

ZUBÍA

REVISTA DE CIENCIAS

29

ier

Instituto de Estudios Riejanos

ZUBÍA
REVISTA DE CIENCIAS,
Nº 29 (2011). Logroño (España).
P. 1-154, ISSN: 0213-4306

DIRECTORA

Purificación Ruiz Flaño

CONSEJO DE REDACCIÓN

Luis Español González

Rafael Francia Verde

Juana Hernández Hernández

Luis Miguel Medrano Moreno

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

(Fundación Patrimonio Paleontológico de Enciso)

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

(Complejo Hospitalario San Millán-San Pedro de 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

ZUBIA

REVISTA DE CIENCIAS

Núm. 29

ier

Gobierno de La Rioja
Instituto de Estudios Riojanos
LOGROÑO
2011

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 2011
Instituto de Estudios Riojanos
C/ Portales, 2
26001-Logroño, La Rioja (España)
- © Diseño de cubierta e interior: ICE Comunicación
- © Imagen de la cubierta: Bosque en el valle del Najerilla
(Fotografía de David Lasanta Santolaya)

Imprime: INO Reproducciones, S.A.

ISSN 0213-4306
Depósito Legal LO-56-1986

Impreso en España - Printed in Spain

A Jesús Palacios Remondo
In memoriam

ÍNDICE

RUBÉN LADRERA FERNÁNDEZ, ALFREDO RUEDA DIEZ

Estudio del estado ecológico del río Najerilla (La Rioja)

A study on the ecological status of river Najerilla (La Rioja) 9-30

MARÍA MELERO RUBIO, FÉLIX PÉREZ-LORENTE

Huellas en las obras. Reconocimiento y estudio de huellas fósiles de dinosaurio en las obras de la presa de Enciso (La Rioja, España)

Footprints in the public works. Recognition and study of dinosaur footprints in the works of Enciso's dam (La Rioja, Spain) 31-60

IGNACIO DÍAZ-MARTÍNEZ

Generalidades sobre las icnitas ornitópodas de La Rioja (Cuenca de Cameros, España)

Generalities of the ornithopod footprints from La Rioja (Cameros Basin, Spain) 61-84

TOMÁS SANZ, MARCELIANO LAGO, ANDRÉS GIL, ANDRÉS POCOVÍ,

TERESA UBIDE, CARLOS GALÉ

Peculiaridades de los afloramientos basálticos del frente Norte de la Sierra de Cameros (La Rioja), dentro del magmatismo alcalino triásico del Rift Ibérico

New contributions to the basaltic outcrops study from the north of the Sierra de Cameros (La Rioja, Spain), included in the upper-triassic alkaline iberian magmatism 85-116

JUAN CARLOS GUERRA VELASCO

La memoria general de repoblación forestal del distrito de Logroño y el primer croquis dasográfico de La Rioja

The general report on the reforestation of the district of Logroño (Spain) and the first forest sketch of La Rioja (Spain) 117-132

SERGIO IBÁÑEZ PASCUAL, JOSÉ LUIS PÉREZ SOTÉS, FERNANDO PEREGRINA

ALONSO, ENRIQUE GARCÍA-ESCUADERO DOMÍNGUEZ

La cubierta vegetal como sistema alternativo de mantenimiento de los suelos de viñedo en la D.O.ca. Rioja

Cover crops as alternative soil management system in D.O.ca. Rioja vineyards 133-148

HUELLAS EN LAS OBRAS. RECONOCIMIENTO Y ESTUDIO DE HUELLAS FÓSILES DE DINOSAURIO EN LAS OBRAS DE LA PRESA DE ENCISO (LA RIOJA. ESPAÑA)

MARÍA MELERO RUBIO¹

FÉLIX PÉREZ-LORENTE²

RESUMEN

El seguimiento paleontológico de las obras de construcción de la Presa de Enciso, incluidas las de variantes de carretera, y cantera de áridos, ha permitido examinar y dejar constancia de varios grupos de huellas de dinosaurio y de las condiciones de formación y de conservación de las mismas. La riqueza de las rocas de la región en huellas fósiles ha suministrado abundante cantidad de ejemplares que se han estudiado y que se publican en el presente trabajo. No sólo son de destacar las pisadas en cuanto a reproducción de material biológico sino que los cortes frescos dejan ver con gran claridad estructuras acompañantes, directas e indirectas, muy importantes a la hora de analizar las icnitas.

Palabras clave: Icnitas, dinosaurios, Cretácico, Cuenca de Cameros, obras públicas, La Rioja.

The paleontological control of the construction and public works of Enciso's dam, included road variants, and arid's quarry works, has allowed to examine and to leave witness of several outcrops of dinosaur footprints and diversity of formation and conservation conditions of the same ones. The wealth of the rocks of the region in fossil footprints has supplied abundant quantity of examples that have been studied in the present work. The importance of the footprints ones is outlined because they reproduce anatomical structures of the dinosaurs and structures of deformation of the mud and of the substratum on having been print. The fresh cuts allow to see with great clarity the direct and indirect structures, very important to study and to analyze the ichnite formation processes.

Key words: Footprints, dinosaurs, Cretaceous, Cameros Basin, public works, La Rioja.

1. Geóloga. Arzobispo Apaolaza 8, 50009 Zaragoza.

2. Profesor TU. Edificio CT. Universidad de La Rioja. Madre de Dios 51-53, 26006 Logroño.

0. INTRODUCCIÓN

Las obras de la Presa de Enciso se han seguido para examinar principalmente los fósiles de dinosaurio (huellas y huesos) que surgieran durante las excavaciones y movimientos de tierra. El objetivo fundamental del seguimiento ha sido el control de los restos paleoicnológicos, pero también se ha tenido presente el estudio de cualquier fósil o elemento de interés geológico que pudiera aparecer. Las posibilidades de encontrar icnitas es muy pequeña en este tipo de obras ya que las máquinas y las voladuras actúan rompiendo la roca en fragmentos de tamaño apropiado para su manipulación y transporte. No obstante, se han examinado tanto los frentes de trabajo como los fragmentos, tanto en los frentes después de las voladuras como en las escombreras, para controlar al máximo las posibilidades.

Han aparecido huellas de dinosaurio en bloques de roca de todos tamaños y en las superficies de estratificación que salían al descubierto en los estribos en los que se anclan los laterales del muro de la presa. Las zonas examinadas son la cantera de caliza de Antoñanzas, la trinchera de la carretera nueva de acceso (que parte desde cerca de la ermita de la Concepción, pasa cerca de La Escurquilla y sube hasta encima del muro); los dos estribos del muro de la presa y los bloques procedentes de las voladuras de la presa y de las labores anejas.

El guión del trabajo se va a establecer haciendo primero la descripción de las icnitas por lugares en los que se han encontrado, y en segundo lugar la síntesis de los datos obtenidos. Hay un glosario de definiciones icnológicas en García Ragué *et al.* (2009) en el que se encuentra el significado de los términos poco comunes. Para el resto se han seguido las recopiladas en Haubold (1971), Thulborn (1990) y Pérez-Lorente (2001).

1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA

Para separar unas huellas de otras, a todas las vamos a dar el nombre de icnitas de la presa con las siglas PRE. Los grupos de muestras con icnitas van a ser los siguientes (Figura 1): bloques sueltos de la carretera de acceso (1PRE); bloques sueltos de la presa (2PRE); icnitas del estribo Este (3PRE); y finalmente icnitas del estribo Oeste (4PRE). Las icnitas y sus agrupaciones están indicadas en el Anexo 1.

La localización de los lugares de donde proceden las muestras está en la Figura 1 y las coordenadas UTM de los puntos medios de los lugares se muestran en la Tabla 1.

Las unidades litológicas son las empleadas en el Mapa 1:50.000 de la serie MAGNA (hoja nº 280, Enciso) por Cámara y Durantez (1981) y la edad es aproximación a la atribuida por Doublet (2004). Según este último autor, la edad del Grupo de Urbión es Hauteriviense superior-Barremiense y los depósitos más bajos del Grupo de Enciso son Barremiense superior-Albiense.

TABLA 1.
Identificación de los yacimientos

Yacimiento	Coordenadas X/Y	Unidad litológica	Grupo	Edad
1PRE	559550/4667470	C ₁₃ ^{4m}	Enciso	Barremiense superior-Aptiense
2PRE	559500/4666090	C ₁₂₋₁₃ ^{3asc} - C ₁₃ ^{4c1}	Urbión-Enciso	Barremiense
3PRE	559624/4666200	C ₁₂₋₁₃ ^{3asc} - C ₁₃ ^{4c1}	Urbión-Enciso	Barremiense
4PRE	559836/4666000	C ₁₂₋₁₃ ^{3asc} - C ₁₃ ^{4c1}	Urbión-Enciso	Barremiense
5PRE	558576/4665175	C ₁₂₋₁₃ ^{3asc}	Urbión	Barremiense

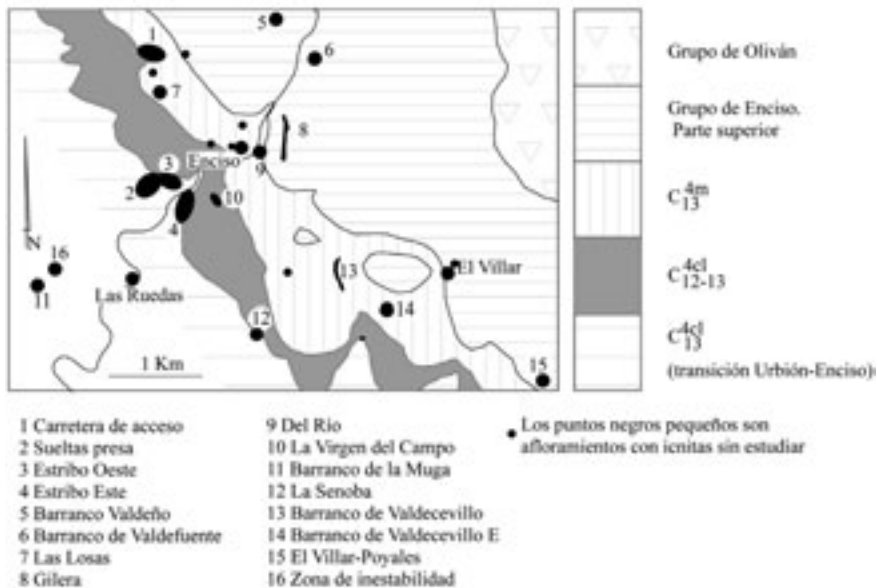


Fig. 1. Localización de los yacimientos.

Las rocas de la unidad C₁₂₋₁₃^{3asc} se incluyen en la transición Urbión-Enciso en la cartografía MAGNA. Son diferentes de las del Grupo de Enciso porque en este grupo hay acumulaciones potentes de niveles lutítico-carbonatados de origen lacustre no litoral. Esta unidad es continua hasta las capas del yacimiento de La Virgen del Campo y La Senoba, cuya pertenencia a la zona de transición o al grupo de Enciso, es discutible si se consideran aspectos litológicos. Si el Grupo de Urbión es Hauteriviense superior-Barremiense y la parte inferior del Grupo de Enciso es Barremiense superior-Aptiense, parece que la atribución correcta de la edad de las icnitas de 2PRE, 3PRE y 4PRE sea Barremiense. No es clara la edad de 5PRE que se sitúa en el intervalo Valangiense-Barremiense para ciertos autores (cf. Doublet, 2004).

Encima de La Virgen del Campo-La Senoba hay sedimentos lacustres no litorales, con intercalaciones de margas y calizas en niveles poco potentes que contienen ostrácodos (C₁₃^{4c}).

Encima de la unidad anterior, hay de nuevo sedimentación silíceas que da una barra continua a la escala de la Cuenca (desde Jalón de Cameros hasta cerca de Ambas Aguas) caracterizada por al menos un nivel con raíces relativamente gruesas (Pérez-Lorente, en revisión). Esta unidad C₁₃^{4m} está por debajo, a distancia variable, de la parte media del Grupo de Enciso. La parte media, con calizas abundantes, se incluye en el Aptiense. Por tanto, la edad atribuible a las icnitas de 1PRE debe ser Barremiense superior-Aptiense

La mayor parte de las rocas que conservan huellas descritas en este trabajo, son las formadas por alternancias de capas silíceas con mayor o menor contenido de arena. En corte son de color gris oscuro a negro color que probablemente se debe al contenido en materia orgánica. El conjunto 1PRE sin embargo, está en sedimentos que tienen intercaladas capas de caliza con capas arenosas y con capas lutíticas. Las calizas suelen proporcionar los resaltes del relieve probablemente por su potencia grande y las lutitas y areniscas dan en el paisaje zonas arcillosas usadas para el cultivo. Estas formas de paisaje son las típicas del Grupo de Enciso. Los otros cuatro yacimientos están sobre rocas detríticas silíceas sin intercalaciones arcillosas como las del Grupo de Enciso. La asociación siliciclástica en la que están estos cuatro yacimientos la colocaban los autores alemanes (Tischer, 1996) en la zona de transición entre el Grupo de Urbión y el de Enciso. En los estratos más altos de estas capas duras están los yacimientos de La Virgen del Campo y de la Senoba, considerados del Grupo de Enciso en los trabajos de paleoicnología.

2. ESTUDIO ICNÍTICO. DESCRIPCIÓN DE LOS YACIMIENTOS

2.1. Yacimiento 1PRE. (Figura 2)

Lo componen tres bloques de roca silícea (1.1PRE, 1.2PRE, 1.3PRE) procedentes del mismo paquete en el que se encuentran el yacimiento de Las Losas y los estratos con raíces fósiles (Pérez-Lorente, 2010, en revisión).

2.1.1. CONJUNTO 1.1PRE

1.1PRE lo forman unas 11 icnitas sobre pizarra arcillosa negra con pajuelas brillantes de mica. Las huellas (Figura 2) tienen los dedos muy estrechos y largos pero su zona de unión es bastante ancha. Algunas de las marcas de dedo son totalmente filiformes (1.1PRE8). Muchas de las icnitas tienen el hueco relleno de material masivo en el que no se aprecian estructuras, pero en 1.1PRE6, se ve que hay láminas lutíticas que ocupan el interior de la icnitas (Figura 3) que se doblan paralelamente a las del borde de la pisada. En 1.1PRE7 por encima de la láminas lutíticas, se sedimenta arenisca aparentemente masiva. A pesar de la estrechez de las marcas de los dedos, no hay ninguna señal de colapso de barro. Parte de las láminas se desprenden, totalmente en algunas icnitas (1.1PRE2) de forma que se ve un hueco vacío y estructuralmente continuo como si se tratara de una estampa dejada por la suela de un pie.

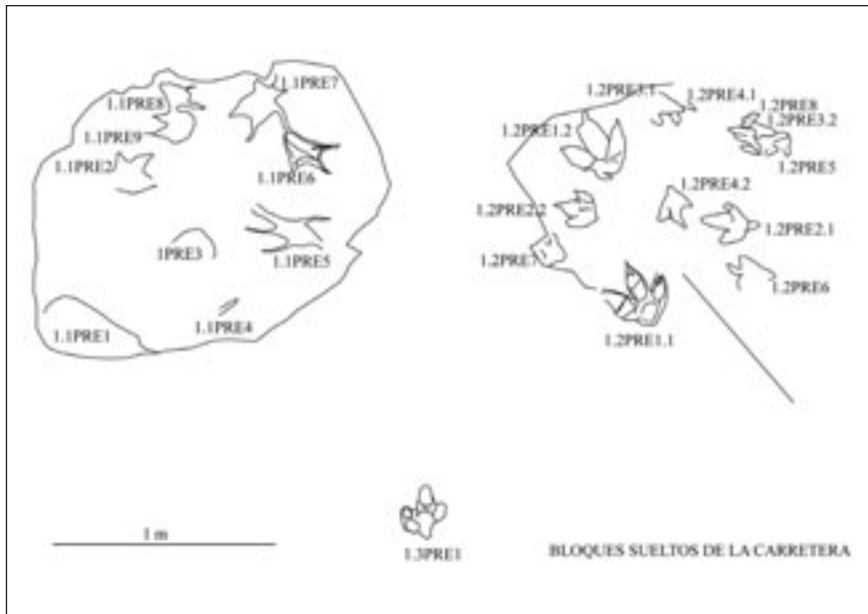


Fig. 2. 1PRE. Bloques sueltos de las obras de la carretera de acceso.

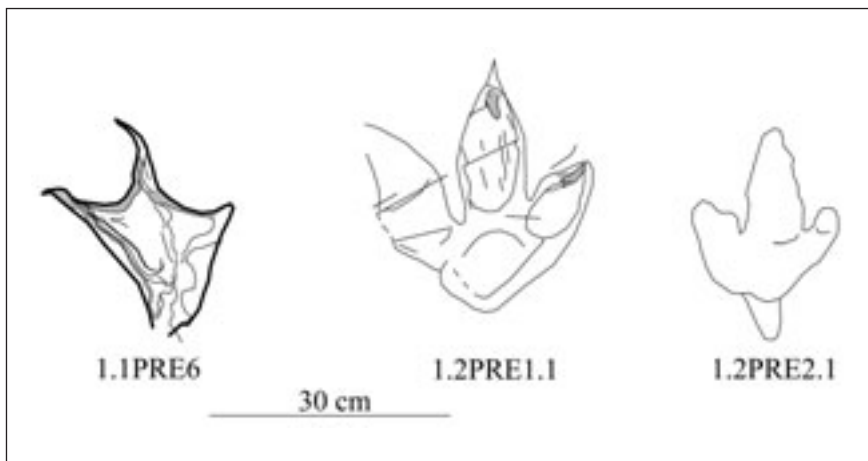


Fig. 3. 1.1PRE6. Láminas sedimentarias dobladas y atravesadas por el dedo y la uña; las zonas sombreadas son las de máxima pendiente. La línea gruesa es la línea de contorno, y las finas son láminas sedimentarias.

1.2PRE1.1. Las zonas sombreadas son las marcas dejadas por las uñas. Las líneas delgadas paralelas al contorno de los dedos o a las marcas de uñas, son estrías de deslizamiento. Dos fracturas rompen la roca y desencajan las marcas de los dedos.

1.2PRE2.1. Icnita con marca de metatarso inclinado. No es una icnita semiplantígrada.

Las dos marcas que se pueden medir porque la línea de contorno se cierra y porque no interfiere con la de otras huellas son 1.1PR6 y 1.1PRE2. La longitud de las pisadas es de 23 a 28 cm y la anchura de 22 a 24 cm. Los ángulos interdigitales no se pueden medir porque no se han grabado los dedos en su posición original.

La estrechez de la marca de los dedos en 1.1PR6, no es debida a colapso del barro porque las láminas sedimentarias se mantienen paralelas a sí mismas en toda la huella. No tienen zonas de caída gravitatoria. Quedan cortadas en el fondo de los extremos distales del dedo central y de uno de los laterales (Figura 3), en la estría o cicatriz de fondo. La icnogénesis debe ser similar al de las huellas de Bin el Ouidane descritas por Boutakiout *et al.* (2006). El pie se apoya encima de las láminas lutíticas que rodean y que están en el hueco de la pisada y, en los laterales de los dedos, las láminas se doblan suavemente. Se forma así la parte ancha de las icnitas. Los dedos y las uñas atraviesan cortando las láminas sedimentarias como en el proceso descrito en el trabajo citado.

Aunque no quedan marcas que sean la reproducción del contorno de los dedos para ver si son anchos o estrechos, estas icnitas no se forman con pies tridáctilos de tipo ornitópedo. Los dedos anchos y juntos separan el barro y cuando penetran el él, el efecto es el de un émbolo y no el de un cuchillo. Las pisadas 1.1PRE son por lo tanto icnitas terópodas cuyas medidas están en el límite de separación entre terópodas grandes y pequeñas.

Hay también tres marcas incompletas no identificadas debido a que no muestran caracteres de reconocimiento icnotaxonómico.

2.1.2. CONJUNTO 1.2PRE

Las huellas son contramoldes en el muro de un estrato que producen hiporelieves convexos. El estrato en el que se alojan los contramoldes es margoso. El relleno de los contramoldes es de limo negro, aparentemente masivo, con pajuelas micáceas. La superficie con huellas no tiene nivelitos o laminación fina paralela a la estratificación como el bloque anterior, y los que pudiera haber se han meteorizado y desprendido de la roca. Hay más de una etapa de paso de dinosaurios que se aprecia por la superposición de las icnitas.

El bloque tiene 11 huellas heterométricas pero con caracteres similares. Son huellas más largas que anchas, tridáctilas con dedos separados y fuertes que terminan en la marca de uña muy delgada en comparación con la anchura de la impresión de los dedos. Las marcas de las uñas no se muestran en su forma interna cóncava, sino que son la parte convexa del hueco dejado por la uña al girar y hundirse en el suelo.

Muchas de las marcas tienen la terminación trasera muy saliente, probablemente debida a la impresión del sector trasero del metatarso (Figuras 2 y 3).

Se distinguen bien ciertos detalles como marcas de uña (Figura 3) y la separación entre las almohadillas dactilares y la del talón. Es muy probable

que cada uno de los dedos tenga más de una almohadilla, como parece verse en 1.2PRE1.1, y como se deduce de la longitud mucho mayor que la anchura de casi todas las impresiones digitales. El ángulo II^III es menor que el III^IV y la relación $(I-a)/a$, es en todas ellas de pie estrecho.

Se clasifican en icnitas terópodas. Solo las icnitas de 1.2PRE1 son terópodas grandes ya que el resto no llegan a 25 cm de longitud.

2.1.2.1. La superposición

En este bloque hay superposición de pisadas que indican la heterocronía de los momentos de paso. Es de interés que señalar que incluso en sectores pequeños, la complejidad de la interpretación es muy grande. Se han deducido las fases de paso y formación de ciertas estructuras, teniendo en cuenta el relleno y la deformación de las pisadas, como se indica:

- Primera fase de paso: 1.2PRE1.1; 1.2PRE1.2; 1.2PRE2.1; 1.2PRE2.2; 1.2PR7. Figura 4, etapa A.

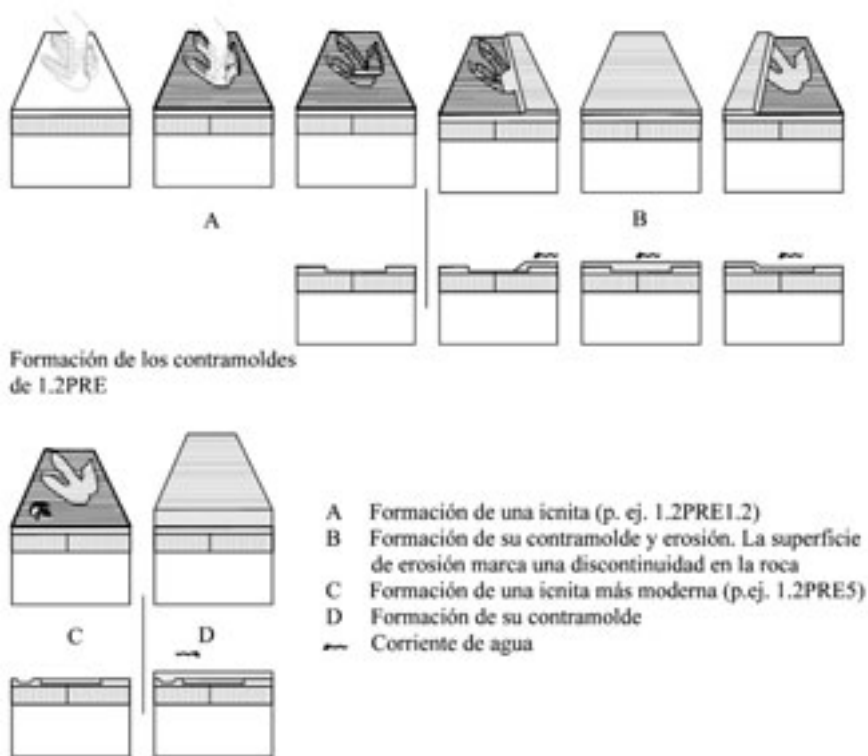


Fig. 4. Proceso de formación de los contramoldes de 1.2PRE. Se han tomado como ejemplo 1.2PRE1.2 (grande) y 1.2PRE5 (pequeño).

- Formación de contramoldes y superficie de erosión. Figura 4, etapa B.
- Segunda fase de paso: 1.2PRE3.1;1.2PRE3.2
- Tercera fase de paso: 1.2PRE8
- Cuarta fase de paso: 1.2PRE4.1; 1.2PRE4.2; 1.2PRE5
- Nueva formación de contramoldes. Figura 4, etapa D

Las icnitas existentes en el entorno de superposiciones son 1.2PRE3.1, 1.2PRE4.1, 1.2PRE8, 1.2PRE3.2 y 1.2PRE5:

- 1.2PRE5, colocada delante de las puntas de los dedos de 1.2PRE3.2. Es más profunda y más antigua 1.2PRE3.2 que 1.2PRE5
- El conjunto de cuatro sectores apicales formado por la superposición de 1PRE4.1 y 1PRE3.1.
- 1.2PRE8 se superpone a 1PRE3.2 hundiendo más el hueco de los dedos de ésta. Apunta en sentido contrario a ella.

Las primeras icnitas en formarse son las del par 1.2PRE3. Antes de que se formara el primer contramolde, es decir de que se llenara la icnita con sedimentos posteriores, se imprime sobre ella 1.2PRE8 deformando a la anterior en el sector de debajo de sus dedos. Después, se rellenan los huecos y se forman los contramoldes de las dos icnitas citadas. Pasado un tiempo, se imprimen los trozos apicales 1.2PRE4 más someros.

En las superposiciones indicadas, el par 1.2PRE3 no deforma a 1.2PRE4.1 ni a 1.2PRE5, que en parte están ocultas. Esto se explica si primero se imprimen las del par 1.2PRE3 y luego las otras, que casi no penetran en el suelo. Ambas series de icnitas están ancladas fuertemente en el nivel que las rellena, cosa que no ocurre con el par 1.2PRE1.1 y 1.2PRE1.2 que se desprenden por la superficie de estudio (del mismo tipo son 1.2PRE2.2 y 1.2PRE7). La génesis de planos débiles paralelos a la superficie de estudio se explica por erosión, por interrupción del depósito o por ambos procesos, coetáneos con la sedimentación (Figura 4). Esto conduce a la historia complicada de la roca en la que se distinguen secuencias temporales de huellas separadas por la evolución sedimentológica y por la superposición de huellas. La diferencia de tiempo entre un y acontecimiento y otro, puede ser despreciable en algunos casos (por ejemplo entre la formación de 1.2PRE3,2 y 1.2PRE8). En este esquema no se sitúa el momento de formación de 1.2PRE6 ni 1.2PRE7 que lógicamente son anteriores a la etapa D (Figura 4). La segunda, tercera y cuarta fases de paso están incluidas en la etapa C de la figura.

2.1.3. HUELLA 1.3PRE1

Icnita aislada en un nivel de limolita arenosa laminada de color amarillo-marrón. Es un hueco tridáctilo que mide 24 cm de largo y 20 de ancho. El talón es saliente y relativamente estrecho, y los dedos tienen almohadillas y terminación distal redondeadas (Figura 2).

Se interpreta que es una icnita real, aunque no una estampa. La marca de la suela con los límites de las almohadillas, y de la línea de contorno que se ciñe a las almohadillas y a sus entrantes indica que son estructuras directas o muy próximas a la interfase piel-barro. Las estructuras son, por lo tanto, válidas para identificar la impronta. Surge un problema al analizar la parte izquierda de la huella, tal y como está en la figura 2, porque tiene dos huecos que podrían corresponderse con dos almohadillas para ese dedo. Ese mismo dedo está atrasado respecto al resto del pie.

Dado que faltan otras icnitas para verificar la repetición o no de los caracteres y forma descritos, no aventuramos la identificación precisa, aunque suponemos que es una icnita ornitópada deformada, en la que uno de los huecos del dedo (izquierdo en la Figura 2) no se justifica bien.

2.2. Yacimiento 2PRE (Figura 5)

Son dos bloques con icnitas ornitópodas actualmente depositados en una zona apartada, dentro de lo que en un futuro ocuparán las aguas. Son bloques procedentes de voladuras, seguramente de la misma capa sedimentaria porque los dos tienen contramoldes de icnitas ornitópodas del mismo tamaño, y porque el relleno en todas es de caliza de color marrón en una matriz de limos negros que penetran entre los huecos de los dedos.

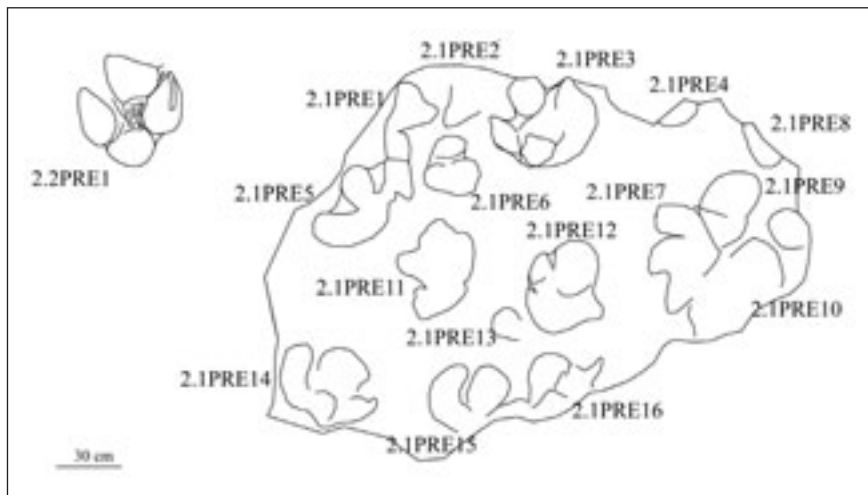


Fig. 5. 2PRE. Dibujo de las huellas de los dos bloques 2.1PRE y 2.2PRE.

2.2.1. CONJUNTO 2.1PRE

Es un bloque grande de unos 3 m² de superficie. Las pisadas tienen contorno redondeado tanto en lo que son las líneas de contorno de las pisadas como

en la superficie que limita el relleno de los contramoldes (la unión entre las paredes y el fondo de las huellas es redondeada). No ha habido comportamiento frágil de ninguna de las partes que limitan los contramoldes. El relleno es claramente de caliza, sin mezcla con limo negro. Esto quiere decir que es el sedimento calizo el que rellena huecos redondeados, y que por lo tanto la superficie que separa a ambos tipos de roca es una estructura directa. Los contramoldes son por lo tanto la reproducción fiel de las huellas, únicamente deformada por la compresión y efectos de diagénesis y tectónicos. La forma distorsionada de las icnitas es el resultado del comportamiento del barro durante las fases de la pisada (incluido el colapso producido durante la fase K de Thulborn y Wade, cf. Pérez-Lorente, 2001). Son icnitas reales pero no son estampas.

En el bloque por lo menos hay marcas de 16 pisadas (Figura 5). Es posible que en las icnitas identificadas haya alguna superposición no reconocible.

Se han medido longitud y anchura en las huellas 2.1PRE3, 2.1PRE5, 2.1PRE11, 2.1PRE13 Y 2.1PRE14. Como se aprecia en la reproducción los contornos son excesivamente irregulares para considerar estas medidas como otra cosa que indicativas. La longitud oscila entre 32 y 47 cm y la anchura entre 44 y 54 cm. Todas son más anchas que largas. La profundidad de las suelas respecto al techo del nivel negro llega a 25 cm. No hay rastrillada ni siquiera secuencia de dos pisadas que se puedan relacionar como pertenecientes al mismo dinosaurio.

Los dedos tienen una almohadilla cada uno, redondeada y relativamente independiente. Es probable que la separación de los dedos se deba a que el suelo es tan blando que las almohadillas no se aplastan durante la fase T y el barro asciende entre ellos. Al llegar al máximo apoyo (fase W) hay barro suficiente entre las almohadillas de los dedos para impedir que contacten. Es decir que no se puede considerar icnotaxonómico el detalle de los dedos separados.

La forma del talón es diferente de unas huellas a otras. Probablemente la diferencia es resultado del comportamiento del barro durante la pisada, y no sea tampoco reflejo de la anatomía del pie.

Son icnitas ornitópodas grandes.

2.2.2. HUELLA 2.2PRE1

Es un bloque pequeño que tiene las mismas características líticas que el anterior: contramoldes de caliza en sustrato limoso negro; una almohadilla por dedo; marcas de almohadillas redondeadas; matriz limosa negra que penetra entre las marcas de las almohadillas. Se clasifica dentro del icnogénero *Brachyiguanodonipus* cf. Díaz-Martínez *et al.* 2009.

La longitud de la icnita es de 53 cm y la anchura de 49. Uno de los dedos tiene una acanaladura ancha que hemos interpretado como marca de la uña producida durante la fase K.

En la roca, la acanaladura producida al penetrar el pie en el barro durante la fase T ha quedado marcada en la parte trasera del talón (Fotografía 1).



Fotografía 1. Huella 2.2PRE1. Acanaladura trasera dejada al penetrar el pie en el barro (Fase T). El martillo sirve de escala.

2.3. Yacimiento 3PRE (Figura 6)

En el estribo Oeste del muro de la presa salieron varias capas con huellas. Algunas simplemente se reconocen en los cortes laterales de los estratos por la deformación que las acompaña. Los niveles son de areniscas y limos interestratificados en capas que no suelen llegar a un metro de potencia. Todas las icnitas tienen estructuras de deformación de barro y a casi todas habría que darles el nombre de subhuellas. Se distinguen las capas 3.1PRE, 3.2PRE y 3.3PRE. Ninguna de las superficies de estudio de 3.1PRE y 3.2PRE es la superficie de marcha.

Todas las rastrilladas semiplantígradas de 3.2PRE son subhuellas. El relleno de los huecos está lo suficientemente deformado para destruir los planos que separan las láminas sedimentarias, y la línea de contorno está por encima de una pendiente generalmente fuerte que limita el hueco de la huella. No hay señales de comportamiento fluido, pero tampoco las hay de comportamiento rígido de los sedimentos. En el yacimiento próximo de Las Losas (Blanco *et al.*, 2000; Romero Molina, *et al.*, 2003) las icnitas semiplantígradas se producen porque el barro está excesivamente blando y los dinosaurios adoptan ese tipo de andar. En 3.2PRE suponemos que las icnitas se forman con el barro en las mismas condiciones.

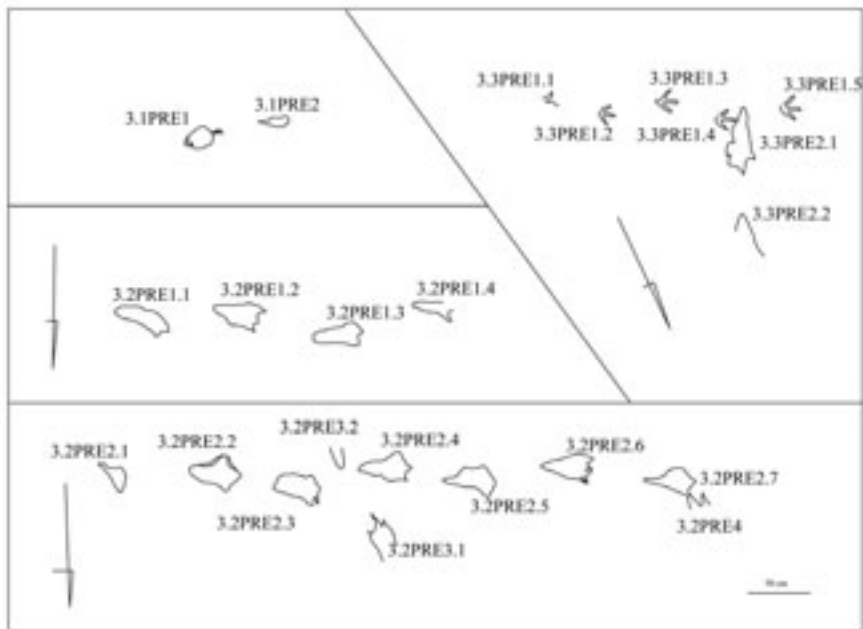


Fig. 6. 3PRE. Dibujo de las huellas del anclaje Oeste.

2.3.1. CONJUNTO 3.1PRE

Las dos primeras huellas, 3.1PRE1, 3.1PRE2, de la figura 6 son subhuellas con relleno complejo. En 3.1PRE1 (Figura 7, Fotografía 2) la subhuella no solo penetra en la superficie de estudio sino que sobresale por encima. El icnopoyeta pisa encima de niveles más altos de la subhuella y hunde la columna de material. La superficie de estudio, como una más de las superficies atravesadas, se rompe a lo largo de la línea de contorno y desciende hacia el interior de la roca. La línea de contorno es la traza de una fractura que limita el hueco de la huella. En el corte CD se aprecia como las láminas de limos arenosos de la superficie original se doblan en el interior de la subhuella y se rompen al llegar a la línea de contorno.

La subhuella es a la vez compleja porque la deformación es diferente en sus dos mitades. En el entorno de A (corte AB) las láminas sedimentarias se conservan bien (están plegadas de manera que su estructura es como la de un sinclinal [corte CD]). Sin embargo en el entorno de B (corte AB) se han borrado las estructuras sedimentarias. La parte media del entorno de A es similar a una zona neutra de deformación frágil, mientras que probablemente en la parte opuesta (B) la deformación ha sido plástica. No podemos atribuir a ningún icnotipo ninguna de estas dos huellas.

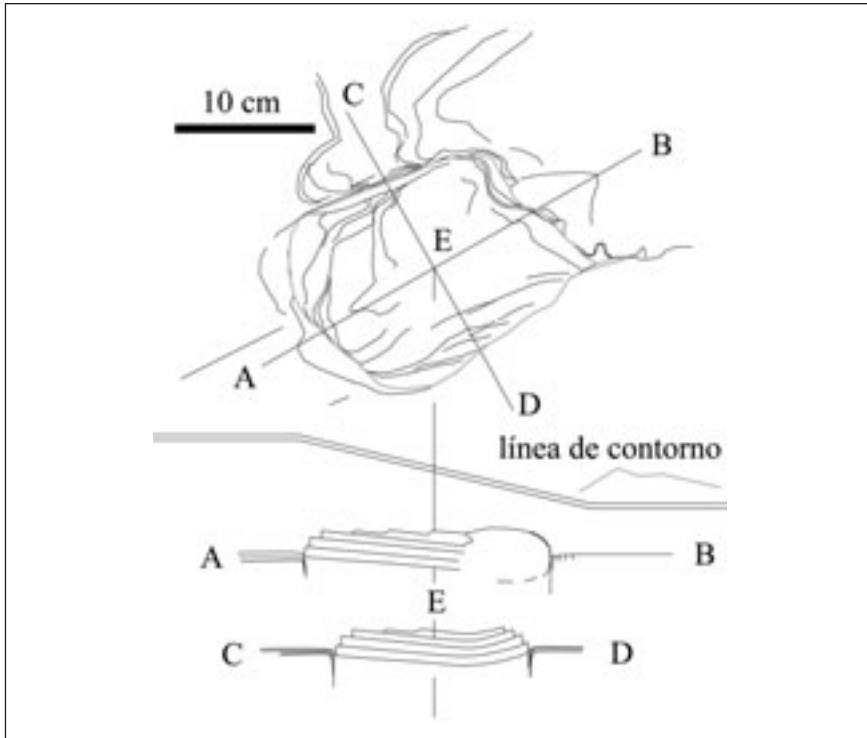
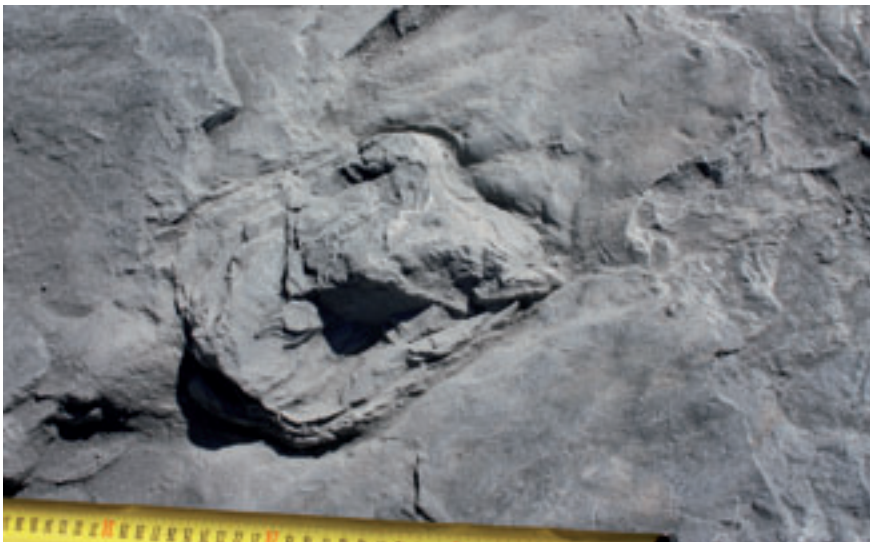


Fig. 7. 3PRE1. Planta y cortes de la icnita.



Fotografía 2. Huella 3.1PRE1. Niveles de la subhuella que sobresalen por encima de la superficie de estudio.

2.3.2.1. Conjunto 3.2PRE1

Está en la misma superficie de estudio que otros tres grupos de icnitas (3.2PRE2 3.2PRE3, 3.2PRE4) que se explicarán más adelante.

La rastrillada, con cuatro pisadas, son subhuellas porque en el hueco están alojados niveles superiores deformados. El borde del hueco es una zona de rotura o de torsión de las láminas sedimentarias. La superficie de estudio no es la superficie de marcha. Las estructuras son subhuellas y calcos.

El metatarso deja también su marca y por su forma alargada y terminación trasera redondeada, el icnopoyeta lo apoyaba totalmente en el suelo (Pérez-Lorente, 2001). La otra opción en la que el metatarso se imprime es cuando el pie penetra tanto en el suelo que queda grabado en su posición inclinada (forma corta, angulosa, de terminación trasera picuda).

Hay pisadas en las que se distingue el cierre del acropodio, de manera que se distinguen dos medidas de longitud (Tabla 2): longitud total (pie con metatarso incluido, 39 cm de media) y longitud del acropodio (17 cm). La anchura media es mayor que la longitud (18 cm), hecho que se refleja en el índice de tipo de pié $[(l-a)/a = -0,12]$, pie ancho]. Es probable que la anchura de la huella y el saliente medial de 3.2PRE1.2 sean debidos al hallux. No se distinguen marcas de dedos y no se pueden medir ni sus dimensiones ni su divergencia. Tampoco se puede saber si los ejes del metatarso y el del pie forman ángulo (Pérez-Lorente, 1993). La rastrillada es muy estrecha como indica el índice de anchura relativa $(Ar/a = 0,37)$.

La velocidad es anormalmente alta como indicó Kuban (1989) y como se ha ido comprobando en trabajos posteriores (Pérez-Lorente, 1993). La zancada relativa (z/h) calculada para $(h = 76)$ deducida del pié digitígrado tiene valores altos. Si se quiere considerar el valor de la pata funcional, hay que restarle la longitud del metatarso $(h = 54)$ con lo que el valor de la zancada relativa y de la velocidad es mayor.

No hay criterios claros para atribuir las icnitas a un taxón ornitópodo o terópodo. Por una parte el acropodio es más ancho que largo (carácter ornitópodo), pero por otro, la terminación de los dedos es acuminada y la marca del metatarso es relativamente larga y estrecha. La pista estrecha y la falta de marca de manos, parece que es más apropiada para dinosaurios terópodos que para ornitópodos.

2.3.2.2. Rastrillada 3.2PRE2

Es una rastrillada, también semiplantígrada, con siete huellas, paralela a la anterior y con el mismo sentido de marcha. Las marcas de pies y las medidas de la pista son similares a 3.2PRE1, quizá las huellas sean un poco mayores.

En esta rastrillada es más difícil asumir la longitud de los acropodios, por lo que no se ha planteado hacer esta medida.

TABLA 2.

pie	I	I ₁	a	P	z	Ar	Lr	Ap	O	II-III-IV	II/III/IV	h	z/h	v ₁	v ₂	(I-a)/a	Ar/a	z/l
3.2PRE1.4	18	33	19	79	156	10	35	152				82	2,0-2,8	7,6	5,8	-0,05	0,5	9,1
3.2PRE1.3	16	38	20	78	159	5	30	164				72	2,1-3	8,2	6,2	-0,2	0,25	9,3
3.2PRE1.2		46	15															
3.2PRE1.1	17	39	18	79	157	7	32	158				76-54		7,9	6	-0,12	0,37	9,2
media		42	23	85														
3.2PRE2.7		42	24	76	163	4	36	167									0,17	
3.2PRE2.6		43	26	72	147	4	42	168									0,15	
3.2PRE2.5		42	23	72	142	6	41	162									0,26	
3.2PRE2.4		36	26	69	138	7	36	155									0,27	
3.2PRE2.3		41	29	85	154	4	35	167									0,14	
3.2PRE2.2		30	13															
3.2PRE2.1		39	23	76	149	5	38	164									0,2	
media		17	20	55						8-11-11	42-44	77						
3.3PRE1.5	17		16	48	101	5	30	156	2	7-12-9	37-2	77	1,4	4,1	3,3	0,06	0,3	6,3
3.3PRE1.4	18		19	49	95	6	32	151	-3	10-11-8	34-56	82	1,3	3,7	3,1	-0,05	0,3	5,9
3.3PRE1.3	13		16	49	96	5	28	156	10	7-9-8	38-49	57	1,3	3,8	3,1	-0,19	0,3	6
3.3PRE1.2																		
3.3PRE1.1	16		17	50	97	5	30	154	3	8-11-9	38-48	73	1,3	3,9	3,2	-0,06	0,3	6,0
media		47	24	160														
4.1PRE1.11		51	30	133	292	8	42	167										
4.1PRE1.10		46	27	106	237	7	42	162										
4.1PRE1.9	31		27															
4.1PRE1.8					218													
—																		

pie	I	I ₁	a	P	z	Ar	Lr	Ap	O	II-III-IV	II ⁰ III ⁰ IV	h	z/h	v ₁	v ₂	(I-a)/a	Ar/a	z/I	
4.1PRE1.6																			
—				187															
4.1PRE1.4																			
—																			
—																			
4.1PRE1.1																			
media	31	48	27	134	233	7	42	164											
4.2PRE1.3		58	25	119															
4.2PRE1.2		49		79	192	12		150											
4.2PRE1.1		45	25																
media		50	25	99	192	12		150											
4.3PRE1.6	38	74	34	136						13—24—17						0,1			
4.3PRE1.5	38	74	33	133	273	12	57	159	-4	1—21—13	22—43	177	1,5	7,6	5,7	0,1	0,4	6,8	
4.3PRE1.4	42	69	38	142	271	12	57	162	-3	16—26—22	24—47	185	1,5	7,3	5,7	0,1	0,3	6,8	
4.3PRE1.3	39	65	36	125	258	20	78	145	-1	16—22—14	22—35	181	1,4	6,9	5,4	0,1	0,5	6,4	
4.2PRE1.2	37	69	36	139	252	23	82	141	-3	16—22—17	26—45	173	1,4	6,7	5,3	0,0	0,6	6,4	
4.2PRE1.1	39	68	34							18—24—14	28—41	181				0,1			
media	39	70	35	135	263	17	68	152	-3	15—2—16	24—42	179	1,4	7,0	5,5	0,1	0,4	6,6	

2.3.2.3. Conjunto 3.2PRE3 y 3.2PRE4

3.2PRE3 son dos huellas de un rastro oblicuo a los descritos. 3.2PRE4 es un trozo de huella paralela al par anterior pero incompleta. Suponemos las mismas características y por lo tanto las mismas conclusiones que para las anteriores.

2.3.3. CONJUNTO 3.3PRE

2.3.3.1. Rastrillada 3.3PRE1

Son cinco huellas tridáctilas de dedos largos, delgados y de ángulo interdigital abierto (II \wedge IV son 83° de media). La longitud (Tabla 2) de la pisada (16 cm) es también menor que la anchura (17 cm), incluso en 3.3PRE1.3 en la que el talón es muy saliente. Todos estos detalles son diagnósticos para atribuir a las aves estas icnitas según trabajos recientemente publicados (De Valais *et al.*, 2008; García Raguel *et al.*, 2009).

La superficie de estudio es en este caso superficie de marcha como lo demuestran las estrías de la fase T que hay tras 3.3PRE1.5 (Figura 8). Una lámina de limos arenosos cubre parcialmente la línea de contorno de varias pisadas. Son icnitas terópodas pequeñas, de divergencia interdigital alta (mayor III \wedge IV que II \wedge III), andar lento (3,2 a 3,9 km/h); huellas anchas (I-a/a = -0,06); rastrillada muy estrecha (Ar/a = 0,3) y extremidades delgadas (z/l = 6).

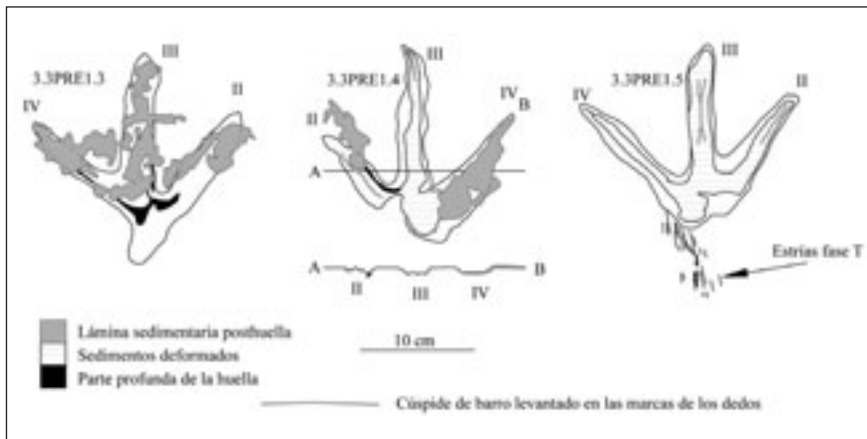


Fig. 8. Tres icnitas de 3PRE7. Estructuras asociadas.

Todos los datos son congruentes con huellas aviformes, y así habría que clasificarlas si las huellas fueran estampas. Las estructuras visibles en 3.3PRE1 tienen que ser estructuras directas, pero las icnitas no son la reproducción fiel de la suela del pie. Lo primero que llama la atención es que no hay mar-

cas de almohadillas dactilares, y que el fondo de las marcas de los dedos está recorrido por una banda de barro deformado que se eleva a lo largo de sus ejes. La elevación a veces termina en una línea como la cúspide de una sierra. En 3.3PRE1.2 y en 3.3PRE1.3 (Figuras 6 y 8) se reconoce la retroversión dactilar causada por el movimiento del pie hacia adelante una vez que ya ha penetrado en el barro (Boutakiout *et al.*, 2006).

Estas estructuras, repetidas en muchas huellas, son estructuras directas pero que indican movimiento del pie hacia adelante en el barro. Este movimiento se produce antes de la fase de apoyo total (fase W) y da como resultado que la punta del dedo III salga más adelantada que el lugar en donde tiene su primer apoyo y que se abran los ángulos interdigitales por adelantamiento de los hipos (figura 1f de Gatesy *et al.*, 1999).

Las icnitas son por lo tanto terópodos, dejadas por un dinosaurio pequeño, ágil (rastrilladas muy estrechas) y de extremidades largas.

2.3.3.2. Par 3.3PRE2

Son dos huellas semiplantígradas, la primera de las cuales tiene completa la línea de contorno. El interior está relleno de material deformado por lo que son subhuellas. La longitud total es de 54 cm y la anchura de 21 cm en el sector II-IV y de 23 cm si se considera el I. El hallus está relativamente separado y tiene una constricción delantera que posiblemente sea marca de la uña. La terminación acuminada de la marca de los dedos hace que consideremos esta impronta como una icnita terópoda. No se observan estructuras destacables o que indiquen alguna particularidad destacable.

3.3PRE2 es posterior a 3.3PRE1

2.4. Yacimiento 4PRE (Figura 9)

Bajo estas siglas están todas las huellas que se han investigado encontradas en las obras para el estribo Este del muro de la presa de Enciso.

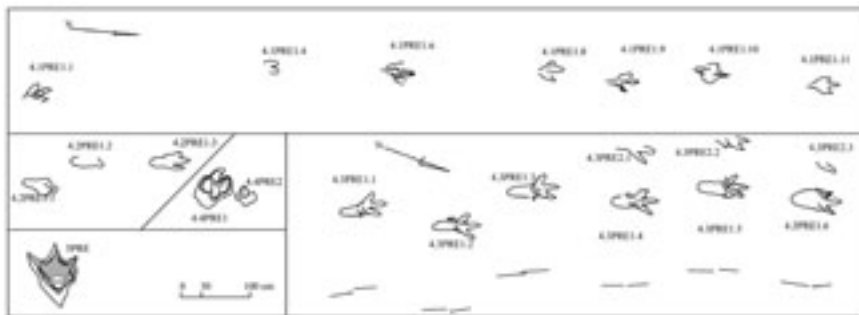


Fig. 9. Rastrilladas de 4PRE.

2.4.1. CONJUNTO 4.1PRE1

Rastrillada que tendría 11 icnitas si se conservaran todas las intermedias; faltan cuatro (la segunda, tercera, quinta y séptima). Tanto la forma de las pisadas y como el rastro que dejan son irregulares. Es posible, aunque muy difícil, que las huellas no pertenezcan al mismo rastro, ya que son las únicas que se ven en el estrato; la longitud media del paso es de 134 cm y la de la zancada de 233 cm (Tabla 2). En consecuencia, se van a describir y a analizar como si formarían parte de la misma secuencia.

Algunas huellas (4.1PRE1.1, 4.1PRE1.4, 4.1PRE1.8) tienen solo marca de dedos, pero otras tienen también la prolongación trasera hecha por el metatarso. Sus dedos son largos pero relativamente fuertes y separados. En 4.1PRE1.1 se marcan algunas almohadillas (tres en el dedo III). La terminación distal de los dedos es acuminada. La línea de contorno no es coherente con una estampa en ninguna de las improntas. Hay muy pocas medidas que representen los caracteres anatómicos con valores de confianza. Son tridáctilas, aparentemente (Tabla 2) su acropodio es algo más largo que ancho (31x27 cm). De la longitud solo se ha hecho una medida, y la variabilidad de las de anchura es muy pequeña (ver Tabla 2). La longitud de las pisadas semiplantígradas son poco fiables porque las icnitas 4.1PRE1.8, 4.1PRE1.9 y PRE1.11 no se cierran por detrás. La línea de contorno de las marcas de metatarso es convergente en las tres icnitas mencionadas, con lo que no se pueden atribuir al apoyo del mismo en el suelo sino a la penetración inclinada.

Muchos de los dedos están colapsados por la caída de barro hacia el interior, de manera que las paredes de los huecos de los dedos profundos son muy inclinadas y terminan en una cicatriz inferior.

Como solo hay una medida de longitud de la pisada, en una huella además incompleta, no hay seguridad para hacer cálculos en los que intervenga esta medida. No se puede deducir ni la altura de la extremidad, ni la velocidad de marcha. Únicamente se deduce que la rastrillada es estrecha.

2.4.2. CONJUNTO 4.2PRE

Está formada por tres subhuellas semiplantígradas. Las capas deformadas sobresalen hasta 5 cm por encima de la superficie de estudio en 4.2PRE1.1. Las icnitas son de apoyo de metatarso en el suelo (líneas laterales de contorno del metatarso paralelas y terminación trasera amplia y redondeada). No es posible medir la longitud de la pisada correspondiente al acropodio y por lo tanto, no se pueden hacer cálculos relativos a la altura de la extremidad, velocidad, etc. La terminación acuminada de la marca de los dedos es un carácter de icnitas terópodas, a las que asociamos estas pisadas.

No se conoce la superficie de marcha ni tampoco cuántos niveles por debajo están desplazados, es decir, que no se conoce la altura de la columna de la subhuella. La deformación en los niveles de las subhuellas que sobresalen por encima de la superficie de estudio es frágil. Su comportamiento es el de una zona neutra y se supone que las paredes del hueco formado deben ser verticales.

2.4.3. CONJUNTO 4.3PRE Y 4.4PRE

Este afloramiento está por encima de los niveles anteriores, separado por una distancia no calculada. Se distinguen en él varios niveles con huellas, unas muy deformadas y otras sin embargo con línea de contorno y caracteres anatómicos impresos bien marcados. En el nivel principal hay dos rastrilladas semiplantígradas paralelas (4.3PRE1 y 4.3PRE2), en los niveles inferiores (4.4PRE) hay icnitas superpuestas sin orden aparente que se sobrepisan y deforman y hacen un amasijo en el sustrato (Figura 3). La dirección del estrato es N160E y su buzamiento de 25NE.

2.4.3.1. Rastrillada 4.3PRE1.1

Rastrillada completa formada por 6 icnitas semiplantígradas. Las líneas de contorno están bien definidas, así como las que separan almohadillas dactilares. Estas solo se ven en los lugares en los que no quedan restos de las láminas sedimentarias superiores.

Las icnitas constan de la marca del pie funcional tridáctilo (Fotografía 4), bien separada de la del hallux y de la del metapodio. El hallux debe ser un simple botón acuminado formado por la uña porque la marca que deja es pequeña e irregular y sin señales de almohadillas. La línea de contorno medial del metapodio diverge de la lateral lo cual quizá indique que el metatarsiano I y las falanges están en el interior de la piel (o bajo las escamas).

Se distingue que el eje del metatarso y el del pie digitígrado no son paralelos (cf. Pérez-Lorente, 1993) y que la profundidad de ambas partes es diferente (Figuras 9 y 10).

La longitud media del pie (Tabla 2) es de 70 cm (39 sin metapodio) y su anchura de 35 cm. El índice de variación de longitud respecto a anchura (0,1) es el de pie estrecho. Los dedos delanteros son largos, fuertes y acuminados; en algunos de ellos se aprecian almohadillas. La divergencia angular es la típica de los dinosaurios bípedos $II \wedge III < III \wedge IV$ (24° - 42°). La marca del hallux es pequeña y medial. La línea de contorno del metatarso se abre hacia el hallux como si este dedo naciese de un metatarsiano relativamente largo que diverge del grupo de metatarsianos II-IV por encima de su mitad superior. Probablemente solo asomaba la uña del primer dedo por encima de la piel (escamas) del metatarso ya que no hay otro tipo de señal en la roca.

La velocidad (calculada para la extremidad sin restar el metatarso) es, como es normal en estas rastrilladas, alta. El índice Ar/a (0,4) es de rastrillada muy estrecha, y el de tipo de extremidad ($z/l = 6,6$) es el de extremidades delgadas.

Son icnitas terópodas semiplantígradas.

No son las únicas icnitas conocidas en La Rioja en las que la profundidad de la marca del acropodio es más profunda que la del metapodio. En Las Losas (Romero Molina *et al.*, 2003) ocurre lo mismo en alguna rastrillada. Allí se ha propuesto la misma icnogénesis que la de la figura 10:



Fotografía 3. Bioturbación en capas. Obsérvense las superficies de estratificación que las separan. El martillo sirve de escala.

- Primero se apoya todo el pie semiplantígrado en el barro de manera que todas sus partes ejercen la misma presión y se hunden lo mismo.
- Al avanzar el dinosaurio eleva el metapodio. Todo el peso del dinosaurio recae sobre el acropodio, la presión aumenta en esa parte del pie y como consecuencia la profundidad de la huella.

El metapodio se puede elevar del suelo en dos opciones diferentes, que probablemente dependerán y estarán determinadas por la anatomía del animal. Una, a partir de la posición que actualmente se supone de apoyo semiplantígrado en marcha normal; otra si el apoyo semiplantígrado solo se produce al estirar la extremidad al alargar la zancada. En la primera el apoyo semiplantígrado ocupa las fases T y W; en la segunda solo la fase T o una parte de ella. Las zancadas, mayores de lo normal, son típicas de este tipo de marcha.

Es posible otra hipótesis si el eje de giro metapodio-acropodio está colocado tan alto que cuando el metapodio se pone horizontal, su base está en un nivel por encima de la suela del acropodio.

2.4.3.2. Rastrillada 4.3PRE2

Paralela a 4.3PRE1 (Figura 9) hay una rastrillada con el mismo tipo de icnitas que ésta: semiplantígradas, del mismo tamaño, paso y zancada y con el mismo sentido de marcha. No se hacen medidas en ella porque la línea de contorno no es completa en ninguna de las icnitas. Aunque el afloramiento visto es pequeño, probablemente son las pisadas de dos dinosaurios que marchaban juntos.

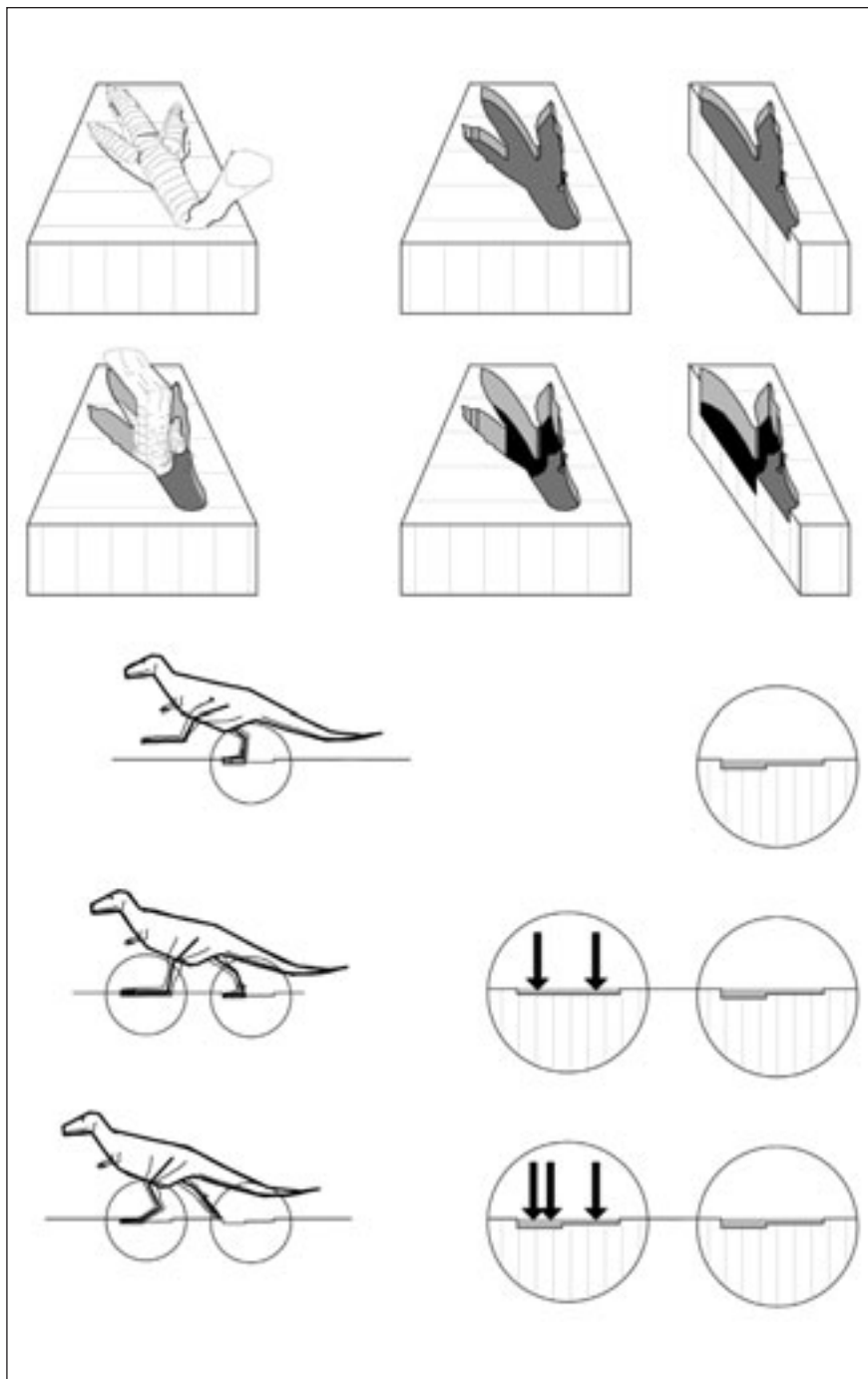
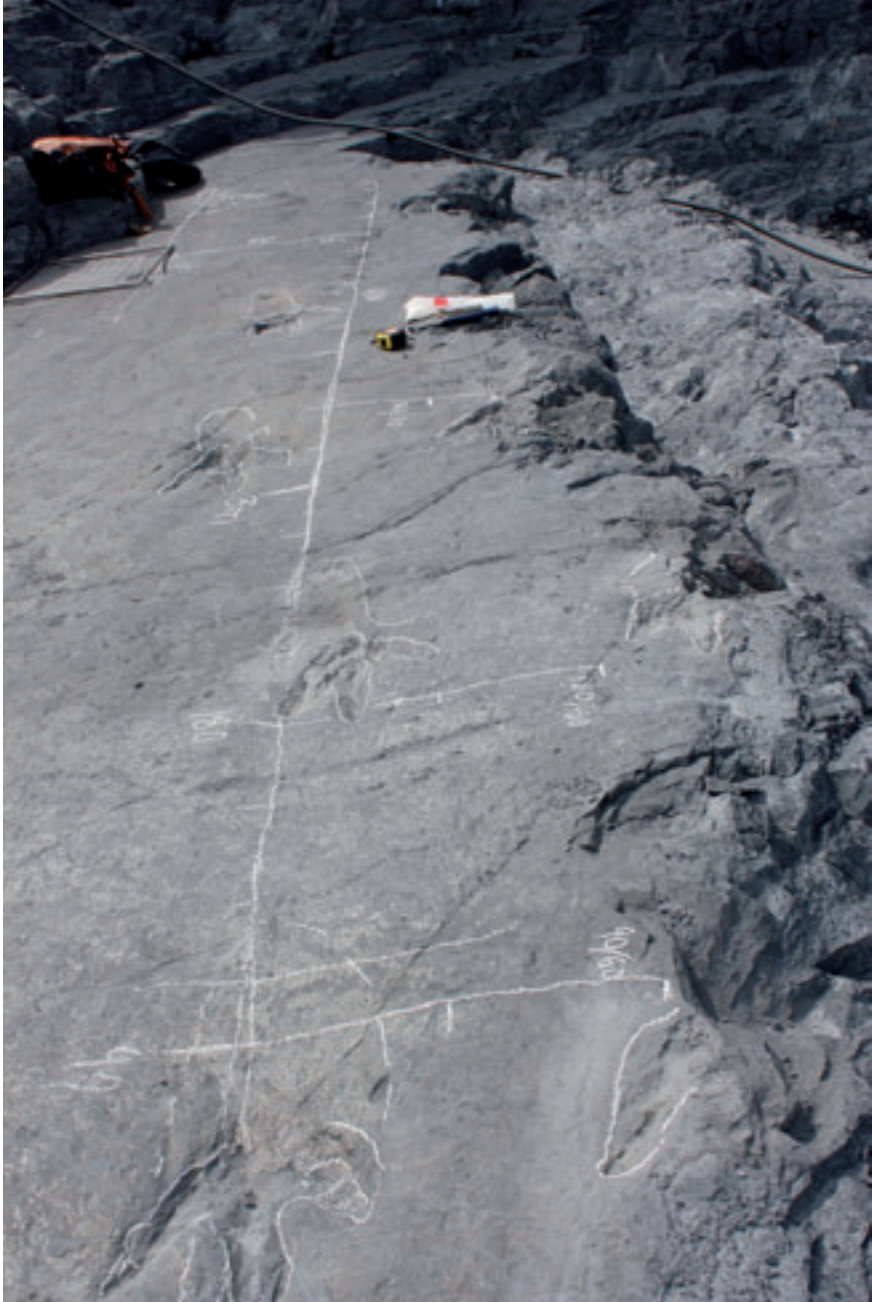


Fig. 10. Formación de los dos niveles de la rastrillada 4.3PRE1.



Fotografía 4. Rastrilladas 4.3PRE1 y 4.3PRE2.

2.4.4. CONJUNTO 4.4PRE

Inmediatamente debajo de la capa 4.3PR al menos hay tres capas seguidas deterioradas a causa de la bioturbación. En ellas se distinguen algunas huellas ornitópoda de las que solo se han podido reconocer dos completas. De las dos solo sirve una para hacer medidas (Fotografía 3). Falta el material del interior de las pisadas citadas. En el resto, los sedimentos están tan removidos por las pisadas que las láminas sedimentarias están plegadas o en fragmentos de roca separados unos de otros. Los tres estratos tienen el techo erosivo y plano de forma que las icnitas de cada uno de ellos están separadas por un intervalo de tiempo –son tres etapas diferentes de paso de dinosaurios– la bioturbación que producen está limitada a sectores entre superficies de erosión planas. No se puede decir cual es el intervalo de tiempo que separa a las icnitas de cada una de las tres etapas con lo que es posible que la bioturbación del conjunto 4.3PRE sea la suma de muchos momentos de paso en condiciones y por dinosaurios diversos.

La huella citada es profunda y tiene varios niveles que están dibujados en la Figura 9. El exterior mide 60 cm de largo; la parte trasera de la icnita debe estar hecha en el momento del primer apoyo del pie en el suelo. Las líneas internas son la imagen de una pisada ornitópoda equidimensional (43 cm de largo y de ancho) con tres almohadillas dactilares redondeadas y una almohadilla que marca el talón.

2.5. Yacimiento 5PRE (Figura 9)

En lo que hemos llamado zona de inestabilidad, debido a los corrimientos de ladera que la afectan, hay una enorme icnita de la que ya nos dio cuenta Ernesto Domínguez hace unos cinco años. Esta huella (Figura 9, Fotografía 5) es muy grande (92 cm de longitud por 71 de anchura) y por ahora no clasificable. Está aislada de manera que los datos no se pueden contrastar con otras del mismo dinosaurio. Es tridáctila con talón amplio y redondeado. La pared trasera desciende haciendo rampa hasta el fondo de la icnita que está relleno por material sedimentario masivo (puede ser tanto contramolde como subhuella) que se continúa por los huecos de los dedos. Las marcas de los dedos son acuminadas pero deben ser estructuras de colapso así como las formas redondeadas de los espacios interdigitales en los hipos.



Fotografía 5. Huella 5PRE1.

3. ICNOTIPOS Y ESTRUCTURAS

Todas las icnitas descritas son de dinosaurios bípedos. Hay dos señales redondeadas e incompletas (1.1PRE1, 1.1PRE3) que no tienen caracteres para asignarlas a icnotipos terópodos u ornitópodos y que serían las únicas sauropodas posibles.

Por la forma hay huecos y rellenos que pueden ser en uno y otro caso tanto huellas reales con estructuras directas como subhuellas y calcos. Hay rellenos que son contramoldes y otros que son subhuellas. En 1.2PRE hay dos generaciones de contramoldes. Ciertas subhuellas tienen los huecos con sedimentos replegados y totalmente deformados mientras que en otras el sedimento mantiene la laminación sedimentaria formando planos como si fueran zonas neutras.

Las condiciones físicas del barro, generalmente de muy baja viscosidad, son diferentes de unos a otros puntos. Estas condiciones son responsables del tipo de huellas tanto por el comportamiento del barro como el de los dinosaurios al pisarlo.

Hay icnitas que no tienen marcas de metatarso (digitígradas) y otras que sí las tienen (de penetración y semiplantígradas). Esto se traduce en que las huellas tienen la zona del talón normal o saliente, y en este segundo caso corto y terminado en cuña (1.2PRE2.1) o largo y de líneas de contorno lateral y medial paralelas.

Se distinguen pisadas cuyos dedos actúan como émbolos de forma que al penetrar en el suelo el barro asciende entre ellos (icnitas de 2.1PRE) y otras en las que los dedos lo atraviesan y lo cortan dejando estrías de fondo (1.1PRE6). Las paredes en algunas icnitas colapsan dejando marcas de dedos muy estrechas (1.1PRE).

Algunas icnitas están aisladas, otras formando rastrilladas separadas y otras dando caos de huellas en las que se sobrepisan unas a otras.

4. CONCLUSIONES

La primera conclusión de este trabajo es la confirmación de la necesidad de seguimiento geológico de las obras que implican excavación en toda la cuenca de Cameros. Es un hecho demostrado que muchas huellas desaparecen durante la ejecución de la obra por los sistemas de excavación que se emplean, pero el control de las mismas permite estudiar e inventariar los restos, así como recuperar los que son extraordinarios o aquellos que irían a parar a escombreras y a material para la misma obra.

Todas las icnitas, excepto las de 1PRE, están en unidades que o pertenecen a la base del Grupo de Enciso o al techo del Grupo de Urbión. En general las rocas que las albergan son siliciclásticas de medio fluvial y lacustre.

Las icnitas descritas en este trabajo demuestran la importancia del estudio de las estructuras que las acompañan. Las estructuras asociadas son muy variadas y permiten analizar las condiciones de formación y el valor de los hechos observados cuando se define o se intenta clasificar cada huella. Esto es función de las condiciones físicas del barro y por lo tanto del medio y momento de paso de los dinosaurios. Los ejemplos y la variación de los procesos de formación de las icnitas son básicos en el estudio de las mismas.

A pesar de que los caracteres de las icnitas de 3.3PRE1 son aviformes, el examen cuidadoso de las estructuras muestra que no son estampas y que por lo tanto se deben considerar los hechos de observación que eliminan esa atribución.

Las rastrilladas con marcas de metatarso (semiplantígradas y huellas profundas) permiten comprobar hechos ya conocidos (anomalías de velocidad, ángulo entre el eje del metapodio y el del acropodio) y describir la divergencia del metatarsiano I y la pequeñez del hallux en el icnopoyeta de una de las rastrilladas (4.3PRE1).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos a la UTE Presa de Enciso y a las personas que trabajan en ella y que han favorecido nuestro trabajo. Por otra parte a la Fundación Patrimonio Paleontológico de La Rioja el soporte de medios para visitar los lugares y tomar datos y medidas. Finalmente a la Universidad de La Rioja por suministrar el espacio y material para hacer el análisis y comprobaciones teóricas.

APÉNDICE 1

Afloramientos	Signado	Sectores	Rastrilladas y pares de huellas	Huellas
Carretera de acceso	1PRE	1.1PRE		1.1PRE1, 1.1PRE2, 1.1PRE3, 1.1PRE4, 1.1PRE5, 1.1PRE6, 1.1PRE7, 1.1PRE8.
		1.2PRE	1.2PRE1, 1.2PRE2, 1.2PRE3, 1.2PRE4	1.2PRE1.1, 1.2PRE1.2, 1.2PRE2.1, 1.2PRE2.1, 1.2PRE3.1, 1.2PRE3.2 1.2PRE4.1, 1.2PRE4.2, 1.2PRE5, 1.2PRE6, 1.2PRE7, 1.2PRE8
		1.3PRE		1.3PRE1
Sueltas de la presa	2PRE	2.1PRE		2.1PRE1, 2.1PRE2, 2.1PRE3, 2.1PRE4, 2.1PRE5, 2.1PRE6, 2.1PRE7, 2.1PRE8, 2.1PRE9, 2.1PRE10, 2.1PRE11, 2.1PRE12, 2.1PRE13, 2.1PRE14, 2.1PRE15, 2.1PRE16.
		2.2PRE		2.2PRE1
Estribo Oeste	3PRE	3.1PRE		3.1PRE1, 3.1PRE2
		3.2PRE	3.1PRE1, 3.1PRE2, 3.1PRE3	3.2PRE1.1, 3.2PRE1.2, 3.2PRE1.3, 3.2PRE1.4, 3.2PRE2.1, 3.2PRE2.2, 3.2PRE2.3, 3.2PRE2.4, 3.2PRE2.5, 3.2PRE2.6, 3.2PRE2.7, 3.2PRE3.1, 3.2PRE3.2, 3.2PRE4,
		3.3PRE	3.3PRE1, 3.3PRE2	3.3PRE1.1, 3.3PRE1.2, 3.3PRE1.3, 3.3PRE1.4, 3.3PRE1.5, 3.3PRE2.1, 3.3PRE2.2
Estribo Este	4PRE	4.1PRE	4.1PRE1	4.1PRE1.1, 4.1PRE1.4, 4.1PRE1.6, 4.1PRE1.8, 4.1PRE1.9, 4.1PRE1.10, 4.1PRE1.11.
		4.2PRE	4.2PRE1	4.2PRE1.1, 4.2PRE1.2, 4.2PRE1.3
		4.3PRE	4.3PRE1, 4.3PRE2	4.3PRE1.1, 4.3PRE1.1, 4.3PRE1.3, 4.3PRE1.4, 4.3PRE1.5, 4.3PRE1.6, 4.3PRE2.1, 4.3PRE2.2, 4.3PRE2.3
		4.4PRE		4.4PRE1, 4.4PRE2
Zona inestable	5PRE			5PRE1

APÉNDICE 2

Vocabulario complementario al de García Raguel et al. 2009, y abreviaturas empleadas en el texto y tabla 2.

Acropodio. Parte del pie formada por los dedos

Estría de arrastre. Estrias paralelas a la elongación del pie producidas por deslizamiento o arrastre por el suelo de la planta, de los dedos o de la cola.

Fases (T, W, K) de la pisada (Thulborn y Wade, 1989).- Estados sucesivos en la formación de una pisada (de contacto y penetración, de apoyo máximo, de elevación y salida del pie)

Huella real. Conjunto de estructuras directas que acompañan a una pisada. La huella real puede ser una estampa o estar deformada.

Metapodio. Parte del pie formada por el metatarso.

Paredes del hueco (Allen, 1997). Superficie teóricamente vertical que limita el hueco de una huella. En una pisada ideal es la superficie que une la línea de contorno con el fondo de una estampa.

Subhuella (Romero Molina et al., 2003). Conjunto de estructuras indirectas y de sedimentos deformados que se producen bajo la estampa y que producen calcos.

Suela (Brown et al. 2003). Superficie inferior del pie que contacta con el suelo

Superficie deformada (Gatesy, 2003). Superficie de estratificación deformada por la pisada.

Superficie original (Gatesy, 2003). Superficie de estratificación que rodea la huella y que no está desplazada ni deformada por la pisada

Zona neutra (Allen, 1997). Parte de estrato bajo el pie que se hunde y que no se deforma por pliegues.

Abreviaturas

a- anchura de la huella

Ap- ángulo de paso

Ar- amplitud de rastrillada

Ar/a- anchura relativa de la rastrillada

h- altura del acetábulo

l- longitud de la pisada (acropodio)

l_r- longitud total de la pisada (incluidas las marcas traseras de metapodio o de arrastre)
(l-a)/a- variación de la longitud de la pisada en función de la anchura

Lr- luz de rastrillada

O- ángulo de orientación

P- longitud del paso

v₁- velocidad calculada por el método de Alexander

v₂- velocidad calculada por el método de Demathieu

z- longitud de la zancada

z/h- zancada relativa

z/l- gracilidad o esbeltez de las extremidades

BIBLIOGRAFÍA

- 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.
- Blanco, M.I., Caro, S., López, A., Pérez-Lorente, F., Requeta, E. y Romero, M. (2000). El yacimiento de icnitas de dinosaurio del Cretácico Inferior de Las Losas (Enciso, La Rioja, España). *Zubía*, (18), 97-138.
- 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 Ouidane (1BO; Central Atlas, Morocco). *Ichnos*, (13), 39-42.
- Brown, T. (1999). *The science and art of tracking*. Berkley Books, Nueva York. 219, pp.
- Cámara, P. y Durantez, O. (1981). *Mapa Geológico de España. 1:50.000 Hoja nº 280. ENCISO*. IGME, Hoja y memoria.
- Casanovas, M.L., Fernández, A., Pérez-Lorente, F. y Santafé, J.V. (1989). *Huellas de dinosaurios de La Rioja. Yacimientos de Valdecevillo, La Senoba y de la Virgen del Campo*. I.E.R. *Ciencias de la Tierra*. (12), 1-190.
- De Valais, S. y Melchor, R.N. (2008). Ichnotaxonomy of bird like footprints: an example for the Late Triassic-Early Jurassic of northwest Argentina. *Journal of Vertebrate Paleontology*. (28), 145-149.
- Díaz-Martínez, I., Pérez-Lorente, F., Pereda-Suberbiola, X. y Canudo, J.I. (2009). *Iguanodon* like footprints from Enciso Group (Aptian, Lower Cretaceous) of La Rioja (Camerons Basin, Spain). Bernisart. Abstract
- Doublet, S. (2004). *Contrôles tectonique et climatique de l'enregistrement stratigraphique dans un bassin continental de rift: le bassin de Cameros*. Tesis doctoral. Universidad de Bourgogne. Mem. inéd. 497 pp.
- García Raguél, M., Cuevas, I., Díaz-Martínez, I. y Pérez-Lorente, F. (2009). Fragmentos de roca con huellas de ave en el Terciario de Alcanadre (La Rioja). Descripción, estructuras y problemas de identificación. *Zubía*, (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. y Shubin, N.H. (1999). Three-dimensional preservation of foot movements in Triassic theropod dinosaurs. *Nature*. (399), 141-144.
- Haubold, H. (1971). Ichnia amphibiorum et reptiliorum fossilium. En *Handbuch der Paläoherpetologie*. E Kun ed. (18,18), 1-124.
- Kuban, G.J. (1989). Elongate dinosaur tracks, En *Dinosaur Tracks and Traces*, D. D. Gillette y M. G. Lockley eds. Cambridge University Press, 57-72.
- Pérez-Lorente, F. (1993). Dinosaurios plantígrados de La Rioja. *Zubía monográfico*, (5), 189-228.

- Pérez-Lorente, F. (2001). *Paleoicnología. Los dinosaurios y sus huellas en La Rioja*. Cultural joven, 227 pp.
- Pérez-Lorente, F. (en revisión). *Dinosaur tracks from La Rioja (Spain)*.
- Romero-Molina, M.M., Pérez-Lorente, F. y Rivas, P. (2003). Análisis de la parataxonomía utilizada con las huellas de dinosaurio. En *Dinosaurios y otros reptiles mesozoicos de 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. y Requeta, E. 2003. Orientation and characteristics of theropod trackways from the Las Losas Palaeoichnological site (La Rioja, Spain). *Ichnos*, (10), 241-254.
- Tischer, G. (1996). Über die Wealden-Ablagerung und die Tektonik der östlichen Sierra de los Cameros in den nordweslichen Iberischen Ketten (Spanien). *Beibefte Geologisches Jahrbuch*, (44), 123-164.
- Thulborn, T. (1990). *Dinosaur tracks*. Chapman and Hall.1-410.
- Thulborn, R.A. y Wade, M. (1989). A footprint as a history of movement. En *Dinosaurs Tracks and Traces* D.D.Gillette y M.G.Lockley eds. Cambridge Univ. Press. 51-56.



ZUBÍA

29



Gobierno de La Rioja
www.larioja.org



**Instituto
de Estudios
Riojanos**