

# Nuevos yacimientos de icnitas de dinosaurios carixienses. Sur del Alto Atlas Central (Goulmima. Marruecos)

*New dinosaur ichnological sites from the carixian. South of central High Atlas Mountains (Goulmima. Morocco)*

M. Hadri<sup>(1)</sup>, M. Boutakiout<sup>(1)</sup> y F. Pérez-Lorente<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Faculté des Sciences, Université Mohamed V Avenue Ibn Batonta, Rabat-Agadal (Marruecos). hadri@fsr.ac.ma; boutak@fsr.ac.ma

<sup>(2)</sup> Edificio C-T, Universidad de La Rioja. C/ Madre de Dios, 53. 26006-Logroño. (España) felix.perez@dq.unirioja.es

## ABSTRACT

On the north of the Goulmima-Tinerhir line three new dinosaur ichnological sites were discovered. The new ichnites and sites (21 and 3) are added to the 23 footprints and 4 outcrops known until now. All sites are in the Aghbalou Formation (Carixian) being those described in this work, older than previously known. Eubrontes, other not identified theropod and possibly sauropod ichnites are described in the new localities. The lithology and the direct and indirect structures accompanying of the footsteps also suppose a contribution for the extension of variation both in the sedimentary materials and morphologic ichnological types in the region.

**Key words:** Dinosaur, footprints, Carixian, Haut Atlas, Morocco

Geogaceta, 41 (2007), 107-110  
ISSN: 0213683X

## Introducción

Tras los iniciales hallazgos de icnitas de dinosaurios en el Sureste del Atlas Central (Pérez-Lorente *et al.*, 2006) se prosiguió la prospección en las proximidades de la ciudad de Goulmima (Fig. 1). Como resultado se encontraron los yacimientos que se describen en este trabajo. Las nuevas icnitas permiten por una parte caracterizar nuevos grupos icnotaxonómicos; por otra mostrar modelos distintos de impresión en sustratos diferentes; y, finalmente, aumentar el registro de yacimientos. Algunos de los términos usados en la descripción de las estructuras que acompañan a las icnitas son de Manning (2004) y de otros autores más modernos (cf. Boutakiout *et al.*, 2006).

Dado que los lugares nuevos están en la proximidad del pueblo de Taouddaat, se continuó con la signatura establecida anteriormente (Pérez-Lorente *et al.*, 2006) de manera que los tres yacimientos se denominan: 4TAO, 5TAO y 6TAO. De ellos 4TAO se encuentra en el mismo barranco que los estudiados (1TAO, 2TAO y 3TAO) mientras que los dos restantes están en una rambla vecina, más amplia y larga aunque también seca. Los tres están al Sur y Suroeste de 3TAO entre 20 y 250 metros más alejados. 4TAO está en el fondo del cauce, mientras que 5TAO y 6TAO están en las paredes laterales.

Los yacimientos (Fig. 1) están en sedimentos de la Formación de Aghbalou de edad Carixiense (Hadri, 1993) y las icnitas están conservadas en lutitas (4TAO) y en dolomías oquerosas (5TAO y 6TAO). Estos

dos últimos son los más antiguos descritos hasta ahora en esta zona.

## Yacimiento 4TAO

El afloramiento se ubica en el mismo barranco que 1TAO, 2TAO y 3TAO (Pérez-Lorente *et al.*, 2006), a unas decenas de metros al sur de 3TAO. Las icnitas están conservadas en dos superficies de estratificación de lutitas de grano muy fino de color rosa y amarillo-marrón de varias intensidades. Ambas superficies están separadas entre 2 y 4 cm. Es muy aparente la estructura interna en láminas paralelas a la superficie, de muy poco espesor (varias por milímetro) limitadas por óxidos de hierro que tienen de color más intenso algunos sectores y dejan dibujos

concéntricos de gamas de intensidad variable de los colores mencionados, a manera de descascarillado y anillos de alteración. En algunas roturas y en la parte profunda de la marca de los dedos de algunas icnitas (p. ej.: 4TAO6.4) afloran tonos grises oscuros, o incluso color negro, propios de materia carbonosa. Interpretamos que los colores rosa y amarillos se deben a procesos postdiagenéticos acompañados por oxidación meteórica. Las capas de colores son planas y paralelas al techo del estrato, y curvadas y paralelas a las paredes de las marcas de los dedos.

Muy probablemente estas lutitas sean depósitos de aguas estancadas, en un medio sedimentario congruente (intertidal a supratidal con emersiones esporádicas) con

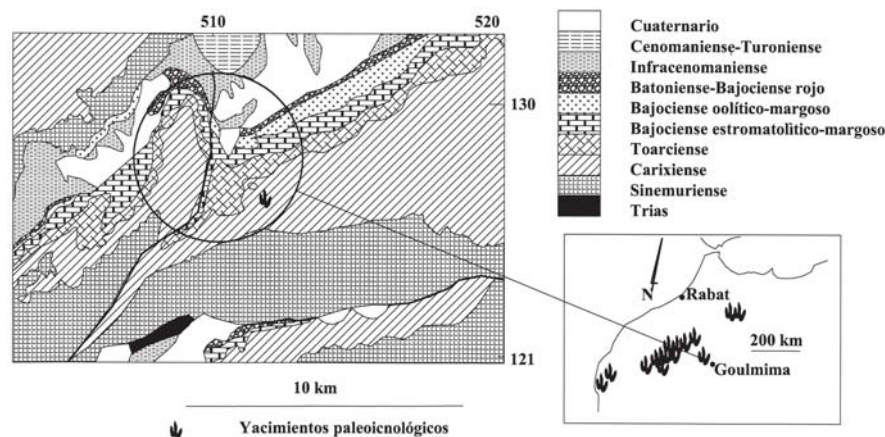


Fig. 1.- Situación geológica de Taouddaat y geográfica de los yacimientos de huellas de dinosaurio de Marruecos.

Fig. 1.- Geological map of Taouddaat sites and location of the Morocco dinosaur footprint sites.

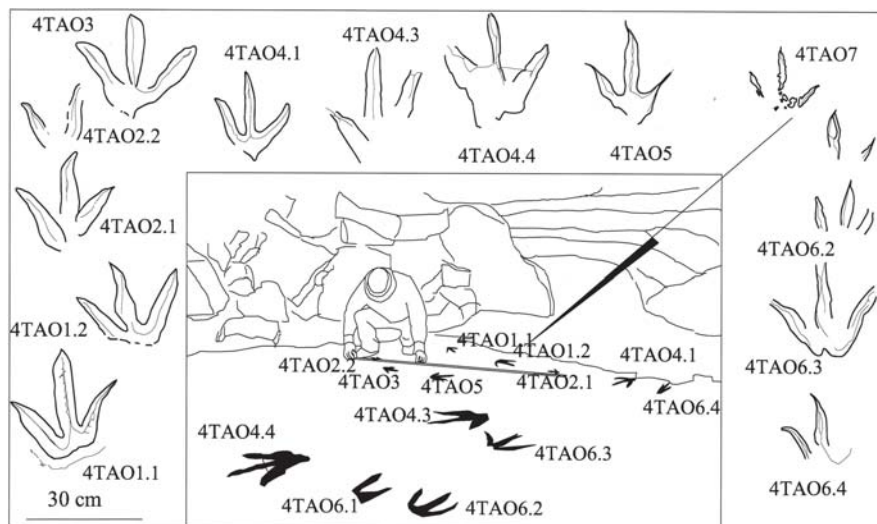


Fig. 2.- Yacimiento 4TAO y detalle de sus huellas.

Fig. 2.- 4TAO site and footprints details.

los carbonatados estromatolíticos que los acompañan (Hadri, 1993).

*Ícnitas*

Se han estudiado catorce ícnitas (Fig. 2), de las cuales una está en el nivel inferior y el resto en el superior. No es seguro establecer rastros en este grupo de pisadas por varias razones: una es que no hay diferencia de tamaño entre las ícnitas de las posibles rastrilladas (la dimensión de todas es similar); otra que no muestran caracteres distintivos de pié izquierdo o derecho; y la tercera porque no se encuentran secuencias seguidas e ininterrumpidas de más de tres huellas. A pesar de ello, se han asociado por grupos para indicar el número mínimo de rastrilladas presentes en el yacimiento.

*Estructuras*

Según el nivel en el que están conservadas las ícnitas, presentan dos tipos de estructuras diferentes. En el nivel superior, el perfil transversal de las marcas de los dedos tiene forma de «v» con paredes ligeramente curvas de concavidad hacia el interior de la roca. La concavidad se interpreta debida a la caída gravitatoria del barro de las paredes. El vértice de la «v» está ocupado por una cicatriz de fondo (Boutakiout *et al.*, 2006) en la que no se distingue ni brecha de fondo ni zona neutra. En el nivel inferior, la única ícnita (Figs. 2, 4) conservada, tiene el fondo relativamente amplio, plano, paralelo a la superficie de estratificación y ocupado por una lámina de carbonato cálcico

Las ícnitas del nivel superior tienen la línea de contorno (Boutakiout *et al.*, 2006) muy difícil de trazar porque las láminas se doblan poco a poco hacia el centro de la marca de los dedos y no hay ruptura clara entre la posible superficie original (techo del estrato)

to) y la superficie final o superficie deformada por la pisada (hueco de la huella). El sector de los hipex puede estar recorrido por una cicatriz a veces muy levemente señalada (4TAO1.1, 4TAO1.2) que muestra la retroversión de la impresión de los dedos laterales. En ciertos casos las cicatrices se interrumpen y desaparecen al llegar al sector de los hipex, mientras que en otros la cicatriz del dedo III gira y continúa con la de uno o con la de los dos dedos laterales (con o sin retroversión).

En su recorrido por algunas marcas de dedo, la cicatriz de fondo se divide en dos

ramas, generalmente divergentes hacia la parte proximal. En 4TAO2.2, la cicatriz, bien señalada en la parte apical, es continua durante unos 2 cm a partir de donde se divide en dos que después de 4-8 cm de recorrido desaparecen. En el dedo III de 4TAO6.3 la divergencia se produce en sentido contrario, es decir que la terminación distal de la cicatriz es bífida. Parece la señal de dos uñas afiladas y divergentes desde la punta del dedo hacia afuera.

Puede ocurrir que las dos ramas vuelvan a unirse dejando ojales estrechos (4TAO1.1, 4TAO5) amplios (4TAO4.4, 4TAO6.1) o intermedios(4TAO6.4). En los dos últimos casos el fondo comprendido entre las ramas es plano y subparalelo al techo del estrato.

4TAO6.3, 4TAO5, 4TAO4.4 y 4TAO4.3 muestran su zona interdigital hundida con respecto a su entorno, acompañada o no por fracturas circulares concéntricas con los hipex correspondientes (Fig. 3). Este tipo de fracturas no se habían descrito aunque si depresiones de la superficie de estudio en espacios interdigitales (Maning, 2004).

4TAO7 (Fig. 4) es totalmente diferente a las huellas anteriores. Los dedos se muestran por una costra plana, muy estrecha, de carbonato cálcico que los distingue; uno de los dedos está recorrido por una incisión rectilínea, aparentemente sobrepuesta a la costra de carbonato. Otra diferencia con las ícnitas anteriores es que se encuentra a 2-4 cm por debajo de la superficie superior. Por debajo de este nivel ya no se encuentran

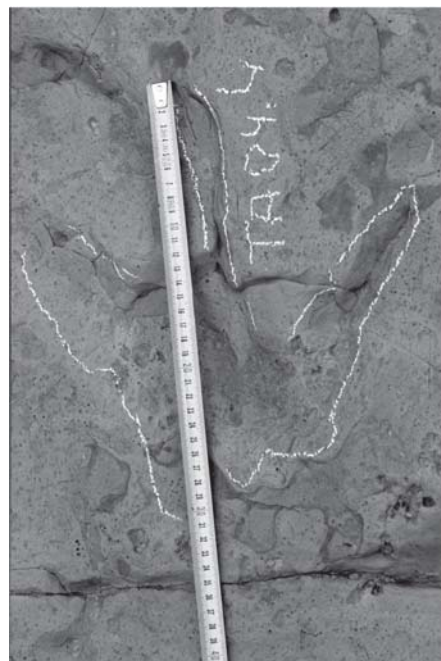
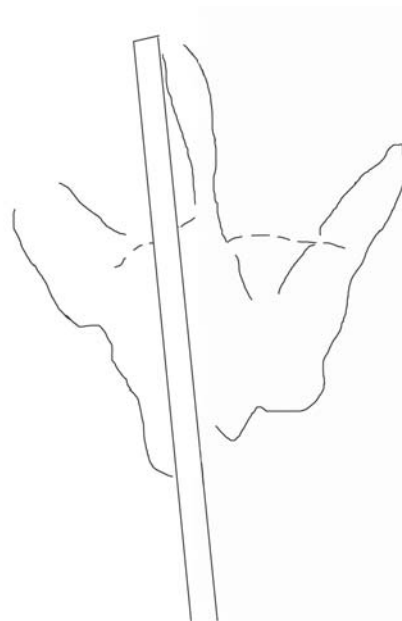


Fig.3.- 4TAO4.4. Fotografía y línea de contorno. Las líneas a trazos son fracturas circulares de la zona interdigital.

Fig. 3.- 4TAO4.4. Photography and outline footprint. The dashed lines are circular faults of the interdigital zone.



icnitas con lo que esta sería la superficie de apoyo del pie, con la que probablemente contactaría la base de los dedos. La costra de carbonato, también se encuentra en icnitas de la superficie superior, paralela a sus paredes (p. ej.: 4TAO4.3, 4TAO4.4 y 4TAO6.3) por lo que su origen, relacionado con las huellas, se superpone a las mismas. Todavía no hemos podido justificar porqué en uno de los dedos de 4TAO7 se encuentra la incisión rectilínea longitudinal citada, diferente a las cicatrices de fondo.

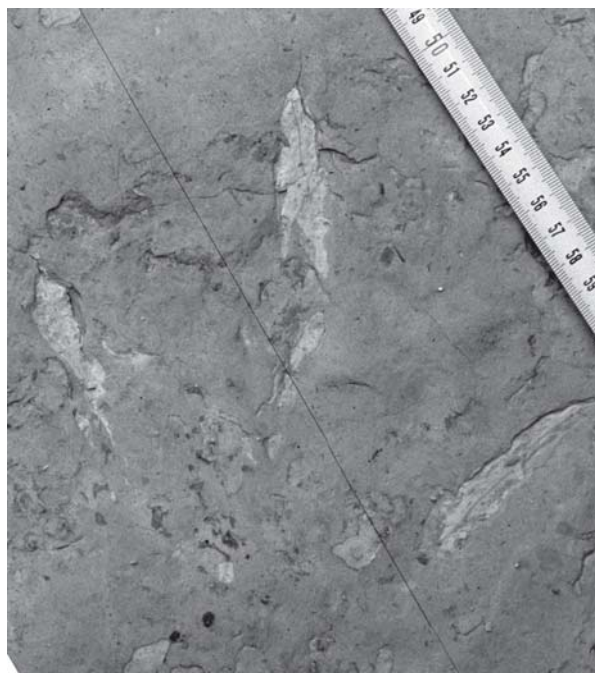
**Interpretación**

En trabajos publicados, la cicatriz de fondo y el estrechamiento de las paredes laterales de los dedos se han interpretado tanto por colapso (Romero *et al.*, 2001) como por corte de las capas al ser atravesadas por los dedos (Boutakiout *et al.*, 2006) en una forma parecida a la descrita por Gatesy *et al.* (1999). La división en dos cicatrices que divergen hacia la parte proximal o que forman ojales no son congruentes con la segunda de las hipótesis sino con la primera. La curvatura de las paredes de las marcas de los dedos se explican por caída gravitatoria. En consecuencia se concluye que tanto la cicatriz de fondo como al estrechamiento del hueco son estructuras de colapso.

La retroversión de las marcas de los dedos (Boutakiout *et al.*, 2006) es consecuencia del deslizamiento hacia delante de los hipex una vez que han quedado ya impresas total o parcialmente las marcas de los dedos

**Fig. 4.- 4TAO7. Costra de carbonato del fondo de la icnita.**

**Fig. 4.- 4TAO7. Carbonatic crust of the basal footprint structure.**



laterales. El deslizamiento se produce durante la fase T (Thulborn y Wade, 1989) o, lo que es lo mismo, en el intervalo entre el momento de contacto y el de la presión máxima del pie con el suelo.

En muchas de las icnitas las cicatrices se desdibujan al llegar a los hipex. Lo mismo ocurre con otras estructuras (la línea de contorno de la huella). Esta desaparición, se explica de la misma manera que el fondo plano que se encuentra entre las cicatrices

divergentes de los dedos: por la fluidez del barro y la subsiguiente homogeneización del sustrato.

Finalmente, las estructuras de caída por tensión en las zonas interdigitales de deformación («interdigital shear zone» o ISZ de Manning, 2004) en las icnitas con marcas estrechas de dedos debidas a colapso, se deben a la falta de volumen. El barro bajo el pie se desplaza lateralmente probablemente como consecuencia de mayor fluidez del mismo en los niveles inferiores y deja un hueco que se muestra en las ISZ como una depresión acompañada o no de fracturas de tensión.

Todas las estructuras son congruentes con icnitas impresas en suelo arcilloso muy blando con gran contenido de agua, similares a las producidas por deformación por licuación («liquefaction failure». Atkinson y Bransby, 1978; Manning, 2004).

**Identificación**

Las pisadas con marcas de dedos delgados que atraviesan el barro o que no producen huecos amplios son propias de icnitas terópodos y no de icnitas de extremidades graviportales (Boutakiout *et al.*, 2006) de «planta» amplia o de dedos relativamente muy gruesos.

Es probable que la longitud de las pisadas sea mayor que a la de los autopodios debido a deslizamiento del pie (Boutakiout *et al.*, 2006) y a posible transmisión de estructuras (Manning, 2004). Las medidas obtenidas (Tabla I) se encuentran en el límite (Romero *et al.*, 2003) entre terópodos grandes y pequeños - o antiguas icnitas de carnosaurios y de coelurosaurios (Thulborn, 1990).

Huella	longitud	anchura	II^III^IV	II^IV	II	III	IV	paso	ángulo de paso	zancada	altura acetabular
4TAO7	16	18		70							
4TAO6.4											
4TAO6.3	26	26		50							
4TAO6.2											
4TAO6.1											
4TAO5	30	30		65							
4TAO4.4	30	28		70				90			
4TAO4.3	31	27									
-----										140	
4TAO4.1	24	20	24----45	69							
4TAO3	25	26		80							
4TAO2.3											
-----										140	
4TAO2.1	26	26		70							
4TAO1.2								70			
4TAO1.1	26	26	35----30	65							
5TAO1.1	56	46									
5TAO1.2	75	43									
5TAO2	84	39									
6TAO1.4	33	23	4-----6	10	15	21		114		220	168
6TAO1.3								110	158	220	
6TAO1.2	31	23	0-----19	19	14	20	17	114	158		159
6TAO1.1	36		-----17			22	19				181

**Tabla I.- Medidas lineales (cm) y angulares de las icnitas y rastrilladas de 4TAO, 5TAO y 6TAO.**

**Table I.- Footprints and lineal (cm) and angle trackway measurements from the 4TAO, 5TAO and 6TAO sites.**

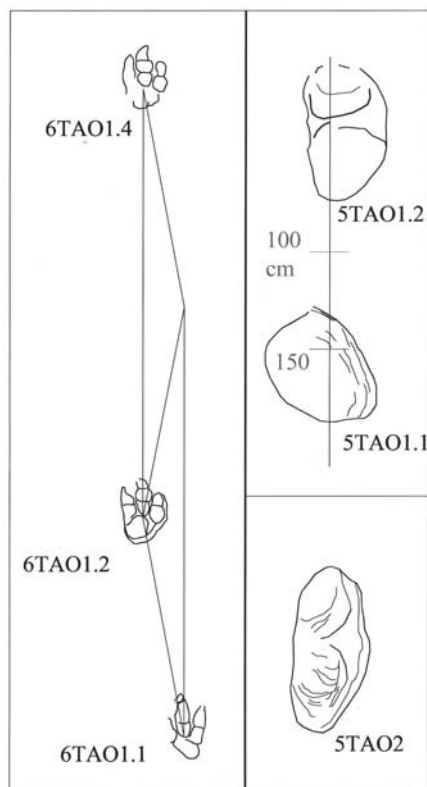


Fig. 5.- Icnitas de los yacimientos 5TAO y 6TAO.

Fig. 5.- *Ichnites of the 5TAO and 6TAO sites.*

#### Yacimiento 5TAO

El yacimiento es un voladizo en una serie de capas de dolomías situadas en la pared sur de la rambla. Contiene tres icnitas que son de identificación problemática. Las dolomías afloran en capas cuyo espesor varía entre 5 y 30 cm separadas por niveles milimétricos de lutitas. El afloramiento es pequeño e irregular. Dos de las icnitas 5TAO1.1 y 5TAO1.2 (Fig. 5) se relacionan por su proximidad mientras que la tercera (5TAO2) está separada por un espacio en el que en parte se ha erosionado la capa y en parte está cubierta.

Tanto 5TAO1.2 como 5TAO2 son marcas dobles porque cada una está formada por dos depresiones separadas por una elevación transversal del fondo de la icnita. Son impresiones de cuerpos de contorno redondeado en los que no se distinguen elementos internos. No hay tampoco diferencia sustancial entre lo que debería ser la marca de la mano y la del pie.

Hay estructuras a manera de pliegues irregulares del fondo de la huella, subparalelos al borde, similares a las descritas por otros autores (Romero *et al.*, 2001) y que se asocian al comportamiento fluido del barro (Manning, 2004).

Aunque no se distinguen otras marcas de elementos anatómicos se dibuja

bien la línea del contorno y la rebaba que las rodea. Las marcas redondeadas, asociación mano-pie, rebaba aparente, alargamiento del par mano pie indican que pueden pertenecer a icnitas saurópodos (Thulborn, 1990). El eje largo de las marcas 5TAO1.2 y 5TAO2 es paralelo, por lo que todas las marcas podrían pertenecer al mismo rastro.

La importancia de este hallazgo de la parte baja del Carixiense, radica en que los restos óseos saurópodos más antiguos encontrados hasta ahora en Marruecos son Toarcienses (Allain *et al.*, 2004), y los indirectos (icnitas) se han datado en el Pliensbaquiense (Jenny y Jossen, 1992).

#### Yacimiento 6TAO

Está situado en la pared Norte del mismo barranco que 5TAO unos 25 metros aguas arriba del mismo. La roca en la que se conservan las icnitas es también una dolomía oquerosa, aunque de un ritmo estratigráfico más bajo.

El yacimiento (Fig. 5) contiene una rastreada de cuatro icnitas. Tres muestran con claridad las marcas de dedos, almohadillas y uñas, mientras que la icnita 6TAO1.3 apenas está señalada por una depresión del terreno.

Las estructuras de las pisadas muestran caracteres claros de huellas terópodos grandes similares a *Eubrontes* (Hichcock, 1845 cf. Romero *et al.*, 2003). Los dedos son relativamente largos y fuertes, con impresiones de almohadillas dactilares y del «talón» (233?, 234?) y marcas de uñas muy visibles. La divaricación es baja y la asimetría de la pisada patente (la almohadilla del talón en continuidad con la del dedo IV; ángulo II^III menor que III^IV). Las marcas son de pie más largo que ancho y la relación  $z/l$  (de valor próximo a 7) congruente con lo anterior, indica dinosaurio de extremidades relativamente delgadas.

#### Conclusiones

Los resultados obtenidos en la prospección de los sedimentos carixienses del Alto Atlas marroquí en la región de Goulmima indican una gran riqueza en yacimientos de icnitas de dinosaurio. La variedad de morfotipos y de estructuras singenéticas con las icnitas descritas hacen que las posibilidades de nuevos hallazgos de valor parataxonómico y de interpretación de los procesos de formación de huellas sean de enorme interés en esta zona.

Es la primera vez que se citan icnitas saurópodos en el Carixiense del Atlas. Si tales huellas son de este tipo de dinosaurios, sería la referencia más antigua de la presencia de estos animales en Marruecos.

Finalmente, se han identificado icnitas que se podrían incluir en el icnogénero *Eubrontes*.

#### Agradecimientos

Este trabajo se ha hecho dentro del proyecto conjunto 111/04/P/M de la Agencia Española de Cooperación Internacional integrada en el programa de cooperación interuniversitaria entre España y Marruecos (Universidades de Rabat y de La Rioja). Agradecemos también a la Fundación Patrimonio Paleontológico de La Rioja la ayuda y cooperación prestada en material e instalaciones. Finalmente agradecemos también a Ana Calderón Ramírez su trabajo fotográfico y de campo.

#### Referencias

- Allain, R., Aquesbi, N., Dejax, J., Meyer, Ch., Monbaron, M., Montecat, Ch., Richeur, Ph., Rochdy, M., Russell, D. y Taquet, P. (2004). *Comptes Rendues Palevol*, 3, 199-208.
- Atkinson, J. H. y Bransby, P. L. (1978). *The mechanics of soils: an introduction to critical state soil mechanics*. McGraw Hill, 375 p.
- Boutakiout, M., Caro, S., Hadri, M., Nouri, J. y Pérez-Lorente, F. (2006). *Ichnos*, 13, 69-79
- Gatesy, S. M., Middleton, K. M., Jenkins, F. A. J. y Shubin, N. H. 1999. *Nature*, 399, 141-144.
- Manning, P. L. (2004). En: *The application of ichnology to palaeoenvironmental and stratigraphic analysis*. (D. McIlroy ed.) Geological Society, London. *Special Publications*, 228, 93-123.
- Hadri, M. (1993). *Un modèle de plate-forme carbonatée au Lias-Dogger dans le Haut Atlas Central au Nord-ouest de Goulmima. Maroc. Thèse de doctorat. Univ. de Paris-Sud*, 272p.
- Hitchcock, E. (1845). *Proceedings 6th annual meeting association american geologists and naturalists*, 23-25.
- Jenny, J. y Jossen, J. A. 1982. *Comptes Rendues de l'Academie des Sciences*, 294, 223-226.
- Pérez-Lorente, F., Hadri, M. y Boutakiout, M. (2006). *Geogaceta*, 40, 159-162.
- Romero, M. M., Pérez-Lorente, F. y Rivas, P. (2001). *Zubia*, 19, 61-96.
- Romero, M. M., Pérez-Lorente, F. y Rivas, P. (2003). En: *Dinosaurios y otros reptiles mesozoicos en España*. (F. Pérez-Lorente ed.) *Ciencias de la Tierra*, 26, 13-32.
- Thulborn, A. (1990). *Dinosaur tracks*. Chapman and Hall, 410 p.
- Thulborn, A. y Wade, M. (1989). En: *Dinosaur tracks and traces*. (D. D. Gillette y M. Lockley eds.). Cambridge University Press, 51-56.