., Santafé Llopis, J.V. and Torcida Fernández, F. 1994. Icnitas de dinosaurios. Yacimientos de Navalsaz, Las Mortajeras, Peñaportillo, Malvaciervo y la Era del Peladillo 2 (La Rioja, España). *Zubia Monográfico*, 5, 9-133.
- Casanovas Cladellas, M.L. and Santafé Llopis, J.V. 1974. Dos nuevos yacimientos de icnitas de dinosaurios. *Acta Geologica Hispanica*, 9 (3), 88-91.
- Clifton, H.E. 1976. Wave-formed sedimentary structures—A conceptual model. In: Davis Jr., R.A. and Ethington, R.L. (eds.), *Beach and Nearshore Sedimentation*. SEPM (Society for Sedimentary Geology), Tulsa, 126-148.
- Cohen, A.S. 1987. Fossil ostracodes from Lake Mobutu (Lake Albert): palaeoecologic and taphonomic implications. In: Coetzee, J.A. and Van Zinderen, E.M. (eds.), *Palaeoecology of Africa and the Surrounding Islands*. A. A. Balkema, Rotterdam, 271-281.
- Cohen, A.S. 1989. The taphonomy of gastropod shell accumulations in large lakes: an example from Lake Tanganyika, Africa. *Paleobiology*, 15 (1), 26-45.
- Cohen, A.S., Halfpenny, J., Lockley, M. and Michel, E. 1993. Modern vertebrate tracks from Lake Manyara, Tanzania and their paleobiological implications. *Paleobiology*, 19 (4), 433-458.
- Cohen, A.S., Lockley, M., Halfpenny, J. and Michel, A.E. 1991. Modern vertebrate track taphonomy at Lake Manyara, Tanzania. *Palaios*, 6 (4), 371-389.
- Dalla Vecchia, F.M., Tarlao, A., Tunis, G. and Venturini, S. 2000. New dinosaur track sites in the Albian (Early Cretaceous) of the Istrian Peninsula (Croatia). *Memorie di Scienze Geologiche*, 52 (2), 193-292.
- Dalla Vecchia, F.M., Tunis, G., Venturini, S. and Tarlao, A. 2001. Dinosaur track sites in the upper Cenomanian (Late Cretaceous) of Istrian Peninsula (Croatia). *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, 40 (1), 25-53.
- De Deckker, P. 1988. Biological and sedimentary facies of Australian salt lakes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 62 (1-4), 237-270.
- Eugster, H.P. and Kelts, K. 1983. Lacustrine chemical sediments. In: Pye, K. and Goudie, A.S. (eds.), *Chemical Sediments and Geomorphology: Precipitates and Residua in the Near-Surface Environment*. Academic Press, London, 321-368.
- Flint, S., Stewart, D.J. and van Riessen, E.D. 1989. Reservoir geology of the Sirikit oilfield, Thailand: lacustrine deltaic sedimentation in a Tertiary intermontane basin. In: Whately, M.K.G. and Pickering, K.T. (eds.), *Deltas: Sites and Traps for Fossil Fuels*, 223-235.
- Friend, P.F., Slater, M.J. and Williams, R.C. 1979. Vertical and lateral building of river sandstone bodies, Ebro Basin, Spain. *Journal of the Geological Society, London*, 136 (1), 39-46.
- Gibling, M.R. 2006. Width and thickness of fluvial channel bodies and valley fills in the geological record: a literature compilation and classification. *Journal of Sedimentary Research*, 76 (5), 731-770.

- Harper Jr., C.W. 1984. Improved methods of facies sequence analysis. In: Walker, R.G. and James, N.P. (eds.), *Facies Models: Response to Sea Level Change*. Geological Association of Canada, 11-13.
- Haszeldine, R.S. 1984. Muddy deltas in freshwater lakes, and tectonism in the Upper Carboniferous Coalfield of NE England. *Sedimentology*, 31 (6), 811-822.
- Horne, D.J. 2002. Ostracod biostratigraphy and palaeoecology of the Purbeck Limestone Group in southern England. In: Milner, A.R. and Batten, D.J. (eds.), *Life and Environments in Purbeck Times*. Palaeontological Association, London, 53-70.
- Kraus, M.J. and Wells, T.M. 1999. Recognizing avulsion deposits in the ancient stratigraphical record. In: Smith, N.D. and Rogers, J. (eds.), *Fluvial Sedimentology VI*. Blackwell Science, 251-268.
- Leclair, S.F. and Arnott, R.W.C. 2005. Parallel lamination formed by high-density turbidity currents. *Journal of Sedimentary Research*, 75 (1), 1-5.
- Lockley, M.G., Meyer, C.A. and Santos, V. 1996. *Megalosauropus*, *Megalosauropus* and the concept of megalosaur footprints. *Museum of Northern Arizona Bulletin*, 60, 113-118.
- Lockley, M.G., Meyer, C.A. and Santos, V.F. 2000. *Megalosauropus* and the problematic concept of megalosaur footprints. *Gaia*, 15, 313-337.
- Mas, R., Benito, M.I., Arribas, J., Serrano, A., Guimerà, J., Alonso, Á. and Alonso-Azcárate, J. 2002. La Cuenca de Cameros: desde la extensión finijurásica-eocretácica a la inversión Terciaria - Implicaciones en la exploración de hidrocarburos. *Zubía Monográfico*, 14, 9-64.
- McBride, E.F., Shepherd, R.G. and Crawley, R.A. 1975. Origin of parallel, near-horizontal laminae by migration of bed forms in a small flume. *Journal of Sedimentary Petrology*, 45 (1), 132-139.
- McGlue, M.M., Soreghan, M.J., Michel, E., Todd, J.A., Cohen, A.S., Mischler, J., O'Connell, C.S., Castañeda, O.S., Hartwell, R.J., Lezzar, K.E. and Nkotagu, H.H. 2010. Environmental controls on shell-rich facies in tropical lacustrine rifts: a view from Lake Tanganyika's littoral. *Palaeos*, 25 (7), 426-438.
- Moratalla, J.J. 1993. *Restos indirectos de dinosaurios del registro español: Paleoicnología de la Cuenca de Cameros (Jurásico superior-Cretácico inferior) y Paleología del Cretácico superior*. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Madrid., Madrid, 728 págs.
- Moratalla, J.J. 2009. Sauropod tracks of the Cameros Basin (Spain): Identification, trackway patterns and changes over the Jurassic-Cretaceous. *Geobios*, 42 (6), 797-811.
- Moratalla, J.J., García-Mondéjar, J., Santos, V.F., Lockley, M.G., Sanz, J.L. and Jiménez, S. 1994. Sauropod trackways from the Lower Cretaceous of Spain. *Gaia*, 10, 75-83.
- Moratalla, J.J. and Hernán, J. 2009. Turtle and pterosaur tracks from the Los Cayos dinosaur tracksite, Cameros Basin (Cornago, La Rioja, Spain): tracking the Lower Cretaceous bio-diversity. *Revista Española de Paleontología*, 24 (1), 59-77.
- Moratalla, J.J. and Hernán, J. 2010. Probable palaeogeographic influences of the Lower Cretaceous Iberian rifting phase in the Eastern Cameros Basin (Spain) on dinosaur trackway orientations. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 295 (1-2), 116-130.
- Moratalla, J.J., Hernán, J. and Jiménez, S. 2003. Los Cayos dinosaur tracksite: An overview on the Lower Cretaceous ichno-diversity of the Cameros Basin (Cornago, La Rioja Province, Spain). *Ichnos*, 10 (2), 229-240.
- Moratalla, J.J. and Sanz, J.L. 1997. Cameros Basin megatracksite. In: Currie, P.J. and Padian, K. (eds.), *Encyclopedia of Dinosaurs*. Academic Press, San Diego, 87-90.
- Moratalla, J.J., Sanz, J.L. and Jiménez, S. 1988. Nueva evidencia icnológica de dinosaurios en el Cretácico Inferior de La Rioja (España). *Estudios Geológicos*, 44 (1-2), 119-131.
- Moratalla, J.J., Sanz, J.L. and Jiménez, S. 1992a. Hallazgos de nuevos tipos de huellas en La Rioja. *Estrato-Revista Riojana de Arqueología*, 4, 63-66.
- Moratalla, J.J., Sanz, J.L. and Jiménez, S. 1997. Acondicionamiento de los yacimientos paleoicnológicos riojanos. *Estrato-Revista Riojana de Arqueología*, 8, 98-102.
- Moratalla, J.J., Sanz, J.L. and Jiménez, S. 2004. El área de los Cayos (Cornago, La Rioja): un ejemplo de la biodiversidad paleoicnológica en el Cretácico inferior español. In: Baquedano, E. and Rubio-Jara, S. (eds.), *Miscelánea en Homenaje a Emiliano Aguirre. Paleontología*. Museo Arqueológico Regional, Alcalá de Henares, 336-346.
- Moratalla, J.J., Sanz, J.L., Jiménez, S. and Lockley, M.G. 1992b. A quadrupedal ornithopod trackway from the Lower Cretaceous of La Rioja (Spain): inferences on gait and hand structure. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 12 (2), 150-157.
- Moratalla, J.J., Sanz-García, J.L. and Jiménez, S. 1993. Nuevos hallazgos de icnitas de dinosaurios en Préjano e Inestrillas, La Rioja. *Estrato-Revista Riojana de Arqueología*, 5, 75-76.
- Moratalla, J.J., Sanz-García, J.L. and Jiménez, S. 1998. Restos de pterosaurios y peces en el área de Sol de la Pita (Préjano). *Estrato-Revista Riojana de Arqueología*, 9, 111-115.
- Moratalla, J.J., Sanz-García, J.L. and Jiménez, S. 1999. Nuevos hallazgos de dinosaurios y pterosaurios en el Cretácico Inferior de La Rioja. *Estrato-Revista Riojana de Arqueología*, 10, 91-96.
- Moratalla García, J., Sanz García, J.L. and Jiménez García, S. 1997. *Dinosaurios en La Rioja (Guía de yacimientos paleoicnológicos)*. Consejería de Educación, Cultura, Juventud y Deportes-Iberdrola, Logroño, 176 pp.
- Morter, A.A. 1984. Purbeck-Wealden beds Mollusca and their relationship to ostracod biostratigraphy, stratigraphical correlation and palaeoecology in the Weald and adjacent areas. *Proceedings of the Geologists' Association*, 95 (3), 217-234.
- Ndiaye, M. 2007. *A multipurpose software for stratigraphic signal analysis*. Thèse de Doctorat, Université de Genève, Genève, 118 págs.
- Norman, D.B. 2004. Basal Iguanodontia. In: Weishampel, D.B., Dodson, P. and Osmolska, H. (eds.), *The Dinosauria*. University of California Press, Berkeley, 413-437.
- Paul, G.S. 2007. Turning the old into the new: a separation genus for the gracile iguanodont from the Wealden of

- England. In: Carpenter, K. (ed.), *Horns and Beaks: Ceratopsian and Ornithomimid Dinosaurs*. Indiana University Press, Bloomington, 69-77.
- Pérez-Arlucea, M. and Smith, N.D. 1999. Depositional patterns following the 1870s avulsion of the Saskatchewan River (Cumberland Marshes, Saskatchewan, Canada). *Journal of Sedimentary Research*, 69 (1), 62-73.
- Pérez-Lorente, F. 2002. La distribución de yacimientos y de tipos de huellas de dinosaurio en la Cuenca de Cameros (La Rioja, Burgos, Soria, España). *Zubía Monográfico*, 14, 191-210.
- Pérez-Lorente, F. 2003. Icnitas de dinosaurios del Cretácico en España. In: Pérez-Lorente, F. (ed.), *Dinosaurios y Otros Reptiles Mesozoicos en España*. Instituto de Estudios Riojanos, Ciencias de la Tierra, 26, Logroño, 49-108.
- Platt, N.H. and Meyer, C.A. 1991. Dinosaur footprints from the Lower Cretaceous of northern Spain: their sedimentological and palaeoecological context. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 85 (3-4), 321-333.
- Platt, N.H. and Wright, V.P. 1991. Lacustrine carbonates: facies models, facies distributions and hydrocarbon aspects. In: Anadón, P., Cabrera, L. and Kelts, K. (eds.), *Lacustrine Facies Analysis*. Blackwell, Oxford, 57-74.
- Reineck, H.E. and Singh, I.B. 1972. Genesis of laminated sand and graded rhythmites in storm-sand layers of shelf mud. *Sedimentology*, 18 (1-2), 123-128.
- Renaut, R.W. and Tiercelin, J.J. 1994. Lake Bogoria, Kenya Rift Valley—A sedimentological overview. In: Renaut, R.W. and Last, W.M. (eds.), *Sedimentology and Geochemistry of Modern and Ancient Saline Lakes*. Society for Sedimentary Geology (SEPM), Tulsa, 101-123.
- Sarjeant, W.A.S., Delair, J.B. and Lockley, M.G. 1998. The footprints of *Iguanodon*: A history and taxonomic study. *Ichnos*, 6 (3), 183-202.
- Slingerland, R. and Smith, N.D. 2004. River avulsions and their deposits. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 32, 257-285.
- Smith, L.M., Dunbar, J.B. and Britsch, L.D. 1986. *Geomorphological Investigation of the Atchafalaya Basin, Area West, Atchafalaya Delta and Terrebonne Marsh*, Volume I. US Army Corps of Engineers, Vicksburg, 85 pp.
- Smoot, J.P. 1991. Sedimentary facies and depositional environments of early Mesozoic Newark Supergroup basins, eastern North America. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 84 (1-4), 369-423.
- Suárez-González, P., Quijada, I.E., Benito, M.I. and Mas, R. 2013. Eustatic versus tectonic control in an intraplate rift basin (Leza Fm, Cameros Basin). Chronostratigraphic and paleogeographic implications for the Aptian of Iberia. *Journal of Iberian Geology*, 39 (2), 285-312.
- Torcida Fernández-Baldor, F., Izquierdo Montero, L.A., Huerta, P., Montero Huerta, D., Pérez Martínez, G. and Urién Montero, V. 2006. El yacimiento de icnitas de dinosaurios de Costalomo (Salas de los Infantes, Burgos, España): Nuevos datos. In: Colectivo Arqueológico-Paleontológico de Salas (ed.), *Actas de las III Jornadas Internacionales sobre Paleontología de Dinosaurios y su Entorno*, Salas de los Infantes (Burgos), 313-347.
- Tucker, M.E. and Wright, V.P. 1990. *Carbonate Sedimentology*. Blackwell, Oxford, 482 pp.
- Tunbridge, I.P. 1981. Sandy high-energy flood sedimentation — Some criteria for recognition, with an example from the Devonian of S.W. England. *Sedimentary Geology*, 28 (2), 79-95.
- Tye, R.S. and Coleman, J.M. 1989a. Depositional processes and stratigraphy of fluvially dominated lacustrine deltas: Mississippi delta plain. *Journal of Sedimentary Petrology*, 59 (6), 973-996.
- Tye, R.S. and Coleman, J.M. 1989b. Evolution of Atchafalaya lacustrine deltas, south-central Louisiana. *Sedimentary Geology*, 65 (1-2), 95-112.
- Viera, L.I., Torres, J.A. and Aguirrezabala, L.M. 1984. El Weald de Munilla (La Rioja) y sus icnitas de dinosaurios. (II). *Munibe*, 36, 3-22.
- Wells, J.T., Scholz, C.A. and Johnson, T.C. 1994. Highstand deltas in Lake Malawi, east Africa: environments of deposition and processes of sedimentation. In: Lomando, A.J., Schreiber, B.C. and Harris, P.M. (eds.), *Lacustrine Reservoirs and Depositional Systems*. SEPM (Society for Sedimentary Geology), Tulsa, 1-35.
- Wilkinson, I.P. 2008. The effect of environmental change on early Aptian ostracods faunas in the Wessex Basin, southern England. *Revue de Micropaléontologie*, 51 (3), 259-272.
- Xu, H. and MacCarthy, I.A.J. 1998. Markov chain analysis of vertical facies sequences using a computer software package (SAVFS): Courtmacsherry Formation (Tournaisian), Southern Ireland. *Computers & Geosciences*, 24 (2), 131-139.

Recibido: abril 2014

Revisado: mayo 2014

Aceptado: junio 2014

Publicado: diciembre 2014