

STVDIA GEOLOGICA SALMANTICENSIA
VOLUMEN ESPECIAL 5

PALEOGEOGRAFIA DE LA MESETA NORTE DURANTE EL TERCIARIO

EDITOR:

C. J. DABRIO (Madrid)

EDICIONES UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

1989

STVDIA GEOLOGICA SALMANTICENSIA, Vol. Esp. 5, 311-331 (1989)
(Paleogeografía de la Meseta Norte durante el Terciario)

INTERPRETACION PALEOECOLOGICA DE LOS DEPOSITOS LACUSTRES NEOGENOS DE CASTRILLO DEL VAL (NORESTE DE LA DEPRESION DEL DUERO)

F. J. Sánchez Benavides¹, C. J. Dabrio² y J. Civis³

RESUMEN.- En los materiales neógenos del borde noreste de la Depresión del Duero se pueden diferenciar tres unidades litoestratigráficas. La unidad superior incluye sedimentos margosos y limoso-calcareos depositados en ambientes lacustres marginales y deltaicos. El estudio de la fauna fósil en relación con las facies sedimentarias permite interpretar las condiciones del depósito, caracterizadas por sucesivos cambios de salinidad, que se deben a repetidos inlfujos de agua dulce procedentes de una desembocadura deltaica lacustre. En este contexto se puede establecer la paleoecología de las asociaciones y elaborar una escala de paleosalinidades basada en los porcentajes relativos en que aparecen los distintos taxones.

PALABRAS CLAVE: Lagos, deltas, paleoecología, Neógeno, depresión del Duero, España

ABSTRACT.- Three lithostratigraphic units can be differentiated in the Neogene rocks of the northeastern Duero Basin. The upper unit includes marly and silty-calcareous sediments deposited in marginal lacustrine and deltaic environments. The study of the fossil fauna, in close relationship with the sedimentary facies they occur in, allows the interpretation of the environmental conditions during deposition and the successive changes of water salinity as due to the repeated influxes of fresh water from a deltaic distributary located nearby. In this context the palaeoecology of the associations is deduced and a local scale of paleosalinities based on the relative percentages of the various taxa can be elaborated.

KEY WORDS: Lacustrine, deltas, palaeoecology, Neogene, Duero basin, Spain.

INTRODUCCION

Los materiales continentales neógenos del borde noreste de la Depresión del Duero (Fig. 1) están constituidos por margas, arcillas y calizas (que desaparecen hacia el norte), mientras que al sur y al este alcanzan cierta importancia las areniscas y arcillas. En esta región se han realizado estudios geológicos desde el siglo pasado por la gran abundancia de restos fósiles de moluscos continentales, ostrácodos, foraminíferos, polen y palinomorfos que contienen (LARRAZET, 1894, 1896; ROYO GOMEZ, 1922, 1926, 1929; SAN MIGUEL DE LA CAMARA, 1946, 1947; VALLE y SALVADOR DE LUNA, 1985; GONZALEZ DELGADO *et al.*, 1986). Se han propuesto diversas correlaciones con las sucesiones más conocidas de la Depresión (PORTERO *et al.*, 1982; TRUYOLS y PORTA, 1982; MEDIAVILLA, 1985; MEDIAVILLA y DABRIO, 1986; SANCHEZ BENAVIDES, 1987) basadas sobre todo en las semejanzas litológicas y en la posición topográfica. El único estudio sedimentológico publicado sobre la región es el de SANCHEZ BENAVIDES *et al.*, (1988) que estableció la estratigrafía del Neógeno en este área proponiendo una interpretación sedimentaria coherente para las unidades

Trabajo realizado dentro del Proyecto CICYT PR 84-1113 en el que participan los autores.

1. Departamento de Geología (Estratigrafía), Facultad de Ciencias. Universidad. 37008-Salamanca.

2. Departamento de Estratigrafía, Facultad Geología, Universidad Complutense. 28040-Madrid.

3. Departamento de Geología (Paleontología), Facultad de Ciencias. Universidad. 37008-Salamanca.

litoestratigráficas informales diferenciadas provisionalmente.

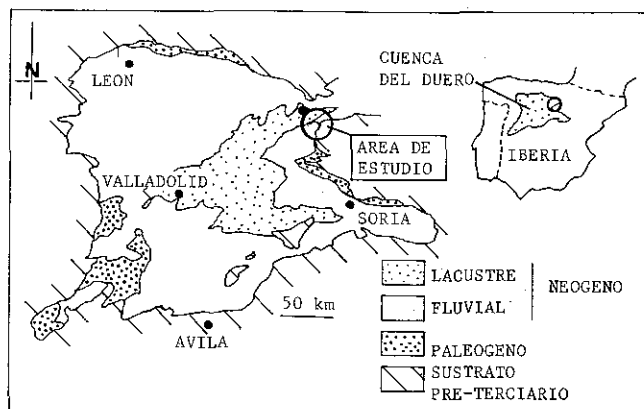


Figura 1.- Situación de la región estudiada en el marco geográfico de la Cuenca del Duero.
Figure 1.- Location map of the study area in the Duero Basin.

Este trabajo presenta los resultados del estudio paleoecológico de las asociaciones faunísticas del Neógeno del sector nororiental de la depresión del Duero donde se presta especial atención a los sedimentos en que se encuentran y justifica las interpretaciones a la luz de los datos de trabajos anteriores. Estos resultados permiten elaborar una escala de paleosalinidades basada en los porcentajes relativos de los diversos taxones.

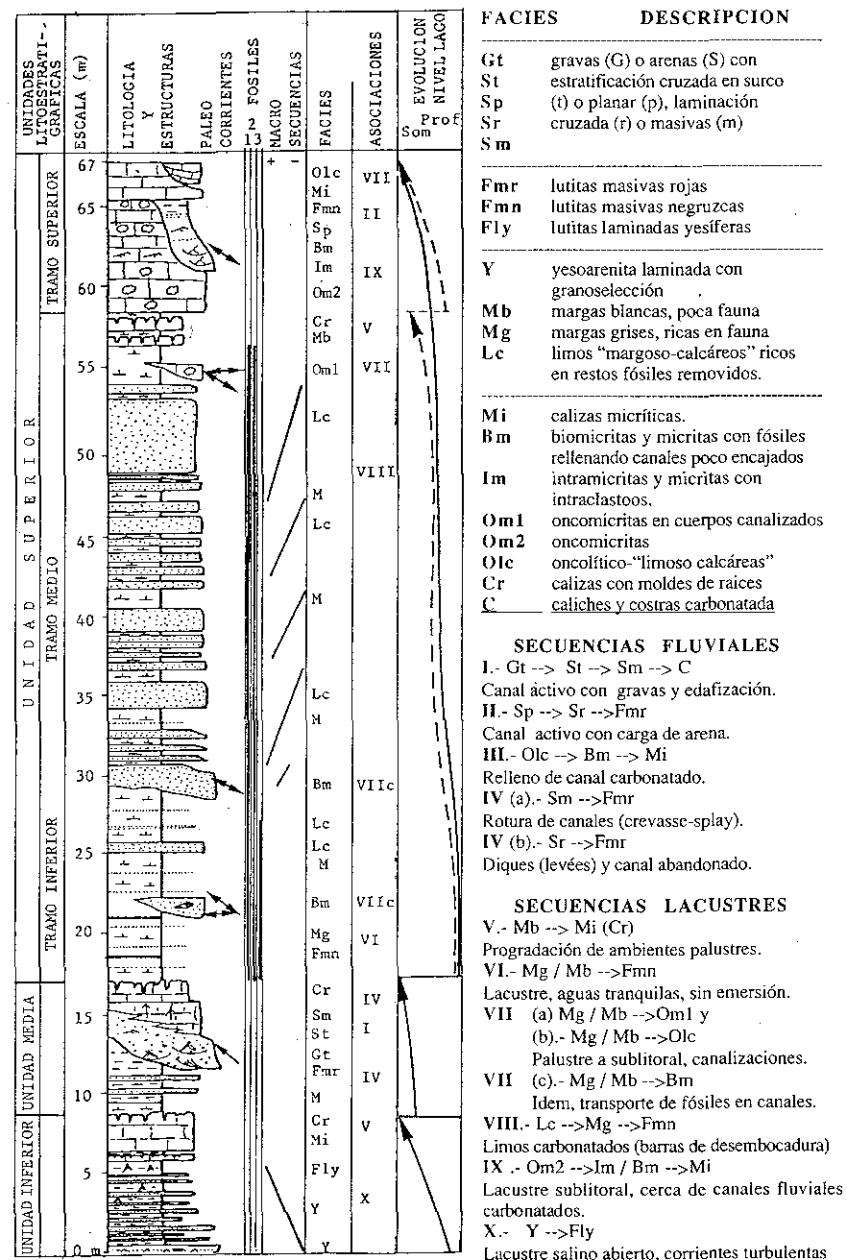
ESTRATIGRAFIA

A partir del estudio de las facies sedimentarias diferenciadas en las sucesiones según la litología, color, geometría, secuencias de estructuras sedimentarias, medidas de paleocorrientes, restos fósiles y rasgos postsedimentarios que presentan, y de las asociaciones en que aparecen, se puede establecer un armazón estratigráfico para la región.

En la página siguiente

Figura 2.- Sucesión estratigráfica de Castrillo del Val. Leyenda de los fósiles: 1, gasterópodos; 2, ostrácodos; 3, foraminíferos. Las secuencias estrato y granocrecientes (por ej. entre los metros 29 y 33) de la Unidad Superior registran la progradación de las barras de desembocadura de un delta lacustre (Modificada de SANCHEZ BENAVIDES *et al.*, 1988).

Figure 2.- Composite stratigraphic section of Castrillo del Val. Key to fossils: 1, gastropods; 2, ostracods; 3, forams. Thickening and coarsening upward sequences (e. g. between m 29 and 33) in the Upper Unit record repeated progradations of mouth bars of a lacustrine delta (Modified after SANCHEZ BENAVIDES *et al.*, 1988).



SANCHEZ BENAVIDES *et al.*, (1988) propusieron provisionalmente dos unidades litoestratigráficas informales pero, con datos más recientes y de mayor alcance regional (véase también MEDIAVILLA y DABRIO, en este volumen), parece conveniente subdividir en dos la que ellos denominaron Unidad 1. Así pues hablaremos de tres unidades (Fig. 2) cuyos rasgos sedimentarios más relevantes se incluyen a continuación:

Unidad Inferior

La Unidad Inferior (equivalente a la parte inferior de la Unidad 1 de SANCHEZ BENAVIDES *et al.*, 1988) está formada por lutitas (facies Fly) en las que se intercalan capas de yesoarenitas (facies Y) de escala centimétrica, con granoselección positiva en la base y laminación cruzada de *ripples* a techo, que forman secuencias granodecrecientes asimilables a secuencias incompletas de Bouma. Se interpretan como depósitos lacustres en un clima lo suficientemente árido como para permitir la precipitación de yeso, unido, probablemente a un aporte externo de aguas cargadas en sulfatos y en yeso detrítico, que inhibió la disolución del yeso. Las capas yesoareníticas se formaron, probablemente, por avenidas turbulentas presumiblemente en épocas de tormenta e inundación.

Unidad Media

La Unidad Media corresponde a lo que SANCHEZ BENAVIDES *et al.* (op. cit.) denominaron parte superior de la Unidad 1 y se compone sobre todo de alternancias de facies de margas (facies M) y calizas (facies Cr) interpretadas como depósitos palustres. Hacia el norte se intercalan sedimentos siliciclásticos (facies Gt, St, Sm, Fmr y C) a techo de la sucesión, formando secuencias granodecrecientes de varios tipos: Gt --> St --> Sm --> C, interpretada como relleno de canal fluvial; Sm --> Fmr, interpretada como roturas de bordes (*crevasse splay*); y Sp --> Sr --> Fmr, asignada a diques naturales (bordes) o rellenos de canales abandonados. A partir de estos datos se deduce un ambiente palustre, surcado en la parte norte por canales fluviales de dirección ESE--WNW, donde las continuas oscilaciones del nivel del lago inducirían grandes desplazamientos de la línea de costa.

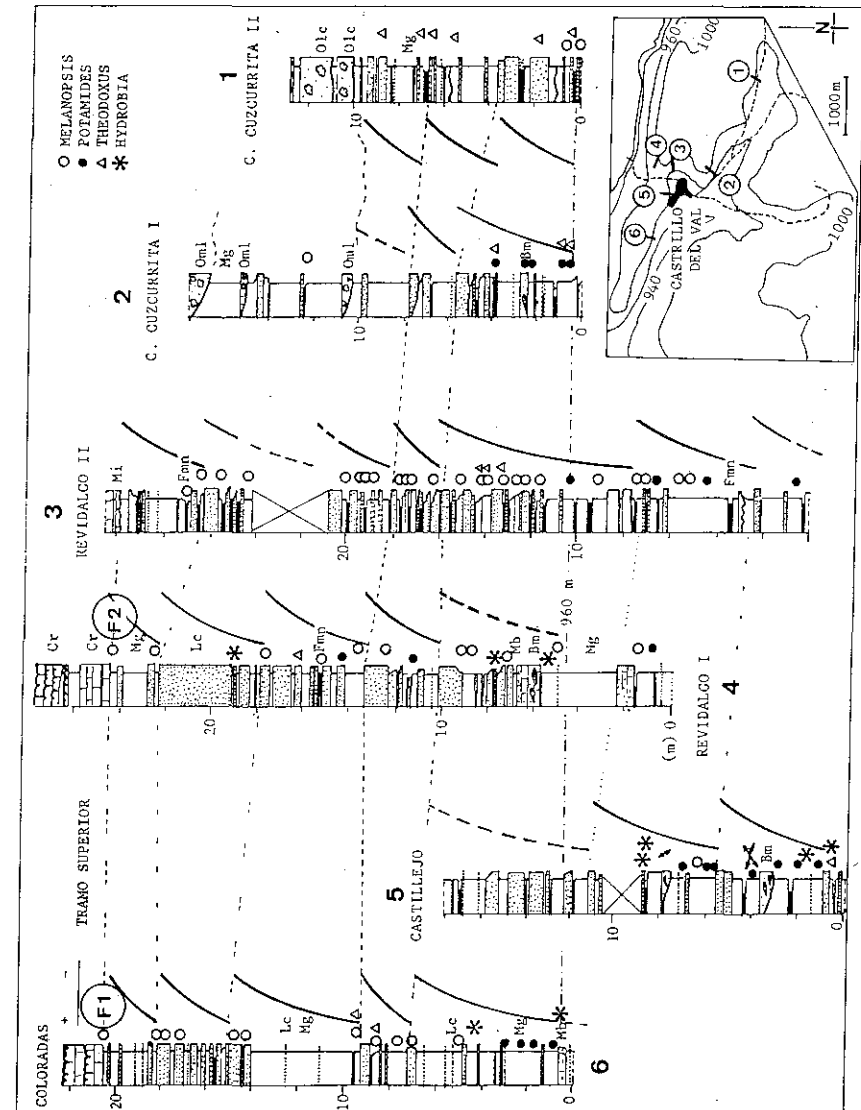
Unidad Superior

Equivale a la Unidad 2 de SANCHEZ BENAVIDES *et al.*, (op. cit.) y presenta características complejas. Las sucesiones levantadas presentan una tendencia estrato y granocreciente constituidas a su vez por macrosecuencias del mismo signo.

En la página siguiente:

Figura 3.- Correlación de las sucesiones levantadas en la Unidad Superior (cuya situación relativa se muestra en la parte inferior derecha) donde se observa la distribución de facies Lc, las secuencias estrato y granocrecientes generadas por la progradación de barras de desembocadura deltaicas y la distribución de los principales niveles de acumulación de gasterópodos según la leyenda de la parte superior derecha.

Figure 3.- Correlation chart of the sections measured in the Upper Unit (see location map in the lower right) to show the distribution of facies Lc, the thickening and coarsening upwards sequences generated by prograding distributary mouth bars and the occurrence of the main levels of accumulations of gastropods according to the key on the upper right.



Hacia el oeste y hacia el muro de la sucesión dominan las facies margosas (facies Mg) propias de lagos salinos mientras que hacia el este se hacen más abundantes las de limos margoso-calcáreos (Lc). El paso de una a otra es gradual y se realiza tanto más hacia el techo cuanto más hacia el oeste y en esa dirección decrece, además, el espesor de las capas de facies Lc. El análisis sedimentológico detallado llevó a SANCHEZ BENAVIDES *et al.*, (op. cit.) a proponer un modelo de margen lacustre carbonatado caracterizado por las facies Mg, donde progradaban barras de desembocadura de lóbulos deltaicos que suministraban sedimentos limoso-calcáreos (Lc), restos esqueléticos y organismos vivos.

Se admite que el clima presentaba una marcada estacionalidad y durante las inundaciones llegaba mucho material al lago desde las áreas circundantes vía canales fluviales y deltas, generando secuencias elementales granodecrecientes (Lc--Mg--Fm) que rebajaban temporalmente la salinidad del agua, al menos en el fondo del lago, y permitían la implantación efímera de comunidades oportunistas propias de aguas más dulces. El subsiguiente aumento de la salinidad hacía luego retornar las condiciones precarias propias de las aguas estratificadas. De este modo se explica la alternancia de faunas salinas y oligohalinas y los cambios drásticos de salinidad que representan. En definitiva lo que se propone es que el lago era estratificado en las estaciones más secas mientras que en las lluviosas adquiría condiciones abiertas por influjo de la escorrentía.

La Unidad está coronada por los depósitos palustres y fluviales de la llanura deltaica.

A grandes rasgos, se pueden distinguir tres tramos: el Inferior de predominio margoso, correspondiente a las facies lacustres (M, Bm, Mb), el Medio, donde se hacen dominantes las facies de calcisiltitas (Lc) correspondientes a las secuencias de barra de desembocadura y el Superior, calcáreo (facies Cr, Om2, Im) que registra los ambientes palustres.

Así pues el cambio paulatino, pero complejo, de los ambientes salinos por los de agua dulce en Castrillo del Val se debe a la progradación de los ambientes dulceacuícolas marginales.

PALEONTOLOGIA DE LA UNIDAD SUPERIOR: IMPLICACIONES SEDIMENTARIAS

Macrofauna

Esta unidad se caracteriza por su contenido paleontológico, ya que aparece un gran número de individuos pertenecientes a taxones de Moluscos, Ostrácodos y Foraminíferos.

La malacofauna está constituida fundamentalmente por restos de gasterópodos continentales, y ha sido estudiada desde antiguo por diversos autores (LARRAZET, 1894; ROYO GOMEZ, 1926; TRUYOLS Y PORTA, 1982; GONZALEZ DELGADO *et al.*, 1986; CIVIS *et al.*, 1987). Destacan los siguientes taxones por el gran número de

individuos que los representan: *Potamides tricintum* (Brocchi), *Hydrobia*, *Melanopsis laevigata* (Lamarck), *Theodoxus*, *Gyraulus*, *Lymnaea*, *Carychium pachychilium* Sandemberg, *Planorbarius*, *Ancylus*, *Vertigo* y otros pertenecientes a la familia Helicidae.

La característica principal de esta fauna es su peculiar forma de aparición y distribución en el registro estratigráfico. Aparecen de forma dispersa a lo largo de la sección, y concentrados en niveles de gran continuidad lateral (decenas de metros) caracterizados por su baja diversidad y el gran número de individuos que presentan, normalmente pertenecientes a un taxón (a veces dos). Estos niveles de macrofauna presentan una distribución horizontal y vertical característica: hacia el oeste se observan entre 15 y 20 niveles, pero hacia el este son menos frecuentes y con menor densidad faunística. También disminuyen de muro a techo (Fig. 3). En función del taxón predominante se diferencian cuatro tipos de niveles de acumulación más importantes: 1. Niveles con *Potamides*; 2. Niveles con *Hydrobia*; 3. Niveles con *Melanopsis* y 4. Niveles con *Theodoxus*. Mientras que en la parte inferior de la Unidad Superior aparecen niveles con *Potamides* y concentraciones importantes pero puntuales de *Hydrobia*, relacionados ambos con ambientes restringidos de aguas salobres, en la parte media desaparecen, para ser sustituidos por niveles con *Melanopsis* y *Theodoxus*, propios de aguas dulces u oligohalinas (Fig. 3) en las que aparece también el género *Gyraulus*, que se asocia a medios ricos en vegetación (ADAM, 1960).

El estado de conservación de los individuos en estos niveles es bueno y en algunos se preserva aún parte de su color original, pero la mayor parte de los individuos de los taxones de forma más alargada y de mayor tamaño (*Potamides* y *Melanopsis*) no tienen la protoconcha y el labio externo o los presentan fracturados, debido principalmente a los procesos de compactación del sedimento, ya que la protoconcha aparece casi siempre fracturada y separada del resto de la concha.

Se han realizado estudios tafonómicos en un nivel de *Melanopsis* situado en la parte superior del tramo medio de la unidad, en las columnas estratigráficas de Coloradas y Revidalgo I (Fig. 3), donde se han separado 1180 y 1094 individuos, respectivamente, en estadios de crecimiento establecidos en función del diámetro máximo de la concha, ya que no se podía determinar el número de vueltas por presentar fracturada la protoconcha. Se observa que aparecen todos los estadios de crecimiento en ambas muestras, y que las curvas de distribución tamaño-frecuencia, y de supervivencia son las características de las poblaciones de Gasterópodos, con un máximo en la mortalidad en estadios juveniles (Fig. 4). La ausencia de individuos en ciertos estadios de crecimiento de mayor tamaño se debe simplemente a que se separaron individuos completos, desechándose los que no presentaban completo el labio externo por la imposibilidad de medir su diámetro máximo, situación que corresponde como ya se ha explicado a los individuos de mayor tamaño. Otros estudios de este tipo realizados en niveles con *Potamides* dan idénticos resultados (CIVIS *et al.*, 1987). Por tanto, se puede concluir que el transporte sufrido por estas faunas es mínimo, y pueden aportar datos paleoecológicos bastante fiables.

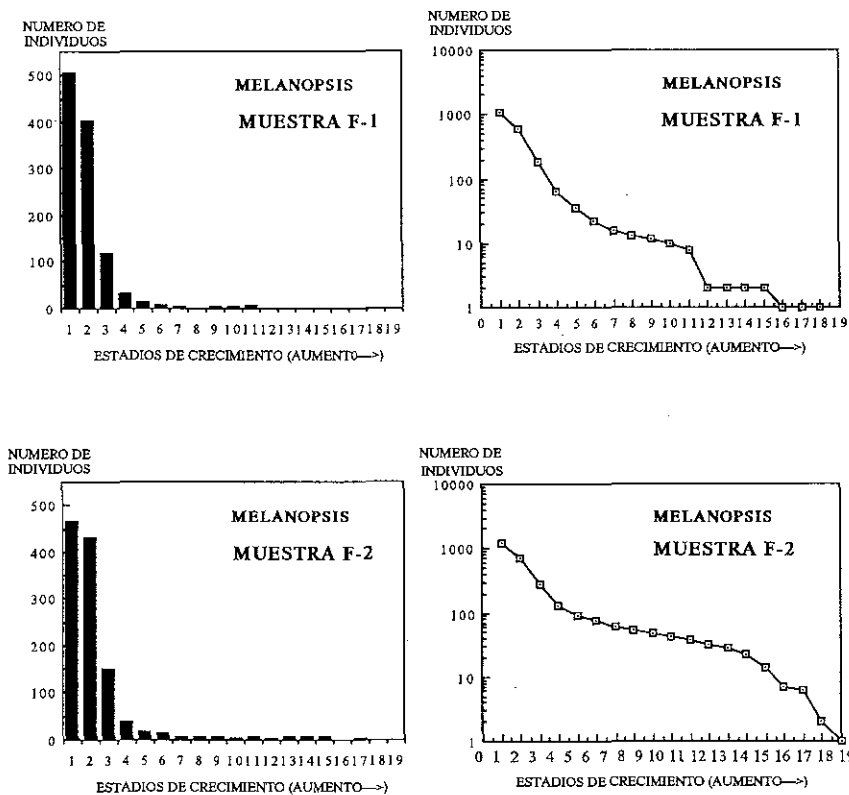


Figura 4.- Histogramas y curvas de supervivencia en dos poblaciones de *Melanopsis* (F-1 y F-2, a techo del tramo medio de la Unidad Superior, véase la figura 3). Los estadios de crecimiento están determinados en función del Diámetro máximo de la concha.

Figure 4.- Histograms and curves of supervivence of two populations of *Melanopsis* (F-1 and F-2 towards the top of the middle member of the Upper Unit, see figure 3). Stages of growth were determined from the maximum diameter of the shell.

Microfauna

La microfauna está representada por Ostrácodos, Foraminíferos y oogonios de caráceas, y presenta la misma tendencia o distribución en la columna estratigráfica que la malacofauna. GONZALEZ DELGADO *et al.*, (1986) y CIVIS *et al.*, (1987) destacan la variación microfaunística en los niveles inferiores y superiores de la sección. En los primeros citan un predominio de *Cyprideis tuberculata* (Mehes), *Quinqueloculina* y *Nonion granosum* (D'Orbigny), que constituyen una asociación de aguas salinas y coinciden con los niveles de *Potamides*. Mientras que en los segundos aparecen:

Darwinula stevensoni (Brady & Robertson)
Candona cf. bitruncata Carbonnel

Limnocythere cf. inopinata (Baird)
Cyprinotus salinus (Brady)
Paralimnocythere rostrata (Straub)
Ilyocypris gibba (Ramdohr)
Candona neglecta Sars
Candona sp.
Candonopsis kingsleyi Sars
Cycloocypris sp.
Potamocypris sp.

que constituyen una asociación oligohalina.

Para corroborar estos resultados se realizaron dos muestreos; uno más detallado en el tramo Inferior de la Unidad Superior, en la sección del Castillejo; y otro en el Tramo Medio, en la sección de Cuzcurruta 2 (Fig. 3). En la primera se muestreó un intervalo de unos 3 m de potencia de facies Mg que incluía dos niveles con *Potamides* y un nivel de *Hydrobia*, con intercalaciones de facies Lc, donde aparecían individuos del género *Melanopsis*. En la segunda se muestreó toda la sucesión.

Comparando los datos obtenidos en ambos estudios se aprecia en primer lugar una variación en la composición de la fauna de la unidad, con diferentes taxones y diferente diversidad, siendo menor en la parte inferior de la unidad; y en segundo lugar una disminución de la microfauna hacia el este, del mismo modo que ocurría con los taxones de la macrofauna (Figs. 6 y 7). El transporte sufrido por estas faunas es mínimo, ya que las valvas aparecen bien conservadas y a veces incluso articuladas, y los estudios tafonómicos muestran que existen prácticamente el mismo número de valvas derechas que izquierdas en todos los taxones (Fig. 5).

En la parte inferior de la Unidad los Foraminíferos están bien representados, con un predominio de *N. granosum* sobre *Quinqueloculina* y la relación se invierte en los niveles de acumulación de *Hydrobia* (Fig. 6, muestra M-8), indicando aguas mucho más salinas. En estas condiciones, la diversidad en la Ostracofauna es muy baja, llegando incluso a quedar representada solamente por individuos de la especie *C. tuberculata*, que en condiciones hipersalinas (muestra M-8) tampoco llega a proliferar. De vez en cuando, y por influencia de aportes esporádicos de aguas oligohalinas (facies Lc, muestras M-3, M-4, M-5), la salinidad del agua del lago se diluye permitiendo la proliferación de otros organismos, aumentando así la diversidad de Ostrácodos y desapareciendo los Foraminíferos. La Ostracofauna pasa a estar representada por: *D. stevensoni*, *C. cf. bitruncata*, *L. cf. inopinata*, *C. neglecta*, *C. salinus*, *I. gibba*, *Cycloocypris* y *Leptocythere* y desaparece prácticamente *C. tuberculata*.

En la parte media de la unidad se generalizan los aportes dulceacuícolas, se diversifica la Ostracofauna, que es más o menos constante en todo el perfil, al mismo tiempo desaparecen los Foraminíferos (Fig. 7). Los taxones que aparecen son: *D. stevensoni*, *C. cf. bitruncata*, *Candona* sp., *P. rostrata*, *L. cf. inopinata*, *C. salinus*, *Cycloocypris* sp., *Candonopsis* sp., y *C. tuberculata* representado por unos pocos individuos con tubérculos fenotípicos en número variable de 1 a 6, desarrollados probablemente como una respuesta a la disminución de la densidad del agua por pérdida

de la salinidad. A la vez parece existir una sustitución de *P. rostrata* por *L. cf. inopinata* en las muestras con *Cyprideis*, con lo que aquél podría representar las condiciones más oligohalinas en la cuenca lacustre.

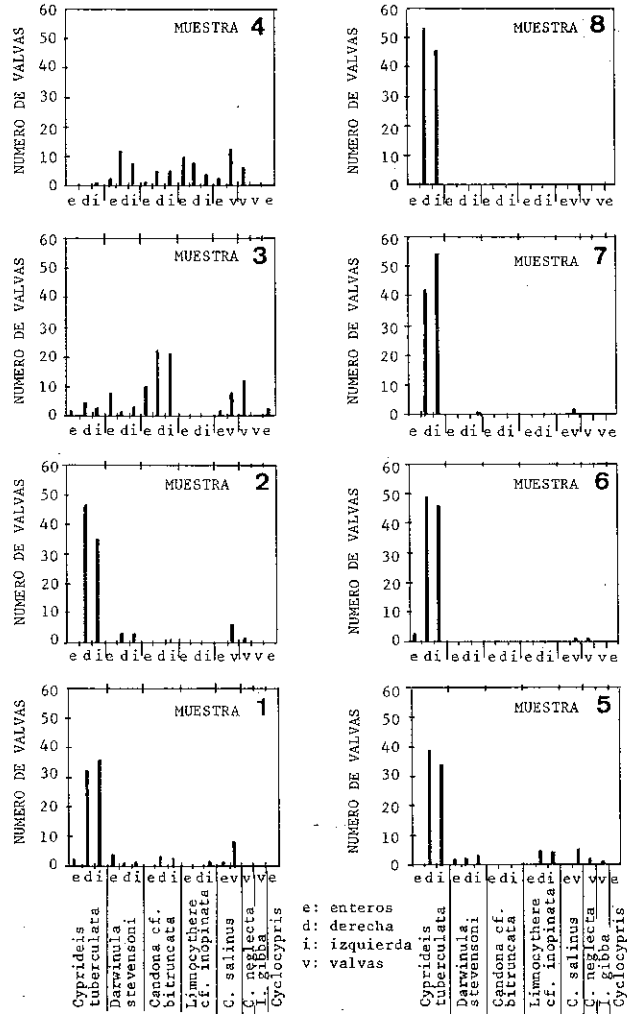


Figura 5.- Histogramas tafonómicos donde se representan el número de valvas (v) derechas (d), izquierdas (i) y articuladas (e) de cada especie de ostrácodos en las muestras de la Columna estratigráfica del Castillejo (Fig. 3, nº 5).

Figure 5.- Taphonomic histograms to show the number of right (r), left (l) and articulated (e) valves (v) of the species of ostracods in the samples of the stratigraphic section of El Castillejo (Fig. 3, no. 5).

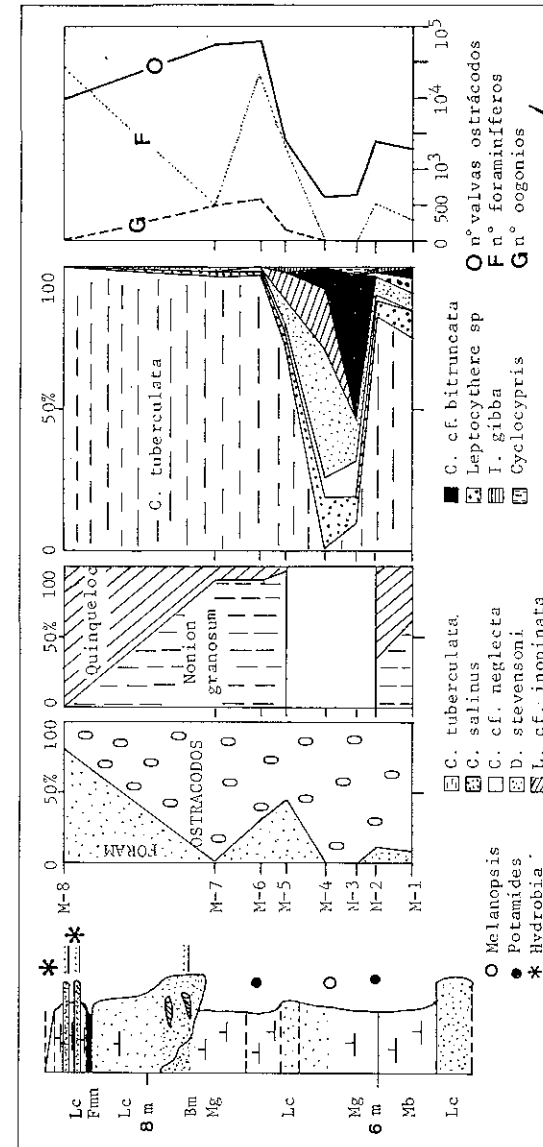


Figura 6.- Distribución de la microfauna en la parte baja de la Unidad Superior, columna estratigráfica de El Castillejo. Iguales siglas y símbolos que en la figura 3.

Figure 6.- Distribution of microfauna in the lower part of the Upper Unit, stratigraphic section of El Castillejo. Same key as in figure 3.

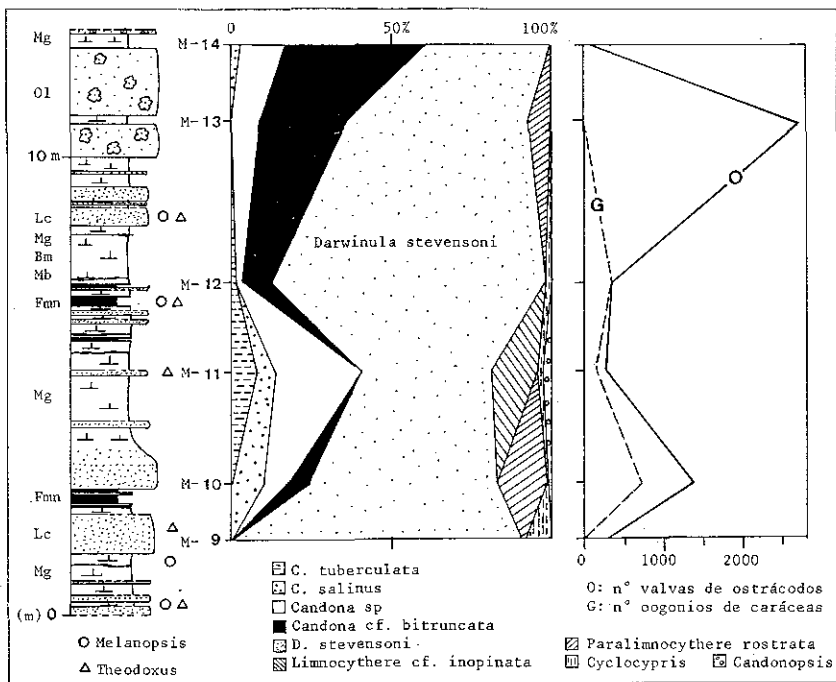


Figura 7.- Distribución de la microfauna de la parte media de la Unidad Superior, columna estratigráfica de Camino de Cuzcurrita 2. Iguales siglas y símbolos que en la figura 3.
 Figure 7.- Distribution of microfauna in the lower part of the Upper Unit, stratigraphic section of Camino de Cuzcurrita 2. Same key as in figure 3.

Resumiendo, del estudio microfaunístico de la Unidad superior de la sección estratigráfica de Castrillo del Val se pueden deducir tres asociaciones principales, dentro de las cuales, la relación porcentual entre los taxones que las componen podría utilizarse como escala para medir la paleosalinidad del medio (Fig. 8):

ASOCIACION A

C. tuberculata-*N. granosum* y/o *Quinqueloculina*. Pueden estar representados también: *D. stevensoni*, *C. salinus* y *Candona*.

Esta asociación sería característica de aguas salinas o hipersalinas. Las condiciones más extremas vendrían dadas por la relación % Foraminíferos > % Ostrácodos, y dentro de ésta, por la relación % *Quinqueloculina* / % *N. granosum* > 1.

ASOCIACION A		ASOCIACION B		ASOCIACION C	
% FORAMINIFEROS > % OSTRACODOS		% FORAMINIFEROS < % OSTRACODOS		% OSTRACODOS	
% <i>Quinqueloculina</i> > % <i>Nonion</i>	% <i>Quinqueloculina</i> < % <i>Nonion</i>				
sólo <i>Cyprideis</i>	% <i>Cyprideis</i> + <i>C. salinus</i> > 9 % resto ostrácodos	% <i>Cyprideis</i> + <i>C. salinus</i> > 3/2 % resto ostrácodos		% <i>Cyprideis</i> + <i>C. salinus</i> > 1/20 % resto ostrácodos	
EUFALINO		POLIHALINO		MESOHALINO OLIGOHALINO	
SALINIDAD					
+ ↓					

Figura 8.- Escala local de paleosalinidades para los lagos neógenos del noreste de la Depresión del Duero. Los límites propuestos no coinciden exactamente con los que se usan en estudios geoquímicos.
 Figure 8.- Local scale of paleosalinities for the Neogene lakes of northeastern Duero Basin. The proposed limits are not exactly coincident with those used in standard geochemistry.

ASOCIACION B

D. stvensoni-C. neglecta-C. cf. bitruncata-L. cf. inopinata -C. salinus.
Además, puede estar representado: *C. tuberculata*.

Esta asociación es característica de aguas oligohalinas e incluso mesohalinas en función de la presencia de *C. tuberculata* y *C. salinus*.

ASOCIACION C

D. stvensoni- Candona sp.- P. rostrata.

Características de aguas dulces.

DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Aunque los estudios sedimentológicos reflejan la sedimentación en un margen de lago con una alternancia de una sedimentación en ambientes tranquilos, de baja energía (facies M y Fmn), y aportes de mayor energía (facies Lc), la observación de la fauna que constituye el registro fósil proporciona una importante información sobre el ambiente sedimentario y la paleoecología que acompañaron a la sedimentación ya que, pese a que la fauna que aparece es fundamentalmente bentónica, no muestra señales definitivas de haber sufrido un transporte importante ni en el tiempo ni en el espacio.

Macrofauna

Los gasterópodos, principales representantes de la macrofauna, aparecen bien conservados, sin huellas de desgaste, y a menudo con su color original. Normalmente, las formas de mayor tamaño (*Potamides* y *Melanopsis*) presentan la protoconcha y el labio externo (las zonas más débiles de la concha de estos taxones) fragmentados por los procesos de compactación del sedimento. Estudios tafonómicos en poblaciones de *Melanopsis* y *Potamides* demuestran que el conjunto fósil no ha sido retrabajado, ya que no existe ningún tipo de selección por transporte al presentar todos los estadios de crecimiento; y presentan unos histogramas de distribución tamaño-frecuencia y unas curvas de supervivencia característicos de las poblaciones actuales de gasterópodos, con un máximo importante en la mortalidad de estadios juveniles.

Por la gran abundancia de fauna en los sedimentos, la sedimentación de la Unidad superior debió tener lugar en un margen de lago, donde los organismos bentónicos pueden vivir en condiciones favorables, con fondos ricos en vegetación y en zonas donde apenas existen aportes extracuencales.

En la parte inferior de la unidad la sedimentación tuvo lugar en condiciones más restringidas, salinas, donde sólo los organismos pertenecientes a los géneros *Potamides* e *Hydrobia* vivían en óptimas condiciones. Estas se ven interrumpidas por cortos episodios de influjo de aguas oligohalinas que arrastran restos de organismos (gasterópodos, ostrácodos y caráceas) y fango de las zonas más someras (facies Lc). Después de cada avenida decrecía, por dilución, la salinidad del agua del lago,

permitiendo durante un cierto tiempo la colonización por comunidades oportunistas de individuos bentónicos vivos arrastrados hacia partes más internas de la cuenca, como es el caso de *Melanopsis* y *Theodoxus*.

En la parte media de la unidad las avenidas de agua dulce son más continuas y con mayor aporte de sedimentos, con lo que las condiciones dulceacuícolas se hacen más permanentes y óptimas para géneros como *Melanopsis* y *Theodoxus*, siendo desplazado el género *Potamides* tanto en el tiempo como en el espacio hacia zonas más distales. El género *Gyraulus* aparece frecuentemente relacionado con facies Lc, y asociado a *Melanopsis*, posiblemente transportado por su pequeño tamaño junto a restos de caráceas desde las zonas más someras donde habitan. Hacia el este, la densidad de fauna decrece de manera notable, y adquiere mayor importancia el género *Theodoxus*. Este género vive actualmente adosado a las piedras del fondo de los ríos, por lo que puede ser indicativo de zonas más proximales hacia el este, donde el influjo de la sedimentación y la energía es mayor, impidiendo que los organismos proliferasen con facilidad.

Microfauna

Los ostrácodos y foraminíferos también aparecen muy bien conservados, sin señales de retrabajamiento o disolución, y todas las especies se representan por varios tamaños en la misma muestra. Los estudios tafonómicos (representados en la figura 5) demuestran que aparece prácticamente el mismo número de valvas derechas que izquierdas (normalmente de diferente tamaño, y por tanto, de distinto peso), e incluso individuos articulados, en todos los taxones. DE DECKKER (1988) señala que la influencia de corrientes produce rotura y selección por tamaños, forma, ornamentación y peso, y que la aparición de valvas articuladas y cerradas junto con sedimentos no retrabajados, es consecuencia de una sedimentación rápida que impide su desarticulación. Por tanto, podemos concluir que las poblaciones de ostrácodos de la Unidad Superior no han sufrido un transporte importante.

En la parte inferior de la Unidad destaca la gran abundancia de ostrácodos y foraminíferos, con alternancia de periodos de menor diversidad y periodos de mayor diversidad. Es bien conocido que en la distribución de los ostrácodos influyen muchos factores ambientales y existe una relación entre la abundancia y diversidad de los ostrácodos, y factores biológicos como la depredación, comensalismo y parasitismo, y factores físico-químicos como la salinidad, temperatura, profundidad, tipo de sustrato, hidrodinámica, nutrientes, contenido en oxígeno, etc. Pero todos los autores coinciden en señalar como factores más importantes la salinidad del medio, y la presencia de materia orgánica y vegetación.

Los episodios salinos en esta parte de la Unidad quedan patentes por la presencia de foraminíferos, que en ocasiones llegan a ser más abundantes que los ostrácodos. Esto sólo puede producirse en ambientes con salinidad muy alta (ambiente marino). La asociación microfaunística característica en estas condiciones es de tipo A.

A medida que se producen las primeras influencias de aportes de aguas dulces, la salinidad disminuye, al mismo tiempo que aumenta la diversidad y disminuye la abundancia en número de individuos de cada taxón. La asociación es ahora de tipo **B**.

CARBONEL *et al.*, (1988) diferencian dos tipos de concentraciones salinas ambientales: (1) salina alcalina, donde la fauna desaparecería con la precipitación del primer carbonato, y (2) salina neutral, con un enriquecimiento de cationes que formarían carbonatos, sulfatos y cloruros, y en la que existe un cambio paulatino desde una diversificación a una monoespecificación, con representación tan sólo de *Cyprideis* y, durante algún tiempo, de *Cyprinotus*. El último estadio donde se encontrarían ostrácodos sería durante la precipitación de sulfatos, a partir de una concentración de ion sulfato similar al 80 ‰. El segundo tipo de salinidad es similar al observado en las muestras M6 y M7 (Fig. 6), con lo que se puede diferenciar varios grados de salinidad en la parte inferior de la Unidad Superior, de mayor a menor salinidad:

(1) Los Foraminíferos superan a los Ostrácodos.

(2) Los Ostrácodos superan a los Foraminíferos, pero presentan muy baja diversidad, con *C. tuberculata* como único taxón, acompañado en ciertas ocasiones por *C. salinus*.

(3) Ausencia de Foraminíferos y mayor diversidad en la Ostracofauna, pero con un alto porcentaje de *C. tuberculata*.

(4) *C. tuberculata* muy poco representado, con una asociación de ostrácodos oligohalina.

En el intervalo muestreado del tramo inferior de la Unidad, el paso de condiciones salinas a dulceacuícolas es progresivo, lo cual indica que la invasión de aguas oligohalinas (que da lugar al depósito de facies Lc con límite inferior transicional), y por tanto la dilución de la salinidad del agua del lago, es gradual. Por su parte el retorno a las condiciones salinas propias de la cuenca parece ser más brusco, una vez que cesan los aportes causantes de su oligosalinidad. El cambio rápido de las características del agua se registra en los techos relativamente netos de las facies Lc.

En la parte media de la Unidad y hacia el este, se aprecia una disminución cuantitativa importante de la fauna, y un aumento en la diversidad respecto a la parte inferior, todo ello relacionado posiblemente con la progradación de ambientes más marginales, es decir con aportes oligohalinos más constantes y generalizados (Figs. 3 y 7). La asociación microfaunística pasa a ser de tipo **B** y **C** y *C. tuberculata* desaparece prácticamente de las muestras, quedando sólo algunos individuos que han desarrollado tubérculos en su caparazón. Es interesante conocer cual es el límite de salinidad a partir del cual se desarrollan los tubérculos. Según SHAFER (1953) el límite de aparición de las protuberancias se sitúa en $S < 5\text{‰}$ en las formas holocenas de la desembocadura del Rin (Holanda). Sin embargo VESPER (1975) encuentra protuberancias en los ostrácodos del lago Kleiner Binnessee y en las Fosas de Frierichs Koog y de Neufelder Koog (próximas al Mar del Norte), con salinidades inferiores al 5‰. PEYPOUQUET (1979) descarta la salinidad como responsable directa de la aparición de los tubérculos en los caparazones de los ostrácodos, y los atribuye a malformaciones por la asimilación de ciertos elementos

metálicos disueltos en el agua formando parte de complejos organo-minerales. La cantidad de complejos organo-metálicos aumenta cuando lo hace la materia orgánica en las aguas (lo que sucede en aguas oligohalinas) y por tanto aparecen más individuos con caparazones provistos de protuberancias. Cuando la salinidad supera el 5‰ precipita gran parte de la materia orgánica con lo que disminuye la posibilidad de formar complejos y, en consecuencia, aparecerán individuos sin protuberancias.

Como en nuestro caso, no se han encontrado protuberancias en ninguna de las especies asociadas a *C. tuberculata*, nos inclinamos a pensar que los tubérculos de esta especie sí puedan estar relacionados con una respuesta al cambio de densidad por la variación de salinidad en el agua.

El carácter más marginal de las facies Lc viene corroborado por la presencia de oogonios y restos de tallos de caráceas, que según DE DECKKER (1988) habitan a una profundidad inferior a los 2 m. BODEGART (1983) resalta el papel de la vegetación en la diversidad de las comunidades de Ostrácodos, señalando que es un soporte dinámico importante para las poblaciones de los medios con salinidad variable, siendo su ausencia limitante para muchas especies. Los ambientes oligohalinos favorecen el desarrollo de una vegetación (por ejemplo de caráceas) que es fuente trófica y de oxígeno a través de procesos metabólicos (fotosíntesis).

DE DECKKER *et al.*, (1982) estudiando los lagos australianos, observó que los lagos con aguas permanentes y dulces, presentaban una gran diversificación de ambientes y una mayor variedad de macrofitas, lo que favorecía la presencia de un gran número de especies de ostrácodos. Por el contrario, los lagos efímeros no reúnan las condiciones favorables para la instalación de macrofitas, siendo menor la diversidad de los ostrácodos, y todos característicos de medios salobres.

El tramo superior de la Unidad supone la progradación de los ambientes más marginales (facies Cr) y externos, correspondientes al cinturón de vegetación circumpalustre que controla el desarrollo y eventual relleno del lago. Este crecimiento marginal de macrofitas disipa la acción de las olas en la costa, previene el aporte de materiales siliciclásticos alóctonos y constituye la fuente de la materia orgánica que luego se acumula en los sedimentos (COLLINSON, 1988).

CONCLUSIONES

La evolución paleogeográfica de la zona noreste de la depresión del Duero durante el Neógeno estuvo determinada por el papel que jugó el clima, cuya importancia queda patente en los tres principales controles sedimentarios:

1.- La composición química del agua que permitió la sedimentación de depósitos carbonatados o yesíferos. La influencia de los aportes de agua dulce produjo cambios en el quimismo del agua que se traducen en cambios faunísticos y sedimentológicos.

2.- Las continuas fluctuaciones del nivel del agua del lago, responsables de notables

desplazamientos de la línea de costa y, debido a la baja pendiente topográfica, de la exposición subaérea o la inundación de grandes extensiones de terreno.

3.- La escasez de aportes siliciclásticos, limitados a canales fluviales estrechos que discurrían por las zonas marginales del lago. Esto se debe, en parte a la naturaleza calcárea del área de drenaje y, en parte, al extenso cinturón vegetado circunlacustre que actuaba como pantalla para esos aportes, favoreciendo los procesos de precipitación inorgánica de carbonato.

De los estudios sedimentológicos y paleontológicos realizados en la Unidad Superior de la sección neógena de Castrillo del Val, se puede deducir que la sedimentación tuvo lugar en un margen de lago de aguas permanentes, por debajo del límite inferior de oscilación del nivel del agua, donde los organismos bentónicos (Gasterópodos, Ostrácodos y Foraminíferos) pueden proliferar con total libertad sin exponerse a las continuas oscilaciones del nivel del agua; y en zonas más someras, dentro de los límites de oscilación del nivel del agua, donde los ostrácodos pueden soportar incluso importantes periodos de emersión. La sedimentación propia de la cuenca era margo-arcillosa, con escasa influencia de aportes siliciclásticos, en parte por la falta de áreas madres siliciclásticas pero también por la existencia de dos cinturones de vegetación: uno externo, circumpalustre, de plantas subaéreas y otro de plantas subacuáticas (caráceas) (véase una referencia taxonómica en VALLE y SALVADOR DE LUNA, 1985) que cumplen una doble función: servir de sustrato a los organismos que habitan en el fondo y de área fuente de los restos esqueléticos carbonatados (tallos y oogonios) transportan las arenas hacia el interior de la cuenca lacustre. La escasez de aportes siliciclásticos favoreció la precipitación de carbonato cálcico y, por tanto, también el desarrollo normal de los organismos con caparazón calcáreo.

El lago sería del tipo holomítico, con sedimentación de facies Mg o Fmn en función de los cambios estacionales. Mientras en invierno la temperatura del agua se homogeneiza favoreciendo la circulación y redistribución de nutrientes; en primavera y verano proliferan los organismos y se produce una estratificación térmica de las aguas, con una parte superior más caliente donde existe circulación y oxigenación del agua, y redistribución de nutrientes, y una parte inferior de muy poco espesor, más fría, donde la falta de circulación de agua y de redistribución de nutrientes producen un fondo anóxico y reductor.

Las aguas del lago serían salinas y ocasionalmente hipersalinas, y estaban habitadas fundamentalmente por organismos de los géneros *Potamides*, *Hydrobia*, *Cyprideis*, *Quinqueloculina* y *Nonion granosum*. Estas condiciones pasaron a ser gradualmente más oligohalinas hacia el techo de la Unidad, y de oeste a este, como consecuencia de aportes de aguas dulces que depositan facies Lc y que llegan primero con menor intensidad y frecuencia, y posteriormente pasan a ser de mayor importancia, produciendo en la zona una sustitución de fauna, apareciendo, sobre todo, individuos pertenecientes a los géneros *Melanopsis*, *Theodoxus*, *Gyraulus*, *Darwinula*, *Candona*, *Limnocythere*, *Paralimnocythere* y *Cyprinotus*.

El estudio microfaunístico permite deducir tres asociaciones principales que pueden

usarse como escala local de paleosalinidades, con subdivisiones basadas en las relaciones porcentuales entre los taxones que las componen.

La asociación A (*C. tuberculata*-*N. granosum* y / o *Quinqueloculina* aunque pueden aparecer también *D. stevensoni*, *C. salinus* y *Candona*) es característica de aguas salinas. El indicador de aguas hipersalinas es la relación % Foraminíferos > % Ostrácodos y, dentro de ésta, los valores máximos están indicados por la relación % *Quinqueloculina* / % *N. granosum* > 1.

La asociación B (*D. stevensoni*, *C. neglecta*, *C. cf. bitruncata*, *L. cf. inopinata* y *C. salinus*; además, puede aparecer: *C. tuberculata*), indica aguas oligohalinas, e incluso mesohalinas si se tienen en cuenta la presencia de *C. tuberculata* y *C. salinus*.

La asociación C (*D. stevensoni*, *Candona* sp. y *P. rostrata*) es indicativa de aguas dulces.

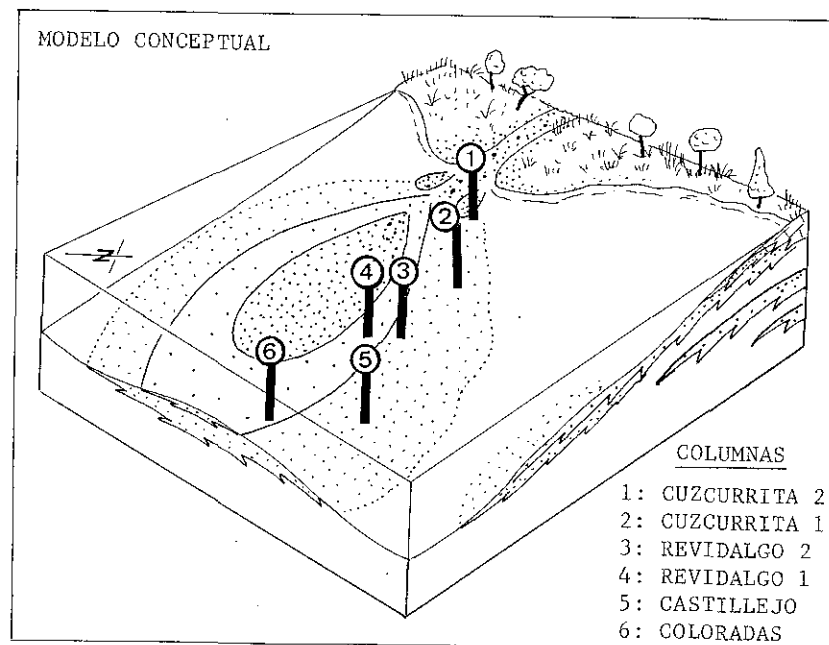


Figura 9.- Situación relativa de las columnas estudiadas en el modelo sedimentario de barra de distribuidor deltaico propuesto para la Unidad superior (modificado de SANCHEZ BENAVIDES *et al.*, 1988).
Figure 9.- Relative place of the studied sections in the sedimentary model of a distributary mouth bar proposed for the Upper Unit (modified after SANCHEZ BENAVIDES *et al.*, 1988).

La zona de entrada de aportes estaría situada probablemente hacia el este, ya que en las secciones situadas en esta dirección (Fig. 9, secciones del Camino de Cuzcurrita) aparecen facies más proximales y existe una disminución importante en la cantidad de fauna, a la vez que adquiere mayor importancia el género *Theodoxus*, relacionado

actualmente con ambientes fluviales. Observando la distribución de facies en un corte de oeste a este, se observa la sucesiva instalación de los ambientes de sedimentación de un delta lacustre: cuenca-prodelta (tramo inferior de la Unidad Superior), frente deltaico (tramo medio de la Unidad) y llanura deltaica (tramo superior de la Unidad).

AGRADECIMIENTOS

Los Dres. G. Alonso Gavilán y A. González Delgado (Universidad de Salamanca) y R. Mediavilla (I.T.G.E.) corrigieron y discutieron este trabajo y colaboraron en su elaboración aportando valiosas ideas. A. González Delgado, además, supervisó los trabajos de macropaleontología.

BIBLIOGRAFIA

- ADAM, W., (1960). *Faune de Belgique. Mollusques. I. Mollusques terrestres et dulcicoles*. Patr. Inst. Roy. Sci. Nat. Belg., Bruxelles. 402 págs.
- BODEGART, A. M., (1983). Les Ostracodes, temoins de leur environnement: approche chimique et écologie en milieu lagunaire et oceanique. *Doc. Lab. Géol. Fac. Lyon*, **88**: 246 págs.
- CARBONEL, P., COLIN, J. P., DANIELOPOL, D. L., LOFFER, H. y NEUSTRUEVA, I., (1988). Palaeoecology of Limnic Ostracodes: a review of some major topics. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* **62**: 413-461.
- CIVIS, J., SIERRO, F. J., FLORES, J. A., ANDRES, I., GONZALEZ DELGADO, J. A., VALLE, M. F. y RIVAS, M. R., (1987). *Estudio de los Invertebrados y palinomorfos del Paleógeno y Neógeno en la provincia de Burgos*. Obra Social de la Caja de Ahorros Municipal de Burgos. Departamento de Geología Universidad de Salamanca. (Inédita), 128 págs.
- COLLINSON, M. E., (1988). Freshwater Macrophytes in Palaeolimnology. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **62**: 317-342.
- DE DECKKER, P., (1988). An account of the techniques using ostracodes in palaeolimnology in Australia. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **62**: 463-475.
- DE DECKKER, P., BAULD, J. y BURNE, R. V., (1982). Pillie Lake, Eyre Peninsula, South Australia: Modern environment and biota, dolomite sedimentation, and Holocene history. *Trans. R. Soc. S. Aust.*, **106**: 169-181.
- GONZALEZ DELGADO, J. A., CIVIS, J., VALLE, M. F., SIERRO, F. y FLORES, J. A., (1986). Distribución de los Foraminíferos, Moluscos y Ostrácodos en el Neógeno de la Cuenca del Duero. Aspectos más significativos. *Stvd. Geol. Salmanticensia*, **XXII**: 277-291.
- LARRAZET, M., (1894). Notes stratigraphiques et paléontologiques sur la Province de Burgos. *Bull. Soc. Géol. Fr. (3^e série)*, **22**: 366-384.
- LARRAZET, M., (1896). *Recherches géologiques sur la région orientale de la Province de Burgos et sur quelques points des provinces d'Alava et de Logroño*. Thèses Faculté de Sciences de Paris, série 4, **253**, 310 págs.
- MEDIAVILLA, R. M., (1985). *Estratigrafía y sedimentología del Neógeno de Palencia*. Tesis de Licenciatura, Departamento de Estratigrafía, Universidad de Salamanca (inédita), 133 págs.
- MEDIAVILLA, R. M. y DABRIO, C. J., (1986). La sedimentación continental del Neógeno en el sector centro-septentrional de la Depresión del Duero (Provincia de Palencia). *Stvd. Geol. Salmanticensia*, **XXII**: 111-132.
- PEYPOUQUET, J. P., (1979). Ostracodes et paléoenvironnements. Méthodologie et application aux domaines profonds du Cénozoïque. *Bull. B.R.G.M., 2^e Sér.*, section **IV** (1): 3-79.
- PORTERO, J. M., DEL OLMO, P., RAMIREZ DEL POZO, J. y VARGAS ALONSO, I., (1982). Síntesis del Terciario continental de la Cuenca del Duero. *Temas Geol. Min. IGME*, **VI** (1): 11-37.
- ROYO GOMEZ, J., (1922). *El Mioceno continental ibérico y su fauna malacológica*. Com. Invest. Paleontol. Prehist., Madrid. **30**, serie 5, 223 págs.
- ROYO GOMEZ, J., (1926). *Terciario continental de Burgos*. XIV Congr. Int. Madrid, 1926. Exc. A-6, 67 págs.
- ROYO GOMEZ, J., (1929). Nuevos yacimientos de Mamíferos miocenos en la Provincia de Valladolid. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Geol.)*, **29**: 105-112.
- SAN MIGUEL DE LA CAMARA, M., (1946). *Explicación de la Hoja número 346, Aranda de Duero*. Mapa Geológico de España Escala 1:50.000. IGME, Madrid.
- SAN MIGUEL DE LA CAMARA, M., (1947). *Explicación de la Hoja número 347, Cilleruelo*. Mapa Geológico de España Escala 1:50.000. IGME, Madrid.
- SANCHEZ BENAVIDES, F. J., (1987). *Estratigrafía y sedimentología del Neógeno del NE de la Cuenca del Duero (Castrillo del Val, Burgos)*. Tesis de Licenciatura, Departamento de Geología, Univ. Salamanca (inédita), 180 págs.
- SANCHEZ BENAVIDES, F. J., ALONSO GAVILAN, G. y DABRIO, C. J., (1988). Sedimentología de los depósitos lacustres neógenos de Castrillo del Val (Burgos) España. *Stvd. Geol. Salmanticensia*, **XXV**: 87-108.
- SCHAFER, H. V., (1953). Über meeres und Brackwasser Ostracoden aus den deutschen kunstengebeit. *Hydrobiol.*, **5** (4): 351-389.
- TRUYOLS, J. y DE PORTA, J., (1982). Observaciones sobre los niveles fosilíferos del Mioceno de Castrillo del Val (Burgos). *Temas Geol. Min. IGME*, **VI** (2): 663-676.
- VALLE HERNANDEZ, M. F. y SALVADOR DE LUNA, J. V., (1985). Palinología del Neógeno de la Cuenca del Duero. Castrillo del Val (Burgos). *Estud. Geol.* **41**: 237-241.
- VESPER, B., (1975). To the Problem of Noding on *Cyprideis torosa* (Jones 1850). *Bull. Am. Paleontol.* **65** (282): 205-216.

Recibido: 25 de noviembre de 1988. Aceptado: 10 de diciembre de 1988