

Descripción de los primeros rastros asignados a Hadrosauridae (Ornithopoda, Dinosauria) del Maastrichtiense de la Península Ibérica (Areny, Huesca)

Description of the first Hadrosaurian (Ornithopoda, Dinosauria) trackways from Iberian Maastrichtian (Areny, Huesca)

J.L. Barco*, **, LI. Ardévol*** y J.I. Canudo*.

* Area de Paleontología, Universidad de Zaragoza, C/ Pedro Cerbuna, 12. 50009 Zaragoza.

**Paleomás S.L.L., C/ ntra Sra del Salz, 4, local, 50017, Zaragoza

*** Geoplay, PO Box 12, 25620 Tremp, Lleida

ABSTRACT

In this paper, we described the first hadrosaurian footprints of Iberian Maastrichtian. The new dinosaur tracksite have been found in the uppermost part of Lower Maastrichtian in Areny (south-central Pyrennes, Huesca) in coastal deposits of the Arén Formation. The tracksite Areny I contain 16 footprints identified as two morphotype of Hadrosauridae indet. They have a subredonded ornithopod-like pes characterised by three broad digits with extensive interdigital webs.

Key Words: Hadrosaurian, Trackway, Maastrichtian, Pyrennes, Spain.

Geogaceta: 30 (2001), 235-238

ISSN: 0213683X

Introducción

La extinción de los dinosaurios al final del Cretácico y su relación con un evento catastrófico es una de las líneas de investigación geológica que más controversia ha generado en los últimos años (Ver discusión en Dingus y Rowe, 1997). Los argumentos a favor y en contra nacen de la interpretación del abundante registro norteamericano de vertebrados del Campaniense - Maastrichtiense. Para poder contrastar la hipótesis catastrofista es necesario conocer la distribución de los dinosaurios en otras partes del mundo. Sin embargo los yacimientos del Maastrichtiense son escasos y hay pocas áreas donde se pueda estudiar las asociaciones de dinosaurios anteriores al límite.

Una de estas áreas es precisamente el Pirineo español, donde aflora una potente secuencia de sedimentos de transición y continental con abundantes restos de dinosaurios (López Martínez *et al.*, 1998), conocidas como Formaciones Arén y Tremp (Mey *et al.*, 1968). La edad de esta secuencia varía del Campaniense al Paleoceno (Galbrun, *et al.*, 1993; López Martínez *et al.*, 2001). En los sedimentos del Maastrichtiense se han identificado elementos craneales y postcraneales de al menos cuatro terópodos, dos hadrosáuridos y un saurópodo (Casanovas *et al.*,

1999; Prieto-Márquez *et al.*, 2000; López Martínez *et al.*, 2001). Los restos indirectos, sobre todo los huevos y las cáscaras son muy abundantes en la Cuenca de Tremp (Sanz *et al.*, 1995). También se han citado icnitas de ornitópodos (Llompart, 1979; *et al.*, 1984) y de saurópodos (Le Loeuff y Martínez, 1997; López Martínez *et al.*, 1997-98). El objetivo fundamental de este trabajo es la descripción e interpretación del yacimiento con icnitas de dinosaurios Areny 1.

Situación geográfica y geológica

El yacimiento de icnitas de Areny (Areny 1) se encuentra en la hoja 251 (Arén) del mapa Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 y se corresponde con las coordenadas UTM: 31T133808. Se encuentra junto a la carretera nacional 230, que une Lleida con Francia, y desde la cual es posible el acceso al yacimiento (Fig. 1). La superficie con icnitas tiene una extensión aproximada de 55 m². Estratigráficamente las icnitas se encuentran situadas a techo de la formación Areniscas de Arén en su localidad tipo (Mey *et al.*, 1968), datada como la parte alta del Maastrichtiense inferior (Ardévol *et al.*, 2000). Se depositaron en un medio deltaico regresivo en la cuenca surpirenaica del Cretácico Superior. En

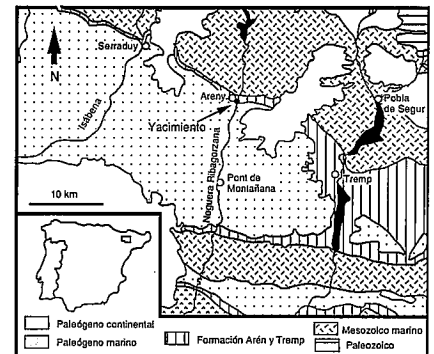


Figura 1: Situación geográfica y geológica del yacimiento de icnitas de Areny. (Modificado de López Martínez *et al.*, 2001)

*Figure 1: Geographical and geological situation of the dinosaur footprints outcrop from Arén (Modified of López Martínez *et al.*, 2001)*

el afloramiento de Areny 1 cabe distinguir tres tramos (Fig. 2).

Tramo 1.- Areniscas de grano medio con laminación cruzada de gran escala y morfología de dunas. A techo presentan una superficie irregular y bioturbada, ligeramente encostrada. Este tramo se interpreta como dunas de origen fluvial depositadas en un frente deltaico. La superficie que las limita a techo representa probablemente su exposición subaérea.

Tramo 2 (niveles con icnitas).- Arenis-

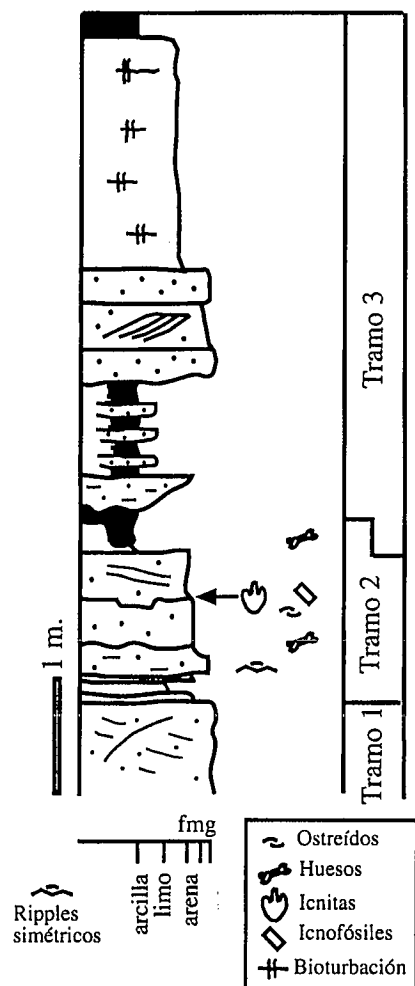


Figura 2: Columna estratigráfica de la Formación Areniscas de Areny en su localidad tipo.

Figure 2: Stratigraphic column of the type locality of the Arenisca de Areny Formation.

cas de grano medio y grueso, mal clasificadas, con estratificación media y laminación ondulada de pequeña, media y gran escala. Abundan los componentes oncolíticos de tamaño arena. El techo muestra una costra ferruginosa bioturbada y perforada que contiene las icnitas y fragmentos de huesos. Las huellas se habrían producido por el paso de los dinosaurios sobre áreas más o menos encharcadas situadas entre las dunas. Según nuestra interpretación la lámina de agua era muy variable y había áreas con exposición subaérea donde el sedimento estaba parcialmente consolidado, dificultando la formación de huellas.

Tramo 3.- Lutitas y limos grises bioturbados, que pasan a areniscas canalizadas de grano fino y medio con estratificación cruzada. La programación del sistema deltaico produce la sedimentación de facies de marismas con canales que se sedimentan sobre los depósitos de tormenta y las dunas de los tramos anteriores.



Figura 3: Rastros 1, 2 y 3 del yacimiento Areny 1. El epirrelieve concavo bajo la icnita 1.1 no constituye ninguna icnita.

Figure 3: Trackways 1, 2 and 3 from the Areny outcrop. The hole under footprint 1.1 does not mean any footprint.

Material y métodos

Inicialmente afloraban 9 icnitas distribuidas en unos 5 m². Este nivel se encontraba cubierto por derrubios y por el estrato superior en su parte oeste. Al retirarlos se pudo diferenciar dos niveles con icnitas (Areny I y II), siendo Areny I el que se describe. Se hizo un cuadrículado de 1 metro de lado, que sirvió de base para cartografiar las icnitas. Para ello se realizaron dibujos en detalle de cada metro cuadrado de la cuadrícula midiendo la distancia y ángulo a las coordenadas de los puntos que formaban el contorno de las icnitas. Se tomaron fotografías nocturnas con luz dirigida de todo el nivel con icnitas, permitiendo así observar determinados detalles no apreciables a simple vista a la luz del día (Fig. 5). Las medidas de los parámetros fueron tomadas en el campo y comprobadas con el mapa del yacimiento.

Se ha utilizado la nomenclatura y parámetros propuestos por Moratalla *et al.* (1988), y Thurlborn (1990), aunque con los siguientes matices: en los casos en los que la dirección del dedo III es confusa por estar éste ausente o ser demasiado corto, la longitud de la icnita se ha medido deduciendo la dirección más probable del dedo III por comparación morfológica con otras icnitas del mismo rastro; para la medición de las longitudes de paso y zancada se han utilizado los puntos medios de la icnita, referidos a los puntos de intersección entre su longitud y anchura; para la determinación de la anchura del rastro también se toman los puntos medios de las icnitas. La desvia-

ción de paso es la distancia entre el punto medio de la icnita y la línea media del rastro (Casanovas *et al.*, 1993). Para calcular la altura hasta la cadera del productor de la icnita se han utilizado las ecuaciones de Thurlborn (1990). Los cálculos de velocidad se han realizado utilizando las fórmulas de Alexander (1976) y Thurlborn (1990).

Descripción y resultados

Areny I presenta numerosas depresiones, aunque solamente 16 de ellas se pueden atribuir a icnitas de dinosaurio conservadas como epirrelieves cóncavos. Se han identificado dos rastros completos y parte de un tercero del que solo se conservan dos icnitas. Este nivel presenta además icnofósiles circulares de entre 0.5 y 2 cm. conservados también en epirrelieve cóncavo y atribuidas a huellas de habitación de vertebrados.

El rastro 1 (Fig. 3) está formado por cuatro icnitas consecutivas (1.1 a 1.4) cuyas características más importantes son: contorno subcircular (L/W=1) en las que se aprecian (a excepción de la huella 1.4, cuyo extremo anterior fue borrado por una icnita posterior perteneciente a otro individuo) tres impresiones de los dedos, de las cuales la central es más larga. Estas impresiones son más claras en la huella 1.3 donde muestran un extremo redondeado, aunque son tan cortas que no permiten medir el ángulo que forman entre ellas. La longitud de pisada es semejante a su anchura máxima (alrededor siempre de 50 cm.), son profundas, más

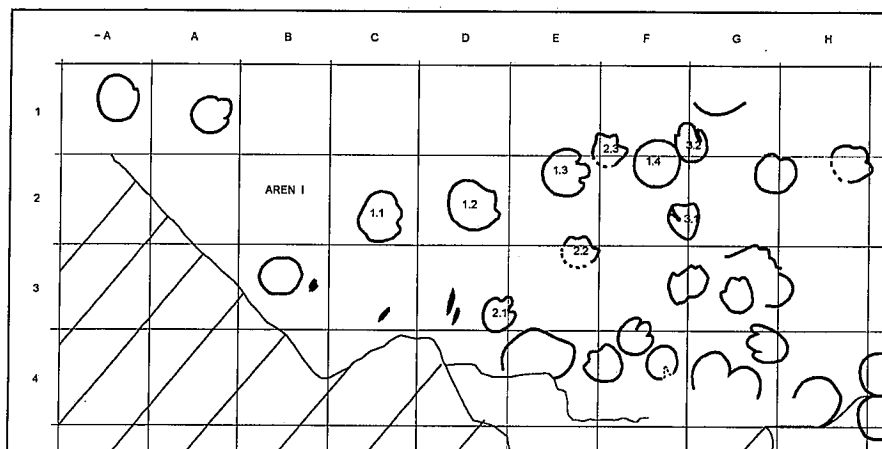


Figura 4: Mapa del yacimiento Areny I

Figure 4: Outcrop diagram of Areny I

en el lado derecho que en el izquierdo, y presentan unas ligeras marcas de deslizamiento en la parte derecha de la icnita, considerada según la dirección de marcha. Las icnitas 1.2 y 1.3 presentan ligeras rebabas de barro en sus extremos anterior y derecho. En cuanto al rastro, la longitud de zancada es aproximadamente cuatro veces más grande que la longitud de icnita y se mantiene constante, si bien la distancia entre el pie izquierdo y derecho es más corta que entre el derecho y el izquierdo. La orientación de las huellas es negativa (entre 8 y 21°) y el ángulo de paso presenta valores constantes, alrede-

dor de 166°, lo que implica que la anchura y desviación del rastro no sean muy grandes. La altura hasta la cadera del productor de las icnitas era de 241 cm (media de los resultados para las distintas longitudes de icnita). Se movía a una velocidad media de 0.244 m/s (0.87 Km./h).

El rastro 2 (Areny I, 2) está formado por tres huellas (2.1 a 2.3) cuyas características más importantes son: icnitas tridáctilas con las impresiones de los dedos bien marcadas, y reducidas. La correspondiente al dedo III es la más larga. El rastro presenta una longitud de la zancada unas seis veces superior a la longi-

tud de la impresión del pie, la longitud de paso es constante y la orientación de las huellas es negativa (entre 8 y 9°). El ángulo de paso es inferior al rastro 1 con lo que su anchura y desviación es mayor. La altura a la cadera es de 169 cm. La velocidad de desplazamiento es de 0.368 m/s (1.32 Km./h).

Las huellas tridáctilas 3.1 y 3.2 son consecutivas, y presentan una longitud similar. Su anchura es ligeramente menor a la longitud. Se distinguen claramente las impresiones de tres dedos una de las cuales, la perteneciente al IV, se muestra separada del dedo central aunque sus orientaciones son subparalelas. El espacio que separa los dedos III y IV se presenta ligeramente hundido con respecto al substrato. La semejanza entre los parámetros morfométricos de estas dos icnitas y la orientación que presentan, ha llevado a considerarlas como parte de un tercer rastro dejado por un individuo de 194 cm. de altura hasta la cadera. Este rastro 3 representa un morfotipo diferente a los rastros 1 y 2.

Discusión

Las impresiones de los dedos de los rastros 1 y 2 son demasiado cortas para pisadas tan grandes, mostrándose además menos claras cuanto más profunda es la pisada, y por tanto más blando y poco resistente es el substrato. Una interpretación es la presencia de una membrana interdigital, cuyo comportamiento ante un substrato blando no permitiese diferenciar la zona interdigital de la zona que soporta el peso del organismo que es la correspondiente a los dedos, hundiéndose toda la planta del pie por igual. En cambio cuando el substrato muestra mayor resistencia, resultando huellas menos profundas, la zona interdigital, ocupada por una membrana que no soporta el peso del cuerpo del dinosaurio, no se hunde tanto como el resto del pie pero si provoca un ligero descenso del nivel del substrato, como se puede apreciar en la zona entre los dedos III y IV de las huellas del rastro 3.

Las huellas tridáctilas de gran tamaño presentes en sedimentos de edad mesozoica pueden haber sido producidas por dinosaurios ornitópodos o terópodos. Las de ornitópodos tienen una relación entre la longitud y la anchura cercana a uno; la impresión del talón es más redondeada y en forma de U; las impresiones de los dedos son más cortas y robustas, con una terminación redondeada (Moratalla *et al.*, 1988 y Thurlborn, 1990). Estos caracteres permiten identificar a las icnitas de Areny I como

RASTRO 1	Ícnita 1.1	Ícnita 1.2	Ícnita 1.3	Ícnita 1.4
Longitud (L)	49	50	51,5	51?
Anchura (A)	53	52,5	50	48
Orientación	-8	-21	-8	?
Angulo de paso (AP)	?	167	166	?
Longitud de zancada (LZ)	-	-	217	214?
Longitud de paso (LP)		103	112	103
Altura de la cadera (AC)	235	234	248	246?
LZ/AC	-	-	0,875	0,869?
Velocidad (m/s)			0,243	0,246?

RASTROS 2 y 3	Ícnita 2.1	Ícnita 2.2	Ícnita 2.3	Ícnita 3.1	Ícnita 3.2
Longitud (L)	38?	38?	36?	41	41
Anchura (A)	32	38?	39,5	35	35
Orientación	18	8?	9	-	-
Angulo de paso (AP)	-	141	-	-	-
Longitud de zancada (LZ)	-	-	217	-	-
Longitud de paso (LP)		114	115		92
Altura de la cadera (AC)	179?	179?	169	194	194
LZ/AC			1.28	-	-
Velocidad (m/s)			0,368	-	-

Tabla 1 : Medidas en cm de las icnitas y rastros 1 a 3 del yacimiento Areny 1.

Table 1: Measurements of the footprints and trackways 1 to 3 from the Areny outcrop.

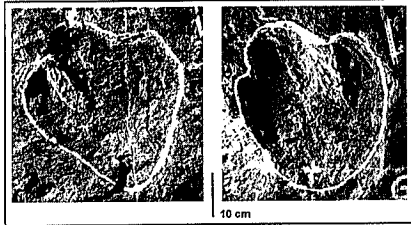


Figura 5: Detalle de las icnitas 3.1 y 3.2.

Figure 5: Footprints 3.1 and 3.2 in detail.

de ornitópodo.

Según el tamaño de las impresiones y el resultado de los cálculos de ellas inferidas ($h > 179$) los únicos dinosaurios ornitópodos capaces de haber producido estas icnitas son Iguanodóntidos y Hadrosáuridos (Norman 1980; Weishampel y Horner, 1990), sin embargo sus pies son parecidos, lo que dificulta la diferenciación por criterios únicamente morfológicos. Uno de los caracteres utilizados es la presencia de membrana interdígital en los hadrosáuridos, aunque también este carácter presenta dificultades de interpretación (Thurlborn, 1990).

Para poder afirmar que las icnitas de Areny I son de hadrosáurido necesitamos otros argumentos. Los criterios indirectos, principalmente cronoestratigráficos y paleogeográficos han sido los más usados en la identificación de icnitas de hadrosáuridos. Estos son la edad, ya que estos ornitópodos son típicos del Cretácico superior; y en segundo lugar, la presencia de restos directos en la misma formación o en áreas geográfica y cronoestratigráficamente semejantes. Los restos de hadrosáuridos son los dinosaurios más abundantes en el Maastrichtiense del Pirineo (Buffetaut y Le Loeuff, 1997), lo que viene confirmado por la nueva interpretación de *Pararhabdodon*, como un hadrosáurido lambeosaurino (Casanovas *et al.*, 1999), o los descubrimientos en niveles estratigráficamente más modernos de una rica asociación de hadrosáuridos en la misma localidad de Areny (López-Martínez *et al.*, 2001). Por tanto estos criterios indirectos también permiten interpretar a las icnitas de Areny como de hadrosáurido. A partir de estas determinaciones indirectas Thurlborn (1990) sintetiza los principales caracteres de las icnitas de hadrosáuridos: ángulo de paso entre 140 y 160°, orientación negativa alrededor de 18°, relación de longitud de pisada y longitud de zancada de entre 1/4 y 1/7, las impresiones de los dedos son robustas, cortas y fuertemente redondea-

das, dedo III ligeramente más largo que II y IV, longitud de pisada entre 40 y 50 cm y el talón es redondeado. Por tanto, las icnitas de Areny I se sitúan en la variabilidad de las de hadrosáuridos.

Una vez incluidas a las icnitas de Areny I en los hadrosáuridos resulta más complicado asignarle alguno de los icnogéneros conocidos. En los yacimientos de Orcau y Millà (Llompert, 1979 y Llompert *et al.*, 1984) se han descrito icnitas de grandes ornitópodos como *Ornithopodichnites magna* y *Oracuichnites garumniensis*, sin embargo el mal estado de conservación de estas icnitas no permite por el momento la comparación con estos icnogéneros. Algunos icnogéneros descritos en el Cretácico superior de Argentina tienen un gran parecido morfológico, así *Telosichnus saltensis* (Alonso y Marquillas, 1986) para los rastros 1 y 2 y *Hadrosauricnus australis* (Alonso, 1980) para el rastro 3. Sin embargo es preferible dejar la determinación de las icnitas de Areny I para cuando se disponga de mayor información.

Conclusiones

En Areny I se han estudiado 16 icnitas distribuidas en dos rastros (1 y 2), dos icnitas consecutivas pertenecientes a un tercero e icnitas aisladas. Se han identificado dos morfotipos distintos producidos por grandes Hadrosauridae que se movían lentamente sobre un sustrato de consistencia variable. Este yacimiento supone la primera cita de hadrosáuridos en el Maastrichtiense de la Península Ibérica, aunque otras icnitas de ornitópodos descritas anteriormente en la Cuenca de Tremp podrían pertenecer igualmente a estos dinosaurios.

Agradecimientos

Las actuaciones de excavación, limpieza y cartografía del yacimiento han sido realizadas por la empresa Paleoymás, con la colaboración de Geoplay y el equipo de Dinosaurios de la Universidad de Zaragoza, y financiadas por el Servicio de Patrimonio del Gobierno de Aragón. Agradecer también a Rafael Royo, Eva Barcelona y las gentes de Areny por su ayuda en el campo y al Excmo. Ayuntamiento de Areny el apoyo logístico prestado.

Referencias

Alexander, R. McN. 1976. *Nature*. 261, 129-130.
Alonso R.N. 1980. *Acta Geológica Li-*

lloana, 15(2), 55-63.

- Alonso, R.N. y Marquillas, R.A. 1986. *Actas IV congreso argentino de Paleontología y Bioestratigrafía, Mendoza 1986*, 2: 33-41
- Ardévol, L., Casanovas, L.M. y Santafé, V. 1995. *XI Jornadas de Paleontología*.
- Ardevol, L., Klimovitz, J., Malagón, J. y Naqteqaal, P.J.C. 2000. *AAPG Bulletin*, 84: 566-587.
- Buffetaut, E. & Le loeuff, J. 1997. *Geology Today*, March-April, 60-68.
- Casanovas, M.L. Ezquerro, R., Fernandez, A., Pérez-Lorente, F. & Santafé, V. 1993. *Revue de Paléobiologie*, 7, 29-36.
- Casanovas, M.L., Pereda Suberbiola, X., Santafé, J.V. & Weishampel, D. B. 1999. *Geol. Mag.*, 136, 2, 205-211.
- Dingus, L. y Rowe, T. 1997. *The mistaken extinction. Dinosaur Evolution and the Origin of birds*. Ed. Freeman. 332 p.
- Galbrun, B., Feist, M., Colombró, F., Rocchia, R. y Tambareau, Y. 1993. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 10, 41-52
- Lopez Martínez, N., Lacasa Ruiz, A. y Martínez-Desclós, X. 1997-98. *Iberda*, LII, 35-46.
- López-Martínez, N., Ardévol, L., Arribas, M.E., Civis, J. y González-Delgado, A. 1998. *Bull. Soc. géol. France*, 169, 1.
- López-Martínez, N., Canudo, J.I., Ardévol, L., Pereda Suberbiola, X., Orue-Etxebarria, X., Cuenca-Bescós, G., Ruiz-Omeñaca, J.I., Murelaga, X. y Feist, M. 2001. *Cretaceous Research*, 22, 41-61.
- Le Loeuff, J. y Martínez, A. 1997. *Geogaceta*, 21, 151-153.
- Llompert, C. 1979. *Acta Geológica Hispánica*, 14, 333-336.
- Llompert, C., Casanovas, M. L. y Santafé, J. V. 1984. *Acta Geológica Hispánica*, 19, 143-147.
- Mey, P.H.V., Robert, K.J y Hartevelt, J.J.A., 1968. *Leidse Geologische Mededelingen*, 41, 221-228.
- Moratalla, J.J., Sanz, J.L. y Jimenez, S. 1988. *Geobios*, 21, 395-408.
- Norman, D. B. 1980. *Inst. Roy. Sci. Nat. Belg. Mem.*, 178, 103 p.
- Prieto-Márquez, A., Gaete, R., Gallobart, A. y Ardévol, L.I. 2000. *Eclogae geol. Helv.*, 93, 497-501.
- Sanz, J.L., Moratalla, J.J., Díaz-Molina, M., López-Martínez, N., Kálin, O. y Vianey-Liaud, M. 1995. *Nature*, 376, 731-732.
- Thulborn, R.A. 1990. *Dinosaur tracks*. Ed. Chapman and Hall, 410 p.
- Weishampel, D.B. & Horner, J. R. 1990. In *The Dinosauria*, Ed. California Press, 534-563.