

ZUBÍA	13	55-81	Logroño	1995
-------	----	-------	---------	------

EL YACIMIENTO DE LA CANAL (MUNILLA, LA RIOJA, ESPAÑA). LA VARIACIÓN DE VELOCIDAD EN FUNCIÓN DEL TAMAÑO DEL PIE DE LOS ORNITÓPODOS*

L. Casanovas**
R. Ezquerro***
A. Fernández****
D. Montero*****
F. Pérez-Lorente*****
J.V. Santafé**
F. Torcida*****
L.I. Viera*****

RESUMEN

En el yacimiento de La Canal hay varios rastros de icnitas de dinosaurio que se estudian en este artículo. De entre ellos, hay uno con 31 pisadas del icnogénero Iguanodon. A pesar de que el tamaño de la pisada es grande, la velocidad deducida es tan baja que se ha comparado con los resultados obtenidos en rastros de dinosaurios ornitópodos estudiados por otros investigadores. El resultado de la comparación es que a mayor longitud de la pisada la velocidad es menor. Aparentemente hay relación directa entre la zancada (z) y la longitud del autópodo (l) lo que hace que las fórmulas del cálculo de velocidad sean la expresión analítica de una función racional, lo cual expresa matemáticamente la anomalía.

Palabras clave: España, La Rioja, dinosaurios, ornitópodos, pisadas, velocidad.

In the La Canal site there are various dinosaur footprint traces which we study in this paper. Among them, we find a trace consisting of 31 footsteps to be classified under the ichnogenus

* Recibido el 8 de junio de 1994. Aprobado el 7 de diciembre de 1994.

** Instituto Paleontológico de Sabadell. Escuela Industrial, 23, Sabadell (Barcelona).

*** Departamento de Paleontología, Universidad de Zaragoza. San Francisco, s/n. 50009 Zaragoza.

**** Universidad de La Rioja. Obispo Bustamante, 3. 26001 Logroño (La Rioja).

***** Colectivo Arqueológico y Paleontológico Salense. Plaza Jesús Aparicio. 09600 Salas de Los Infantes (Burgos).

***** Sociedad de Ciencias Aranzadi. Plaza Ignacio Zuloaga (Museo). 20003 San Sebastián (Gipuzkoa).

Iguanodon. *Although they are big in size, speed measurements yield a low value. For that reason, we have carried out a comparative analysis with the speed obtained by other researchers for similar animals (ornithopods). According to our analysis, the bigger the footprint the lesser the speed. Apparently there is a direct relationship between the stride (z) and the autopodial length (l). This makes of the speed reckoning formulae an analytical expression of a rational function, which accounts for the anomaly in the mathematical terms.*

Key words: Spain, La Rioja, dinosaurs, ornithopods, footprints, speed.

0. INTRODUCCIÓN

En los alrededores de Munilla (La Rioja) se encuentran yacimientos icnológicos, citados por primera vez en los trabajos de Viera et al., (1982, 1984 y Casanovas et al. (1993). El artículo que presentamos trata de la revisión de uno de los afloramientos citados por Viera et al. (1984) con el nombre de Nivel 1; Capa 3 y que en este trabajo llamamos "Barranco de la Canal".

El lugar es adyacente al lecho del barranco del mismo nombre, situado en la hoja número 242 del Mapa Topográfico Nacional de escala 1:50.000 (MUNILLA). Para mayor precisión se dan las coordenadas UTM del punto que son: WM594724 (Figura 1).

El número total de icnitas descritas a continuación es de 64: 55 asignadas a siete rastreadas y 9 aisladas. En algunas rastreadas faltan huellas intermedias que no se consideran al hacer este balance.

Los cálculos de velocidad se han hecho teniendo en cuenta las fórmulas de Alexander (1976), Demathieu (1986) y Thulborn (1990). Para la determinación de las pisadas se han seguido los criterios de Haubold (1971), Leonardi (1987), Viera et al. (1984), Casanovas et al., (1989). Para diferenciar entre garra (afilada), uña (marca redondeada y relativamente pequeña) y pezuña (marca ancha) se utiliza el criterio expuesto por Leonardi (1987, lámina VII: A, B, C). Empleamos el término almohadilla plantar para indicar aquella que se encuentra en posición más proximal que las de los dedos, y consideramos que no tiene porqué ser almohadilla metatarsal; al menos algunas falanges digitales proximales están encima de ella. Utilizaremos el término talón para indicar la terminación posterior de la pisada.

La relación z/l la utilizaremos como indicador de la esbeltez de las patas. Aunque no es una relación reconocida, las medidas que hasta ahora existen, indican que el valor más alto corresponde a los dinosaurios más ágiles, y que el valor más bajo corresponde a los ornitópodos grandes.

El interés fundamental del estudio que se presenta radica en el análisis de una de las pistas, con 31 pisadas, que permite hacer apreciaciones sobre la variación simultánea de algunos parámetros,¹ como se verá más adelante en el estudio icnológico.

1. LITOLOGÍA, UNIDAD GEOLÓGICA, GRUPO Y EDAD

El yacimiento se encuentra, según el Mapa Geológico de España de escala 1:50.000 (Hernández Samaniego et al., 1990) en rocas de la unidad 20 "Areniscas, limolitas, margas y calizas" de edad Valanginiense-Hauteriviense. Es la misma unidad en la que se encuentran los yacimientos de San Vicente de Munilla (Viera et al., 1982, 1984); Munilla (Casa-

novas et al., 1994 a); Soto 2 y 3 (Casanovas et al., 1992, 1994 b); posiblemente Soto 1 (Casanovas et al., 1990 b); San Martín (Casanovas et al., 1995) y San Vicente de Robres (Díaz et al., 1990, Casanovas et al., 1990 a).

Hernández Samaniego et al. (1990) la llaman Unidad de Valdeosera-Treguajantes y es una de las que forman el Ciclo III que "... corresponden en su mayor parte a lo que en la bibliografía de la zona se denomina -Grupo Enciso-".

Como sucede con otros yacimientos de la zona y que ya explicamos en los trabajos correspondientes, la edad es motivo de discusión. En trabajos anteriores Viera et al. (1984) comparan la edad citada por Kneuper-Haak (1965/66), Salomón (1973), Brenner (1976) y Calzada (1977) y hacen precisiones a algunos de los trabajos. Según esta discusión la edad del yacimiento sería Barremiense.

Recientemente Alonso et al. (1993) datan las intercalaciones marinas que ya citaban Viera et al. (1984) mediante foraminíferos y algas. Encuentran que la edad de esta unidad, que ellos llaman Formación Leza (columna de Arnedillo) es "... hasta el tramo 21... Barremiense-Aptiense y a partir de ese nivel... Aptiense-Albiense"

2. ANTECEDENTES

Debido a que son muchos los trabajos que describen pistas de dinosaurios de este tipo en La Rioja, sólo se citan aquí los que están directamente relacionados con el yacimiento.

Viera et al. (1984) trabajaron este mismo afloramiento y encontraron "... cinco rastros del tipo 2". El Tipo 2 lo constituyen huellas con "... típica morfología de gran planta y masivos dedos redondeados no acabados en punta aguda o garra, saliendo, los laterales, desde los costados y desde posiciones muy atrasadas...". Previamente escriben que estas pisadas se atribuyen al género *Iguanodon*. Entre las pistas citadas en este trabajo y el que presentamos se establecen las siguientes correlaciones:

Viera et al. (1984)	Este trabajo
A	1
B	2
C	3
D	5
E	7

3. ESTUDIO ICNOLÓGICO

Rastrillada 1 (Figura 6; tablas 1 y 8)

Consideramos que el rastro es de 31 huellas, de las que falta la número 19. No obstante, Viera et al. (1984) dicen que las pisadas del rastro son 36 si se cuentan las seis que quedaban debajo de una terraza de cultivo abandonada. La diferencia de 31 a 36 se justifica porque las cinco primeras improntas están excesivamente desdibujadas y erosionadas, de manera que los huecos con los que se pueden correlacionar se prestan, con razón, a discusión. De esta manera, las 15 primeras se corresponden con las del intervalo 5-19, y las que van del número 22 al 31 con las 27-36 de los autores citados.

De todo el conjunto (31): 25 se mantienen en bastante buen estado; falta la icnita 19 por haber desaparecido la roca debido a efectos naturales; las pisadas 1, 18, 20, 21 y 25 tienen sus bordes desdibujados, muy probablemente debido a erosión.

Los dedos son relativamente cortos (23, 23 y 24 cm, de longitud, respectivamente para II, III y IV); están separados y parecen independientes unos de otros. Sólo se observa una almohadilla en cada dedo y una almohadilla plantar. La terminación distal de las almohadillas digitales suele ser redondeada de manera que no quedan marcas claras de uñas.

El dedo II es casi paralelo al III, incluso a veces parece que su eje está orientado hacia la prolongación distal del dedo III.

La relación $(l-a)/a = 0'1$ es la propia de animales de pie tan ancho como largo. Debía tener extremidades anchas ($z/l=3'5$) a pesar de lo cual mantenía un rastro muy estrecho en relación a la anchura de la pisada ($Ar/a=0'3$). La orientación que sale al replantar las pisadas sigue siendo negativa, pero de valor medio mayor (-22°) en el trabajo actual, con lo que la talipedia resulta más acentuada.

La velocidad, entre 1'2 y 3'3 Km/h, es la de marcha lenta.

Todos los datos son congruentes con las icnitas que se atribuyen a dinosaurios herbívoros iguanodóntidos aunque hay que hacer constar la estrechez del rastro.

Si proyectamos sobre un cuadro (fig. 2) los valores del paso, zancada, amplitud de rastrillada, ángulo de paso y velocidad (P, z, Ar, Ap, v_1 y v_2) se pueden constatar los siguientes hechos, algunos de los cuales son obvios:

- la velocidad es mayor a mayor longitud de la zancada
- la amplitud de rastrillada se hace mayor cuando la curva de magnitud de zancada disminuye

- el ángulo de paso tiene curva inversa a la de la amplitud de rastrillada

- la variación de velocidad según la fórmula de Demathieu (1986) es mayor que según la fórmula de Alexander (1976)

- si se dibuja la curva de los pasos seguidos, sale una figura serrada; si se dibuja separada la línea que une los pasos izquierdo-derecho y derecho-izquierdo, salen dos representaciones separadas; los pasos derecho-izquierdo son mayores que los otros

Todas estas anotaciones las han citado otros autores. De la última dice Lockley (1993) que hay muchos yacimientos en los que se muestra la alternancia de pasos cortos y largos, aunque no justifica la razón, excepto en aquellos en que la diferencia es grande y corresponden a dinosaurios cojos. Cabría la posibilidad de pensar en lateralidad, es decir en dinosaurios en los que se nota la dextralidad.

Rastrillada 2 (Figuras 3 y 6; tablas 2 y 8)

Formada por 6 icnitas que se cruzan con la rastrillada 1 entre la quinta y la sexta pisada. Las huellas quedan muy poco marcadas y no se pueden pintar sus bordes con precisión. Se correlaciona con el rastro B de Viera et al. (1984).

Las señales que dejan los dedos son anchas y redondeadas. No están bien separados. Por la forma de los dedos y por la impresión del dedo III de la icnita 3 de este rastro, parece probable que tuvieran una almohadilla ancha en cada dedo.

No se puede medir bien el ángulo interdigital debido a la imprecisión de los bordes de los dedos. En las marcas en las que se puede determinar es bajo (ver tabla 2).

Son huellas algo más anchas que largas $(l-a)/a=0'1$ aunque hay que tener en cuenta que al estar muy erosionadas este dato no es fiable. Si se relaciona el pie con la zancada ($z/l=5'3$) sale una cifra relativamente alta para un dinosaurio de estas características. El rastro resulta también estrecho.

La velocidad, entre 3'1 y 3'5 Km/h, indica marcha lenta.

Suponemos que el rastro lo ha ocasionado un dinosaurio ornitópodo grande de tipo *Iguanodon*.

Rastrillada 3 (Figuras 3 y 6; tablas 3 y 8)

Se conservan 5 marcas de lo que sería una andada de 6 pisadas que se cruza con el rastro 1 entre las huellas 11 y 12. No hay ningún indicio de la segunda pisada. Las icnitas 1, 3 y 5 son incompletas. Se correlaciona con el rastro C de Viera et al. (1984).

Los dedos son relativamente anchos y se muestran bastante independientes unos de otros. Se ha de tener en cuenta que las huellas son poco profundas y algunas con los bordes irreconocibles. Es posible que estén muy erosionadas y por lo tanto sólo quedará la parte más profunda de la pisada; esto conducirá a la apariencia falsa de estar impresas por dedos separados. Debía tener almohadilla plantar muy bien desarrollada.

El talón es muy amplio, saliente y redondeado.

Los datos numéricos son los que proporciona el rastro de una animal de pie algo más ancho que largo - $(l-a)/a = -0'1$ -; pista muy estrecha ($Ar/a = 0'05$); extremidades relativamente cortas y gruesas ($z/l = 4'7$); que marchaba despacio (velocidad entre 2'7 y 3'4 Km/h).

Se clasifica como pista de un ornitópodo grande atribuible al icnogénero *Iguanodon*.

Rastrillada 4 (Figuras 3 y 6; tablas 4 y 8)

Se conservan tres pisadas de un rastro de 4 en el que falta la icnita número 3. El estado de conservación permite obtener detalles, sobre todo en las marcas segunda y cuarta. Esta secuencia estaba cubierta por una terraza de cultivo que se eliminó en la excavación de 1993. Se cruza con el rastro 1 entre las huellas 16 y 17.

Los dedos son anchos y tienen terminación redondeada, excepto el II de la segunda icnita en el que quedaría la marca de uña (*sensu* Leonardi, 1987). No parece que dejen señales separadas entre ellos, sino que deben estar unidos por tejido blando. Las pisadas muestran claramente la señal de una almohadilla plantar y de tres almohadillas digitales.

El pie es ligeramente más ancho que largo $(l-a)/a = -0'1$; es posible que el autor de las icnitas tuviera las extremidades algo delgadas ($z/l = 5'5$). Marchaba lentamente (entre 2'8 y 3'1 Km/h).

Aunque no se puede cuantificar la anchura de la pista, y la parte de la icnita que sobrepasa la línea media, se deduce de las figuras 3 y 6 que se trata de un rastro muy estrecho. Es muy posible que las extremidades sean de las más gráciles del grupo de ornitópodos (tabla 8). Probablemente se deba a que el dinosaurio fuese quizá el más joven de los ornitópodos de este yacimiento, ya que tiene, también, los pies más pequeños.

Rastrillada 5 (Figuras 4 y 6; tablas 5 y 8)

Son tres huellas grandes y muy próximas que posiblemente no constituyan parte del mismo rastro. El estado de conservación no es muy bueno aunque se pueden apreciar algunos detalles que se describen más adelante. Se cruza con el rastro 1 entre las pisadas 21 y 22 y se correlaciona con el D de Viera et al. (1984).

Los pies muestran marcas de las cuatro almohadillas (una en cada uno de los tres dedos y otra plantar). Estos son grandes y anchos. Parece que están unidos y sólo se separan en su extremo distal. Su terminación es redondeada, aunque en el dedo III de las icnitas 2 y 3 parece que haya señal de uña (*s.* Leonardi, 1987).

El talón, saliente y redondeado está formado por la terminación posterior de la almohadilla plantar.

El hecho de que en la tabla correspondiente podamos observar datos anómalos para la zancada, velocidad (v_1 y v_2) y z/l , será debido seguramente a que estas pisadas, como ya hemos dicho, no formen parte del mismo rastro.

Las icnitas se clasifican en el grupo de pisadas de dinosaurios herbívoros grandes del tipo *Iguanodon*.

Rastrillada 6 (Figuras 4 y 6; tablas 6 y 8)

Constituida por tres icnitas correlativas de las que la 2 y la 3 están mejor marcadas que la primera. Quedan alejadas de la rastrillada 1, aunque es posible que sean la parte inicial de la rastrillada 7.

Los dedos son anchos y aparentemente están separados entre sí. Su terminación es redondeada, sin marcas de uñas, pezuñas o garras. El pie tiene cuatro almohadillas, tres digitales y una plantar. Atendiendo a las primeras, parece que los dedos son subparalelos, aunque ello es de difícil afirmación porque el número de icnitas es pequeño.

Las pisadas son casi tan anchas como largas ($(l-a)/a = 0'1$; el rastro es muy estrecho ($Ar/a=0'1$). La velocidad a la que se desplazaba era muy baja (entre 1'2 y 3'3 Km/h).

Se trata de un ornitópodo de tipo *Iguanodon* de rastro muy estrecho.

Rastrillada 7 (Figuras 4 y 6; tablas 7 y 8)

Formada por cinco pisadas que posiblemente sean la continuación de la pista anterior. Se cruza con la rastrillada 1 entre las marcas 30 y 31. El estado de conservación de las icnitas no permite hacer consideraciones detalladas salvo en las tres primeras. Se correlaciona con el rastro E de Viera et al. (1984).

Los dedos son anchos y cortos, aparentemente separados, y dejan impresa cada uno una almohadilla. En la icnita 3 puede observarse también la almohadilla plantar. La terminación de los dedos II y IV de la icnita 1 y el IV de la 2 parece indicar que el autor de las pisadas tenía uñas.

Son huellas algo más anchas que largas ($(l-a)/a=0'05$; de rastro muy estrecho ($Ar/a=0'2$) producida por un animal de extremidades delgadas, sobre todo si se comparan con las del resto de ornitópodos de este yacimiento ($z/l=6'1$). Su marcha es también la más rápida (4'1 Kn/h).

Se trata de la pisada de un dinosaurio herbívoro del tipo *Iguanodon*.

Icnitas aisladas (Figuras 5 y 6)

Se han podido dibujar 9 icnitas aisladas sobre la roca, y que probablemente sean parte de rastros largos, no impresos.

De ellas, las tres primeras (8, 9 y 10) son típicas de dinosaurios terópodos, probablemente pisadas izquierdas. Tienen los caracteres típicos del grupo: dedos alargados y separados; terminación acuminada; constricciones laterales debidas posiblemente a las almohadillas; talón saliente; etc.

Es posible que la icnita aislada 11 sea debida también a un terópodo.

Las restantes (12, 13, 14 y 15) deben ser icnitas ornitópodas, probablemente del icnogénero *Iguanodon*.

4. ALGUNAS CONSIDERACIONES BIOMÉTRICAS

Al examinar estos rastros de ornitópodos se observan varias características, que vamos a investigar, que podrían ser función de la longitud del pie. Para comprobar si la apreciación es correcta se han utilizado datos de los trabajos de: Bengoechea et al. (1993); Casanovas et al. (1988, 1989, 1990 a, 1990 b, 1994 a, 1994 b, 1995); Moratalla et al. (1988, 1992); Sanz et al. (1984). Suman 51 rastrilladas que contienen más de 400 icnitas (Tabla 9). La tabla de Lockley et al. (1986) no se utiliza porque en frase de los mismos autores "*We therefore provisionally assign the other tridactyl forms to the Ornithopoda, even though it is know that many tracksites exhibit a preponderance of carnivores tracks*".

La primera observación es aquella que relaciona el tamaño del pie con la talipedia (Figura 10). Se han proyectado por una parte la longitud del pie expresada en centímetros, y, por otra el ángulo que forma el eje del pie con la línea media. El valor negativo del ángulo se produce en el andar varo. Se encuentra en la proyección que a medida que la longitud del pie es mayor, el grado de talipedia también aumenta. Es posible que se justifique mediante una razón anatómica puesto que la talipedia es el mecanismo por el que un animal bípedo de cuerpo horizontal coloca su centro de gravedad encima del pie (sobre todo cuando está parado o anda muy despacio). Quizá por ello sea una regla el que a mayor tamaño, mayor talipedia.

Si se proyecta la longitud de la zancada z en función de la longitud l del pie (figura 8) se aprecia una relación directa, como era de esperar: a mayor l , mayor z . Esta relación por si misma no sirve, si no apreciamos la variación de z en función de l (Figura 9). Si se toman en la parte positiva de las ordenadas los valores de l y en las abscisas los de z/l , es posible dibujar una recta de regresión de pendiente negativa, a partir de la nube de puntos.

Si se proyecta la velocidad en función de z/l se podrá apreciar la relación entre ambas variables, si existiere. Se utiliza la misma Figura 9, sólo que en la parte negativa de las ordenadas se coloca el valor de la velocidad. En la figura, la velocidad de cada rastro se representa por un segmento de recta que señala el valor comprendido entre v_1 y v_2 . Como se aprecia, la distribución de v en función de z/l también está ordenada, de manera que a mayor relación z/l le corresponde mayor velocidad. Pero, en esa misma figura observamos también que a menor l le corresponde mayor velocidad. La gráfica parece indicar que se alcanzaría velocidad cero cuando l vale aproximadamente unos 80 cm. Alexander (1991) ya observó que los dinosaurios grandes andaban relativamente despacio, de manera que afirmaba que ninguna de las huellas de dinosaurios bípedos grandes sugiere velocidad mayor a 2'2 m/seg (un paso ligero en la marcha del hombre).

Si estos datos fueren suficientes, se afirmarí que la velocidad depende directamente de z/l .

Como ya conocemos, según las fórmulas de Alexander (1976) y Demathieu (1986) (ver más adelante) la velocidad depende de la zancada y de la altura del acetábulo. Si z y h son función de l , podemos sustituir ambos valores y obtener los resultados teóricos dando la expresión de la velocidad en función de la longitud del autópodo.

ANÁLISIS DE LA RELACIÓN L CON V₁ Y V₂ SEGÚN LOS DATOS DE LA TABLA 9

Este apartado del artículo ha sido realizado por Ignacio Extremiana y Víctor Lanchares y supone una aportación nueva a este estudio.

La nube de puntos de la figura 9 permite dibujar una recta de regresión de pendiente negativa. La ecuación de la recta deducida con el programa Mathematica, versión 2.2 para Macintosh, depende de que la regresión se haga de z/l sobre l (Figura 12A)

$$l = 105'612 - 13'3757 z/l$$

o de l sobre z/l (Figura 12B)

$$l = 67'6484 - 5'68042 z/l$$

En la misma Figura 9 se manifiesta la variación de la velocidad en función de la relación z/l. Esto es así porque tanto en las fórmulas de Alexander (1976), Demathieu (1986) y Thulborn (1990) la velocidad es función de z y h. En todos los cálculos de la altura del acetábulo o de la longitud de la pata, h es función de l. En Alexander la velocidad se deduce de:

$$v_1 = 0'25 \cdot g^{0'5} \cdot z^{1'67} \cdot h^{-1'17}$$

fórmula que también utiliza Thulborn. Este último autor (1984) dice que el tipo de marcha (andar, trote, carrera) depende de z/h. Proyecta z/h (longitud relativa de la zancada) con respecto a l y obtiene una nube de puntos en la que el máximo se encuentra entre 1 y 1'8, para z/h, y entre 22 y 38, para l. Nosotros (Figura 7) hemos hecho también esta representación con los datos de ornitópodos citados y observamos que el máximo oscila entre 0'6 y 0'8, para z/h, y entre 34 y 54, para l. La nube de puntos que encontramos no nos permite asociarle una forma lineal o de contorno claro. A partir de z/h = 1'4, en la figura 7, solamente se proyecta un punto.

Demathieu obtiene la velocidad de la siguiente expresión:

$$v_2 = 0'28063 \cdot z \cdot h^{-0'5}$$

Si z, como se observa en la Figura 9 es función de l, y h también lo es, usamos los datos de la recta de regresión primera (figura 12A) y encontramos que la velocidad se escribe:

$$v_1 = 0'7826 \cdot (105'612 l - 12) / 13'3757)^{1'67} \cdot (5'06 l^{1'07})^{-1'17}$$

$$v_2 = 0'280263 \cdot (105'612 l - 12) / 13'3757 (5'06 l^{1'07})^{0'5}$$

En las que el valor de la velocidad es una función racional de l.

La representación de estas funciones en un sistema en el que las coordenadas son la velocidad y z/l se ve en las Figuras 13 y 14. Aparentemente la relación entre ambas variables es lineal (como se sugiere en la Figura 9).

Si, finalmente se representa la velocidad en función de la longitud del pie, se observa también la correlación con los datos obtenidos (Figuras 15, 16 y 11). En ambos casos la representación es de tipo parabólico; el vértice está situado en:

$$v_1 = 4'79151 \text{ Km/h } l = 0'211467 \text{ m (Figura 15)}$$

$$v_2 = 3'4386 \text{ Km/h } l = 33'5219 \text{ cm (Figura 16)}$$

Se comprueba que la velocidad es función de la longitud del pie según la deducción hecha con las fórmulas de Alexander y Demathieu citadas, las cuales, son responsables: de que la velocidad que se obtiene para los ornitópodos pequeños sea mayor; y que sean los ornitópodos de tamaño medio los que van más despacio.

5. AGRADECIMIENTOS

A los asistentes al segundo turno del "Campamento de excavaciones sobre huellas de dinosaurio" de 1993 que limpiaron y ayudaron en la obtención de los datos del yacimiento. Este trabajo, que se incluye en los proyectos "Geología de Cameros" de Instituto de Estudios Riojanos y en el PB92-310 de la DGICYT, se ha realizado gracias también a la subvención de la Consejería de Cultura, Deportes y Juventud del Gobierno de La Rioja que financió la campaña de excavación.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Alexander, R.M., 1976. Estimates of speed of dinosaurs. *Nature* (261), 129-131.
- Alexander, R.M., 1991. How dinosaurs ran. *Sci. Am.* (264), 139-160. Dinosaurios a la carrera (trad. española) *Inv. Cienc.*, 74-81.
- Alonso, A., Mas, J.R., 1993. Control tectónico e influencia del eustatismo en la sedimentación del Cretácico inferior de la Cuenca de los Cameros. *Cuad. Geol. Ibérica* (17), 285-350.
- Bengochea, A., Izquierdo, L.A., Martínez, J.M., Molinero, J.L., Montero, D., Torcida, F., Urén, V., 1993. Icnitas de dinosaurios en el sureste de la provincia de Burgos. *Bol. Geol. Min.* (104), 243-258.
- Brenner, P., 1976. Ostrakoden und Charophyten des spanischen Wealden (Systematik, Ökologie, Stratigraphie, Paläogeographie). *Palaeontogr. (A)*, 152, 113-121.
- Calzada, S., 1977. Un yacimiento barremiense en Cameros (Logroño). *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Geol.)* (75), 35-38.
- Casanovas, M.L., Ezquerro, R., Fernández, A., Pérez-Lorente, F., Santafé, J.V., 1990a. Huellas de dinosaurio en San Vicente de Robres (La Rioja, España). *Zubia* (8), 33-47.
- Casanovas, M.L., Ezquerro, R., Fernández, A., Pérez-Lorente, F., Santafé, J.V., 1990b. Huellas de dinosaurios en Soto de Cameros (La Rioja, España). *Zubia* (8), 49-71.
- Casanovas, M.L., Ezquerro, R., Fernández, A., Pérez-Lorente, F., Santafé, J.V., 1992. Un grupo de saurópodos en el yacimiento "Soto 2" (La Rioja, España). *Zubia* (10), 45-52.
- Casanovas, M.L., Ezquerro, R., Fernández, A., Pérez-Lorente, F., Santafé, J.V., Torcida, F., 1994a. Icnitas de dinosaurios. Yacimientos de Navalsaz, Las Mortajeras, Peñaportillo, Malvaciervo y Era del Peladillo II. (La Rioja, España). *Zubia Monográfico* (5), 9-133.
- Casanovas, M.L., Ezquerro, R., Fernández, A., Pérez-Lorente, F., Santafé, J.V., Torcida, F., 1994b. El yacimiento de pisadas de dinosaurios "Soto 3" (La Rioja, España). *Zubia* (en prensa).
- Casanovas, M.L., Ezquerro, R., Fernández, A., Pérez-Lorente, F., Santafé, J.V., Torcida, F., 1995. Dos nuevos yacimientos de icnitas en La Rioja y en la provincia de Soria. *Mem. B. Meléndez. Coloq. Pal.* (47), 9-23.
- Casanovas, M.L., Fernández, A., Pérez-Lorente, F., Santafé, J.V., 1988. *El iguanodóntido de la Cuesta de Andorra (La Rioja, España)*. Memoria inédita.
- Casanovas, M.L., Fernández, A., Pérez-Lorente, F., Santafé, J.V., 1989. *Huellas de dinosaurios de La Rioja. Yacimientos de la Senoba, la Virgen del Campo y Valdecevillo*. Ed. I.E.R. (Ciencias de la Tierra, 12), 190 pp.
- Demathieu, G., 1986. Nouvelles recherches sur la vitesse des vertébrés auteurs de traces fossiles. *Geobios* (19), 327-333.
- Díaz, E., Pina, C.M., Ponce, P., 1990. Estudio de unas trazas icnológicas en el Cretácico inferior de San Vicente de Robres (La Rioja). *Geogaceta* (7), 78-81.
- Haubold, H., 1971. *Ichnia amphibiorum et reptiliorum fossilium*. En *Handbuch der Paläoherpetologie*. Ed. O.Kuhn. (18), 124 pp.

- Hernández Samaniego, A., Ramírez, J.I., Olivé, A., Álvaro, M., Ramírez del Pozo, J., Aguilar, M.J., Meléndez, A., 1990. *Mapa Geológico de España. E. 1:50.000. Hoja nº 242. MUNILLA. ITGE. Hoja y memoria.*
- Kneuper-Haak, F., 1965/66. Ostrakoden aus dem Wealden der Sierra de los Cameros (Nordwesliche Iberische Ketten). *Beih. Geol. Jb.* (44), 165-209.
- Leonardi, G., 1987. *Glossary and manual of tetrapod footprint Palaeoichnology*. Ed. Técnicas. Cia de Pesquisa de Recursos Minerais. Brasil. 118 pp.
- Lockley, M.G., 1993. *Siguiendo las huellas de los dinosaurios*. Mc Graw Hill. 307 pp.
- Lockley, M.G., Houck, K., Prince, N.K., 1986. North American's largest dinosaur trackway site: Implications for Morrison Formation paleoecology. *Geol. Soc. Am. Bull.* (97), 1163-1176.
- Moratalla, J.J., Sanz, J.L., Jiménez, S., 1988. Nueva traza icnológica de dinosaurios en el Cretácico inferior de La Rioja (España). *Est. Geol.* (44), 119-131.
- Moratalla, J.J., Sanz, J.L., Jiménez, S., Lockley, M.G., 1992. A quadrupedal ornithopod trackway from the lower Cretaceous of La Rioja (Spain): Inferences on gait and hand structure. *Jr. Vert. Pal.* (12), 150-157.
- Salomon, J., 1973. *Theriosynoecum fittoni*, sa répartition et sa signification stratigraphique dans le Wealdien du Nord de l'Espagne. *Rev. Micropal.* (16,2), 132-136.
- Sanz, J.L., Moratalla, J.J., Casanovas, M.L., 1984. Traza icnológica de un dinosaurios iguanodóntido en el Cretácico inferior de Cornago (La Rioja. España) *Est. Geol.* (41), 85-91.
- Thulborn, R.A., 1984. Preferred gaits of bipedal dinosaurs. *Alcheringa* (8), 243-252.
- Thulborn, R.A., 1990. *Dinosaur tracks*. Chapman and Hall ed. 410 pp.
- Viera, L.I., Aguirrezabala, L.M., 1982. El Weald de Munilla (La Rioja) y sus icnitas de dinosaurios (I). *Munibe* (34), 245-270.
- Viera, L.I., Torres, J.A., Aguirrezabala, L.M., 1984. El Weald de Munilla (La Rioja) y sus icnitas de dinosaurios (II). *Munibe* (36), 3-22.

7. TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1: Rastrillada 1

pie	l	a	O	Ar	Lr	z	h	P	Ap	II	III	IV	II^III^IV	z/h	v1	v2	
31	49	47	--	--	--	---	420	--	---	22	21	27	2	8	---	---	---
30	52	49	-25	9	64	179	480	92	161	25	22	26	4	23	0'4	1'2	3'2
29	50	45	-11	11	71	199	430	89	153	22	17	22	8	11	0'4	1'4	4
28	53	44	-33	12	76	192	490	104	159	21	27	28	7	33	0'4	1'3	3'7
27	52	48	-25	15	84	182	470	92	145	25	30	22	-	14	0'4	1'2	3'3
26	58	51	-33	21	92	194	600	100	141	27	27	32	-	9	0'4	1'4	3'8
25	--	--	-28	37	121	162	---	106	101	--	21	21	-	21	0'3	1	2'6
24	56	48	-6	24	95	167	550	104	116	25	24	24	0	12	0'3	1'1	2'8
23	--	46	--	12	76	170	---	77	144	26	--	23	-	--	0'3	1'1	2'9
22	52	40	-23	10	69	180	480	87	162	25	22	24	0	19	0'4	1'2	3'2
21	51	46	--	--	--	---	450	82	---	15	23	22	-	11	---	---	---
20	--	--	--	--	--	---	---	--	---	--	--	--	-	--	---	---	---
--	--	--	--	--	--	---	---	--	---	--	--	--	-	--	---	---	---
18	--	--	--	--	--	---	---	--	---	--	--	--	-	--	---	---	---
17	52	47	-29	11	74	185	480	91	156	16	20	21	-	28	0'4	1'3	3'4
16	49	46	-24	10	66	186	420	97	157	23	21	20	0	21	0'4	1'3	3'5
15	51	45	-21	12	72	192	450	92	155	19	19	25	-	18	0'4	1'3	3'7
14	51	45	-17	9	68	192	450	105	161	28	21	24	0	0	0'4	1'3	3'7
13	47	47	-18	10	71	181	390	90	157	24	16	22	4	16	0'4	1'2	3'3
12	54	50	--	11	70	181	520	95	156	24	--	23	-	4	0'4	1'2	3'3
11	55	52	-29	10	70	187	530	91	160	22	25	25	-	30	0'4	1'3	3'5
10	52	48	-14	9	69	187	480	99	162	25	24	25	0	0	0'4	1'3	3'5
9	57	45	-19	7	70	186	580	90	163	--	26	22	-	22	0'4	1'3	3'5
8	53	49	-20	12	77	190	490	98	156	26	26	25	-	15	0'4	1'3	3'6
7	52	44	-23	9	71	197	470	96	163	24	25	25	-	22	0'4	1'4	3'9
6	53	46	-19	9	71	182	490	102	160	21	21	24	0	25	0'4	1'2	3'3
5	52	47	-15	9	70	176	480	83	157	20	24	26	-	22	0'4	1'2	3'1
4	51	46	-25	15	76	177	450	96	148	21	27	15	0	28	0'4	1'2	3'1
3	54	45	-22	8	70	167	500	87	160	19	21	25	3	31	0'3	1'1	2'8
2	51	50	-24	12	74	175	450	79	152	23	--	25	6	19	0'4	1'1	3'1
1	54	47	--	--	--	---	500	96	---	21	29	--	13	32	---	---	---

Tabla 2: Rastrillada 2

pie	l	a	O	Ar	Lr	z	h	P	Ap	II	III	IV	II^III^IV	z/h	v1	v2	
6	--	--	--	--	--	---	---	--	---	--	--	--	--	---	---	---	
5	--	--	--	--	65	---	---	--	---	--	--	--	--	---	---	---	
4	36	41	--	--	69	---	235	--	---	16	14	19	--	23	---	---	---
3	--	42	-15	16	74	223	---	122	150	16	12	--	--	0'9	3'8	4	
2	39	39	-5	25	--	170	253	109	140	16	17	19	11	19	0'7	2'4	3
1	--	--	--	--	--	---	---	89	---	19	19	--	0	---	---	---	---

Tabla 3: Rastrillada 3

pie	l	a	O	Ar	Lr	z	h	P	Ap	II	III	IV	II^III^IV	z/h	v ₁	v ₂
6	44	40	--	--	--	---	288	--	---	19	19	21	22 9	---	---	---
5	--	44	--	2	44	204	---	101	178	--	--	--	--	0'7	2'7	3'4
4	43	39	--	--	39	---	284	102	---	22	16	15	6 10	---	---	---
3	--	--	--	--	--	---	---	---	---	--	--	--	--	---	---	---
2	--	--	--	--	--	---	---	---	---	--	--	--	--	---	---	---
1	--	--	--	--	--	---	---	---	---	--	--	--	--	---	---	---

Tabla 4: Rastrillada 4

pie	l	a	O	Ar	Lr	z	h	P	Ap	II	III	IV	II^III^IV	z/h	v ₁	v ₂
4	24	30	--	--	--	---	154	--	---	10	9	13	34 31	---	---	---
3	--	--	--	--	--	142	---	--	---	--	--	--	--	1	2'8	3'1
2	27	27	--	--	--	---	175	72	---	11	10	14	11 19	---	---	---
1	27	--	--	--	--	---	175	--	---	12	11	--	37	---	---	---

Tabla 5: Rastrillada 5

pie	l	a	O	Ar	Lr	z	h	P	Ap	II	III	IV	II^III^IV	z/h	v ₁	v ₂
3	41	44	--	--	--	---	270	--	---	22	19	27	24	---	---	---
2	47	49	-10	22	91	126	315	67	112	22	--	21	5	0'4	1'1	2
1	50	45	--	--	--	---	330	85	---	22	19	20	14 5	---	---	---

Tabla 6: Rastrillada 6

pie	l	a	O	Ar	Lr	z	h	P	Ap	II	III	IV	II^III^IV	z/h	v ₁	v ₂
3	40	37	--	--	--	---	262	--	---	1'6	21	--	4 6	---	---	---
2	45	39	2	6	52	183	297	88	167	15	20	18	0 1	0'6	2'2	3
1	48	47	--	--	--	---	319	96	---	21	16	--	-	---	---	---

Tabla 7: Rastrillada 7

pie	l	a	O	Ar	Lr	z	h	P	Ap	II	III	IV	II^III^IV	z/h	v ₁	v ₂
5	27	--	--	--	--	---	175	--	---	15	14	--	29	---	---	---
4	37	41	-8	7	47	248	240	133	---	--	19	19	--	28	1'1	4'7 5'1
3	37	36	-7	7	52	207	240	116	---	19	18	16	30 32	0'9	3'8	3'9
2	37	41	-7	9	58	201	240	93	---	18	20	19	13 11	0'9	3'4	3'8
1	32	35	--	--	--	---	210	111	---	19	17	17	28 17	---	---	---

Tabla 8: Valor medio y relaciones de interés

Castro I	a	O	Ar	Lr	z	h	P	Ap	II	III	IV	II ^ III ^ IV	IV ^ II	z/h	v1	v2	(1-a)/a	Ar/a	z/l	III/I
1	52	47	-22	13	73	183	480	93	152	23	23	18	21	0.4	1.2	3.3	0.1	0.3	3.5	0.4
2	37	41	-10	21	69	197	244	107	145	17	16	21	29	1.2	3.1	3.5	-0.1	0.5	5.3	0.4
3	45	41	--	2	41	204	286	102	178	21	17	14	9	0.7	2.7	3.4	0.05	0.05	4.7	0.4
4	26	29	--	--	--	142	168	72	--	11	10	27	25	1	2.8	3.1	-0.1	--	5.5	0.4
5	46	46	-10	22	91	126	305	76	112	22	19	5	19	0.4	1.1	2.0	0.0	0.5	2.7	0.4
6	44	41	2	6	52	183	293	92	167	17	19	10	1	0.6	2.2	3.0	0.1	0.1	4.2	0.4
7	36	38	-7	8	53	219	221	113	--	18	18	25	20	1.0	4.1	4.1	-0.05	0.2	6.1	0.5

Tabla 9: Procedencia y valores usados en la deducción matemática

rastro		l	O	z	z/l	h	z/h	v1	v2	Nº de icnitas
La Canal	1	52	-22	183	3'5	349	0'5	1'8	2'5	30
	2	37	-10	197	5'3	244	1'2	3'1	3'5	6
	3	43		204	4'7	286	0'7	2'7	3'4	5
	4	26		142	5'5	168	1'0	2'8	3'1	3
	5	46	-10	126	2'7	305	0'4	1'1	2'0	3
	6	44	2	183	4'2	293	0'6	2'2	3'0	3
	7	36	-7	219	6'1	221	1'0	4'1	4'1	5
Navalsaz	1	33	4	142	4'0	215	0'7	2'0	2'7	9
	2	36	-4	184	5'0	235	0'8	3'9	3'4	7
	3	27	0	191	7'0	173	0'9	4'4	4'5	5
	4	52	-8	165	3'2	349	0'5	3'2	1'4	11
	8	39	-19	209	5'0	254	0'8	3'2	3'7	15
	10	25	-3	162	6'9	136	1'2	4'4	3'9	4
Peñaportillo	150	49	--	186	3'8	294	0'6	2'1	3'0	7
Malvaciervo	151	53	-9	149	2'8	351	0'4	1'3	2'2	9
Peladillo (II)	173	38	-4	183	4'6	246	0'7	2'7	3'3	4
Valdecevillo	G ₁	33	-5	201	6'0	---	---	---	---	6
	G ₂	22	--	100	4'0	---	---	---	---	3
	G ₃	31	3	144	4'6	---	---	---	---	5
	K ₉	33	-8	176	5'3	---	---	---	---	5
	L+K	51	0	248	4'8	---	---	---	---	16
Virgen del Campo Doblada		48	--	176	5'3	---	---	---	---	5
Peladillo (I)	11	38	-16	176	4'6	250	0'7	2'3	3'0	4
	12	46	--	139	3'0	308	0'5	1'5	2'2	8
Igea-Valdebrajes	1	33	0	250	7'6	212	1'3	6'4	5'0	3
	5	35	-4	220	6'3	186	1'3	5	4'5	5
	14	45	-5	229	5'1	311	0'8	3'7	4'2	3
San Vicente de Robres	A	22	7	173	7'7	122	1'5	5'6	---	5
Soto (I)	K	27	9	141	5'0	176	0'8	2'6	---	3
	P	24	--	---	---	150	---	---	---	2
	Q	24	16	153	6'4	150	1'0	3'6	3'5	3
Cabezón		58	--	227	3'9	239	0'9	4'0	---	5
Rfo Guadalupe		68	--	368	5'4	278	1'3	7'5	---	-
<i>Caririchnium leonardi</i>		42	--	168	4'0	175	1'0	3'5	---	-
Museo Británico		47	--	193	4'1	195	1'0	3'9	---	-
<i>Camposaurichnus</i>		25	--	119	4'8	108	1'1	3'4	---	-
<i>Amblydactylus</i>		59	--	---	---	241	---	3'5	---	-
Cornago		41	--	220	5'4	177	1'2	5'4	4'7	11
Valdeté		41	--	181	4'4	175	1'0	3'9	3'7	10
La Magdalena		59	--	237	4'0	258	0'9	4'1	4'4	7
San Martín		35	--	206	5'7	229	0'9	3'6	3'8	3
Cuesta de Andorra		57	-7	264	4'6	230	1'1	3'2	---	21
Peña Uñor	1	35	--	184	5'3	230	0'8	2'9	3'3	4
	2	29	--	200	6'9	188	1'1	4'3	4'0	3
Costalomo	3	40	--	230	5'7	265	0'8	3'6	3'9	3
	4	40	--	206	5'1	265	0'7	3'0	3'5	4
	6	41	--	225	5'5	268	0'8	3'4	3'8	10
	7	30	--	147	4'9	195	0'7	2'4	2'9	4
	8	47	--	206	4'4	314	0'6	2'4	3'2	4
	2	63	--	209	3'3	427	0'5	1'7	2'8	6
	5	48	--	219	4'6	316	0'7	2'7	3'4	5
	I longitud del pie		n anchura del pie		O orientación		Ar amplitud de rastrillada			
Lr luz de rastrillada		z longitud de zancada		h altura del acetábulo		P longitud del paso				
Ap ángulo de paso		II Longitud del dedo II		III id. del dedo III		IV id. del dedo IV				
II^III ángulo dedos II y III		III^IV ángulo dedos III y IV		IV^II ángulo dedos IV y II		v1 velocidad (Alexander)				

Figura 1

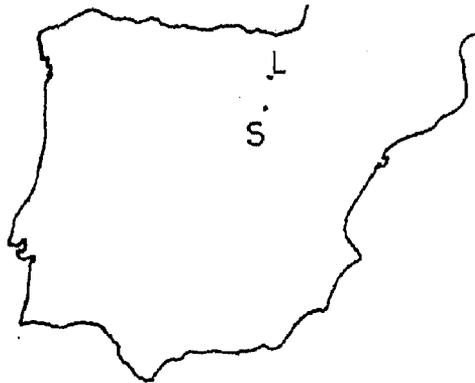
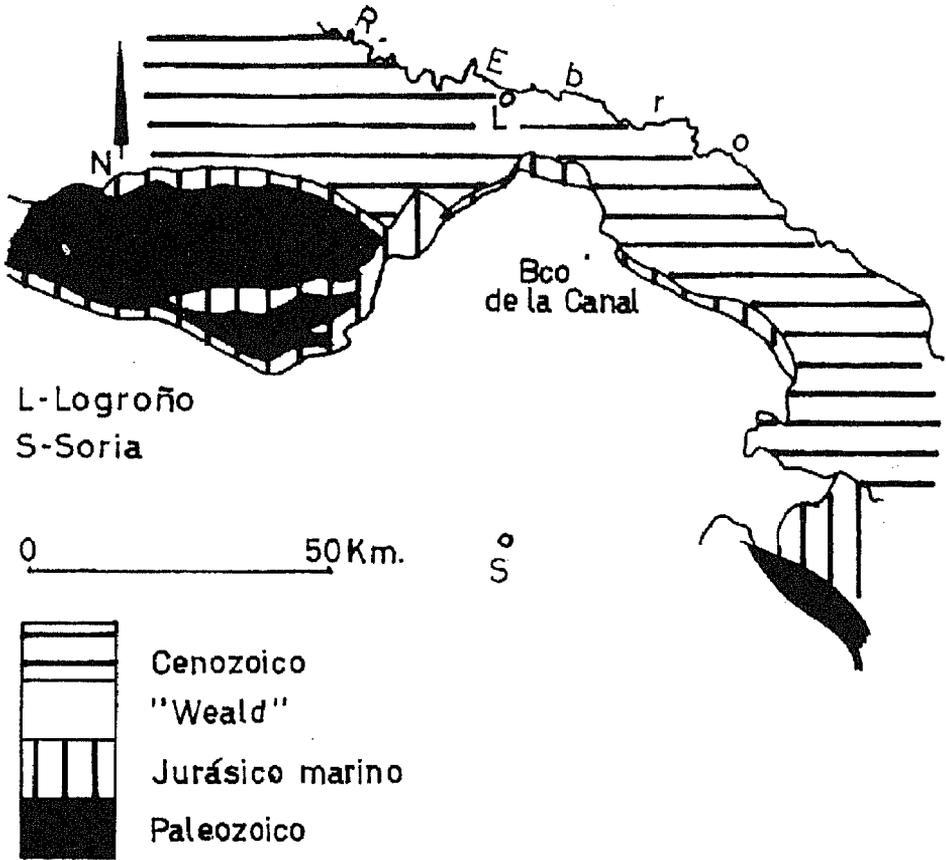


Figura 2

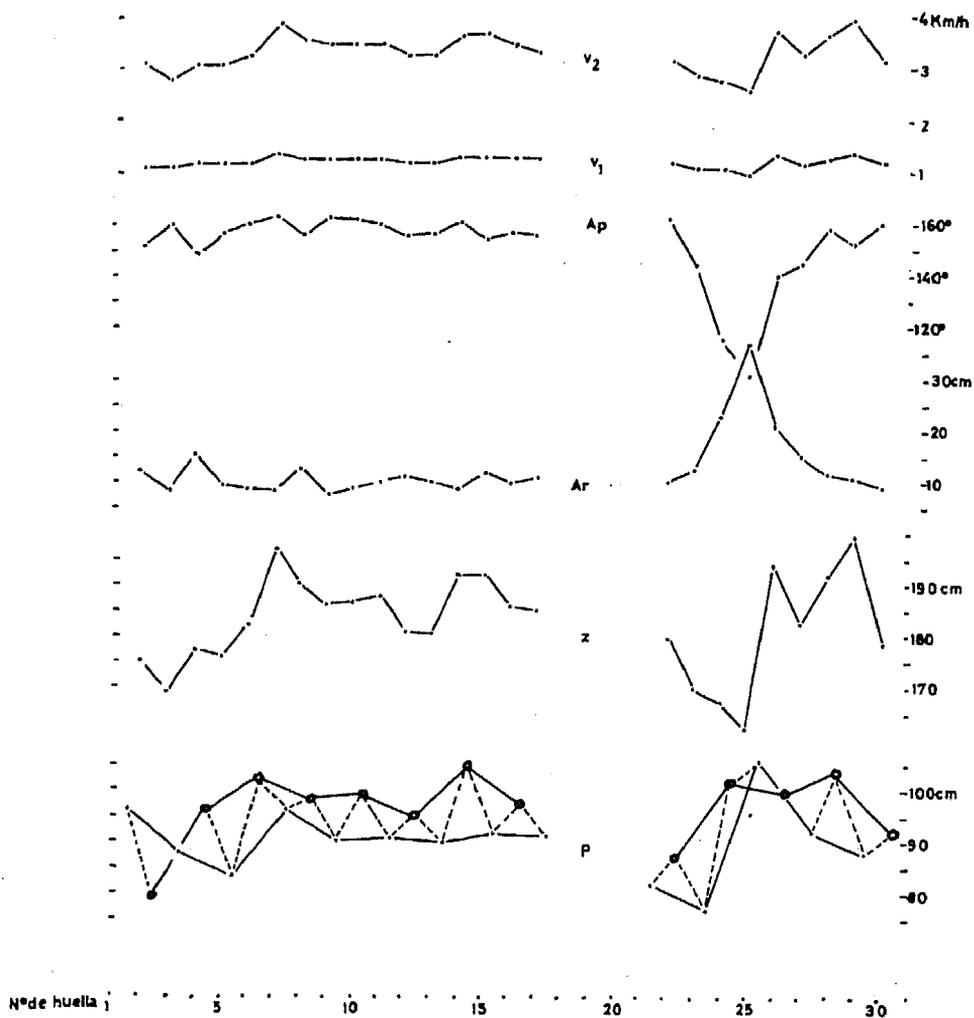


Figura 5

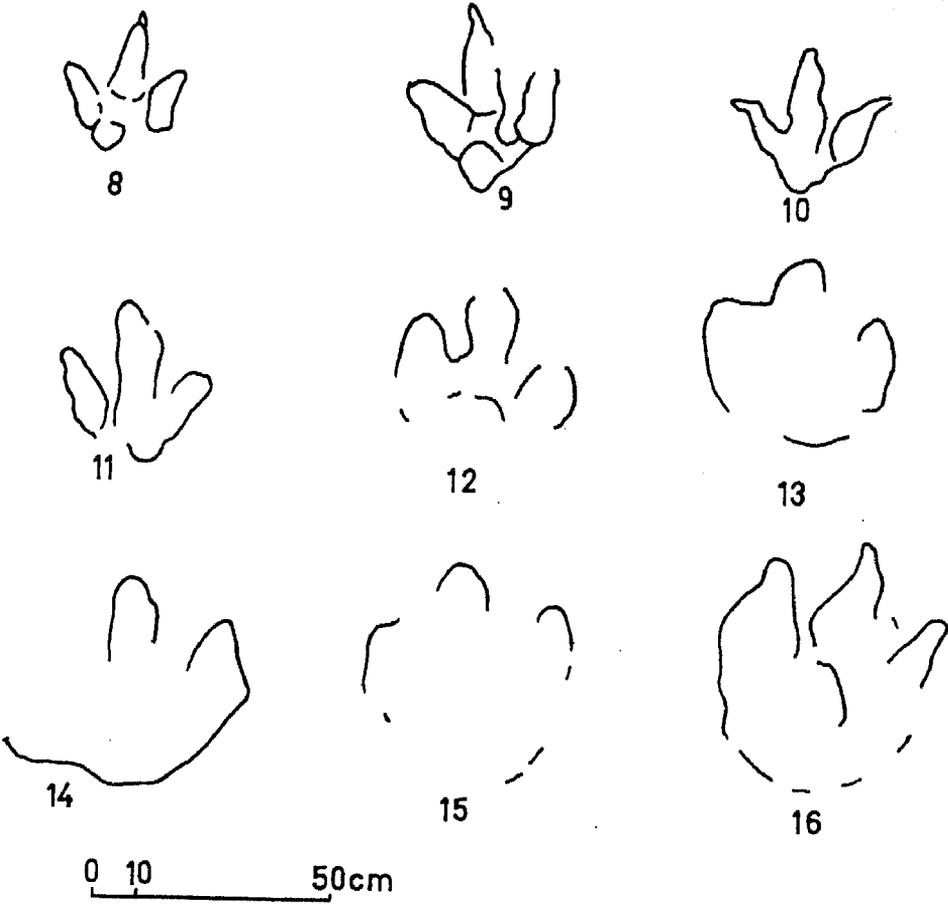


Figura 7

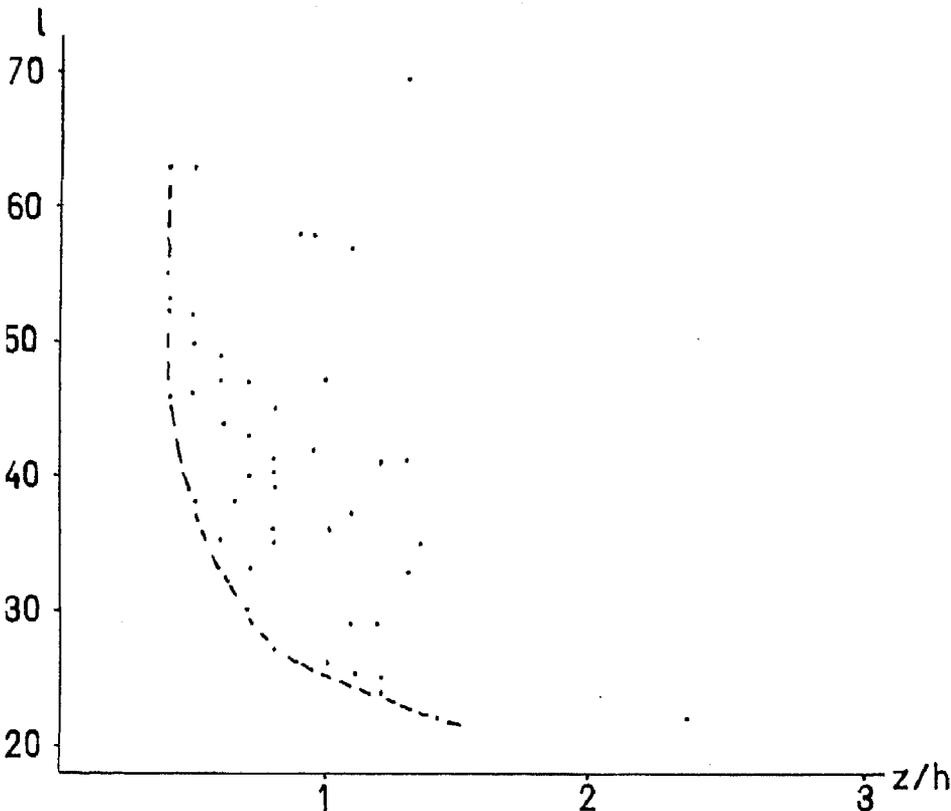


Figura 8

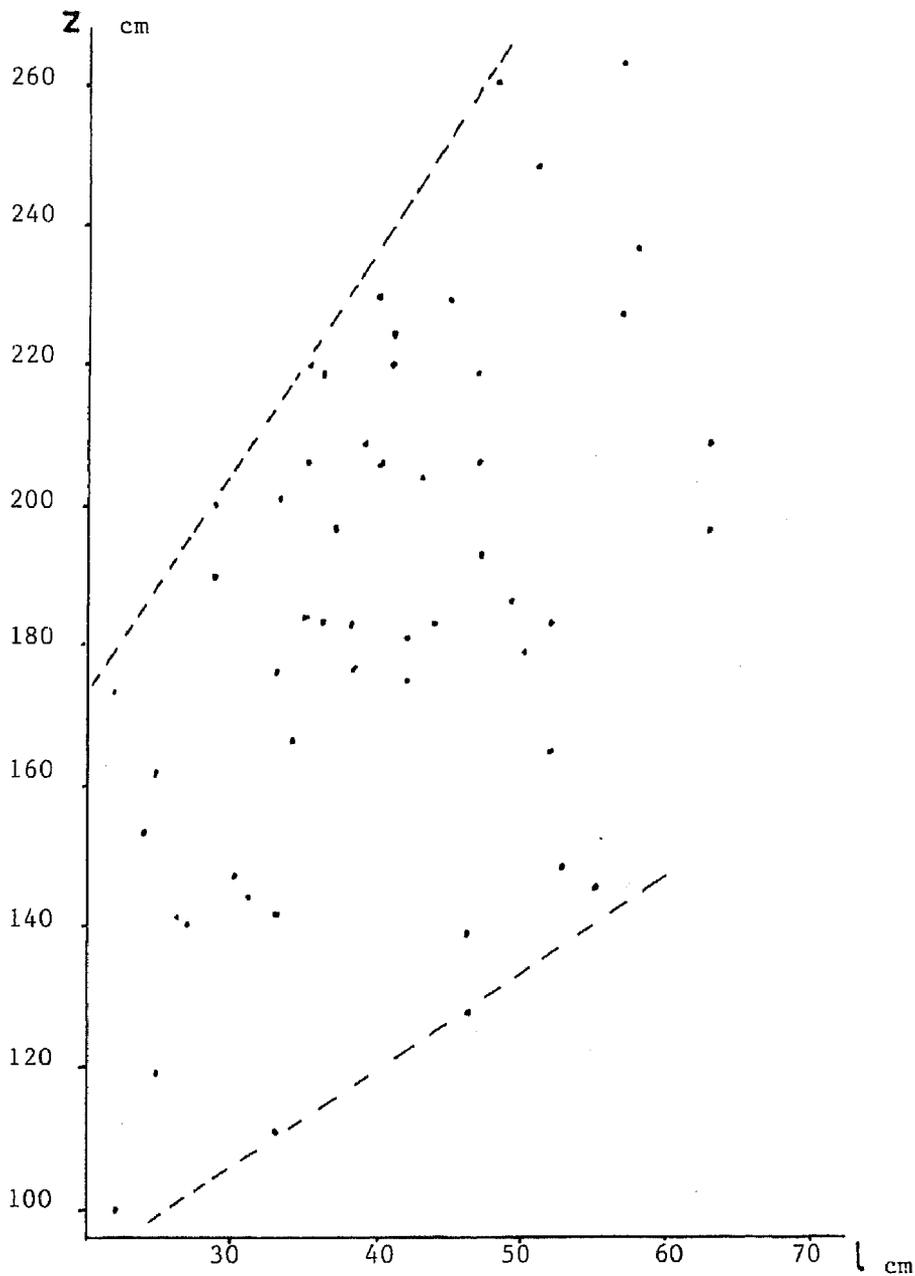


Figura 9

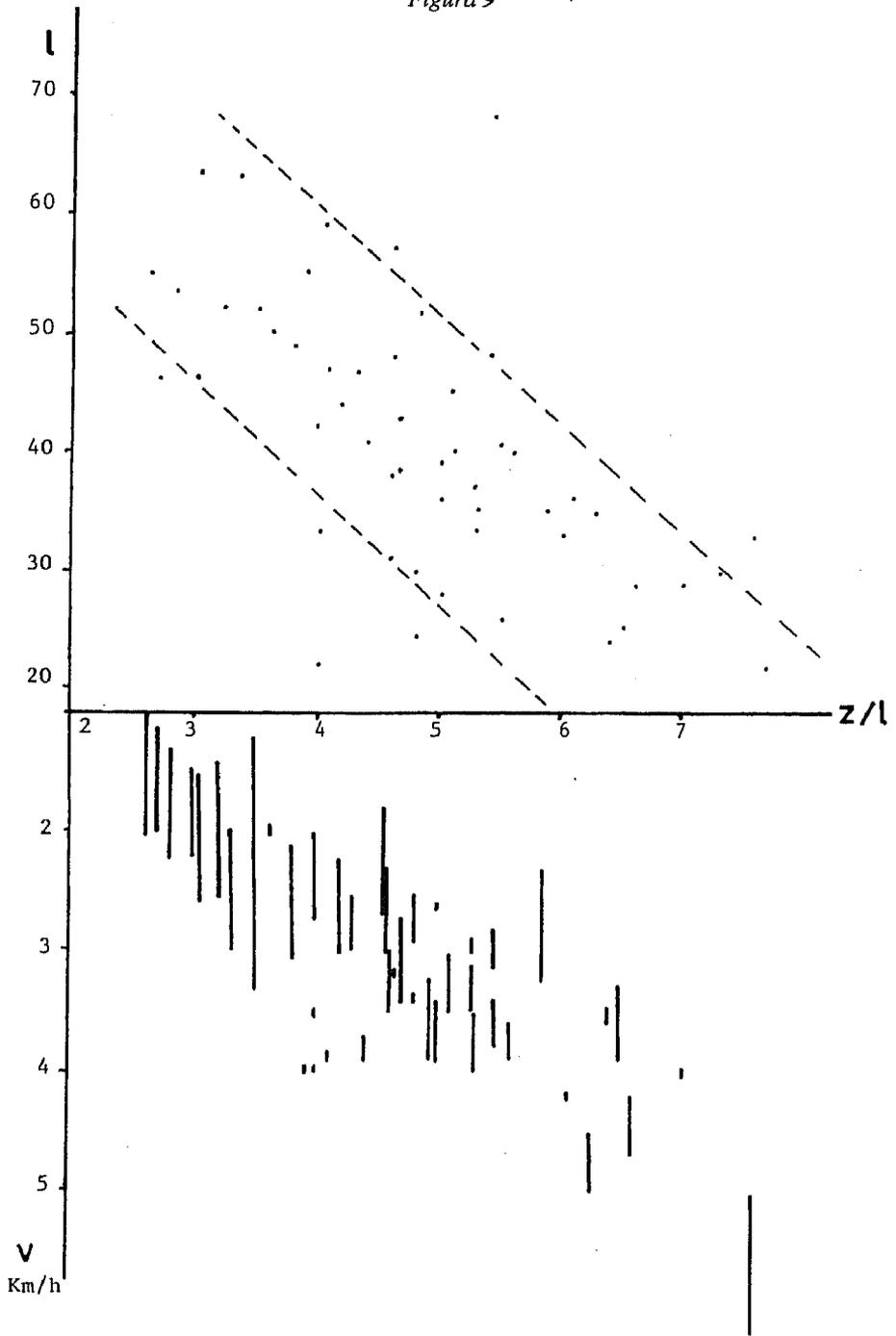


Figura 10

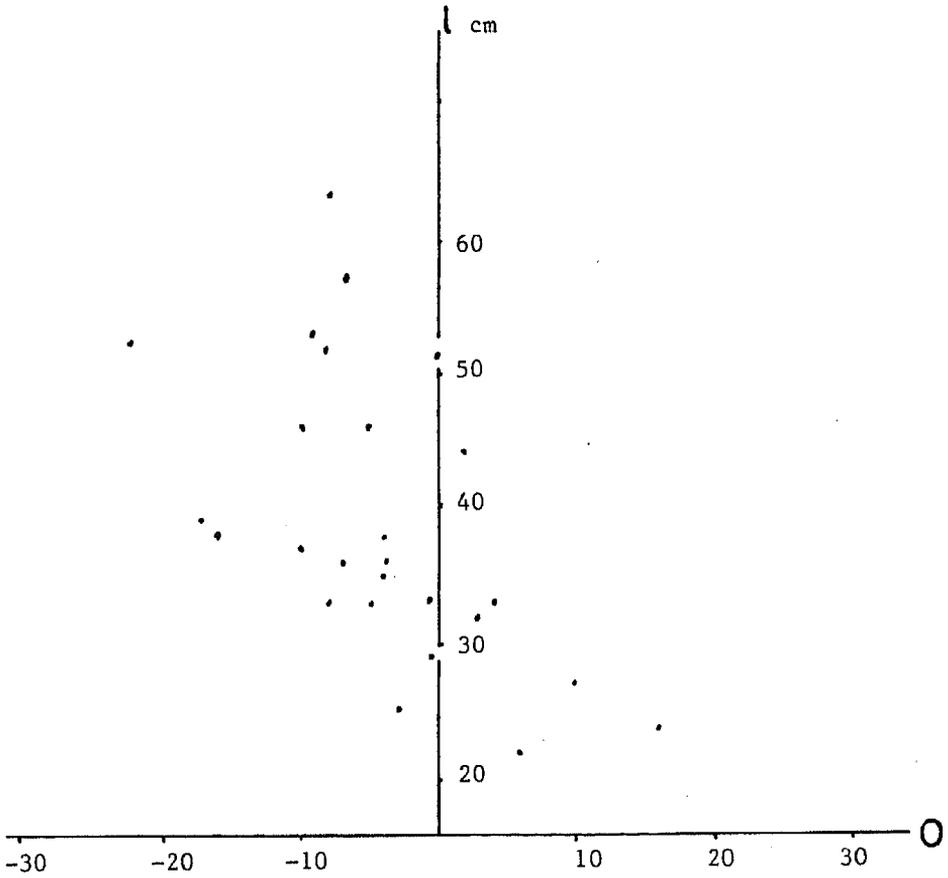


Figura 11

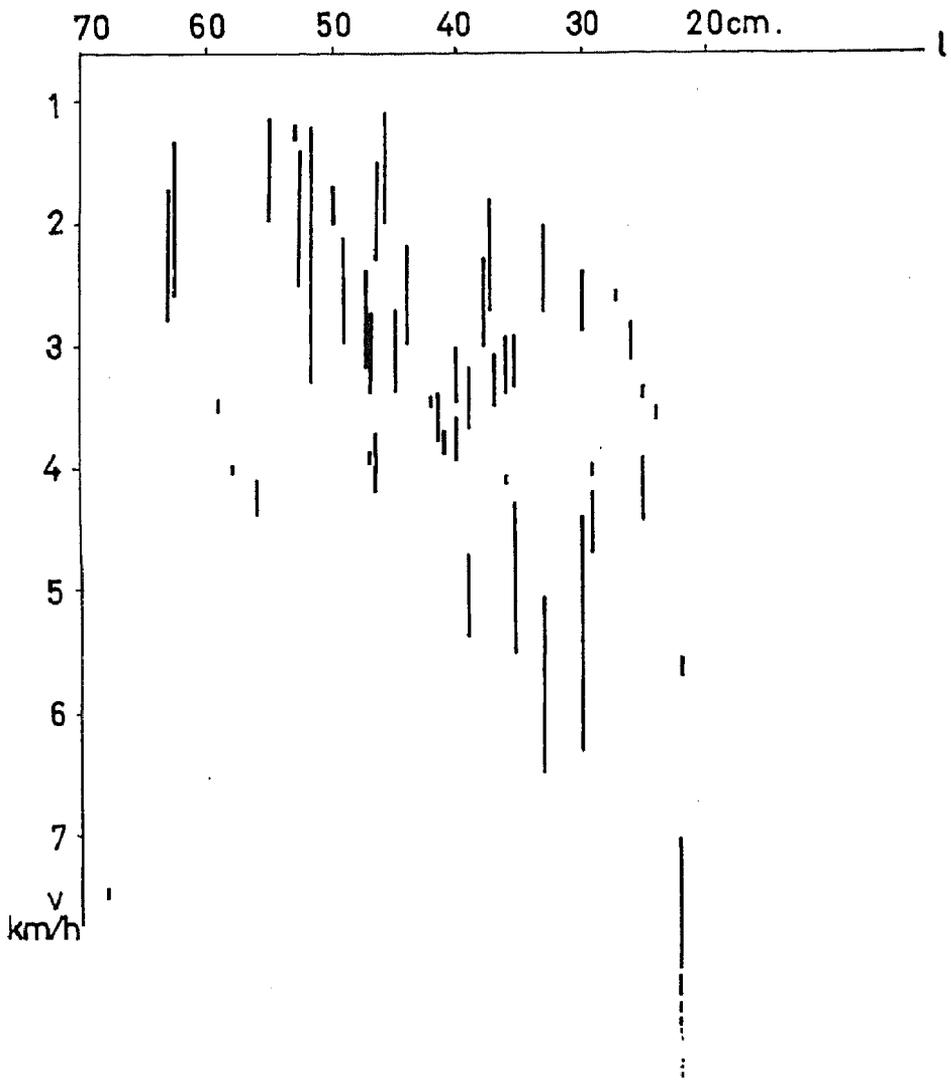


Figura 12

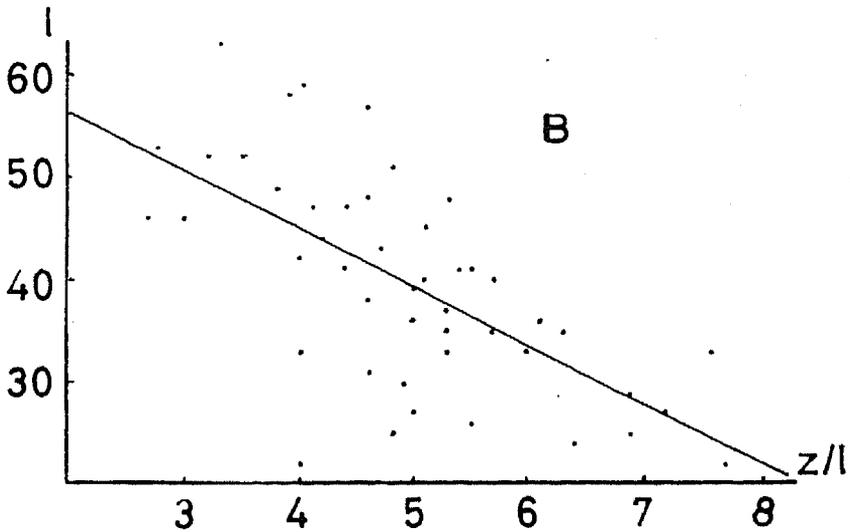
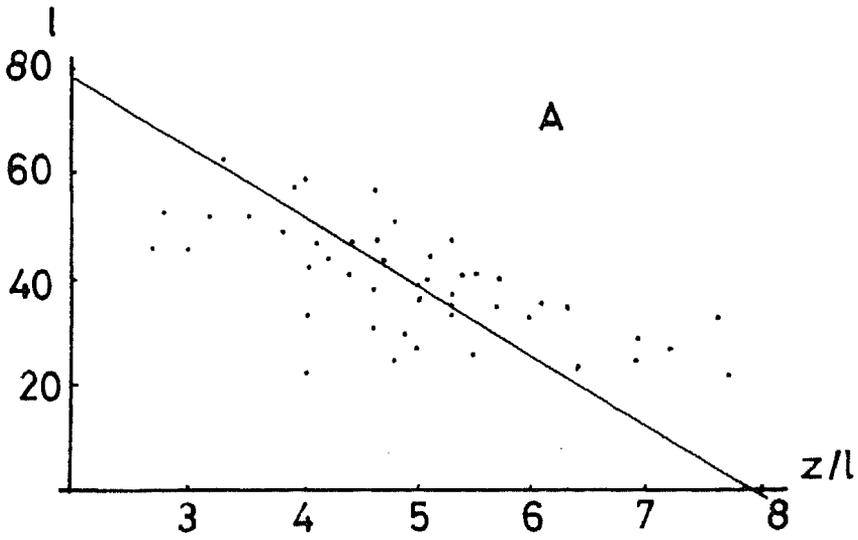


Figura 13: Velocidad I en función de z/l

In[65]:= (20/4/94 at 17:59:07)

v1 = .7826 (x recta)^(1.67) (5.06 recta^(1.07))^(-1.17)

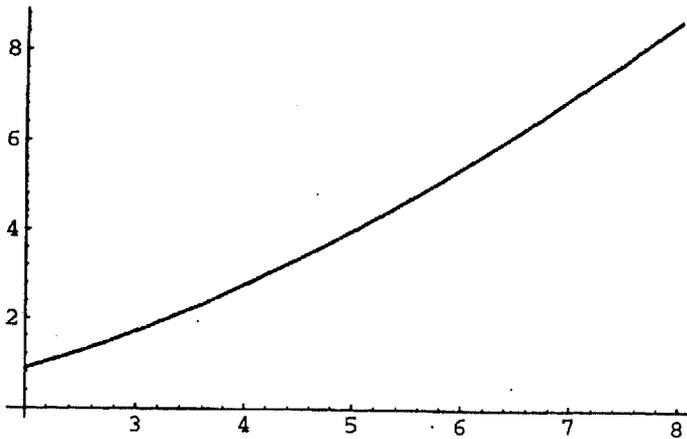
Out[65]:= (20/4/94 at 17:59:07)

0.117404 ((7.89579 - 0.0747623 x) x)^{1.67}

(7.89579 - 0.0747623 x)^{1.07} 1.17

In[66]:= (20/4/94 at 18:00:00)

Plot[v1, {x, 2, 8}]



Out[66]:= (20/4/94 at 18:00:00)

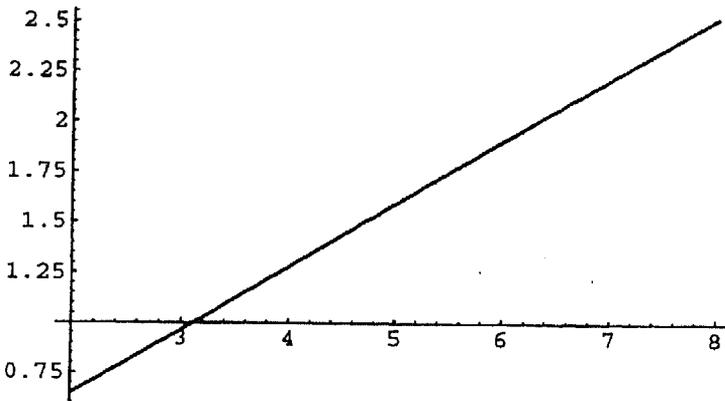
-Graphics-

Figura 14: Velocidad 2 en función de z/l

```
In[67]:= (20/4/94 at 18:03:18)
v2 = (.280263 x recta) / Sqrt[5.06 recta^(1.07)]
```

```
Out[67]= (20/4/94 at 18:03:18)
0.124592 (7.89579 - 0.0747623 x) x
-----
Sqrt[(7.89579 - 0.0747623 x) 1.07]
```

```
In[68]:= (20/4/94 at 18:03:31)
Plot[v2, {x, 2, 8}]
```



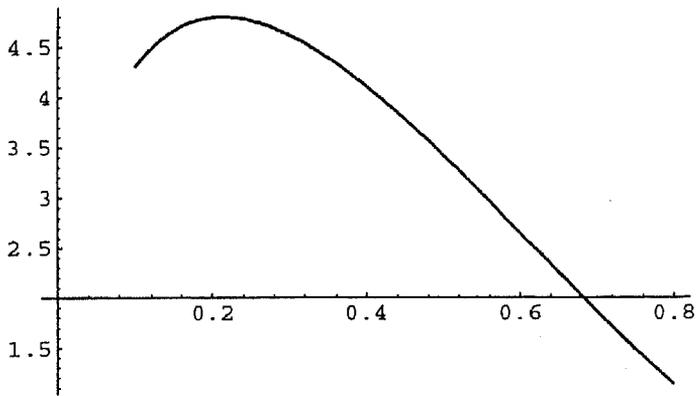
```
Out[68]= (20/4/94 at 18:03:31)
-Graphics-
```

Figura 15: Velocidad v_1 para la recta de regresión I

```
In[37]:= (20/4/94 at 17:35:34)
v1 = .7826 (x recta)^1.67 (5.06 (x)^1.07)^(-1.17) 3.6
```

```
Out[37]= (20/4/94 at 17:35:34)
0.422655 ((7.89579 - 7.47623 x) x)
1.67
-----
1.07 1.17
(x )
```

```
In[39]:= (20/4/94 at 17:35:57)
Plot[v1, {x, 0.1, 0.8}]
```



```
Out[39]= (20/4/94 at 17:35:58)
-Graphics-
```

```
dv1 = D[v1, x];
```

```
In[42]:= (20/4/94 at 17:37:58)
vertice = FindRoot[dv1==0, {x, .2}]
```

```
Out[42]= (20/4/94 at 17:37:58)
{x -> 0.211467}
```

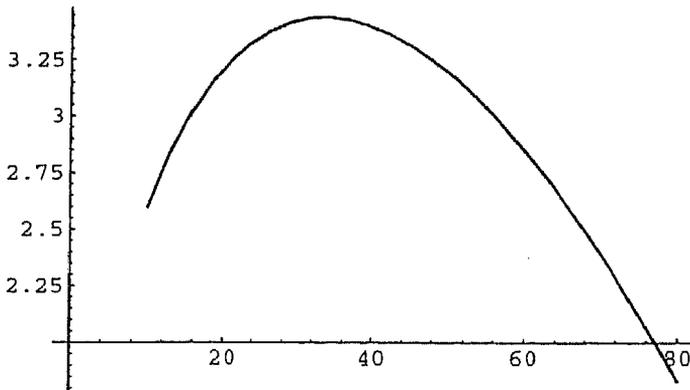
Figura 16: Velocidad v_2 para la recta de regresión 2

In[46]:= (20/4/94 at 17:41:52)
 $v_2 = (.280263 \times \text{recta}) / \text{Sqrt}[5.06 \times x^{1.07}]$

Out[46]:= (20/4/94 at 17:41:52)

$$\frac{0.124592 (7.89579 - 0.0747623 x) x}{\text{Sqrt}[x^{1.07}]}$$

In[47]:= (20/4/94 at 17:42:01)
 Plot[v2, {x, 10, 80}]



Out[47]:= (20/4/94 at 17:42:02)
 -Graphics-

In[48]:= (20/4/94 at 17:42:15)
 $dv_2 = D[v_2, x];$

In[51]:= (20/4/94 at 17:42:53)
 $\text{vertice2} = \text{FindRoot}[dv_2 == 0, \{x, 35\}]$

Out[51]:= (20/4/94 at 17:42:53)
 $\{x \rightarrow 33.5219\}$

In[52]:= (20/4/94 at 17:42:55)
 $v_2 /. \text{vertice2}$

Out[52]:= (20/4/94 at 17:42:55)
 3.43816

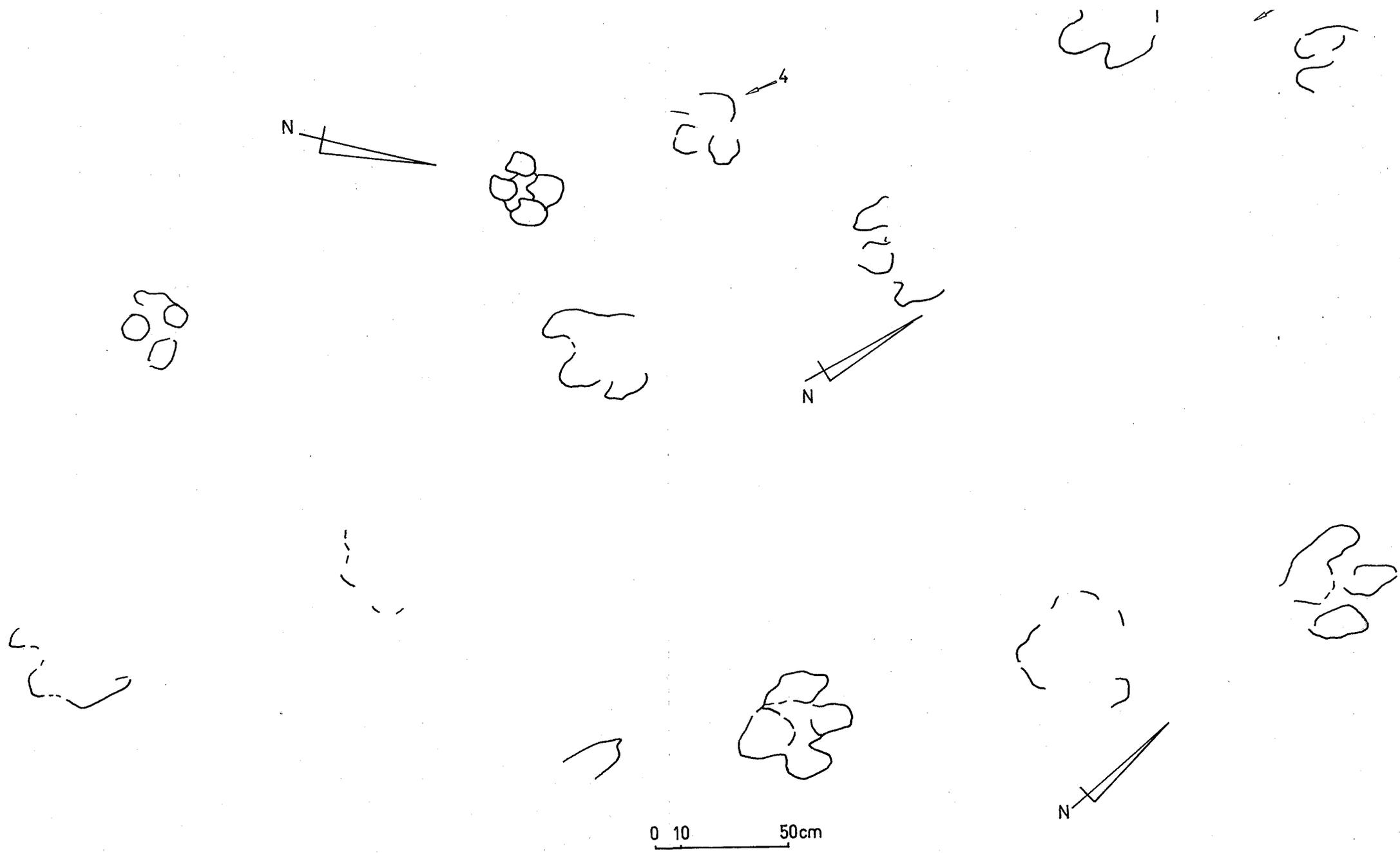


Figura 3

L. CASANOVAS, R. EZQUERRA, A. FERNÁNDEZ, D. MONTERO, F. PÉREZ-LORENTE, J.V. SANTAFÉ, F. TORCIDA y L.I. VIERA, "El yacimiento de La Canal (Munilla, La Rioja, España). La variación de velocidad en función del tamaño del pie de los oribatídeos", *Zubia*, 13, Logroño, 1995, pp. 53-78.

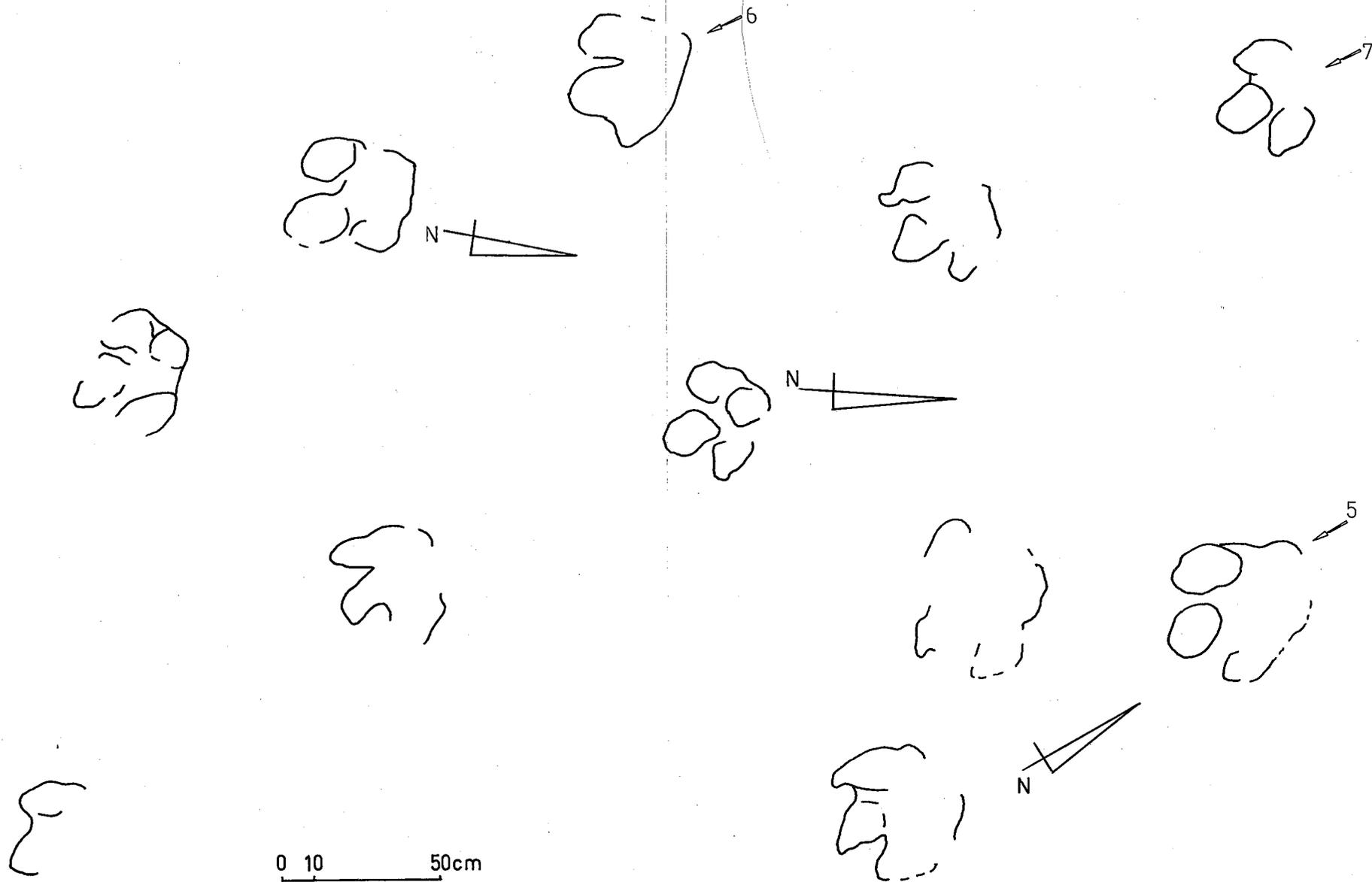
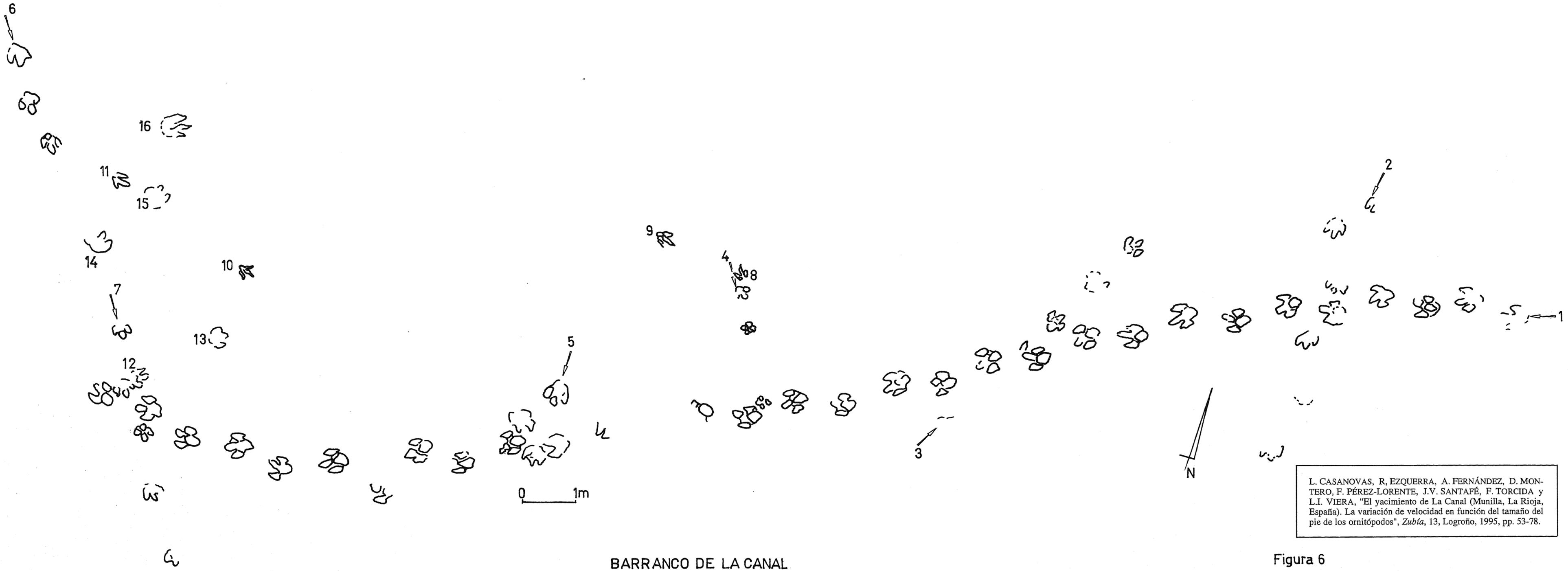


Figura 4

L. CASANOVAS, R. EZQUERRA, A. FERNÁNDEZ, D. MONTERO, F. PÉREZ-LORENTE, J.V. SANTAFÉ, F. TORCIDA y L.I. VIERA, "El yacimiento de La Canal (Munilla, La Rioja, España). La variación de velocidad en función del tamaño del pie de los ornitópodos", *Zubia*, 13, Logroño, 1995, pp. 53-78.



BARRANCO DE LA CANAL

L. CASANOVAS, R. EZQUERRA, A. FERNÁNDEZ, D. MONTERO, F. PÉREZ-LORENTE, J.V. SANTAFÉ, F. TORCIDA y L.I. VIERA, "El yacimiento de La Canal (Munilla, La Rioja, España). La variación de velocidad en función del tamaño del pie de los ornithópodos", *Zubia*, 13, Logroño, 1995, pp. 53-78.

Figura 6