

# ZUBÍA

REVISTA DE CIENCIAS

MONOGRÁFICO

30

*ier*

Instituto de Estudios Riejanos

ZUBÍA. MONOGRÁFICO  
REVISTA DE CIENCIAS,  
Nº 30 (2018). Logroño (España).  
P. 1-573, ISSN: 1131-5423

**DIRECTORA**

Patricia Pérez Matute

**CONSEJO DE REDACCIÓN**

Luis Español González  
Rubén Esteban Pérez  
Rafael Francia Verde  
Juana Hernández Hernández  
Alfredo Martínez Ramírez  
Luis Miguel Medrano Moreno  
Ana María Palomar Urbina  
Ignacio Pérez Moreno  
Enrique Requeta Loza  
Purificación Ruiz Flaño  
Angélica Torices Hernández

**CONSEJO CIENTÍFICO**

José Antonio Arizaleta Urarte  
(Instituto de Estudios Riojanos)  
José Arnáez Vadillo  
(Universidad de La Rioja)  
Susana Caro Calatayud  
(Instituto de Estudios Riojanos)  
Eduardo Fernández Garbayo  
(Universidad de La Rioja)  
Rosario García Gómez  
(Universidad de La Rioja)  
José M<sup>a</sup> 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)  
Diego Troya Corcuera  
(Instituto Politécnico y Universidad Estatal de Virginia, Estados Unidos)  
Eduardo Viladés Juan  
(Hospital San Pedro, Logroño)  
Carlos Zaldívar Ezquerro  
(Dirección General de Medio Natural del Gobierno de La Rioja)

**DIRECCIÓN Y ADMINISTRACIÓN**

Instituto de Estudios Riojanos  
C/ Portales, 2  
26071 Logroño  
publicaciones.ier@larioja.org

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

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

Número suelto: 9 €

Número monográfico: 9 €

INSTITUTO DE ESTUDIOS RIOJANOS

# ZUBÍA

---

REVISTA DE CIENCIAS

30 AÑOS DE INVESTIGACIÓN EN LA RIOJA

Monográfico Núm. 30



Gobierno de La Rioja  
Instituto de Estudios Riojanos  
LOGROÑO  
2018

**Treinta años de investigación en La Rioja:** Homenaje a Ildefonso Zubía e

Icazuriaga / -- Logroño : Instituto de Estudios Riojanos, 2018

573 p. : gráf. ; 24 cm-- (Zubía. Monográfico, ISSN 1131-5423; 30).-

D.L. LR 413-2012

1. Rioja – Política científica. 2. Zubía e Icazuriaga, Ildefonso – Homenajes I.

Instituto de Estudios Riojanos. II. Serie

061.61(460.21)(091)

001.891:32(460.21)"19/20"

63:061.62(460.21)

929 Zubía e Icazuriaga, Ildefonso

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de esta publicación pueden reproducirse, registrarse o transmitirse por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por 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, 2018

Instituto de Estudios Riojanos

C/ Portales, 2.

26001-Logroño, La Rioja (España)

© Diseño de cubierta e interior: ICE Comunicación

© Imagen de cubierta: Busto del Dr. Zubía delante del IES Práxedes Mateo Sagasta de Logroño. (Fotografía de Rafael Francia Verde)

© Imagen de contracubierta: Flora alóctona de las cavernas. Algas colonizando un espeleotema (gour) en la Gruta de la Paz en Ortigosa de Cameros. (Fotografía de Rubén Esteban Pérez)

ISSN 1131-5423

Depósito Legal LR 413-2012

Impreso en España - Printed in Spain

# ÍNDICE

## PRESENTACIÓN DEL MONOGRÁFICO

Patricia Pérez Matute (*Directora de Zubía*) ..... 7

---

## HOMENAJE A DON ILDEFONSO ZUBÍA

El catedrático logroñés Dr. Zubía

*A. Ollero de la Torre* (1990) ..... 13

---

## AGRICULTURA

La concentración de nitratos y sales en flujos subsuperficiales de un área agrícola en el Valle del Iregua (La Rioja)

*T. Lasanta Martínez, M. Maestro Martínez, y M. Paz Errea* (2007-2008) ..... 35

---

## BIOLOGÍA

Biodiversidad microscópica en el embalse de La Grajera (Logroño)

*A. Guillén Oterino, e I. López de Munain Martínez* (2015-2016) ..... 57

---

## QUÍMICA, VITICULTURA Y ENOLOGÍA

Resonancia magnética nuclear en el vino. Seguimiento de las fermentaciones alcohólica y maloláctica en vinos de diferentes subzonas de la D.O. CA Rioja

*E. López Rituerto, A. Avenzoza Aznar, J. H. Busto Sancirán, y J. Manuel Peregrina García* (2009) ..... 143

Distribución territorial, caracterización paisajística y peligros y amenazas a los que está expuesta la única población de vid salvaje (*Vitis vinifera* L.) del Valle del Najerilla (La Rioja)

*E. Prado Villar, y F. Martínez de Toda Fernández* (2009) ..... 161

Los vinos tintos españoles de calidad, ¿a qué huelen según los expertos?

*M<sup>a</sup>. P. Sáenz-Navajas, M. González-Hernández, E. Campo, P. Fernández-urbano, y V. Ferreira* (2012) ..... 187

---

## FAUNA

Distribución de *Pipistrellus pipistrellus* (Schreber, 1774) y *Pipistrellus Pygmaeus*

(Leacha, 1825) (Chiroptera: Vespertilionidae) en la Comunidad Autónoma de La Rioja

*P. T. Agirre-Mendi, y C. Ibáñez* (2004) ..... 215

Estudio faunístico y eco-epidemiológico de los mosquitos (Diptera, Culicidae) de La Rioja (Norte de España)

*R. Bueno Marí* (2012) ..... 227

---

## FLORA

La filoxera en la provincia de Logroño. Destrucción del viñedo y su reconstitución

*J. Provedo González* (1987) ..... 253

Briófitos de ríos y bioindicación del cambio climático. Una experiencia en La Rioja

*E. Núñez Olivera, J. Martínez Abaigar, R. Tomás, N. Beaucourt, y M. Arróniz* (2004) ..... 319

---

## **GEOGRAFÍA**

- Problemas de evolución geomorfológica en campos abandonados:  
el valle del Jubera (Sistema Ibérico)  
*J. M. García Ruiz, T. Lasanta Martínez, e I. Sobrón García* (1988) ..... 345
- 

## **GEOLOGÍA**

- Geología del borde norte del Sistema Ibérico entre los ríos Iregua y Najerilla. La Rioja  
*F. Pérez-Lorente* (1987) ..... 365
- 

- Actuaciones para la eliminación del tapiz algal presente en los espeleotemas  
en la rehabilitación de las grutas visitables de La Paz y de La Viña en Ortigosa  
de Cameros-La Rioja  
*R. Esteban Pérez* (2014) ..... 375
- 

## **LAS MATEMÁTICAS Y SU HISTORIA EN ZUBÍA**

- El problema de Dirichlet y la medida armónica  
*J. L. Rubio de Francia* (1988) ..... 405
- Sixto Cámara y los fundamentos del cálculo de probabilidades  
*J. J. Escribano Benito* (2003) ..... 429
- 

## **MEDICINA Y FARMACOLOGÍA**

- Tratamiento de aguas residuales de matadero. Comportamiento  
de los microorganismos fecales  
*M. Cancer López* (1994) ..... 443
- Secuenciación masiva de DNA y aplicación práctica al diagnóstico  
de la hipercolesterolemia familiar  
*M. Íñiguez Martínez, B. Ecurra García, Á. Brea-Hernando, y J. Cabello* (2013) ..... 461
- 

## **PALEONTOLOGÍA**

- Sauropod tracks and trackmakers: integrating the ichnological an skeletal records  
*J. O. Farlow* (1992) ..... 479
- Pistas terópodos en cifras  
*F. Pérez-Lorente* (1996) ..... 529
- Generalidades sobre las icnitas ornitópodos de La Rioja (Cuenca de Cameros. España)  
*I. Díaz-Martínez* (2011) ..... 549
-

|       |    |       |         |      |
|-------|----|-------|---------|------|
| ZUBÍA | 14 | 37-55 | Logroño | 1996 |
|-------|----|-------|---------|------|

## PISTAS TERÓPODAS EN CIFRAS\*

Félix Pérez-Lorente\*\*

### RESUMEN

*En este trabajo se analiza la dependencia entre las medidas tomadas sobre las huellas y rastros terópodos (longitud del pie, orientación, paso...) y entre ellas y los índices que se deducen (altura de la pata, velocidad...). Las conclusiones obtenidas al aplicar este análisis sobre 208 rastreadas terópodos son a veces sorprendentes (relación entre la longitud del pie y la velocidad...) y las vías de estudio que sugieren (dependencia entre el cálculo teórico y las medidas reales) quizá permitan plantear problemas de utilidad en ictología.*

*Palabras clave: pisadas, rastreadas, terópodos, dinosaurios, España.*

*In this work I analyse both the relation between the numerical measurements taken from footprints and trackways made by theropod dinosaurs (footprint length, orientation, pace...) and their relation with the numerical values deduced from them (acetabulum height, velocity...). The conclusions obtained from the application of this analysis in 208 theropod trackways are sometimes surprising (relation between footprint length and velocity...) and the new research gauges they suggest (the difference between theoretical calculations and real measurements) may allow us to pose useful problems in ictology.*

*Key words: footprints, trackways, theropod, dinosaur, Spain.*

### INTRODUCCIÓN

Para confeccionar este ensayo se han tomado datos de 208 pistas estudiadas por nuestro equipo y publicadas en varios trabajos (Casanovas et al. 1989a, 1989b, 1990a, 1990b, 1990c, 1991a, 1991b, 1993a, 1993b, 1993c, 1994, 1995b, 1995c, 1995d, 1995e, 1995f, 1995g,

\* Conferencia leída en Enciso (La Rioja) en 1995.

\*\* Instituto de Estudios Riojanos. C/. Muro de la Mata, 8, principal. Logroño.

1955h). Mi intención ha sido comparar las medidas realizadas sobre los rastros y relacionar los resultados obtenidos. Para su desarrollo se divide en los siguientes apartados:

- 1.- Medidas directas. Se nombran los conceptos, su definición y la manera de tomar los datos.
- 2.- Índices y relaciones obtenidos con las medidas directas. Trata de los valores deducidos mediante los datos, tales como la altura de las extremidades, velocidad, etc.
- 3.- Dependencia de los datos numéricos. Muchas de estas medidas son teóricamente dependientes, al menos si no hubiese irregularidades en las rastrilladas.
- 4.- Relación entre las magnitudes independientes. Se estudia la relación de las medidas independientes **I, a, O, Ar, III**.
- 5.- Dependencia de índices y relaciones. En este apartado se examinan los índices y su posible dependencia.

Cuando nuestro equipo examina un rastro terópodo, hace una serie de medidas sobre las huellas aisladas y sobre el total del rastro. El tipo y número de medidas se indica en todas nuestras publicaciones.

Con respecto a medidas que hacen otros grupos de trabajo, hay algunas que nosotros no consideramos, por ejemplo la anchura de los dedos. Otras, las sustituimos por parámetros similares que creemos más correctos, y finalmente otras son iguales.

No tenemos en cuenta el valor de la anchura de los dedos porque suponemos que está sometido a un grado de variabilidad excesivamente elevado. Una huella que se imprime será copia más fiel del pie que se hunde si las características del lodo y de la marcha son adecuadas. Con respecto al lodo, tiene que tener la viscosidad adecuada para que el pie no penetre demasiado, la coherencia precisa para que no se deforme después de quedar impresa la huella y no debe ser adherente para que no lo arrastre el pie al salir. Con respecto a la marcha hay que decir que el comportamiento ideal será aquel que permite que se apoye el total de la “planta” del pie y que no produce deformación sobre la pisada una vez impresa. Todos estos factores influyen en la reproducción fiel del pie del dinosaurio cuando pisa. La consideración de los argumentos anteriores hace que para que el análisis de una pisada tenga suficiente valor, han de observarse ciertas estructuras en las huellas (marcas de almohadillas, de piel, de membranas,...) que permitan afirmar que la huella no se ha deformado. Existen algunas icnitas en las que las estructuras indican que el lodo se adhirió a partes del pie y salió acompañándolo; en otras se observa cómo las paredes del hueco de la huella caen hacia el interior llegando a veces a cerrar el hueco y dejando simplemente una raya como testigo. En estas improntas, aunque la anchura de los dedos no se puede ni siquiera suponer, sí se puede medir su longitud. La anchura de los dedos de las icnitas es muy sensible a los cambios de naturaleza del suelo sobre el que pisan los dinosaurios.

## 1.- MEDIDAS DIRECTAS (figs. 1 y 2)

Las medidas que usamos y que justifico en esta comunicación son:

**Longitud de la pisada (I).**- Se mide a lo largo del pie paralelamente al eje longitudinal de la icnita.

**Anchura de la pisada (a).**- Anchura máxima perpendicular a la dimensión anterior. Distancia entre el punto medial más interno y el lateral más externo medido de la forma indicada.

**Centro de la pisada.**- Punto entre la marca del talón y del hipex de los dedos que equidista de los puntos extremos de la “planta”. La elección de este punto para tomar las medidas se ha hecho: porque la variabilidad de algunas medidas (amplitud de rastrillada, paso, ángulo de paso, zancada) es grande según se tome la parte anterior o posterior de la huella

a. Anchura del pie.  
 l. Longitud del pie.  
 II, III, IV. Nombre de los dedos.

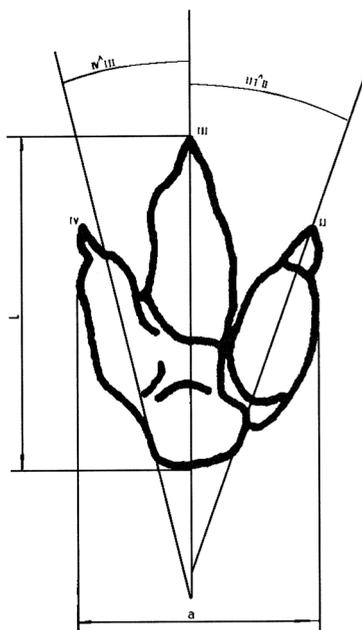


Figura 1.

(1); porque este punto se puede situar gracias a muchos otros caracteres (relación con cada uno de los tres dedos, con las almohadillas, etc.); y finalmente, porque muchas veces no quedan impresos ni la punta del dedo **III** ni la terminación del talón.

(1) No es necesario indicar lo que ocurre en los dinosaurios en los que la orientación forma un ángulo grande, la mayor parte de las veces variable de una icnita a la siguiente.

**Paso (P).**- Distancia entre el centro de dos pisadas sucesivas. Línea que une el centro de dos pisadas sucesivas.

**Línea media.**- Línea que une el punto medio de dos pasos sucesivos. Se prefiere esta determinación debido a que se ajusta más a la variación de la dirección de marcha del dinosaurio.

**Orientación (O).**- Ángulo formado entre el eje del pie y la línea media. El ángulo es positivo si se abre hacia el sentido de marcha y negativo si tiene su vértice hacia el sentido de marcha.

**Amplitud de rastrillada (Ar).**- Distancia desde el centro del pie a la línea media. Este término se usa también para medir el doble de lo que aquí se indica, o también para la distancia entre los puntos mediales de los autopodios. Al adoptar la primera definición la aproximación es mayor, al menos en las pistas sinusoidales o en los trayectos en los que el animal gira.

**Luz de rastrillada (Lr).**- Distancia entre la parte más lateral de las icnitas. Para realizar esta medida se traza la perpendicular desde la parte más lateral de una pisada a la tangente a los dos puntos homólogos de las huellas opuestas adyacentes.

**Zancada (z).**- Distancia entre el punto medio de dos huellas seguidas del mismo pie.

**Longitud de los dedos (II, III, IV).**- Medida de la distancia entre el ápice de la impresión del dedo (o de la uña) y la línea que une los hipex adyacentes. Se mide así porque hay muchas icnitas en las que no se muestran señales de las almohadillas y por lo tanto no se pueden usar para hallar este parámetro.

**Ángulo entre los dedos (II<sup>^</sup>III, III<sup>^</sup>IV).**- Es el que forman los ejes de los dedos. No se emplean las líneas que unen los ápices de los dedos con la parte posterior del pie por dos razones: una es que los ápices y el talón no se corresponden a los mismos puntos del autopodio en pisadas del mismo rastro; otra, que generalmente estas líneas son oblicuas a la orientación de los dedos.

**Ángulo de paso (Ap).**- Ángulo medido entre dos pasos seguidos formado por los segmentos rectilíneos que determinan los pasos.

## 2.- ÍNDICES Y RELACIONES OBTENIDOS CON LAS MEDIDAS DIRECTAS

**Altura de la cadera (h).**- Se obtiene mediante la longitud de la pisada **I**. Alexander (1976) y Thulborn (1990) proporcionan métodos para su obtención.

**Zancada relativa (z/h).**- Cociente entre la zancada y la altura de la cadera. Según su valor (Thulborn, 1990) el animal camina (menos de 2), va al trote (entre 2 y 2'9) o corre (más de 2'9).

**Esbeltez (z/I).**- Índice que hemos obtenido de los datos que proporciona Haubold (1971). La relación es más alta en los dinosaurios que supuestamente tienen las extremidades más largas y delgadas.

**Amplitud relativa de rastrillada (Ar/a).**- La relación entre la amplitud de rastrillada y la anchura de la huella muestra la colocación del pie sobre la línea media. Esto se corresponde con la mayor o menor aptitud del animal para colocar el pie bajo el centro de gravedad del cuerpo. Suponemos que a mayor amplitud, mayor balanceo debería tener durante la marcha. El balanceo (Casanovas et al., 1994) se establece como una relación entre **Ar** y **h**.

**Variación de la longitud del pie [(I-a)/a].**- Sirve para encontrar la relación entre la anchura y la longitud del pie. Moratalla et al. (1988) emplearon la relación **I/a**. Ambas expresiones indican lo mismo ya que

$$(I - a)/a = I/a - 1$$

**Leptodactilia (III/I).**- Medida de la longitud relativa del dedo central. Moratalla et al. (1988) utilizan dos términos similares que llaman **L/K** y **L/M**. La equivalencia sería

$$L/M \text{ (ó } L/K) = I/(I - III)$$

Si en el segundo término de la igualdad dividimos el numerador y el denominador de la fracción por **I**

$$I/(I - III) = 1/[1-(III/I)]$$

de manera que  $III/I = 1 - 1/(L/K)$

**Velocidad (v<sub>1</sub>, v<sub>2</sub>).**- Obtenida a partir de **z** y de **h** mediante ecuaciones exponenciales en las que varían los exponentes y las constantes. Los investigadores que han proporcionado estas fórmulas son Alexander (1976) y Thulborn (1990) para **v<sub>1</sub>**, y Demathieu (1986) para **v<sub>2</sub>**.

## 3.- DEPENDENCIA DE LOS DATOS NUMÉRICOS

Teóricamente en un rastro son independientes: **I**, **a**, **O**, **Ar**, **z**, **II**, **III**, **IV**, **II<sup>^</sup>III** y **III<sup>^</sup>IV**.

En un rastro rectilíneo e ideal, las demás variables no son independientes y están relacionadas con las anteriores por las siguientes expresiones (fig. 2):

**Luz de rastrillada:  $Lr = 2Ar + a$**

Ap. Ángulo de paso  
Ar. Amplitud de rastrillada  
Lr. Luz de rastrillada  
O. Orientación  
P. Paso  
z. Zancada  
LM. Línea media

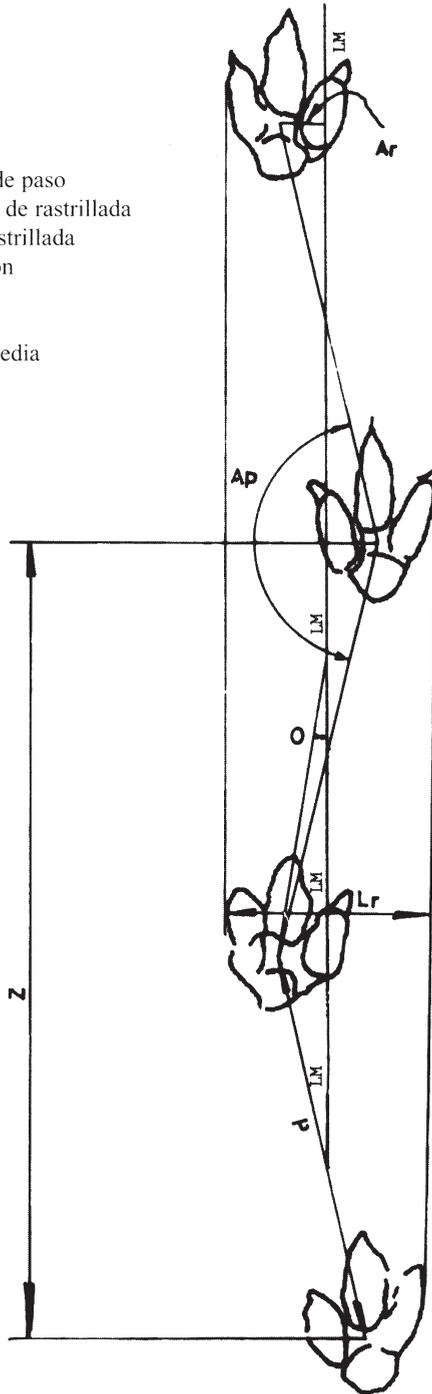


Figura 2.

**Paso:**  $P^2 = (z/2)^2 + (2Ar)^2$  de donde se obtiene que  
 $P = \{4Ar^2 + (z^2/4)\}^{1/2}$

**Ángulo de paso:**  $Ap = 2 \arccos (2Ar/P)$   
 $Ap = 2 \arcsen (z/2P)$   
 $Ap = 2 \arctag (z/4Ar)$  estas expresiones se deducen

de las siguientes  $\cos (Ap/2) = 2Ar/P$   
 $\sen (Ap/2) = (z/2)/P$   
 $\tag (Ap/2) = (z/2)/2Ar$

Teniendo presente estas deducciones, observaremos que en un rastro ideal no sería necesario medir la luz de rastrillada, el paso o el ángulo de paso si disponemos de los valores de  $z$  y de  $Ar$ . La desviación entre los valores teóricos y los reales indicarán las características de los rastros.

#### 4.- RELACIÓN ENTRE LAS MAGNITUDES INDEPENDIENTES

Se representa gráficamente la relación entre los valores independientes de un rastro para comprobar si verdaderamente lo son y, si es posible, obtener vías de estudio que discriminen grupos de animales.

**Relación entre  $l$  y  $a$ .**- La primera de las representaciones es la de la longitud de la huella en función de su anchura (fig. 3). *¿Tienen los terópodos el pie más largo que ancho?*

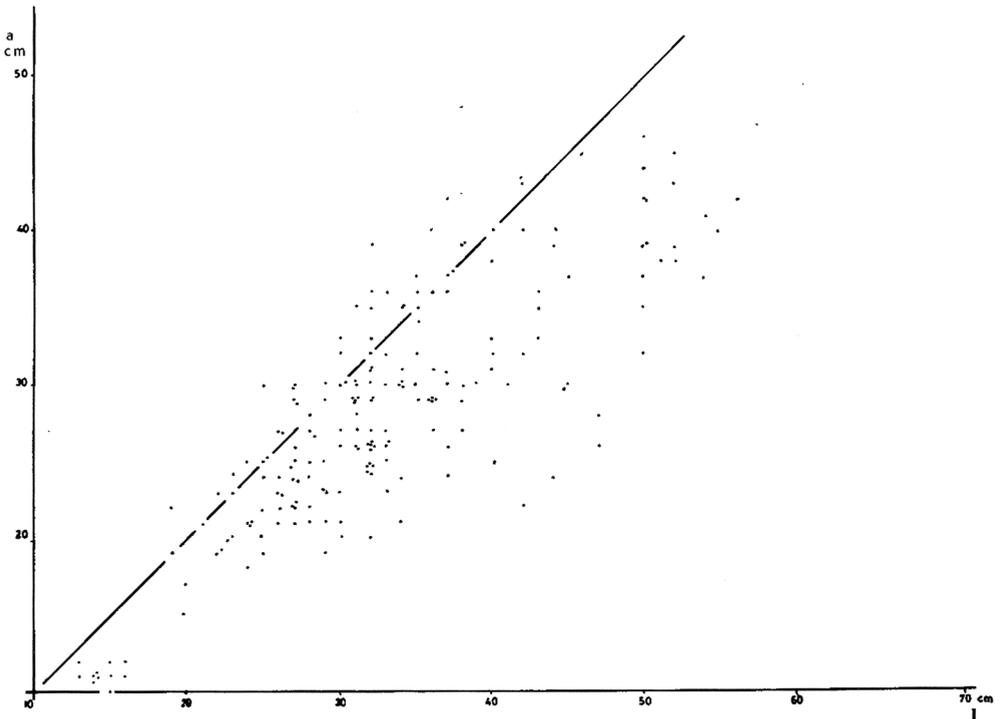


Figura 3.

PISTAS TERÓPODAS EN CIFRAS

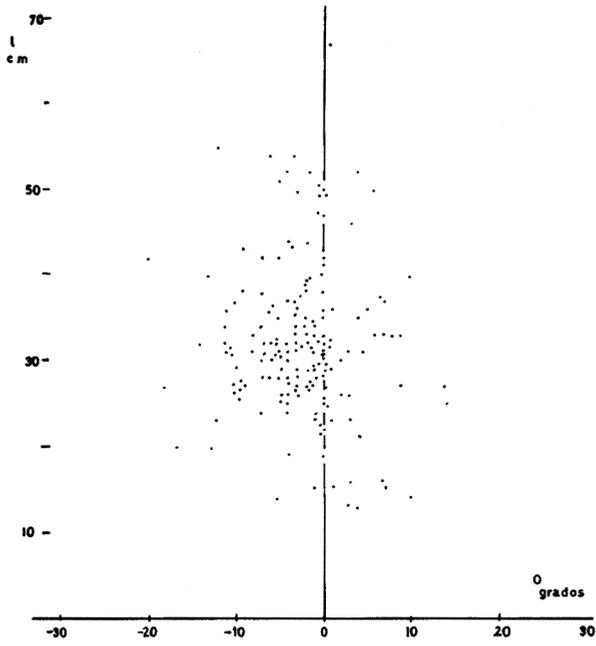


Figura 4.

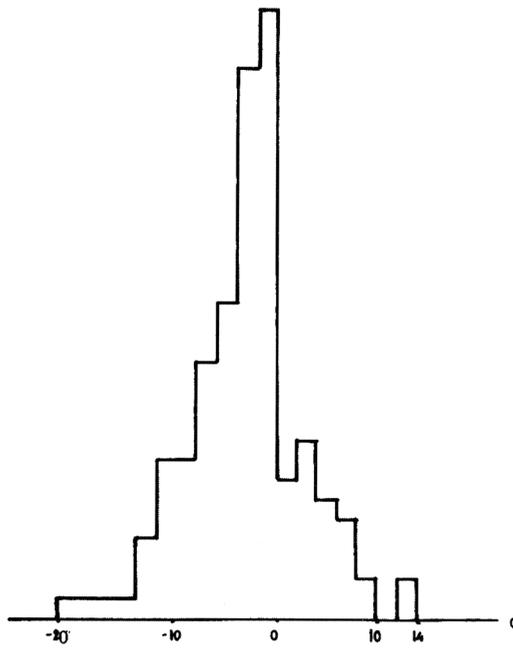


Figura 5.

Son muchos los autores que dicen que una de las características de los dinosaurios terópodos es que tienen el pie más largo que ancho [ $l > a$ , ó  $(l - a)/a > 0$ ]. En la figura se observa que la mayor parte de los puntos caen por debajo de la línea  $l = a$ , por lo que la generalidad se conserva. Hay un grupo de puntos en el extremo inferior que se corresponden con dinosaurios pequeños. No se detecta ninguna variación importante de densidad de puntos que permita separar “a priori” grupos distintos.

**Relación entre l y O.-** *¿Son más varos los terópodos mayores que los pequeños?* (fig. 4).

La nube de puntos muestra las siguientes tendencias:

1. las icnitas de estos rastros tienen mayormente orientación negativa
2. no se observa con tanta claridad como en los ornitópodos (cf. Casanovas et al., 1995a), la relación directa entre tamaño y orientación negativa, aunque la nube si tenga esa tendencia.

En la figura 5 se muestra el histograma de frecuencia de la orientación en función de los datos medios obtenidos de las rastrelladas. La altura depende no del número de icnitas con esa orientación sino del número de rastros y de la orientación media obtenida en cada uno de ellos. La mayor parte de las pistas tienen sus pisadas orientadas entre  $-4$  y  $0^\circ$ . Este diagrama muestra que el 79 % tiene de orientación cero grados o menos y el 21 % tiene orientación positiva.

**Relación entre l y Ar.-** *¿Existe limite para la separación de los pies de la línea media?* (fig. 6).

Si se cierra el entorno de puntos se comprueba que, en la parte donde los valores son más bajos, se podría trazar una recta

$$l = Ar + 10$$

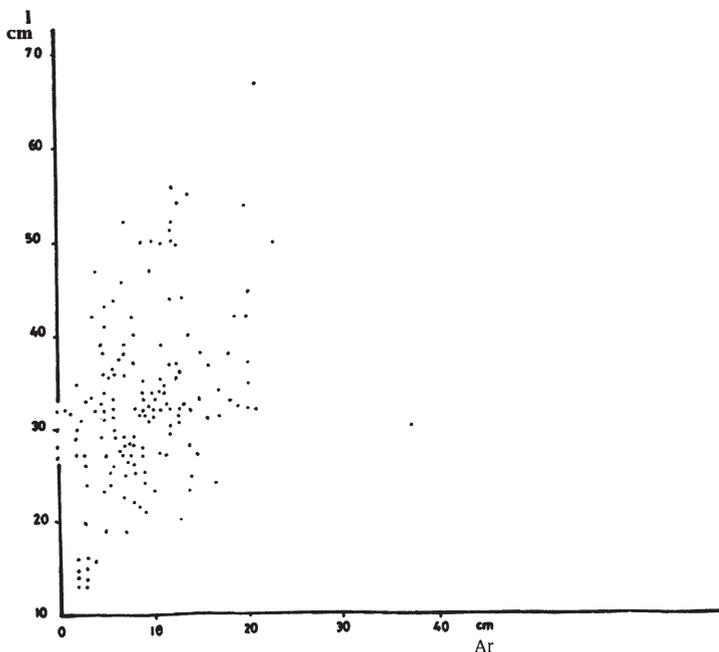
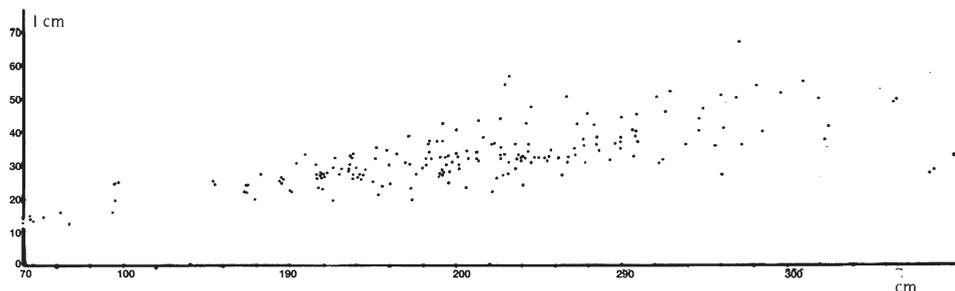


Figura 6.

## PISTAS TERÓPODAS EN CIFRAS



*Figura 7.*

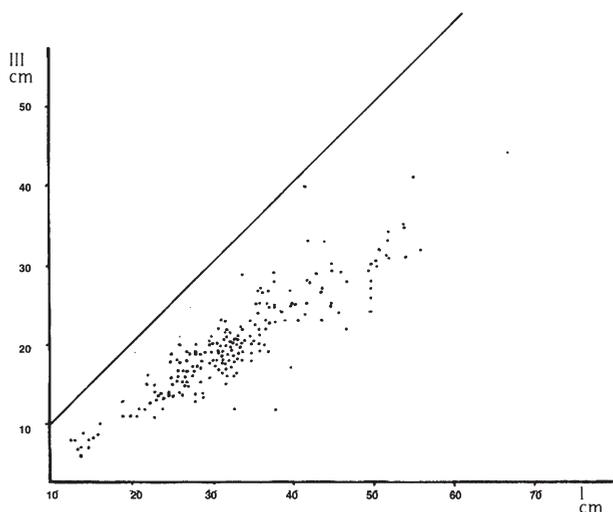
bajo la cual no hay ningún punto. Esta recta tendría sentido entre los valores  $0 < Ar < 23$  dado que no hemos encontrado ningún valor de  $Ar$  por encima de 23 (excepto  $Ar = 37$ ). A partir del punto (23,33) la envolvente sería la recta  $Ar = 23$ . Esto quizá quiera decir que existe un límite a la separación de los pies de los dinosaurios mayores.

**Relación entre I y z.**- En esta representación (fig. 7) se aprecia muy bien la *fuerte relación entre las dos variables*. Es una nube de puntos alargada en la que es muy clara la relación entre  $z$  y la longitud del pie. En principio no tenía por qué encontrarse esta disposición tan ajustada, puesto que la zancada debe depender de la velocidad del animal.

Esta gráfica indica que si la velocidad es función de la zancada, todos los animales deberían tener velocidad progresivamente mayor a medida que su pisada ( $I$ ) es mayor. En realidad, debido a que la determinación de la altura de la extremidad ( $h$ ) depende no sólo de la longitud del pie sino también del tipo de dinosaurio, la velocidad no tiene una relación tan directa con el tamaño del pie.

**Relación entre I y III.**- *¿Determinante de dinosaurio ornitópodo o terópodo?*

Moratalla et al. (1988) encuentran entre los datos examinados por ellos que si  $L/K$  o  $L/M$



*Figura 8.*

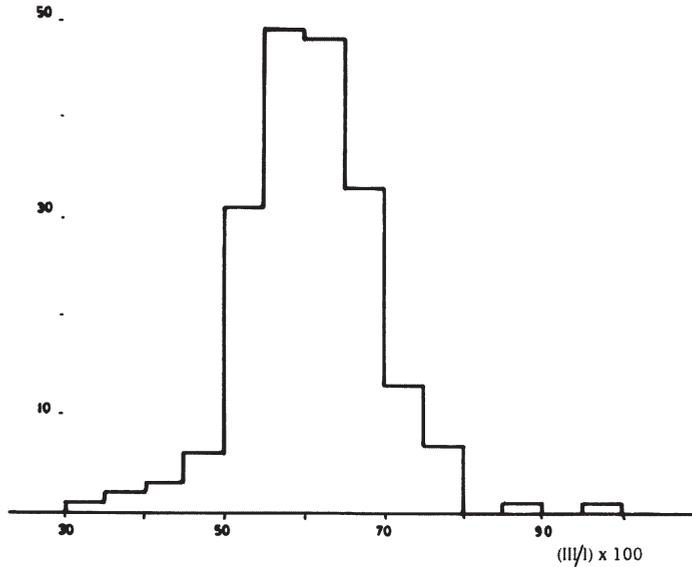


Figura 9.

son mayores de 2 el dinosaurio causante de la rastrillada es un ornitópodo, y si es menor es un terópodo. Traducido a nuestro índice, se diría que si  $III/I$  es mayor de 0,50 el dinosaurio sería terópodo y en caso contrario ornitópodo.

$$L/K \text{ \{ ó } L/M \} = 1/(1 - III) = 1/(1 - III/I) = 2$$

$$1 - III/I = 1/2$$

$$III/I = 1/2$$

Con los casos que se testifican en este estudio (fig. 8), el ajuste es claro como se muestra en el histograma de la figura.

En la figura 8 se proyectan los valores de  $III$  en función de  $I$ . Se encuentra una nube alargada de puntos que es representación de una recta de pendiente menor que  $III = I$  (recta dibujada en la figura). Los datos no permiten separar grupos definidos. Se podría decir que a medida que tienen el pie mayor, la relación  $III/I$  se hace más pequeña, con lo que la “planta” del pie se hace mayor.

En la figura 9 que es un histograma en el que se representa el valor de  $(III/I) \times 100$ , la mayor parte de los valores se encuentran por encima del valor de 50, lo que coincide con lo que Moratalla et al. (1988) proponen para los dinosaurios terópodos.

## 5.- DEPENDENCIA DE LOS INDÍCES Y RELACIONES

**Relación entre  $l$  y  $v$ .**- La velocidad, como ya se ha dicho, es una función que depende de  $z$  y de  $h$ . Si tanto  $z$  (fig. 10) como  $h$  (deducida de  $l$ ) dependen de la longitud de la pisada, *la velocidad dependerá exclusivamente de la longitud del pie* (cf. Extremiana et al., 1995). Hecha la representación (fig.10) en la que se relacionan  $l$ ,  $z/l$  y  $v$  se observa que:

- en general la velocidad disminuye a medida que los valores de  $z/l$  son más bajos
- a los valores mayores de  $l$  les corresponden menores de  $z/l$
- la representación de la velocidad quizá tiende hacia un fragmento de parábola

PISTAS TERÓPODAS EN CIFRAS

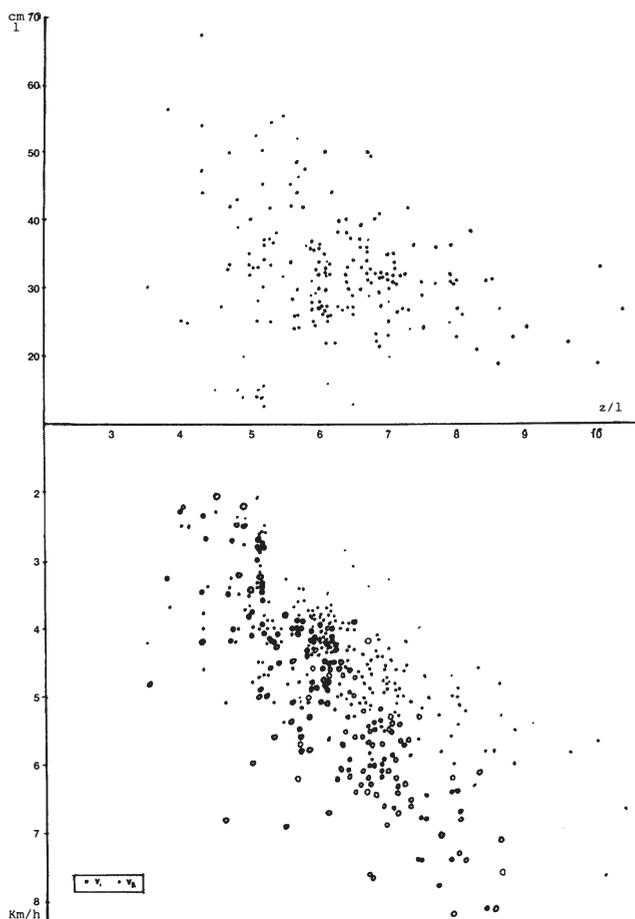


Figura 10.

- se cruzan las curvas que se obtienen para la velocidad obtenida por el método de Alexander (1976)-Thulborn (1990) y por el de Demathieu (1986).

El primer apartado es claro y aparente en la misma gráfica. En esta representación a medida que  $l$  se hace mayor, la velocidad que se le asocia disminuye. Lo que no es cierto es el inverso, es decir que todos los terópodos pequeños sean rápidos; las pisadas pequeñas abarcan una gran variabilidad de valores de  $z/l$ . Al representar la velocidad según la longitud de la huella (fig. 11) se constata que a los valores más extremos de  $l$  les corresponden los más bajos de  $v_1$ . Con respecto a  $v_2$  (fig. 12) la variación es menos notoria; aquí se observa que mientras que a  $l$  más pequeña la velocidad es más baja, no ocurre lo mismo si  $l$  es la más grande, aunque se muestra la tendencia a disminuir el valor de la velocidad a partir de  $l > 40$  cm (lo mismo que con  $v_1$ ).

Aunque la forma de parábola de la variación de la velocidad en función de  $z/l$  no es visible como en el caso de los ornitópodos (Extremiana et al., 1995) la tendencia es la misma. La velocidad mínima se encuentra donde  $z/l$  oscila entre 3'5 y 4'5. En ese mínimo se localizaría el vértice de la parábola. Es posible que la diferencia de coherencia entre las repre-

sentaciones de los ornitópodos y de los terópodos se deba a que de los últimos se han proyectado mayor número de datos, o a que dispongan de mayor variación anatómica. Se ha hecho también la proyección de los valores de  $z$  en función de los de  $h$  (fig.13); aunque la nube de puntos no es muy concreta se aprecia una leve dependencia. Resulta evidente sin embargo que la dependencia entre  $l$  y  $z$  es muchísimo mayor (fig. 7), por lo que muy probablemente las divergencias surjan al variar la obtención de  $h$  a partir de  $l$  (mayores y menores de 25 cm de longitud de la icnita).

La mayor parte de las pistas que hemos estudiado son de dinosaurios andando (fig. 10). En ellas, la velocidad calculada según las fórmulas de Alexander (1976)/Thulborn (1990)  $\{v_1\}$  y Demathieu (1986)  $\{v_2\}$  es más extrema para el primer caso que para el segundo. En el caso de velocidad alta es superior la primera, y en el caso de velocidad baja es inferior también la primera. Esto quiere decir que en algún punto se cruzarán los valores de ambas.

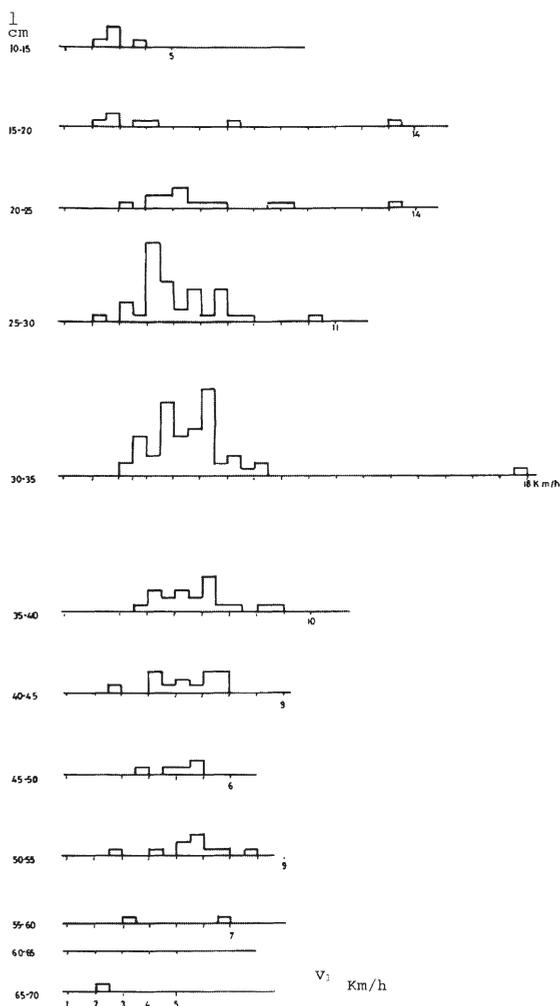


Figura 11.

PISTAS TERÓPODAS EN CIFRAS

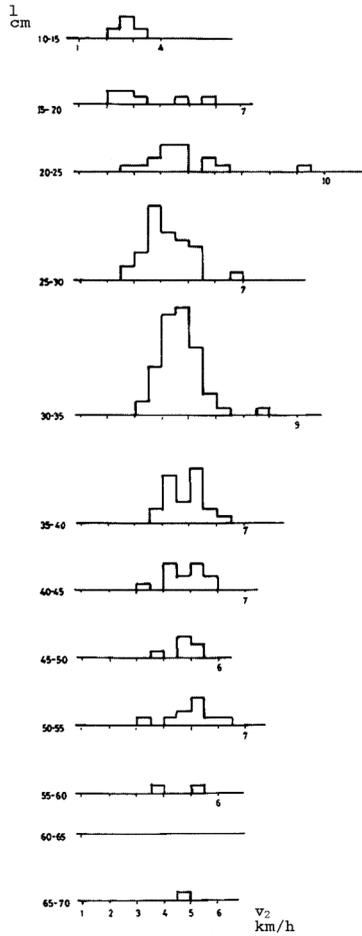


Figura 12.

Si se procede con las fórmulas se obtiene

$$v_1 = 0.25 \cdot g^{0.5} \cdot z^{1.67} \cdot h^{-1.17}$$

$z, h$  en metros;  $v$  en metros por segundo

$$v_2 = 0.280263 \cdot z/h^{0.5}$$

$z, h$  en centímetros;  $v$  en kilómetros por hora

se transforman las expresiones de manera que las medidas se hagan en metros y el resultado se obtenga en km/h.

$$v_1 = 0.25 \cdot g^{0.5} \cdot z^{1.67} \cdot h^{-1.17} \cdot 60 \cdot 60 \cdot 1/1000 \text{ km/h}$$

$$v_2 = 0.280263 \cdot (z/100) \cdot (h/100)^{-0.5} \text{ km/h}$$

Simplificando y considerando que buscamos el lugar en donde la velocidad es la misma, independientemente del método usado para obtenerla, encontramos la siguiente igualdad:

$$2.81736 \cdot z^{1.67} \cdot h^{-1.17} = 2.80263 \cdot z \cdot h^{-0.5}$$

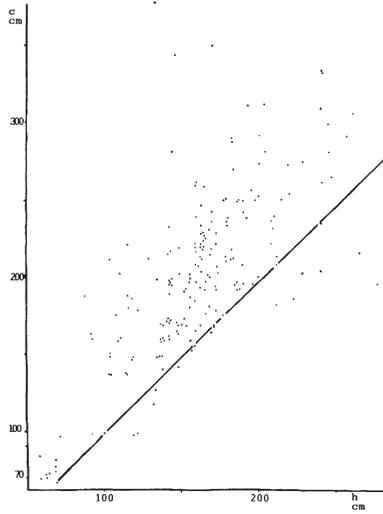


Figura 13.

pasando  $z$  al primer miembro, y  $h$  y la constante al segundo

$$z^{0'67} = 0'9922^{0'67} \cdot h^{0'67}$$

o lo que es igual  $z = 0'9922h$

De esta manera (fig. 13) obtenemos una recta en el sistema  $z-h$  que separará la zona en la que el valor de la velocidad obtenida según un método sea mayor, igual o menor que la obtenida según el otro.

**Variación de la velocidad en relación a  $Ar$  y  $v$ .** - ¿Si el dinosaurio aumenta su velocidad, es menor la amplitud de rastrillada? (Thulborn, 1990; cf. Casanovas et al., 1993c). Si se comparasen los valores de la velocidad con la amplitud de rastrillada debería notarse esta

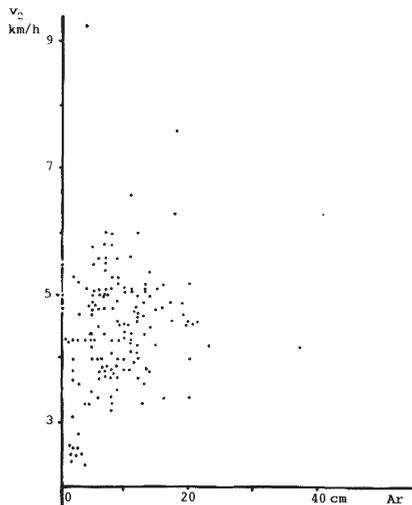


Figura 14.

TABLA 1

| <b>l</b> | <b>Ar/a</b> | <b>v<sub>2</sub></b> | <b>l</b> | <b>Ar/a</b> | <b>v<sub>2</sub></b> |
|----------|-------------|----------------------|----------|-------------|----------------------|
| 30       | 9           | 3'8                  | 32       | 36          | 5'0                  |
| 30       | 9           | 4'3                  | 32       | 36          | 4'5                  |
| 30       | 43          | 3'6                  | 32       | 38          | 5'1                  |
| 30       | 44          | 4'1                  | 32       | 40          | 4'7                  |
| 31       | 0           | 5'0                  | 32       | 45          | 4'8                  |
| 31       | 18          | 4'9                  | 32       | 46          | 4'2                  |
| 31       | 19          | 5'8                  | 32       | 46          | 5'6                  |
| 31       | 24          | 5'8                  | 32       | 47          | 4'8                  |
| 31       | 33          | 5'4                  | 32       | 57          | 4'9                  |
| 31       | 34          | 4'6                  | 32       | 62          | 4'8                  |
| 31       | 35          | 5'3                  | 33       | 10          | 4'3                  |
| 31       | 36          | 4'9                  | 33       | 11          | 3'6                  |
| 31       | 46          | 4'8                  | 33       | 26          | 5'1                  |
| 31       | 58          | 5'3                  | 33       | 27          | 3'7                  |
| 31       | 71          | 5'2                  | 33       | 28          | 4'6                  |
| 32       | 4           | 4'3                  | 33       | 47          | 3'4                  |
| 32       | 14          | 5'0                  | 33       | 48          | 4'8                  |
| 32       | 16          | 4'9                  | 33       | 54          | 7'6                  |
| 32       | 34          | 4'3                  |          |             |                      |

tendencia. En la figura 14 se ha tomado el valor de  $v_2$  porque su oscilación es menor que la de  $v_1$ . La lectura de la figura no muestra relación entre  $v$  y  $Ar$ . Incluso se podría sospechar que a medida que aumenta la velocidad, es mayor la amplitud de rastrillada.

Si se considera  $Ar/a$  en lugar de  $Ar$  (fig. 15) la dispersión de los puntos resulta todavía mayor, aunque también se observa que la tendencia es que a mayor velocidad, mayor relación  $Ar/a$ , es decir lo contrario a lo propuesto. Se supone que en estos diagramas quedan representados grupos de dinosaurios que deberían examinarse separadamente, quizá los que ocupan sectores oblicuos: a mayor velocidad menor ( $Ar/a$ ) amplitud de rastrillada relativa.

En la representación, la mayor parte de los puntos están por debajo de  $Ar/a = 0'5$ . En consecuencia casi todos los terópodos pisan la línea media al andar. Esto indica que eran animales que con el paso y velocidad que tienen, no debían balancear excesivamente su cuerpo para mantener el equilibrio.

De los terópodos representados, no son los más pequeños los que apoyaban el punto medio de sus pies en la línea media, sino que son los de variabilidad mayor ( $l$  entre 30-32 cm,  $Ar$  entre 0 y 71) los que tienen esta peculiaridad. Como se observa también en la figura 16, esta variación es posible que dependiera de la variación de la velocidad, puesto que es en este intervalo en donde la amplitud de valores de esta última es mayor. Al extraer los valores de  $l$ ,  $Ar/a$  y  $v_2$  (Tabla 1) para esta muestra se destaca que no hay relación entre la variación de  $Ar/a$  y la de la velocidad.

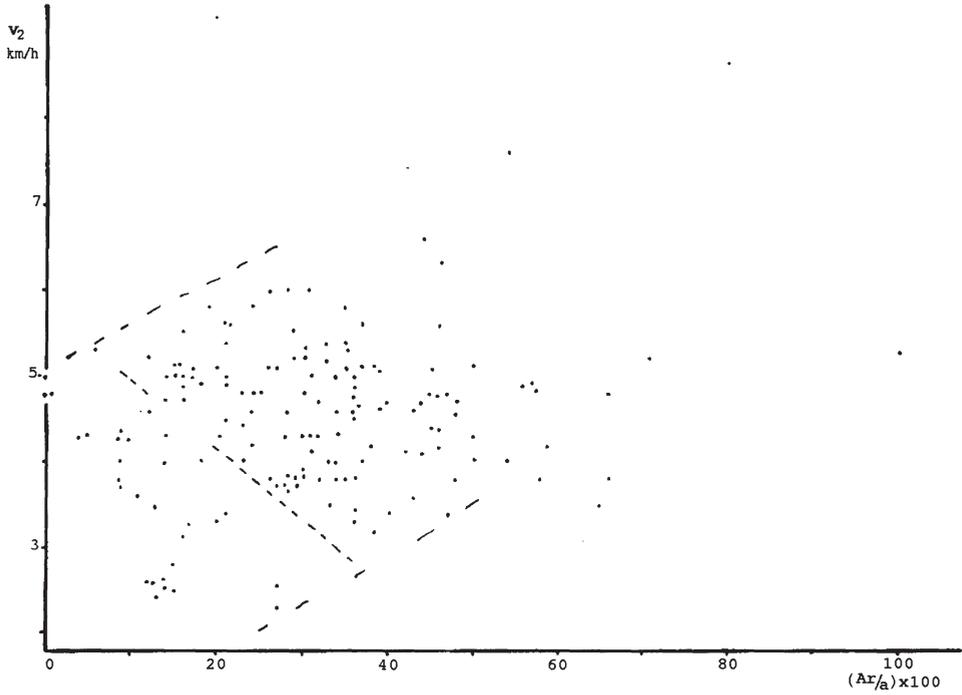


Figura 15.

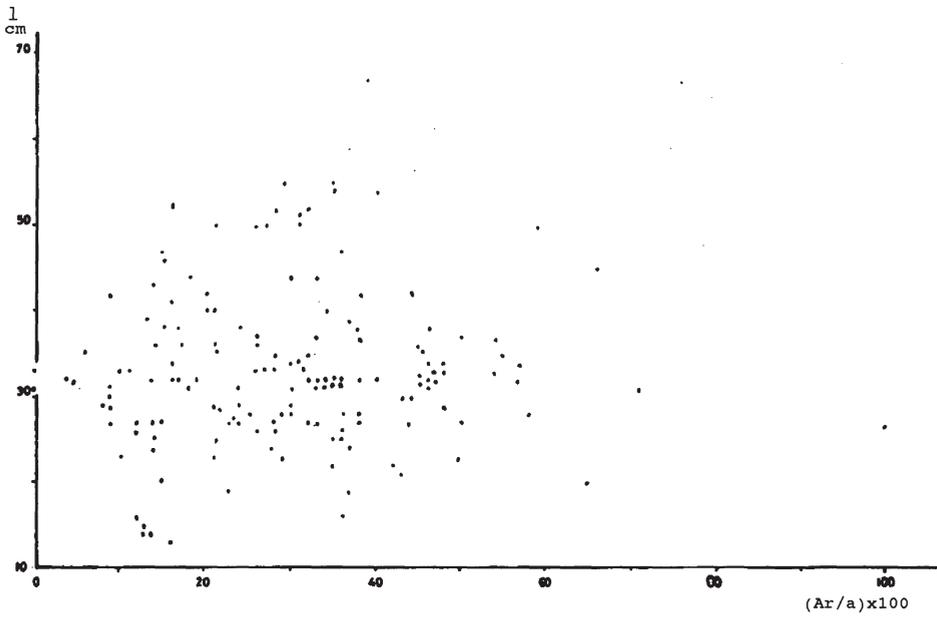


Figura 16.

PISTAS TERÓPODAS EN CIFRAS

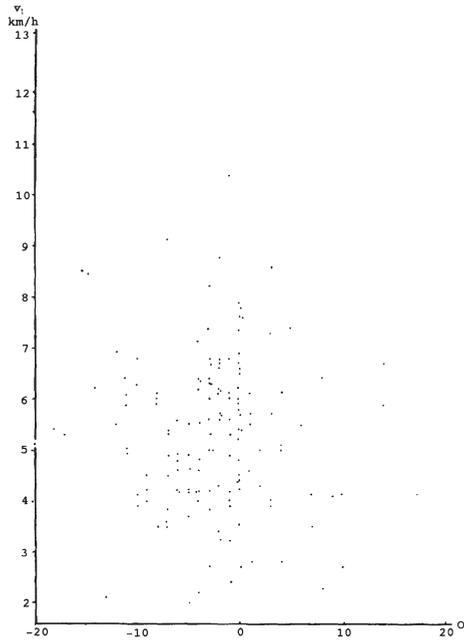


Figura 17.

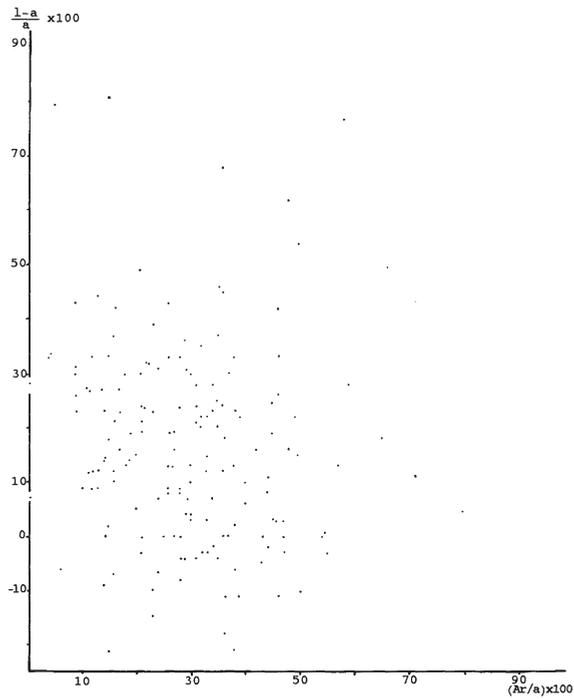


Figura 18.

Otra variación supuestamente correcta es la que se debería reflejar en la orientación. A mayor velocidad, menor valor absoluto del ángulo de orientación del pie con la línea media. En la figura 17 se ve que el rango de velocidad cuando  $\mathbf{O} = 0^\circ$  es el más amplio, aunque contiene a los valores de velocidad más altos, también contiene a otros que son muy bajos.

**Relación de (I-a)/a con Ar/a.** - Podría haber ocurrido que estuviesen conectadas la variación de la longitud de la huella en función de su anchura con la amplitud relativa de rastrillada. Se ha investigado esta vía porque se podría relacionar la esbeltez del pie con la mejor posibilidad de colocación de los autopodios sobre la línea media. Como se aprecia en la figura 18, el resultado no ha sido el buscado.

## 6.- CONCLUSIONES

Los datos independientes no lo son tanto como se podía suponer. La variación de **a** en función de **I** es relativamente ajustada y se atiene a una relación lineal. No se puede decir que la variación de ambos valores se deba a grupos definidos y muy distintos. No se puede decir si individuos del mismo grupo de dinosaurios serían capaces de dejar, según su talla, un grupo de icnitas con las mismas características que las encontradas aquí para todos los de los yacimientos estudiados.

Resulta muy llamativa la relación tan fuerte entre **I** y **z**. Esta relación indica que todos los dinosaurios que he testificado tienen su zancada relacionada directamente con el tamaño de su pisada. De esta curva se diría que no hay más relación de la zancada que la que se muestra con el tamaño del pie. Esto indicaría también que la velocidad (si depende de la zancada) sería mayor a medida que el dinosaurio se hiciese más grande contradiciendo el resultado obtenido aplicando las fórmulas de Alexander (1976), Demathieu (1986) y Thulborn (1990).

Los parámetros independientes dejarían de serlo ya que además de la dependencia teórica de **Ar**, **Lr**, **z**, **P**, **Ap**, hay que incorporar a este grupo su relación con **I**, con **III** y con **a**.

Si se consideran correctas las fórmulas de cálculo de velocidad citadas, los terópodos de más talla van más despacio. A medida que **I** se hace mayor, su velocidad disminuye.

Resulta mucho más clara la dependencia entre **z** y **I** que entre **a** y **I**. Se deduce que la anchura de la huella no es un factor importante en el análisis cinemático de una rastrillada.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alexander, R. M. 1976. Estimated of speed of dinosaurs. *Nature* (261), 129-130.
- Casanovas, M. L., Ezquerro, R., Fernández, A., Montero, D., Pérez-Lorente, F., Santafé, J. V., Torcida, F., Viera, L. 1995a. El yacimiento de La Canal (Munilla, La Rioja. España). La variación de la velocidad en función del tamaño del pie de los ornitópodos. *Zubia* (13), 55-81
- Casanovas, M. L., Ezquerro, R., Fernández, A., Pérez-Lorente, F., Santafé, J. V. 1990a. Huellas de dinosaurio en Soto de Cameros, La Rioja (España). *Zubia*. (8), 49-71.
- Casanovas, M. L., Ezquerro, R., Fernández, A., Pérez-Lorente, F., Santafé, J. V. 1990b. 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. 1992. Revisión del yacimiento "Icnitas 3" de huellas de dinosaurio (Enciso, La Rioja. España) *Zubia*. (10), 31-44.
- Casanovas, M. L., Ezquerro, R., Fernández, A., Pérez-Lorente, F., Santafé, J. V., Torcida, F. 1991a. Huellas de dinosaurio en el camino de Igea a Valdebrajes (La Rioja, España). *Zubia*. (9), 89-111.

- Casanovas, M. L., Ezquerria, R., Fernández, A., Pérez-Lorente, F., Santafé, J. V., Torcida, F. 1993a. Huellas de dinosaurios palmeados y de terópodos en la "Era del Peladillo". *Igea* (La Rioja). *Zubia*. (11), 14-53.
- Casanovas, M. L., Ezquerria, R., Fernández, A., Pérez-Lorente, F., Santafé, J. V., Torcida, F. 1993b. Dos nuevos yacimientos de icnitas de dinosaurios en La Rioja y en la provincia de Soria. *Coloq. Paleont.* (47), 9-23.
- Casanovas, M. L., Ezquerria, R., Fernández, A., Pérez-Lorente, F., Santafé, J. V., Torcida, F. 1994. Icnitas de dinosaurios. Yacimientos de Navalsaz, Las Mortajeras, Peñaportillo, Malvaciervo y la Era del Peladillo 2, (La Rioja, España). *Zubia mon.* (5), 9-133.
- Casanovas, M. L., Ezquerria, R., Fernández, A., Pérez-Lorente, F., Santafé, J. V., Torcida, F. 1993c. Icnitas digitigradas y plantigradas de dinosaurios en el afloramiento de El Villar-Poyales, (La Rioja, España). *Zubia mon.* (5), 135-163.
- Casanovas, M. L., Ezquerria, R., Fernández, A., Pérez-Lorente, F., Santafé, J. V., Torcida, F. 1995b. Huellas de dinosaurio en el yacimiento de Soto 3 (La Rioja, España). *Ciencias Tierra IER* (18), 27-28.
- Casanovas, M. L., Ezquerria, A., Fernández, A., Pérez-Lorente, F., Santafé, J. V., Torcida, F., 1995c. Pisadas de dinosaurios en el yacimiento Soto 3. La Rioja (España). *Ciencias Tierra IER* (18), 27-32.
- Casanovas, M. L., Fernández, A., Ondiviela, M. C., Pérez-Lorente, F., Santafé, J. V., Serrano, R. 1995d. El rastro del barranco de Acrijos (Cornago, La Rioja, España). *Ciencias Tierra IER* (18), 15-16.
- Casanovas, M. L., Fernández, A., Pérez-Lorente, F., Santafé, J. V. 1989a. *Huellas de dinosaurios de La Rioja. Yacimientos de la Virgen del Campo, La Senoba y Valdecevillo*. Inst. Est. Riojanos. *Cienc. Tierra* (12), 190 p.
- Casanovas, M. L., Fernández, A., Pérez-Lorente, F., Santafé, J. V. 1990c. Dinosaurios coelúridos gregarios en el yacimiento de Valdebajés (La Rioja, España). *Rev. Pal.* (6), 177-189.
- Casanovas, M. L., Fernández, A., Pérez-Lorente, F., Santafé, J. V. 1995e. Un terópodo carnosaurio en el camino a Tregujantes (La Rioja, España). *Ciencias Tierra IER* (18), 13-14.
- Casanovas, M. L., Fernández, A., Pérez-Lorente, F., Santafé, J. V. 1995f. Icnitas terópodos y saurópodos en La Cela. Muro en Cameros (La Rioja, España) *Ciencias Tierra IER* (18), 17-25.
- Casanovas, M. L., Fernández, A., Pérez-Lorente, F., Santafé, J. V. 1995g. Icnitas de terópodos y saurópodos del yacimiento de las Navillas (La Rioja, España). *Ciencias Tierra IER* (18), 33-34.
- Casanovas, M. L., Fernández, A., Pérez-Lorente, F., Santafé, J. V. 1995h. La Era del Peladillo 4 (La Rioja, España). *Ciencias Tierra IER* (18), 45-53.
- Casanovas, M. L., Pérez-Lorente, F., Ruiz de Arcaute, M., Santafé, J. V., Torcida, F. 1991b. Terópodos carnosaurios en la Virgen del Campo II. Enciso (La Rioja, España). *Zubia*, (9), 113-126.
- Casanovas, M. L., Pérez-Lorente, F., Santafé, J. V. 1989b. Huellas de dinosaurio en Valdenocerillo (Cornago, La Rioja, España). *Zubia* (7), 29-35.
- Demathieu, G. 1986. Nouvelles recherches sur la vitesse des vertébrés, auteurs de traces fossiles. *Geobios.* (19), 327-333.
- Extremiana, I., Lanchares, V. 1995. Análisis de la relación de  $I$  con  $v_1$  y  $v_2$  según los datos de la tabla 9 (en Casanovas et al 1955a) *Zubia* (13), 62-81.
- Moratalla, J., Sanz, J. L., Jiménez, S. 1988. Multivariate analysis on lower cretaceous dinosaur footprints: discrimination between ornithopods and theropods. *Geobios* (21), 395-408.
- Thulborn, R. A. 1990. *Dinosaur tracks*. Chapman and Hall. 140 p.



# ZUBÍA

30



Gobierno de La Rioja  
[www.larioja.org](http://www.larioja.org)



**Instituto  
de Estudios  
Riojanos**