

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/291832711>

Historia de yacimientos con huellas de dinosaurio. Alrededores de El Mers (Marruecos)

Article · January 2012

CITATIONS

7

READS

339

1 author:



Félix Pérez-Lorente

Universidad de La Rioja (Spain)

147 PUBLICATIONS 1,160 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Dinosaurios et leurs traces de pas dans le mésozoïque de la Région de l'Oriental (Maroc) [View project](#)



The lower Miocene continental facies of La Rioja (Ebro Basin, Spain) [View project](#)



30

ier

Instituto de Estudios Riojanos

ZUBÍA

REVISTA DE CIENCIAS.

Nº 30 (2012). Logroño (España).

P. 1-231, ISSN: 0213-4306

DIRECTORA

Purificación Ruiz Flaño

CONSEJO DE REDACCIÓN

Luis Español González

Rubén Esteban Pérez

Rafael Francia Verde

Juana Hernández Hernández

Luis Miguel Medrano Moreno

Patricia Pérez-Matute

Enrique Requeta Loza

Rafael Tomás Las Heras

CONSEJO CIENTÍFICO

José Antonio Arizaleta Urarte

(Instituto de Estudios Riojanos)

José Arnáez Vadillo

(Universidad de La Rioja)

Susana Caro Calatayud

(Instituto de Estudios Riojanos)

Eduardo Fernández Garbayo

(Universidad de La Rioja)

Rosario García Gómez

(Universidad de La Rioja)

José M^a García Ruiz

(Instituto Pirenaico de Ecología)

Javier Guallar Otazua

(Universidad de La Rioja)

Teodoro Lasanta Martínez

(Instituto Pirenaico de Ecología)

Joaquín Lasierra Cirujeda

(Hospital San Pedro, Logroño)

Luis Lopo Carramiñana

(Dirección General de Medio Natural del Gobierno de La Rioja)

Fernando Martínez de Toda

(Universidad de La Rioja)

Juan Pablo Martínez Rica

(Instituto Pirenaico de Ecología-CSIC)

José Luis Nieto Amado

(Universidad de Zaragoza)

José Luis Peña Monné

(Universidad de Zaragoza)

Félix Pérez-Lorente

(Universidad de La Rioja)

Eduardo Viladés Juan

(Hospital San Pedro, Logroño)

Carlos Zaldívar Ezquerro

(Dirección General de Medio Natural del Gobierno de La Rioja)

DIRECCIÓN Y ADMINISTRACIÓN

Instituto de Estudios Riojanos

C/ Portales, 2

26071 Logroño

publicaciones.ier@larioja.org

Suscripción anual España (1 número y monográfico): 15 €

Suscripción anual extranjero (1 número y monográfico): 20 €

Número suelto: 9 €

Número monográfico: 9 €

INSTITUTO DE ESTUDIOS RIOJANOS

ZUBÍA

REVISTA DE CIENCIAS

Núm. 30

ier

Gobierno de La Rioja
Instituto de Estudios Riojanos
LOGROÑO
2012

Zubía –N. 3 (1985)– . –Logroño : Instituto de Estudios Riojanos, 1985-v.; il.; 24 cm. Anual
D.L. Lo 56-1986
Es suplemento de esta publicación : Zubía. Monográfico, ISSN 0213-4306
Es continuación de : Berceo. Ciencias
ISSN 0213-4306 = Zubía
5/6

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de esta publicación pueden reproducirse, registrarse ni transmitirse, por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio, sea electrónico, mecánico, fotoquímico, magnético o electroóptico, por fotocopia, grabación o cualquier otro, sin permiso previo por escrito de los titulares del copyright.

- © Logroño 2012
Instituto de Estudios Riojanos
C/ Portales, 2
26001-Logroño, La Rioja (España)
- © Diseño de cubierta e interior: ICE Comunicación
- © Fotografías de cubierta y contracubierta: Liquen *Letharia vulpina* creciendo sobre un tronco muerto de los tejos del río Calamantío, La Rioja (Andrés Ruiz Bastida).
Tejos en la zona del río Calamantío (La Rioja) sobre los que crece el liquen *Letharia vulpina* (Andrés Ruiz Bastida).

Producción gráfica: Reproestudio, S.A. (Logroño)

ISSN 0213-4306
Depósito Legal LO-56-1986

Impreso en España - Printed in Spain

ÍNDICE

TEODORO LASANTA MARTÍNEZ, MARÍA PAZ ERREA ABAD

Homogeneización y fragmentación en el paisaje rururbano de Logroño
Homogenisation and fragmentation in rur-urban landscape of Logroño 7-28

NEREA JIMÉNEZ HERNÁNDEZ, ELSA MARTÍNEZ LAFUENTE, IGNACIO DÍAZ-MARTÍNEZ, FÉLIX PÉREZ-LORENTE

Icnitas terópodos (Dinosauria) muy grandes en el grupo de Enciso. Yacimiento de Los Piojos (Igea, La Rioja, España)
Great theropod (Dinosauria) ichnites in Enciso Group. Los Piojos tracksite (Igea, La Rioja, Spain) 29-43

MIKE ROMANO, MARTIN A. WHYTE

Information on the foot morphology, pedal skin texture and limb dynamics of sauropods: evidence from the ichnological record of the Middle Jurassic of the Cleveland Basin, Yorkshire, UK
La dinámica de las extremidades, la forma y la textura de la piel de los autopodios de dinosaurios saurópodos: información obtenida del registro icnológico del Jurásico Medio de la Cuenca de Cleveland, Yorkshire, Reino Unido 45-92

MAJID HADRI, FÉLIX PÉREZ-LORENTE

Historia de yacimientos con huellas de dinosaurio, desde su descubrimiento hasta su primer estudio. Alrededores de El Mers (Marruecos)
The history of the dinosaur tracksites from discovery to first study. The El Mers (Morocco) 93-140

RUBÉN BUENO MARÍ

Estudio faunístico y eco-epidemiológico de los mosquitos (Diptera, Culicidae) de La Rioja (Norte de España)
Faunistic and eco-epidemiological study of the mosquitoes (Diptera, Culicidae) from La Rioja (Northern Spain) 141-161

JAVIER MARTÍNEZ-ABAIGAR, ENCARNACIÓN NÚÑEZ-OLIVERA, ANDRÉS RUIZ-BASTIDA, PEPA RAMÍREZ-SÁENZ, JAVIER ETAYO

El líquen *Letharia Vulpina* (L.) Hue sobre los tejos del río Calamantío, nueva cita para La Rioja (Norte de España)
The lichen Letharia Vulpina (L.) Hue on the yews in the river Calamantío, new record for La Rioja (Northern Spain) 163-173

MARÍA PILAR SÁENZ-NAVAJAS, MARIVEL GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, EVA CAMPO, PURIFICACIÓN FERNÁNDEZ-ZURBANO, VICENTE FERREIRA

Los vinos tintos españoles de calidad, ¿a qué huelen según los expertos?
Spanish quality red wines. How do they smell according to experts? 175-197

DANIEL ROSÁENZ OROZ, RODRIGO MARTÍNEZ RUIZ, LUIS VAQUERO FERNÁNDEZ

Elaboración del vino de hielo en La Rioja: impacto de la congelación natural y artificial
Icewine making in La Rioja: impact of natural vs artificial freezing 199-223

HISTORIA DE YACIMIENTOS CON HUELLAS DE DINOSAURIO, DESDE SU DESCUBRIMIENTO HASTA SU PRIMER ESTUDIO. ALREDEDORES DE EL MERS (MARRUECOS)

MAJID HADRI¹,
FÉLIX PÉREZ-LORENTE²

RESUMEN

Este trabajo escrito, que está dedicado a mostrar la historia de los yacimientos con huellas de dinosaurio, se adapta a los objetivos del ciclo de conferencias del Instituto de Estudios Riojanos que se celebran en Enciso desde 1992. La conferencia se basa en la experiencia de muchos años de trabajo en el estudio de yacimientos paleoicnológicos aprovechando el último descubrimiento hecho por nosotros en Marruecos. El objetivo es mostrar lo que suele ocurrir en muchos yacimientos que se descubren y en las etapas que se divide todo el trabajo.

El descubrimiento, de los yacimientos de El Mers ha sido algo más complejo que en otros lugares. Además, las huellas descritas son verdaderamente interesantes por la variedad de morfotipos y por las estructuras que acompañan a algunos de ellos. Es la primera vez que se citan en literatura científica las estructuras de las huellas del yacimiento 1ELM.

Palabras clave: Paleoicnología, estructuras mixtas, dinosaurios, Bato-niense, Atlas Medio, Marruecos.

This written work is dedicated to showing the history of the sites with dinosaur footprints. He agree with the objectives of the I.E.R. conference cycle that take place in Enciso since 1992. The conference is based on the experience of many working years on the paleoichnological site studies. For its development we took advantage of the late discovery made by us in

-
1. Faculté des Sciences. Universidad Mohamed V. Avda. Ibn Batota, s/n, Rabat-Agdal, Marruecos.
 2. Edificio CT. Universidad de La Rioja. C/ Madre de Dios, 51-53. 26006 Logroño, La Rioja, España. felix.perez@unirioja.es

Morocco. The aim is to show what usually happens when many deposits are discovered and in the steeps that divided all the work.

The discovery of El Mers sites has been more complex than others. In addition, traces described are truly interesting for the variety of body types and structures that accompany some of them. It is the first time that the footprint structure types of 1ELM site are cited in scientific literature.

Key words: Palaeoichnology, composite footprint structures, dinosaurs, Bathonian, Middle Atlas, Morocco.

1. INTRODUCCIÓN

El significado de la palabra “descubrimiento” empleada en los yacimientos con huellas de dinosaurio es relativa. No está claro cuando se debe decir que se produce el descubrimiento porque los habitantes de los pueblos suelen saber donde hay huellas fosilizadas, y por lo tanto los descubridores son ellos. Quizá se debe aplicar la palabra al momento en que una persona reconoce que las señales son huellas fósiles dejadas por los pies de un dinosaurio. Hay gente que al difundir el “descubrimiento” se proponen como autores porque son ellos los que lo dan a conocer en círculos amplios de gente de fuera del lugar.

Uno de los afloramientos que presentamos se ha descubierto por lo menos en tres ocasiones. Este artículo muestra que la historia se repite muchas veces y que si el trabajo se termina, comprende desde el conocimiento de las icnitas hasta el estado final de edición de resultados del estudio.

La secuencia de acontecimientos y labores de trabajo en los lugares con huellas de dinosaurio abarca las siguientes partes fundamentales:

- 1) Descubrimiento, que suele hacerse por personas que no están relacionadas con la paleontología;
- 2) Visita y toma de datos geológicos y paleoicnológicos por investigadores a los que se les ha comunicado la existencia del yacimiento;
- 3) Estudio y análisis de los datos obtenidos
- 4) Publicación del contexto geológico y contenido paleontológico.

Actualmente, muchas personas saben lo que son los dinosaurios y por lo tanto resulta muy difícil descubrir nuevas acumulaciones de sus huellas: es decir que todos los lugares con icnitas de dinosaurio en los que las marcas de las pisadas son aparentes, son conocidos por unos o por otros, tanto en nuestros países como en los afloramientos remotos. Muchos de los lugares con huellas nos los han señalado los pastores. Más adelante queda patente que ya se sabía desde hace mucho tiempo la localización de algún yacimiento de icnitas de dinosaurios en El Mers y en el Oued Tamghilt (figura 1).

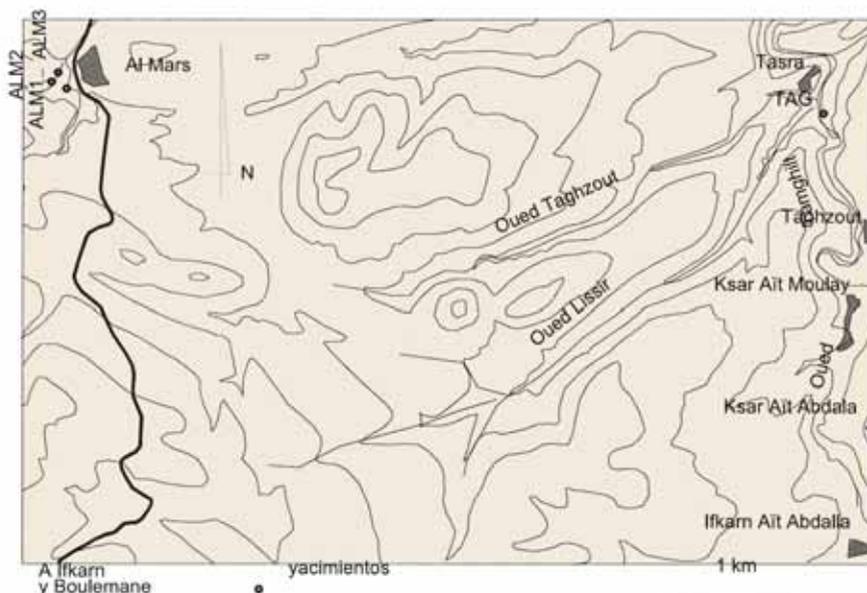


Figura 1. Plano detallado de la situación de los yacimientos.

La región de El Mers es famosa por los yacimientos con huesos fósiles de dinosaurio, que se conocen desde que en 1927 dos agentes de las fuerzas auxiliares marroquíes llevaron huesos enormes de dinosaurios al puesto militar de El Mers.

Recientemente, se relanzaron los estudios sobre paleoicnología gracias a la cooperación hispano-marroquí, que permitió fundar un equipo amplio de investigadores marroquíes y españoles –que inicia sus publicaciones a partir del año 2001– encabezado por Pérez-Lorente con una nueva concepción de la interpretación de las icnofacies. Este enfoque nuevo estudia no solo la identificación de las pisadas sino también la relación entre el comportamiento del sedimento y el tipo y movimiento de las extremidades de los icnopojetas.

Partimos de la hipótesis de que el comienzo de la historia de un yacimiento es el instante en el que se reconocen las huellas de dinosaurio en un paraje. Los caminos por los que se llega al descubrimiento son varios. En este trabajo se describen cuatro lugares cuyo hallazgo ha sido hecho independientemente por varias personas.

2. DESCUBRIMIENTO

En general, las huellas de dinosaurios se encuentran en conjuntos de afloramientos relativamente próximos. Es difícil descubrir un afloramiento

nuevo en un paraje alejado de otros lugares con huellas. De los cuatro yacimientos analizados en este trabajo solamente se disponía de la situación concreta del primer afloramiento de El Mers (Jenny *et al.*, 1981). De los demás, dos son nuevos y del cuarto no había información precisa (solo se sabía que había unos trece en el Oued Tamghilt [Meyer y Thüring, 2004, 2005]).

2.1. Localización geográfica y geológica (figuras 2 y 3)

El Mers está a unos 120 Km al SE de Fez y a 20 Km de Boulemane. La región forma parte del borde Sur del Atlas Medio Plegado. Es una región con montañas altas y valles de dirección NE-SW abiertos.

Todos los afloramientos están en la *Feuille NI-30-VIII-2 de Maroc*, escala 1/100000 IMMOUZER DES MARMOUCHA (figura 2). Tres de ellos muy próximos al aduar de El Mers y el otro entre los aduares de Tasra y Taghzout. La situación en coordenadas UTM según el datum de la hoja citada es:

1ELM	365308E/3701709N
2ELM	365199E/3701759N
3ELM	365247E/3701829N
TAG	370795E/3701583N

La zona estudiada está en un sinclinal (figura 3) con sedimentos del Jurásico Medio (Bajociense-Batoniense) al Sur del anticlinal de Jbel Tichoutkht, Durante el Lias inferior se encontraba aquí el borde norte de la plataforma Medio Atlásica del Sur. En el Batoniense la zona era una plataforma carbonatada poco profunda con influencias continentales (llanura deltáica y sebkha) que se caracterizan por aportes terrígenos rojos (alternancias de sedimentación carbonatada con areniscas y arcillas rojizas) que suponen el final del relleno de la cuenca de El Mers. Los cuatro yacimientos están colocados en niveles estratigráficos diferentes y en dos formaciones diferentes (figura 2). Uno en la Formación de Jbel Bou Akrabène e Ich Timellanine (Batoniense medio según Soufiani y Fedan [2002]), y el otro en la parte baja de la Formación de El Mers (también del Bathoniense medio según los mismos autores).

2.2. Historia

Termier (1936) fué el primer geólogo que examinó los huesos fósiles de El Mers, y fué el que precisó que las series rojas que tienen los restos de dinosaurios y cocodrilos son de edad Batoniense. Más tarde (Termier *et al.*, 1940) publicaron el primer trabajo sobre los huesos (reptiles y peces) citados. En 1940 y 1941 Lapparent dedicó su investigación a estos restos que publicó más adelante (Lapparent, 1942, 1955).

A partir de 1970 el Servicio Geológico de Marruecos empezó la cartografía geológica de Marruecos a escala 1:100.000 en el Alto Atlas Central.

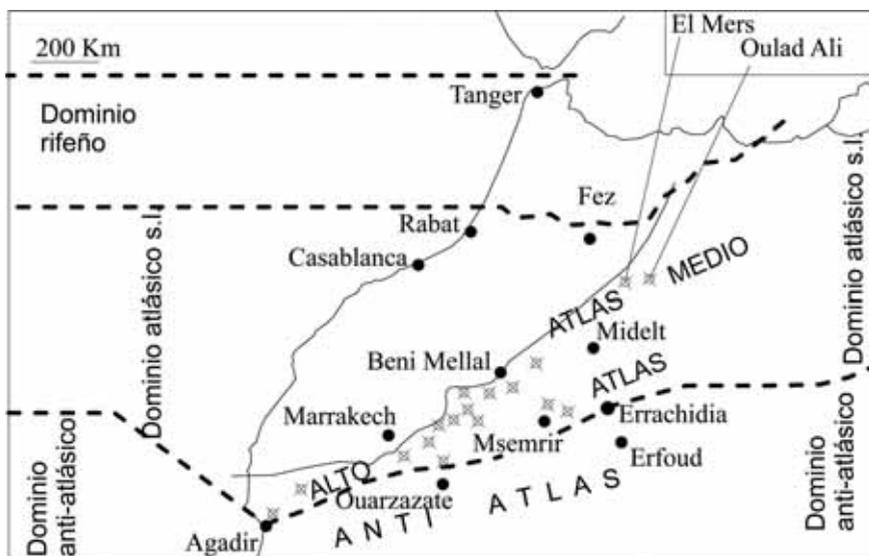


Figura 2. Situación de los yacimientos marroquíes conocidos con huellas de dinosaurio.

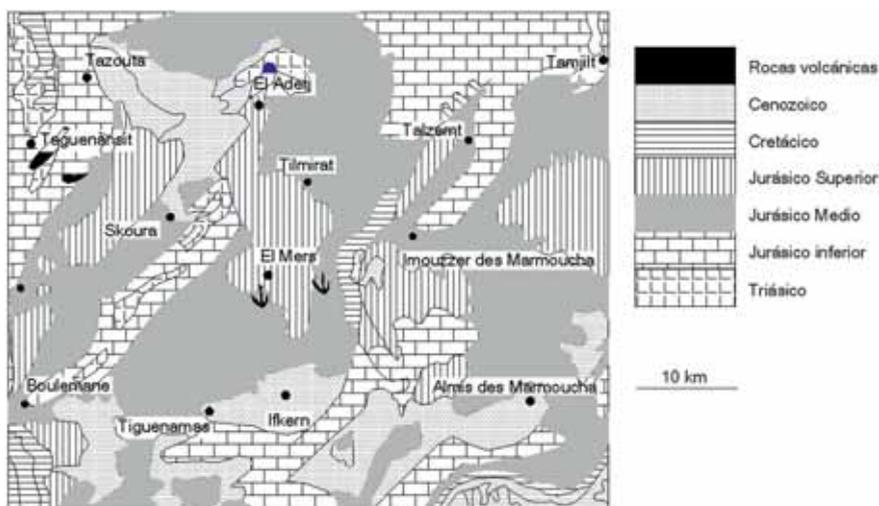


Figura 3. Mapa geológico con la situación de los yacimientos estudiados.

Con ello se renueva el interés por los dinosaurios y sus huellas: Lapparent (1942, 1955) Monbaron, (1979, 1983) Monbaron y Taquet (1981) Monbaron *et al.* (1985, 1999); Jenny *et al.* (1981); Jenny y Jossen (1982); Milhi (1997); Hadri (1998).

Los primeros que citan huellas de dinosaurio en Marruecos son Plateau *et al.* (1937) a quienes siguen parte de los trabajos citados. El primer trabajo que sintetiza las icnitas es el de Jenny *et al.* (1981) que hemos seguido todos los que trabajamos en esta especialidad. La fecha en la que se conocieron las huellas de El Mers es más reciente (Hallam y Torres, 1969, cf. Jenny *et al.* 1981). Ishigaki (1985, 1989) es otro autor fecundo sobre el tema, que presentó un estudio tipológico de las huellas del Alto Atlas y sus clasificaciones. Los autores de este trabajo participan activamente en el estudio de icnitas de dinosaurios de Marruecos, habiendo firmado ambos los trabajos siguientes: Boutakiout *et al.* (2006, 2008a, 2008b, 2009a, 2009b), Hadri *et al.* (2007a, 2007b), Pérez-Lorente *et al.* (2006, 2007)

Uno de los yacimientos con icnitas de El Mers se conocía en la literatura desde hace mucho tiempo. No fueron los primeros geólogos que recorrieron la región los que las citaron, sino que Jenny *et al.* (1981) son probablemente los primeros en dar referencia escrita de lo que en este trabajo se denomina 1ELM. “de belles empreintes tridactyles dans le lit de l’oued au SW du poste administratif d’El Mers, deux centes mètres en amount d’un petit aqueduc (Hallam et Torrens, comm. pers.)”. La referencia vuelve a salir en los comentarios de M. R du Dresnay a la presentación del trabajo de Charroud y Fedan (1992). El comentario dice que la capa con huellas de dinosaurio de la base de la formación de El Mers se presentó como comunicación oral en el simposio de W. Smith de 1969 en Londres.

Soufiani y Fedan (2002) estudian la estratigrafía de la región y colocan los yacimientos con huellas y con huesos en el Batoniense medio (parte inferior de la Formación de El Mers). En la zona se conocen muchos puntos con fósiles de dinosaurios, tanto de huellas como de osamentas. Charroud y Fedan (1992) escriben que desde 1927 en la localidad de El Mers se han sacado huesos de *Cetiosaurus*, en terrenos similares a los del yacimiento de Boulahfa (cerca de Boulemane). Aunque ambos yacimientos están en la misma formación, la edad de Boulahfa es Batoniense superior.

Meyer y Thüring (2004, 2005) citan icnitas saurópodos aisladas y terópodos pequeñas en la base de la Formación de El Mers aparentemente similares a las del yacimiento de ELM. Sin embargo la edad que proponen es diferente porque indican que sería Batoniense superior-¿Calloviense?

Además, en Meyer y Thüring (2004, 2005) se refieren tres localidades en el cañón del Oued Tamghilt con icnitas tridáctilas y saurópodos de via estrecha (*Breviparopus*). Estas huellas están en la parte media de la formación Ich Timellaline y de la formación Jbel Bou Akrabène (Batoniense inferior o Batoniense según sea la publicación de 2004 o de 2005). El tamaño de las primeras, atribuidas a dinosaurios terópodos, va desde 15 hasta 40 cm. Las grandes

las incluyen en el ichnogénero *Megalosauripus* Lockley, Meyer y Santos 1998. Es posible que el yacimiento TAG sea uno de los mencionados.

En varias páginas de Internet están fotografiados yacimientos del cañón del Oued Tamghilt, algunas de cuyas imágenes son de TAG. (<http://dinosaur.es.free.fr/images/tarzouta/images>)

El yacimiento 1ELM lo redescubrieron dos profesores jubilados de la Universidad de Rabat llamados A. Berrada y S. Gharbaj. La fecha en la que se produce la comunicación de los profesores a su compañero geólogo Hadri es en el 2010.

Hadri y Pérez-Lorente, que han trabajado previamente sobre huellas de dinosaurios (yacimientos de Aghbalou, Taoudatt, Iouaridène y Msemrir, tratan por primera vez este tema en el año 2010 y acuerdan ir al campo en septiembre de 2010. Otros compromisos impiden el viaje. En marzo de 2011 se hace la primera visita conjunta a El Mers (Ifkrane), pero una vez en el campo, hay una avería en el vehículo todo terreno que obliga a trasladarlo a un taller especializado en Fez con lo que el tiempo disponible se pierde. Finalmente, en marzo de 2012 nos juntamos en el campo un equipo de cuatro personas: el Dr. Reinhard Smith Effing (profesor de paleontología de la Universidad de Marbourg), Ricardo Ochoa Martínez (aficionado de Enciso) y los firmantes de este artículo. Fue un tiempo frío y en el que llovió abundantemente en la región, hasta el punto de calarnos hasta los huesos el día que tomamos los datos del yacimiento de Taghzou.

3. LOS DATOS

3.1. Datos geológicos

3.1.1. Estratigrafía

El relleno sedimentario mesozoico de esta región (figura 3), considerada como el depocentro de El Mers (Fedan, 1988) es muy potente.

En los sedimentos triásicos se refleja la apertura del rift abortado del Atlas Medio y Alto (Hadri, 1993) en las lavas toleíticas intercaladas en las arcillas rojas salinas. Los afloramientos de basalto están en el núcleo de anticlinales y en la base de fallas grandes hercínicas que se activan durante la Orogenia Alpina.

En el Jurásico Inferior la región es marina poco profunda de influencia mesogéica en la que se deposita una serie potente de sedimentos carbonatados. La región era inestable, y en consecuencia hay muchos cambios de facies y de potencia de los sedimentos entre una parte y otra de los flancos del sinclinal. La serie estratigráfica sintética del Jurásico se ha dividido en dos grandes ciclos sedimentarios o megasecuencias (Choubert y Faure-Maurtet, A. 1967).

- La primera secuencia comienza en el Lias inferior en un medio de sedimentación de tipo plataforma carbonatada con calizas, calizas arrecifales y calizas dolomíticas. Estas calizas afloran en el centro de los anticlinales dando la parte alta de las montañas. La secuencia termina en el Bajociense inferior a medio en margas verdes a azuladas con fauna pelágica (ammonites, belemnites) relacionadas con medio sedimentario profundo. En los afloramientos de margas se instalan valles largos de dirección NE-SW a ambos lados del pliegue de Tichoukht.
- La segunda megasecuencia empieza en el Bajociense medio con las “calizas de la cornisa” (Dresnay, 1965) que producen cortados enormes e imponentes y que son un nivel guía excelente. Son calizas oolítico-bioclásticas fosilíferas relacionadas con medios agitados de plataforma poco profunda. El resto de sedimentos de esta megasecuencia son detríticos rojos con influencia continental y calizas de varios tipos, a veces, fosilíferas. La fauna que contienen es Batonienense (Fedan, 1988).

3.1.2. *Análisis secuencial*

La formación de El Mers se ha descrito como una mesosecuencia con dos términos diferentes: la formación de El Mers en sentido estricto y las calizas negras de Kitane (Fedan, 1988). Actualmente se divide (figura 4) en Formación El Mers y la Formación de Kitane (Soufiani, 1999).

La formación de El Mers se compone de al menos seis secuencias de tercer orden de las que solo nos interesan las primeras, que son las más bajas, porque tienen muchas huellas de dinosaurios. Encontramos al menos ocho secuencias de tercer orden dentro de la secuencia que muestran espesores crecientes desde la base hasta el techo.

3.1.2.1. Secuencia 1 de tercer orden (figura 5)

Esta secuencia, de unos 8 m. de potencia está sobre la barra de calizas oolítico-bioclásticas d'Ich Iguidar. La microfacies es de micritas wakestone a packstone que evolucionan a grainstone en las que hay lamelibranquios de género *Mytylus*. La parte superior de la secuencia termina en un nivel dolomítico amarillento cuyo techo es una superficie de erosión irregular muy oxidada, que corresponde a una discontinuidad sedimentaria. En la misma superficie hay bulbosidades que se prestan a confundir con huellas de dinosaurios gigantes.

El detalle de esta secuencia de tercer orden muestra siete secuencias elementales irregulares cuyo espesor disminuye desde la base hacia el techo. Cada secuencia elemental comienza con niveles finos de margas negras o margocalizas negras, con laminación muy fina que evolucionan a calizas laminadas bioturbadas. En el techo se ven tanto ripples de oscilación como grietas de desecación. La fauna original está representada por *Rhizocoralium*, bioturbación y ostrácodos. Los niveles de lumaquellas (cen-

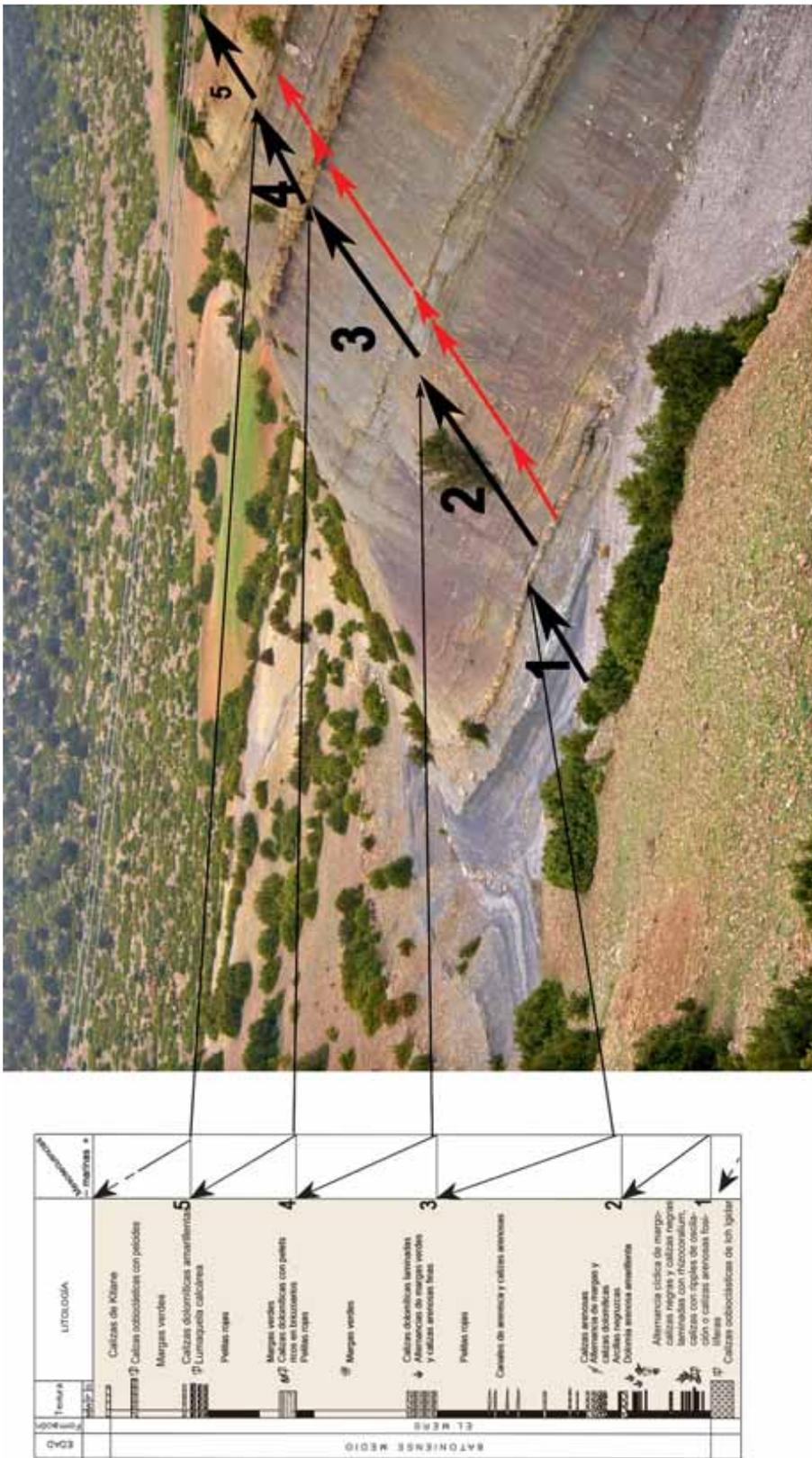


Figura 4. Columna estratigráfica y localización en las proximidades de IELM de la parte inferior de la Formación de El Mers.

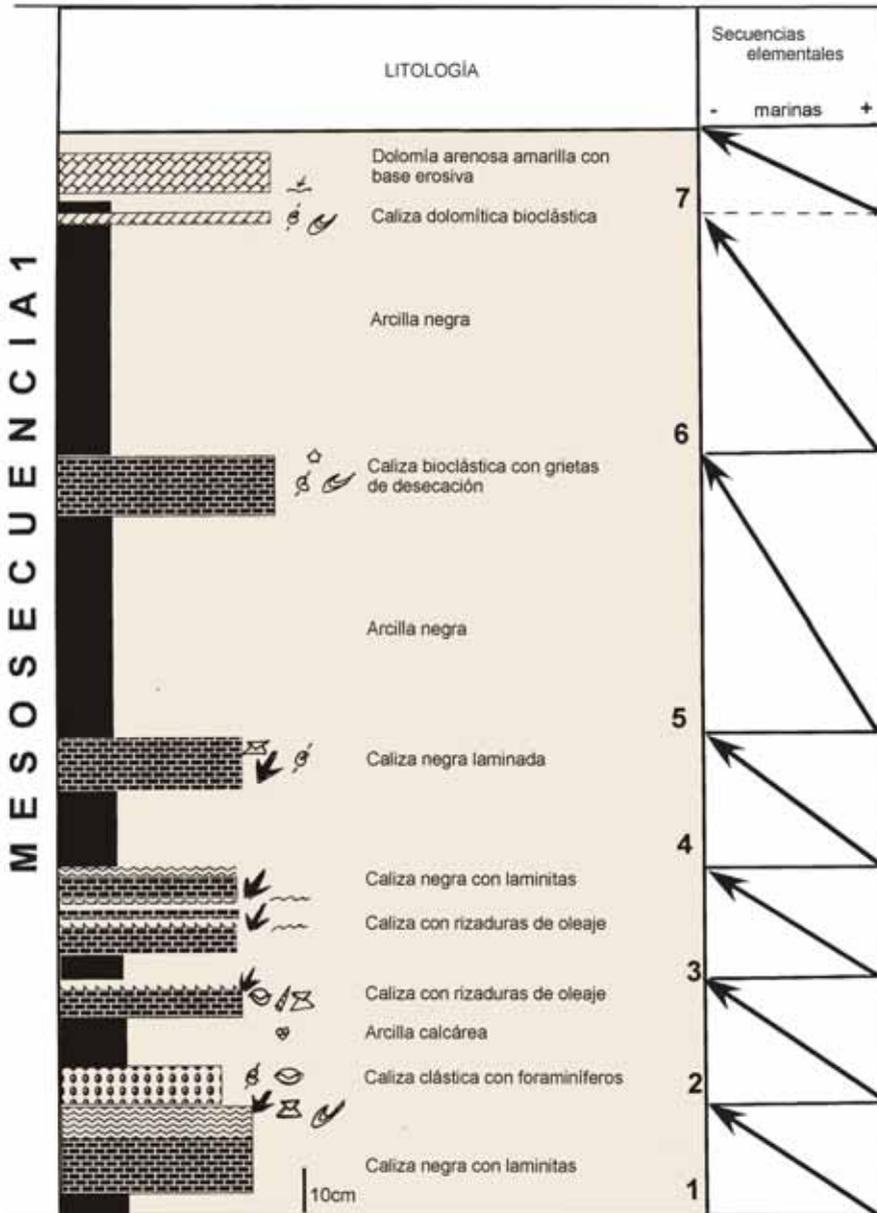


Figura 5. Mesosecuencia 1. Niveles inferiores con icnitas.

timétricos) intercalados, son coladas de barro con base erosiva que proceden de la zona de energía alta (plataforma externa) y se depositan en un medio tranquilo y anóxico. La organización de los elementos que constituyen la secuencia elemental, evoca a una secuencia marino-litoral.

A la vez, estas secuencias elementales están compuestas por minisequencias con tendencia regresiva, que terminan con depósitos milimétricos con rizaduras de oscilación.

3.1.2.2. Secuencia 2 de tercer orden

Esta secuencia se compone de dos secuencias elementales. La primera empieza inmediatamente encima de la superficie irregular y oxidada del ciclo precedente con una sedimentación calizo-margosa y se termina en margas verdes en niveles finos y calizas dolomíticas (centimétricas) amarillentas. Los bancos calizos son grandes canales submarinos encajados en las margas verdes.

La segunda secuencia empieza con niveles margosos y termina en depósitos rojizos continentales en cuyo seno abundan los niveles calizos arenoso-dolomíticos centimétricos canaliformes.

3.1.2.3. Secuencia 3 de tercer orden

Se distinguen dos secuencias elementales en el seno de esta secuencia. La primera reposa directamente sobre las arcillas rojas subyacentes. Está formada por margas verdes compactas de aspecto nodular y termina en calizas arenosas dolomitizadas. El techo está tapizado por incitas grandes de dinosaurio. Estas huellas marcan el final de este ciclo sedimentario.

La segunda secuencia elemental, más potente, comienza con sedimentación margosa fina de unos 6 m de espesor y termina con depósitos predominantemente continentales representados por arcillas rojas. El cambio de facies refleja el cambio de medio de sedimentación de lagoon a llanura deltaica de inundación.

3.1.2.4. Secuencia 4 de tercer orden

Se distinguen dos secuencias elementales en el seno de esta secuencia. En la base, un lecho potente de caliza bioclástica con peletoides dolomitizados de color amarillo. En la base hay marcas de bioturbación enormes y en el techo laminitas de origen algal.

La secuencia siguiente empieza con margas verdes y termina con arcillas arenosas rojizas. En el centro de la secuencia, hay tres bancos centimétricos de lumaquellas calizas que se intercalan en las arcillas. Estos bancos están formados por conchas rotas que indican la proximidad de una zona de alta energía. Se reconocen conchas de braquiópodos, gasterópodos, lamelibranquios, erizos y briozoos. Los fragmentos forman bandas similares a canales anchos en un medio en el que la sedimentación es predominantemente continental

3.2. Los datos paleoicníticos

3.2.1. *Pies e icnitas de dinosaurios*

Los trabajos de campo sobre icnitas de dinosaurio son diferentes según el objetivo que se persigue:

- Para identificar las huellas (parataxonomía) y sus icnopoyetas, es suficiente con determinar los caracteres morfológicos discriminantes de los icnotipos. Solo se deben estudiar y tomar datos sobre estampas.
- Sin embargo, si el objetivo es el estudio de las icnitas (incluidas las implicaciones debidas a sus condiciones de formación y su asociación), son necesarias más determinaciones.

Nosotros estudiamos todos los yacimientos porque el concepto básico que pretendemos estudiar es “icnitas de dinosaurio”, es decir el resultado, las formas y las causas de la deformación producida en el suelo por pies (icnitas) de dinosaurios (icnopoyetas) y sus relaciones.

Los datos que hay que tomar para el estudio icnítico tienen que servir para el inventariado de:

- Las huellas (forma, estructuras que las acompañan, datos métricos y angulares)
- Las rastrilladas (datos métricos y angulares: pasos, zancadas, luz y amplitud de rastrillada, orientación, ángulo de paso)
- Los grupos (posición relativa de todas las rastrilladas e icnitas).

Otras observaciones habituales en el yacimiento son la posición de la superficie de estudio (dirección y buzamiento), composición “a visu” de la roca huésped y de la capa inmediatamente superior, estructuras del techo del estrato con pisadas (rizaduras, grietas de desecación u otras), potencia del estrato, fósiles acompañantes y color de la roca.

Este inventario se ha de analizar para obtener conclusiones de mayor rango (identificación y comportamiento).

Los términos icnológicos empleados son los clásicos (Leonardi, 1987) complementados con otros más recientes (c.f. Allen, 1997; García-Raguel *et al.*, 2009; Melero y Pérez-Lorente, 2011).

3.2.2. *Preparación y referencias*

El trabajo de campo sobre los afloramientos consta de varias fases: limpieza, preparación de la superficie y toma de datos.

La limpieza no suele incluir excavación. Se limpia la superficie de estudio de piedras, montones de tierra y plantas pequeñas con cepillos, paletas y azadas. Se puede considerar que la limpieza es también la preparación de

la superficie. Hay afloramientos que son ampliables por excavación, pero esa operación es más compleja. Por una parte necesita financiación especial, por otra el análisis de posibilidad de destrucción del patrimonio sobre las icnitas que se afloren.

Sobre la superficie se establece un sistema de referencia para situar las pisadas y las características que puedan ser útiles en la descripción o estudio.

Para inventariar las icnitas hay que darles nombres particulares de identificación. Nuestro sistema se basa en un acrónimo del lugar en el que se encuentran. Se consideró que los tres afloramientos situados en las proximidades del pueblo de El Mers forman parte de un mismo yacimiento que llamamos ELM (1ELM, 2ELM, 3ELM, de más antiguo a más moderno) y que el cuarto, situado entre los aduares de Tasra y Taghzout se llamaría TAG. Las secuencias de pisadas se distinguen con un número que sigue al del afloramiento (p.ej.: 1ELM1) y las icnitas se reconocen por el número de orden en la rastrillada (p.ej.: 1ELM1.2). Las huellas aisladas se supone que forman parte de rastrilladas no descritas (p.ej.: 1ELM26).

3.2.3. *Reproducción de las huellas*

Para representar las huellas se pintan con tiza en la superficie de estudio, al menos dos líneas estructurales: una que es la línea límite del hueco de la huella (línea de contorno) y otra que recorre la parte exterior de su rebaba. La primera de las líneas es diferente si lo que se intenta representar es el contorno del pie que produjo la huella, o el límite del hueco de la huella, independientemente del icnopoyeta (pie o pisada).

Si se trata de reproducir el contorno anatómico del pie, no se pueden pintar huellas a no ser que sean estampas, es decir la reproducción exacta de su suela. Si se trata de pintar la pisada se resaltan también otras estructuras como son el límite del relleno (contramoldes y subhuellas), rebabas, fracturas inducidas por la pisada, u otras.

Sobre cada una de las huellas se dibujaron con tiza las dos líneas más importantes citadas. El trazado de las líneas es subjetivo, y muchos paleoicnólogos no tienen la misma opinión al dibujar las líneas que se han de destacar en las pisadas.

Luego, en el gabinete se dibuja un plano con las estructuras a escala. Para hacerla con máxima fidelidad, se hace una fotografía de cada huella, una vez que se ha colocado encima un bastidor de metal en cuyo interior hay una red de 5 cm de luz. La reproducción sobre plano de las líneas características de las huellas se hace mediante una combinación de programas de imagen y de diseño. En teoría lo que se persigue es una representación de la superficie de estudio.

En las icnitas de estos afloramientos han dibujado con tiza las siguientes líneas:

- Límite exterior de las rebabas y estructuras indirectas lineales (fracturas).
- Límite superior de la pared de la huella (incluidas las marcas de las uñas y el inicio de la pisada, o del contacto del pie con el suelo del inicio de la fase T (línea de contorno).
- Líneas de separación entre las almohadillas dactilares.
- Estrias y cicatrices de entrada y salida de los elementos autopodiales cuando penetran en el barro o cuando salen de él.
- Las impresiones de metatarso (incluida en la línea de contorno).

3.2.4. *Plano de conjunto, rastrilladas y grupos*

Hemos dicho que la superficie con huellas, que no suele ser plana, se llama superficie de estudio y de ella se mide su dirección y buzamiento. En la superficie de estudio se pinta un punto que sirve de origen de un sistema de coordenadas o de líneas de referencia, que también se dibujan sobre la superficie. La base de referencia, que varía según el tipo de afloramiento, es un reticulado (1ELM, 3ELM) de cuadrados (figura 6) o una línea recta (2ELM, TAG) lo más paralela posible a la línea media de las rastrilladas (figura 7). Las líneas de referencia se pintan con tiza. Dentro del cuadrícula con tiza están las pisadas y se distinguen las rastrilladas sobre las que se hacen las medidas que proporcionarán los datos morfométricos (figuras 8 y 9). La colocación relativa de las icnitas se hace empleando la cuadrícula o la línea de referencia. Sobre las huellas se coloca un bastidor con una red cuya luz es de 5 cm que sirve para dibujarlas a escala. El reticulado y la línea sirven de base para conocer la situación del bastidor (red portátil) y se hace la fotografía de las pisadas.

Si nuestro equipo cuadrícula un afloramiento, el resultado es una malla cuadrada de líneas de 30x30 cm de la que se conoce:

- La orientación y el buzamiento de las líneas,
- Los dibujos y contornos de las estructuras de las pisadas en la superficie de estudio incluidos dentro de la malla.
- La situación de las huellas según la nomenclatura de cada cuadro del retículo.

El empleo del bastidor y la luz del cuadrículado dependen del tamaño de los detalles de las icnitas:

- Si lo que se examina es una rastrillada curva, o una pista cuya luz de rastrillada es superior a 1,20 m., o un conjunto de icnitas que no pertenecen a una sola rastrillada, se hace el reticulado de la superficie de estudio.
- Si las huellas son muy grandes y sin estructuras de detalle, no es necesario el empleo del bastidor para la reproducción en un plano

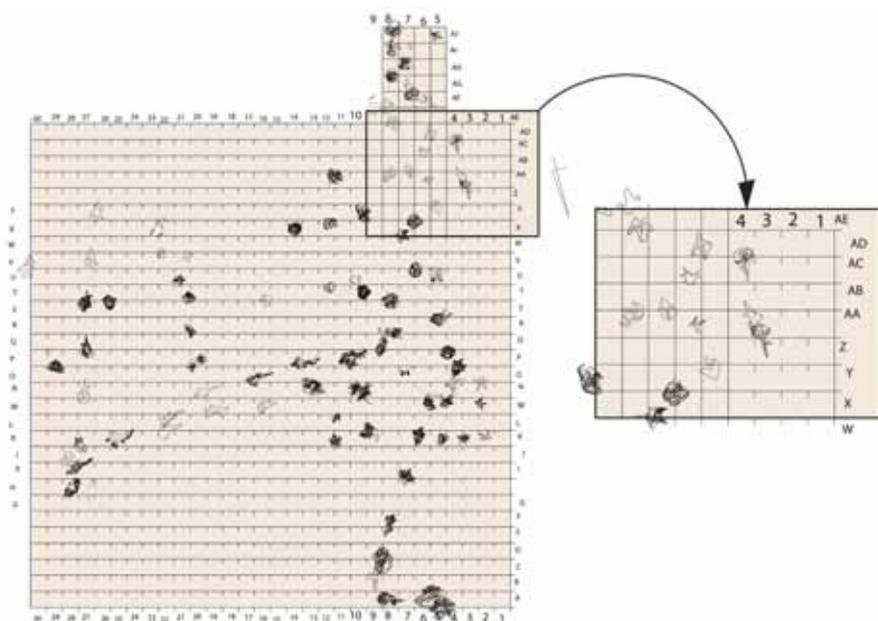


Figura 6. Plano base de 1ELM en el que se ve el reticulado de 30 cm de lado. Sector ampliado para detalles.

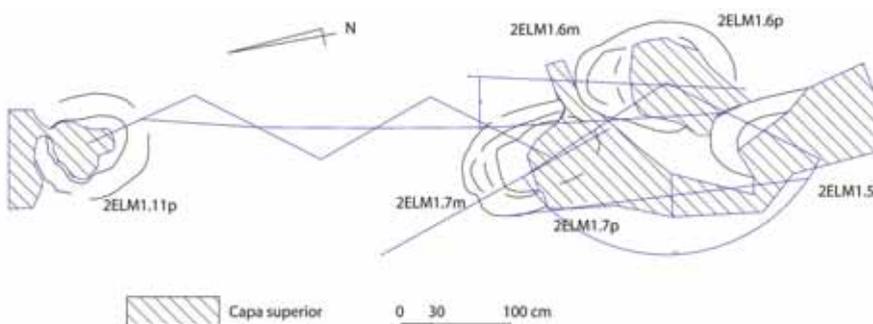


Figura 7. Plano de 2ELM. En este caso se tomó una línea de referencia para hacer el dibujo. La línea iba desde un punto entre 2ELM1.6p y 2ELM1.5 hasta la parte delantera de 2ELM1.11 p.

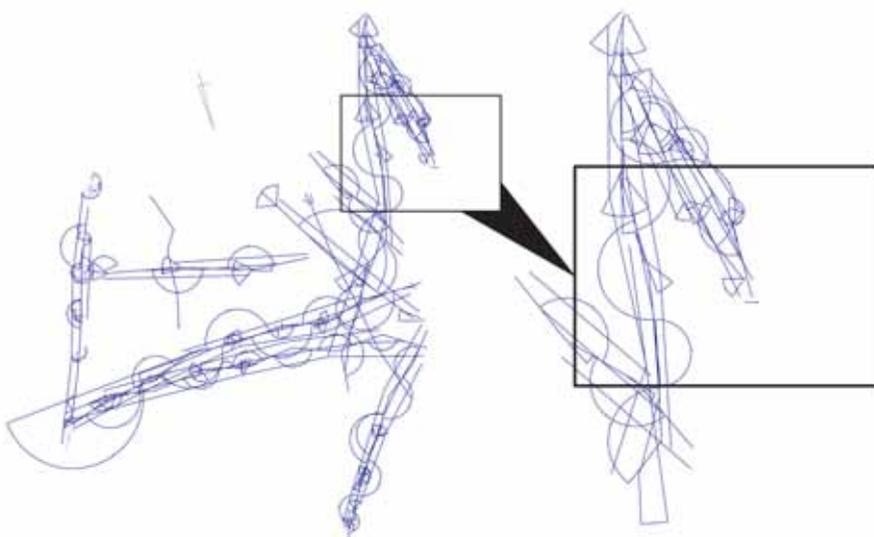


Figura 8. Dibujo de las rastrilladas y líneas accesorias para la obtención de datos angulares y métricos. El sector ampliado es el mismo que en la figura anterior.

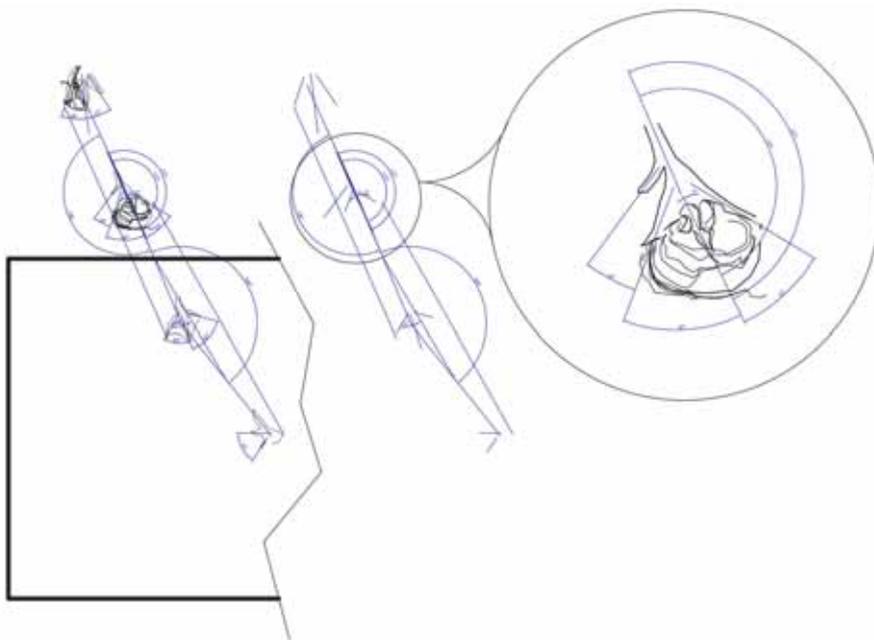


Figura 9. Detalle de una rastrillada (1ELM8) y de la icnita 1ELM8.2. El mismo sector ampliado que el de las figuras anteriores.

de las icnitas. El reticulado de la superficie proporciona datos suficientes para reproducir el conjunto de huellas en dos dimensiones.

- Si las icnitas son pequeñas o tienen detalles estructurales, la fotografía se hace colocando encima de ellas el bastidor con malla cuadrada de 5 cm de luz de hilo blanco.
- Si las icnitas son muy grandes, redondeadas y sin marcas anatómicas detalladas, la luz que se emplea suele ser mayor (en 3ELM el reticulado es de 60 cm).

3.3. Los yacimientos y afloramientos paleoicnológicos

3.3.1. Afloramiento 1ELM (figuras 1, 6, 10)

1ELM está en un lateral de un cauce seco. La superficie de estudio tenía fragmentos de roca sueltos que se barrieron con cepillo. La dirección de la superficie de estudio es N105E y su buzamiento 7N. El número, tamaño y orientación de las icnitas condiciona el planteamiento de toma de datos. En 1ELM hay del orden de cien huellas muchas de las cuales forman rastros que se entrecruzan. El tamaño de muchas pisadas es menor de 25 cm.

Se reticuló con tiza la superficie de estudio dibujando cuadrados de 30 cm de lado (figura 6) . Una de las coordenadas se hizo coincidir con la dirección del estrato y la otra con la línea de máxima pendiente (dirección de buzamiento). Como las superficies de estudio no suelen ser planos perfectos, siempre hay que hacer correcciones. Se pusieron letras para las ordenadas (de la A a la Z y de la AA a la AJ) y números para las abscisas (del 1 al 30 numerados de derecha a izquierda).

La descripción de las huellas ha de hacerse después del examen metódico de las estructuras directas e indirectas de cada una. Las estructuras de las pisadas de 1ELM son complejas de reproducir porque en ellas se pueden delimitar muchas líneas estructurales. La capa que deforman los pies de los dinosaurios está compuesta de laminitas muy finas. Los pies doblan, cortan, giran y rompen las laminitas, de manera que no hay ninguna estampa, y si hay muchas estructuras directas e indirectas. Hay estrías de fondo, que son estructuras directas, producidas por los dedos cuando penetran y cuando salen del suelo. Las láminas se doblan entre los dedos y alrededor de las huellas. Algunas icnitas tienen también sectores en los que el barro fluye como si fuera líquido.

Se pintaron con tiza varias líneas características de estas huellas y se hicieron fotografías con detalle para dibujar: estrías o cicatrices de base, cicatrices de paso, la línea límite de la huella y las fracturas que hay en los límites de la zona deformada por las pisadas.

Hay marcas digitígradas tridáctilas y tetradáctilas, y también icnitas semiplantígradas, todas ellas con dedos separados y relativamente largos.

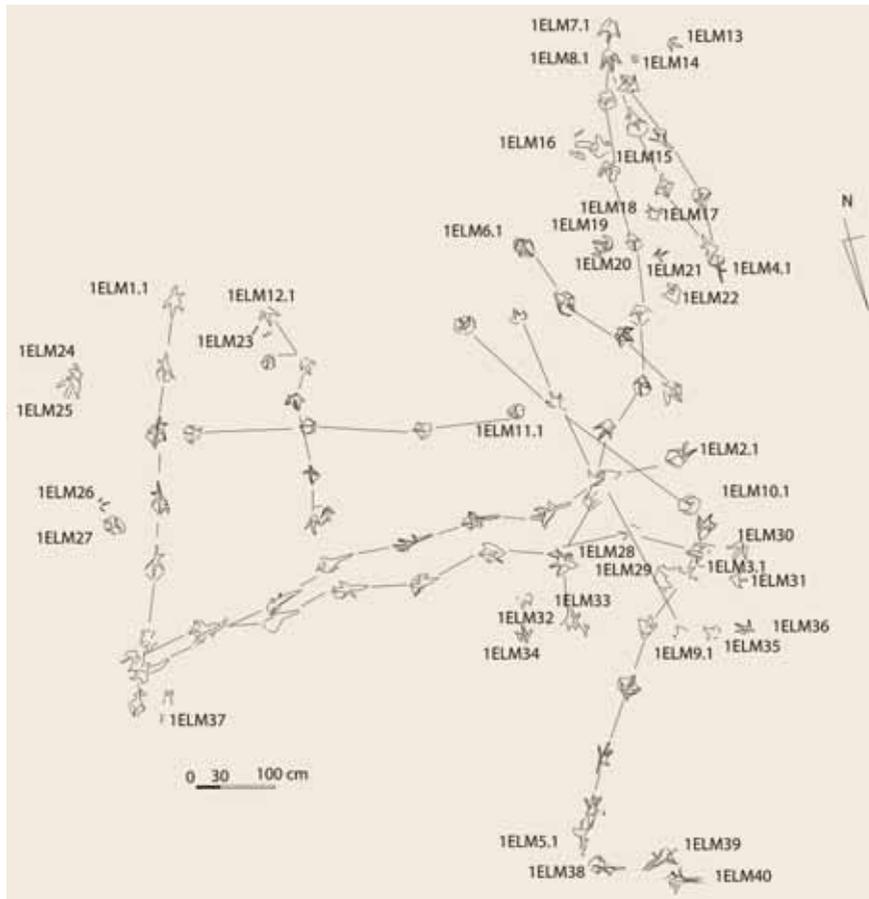


Figura 10. Nombre de las icnitas aisladas y de la primera huella de cada rastrillada. Las rastrilladas están indicadas con líneas.

3.3.2. 2ELM (figura 7)

Las icnitas afloran a ambos lados del cauce de un barranco que erosiona y corta la capa con huellas. La huella que está más al Norte estaba lavada, mientras que las del Sur estaban medio tapadas por derrubios y sedimentos aún no erosionados. Se eliminaron los derrubios con una paleta de albañil y se barrió la superficie expuesta.

En 2ELM se ve una sola rastrillada de un dinosaurio cuadrúpedo, grande. En este caso se tomó una línea recta como referencia para situar las icnitas. Se colocó sobre el afloramiento una cinta métrica que iba más o menos por el centro de la rastrillada. Se midió la distancia entre la cinta métrica y varios puntos representativos de cada icnita, y se fotografiaron todas ellas.

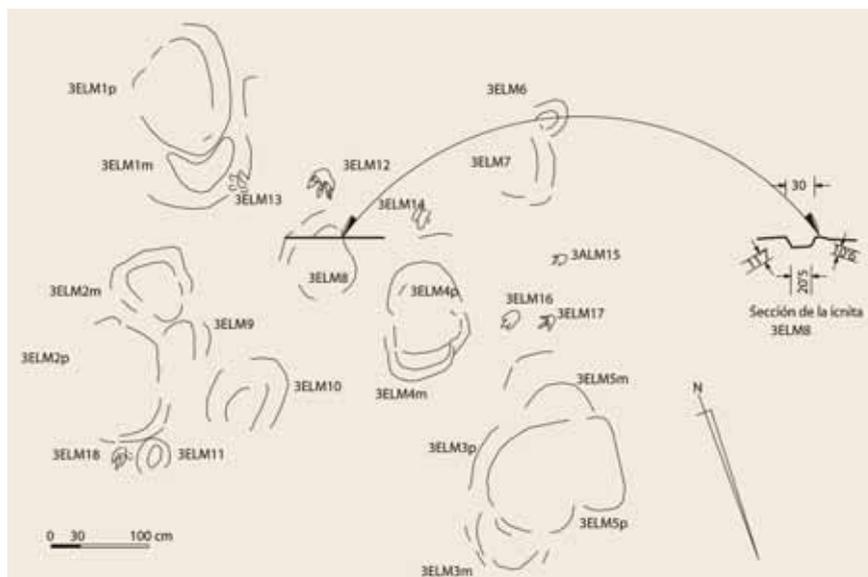


Figura 11. Plano de 3ELM. Perfil en 3ELM8 indicando las medidas en los sectores del corte.

Se midió también la dirección y buzamiento de la capa (N100E, $\alpha=15^\circ$) y la dirección de la cinta métrica (N10E).

La única pisada en la que afloraba el fondo de la huella es 2ELM1.7p. La profundidad de desde lo alto de la rebaba al fondo de la huella es de 11 cm.

3.3.3. 3ELM (figura 11)

Está en el mismo barranco que el afloramiento anterior pero en una capa de la secuencia estratigráfica siguiente. La superficie de estudio, de dirección N110E) es irregular debido a la profundidad de las huellas y la elevación de las rebabas. El afloramiento está erosionado por el agua del barranco y faltan incluso bloques de la capa con huellas que han sido arrancados durante las crecidas. Esto complica la situación porque está rota la capa y discontinua. La roca estaba limpia excepto en los bordes del afloramiento que coinciden con los límites del cauce. Se limpió con paleta el interior de alguna de las huellas para observar el fondo de las icnitas.

La irregularidad de la superficie hace que el cuadrículado de 30x30 incorpore errores graves, por lo que se eligió hacerlo de 60x60. No es posible dibujar una malla de 30x30 cm ortogonal sobre la superficie de estudio, ya que para mantener perpendiculares los lados de la malla alguno de ellos tiene que medir más de 35 cm.

Las huellas más aparentes son cuadrúpedas grandes y profundas. Hay algunas tridáctilas y someras que no forman rastrilladas.

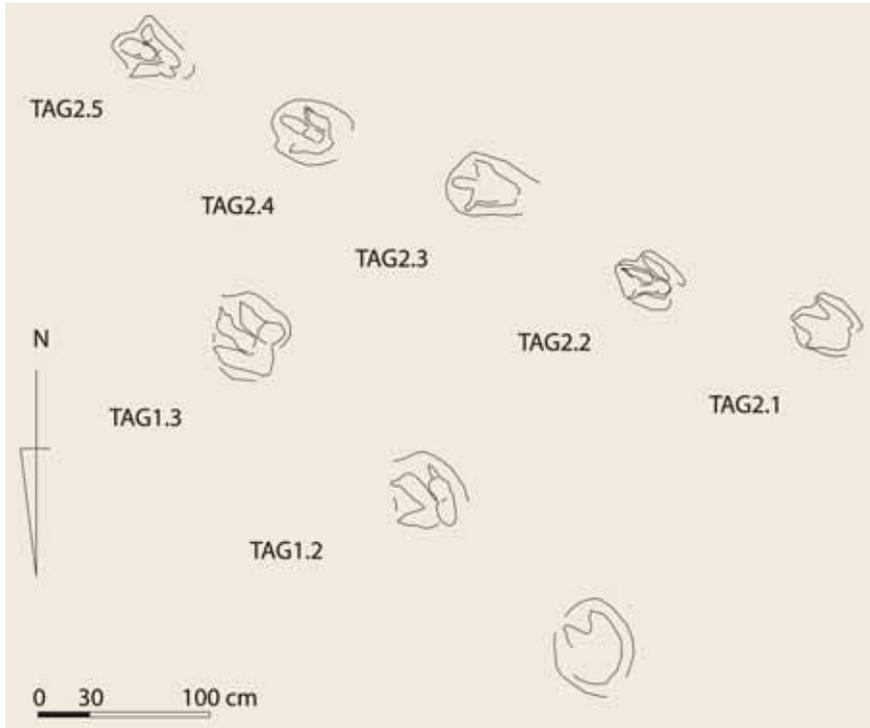


Figura 12. Rastrilladas terópodos del yacimiento TAG.

3.3.4. TAG (figura 12)

Este yacimiento está en el cauce del oued Tamghilt. La visita de trabajo fué en tiempo de lluvia y las icnitas tenían palos, barro y algunas estaban llenas de agua. La mayor parte de las huellas están erosionadas y tienen contorno y forma redondeada. En los bordes de todas las icnitas se doblan las laminas sedimentarias que dejan alternancias muy visibles cuando se erosionan. La dirección de la capa es N60E y su buzamiento 10N.

Las huellas más aparentes son los huecos, de contorno y sección redondeados. Se limpiaron las que podían proporcionar información biomórfica y morfométrica, y se tomó referencia del resto de las del yacimiento.

Se distinguieron dos rastrilladas terópodos que se han reproducido con la misma técnica que la empleada en 2ELM, es decir: se coloca una cinta métrica del principio al final de la rastrillada y se pone el bastidor encima de todas las huellas para hacer su posterior dibujo.

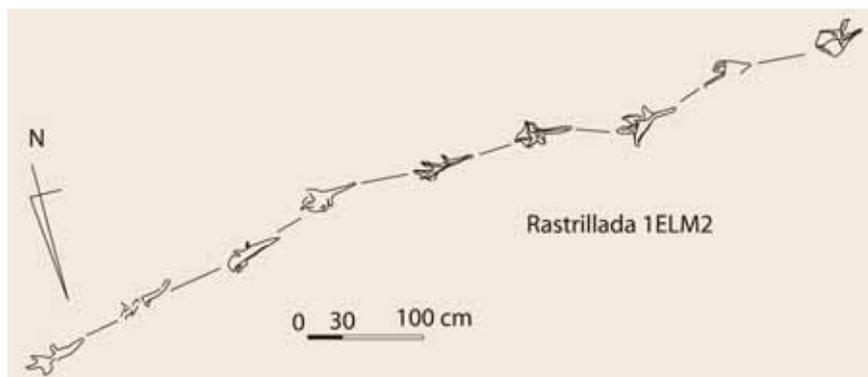


Figura 13. Rastrillada semiplantigrada con el hallux apuntando indistintamente hacia adelante y hacia atrás.

4. ANÁLISIS DE LOS DATOS

4.1. Estudio icnítico: tipos de icnitas en cada yacimiento

4.1.1. 1ELM

Son 101 huellas (figura 10) distribuidas en 12 rastrilladas y 27 huellas aisladas (tablas 1, 2 y 6). Las huellas son digitígradas tridáctilas o semiplantígradas tetradáctilas (figura 7). La longitud del pie de las icnitas digitígradas y de las semiplantígradas sin medir la impresión del metatarso, oscila entre 17 y 32 cm. La impresión de los pies es coherente con dedos separados, relativamente delgados y de terminación acuminada. Las huellas son de anchura variable ($|l-a|/a$ entre $-0'28$ y $0'19$). Las pisadas digitígradas suelen tener marca de tres dedos (excepto 1ELM11.4) y las semiplantígradas de cuatro. La longitud de la impresión del metatarso suele ser algo menor que la del pie digitígrado.

El dedo menor es el I y le siguen por orden creciente II, IV y III. La longitud de los dedos es quizá el dato más subjetivo de todos los medidos. No es aplicable porque la longitud se mide desde la marca de los hipes hasta el extremo de la de la uña. Hay pocas medidas y es posible que el movimiento del pie durante la pisada modifique sustancialmente la longitud de las marcas respecto a la longitud real de los dedos.

Los ángulos interdigitales mantienen la relación $II^{\wedge}III < III^{\wedge}IV$. El ángulo $I^{\wedge}II$ oscila entre 50° y 116° apuntando hacia atrás o hacia adelante incluso en huellas de la misma rastrillada (figura 13). El eje del metatarso y del dedo III no están sobre la misma recta, aunque el ángulo que forman es muy próximo a 180° (de 169° a 177°).

Parte de las rastrilladas son semiplantígradas (1ELM1, 1ELM2, 1ELM4, 1ELM5), otras digitígradas (1ELM9, 1ELM10, 1ELM11, 1ELM12), y otras con icnitas de los dos tipos (1ELM3, 1ELM6, 1ELM7, 1ELM8). Todas las rastrilla-

TABLA 1.
Datos de las rastrilladas de 1ELM y sus huellas.

pie	I	I ₁	a	Ar	Lr	P	z	Ap	O	E-II-III-IV	I-III-IV	h	z/h	v ₁	v ₂	(I-a)/a	Ar/a	z/I
1.ELM1.7	22	36	21			78						111	1,5	6,1	4,6	0,05		8,1
1.ELM1.6						101							1,5	6,2	4,6			
1.ELM1.5	22	41	24	0	--	79		180	1	9-11-17----	92-36-43	111	1,4	5,5	4,3	-0,08		7,6
1.ELM1.4	22	41	21	2	29	88		175	1		56-50----	111	1,4	5,5	4,3	0,05	0,09	7,6
1.ELM1.3	28	42	24	3	33	80		171	11	8-9-19-12	76-35-48	137	1,4	5,7	4,4	0,17	0,12	6,1
1.ELM1.2	21	36	23	0	28	90		180	-2	9-10-17-15		107				-0,09		178
1.ELM1.1	27	43	28							9-13-19-12	73-46-38	133				-0,04		175
1.ELM2.9	22	55	19			93				7-5-11----	30-28----	111	0	0	0	0,16	0	161
1.ELM2.8						99	192	169					1,6	6,8	4,9			
1.ELM2.7	16	50		6		82	182	165				85,1	1,5	6,2	4,6			11,4
1.ELM2.6	23	52	23	3	39	98	181	157				116	1,5	6,1	4,6	0	0,13	7,9
1.ELM2.5	22	53	16	2	25	85	196	174	-20	7-12-----	48-11-----	111	1,6	7,0	5,0	0,37	0,12	8,9
1.ELM2.4	21	42	23	6	37	86	171	166	-11			107	1,4	5,6	4,4	-0,09	0,26	162
1.ELM2.3	25	54	28	10	49	81	173	155	-3	9-9-16-11	75-13-65	124	1,4	5,7	4,4	-0,11	0,36	174
1.ELM2.2		44		6	38	98	185	164				118	1,5	6,3	4,7			
1.ELM2.1	24	42	26															
1.ELM3.9	26					94						128						
1.ELM3.8	22	40		6	40	92	185	164	-10			111	1,6	6,7	4,9			8,4
1.ELM3.7		49		8	41	101	191	162					7,3	5,1				
1.ELM3.6	23	47	22	8	42	96	194	161	8		83-40-51	116	1,7	7,5	5,2	0,04	0,36	8,4
1.ELM3.5	17	39	25	7	42	98	192	163			72-30-56	89	2,1	7,4	5,1	-0,32	0,28	11,3
1.ELM3.4		37		11	47	88	180	153	-15				6,6	4,8				
1.ELM3.3				10	40	100	183	156					6,8	4,9				
1.ELM3.2				15	53	93	183	143					6,8	4,9				
1.ELM3.1																		
1.ELM4.4						77					--28-46							
1.ELM4.3	19	35		1	29	91	168	173	0		--27-46	88	1,9	9,1	5,3			8,8
1.ELM4.2	18	39	25	7	42	83	172	162	22		--20-43	82	2,0	9	5,5	-0,28	0,28	9,5
1.ELM4.1	14	37										62						169
1.ELM5.7						75												
1.ELM5.6				5	39	79	152	166					1,3	4,5	3,9			6,08
1.ELM5.5				7	43	81	157	159					1,3	4,7	4			6,28
1.ELM5.4	34		31	2	29	92	173	175	-5	-15-20-13	----28-57	170	1,2	5,9	4,4	0,1	0,06	6,12
1.ELM5.3	21	44	19	2	26	66	159	173	-10	7-11-16-12	81-18-40	98	1,3	4,8	4,1	0,1	0,10	6,36
1.ELM5.2			21	0	22	40	106	180	-11		----44-43		0,8	2,4	2,7	-1	0	4,24
1.ELM5.1	21	45	19							5-7-13-8	74-34-56	98				0,1		172

das son muy estrechas ($Ar/a < 0,5$) y la relación z/l indica dinosaurios de extremidades largas y muy delgadas. Algunas de las rastrilladas tienen valores de z/l muy altos, superiores a 10 que era el atribuido a dinosaurios gráciles (cf. Haubold, 1971; Thulborn, 1990).

La velocidad deducida (Alexander, 1971) es alta por encima de 4'5 Km/h (1ALM5) para todas las rastrilladas excepto 1ELM6. Si en 1ELM5 se elimina el primer paso, la velocidad media es de 5 Km/h. La velocidad máxima si se emplea este cálculo es de 14'4 Km/h. Si se emplea la fórmula de Demathieu (1986) estos valores son menores (entre 3'8 y 7'2 Km/h). Según Thulborn (1990), los que su velocidad supera 11 km/h tienen de zancada relativa (z/l) un valor superior a 2. Muchos estos dinosaurios se desplazaron andando (a velocidad moderada y rápida) y al trote. El desplazamiento a velocidad alta, es una anomalía que se presenta en pistas semiplantígradas (Kuban, 1990; Pérez-Lorente, 1993) y se atribuye a la forma de caminar (Pérez-Lorente, 2001; Pérez-Lorente y Herrero Gascón, 2007; Pizzichini 2009) que parece que adoptan (Romero Molina *et al.*, 2003b) cuando se desplazan por terreno muy blando.

Todas las rastrilladas semiplantígradas (excepto 1ELM5) son muy rápidas, pero las de velocidad mayor son tres rastrilladas digitígradas a las que no se les ha encontrado ninguna característica especial (llevan dirección diferente y el tamaño de sus pisadas es variable y dentro del rango general del resto de las icnitas).

Las huellas son todas del icnogruppo terópodo de Romero Molina *et al.* (2003a). Aunque en las pisadas hay estructuras directas, ninguna de ellas es una estampa. Todas las huellas (excepto las de 1ELM6) miden menos de 30 cm de largo.

TABLA 2.
Datos de las huellas aisladas o de dudosa conexión de 1ELM.

Pisada	l	a	pisada	l	a	pisada	l	a
1ELM12.1		27	1ELM18			1ELM30	32	28
1ELM12.2	22	20	1ELM19	27	25	1ELM31	23	24
1ELM12.3	23	21	1ELM20	17		1ELM32	20	
1ELM12.4	23	26	1ELM21		19	1ELM33		
1ELM12.5	21	20	1ELM22	31	23	1ELM34	24	23
1ELM12.6	19	21	1ELM23			1ELM35	22	
1ELM12.7	25	20	1ELM24			1ELM36	27	22
1ELM13	21	24	1ELM25			1ELM37		
1ELM14			1ELM26			1ELM38	18/46	22
1ELM15	29		1ELM27			1ELM39		29
1ELM16		39	1ELM28			1ELM40		
1ELM17			1ELM29					

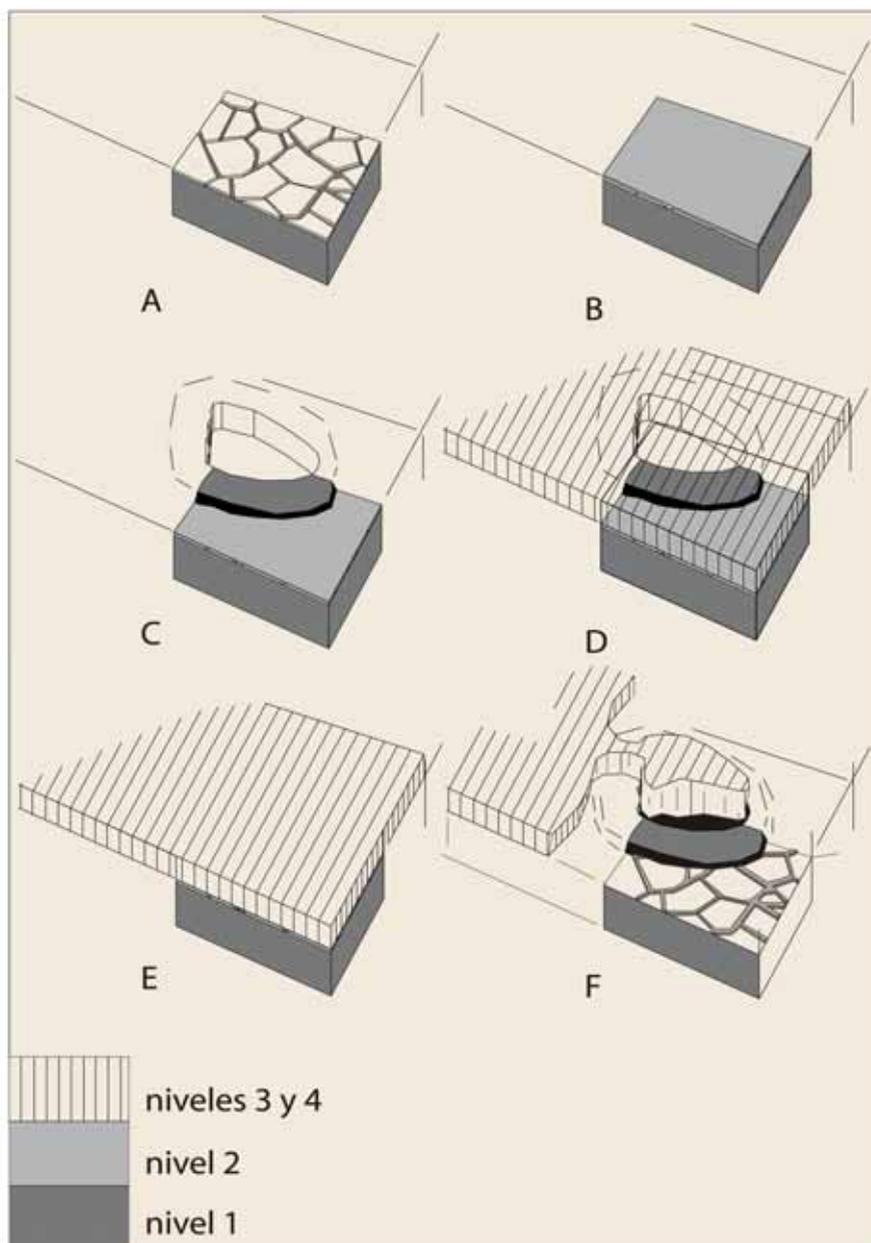


Figura 14. Procesos de formación de 2ELM1.11. A, suelo con grietas de desecación; B, sobre el suelo anterior se deposita una capa fina (será la superficie de marcha) más carbonatada que rellena las grietas; C, paso de dinosaurios saurópodos y formación de huellas con rebabas de extrusión de barro (las rebabas caen por encima de la superficie de marcha; D, E, continúa la sedimentación y se rellena el molde dejado por el pie o hueco de la icnita; F, erosión parcial que deja al descubierto: el relleno de las grietas de desecación, la rebaba cuyo borde forma una visera, parte del hueco y parte del contramolde de la icnita.

4.1.2. 2ELM

Son varias huellas (probablemente 10) que pertenecen a una rastrillada (figura 7. Son redondeadas, relativamente grandes, ovaladas y relativamente profundas (unos 11 cm de profundidad máxima medida desde la parte alta de la rebaba). La rastrillada está interrumpida en tres puntos:

- Uno en el que está erosionada y faltan las icnitas intermedias entre la icnita 2ELM1.7m y la 2ELM1.11p
- Otro al principio del rastro, en donde está cubierta por sedimentos, entre la huella 2ELM1.1 y la 2ELM1.5

De todas las pisadas, solo la última (figuras 7, 15) tiene detalles de los dedos y de las uñas. Muestra tres terminaciones apuntadas hacia adelante y lateralmente, que deben corresponder a las terminaciones apicales de los dedos I, II y III. Esta huella tiene la forma típica de muchas icnitas saurópodos ya que, además de la posición de los dedos, es más ancha en la terminación distal que en la proximal. Es probable que si se excava se descubra en ella una estampa.

Hay pocos datos para precisar las dimensiones del pie, pero 2ELM1.11p parece muy poco deformada, por lo que se puede considerar una medida representativa del pie del dinosaurio (tabla 3). No hay ninguna marca de mano sin deformar por el barro empujado por el pie, de manera que no tienen medidas fiables de este apoyo. No se puede tampoco calcular el índice de heteropodia.

En la rastrillada se ve que las marcas de los pies tienen orientación positiva y pisan la línea media. El eje de las manos está en la misma línea que el del pie correspondiente. Es una rastrillada de vía estrecha o de tipo *Breviparopus* Dutuit y Ouazzou 1980 (cf. Farlow, 1992).

La rastrillada no es lo suficientemente larga para deducir ni la altura de las extremidades ni la velocidad de desplazamiento. No hay por lo tanto datos para asignar al icnopoyeta uno de los tipos de andar cuadrúpedo. Probablemente se trata de un dinosaurio diplodociforme.

4.1.3. 3ELM (figura 11)

En este afloramiento se han encontrado 23 huellas de las cuales 7 son tridáctilas y el resto son marcas ovaladas y semilunares.

Casi todas las icnitas tridáctilas miden menos de 25 cm de largo (tabla 4). Son poco profundas y en alguna (3ELM12, 3ELM18) se distinguen marcas de almohadillas. No forman rastrillada ni siquiera se pueden agrupar por pares. Son icnitas terópodos.

En el resto de pisadas se distinguen marcas heterométricas de mano y de pie. Son también profundas (de 10 a 15 cm de profundidad máxima) algunas de las cuales son muy grandes (tabla 4) y pasan de 1 metro de largo. No tienen señales de dedos y deben ser icnitas saurópodos como las descritas en los alrededores. No hay criterios para separar ninguna rastrillada cuadrúpeda.

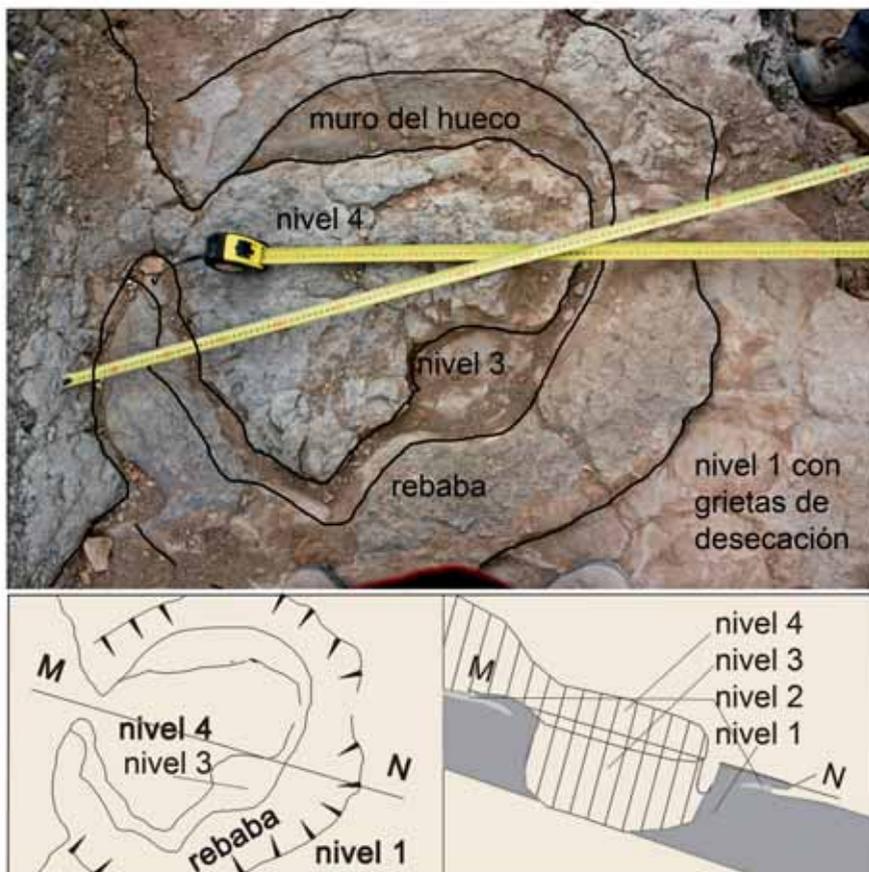


Figura 15. Elementos implicados en la huella 2ELM1.11.

TABLA 3.
Datos de la rastrillada de 2ELM y sus huellas.

Pie	l	a	Ar	Lr	O	P	z	Ap
2ELM1.11p	72	62						
2ELM1.7P								
2ELM1.6p	94	101	30	159	6	124	216	121
2ELM1.5p						124		

TABLA 4.
Datos de las huellas de 3ELM.

pie	l	a	pie	l	a	pie	l	a
3ELM18	26	19	3ELM10			3ELM4p	71	69
3ELM17	21	16	3ELM9			3ELM3m	37	72
3ELM16	22	17	3ELM8			3ELM3p	103	99
3ELM15			3ELM7			3ELM2m	45	65
3ELM14			3ELM6			3ELM2p	100	
3ELM13	24	23	3ELM5m	35	61	3ELM1m	45	65
3ELM12	31	29	3ELM5p	97		3ELM1p	109	81
3ELM11	11	23	3ELM4m	17	54			

4.1.4. TAG (figura 12)

Está formado por conjunto de huecos en el techo de una capa caliza, en el mismo cauce del río. Los huecos más alejados del cauce conservan estructuras propias de icnitas (contorno, asociación de marcas de pie y mano, rebabas en los bordes). Los demás deben ser icnitas erosionadas en los que resulta difícil distinguir entre estructuras erosivas e icnitas.

Muchos de los huecos son pares de pisadas mano-pie saurópodos. La icnita de la figura 14 justifica la atribución mencionada. La parte menos erosionada tiene grietas de desecación fósiles y muestra dos rastrilladas (TAG1 y TAG2 con tres y cinco huellas respectivamente) tridáctilas en las que se distinguen rebabas, marcas de uñas y almohadillas.

Estas dos rastrilladas permiten hacer las medidas y estudios pertinentes de las icnitas (de manera que se identifican las huellas) y de las rastrilladas.

Las medidas (tablas 5 y 6) son propias de icnotipos terópodos relativamente grandes con los caracteres más comunes del icnotipo:

- Dedos largos y separados, relativamente fuertes,
- marcas de almohadillas dactilares,
- uñas prominentes en la punta de los dedos,
- ángulo interdigital II[^]III menor que el III[^]IV,
- dedo IV que sale desde el talón de la icnita,
- talón saliente o bilobulado (*sensu* Pérez-Lorente, 2001).

Si se sigue la tendencia actual de clasificación, estas icnitas se deben incluir en *Megalosauripus* icnogénero reconocido en afloramientos de este río por Meyer y Thüring (2004, 2005).

Los datos indican también que las extremidades son delgadas (z/l entre 6 y 6'4) las pisadas son estrechas (l-a/a, de 0'22 a 0'24) y de orientación negativa. La rastrillada es muy estrecha (Ar/a=0'2), y la velocidad de desplazamiento oscila entre 4'3 y 6'4 km/h.

TABLA 5.
Datos de las rastrilladas de TAG y sus huellas.

pie	l	a	Ar	Lr	P	z	Ap	O	II-III-IV	II^III^IV	h	z/h	v ₁	v ₂	(l-a)/a	Ar/a	z/l
TAG1.3	49	35			138				20-31-22	0-23	220				0,4		
TAG1.2	43	37	0	37	129	267	180	0	18-29-25		197	1,3	6,4	5,3	0,16		6,2
TAG1.1	40										185						
TAG2.5	36	31			99				16-22-15	22-31	169				0,16		
TAG2.4	34	28	5	38	111	209	170	-8			161	1,7	5,5	4,3	0,21	0,18	6,1
TAG2.3	40	30	7	40	107	216	166	-9			185	1,1	5,8	4,4	0,33	0,23	5,4
TAG2.2	33	26	7	42	106	212	166	2	11-19-17	22-34	157	1,3	5,7	4,3	0,27	0,27	6,4
TAG2.1	37	30							--19-14	---28	173				0,23		

4.2. Estructuras que acompañan a las icnitas

Las huellas están formadas por las estructuras que producen los pies en el suelo durante la pisada. Las pisadas no solo producen huellas verdaderas (estampas y otras), sino que también hay subhuellas, calcos, contramoldes e icnitas mixtas. Las estructuras son función del tipo de huella, del comportamiento del dinosaurio, del comportamiento del barro y del tipo de sedimentación posterior. En este sentido, cada uno de los afloramientos descritos en este trabajo es diferente porque cada yacimiento es particular en relación: con los dinosaurios que dejan sus huellas; con la conducta de cada uno de ellos en el momento de paso y; con el comportamiento físico del barro o profundidad o grado de sequedad del sedimento.

Los términos que se van a emplear se sintetizan en:

- Estructuras intrínsecas (relacionadas con el pie y su movimiento) y extrínsecas (debidas al comportamiento del barro, o a causas geológicas anteriores a la fosilización como erosión parcial).
- Estructuras directas e indirectas respecto al contacto con el pie (Gatesy, 2003). Directas como: marcas de almohadillas, de uñas, e incluso estampas; cicatrices de fondo; estrías de la pared de la huella. Indirectas como rebabas, fracturas concéntricas, pliegues laterales, depresiones similares a membranas y extrusiones interdactilares, calcos.
- Estructuras relacionadas con el relleno de las huellas como moldes (huecos), contramoldes y subhuellas.
- Estructuras asociadas a las fases de la pisada de Thulborn y Wade (1989).
- ...

Las icnitas pueden mostrar una sola de las estructuras citadas (por ejemplo un calco) o varias de ellas.

TABLA 6.
Datos medios de las rastrilladas terópodas.

pie	l	l _i	a	Ar	lr	P	z	Ap	O	I-III-IV	I-III-IV	h	z/h	v ₁	v ₂	(a-a)/a	Ar/a	z/l	
HELM1	25	40	23	1	30	86	173	177	11	9-11-18-13	74-42-43	118	1,4	5,9	4,4	0,00	0,1	7,3	177
HELM2	21	49	25	5	37	90	183	164	-11	8-9-13-11	50-17-65	120	1,5	6,2	4,6	0,07	0,31	9,4	171
HELM3	22	42	24	9	43	95	187	157	-6	77-35-53	111	111	1,6	7	5	-0,08	0,31	9,4	169
HELM4	17	37	25	4	35	84	170	167	11	---	25-45	77	1,9	9	5,4	-0,28	0,28	9,2	162
HELM5	25	44	22	3	32	72	143	170	-9	6-11-16-11	77-31-49	122	1,2	4,5	3,8	0,1	0,05	5,8	170
HELM6	32	27	7	46	88	86	171	163	9	---	30-29	153	1	4,2	3,8	0,19	0,08	5,8	
HELM7	27	40	27	3	32	92	186	171	4	8-12-17-12	37-45-36	116	1,8	6,6	4,8	-0,1	0,1	9,2	177
HELM8	24	40	27	3	32	92	186	171	4	---	---	98	2,3	11,4	5,8	0			
HELM9	21	40	27	3	32	92	186	171	4	---	---	98	2,3	11,4	5,8	0			
HELM10	28	44	25	5	37	179	358	173		---	36-42	155	2,6	14,4		0,1	0,2	12,8	
HELM11	24	44	25	5	37	179	358	173		7-10-14-10	116-20-41	113	2,6	13	7,2	0,13	0,28	12	
TAG1	44	36	36			133	267	180	0	---	19-30-23	200	1,3	6,4	5,3	0,22		6,2	
TAG2	34	29	29	6	40	108	212	171	-5	---	13-20-15	161	1,3	5,7	4,3	0,24	0,21	6,0	

Una parte de las estructuras de las icnitas son visibles (línea de contorno, rebabas, algunas marcas de deslizamiento, estrías, colapso), mientras que otras no se ven, como por ejemplo: las que están en el interior de la roca, bajo la superficie de estudio; las que se han erosionado, etc.

Muchas de las icnitas de los yacimientos descritos antes, muestran estructuras que se relacionan con su formación. Se van a detallar algunas de ellas, que además son ejemplos de interpretación tanto de las fases de formación de las huellas como del comportamiento del suelo.

Las estructuras que acompañan a las icnitas son respuesta al comportamiento del sustrato afectado. Aunque pero la mayoría de los pies atraviesan varias capas de composición y comportamiento diferente, algunas huellas (icnitas terópodos de 3ELM, y rastrilladas TAG1 y TAG2) solo afectan a la parte superior de la capa hollada, es decir a la superficie de marcha. Se identifican dos tipos de suelo sobre el que pisan los dinosaurios en estos afloramientos. Uno está formado por calizas que debían corresponder a barros calcáreos ricos en carbonatos (2ELM, 3ELM, TAG) y otro (1ELM) margoso y arenoso de color negro.

Todos las huellas están sobre capas que tienen laminación (algal o bacteriana). Los sedimentos calcáreos tienen grietas de desecación anteriores a la formación de las pisadas mientras que los margoso-arenosos no muestran la superficie de marcha ni estructuras asociables a la misma. Las superficies de estudio de 2ELM, 3ELM y TAG (calizas) parecen ser las superficies de marcha (almohadillas dactilares y rebabas que afectan a las grietas de desecación). En dos afloramientos (1ELM y 2ELM) se ve el límite inferior de la capa que fosiliza las icnitas.

4.2.1. *Estampas y huellas con marcas de almohadillas*

En TAG la superficie de marcha es la que muestra las huellas tridáctilas. En ella se ven marcas de almohadillas dactilares y de uñas, así como una pequeña rebaba que las rodea (figura 12).

Huellas relativamente poco profundas son también las marcas tridáctilas terópodos de 3ELM (figura 11).

4.2.2. *Huellas con huecos profundos. Contramoldes*

Las icnitas saurópodos de 2ELM y 3ELM atraviesan capas por debajo de la superficie de marcha. En 3ELM, el fondo de los huecos de varias pisadas saurópodos está en niveles margosos inferiores a la caliza en la que se marcan las icnitas.

En la icnita 2ELM1.11 (figuras 14 y 15) se observan los niveles siguientes, que son como la secuencia de acontecimientos que hacen que la icnita quede con el aspecto actual:

- El nivel 1 que tiene grietas de desecación en el techo (figura 14A).
- El nivel 2 (figura 14B) que cubre las grietas de desecación y que es la superficie de marcha para las icnitas cuadrúpedas (figura 14C). Las rebabas de las icnitas cuadrúpedas se expanden por encima del nivel 2.
- Los niveles 3 y 4 que rellenan los huecos de las icnitas (figuras 14D, 14E) dando contramoldes.
- Finalmente la erosión deja al aire la secuencia de estructuras (figura 14F) que se pueden observar en 2ELM1.11 (figura 15)

Las grietas de desecación son estructuras sedimentarias previas a la formación de la pisada. No se ven estructuras de la fase T ni de la fase K, pero sí de la fase W. En dicha fase el pie se apoya aplastando varias capas, entre ellas el sedimento con grietas de desecación. El barro expulsado del hueco de la huella forma la rebaba que la rodea. La rebaba cae por encima de la superficie de marcha y del nivel 2.

Se puede interpretar que las rebabas y la pared del hueco de las huellas se forman antes de que el dinosaurio apoye todo su peso sobre el pie, y por lo tanto considerarlas como si fueran estructuras formadas durante la fase T.

La sedimentación continúa y nuevas capas (niveles 3 y 4) se colocan encima de lo anterior rellorando también el hueco y amoldándose a las estructuras existentes.

- La erosión actual descubre la pisada y se lleva parte de los sedimentos, incluidos el nivel delgado con carbonatos y la capa de arcilla con grietas de desecación. Quedan al descubierto una capa por debajo de la superficie de marcha en la que se mantiene el relleno calcáreo de las grietas de desecación. Se erosiona también la capa arcillosa por debajo de la rebaba, que forma una visera o saliente al perderse la arcilla o el limo (figura 13E)

4.2.3. *Deformaciones plásticas y elásticas de laminitas*

La situación es más compleja en 1ELM. En este afloramiento se combina el plegamiento, la fracturación (flexibilidad y límite de rotura) y la fluidificación (posible tixotropía) de las laminitas y sedimentos arcillosos ante la presión y el movimiento de los dedos y metatarso.

En el hueco de las huellas no hay sedimentos de capas superiores, lo que permite fijar el límite más moderno de la formación de estas pisadas en el contacto entre la capa con laminitas y la superior. Es de suponer que todas las icnitas se forman al final del depósito de las laminitas y que ninguna de 1ELM se formó antes.

En 1ELM se distinguen tres tipos de capas de los cuales dos son activos durante la impresión de las pisadas y el tercero es pasivo porque las fosiliza. Los vamos a llamar de inferior a superior: capa F, capa L y capa P. Las letras se corresponden al comportamiento que queremos resaltar durante la



Figura 16. 1ELM40. Láminitas dobladas y cortadas por la pisada. El nivel superior fosiliza la huella.

formación de las huellas. F de fluido, L de laminitas plástico-elásticas y P de pasivo ya que solo hace depositarse encima de la superficie de marcha. No sabemos si la base de esta capa es erosiva.

Tampoco sabemos si la superficie de marcha se conserva en alguna parte del afloramiento o si está totalmente erosionada. Las láminas están parcialmente deshojadas, de manera que no se pueden correlacionar ni se sabe cual de todas es la más moderna. La capa superior (capa P), arcillosa cubre todas las huellas de 1ELM.

Este hecho se aprecia bien en 1ELM40 (figura 16). No hay elementos de la capa P implicados en la icnita, por lo que es probable que sea la laminita superior de la capa L la que marcaba la superficie de marcha. En los bordes de la línea de contorno de la huella, en la misma figura, se aprecian los pliegues de arrastre y la cizalla de las laminitas al verticalizarse.

Una icnita del exterior del afloramiento estudiado (figura 17) muestra una parte de la capa L (laminitas), intruida en la capa F (fluida). La parte superior de la capa F se ha erosionado hasta la base de la icnita, y ha quedado como testigo de la intrusión de la capa L una parte de ella con las láminas verticalizadas.

4.2.3.1. Torsión y rotura lateral de las laminitas

Las laminitas se doblan por el empuje de los pies hacia abajo. No solo en los bordes del metatarso, sino que también se doblan en los bordes de



Figura 17. Capa lutítica superior a la 1ELM que contiene laminitas deformadas por una pisada y embutidas en ella. Es la repetición del ritmo sedimentario y del entorno icnógeno. En este caso se han erosionado la capa de laminitas y parte de la capa lutítica inferior.

los dedos, entre ellos y en el interior del pie (figuras 18, 19, 20). La línea de contorno de la huella entre los dedos (con láminas deformadas) es similar (Manning, 2004). y da la misma apariencia que la que producirían los pies palmeados (figuras 18, 19). Hay icnitas (figuras 18, 20), en las que las laminitas del interior de la línea de contorno (dentro de la huella) son más modernas que las del exterior (fuera de las huellas).

Si en las zonas de torsión se supera el límite de fractura, se rompen las láminas.

Estas fracturas son laterales ya que o forman la línea de contorno o son paralelas a ella por la parte externa. En general las fracturas son planos de hundimiento de las laminitas del interior de la huella respecto a la superficie de marcha (figuras 20, 21), pero en ocasiones, las láminas basculan. Esto se produce si las láminas del interior se elevan (figuras 21 y 22).



Figura 18. 1ELM5.7 (derecha abajo) y 1ELM10.1 (izquierda arriba). Laminitas dobladas en el borde de los dedos, entre ellos y en el interior de la pisada. Las laminitas deformadas son la subhuella de las icnitas. La superficie de estudio (laminitas más planas) está varios centímetros por debajo de la superficie de marcha (hay laminitas más modernas incluidas en las subhuellas). Separación de las líneas de tiza, 30 cm.

En alguna ocasión (figuras 21, 22 arriba) el resultado es el basculamiento de las laminitas que por una parte se hunden y por otra se elevan. Este efecto se debe a que el flujo de barro desplazado de la capa inferior (capa F) provoque la elevación en la zona de menor presión.

4.2.3.2. Rotura por corte de las laminitas

Los dedos y el metatarso actúan en ocasiones como instrumentos de corte a manera de un cuchillo atravesando las laminitas y dejando líneas de

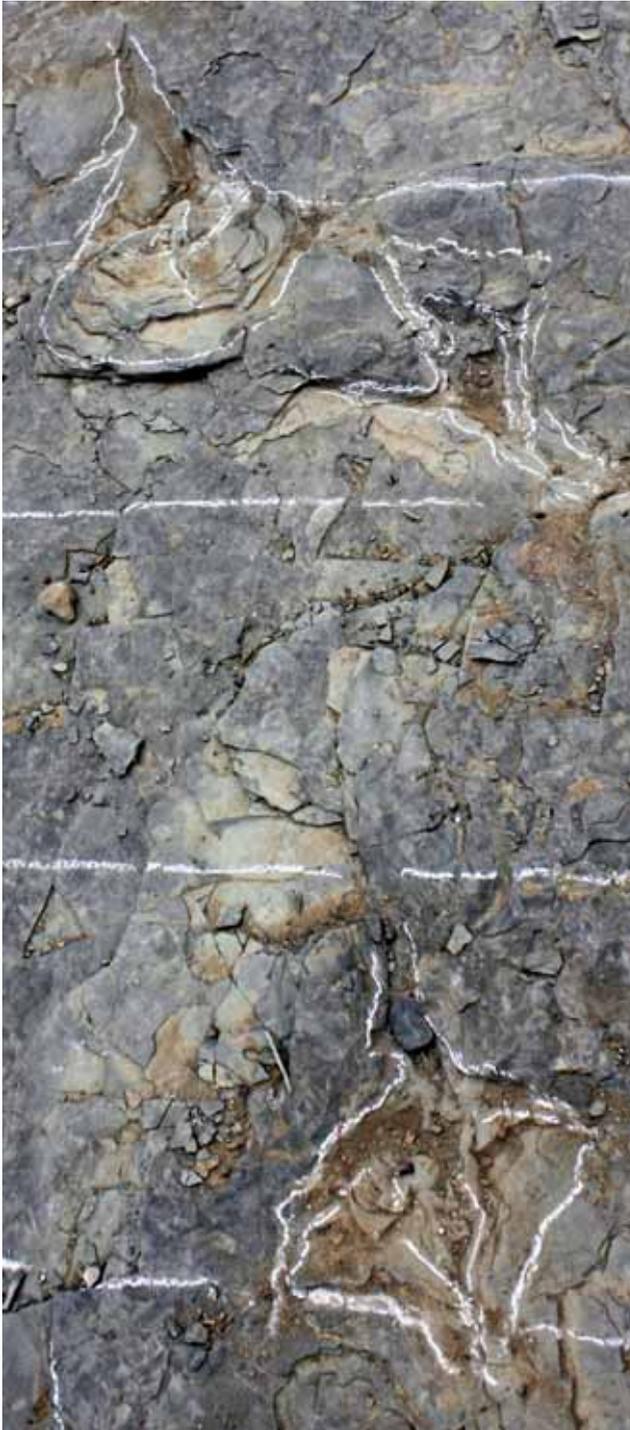


Figura 19. 1ELM8.2,
1ELM8.3 (izquierda),
1ELM4.3 (derecha).
Aspecto de pies
palmeados producido
por la deformación
interdigital de las
laminitas. Separación
de las líneas de tiza,
30 cm.

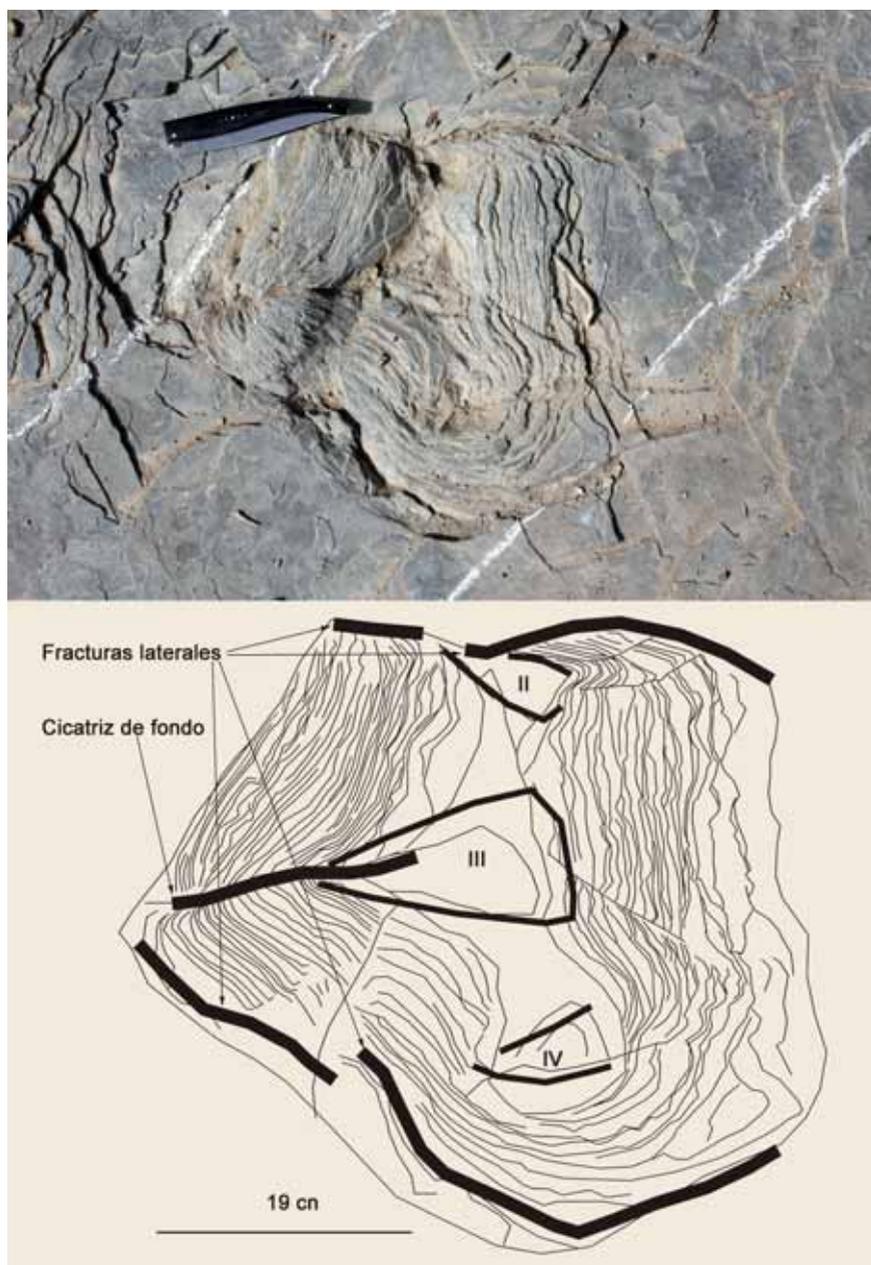


Figura 20. 1ELM10.2. Huella digitígrada con marca de los dedos, cicatriz de fondo en el dedo III y fracturas laterales. El material sedimentario embutido en el hueco estaba por encima de la superficie de estudio. Es posible que la cicatriz de fondo sea la única estructura directa de la icnita.



Figura 21. 1ELM3.4. Fracturas laterales y basculamiento de las laminitas de la subhuella. Las laminitas que hay entre las líneas a trazos han salido de abajo.

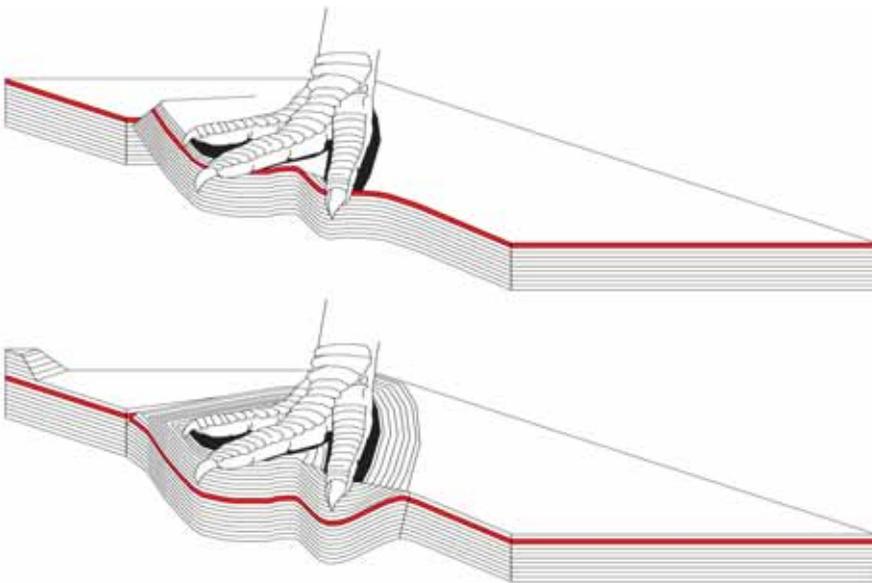


Figura 22. Esquema de calcos/subhuellas. Arriba, con las laminitas rotas y basculadas (parte de las laminitas salen de debajo de la superficie de estudio). Abajo, con laminitas dobladas, parte de las cuales estaban por encima de la superficie de estudio. Estructuras complejas entre subhuellas (relleno de los huecos por material deformado) y calcos (copia de las huellas en niveles inferiores a la superficie de marcha).



Figura 23. 1ELM39. Icnita semiplantígrada con cicatrices de fondo señaladas en el interior de los dedos I y II y brecha de fondo que se extiende por la parte distal del metatarso y proximal de los dedos. Longitud aproximada de la icnita, 40 cm.

fractura (cicatrices de fondo). La rotura que se produce tanto en el centro de la marca de los dedos (cicatrices y brechas de fondo), como en el centro de la marca del metatarso. Es posible que los dedos y el metatarso aprovechen las zonas de debilidad que son el centro de las huellas, para terminar de romper las laminitas y penetrar a través de ellas en la capa F. El paso de los dedos y el metatarso a través de las laminitas puede ser un corte limpio (cicatrices de fondo) o de los bordes triturados (brecha de fondo). Las cicatrices y brechas de fondo (figura 23) se encuentran en la base de la marca de los dedos y en la del metatarso. En 1ELM son más abundantes las cicatrices que las brechas de fondo.

Si la huella es un conjunto de capas movidas en el interior de una zona limitada por fracturas, el relleno debe considerarse deformado y por lo tanto la estructura es una subhuella.

4.2.3.3. Estructuras de flujo

Hay icnitas en las que el comportamiento de parte del material implicado es fluidal. El flujo se detecta en los grumos de barro sin estructura



Figura 24. 1ELM7.3. Estructuras de barro fluidificado en la parte central de la icnita.

laminar (figura 24) y en algunos pliegues de las laminitas. Las estructuras se producen por flujo de barro debido al movimiento de los pies. Solo se han visto estructuras fluidales en la parte central de ciertas pisadas de 1ELM.

No se han encontrado criterios que sirvan para saber si estas estructuras están causadas porque sale barro de la capa F (más hidratada o más fluida), o porque el movimiento y presión durante la pisada provocó la transformación tixotrópica del sedimento.

4.2.4. Estructuras de entrada y salida de los dedos

En la icnita derecha 1ELM6.3 se distinguen tres tipos de estructuras:

- La línea de contorno de la icnita o línea de torsión de la superficie de estudio. Es la línea gruesa discontinua (figura 25)
- Discontinuidades entre los sectores de sedimentos deformados que ocupan el hueco de la huella (subhuella) Son líneas continuas y finas del interior de la icnita.



Figura 25. Icnita compleja en la que se ven estructuras directas (cicatrices de entrada y de salida de los tres dedos) e indirectas (deformación intensa de las láminas y fluidificación del barro). Línea límite del hueco de la icnita.

- Cicatrices de entrada y de salida de los dedos similares a las descritas por Gatesy *et al.* (1999) y por Boutakiout *et al.* (2008). Son líneas intermedias dibujadas en el interior de la icnita. Estas estructuras están producidas por el movimiento de los dedos en el caso de que el pie se hunda en el barro. El dedo III entra y sale por la cicatriz central alargada. Los dedos laterales entran por las cicatrices externas, y salen por otras intermedias entre estas y la central (figura 25).

4.2.5. Estampas por debajo de la superficie de marcha

Hay huellas (figura 26) que muestran la versatilidad de las estructuras según la profundidad. 1ELM2.5 es una icnita semiplantigrada con estructuras de varios tipos. Las estructuras visibles son de dos niveles diferentes:

- Los niveles superiores están constituidos por laminitas dobladas y atravesadas por los pies que dejan cicatrices de entrada (figura 26B)
- Si se dibuja la línea de contorno de la pisada sobre el nivel en el que está la navaja (figura 26C), sale una icnita en la que quedan marcadas estructuras con mucho detalle tales como constricciones laterales atribuibles a almohadillas dactilares y marcas de uñas. El pie atraviesa las láminas superiores y apoya la suela en niveles que hay no en la superficie sino en el interior de la roca.

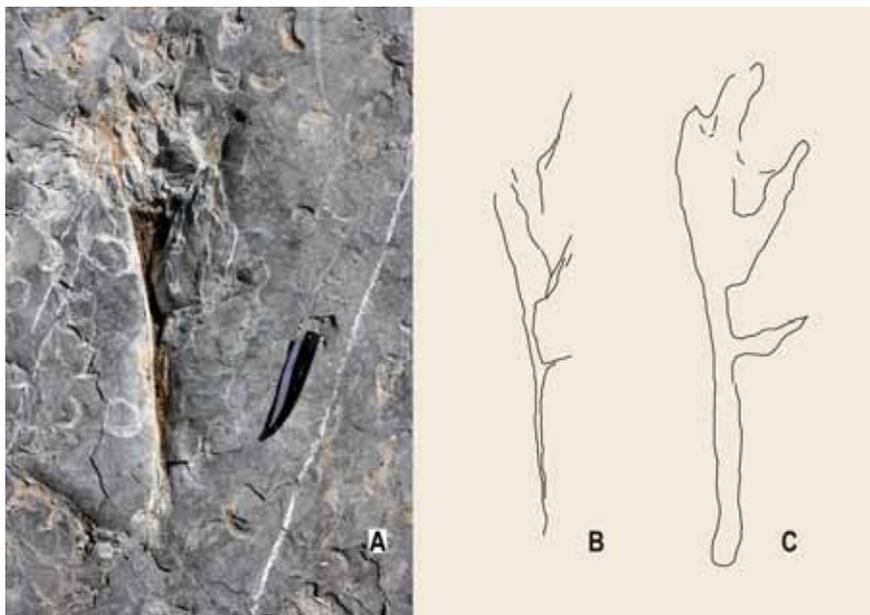


Figura 26. Aspecto de una huella de 1ELM según la superficie de estudio. A, fotografía de 1ELM2.5; B, dibujo de las estructuras sobre las laminitas superiores; C, línea límite de la huella según se aprecia en las laminitas inferiores.

Estas pisadas muestran que hay estructuras directas a cierta profundidad, por debajo de la superficie de marcha, que pueden llegar a ser verdaderas estampas impresas en el interior de la roca y por debajo de la superficie del suelo que pisaban (la superficie de marcha).

4.3. Particularidades de las estructuras de 1ELM

Las pisadas fósiles de 1ELM muestran un conjunto de estructuras directas e indirectas que producen icnitas espectaculares. La forma de las icnitas depende del nivel estructural en el que se encuentran, de la cantidad de material que se ha erosionado por debajo de la superficie de marcha y, o de la profundidad a la que ha penetrado el pie del dinosaurio. Relacionadas con estas variables está también el comportamiento elástico, plástico o fluido del material afectado (roturas, pliegues o flujo de roca).

La relación entre estampa y superficie de marcha puede no ser biunívoca si el pie atraviesa una parte de roca y se apoya en una zona resistente que está por debajo de la superficie de marcha.

En secuencias superiores con la misma superposición (sedimento lutítico masivo-sedimento lutítico laminado) hay estructuras erosionadas que son repetición de las analizadas aquí. Las laminitas deformadas por los pies

están embutidas en el sedimento masivo inferior. De las estructuras se deduce que el comportamiento del barro de la capa inferior a la de las laminitas fuera fluidal y el del nivel de laminitas fuera elástico-plástico.

No hay problema para interpretar el movimiento de entrada del pie en el barro que produce el plegamiento de las laminitas y la formación de cicatrices de entrada, brechas de fondo y fracturas laterales. No se ven sin embargo estructuras de salida de los dedos sino en contadas ocasiones (figura 24). Para explicar que los dedos no produzcan el mismo arrastre hacia afuera que el que producen al penetrar en el barro planteamos la hipótesis de su relación con el movimiento al pisar:

- Al entrar el pié y al producirse la presión máxima (fases T y W) el apoyo de la suela es total y simultáneo. Al salir (fase K) los dedos van saliendo poco a poco, es decir que en los primeros momentos de la fase K, la parte distal de los dedos tiene que estar en el interior de barro incluso después de que la parte proximal del pie haya salido al aire. La presión ejercida por los dedos sobre el sedimento al salir es hacia adelante y no hacia arriba. De esa manera se justifica que las laminitas no se levantan en las cicatrices de salida de los dedos.

En la literatura se ha escrito que los dinosaurios terópodos (o los dinosaurios con dedos largos y estrechos) prefieren caminar por suelo duro. En suelo blando los dinosaurios carnívoros tienen muy poca defensa. 1ELM es un yacimiento que no apoya la hipótesis anterior. Otra paradoja observada en 1ELM es que la velocidad deducida de estas rastrilladas es alta. Es posible que la manera de andar con las zancadas largas, responsables de los resultados altos en las fórmulas del cálculo de velocidad, sean la causa de esta anomalía (Romero-Molina *et al.* 2003b; Pérez-Lorente y Herrero Gascón, 2007; Pizzichini, 2009). Respecto a este tipo de icnitas encontramos que la posición del hallux apuntando hacia atrás o hacia adelante del pie no es fija sino que varía en pisadas del mismo rastro (figura 13). La orientación del hallux que se había empleado para distinguir icnitas de dinosaurios terópodos de las de ornitópodos, no se puede aplicar en las huellas de este yacimiento.

5. CONCLUSIONES

Es posible que todos los yacimientos aflorantes con huellas de dinosaurio ya están descubiertos. En este trabajo se describen y analizan cuatro afloramientos, posiblemente dos de ellos ya publicados, pero de los que no se disponía ni de estudio detallado ni de datos suficientes para su localización precisa. Los tipos de rastrilladas y huellas examinados son tres: terópodos de dinosaurios relativamente pequeños con pies relativamente estrechos y largos; de dinosaurios terópodos con pies grandes y con dedos anchos y fuertes que algunos autores han asociado a *Megalosauripus*; y sauropodos aisladas y de tipo *Breviparopus*.

Como en casi todos los estudios en yacimientos nuevos, hay aportaciones que contrastan con algunas afirmaciones o suposiciones previas. En este trabajo se destacan:

- Rastrilladas terópodos con el hallux apuntando indistintamente hacia atrás o hacia adelante de la pisada.
- Se confirma que el eje del metatarso y del pie en las pisadas semiplantigradas no están sobre la misma recta sino que forman un ángulo.

Las estampas no tienen porqué ser características de la superficie de marcha puesto que se pueden formar bajo dicha superficie, en suelo con barro blando en el que penetra el pie. La estampa se forma a la profundidad en la que el pie no penetra más y se estabiliza.

Aunque es cierto que muchas huellas están formadas por estructuras directas (hueco, paredes y fondo de la pisada) e indirectas (rebabas, calcos, pliegues laterales y de fondo, ...) que arrojan a las primeras, en 1ELM las icnitas implican lo contrario: estructuras indirectas (calcos, pliegues, ...) atravesados por estructuras directas.

Las huellas de dinosaurio de la Formación de El Mers se imprimieron en el borde de la plataforma interna del Batoniense medio, lo que sugiere un medio de vida en zona costera en el borde de grandes cuencas sinsedimentarias.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo se publica porque es parte de una de las conferencias del ciclo sobre dinosaurios y sus huellas que programa desde 1992 el Instituto de Estudios Riojanos. Por otra parte queremos agradecer a los doctores de la Universidad de Rabat que nos indicaron la situación de su descubrimiento y nos acompañaron a él. Al Dr Schmidt-Effing y a Ricardo Ochoa Martínez que nos ayudaron en los trabajos de campo. Los gastos de desplazamiento y alojamiento los subvencionó la Universidad de La Rioja y La Fundación Cajarioja nos proporcionó el vehículo todoterreno para los desplazamientos.

BIBLIOGRAFÍA

- Alexander, N. (1976). Estimated of speed of dinosaurs. *Nature*, (261), 129-130.
- Allen, J. R. L. (1997). Subfossil mammalian tracks (Flandrian) in the Severn Estuary S.W. Britain: mechanics of formation, preservations and distribution. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London.B.*, (352), 481-518.
- Boutakiout, M., Hadri, H., Milhi, A., Nouri, J., Díaz-Martínez, I., Pérez-Lorente, F. (2008a). Icnitas terópodos y saurópodos del Bajociense de Ifgh (Norte de Msemrir. Alto Atlas Central. Marruecos). *Geo-Temas*, (10), 1249-1252.

- Boutakiout, M., Hadri, H., Nouri, J., Caro, S. y Pérez-Lorente, F. (2006). The syngenetic structure suite of dinosaur footprints in finely laminated sandstones. Site nº 1 of Bin El Oudane (1BO; Central Atlas, Morocco). *Ichnos*, (13), 39-42.
- Boutakiout, M., Hadri, H., Nouri, J., Díaz-Martínez, I., Pérez-Lorente, F. (2008b). Prospecciones paleoicnológicas en el sinclinal de Iouaridène (Alto Atlas, Marruecos). Cuantificación de yacimientos y de icnitas. *Geogaceta*, (45), 51-54.
- Boutakiout, M., Hadri, H., Nouri, J., Díaz-Martínez, I., Pérez-Lorente, F. (2009a). Icnitas terópodos gigantes. Sinclinal de Iouaridène. Jurásico Superior. Marruecos. En *XXIV Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología, Libro de resúmenes*, 21-22.
- Boutakiout, M., Hadri, H., Nouri, J., Díaz-Martínez, I., Pérez-Lorente, F. (2009b). Rastrilladas de icnitas terópodos gigantes del Jurásico Superior (Sinclinal de Iouaridène, Marruecos). *Revista Española de Paleontología*, (24), 31-46.
- Charroud, M., Feddan, B. (1992). Données préliminaires sur la découverte du gisement de Boulahfa (SW de Boulemane, Moyen Atlas central). *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, (366), 448-449.
- Choubert, G., Faure Mauret, A. (1967). Le Jurassique de la région d'El Mers (Moyen Atlas). *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, (200), 5-32.
- Demathieu, G. R. (1986). Nouvelles recherches sur la vitesse des vertébrés, auteurs de traces fossiles. *Geobios*, (19), 327-333.
- Dresnay, R. Du (1965). Relation entre «dalle des Haut Plateaux», «calcaires corniches» et marnes a pholladomyes dans la partie occidentales des haut plateaux marocains. *Comptes Rendues sommaires de la Société Géologique de France*, (7), 238-239.
- Dutuit, J. M., Ouazzou, A. (1980). Découverte d'une piste de dinosaure sauropode sur le site d'empreintes de Demnat (Haut Atlas marocain). *Mémoires de la Société géologique de France*, n.s. (139), 95-102.
- Farlow, J. O. (1992). Sauropod tracks and trackmakers: integrating the ichnological and skeletal records. *Zubia*, (10), 89-138.
- Fedan, B.(1988). *Evolution géodynamique d'un bassin intraplaque sur décrochements : Le Moyen Atlas (Maroc) durant le méso-cénozoïque*. Thèse de Doctorat ES-sciences . Université Mohamed V, Rabat, 337 pp.
- García Raguél, M., Cuevas, I., Díaz-Martínez, I., Pérez-Lorente, F. (2009). Fragmentos de roca con huellas de ave en el terciario de Alcanadre (La Rioja). Descripción, estructuras y problemas de identificación. *Zubia*, (27), 81-158.
- Gatesy, S. M. (2003). Direct and indirect tracks features: what sediment did a dinosaur touch? *Ichnos*, (10), 91-98.

- Gatesy, S. M., Middleton, K. M., Jenkins, F. A. J., Shubin, N. H. (1999). Three-dimensional preservation of foot movements in Triassic theropod dinosaurs. *Nature*, (399), 141-144.
- Hadri, M. (1998). *Carte géologique Tinjidad échelle 1/100.000*. Service Géologique du Maroc. *Notes et mémoires* N° 385.
- Hadri, M., Boutakiout, M., Pérez-Lorente, F. (2007a). Nuevos yacimientos de icnitas de dinosaurios carixienses. Sur del Alto Atlas Central (Goulmima, Marruecos). *Geogaceta*, (41), 107-110.
- Hadri, M., Pereda, X., Boutakiout, M., Pérez-Lorente, F. (2007b). Icnitas de posibles dinosaurios tireóforos del Jurásico Inferior (Alto Atlas, Goulmima. Marruecos). *Revista Española de Paleontología*, (22), 147-156.
- Haubold, H. (1971). Ichnia amphibiorum et reptiliorum fossilium. En *Handbuch der Paläoherpetologie*, Ed. O. Kuhn, (18,18), 1-124.
- Ishigaki, S. (1985). Les empreintes de dinosaurios du Jurassique inférieur du Haut Atlas Central. *Géologie et Energie*, (56). 30-45.
- Ishigaki, S. (1989). Footprints of swimming sauropodes from Morocco. En *Dinosaur Tracks and Traces*. D.D.Gillette y M.G.Lockley eds. Cambridge Univ. Press, 83-86.
- Jenny, J., Jossen, J. A. (1982). Découverte d'empreintes de pas de Dinosaurios dans le Jurassique inférieur (Pliensbachien) du Haut Atlas central (Maroc). *Comptes Rendues Academie des Sciences de Paris*, (294 sér. II). 223-226.
- Jenny, J., Le Marrec, A., Monbaron, M. (1981). Les empreintes de pas de dinosaurios dans le Jurassique Moyen du Haut Atlas Central (Maroc): nouveaux gisements et précisions stratigraphiques. *Geobios*, (14), 427-431.
- Kuban, N., (1989). Elongate dinosaur tracks. En *Dinosaur tracks and traces* D. D. Gillette y M. G. Lockley eds. Cambridge University Press, 57-72.
- Lapparent, A. F. De, (1942). Sur les dinosaurios du Maroc. *Comptes Rendues sommaires de la Société géologique de France*, (5), 38
- Lapparent, A. F. De (1955). Etudes paléontologiques des vertébrés du Jurassique d'Elmers (Moyen Atlas). *Notes et Mémoires du Service géologique du Maroc*, (124), 1-36.
- Leonardi, G. (ed),. (1987). *Glosary and Manual of Tetrapod Footprint Palaeoichnology*, Dep. Nac. Prod. Miner., Brasilia. 116 pp.
- Lockley, M. G., Meyer, C. A., Santos, V. F., (1998). *Megalosauripus*, and the problematic concept of *Megalosaur* footprints. *Gaia*, (15), 317-327.
- Manning, P. L. (2004). A new approach to analysis and interpretation of tracks: examples from the Dinosauria. En *The application of ichnology to palaeoenvironmental and stratigraphic analysis*, McIlroy, D. ed. *Geological Society Special Publication*, (228), 93-123.
- Melero, M., Pérez-Lorente, F. (2011). Huellas en las obras: reconocimiento y estudio de huellas fósiles de dinosaurio en la presa de Enciso (La Rioja. España). *Zubia*, (29), 31-60.

- Meyer, C. A., Thüring, B. (2004). The first dinosaur footprints from the Middle Jurassic (Bathonian-Callovian) of the Middle Atlas mountains (Morocco). *2 meeting of European Vertebrate Palaeontologist. Brno, (Abstracts with Programm)*. p. 20.
- Meyer, C. A., Thüring, B. (2005). Mind the "Middle Jurassic" gap. Bone versus track record in dinosaurs. *3rd Swiss Geoscience Meeting Zurich*, 59-60.
- Milhi, A. (1997). *Carte géologique Tinghir échelle 1/100.000*. Service Géologique du Maroc, *Notes et Mémoires* (377).
- Monbaron, M. (1979). Les empreintes de pas de Dinosauriens dans le Jurassique moyen du Haut Atlas Central (Maroc): Nouveaux gisements et précisions stratigraphiques. *Mines, Géologie et Energie*, Rabat, (57-61).
- Monbaron, M. (1983). Dinosauriens du Haut Atlas Central (Maroc). *Acta Societate Jurassienne d'Emulation*, 203-234.
- Monbaron, M., Dejax, J., Demathieu, G. (1985). Longes pistes de dinosaures bipèdes à Adrar-N. Ouglalal (Maroc) et repartition des faunes de grands reptiles dans le domaine atlasique au cours du Mésozoïque. *Bulletin du Musée National d'Histoire Naturel. Paris (Sciences de la Terre Paléontologie, Géologie-Minéralogie)*, (7,3), 229-242.
- Monbaron, M., Russell, D. A., Taquet, P., (1999). *Atlasaurus imelakei* n.g., n.sp., a brachiosaurid-like sauropod from the Middle Jurassic of Morocco. *Comptes Rendues Academie des Sciences de Paris*, (329), 519-525.
- Monbaron, M., Taquet, P. (1981). Découverte du squelette complet d'un cétiosaure (dino-saure sauropode) dans le bassin jurassique moyen de Tilougguit (Haut-Atlas central, Maroc). *Comptes Rendues Academie des Sciences de Paris*. (292), 243-246.
- Pérez-Lorente, F. (1993). Dinosaurios plantígrados en La Rioja. *Zubia monográfico*, (5), 189-228.
- Pérez-Lorente, F. (2001). *Paleoicnología. Los dinosaurios y sus huellas en La Rioja*. Gobierno de La Rioja/Fundación Cajarioja. 227 pp.
- Pérez-Lorente, F., Herrero Gascón, J. (2007). El movimiento de un dinosaurio deducido de una rastreada terópoda con estructuras de inmersión de los pies en el barro y de arrastre de cola (Formación Villar del Arzobispo. Galve, Teruel, España). *Revista española de paleontología*, (22), 157-174.
- Pérez-Lorente, F., Boutakiout, M., Ennadifi, Y., Caro, S., Hadri, M., Nouri, J. (2007). Dinosaur footprints in Central High-Atlas: ichnodiversity, restoration and valorization. *Fisrt. MAPG International convection, conference and exhibition*. Marrakech. p. 137.
- Pérez-Lorente, F., Hadri, M., Boutakiout, M. (2006). Primeras icnitas de dinosaurio en el sur del Alto Atlas Central. Carixiense (Formación de Arhbalou, Goulmima. Marruecos). *Geogaceta*, (40), 159-162.
- Pizzichini, S. (2009). *Theropodi che gattonano: analisi biodinamica*. Elaborato finale in paleontologia. Università di Roma. *Memoria inedita*. 39 pp.

- Plateau, H., Giboulet, G., Roch, E. (1937). Sur la présence d'empreintes de dinosaures dans la région de Demnat (Maroc). *Comptes rendues sommaires, Séances de la Société Géologique de France*, 241-242.
- Romero Molina, M. M., Pérez-Lorente, F., Rivas Carrera, P. (2003a). Análisis de la parataxonomía utilizada con las huellas de dinosaurio. En *Dinosaurios y otros reptiles mesozoicos en España*, F. Pérez-Lorente coord. *Ciencias de la Tierra*, (26), 13-32.
- Romero-Molina, M. M., Sarjeant, W. A. S., Pérez-Lorente, F., López, A., Requeta, E. (2003b). Orientation and characteristics of theropod trackways from the Las Losas Palaeoichnological site (La Rioja, Spain). *Ichnos*, (10), 241-254.
- Soufiani, N. (1999). *Le passage des dépôts carbonatés au détritiques dans le méso-cénozoïque du Moyen Atlas (Maroc). Typologie, modalités et signification géodynamique* Thèse de doctorat
- Soufiani, N., Fedan, N. (2002). Les dépôts Bathoniens du synclinal d'El Mers (Moyen Atlas, Maroc): unités formationnelles, analyse et cadre géodynamique. *Bulletin de l'Institut Scientifique*, (24), 1-14.
- Termier, H. (1936). Etude géologique sur le Maroc central et le Moyen Atlas septentrional. *Notes et Mémoires . Service des Mines et Carte Géologique du Maroc* (septembre), 124-126.
- Termier, H., Dubard, G. (1933). *Carte provisoire du moyen Atlas septentrional*. Edition du Service géologique, Maroc.
- Termier, H., Gubler, J., Lapparent, A. F. De, (1940). Reptiles et poissons du Bathonien d'El-Mers (Moyen-Atlas. Mar.). *Comptes Rendues Academie des Sciences. Paris*, (210), 768-770.
- Thulborn, R. A. (1990). *Dinosaur Tracks*, Chapman and Hall. 410 pp.
- Thulborn, R. A. y Wade, M. (1989). A footprint as a history of movement. En *Dinosaur Tracks and Traces* D.D.Gillette y M.G.Lockley eds. Cambridge Univ. Press, 51-56.



ZUBÍA

30



Gobierno de La Rioja
www.larioja.org



**Instituto
de Estudios
Riojanos**