

Análisis numérico de la distribución de trazas de bioturbación. Un ejemplo de la Unidad de la Mola (Zonas Externas de las Cordilleras Béticas, provincia de Alicante)

Numerical analysis of the distribution of bioturbation traces. An example of the Mola Unit (External Zones of the Betic Cordillera, Alicante province)

L. M. Nieto (*), R. Jiménez-Espinosa (*), J.M. Molina (*), P.A. Ruiz-Ortiz (*) y A. Checa (**)

(*) Departamento de Geología. Universidad de Jaén. 23071 Jaén.

(**) Departamento de Estratigrafía y Paleontología. Universidad de Granada. 18071 Granada.

ABSTRACT

The application of numerical methods to the study of the distribution of trace fossil in hardground surfaces appears scarcely in the previous bibliography, mainly because these traces usually have a random distribution not controlled by notable geometrical patterns. The good appearance of trace fossils in the Mola unit outcrops, and their coexistence with joints, have determined their study with quantitative geostatistical methods, which have shown the absence of a tectonic or sedimentological control in their genesis. It is not possible to establish any correlation between the length and the direction of the trace fossils, that indicates control by neither previous fractures nor marine currents, but homogeneous conditions of oxigenation and bathymetry in the substrate and bottom marine waters.

Keywords: hardground, burrows, statistics, geostatistics, variogram.

Geogaceta, 20 (2) (1996), 331-334

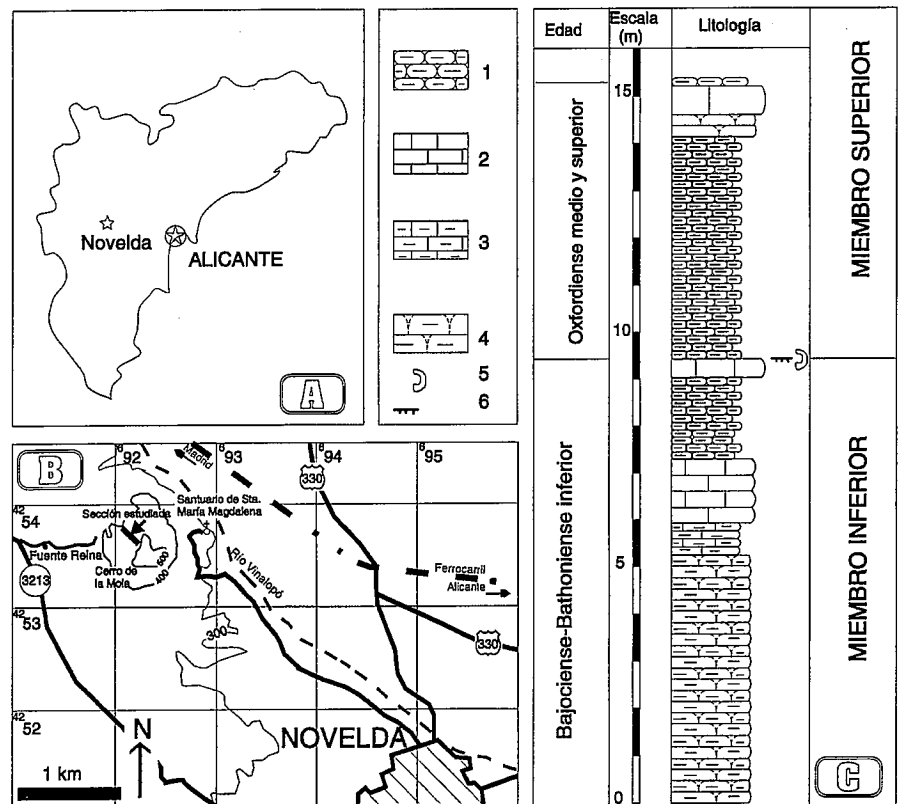
ISSN: 0213683X

Introducción

El uso de técnicas numéricas para estudiar las características de la distribución de trazas de bioerosión en superficies de *hard-ground* aparece escasamente recogido en la bibliografía, debido principalmente a que estas huellas suelen presentar una distribución al azar, no controlada por patrones geométricos. No obstante, y dados los rasgos de las trazas de nuestra zona de estudio, y su coexistencia con inequívocas diaclasas, hemos decidido realizar su estudio mediante técnicas cuantitativas de tipo geoestadístico, para po-

Fig. 1.- A y B: Situación geográfica de la Unidad de la Mola. C: Formación Ammonítico Rosso Superior. Leyenda: 1: Caliza margosa nodulosa; 2: Caliza micrítica roja; 3: Caliza margosa; 4: Caliza margosa con nodulización incipiente en el techo de los estratos; 5: Bioturbaciones; 6: *Hardground*.

Fig. 1.- A and B: Geographical location of the Mola Unit. C: Upper Rosso Ammonitic Fm. Legend. 1: Nodular marly limestone; 2: Red micritic limestone; 3: Marly limestone; 4: Marly limestone, nodular in the upper part of the beds; 5 Bioturbation; 6: *Hardground*.



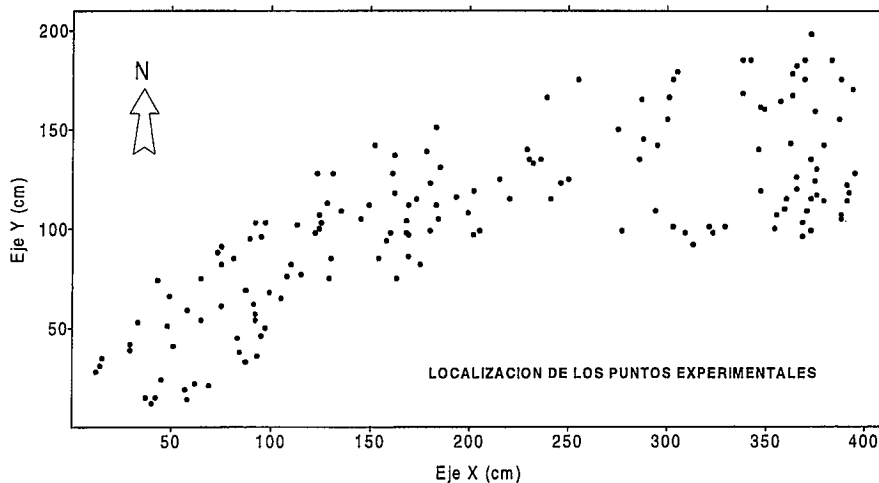


Fig. 2.- Localización geográfica de los datos experimentales referidos a un sistema de coordenadas locales.

Fig. 2.-Geographical location of the experimental data referred to a local coordinate system.

ner de manifiesto el posible control tectónico o estratigráfico en la distribución de dichas trazas.

Los datos a partir de los que se ha realizado nuestro estudio han sido tomados del afloramiento del *hardground* en la discontinuidad del límite Dogger-Malm en la Unidad de la Mola (Fig. 1A y B), perteneciente a la zona de transición entre el Subbético Externo y el Dominio Intermedio en las Zonas Externas de las Cordilleras Béticas (Nieto *et al.*, 1994).

Contexto estratigráfico

El *hardground* objeto de análisis se encuentra en el seno de la Formación Ammonítico Rosso Superior, depositada en un umbral pelágico con una baja tasa de sedimentación. Este *hardground* divide la formación en dos miembros (Fig. 1C). El miembro inferior está compuesto por calizas nodulosas rojas, que terminan en un nivel en cuyo techo se desarrolla el fondo endurecido; la edad de este miembro es Bajociense-Bathoniese inferior. El miembro superior está constituido por calizas margosas nodulosas y calizas nodulosas rojas de edad Oxfordiense medio-superior. La laguna estratigráfica correspondiente a la discontinuidad representada por el *hardground* abarcaría desde el Bathoniense inferior (*pro parte*) al Oxfordiense medio (*pro parte*).

Planteamiento del problema y toma de datos

En el fondo endurecido se han observado tres tipos de huellas de bioturbación: 1) *Planolites*, 2) perforaciones producidas por bivalvos litófagos, y 3) *Thalassinoides*. Estas últimas son las más abundantes y las más in-

teresantes en cuanto a su interpretación, dado que las galerías horizontales que las constituyen son rectas y muestran una aparente regularidad en los valores angulares existentes entre ellas. Esto último nos llevó a pensar que: a) podría tratarse de trazas generadas por organismos que aprovecharon fracturas sinsedimentarias previas; b) los organismos que formaron estas huellas pudieron estar fuertemente influenciados por corrientes marinas, que actuarían como transportadoras de nutrientes según direcciones preferentes; y c) que existiera, en cualquier caso, una orientación preferencial debida a otra causa desconocida.

La toma de datos se realizó a partir de la elaboración de un panel fotográfico de todo el *hardground*. Sobre él se midió la orientación con respecto al Norte y la longitud, en cm, de cada una de las trazas. A partir del estudio de la variable orientación se pretende determinar: a) la relación de estas trazas con los sistemas de paleofracturas previamente definidos en las Zonas Externas de las Cordilleras Béticas (Molina y Ruiz-Ortiz, 1990; Nieto *et al.*, 1992; por ejemplo), o b) las paleodirecciones de aportes de nutrientes, que coinciden con direcciones de paleocorrientes (Seilacher, 1978; por ejemplo).

Para poder llevar a cabo el tratamiento numérico de esta información, se ha procedido a transformar cada una de las trazas en datos puntuales. Cada dato experimental se concreta como el punto medio de la traza correspondiente, a partir del cual se establece su localización geográfica, respecto a un eje de coordenadas local creado para este trabajo (Fig. 2). Al final han resultado 156 medidas, con sus correspondientes coordenadas X e Y, sobre las que se han medido las dos variables mencionadas anteriormente, es decir orientación y longitud. Su estu-

dio se abordó aplicando métodos estadísticos y geoestadísticos.

Estudio estadístico

Análisis de la variable orientación: La primera herramienta utilizada para estudiar esta variable ha sido la construcción de un diagrama en rosa de orientaciones (Fig. 3A), que permita localizar cuales son las orientaciones predominantes que aparecen en el *hardground*. Hay que tener en cuenta que cada *Thalassinoides* tiene tres trazas separadas unos 120°, pero en esta Figura destaca un máximo de concentración de valores angulares en el intervalo entre 10° y 50°, y otras concentraciones de menor relevancia para intervalos entre 110° y 150° o entre 160° y 180°, no evidenciándose estas tres orientaciones principales a 120° de forma clara en el gráfico.

El establecimiento de una relación entre los intervalos de mayor significación y su localización espacial puede ser muy interesante para intentar mostrar la dependencia espacial de esta variable. Para llevar a cabo esto se han representado en un mapa del área de estudio (Fig. 3B) los puntos experimentales codificados según los intervalos angulares predominantes, de modo que se han dibujado con diferentes símbolos en función de los distintos valores de orientación. Como se puede apreciar en esta Figura, existe una distribución homogénea de los intervalos más característicos por toda el área, de forma que no se pueden destacar zonas en las que se concentren de una forma clara determinados ángulos sobre otros, sino que el intervalo más frecuente (10° y 50°), representado por círculos, se distribuye regularmente por todo el *hardground*, no existiendo, a priori, una dependencia espacial de las trazas.

Análisis de la variable longitud: Esta variable tiene un rango de variación de 2,7 a 26,4 centímetros, no obstante, destaca que el valor del tercer cuartil sea sólo de 8,2 cm, bastante alejado de ese valor máximo por encima de 26 cm. Examinando el histograma de la longitud (Fig. 3C), se ve una clara concentración de valores alrededor de las longitudes pequeñas, existiendo bastantes valores por debajo de 9 cm.

Realizando la misma operación que se llevó a cabo con los valores de la orientación, de representar los puntos experimentales codificados en diferentes símbolos según categorías (Fig. 3D), se observa que para el caso de la longitud existe una clara concentración de longitudes mayores (símbolo de estrella) hacia las zonas más septentrionales del área, existiendo un control espacial en la distribución de esta variable a lo largo de la zona.

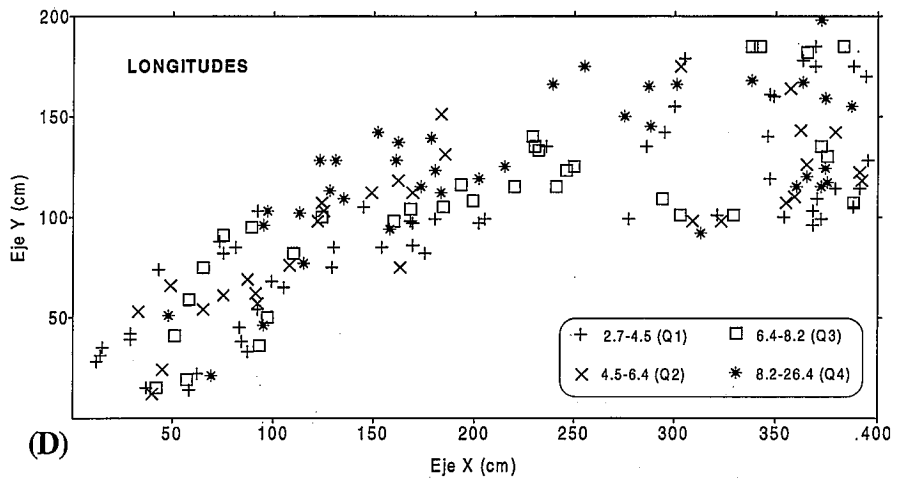
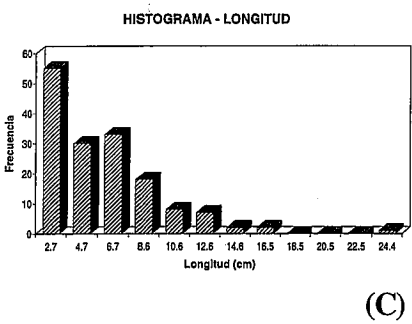
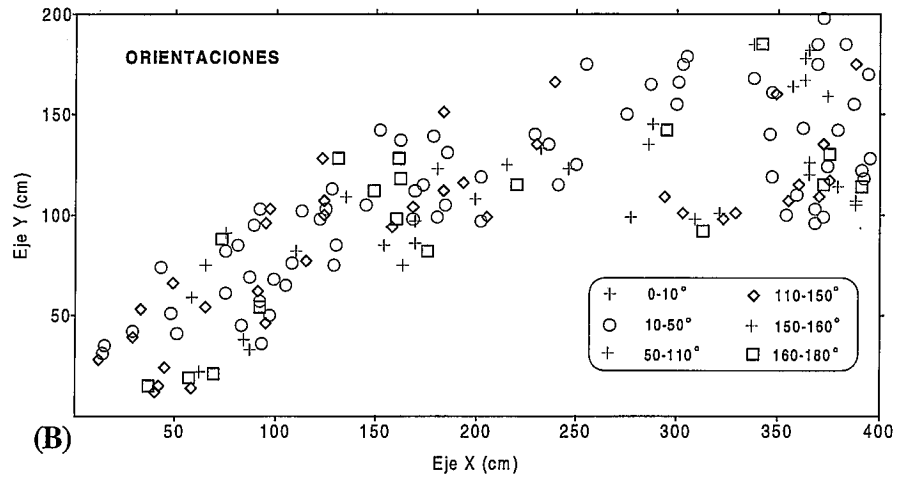
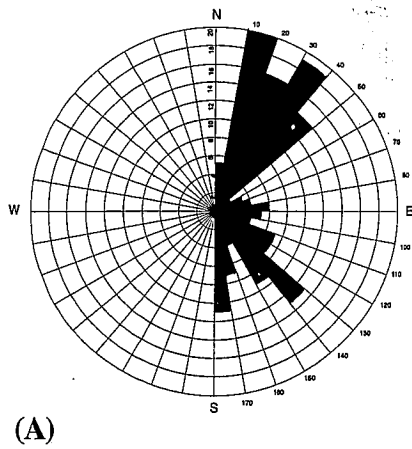


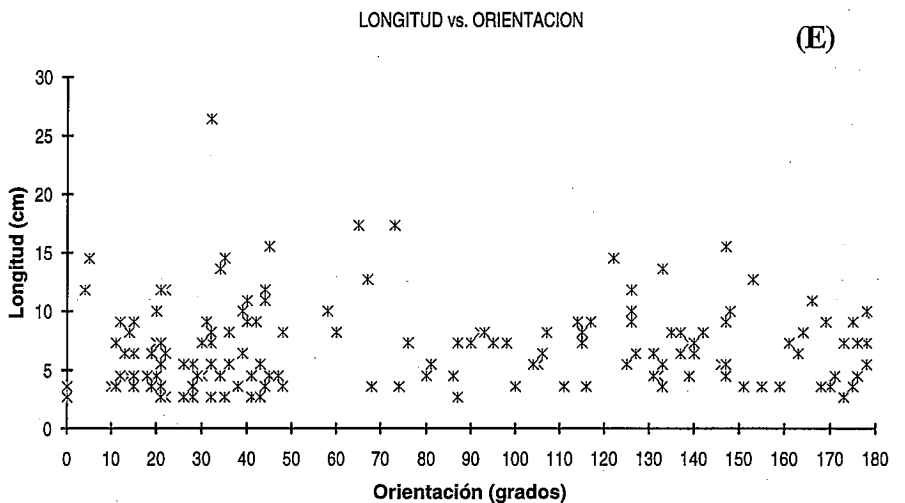
Fig.3-A: Diagrama en rosa de orientaciones. B: Localización geográfica referida a un sistema local de los intervalos de mayor significación de orientaciones. C: Histograma de longitudes. D: Localización geográfica referida a un sistema local de los intervalos de mayor significación de longitudes. E: Diagrama de correlación longitud vs. orientación.

Fig. 3.-A: Rose diagram of orientations; B: Geographic location referred to a local system of the interval with major significance of orientations. C: Histogram of lengths. D: Geographical location referred to a local system of the intervals with major significance of lengths. E: Plot of correlation length vs. orientation.

Para analizar si existe alguna relación entre la orientación y la longitud de las trazas se ha realizado un diagrama de dispersión, que enfrenta ambos parámetros. En este diagrama (Fig. 3E.) se recoge la ausencia de correlación entre longitudes y orientaciones de las trazas, apareciendo bioturbaciones de todas las medidas en cualquier posición del *hardground*.

Estudio geoestadístico

El estudio de variables distribuidas espacialmente, como las que estamos analizando en las trazas del *hardground*, puede abordarse de forma cuantitativa utilizando métodos geoestadísticos (Isaaks y Srivastava,



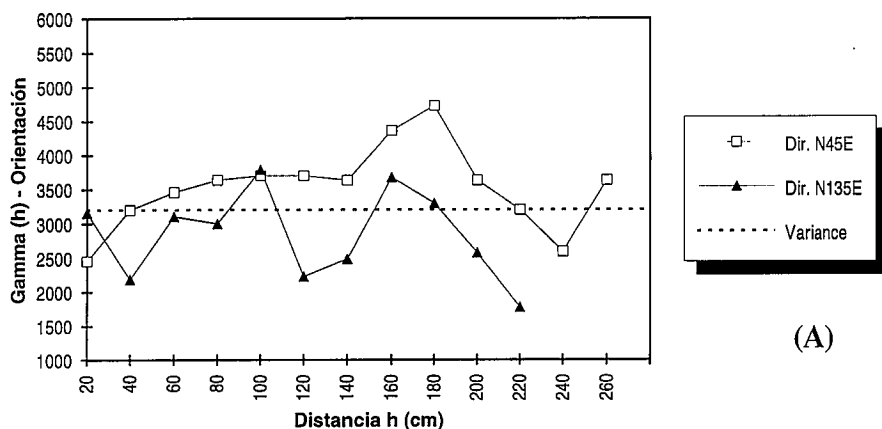
1989; Swan y Saindlands, 1995; por ejemplo). Estos métodos se basan en la consideración del fenómeno espacial como una *variable regionalizada* (VR). Esta VR es una función aleatoria $Z(x)$ que da el valor correspondiente a una característica Z del fenómeno en el punto x , perteneciente a un espacio R^2 (Journel y Huigbregts, 1978).

El punto de partida implica el cálculo de la función variograma (h). Esta función es una medida del grado de variabilidad del fenómeno

que se esté estudiando en función de la distancia (h) que separa los puntos.

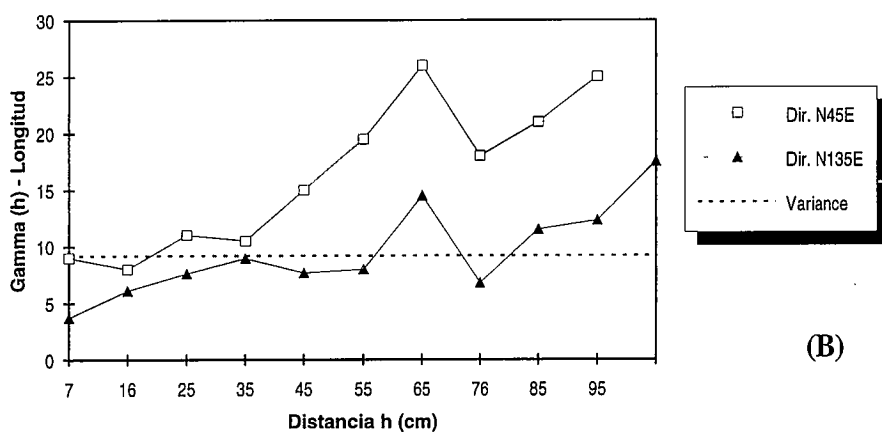
En el variograma de la *variable orientación* según la dirección de N45E (Fig. 4A) se puede observar una falta de estructuración del mismo, con todos sus puntos alrededor del valor de la varianza experimental de los datos ($\sigma^2=3223$). Por otra parte, el variograma en la dirección N135E (Fig. 4A) presenta características similares al de la dirección perpendicular, los datos fluctúan alrededor del valor de

Variogramas Experimentales: ORIENTACION



(A)

Variogramas Experimentales: LONGITUD



(B)

Fig. 4.-A: Variogramas experimentales de la variable orientación según las direcciones N45E y N135E. B: Variogramas experimentales de la variable longitud según las direcciones N45E y N135E.

Fig. 4.-A: Experimental variograms of the orientation variable according to the directions N45E and N135E. B: Experimental variograms of the length variable according to the directions N45E and N135E.

la varianza experimental. Este tipo de variogramas suelen ser indicativos de fenómenos en el que los valores presentan una distribución al azar, de modo que a lo largo del *hardground* es posible encontrar trazas de cualquier orientación en cualquier dirección del espacio, corroborando las conclusiones obtenidas anteriormente.

Los variogramas de la *variable longitud* construidos en la dirección N45E (Fig. 4B) no presentan estructuración alguna; por contra, en los realizados según la dirección N135E (Fig. 4B) sí se puede observar una estructura para puntos situados a distancias inferiores a 40 cm, alcanzándose el valor de la meseta para

datos separados más de 40 o 50 cm. En este caso, el tipo de gráficos que resultan están evidenciando una cierta distribución espacial en la longitud de las trazas, apareciendo valores de longitudes mayores hacia las partes más septentrionales del *hardground*, como se vio en la Figura 4B.

Conclusiones

A partir del estudio estadístico, se pone de manifiesto que no hay una orientación predominante de trazas, no habiéndose observado tampoco las tres direcciones típicas a 120°. Este análisis ha mostrado que las

trazas de mayor longitud se sitúan en la parte septentrional del *hardground*. Asimismo se observa que no hay correlación entre las variables orientación y longitud.

El análisis geoestadístico se presenta como un método concluyente para el estudio de distribución de trazas de bioturbación. Los diferentes variogramas experimentales evidencian la aleatoriedad en esta distribución, lo que confirma que las huellas estudiadas son trazas de bioerosión resultantes de la actividad de organismos que no estuvieron controlados ni por fracturas previas ni por corrientes marinas.

Desde un punto de vista paleoecológico, esta distribución al azar se interpreta como el resultado de unas condiciones homogéneas en la oxigenación del sustrato y del agua del fondo marino, así como de una batimetría constante. El predominio de trazas de pequeña longitud se puede interpretar como el resultado de: a) una escasa oxigenación del agua de los poros; b) una profundidad del *firmground* en el que se desarrollaban las trazas que no favorecía su gran tamaño; c) un escaso aporte de nutrientes por las corrientes; y d) una cementación relativamente rápida del *firmground* que impedía el desarrollo de trazas largas. La existencia de trazas de mayor longitud en las partes septentrionales del afloramiento, se puede interpretar como el resultado de la acumulación local de materia orgánica que servía de alimento a los organismos que allí habitaban.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado dentro del proyecto del DGICYT nº PB-93-1150-CO2-02

Referencias

Isaaks, E. H. y Srivastava, R. M. (1989) *Journel*, A.G. y Huijbregts, Ch.J. (1978). *Academic Press*. London. 600 pp.
 Molina, J.M. y Ruiz-Ortiz, P.A. (1990). *Geogaceta*, 7, 56-59.
 Nieto, L.M., Molina, J.M. y Ruiz-Ortiz, P.A. (1994). *Geogaceta*, 16, 70-73.
 Nieto, L.M., Molina, J.M. y Ruiz-Ortiz, P.A. (1992). *Rev. Soc. Geol. España*, 5, 95-111.
 Seilacher, A. (1978). En: *Trace Fossil Concepts*, P.B. Bassan (ed.). SEPM Short Course, 5, 12- 51.
 Swan, A. R. M. y Saindlans, M. (1995). *Blackwell Science*. 446 pp.