

INCORPORACION DE ELEMENTOS TRAZA EN CONCHAS DE *MELANOPSIS* DURANTE EL CRECIMIENTO: POSIBILIDADES DE APLICACION EN PALEOECOLOGIA

J. Brito*, M. De Renzi*, F. Bosch** y J. J. Alonso***

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo está encaminado al estudio de las variaciones de oligoelementos en la concha de un gasterópodo de agua dulce del género *Melanopsis* (*M. dufouri* (FERUSSAC), con dos morfotipos) y si éstas tienen que ver, o no, con la fluctuación de una serie de parámetros ambientales. La importancia del trabajo radica en la posibilidad de la aplicación paleoecológica de sus resultados, ya que el género *Melanopsis* tiene un abundante registro fósil durante todo el Cenozoico.

La incorporación de oligoelementos se efectúa a medida que la concha va creciendo por acreción; lo ideal sería que tal crecimiento fuera circadiano, ya que se podría seguir día a día, sobre la concha, la fluctuación de sus componentes químicos. Sin embargo, nuestro trabajo muestra que, para esta especie, ello no es así. La tasa de acreción, tanto si se mide en función de los incrementos segregados por unidad de tiempo como del espesor segregado durante un período fijo, es función del tamaño de la concha para la misma población.

Una primera campaña, de un mes de duración, ha revelado que en aquellas conchas, cuya tasa de acreción coincide con el número de días, las composiciones químicas de cada línea de crecimiento no parecen tener una relación de carácter fijo con las variaciones diarias de los parámetros del medio. Parece haber unos organismos más sensibles que otros a tal variación. Ello, pues, probablemente sea atribuible a variabilidad genética en cuanto a la capacidad de filtrado de los distintos iones.

Durante un período de siete meses, en que la variación más significativa corresponde a la temperatura, uno de los morfotipos presenta variaciones de composición química correlacionadas con las variaciones de los parámetros del medio, mientras que el otro no muestra tendencias claras al respecto.

La posibilidad de ritmos circadianos de acreción en caparazones de invertebrados está en contradicción con los resultados obtenidos en este estudio. Sería interesante analizar casos dados como válidos desde las perspectivas que aquí se abren. Las posibilidades de aplicación paleoecológica son también bajas, al menos para el género aquí estudiado.

Palabras clave: Paleoecología, Oligoelementos, Crecimiento, Fisiología animal, Análisis multivariante, Aguas, Sedimentos, *Melanopsis*.

ABSTRACT

The living freshwater gastropod *Melanopsis dufouri* (FERUSSAC) has two morphotypes. The study of chemical variation of trace-elements in this gastropod and its correlation with the environmental fluctuation are the aim of this paper. Due to the genus *Melanopsis* has an abundant fossil record during the Cenozoic, the results of the present work could be of paleoecological interest.

Trace-elements are embodied in the shell during growth. The shell of *M. dufouri* has accretionary growth. There are several examples cited on circadian accretionary growth in invertebrate shells. However, in the present case and as a first conclusion, the accretion rate depends on the size of the shell.

In a short-time field study (1 month) that has been carried out we are found some shells with circadian accretion. Chemical compositions of growth lines are generally not related to dialy

* Departament de Geologia. Universitat de València. 46100 Burjassot. València.

** Departament de Química Analítica. Universitat de València. 46100 Burjassot. València.

*** Instituto de Hidrología y Medio Natural. Universidad Politécnica de Valencia. 46071 Valencia.

fluctuations of environmental parameters. There are gastropods of this species more sensitive to these parameters than others. This fact could be due to genetic variability.

In a long-time field study (7 months) also carried out, the most significant environmental variation observed concerns to temperature in this period. The chemical composition of one of the two morphotypes is very sensitive to variations of environmental parameters. The other morphotype does not seem to be enough sensitive to environmental variation.

The possible circadian accretion rates in *M. dufouri* does not agree with many general results about accretionary growth of invertebrate shells. It should be interesting analyzing the reported cases of circadian rates in shells under the assumptions of this paper. Paleocological applications of our results are very difficult for fossil species of *Melanopsis*.

Key words: *Paleoecology, Trace elements, Growth, Animal physiology, Multivariate analysis, Waters, Sediments, Melanopsis.*

Introducción

El presente trabajo se sitúa en el marco de los problemas suscitados por la incorporación de elementos-traza en conchas y caparazones, y de la dependencia que tales procesos tienen con respecto a las fluctuaciones del medio. Desde el punto de vista paleontológico —paleoecológico, concretamente— esto tiene un gran interés, puesto que puede ser la vía que nos permita inferir características del medio a partir de datos suministrados por la composición química de los fósiles, siempre y cuando éstos no hayan estado sometidos a alteraciones diagenéticas en lo que se refiere a su mineralogía. El interés sobre este tipo de trabajos queda puesto de manifiesto en las obras de Valentine (1973), Rhoads y Lutz (1980), y Dodd y Stanton (1981). A pesar de las muchas investigaciones relacionadas con el tema, podemos decir que existen dos puntos de vista divergentes en cuanto al mismo: 1) la inclusión de oligoelementos en las conchas sería un proceso con fundamento biológico, y (2) tal proceso sólo necesitaría argumentos químicos y cristalográficos para su comprensión. No obstante, la proporción de oligoelementos es un rasgo fenotípico sobre el que opera la fisiología del organismo. Los aspectos fisiológicos están regidos genéticamente; lo que ocurre es que el control genético puede ser más o menos laxo, con lo cual, la acción ambiental sobre dichas características fisiológicas se manifestará en mayor o menor medida. En base a esto, podemos efectuar una clasificación de los principales factores controlantes de tales procesos (por ejemplo, Moberly, 1968; Schroeder, 1969; Amiel *et al.*, 1973; Weber, 1973; Eisma *et al.*, 1976; Buchardt y Fritz, 1978; Auernheimer, 1984; Schifano, 1984) que, de acuerdo con las posturas divergentes antes expuestas, es la siguiente:

A) Factores de naturaleza extrínseca (ambientales): a) disponibilidad de elementos en el medio; b) temperatura ambiente, y c) actividad iónica del medio.

B) Factores de naturaleza intrínseca (orgánicos): a) fisiología y nivel filético; b) mineralogía; c) centros de calcificación; d) el efecto de especie, y e) «stress» reproductivo.

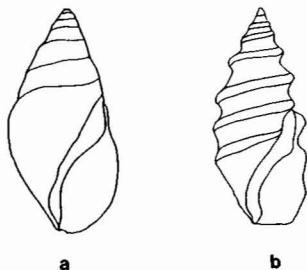


Fig. 1.—a) Morfotipo A de *Melanopsis dufouri* (FERUSSAC). b) Morfotipo B de *M. dufouri* (antiguamente, *M. tricarinata* (BRUGUIERE)).

El objetivo de este trabajo es un intento de arrojar algo de luz en toda esta problemática. Para ello vamos a estudiar las variaciones de oligoelementos en conchas aragoníticas de gasterópodos vivientes de agua dulce de la especie *Melanopsis dufouri* (FERUSSAC), y si éstas tienen que ver, o no, con la fluctuación de una serie de parámetros ambientales y, hasta que punto, el organismo o la simple mineralogía de la concha tienen capacidad para regular el proceso. La especie en cuestión posee dos morfotipos: el usado para definirla y el correspondiente a la antigua *Melanopsis tricarinata* (BRUGUIERE), que hoy es considerada sinónima de la primera. Ambos van a ser tratados por separado, por cuanto sus diferencias podrían extenderse también al modo de incorporar los oligoelementos. El abundante registro fósil del género *Melanopsis*, con materiales no diagenizados, podría permitir posteriormente, cuando menos, comparaciones en cuanto a pautas de distribución de proporciones de tales oligoelementos en la concha.

Las premisas del problema son las siguientes: la concha incorpora elementos químicos traza, presentes en el medio, a medida que va creciendo por acreción (esto último da lugar a una secuencia morfológica de líneas de crecimiento cuya tasa hay que averiguar). El animal vive en un medio acuático (ríos, acequias, lagunas, etc.), asociado muchas veces a un sedimento en el fondo del agua en que vive. En dicho medio acuático existen otros elementos cuya valencia es la misma que la del ión Ca^{++} y con un radio iónico semejante; en dichas condiciones pueden ocupar el lugar del Ca en la red del aragonito. Otros elementos pueden ser incorporados de maneras distintas (por ejemplo, Dodd, 1967; Schroeder, 1969; Amiel *et al.*, 1973; Eisma *et al.*, 1976).

El problema básico es saber qué parámetros del medio físico influyen, para la especie considerada, en las variaciones de la proporción de oligoelementos en la concha; para ello, en primer lugar, se considerará la variación en el agua —así como su presencia en el agua y en el sedimento— de dichos oligoelementos, para el período de tiempo en que observemos el crecimiento de la concha. En segundo lugar, se considerará la fluctuación de los parámetros físico-químicos del agua durante el mismo período de tiempo. Todo ello implica toma de muestras de agua y sedimento diaria o semanalmente, según el tipo de experiencia, en la estación objeto de estudio, así como un control de los demás parámetros físicos. Posteriormente, será necesario tomar, al final de la experiencia, una amplia muestra de ejemplares de *Melanopsis* con un incremento de concha reconocible y segregado durante ese período. Se han planeado dos tipos de observaciones: durante un corto lapso de tiempo y durante un período de varios meses. En ambos casos, se trata de saber si existe algún tipo de correlación entre las variaciones de la composición química de las conchas y las variaciones de los parámetros del medio.

Para el desarrollo de este trabajo, vamos, pues, a considerar tres apartados: 1) características básicas del crecimiento de las conchas; 2) estudio de las relaciones entre la composición química de las conchas de ejemplares marcados de *Melanopsis* y las características del medio, después de un corto período de tiempo en su propio hábitat, en estaciones diferentes y control diario de parámetros

físicos y químicos del agua, y 3) estudio de las relaciones entre la composición química de las conchas de ejemplares marcados de *Melanopsis* y las características del medio después de un largo período de tiempo en su propio hábitat, en estaciones diferentes y controles semanales de parámetros físicos y químicos del agua.

Materiales y su localización

La especie utilizada para nuestros estudios es *Melanopsis dufouri* (FERUSSAC), cuyo morfotipo definidor (que denominaremos morfotipo A de ahora en adelante) tiene una distribución circummediterránea. Aparte de este morfotipo, existe otro muy diferente, pero que hoy es considerado como perteneciente a la especie anterior —la antigua *Melanopsis tricarinata* (BRUGUIERE)—, autóctono en el Levante español (que, a partir de ahora, denominaremos morfotipo B). Ambos morfotipos, A y B, serán utilizados para nuestro trabajo (fig. 1).

Hemos hecho uso de los gasterópodos que aparecen en tres localidades distintas que, desde este momento, llamaremos estaciones: la estación de «La Cova», la de «Riba» y la de «San Vicente» (ver fig. 2). «La Cova» consiste en una pequeña porción de agua estancada del cauce del río Turia (unos 20 m.²) a su paso por Manises. El estancamiento está favorecido por la acumulación humana de rocas en ese lugar. Su profundidad media es de 20 cm., aunque puede llegar a los 50 cm. de profundidad. A ambos

lados e, incluso, en el propio cauce, se aprecia la vegetación típica de los ríos con escasa pendiente: juncos, cañas, chopos, etc. Las coordenadas geográficas de la estación son: 30°30'43" de latitud N y 0°29'20" de longitud W, con una altitud de 50 m. sobre el nivel del mar. El sentido de la corriente se dirige hacia el E.

Las estaciones de «Riba» y «San Vicente» son acequias, con períodos distintos de apertura y cierre de las mismas. «Riba» se halla en el término de Ribarroja. Es una acequia, cuyas paredes son de cemento, de 25 m. de longitud controlada, 1 m. de ancho y 1,2 m. de alto. Está alimentada por agua del río Turia. Sus coordenadas geográficas son 39°33'13" de latitud N y 0°33'54" de longitud W. La altitud es de 80 m. sobre el nivel del mar. El sentido de la corriente es hacia el SE. En los meses de demanda de agua de cierra en semanas alternas.

«San Vicente» también posee paredes de cemento y está próxima a Llíria. Tiene 100 m. de longitud controlada, 1,5 m. de ancho y 1 m. de alto. La alimenta el agua de la laguna de San Vicente, que procede de un pozo situado en Montes Blancos, unos 2 km. aguas arriba. Está situada a 39°38'59" de latitud N y 0°33'51" de longitud W. La altitud es de 200 m. sobre el nivel del mar y su corriente se dirige hacia el SW. Se cierra todas las noches en los meses de demanda de agua.

Si bien las localidades referidas poseen elementos nutrientes y algas, en «San Vicente» se dan situaciones atípicas (restos de animales y vegetales, restos de comida humana, papeles, trozos de tela, etc.), aunque los nutrientes propios de las otras dos estaciones son más bien escasos. El morfotipo B es exclusivo de las estaciones «La Cova» y «San Vicente». En cambio, en «Riba» se dan los morfotipos A y B, aunque con predominio del A y ejemplares intermedios entre ambos. El morfotipo B ha sido estudiado en las localidades en las que es exclusivo, mientras que el A ha sido tratado en «Riba».

Métodos y técnicas de estudio

a) *Métodos para el estudio del crecimiento.*—En primer lugar, se han preparado unas experiencias para conocer en qué medida controla la temperatura el crecimiento de la concha, puesto que observaciones previas nos habían puesto sobre esta pista. Para ello, han sido colocados en un acuario, cada vez, 60 individuos de varios tamaños procedentes de «La Cova» (morfotipo B). El acuario, entonces, se ha llevado a una cámara fría (4°C), dispuesta sobre una plataforma de madera con cuatro tubos fluorescentes tipo Grown Lux (dos a cada lado), de 15 W cada uno y a 15 cm. de las paredes del acuario. Los tubos fluorescentes han permanecido encendidos los quince días que ha durado cada una de las experiencias para evitar la muerte de las algas (con la posible muerte de los gasterópodos). El acuario se ha dotado de un aireador y un termostato para regular la temperatura. Las experiencias se han realizado a las siguientes temperaturas: 7-8°C, 10-11°C y 12-13°C.

Con el fin de contrastar la hipótesis del ritmo circadiano de la acreción, que nos permitiría poner en relación la secuencia de parámetros del agua medidos diariamente con la sucesión de composiciones para cada línea de crecimiento, hemos dispuesto dos acuarios: uno, sobre cuyas condiciones no ejercemos ningún control (acuario normal) y otro, en el que mantenemos la temperatura constante (acuario termostático). En cada acuario se ha puesto, simultáneamente, un conjunto de caracoles marcados (todos comienzan a crecer a partir de una señal conocida; ver Técnicas utilizadas). En el primero, la oscilación diaria de temperatura ha sido del orden de 3,9°C.±1,11°C., mientras que el segundo ha sido mantenido a 26°C.±1°C. Si cada día se produce una línea de crecimiento, cabe pensar que un caracol marcado y sacrificado al día siguiente, tendrá una línea de crecimiento reconocible más a partir de la marca. Un segundo caracol, sacrificado dos días después tendrá dos líneas de crecimiento más, y así sucesivamente.

Otra cuestión a comprobar es si los aspectos considerados (número de líneas de crecimiento y espesor espiral) dependen o

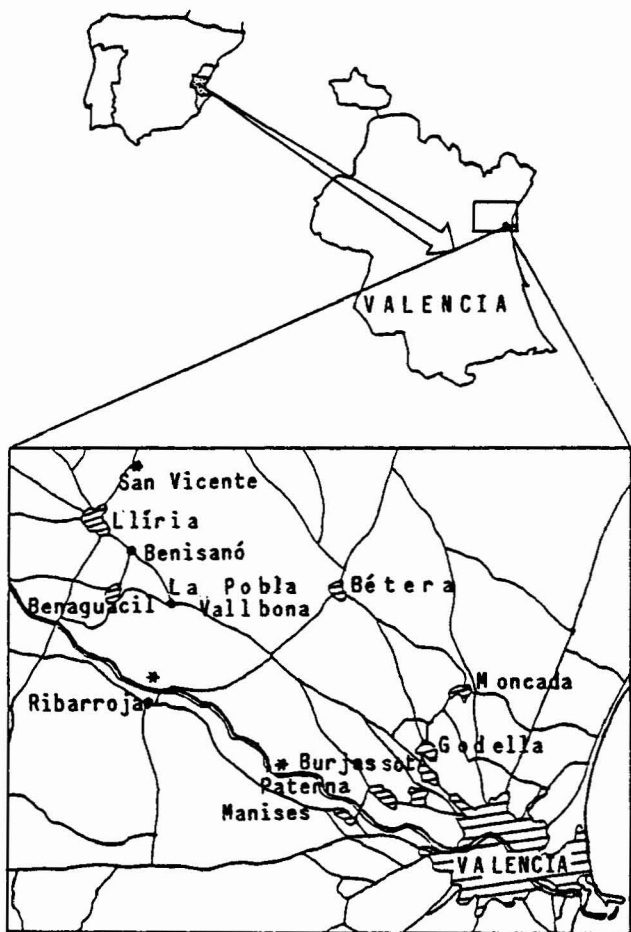


Fig. 2.—Mapa de las localidades de donde proceden los materiales del presente estudio.

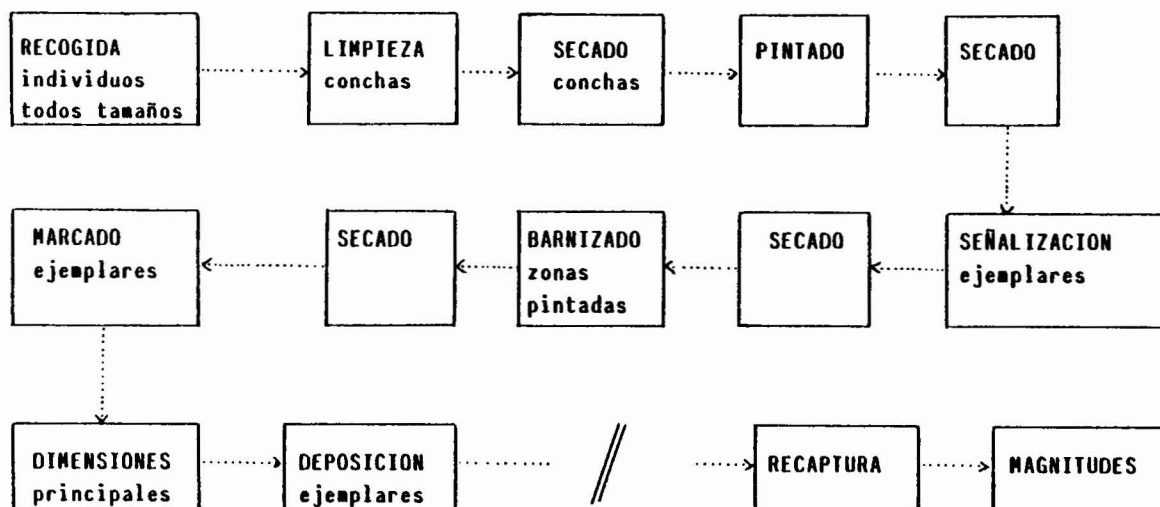


Fig. 3.—Proceso a seguir con los gasterópodos vivos antes de proceder al estudio microanalítico de la porción segregada en un período de tiempo concreto del crecimiento.

no de el tamaño que, para una misma población, sería función de la edad. Para verificar todo ello se ha hecho uso de una muestra amplia del morfotipo B, con formas jóvenes de pequeño tamaño a formas adultas de gran tamaño. Se depositaron dos submuestras de individuos marcados y señalados (ver *Técnicas utilizadas*), una en cada acuario el 4 de octubre de 1984, finalizando la experiencia el 5 de noviembre del mismo año. Durante 31 días se fue sacrificando un caracol de tamaño intermedio que, por experiencias previas, se había visto que tenían un crecimiento relativamente regular. Planteada así, esta experiencia ha servido, en primer lugar, para contrastar la hipótesis de ritmo circadiano de acreción; en segundo lugar, después de sacrificar todos los caracoles restantes (una muestra heterogénea de tallas) al final del experimento, para verificar si el crecimiento por acreción tiene alguna relación con el tamaño alcanzado por la concha (fig. 3).

b) *Métodos para el estudio de las relaciones entre la química de las conchas y la de su medio durante un corto período de tiempo y distintas estaciones.*—El 31 de julio de 1984, y en horas matinales, fueron depositados 508 ejemplares marcados y señalados, en «La Cova», y otros 209, en las mismas condiciones, en «Riba». La recuperación de ejemplares tuvo lugar el 24 de agosto. El motivo de la elección de esos dos meses es que la temperatura (ver el apartado de resultados en cuanto al crecimiento) supera el límite crítico, por encima del cual la concha es segregada con toda normalidad.

Para esta campaña, han sido medidas diariamente una serie de características físico-químicas del agua, así como también se han tomado muestras de agua, día a día, para determinar sus variaciones en composición química. Ello ha dado lugar a un total de veinte variables medidas diariamente en el agua. Al mismo tiempo, pensando que algunos de los elementos de las conchas no proceden del agua sino del sedimento, se ha procedido a un análisis químico del mismo para conocer su composición elemental.

Por último, al finalizar la campaña, se ha obtenido un conjunto de características biométricas de las conchas; las conchas que parecen presentar un ritmo de acreción circadiano han sido dispuestas para un microanálisis químico línea por línea de crecimiento (ver *Técnicas utilizadas*). Se trata de ver si existe alguna dependencia entre las fluctuaciones diarias de los parámetros del medio y las variaciones relativas de una línea de crecimiento a otra.

c) *Métodos para el estudio de las relaciones entre la química de las conchas y los aspectos físicos y químicos de su medio durante un largo período de tiempo y distintas estaciones.*—Se

trata de estudiar estas relaciones durante un período de siete meses. Las fluctuaciones mensuales de todos los parámetros del medio serán confrontadas con las fluctuaciones en composición de los espesores de concha segregados durante dicho período.

Las estaciones elegidas para dicha campaña han sido «Riba» y «San Vicente» («La Cova» hubo de desecharse, ya que por ausencia de agua, durante quince días, desapareció la población de *Melanopsis* allí ubicada).

El principal factor que aquí influye será la temperatura del agua; los gasterópodos estudiados no segregan concha por debajo de un determinado límite crítico (ver RESULTADOS, I). Por tal motivo, la campaña se inició a comienzos de marzo y se terminó a finales de septiembre de 1986.

Cada mes, y en horas matinales, se depositaron de 200 a 350 ejemplares del morfotipo A en «Riba» y de 300 a 500 del morfotipo B en «San Vicente» (ambos son los morfotipos propios de cada localidad, recogidos en ella para su marcado y señalización, y devueltos después de dichas operaciones) (la figura 3 continúa siendo válida en este sentido).

A fin de obtener las posibles relaciones, cada mes se ha medido, semanalmente, las siguientes características del agua: temperaturas de toma de muestra, máxima y mínima, salinidad, conductividad, oxígeno disuelto, pH, Na, K, Ca, Mg, Sr, Cl y alcalinidad, y se han obtenido los promedios mensuales de las mismas.

Con respecto a los doce oligoelementos presentes en las conchas de los gasterópodos, se ha procedido de la siguiente manera: en conchas de tamaño semejante se han hecho los contajes para cada oligoelemento en cada una de las líneas de crecimiento segregadas en cada mes. Cada elemento da lugar a un promedio para cada concha; todos esos promedios son, a su vez, promediados, de manera que cada uno de los doce oligoelementos tiene siete medidas promedio en toda la campaña (fig. 4). El análisis de las correlaciones entre tales promedios y los promedios de las características ambientales se hace, para cada estación (morfotipo), por separado.

d) *Técnicas utilizadas.*—Para el presente trabajo ha sido analizada la composición química del agua y el sedimento, y han sido medidos los parámetros físico-químicos del agua. En segundo lugar, se han medido magnitudes biométricas de la concha (para el análisis del crecimiento relacionado con la incorporación de oligoelementos) y ha sido determinada la presencia y proporción de oligoelementos en la concha siguiendo el crecimiento.

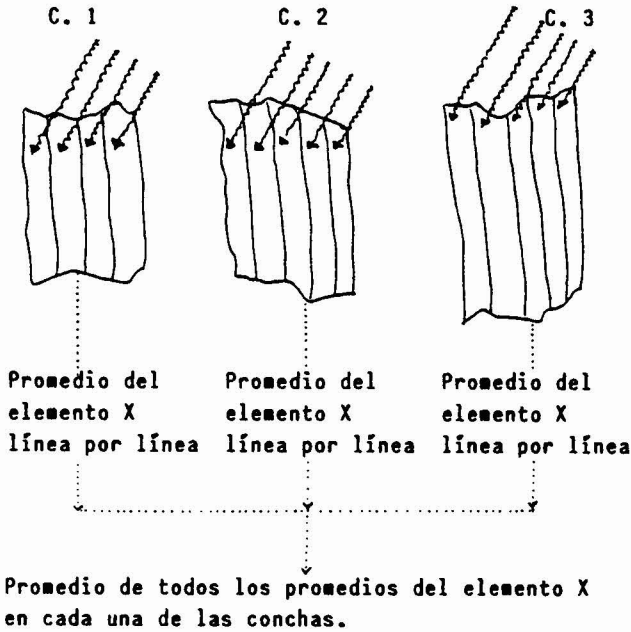


Fig. 4.—Esquema de la forma de promediar los datos obtenidos a partir de una muestra mensual de varios gasterópodos (química de las conchas y sus relaciones con el medio durante un largo período de tiempo).

Los datos tomados en las aguas incluyen las medidas de salinidad, conductividad, parámetros relacionados con la actividad biológica (pH, Eh, oxígeno disuelto y alcalinidad) y la temperatura en el momento de realizar tales medidas, que hemos denominado temperatura en la toma de muestra. Al mismo tiempo, se han determinado las temperaturas máxima y mínima correspondientes a cada día en que se toman los restantes datos. Los elementos

analizados en cada muestra de agua son los siguientes: Na, K, Ca, Mg, Sr y Cl, junto con los nutrientes NO_2 , NO_3 y P asimilable.

Los medios técnicos utilizados para la toma de datos son los siguientes: termómetro de máxima y mínima; salinómetro-conductímetro portátil Ysi (modelo 33), con electrodo específico acoplado; pH-metro portátil Radiometer (modelo PHM 80), con la correspondiente corrección de temperaturas para la ecuación de Nernst (se le acopla un electrodo con un sistema vidrio-referencia Ag/ClAg), y, por último, un oxímetro portátil Ysi (modelo 57), al que se inserta un electrodo específico acoplado a un agitador magnético para la renovación del flujo del agua.

En cuanto a la composición química del agua, se ha procedido a poner en marcha las siguientes técnicas: volumetrías para la determinación de cloruros, nitritos, nitratos y alcalinidad. Espectrofotometría, mediante un aparato Cecil (modelo CE-273), para determinar el fósforo soluble reactivo. Absorción atómica (AAS), por medio de un espectrofotómetro Perkin-Elmer (modelo 5000), equipado con lámparas de cátodo hueco monovalentes, para los análisis de Na, K, Ca, Mg y Sr.

En las conchas han sido determinadas las tres dimensiones principales: altura (H), anchura desde el borde del labro al punto opuesto de la concha (A), y la dimensión ortogonal a esta última (B) (fig. 5a), así como también se ha determinado el espesor espiral segregado (W) a partir de un momento dado y el número de líneas mayores de crecimiento (L) a él asociadas. A partir de las dimensiones principales se ha calculado una medida del tamaño de la concha definida por:

$$S=1/3 (1n H+1n A+1n B) \text{ (cf. Goldstein, 1979)}$$

Los elementos químicos que se han controlado, sistemáticamente, línea por línea de crecimiento, son los siguientes: Na, Mg, Al, Si, P, Sr, S, Cl, K, Ca, Ba y Ti. Otros elementos detectados esporádicamente y, por ello, no controlados sistemáticamente, son: Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu y Zn.

La determinación del espesor espiral, contaje de líneas de crecimiento y composición química línea por línea, a partir de un momento dado, requieren la fijación de un punto de partida. Muchos autores han resuelto este problema —para animales con crecimiento de la concha por acreción, como es el de nuestro caso— mediante una pequeña muesca en el borde de la concha, que es la última parte segregada (Bivalvos; Berry y Barker, 1975),

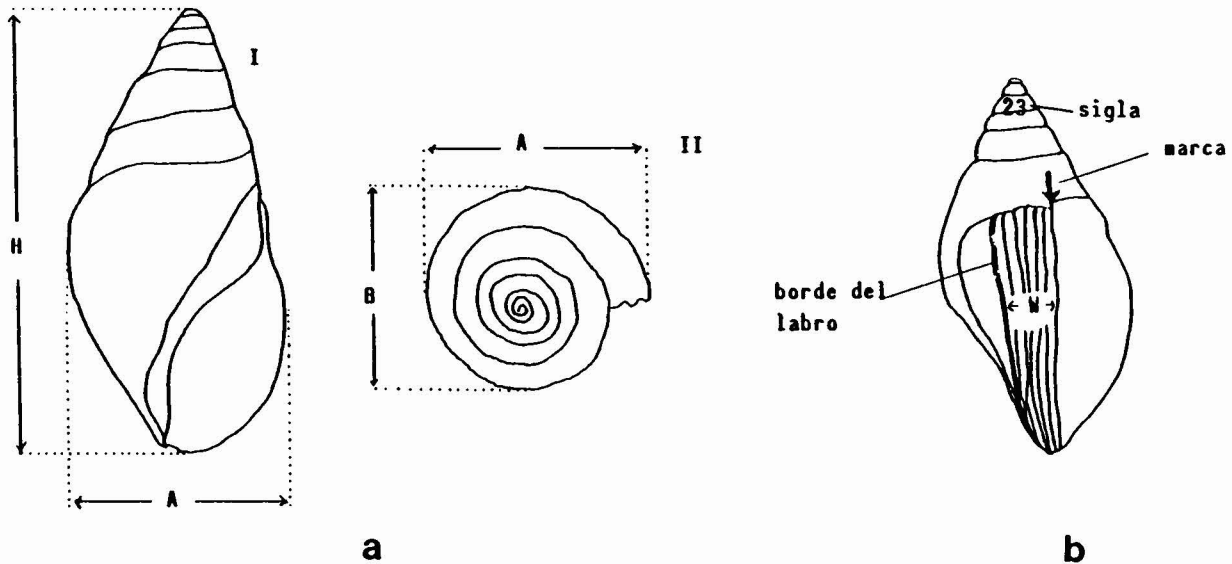


Fig. 5.—a) Medidas a tomar sobre la concha (H, A, B). b) Concha marcada mostrando el espesor espiral (W) segregado y las líneas de crecimiento a partir de la marca.

lo cual sería equivalente a efectuar la muesca en el labro del caracol. Después de numerosas pruebas, se ha visto que ello altera considerablemente el crecimiento de la concha, por lo menos para la especie considerada. Por tal motivo, se ha optado por hacer una incisión sobre la parte descubierta de la vuelta de espira anterior, que señale el punto de unión de dicha vuelta con el labro (fig. 5b); con ello queda constancia del punto de partir del cual comenzamos a observar el crecimiento, sin apenas perturbar al animal. Así, podemos contar el número de líneas de crecimiento y medir el espesor espiral para un período de tiempo concreto. Por otra parte, cada animal objeto de consideración ha sido identificado mediante una sigla, que permite diferenciar organismos de otras campañas realizadas en la misma estación (fig. 5b). La sigla se escribe con tinta china sobre una mancha de pintura puesta cerca del ápex del caracol, para impedir que el borde del manto entre en contacto con ella y el organismo sufra una intoxicación que perturbe su crecimiento o lo haga morir (Zischke *et al.*, 1970).

Para la toma de los datos biométricos en las conchas se ha usado el pie de rey (dimensiones principales de ejemplares medios y grandes) y un micrómetro en lupa binocular (dimensiones principales en ejemplares pequeños, espesor espiral y número de líneas de crecimiento). Para la observación de la microestructura se ha utilizado un microscopio petrográfico Zeiss y un microscopio electrónico de barrido Ysi (modelo DS-130).

El necesario conocimiento previo de la química de las conchas ha hecho precisos análisis globales de un conjunto de ellas. Ello ha sido realizado mediante la técnica de fluorescencia de rayos X (aparato Siemens, modelo SRS 200, con cristales LiF, PET y KAP), lo cual también ha sido puesto en marcha para determinar la composición química de los sedimentos.

Por último, uno de los aspectos químicos más interesantes —la composición química considerada para cada línea de crecimiento— ha requerido la utilización de técnicas microanalíticas basadas en energías dispersivas de rayos X (EDX), que comporta un detector consistente en un cristal único semiconductor (Si/Li) y un instrumento electrónico (analizador multicanal) Kevex (modelo 8000-II) unido a un ordenador.

La gran masa de datos numéricos generados por esta investigación ha requerido, para un correcto aprovechamiento de los mismos, del uso de modelos matemáticos deterministas y estadísticos. Los modelos deterministas han sido usados para el estudio del crecimiento, y se han ensayado tres:

$$\begin{aligned} Y &= a + bX \\ Y &= a e^{bx} \\ Y &= a X^b \end{aligned}$$

Los dos últimos han sido tratados en base a su transformación logarítmica:

$$\begin{aligned} \ln Y &= \ln a + bX \\ \ln Y &= \ln a + b \ln X \end{aligned}$$

Los modelos precisan contrastar hipótesis acerca de los coeficientes; en los tres casos, las hipótesis se refieren a modelos lineales (las transformaciones logarítmicas para los dos últimos modelos, los reducen al caso lineal) y ello, junto con la significación de la correlación, está ampliamente resuelto (cfr. Krumbain y Graybill, 1965; capítulo 10).

Muchas de las observaciones efectuadas sobre las muestras son de carácter multidimensional (varias variables en cada elemento de la muestra). Ello ha aconsejado el uso del análisis estadístico multivariante; concretamente, la modalidad conocida como análisis de componentes principales (cf. Cuadras, 1981). Para conseguir la normalización de los datos se ha hecho uso de la transformación logarítmica. Para evitar aplicarla a valores nulos —lo cual la invalida—, se ha hecho uso de la transformación $\ln(X+1)$ en vez de $\ln X$.

Los cálculos han sido llevados a cabo mediante un ordenador ZX Spectrum, un IBM PC y un IBM AT.

Resultados

Crecimiento de las conchas.—Las experiencias de control de crecimiento a distintas temperaturas han mostrado que, a partir de los 14-15°C, las conchas de los organismos crecen, siendo la temperatura óptima para dicho crecimiento la comprendida entre los 28°C y los 29°C.

Una vez reunidos los ejemplares pequeños, intermedios y grandes, se ha visto que la relación entre H y A es del tipo $H = aA^b$, con b no igual a 1 (nivel de significación del 5 por 100), con lo cual se deduce que el crecimiento, para ambas magnitudes, es alométrico.

En el acuario normal, durante 24 días, se ha sacrificado diariamente un caracol del conjunto; en el acuario termostático, lo mismo durante 28 días. Es obvio suponer que la variable de control más básica sería la edad del animal, pero ésta no la conocemos; por esto, tomaremos como primera variable de control el tamaño S, del cual dependerán W y L. La segunda variable de control será W, ya que sobre dicho espesor se reparte un cierto número de líneas de crecimiento L.

La relación entre el número de días D, que ha durado el crecimiento, y L, a partir de la forma de las nubes de puntos obtenidas, se ha pensado que es del tipo $L = aD^b$ (fig. 6a). Si el ritmo de acreción es circadiano, $L = D$; es decir, se han de plantear dos hipótesis acerca de los coeficientes: $\ln a = 0$ ($a = 1$) y $b = 1$. Tanto para los elementos del acuario normal como para los del termostático, la hipótesis no es aceptable (el nivel de significación es del 5 por 100).

Las relaciones entre S y L, y entre S y W, se ha podido constatar que son de carácter exponencial (ae^{bs}), con b negativo (fig. 6b, c). Es decir, que el número de líneas de crecimiento y el espesor espiral decrecen exponencialmente con el tamaño de la concha.

Si esto es así, al depender dos variables (L y W) de una tercera (S) según un modelo exponencial, tendremos que la relación entre L y W será del tipo $L = aW^b$ (fig. 6d) (cfr. Bertalanffy, 1968; traducción de 1976). Mediante la correspondiente prueba de significación, queda claro que b es significativamente distinto de 1 (nivel de significación del 5 por 100). En general, para las funciones que se han utilizado, se observan mejores ajustes para los organismos procedentes del acuario termostático.

La química de las conchas y las características del medio durante un corto período de tiempo y distintas estaciones.—En las aguas de ambas estaciones han sido detectados Na, K, Ca, Mg, Sr, Cl y P en disolución. En cada caso, las medidas diarias de parámetros físicos y químicos, así como de las muestras tomadas diariamente, presentan variaciones de un día para otro. Las otras trece variables diarias consideradas han sido, aparte de los siete elementos químicos

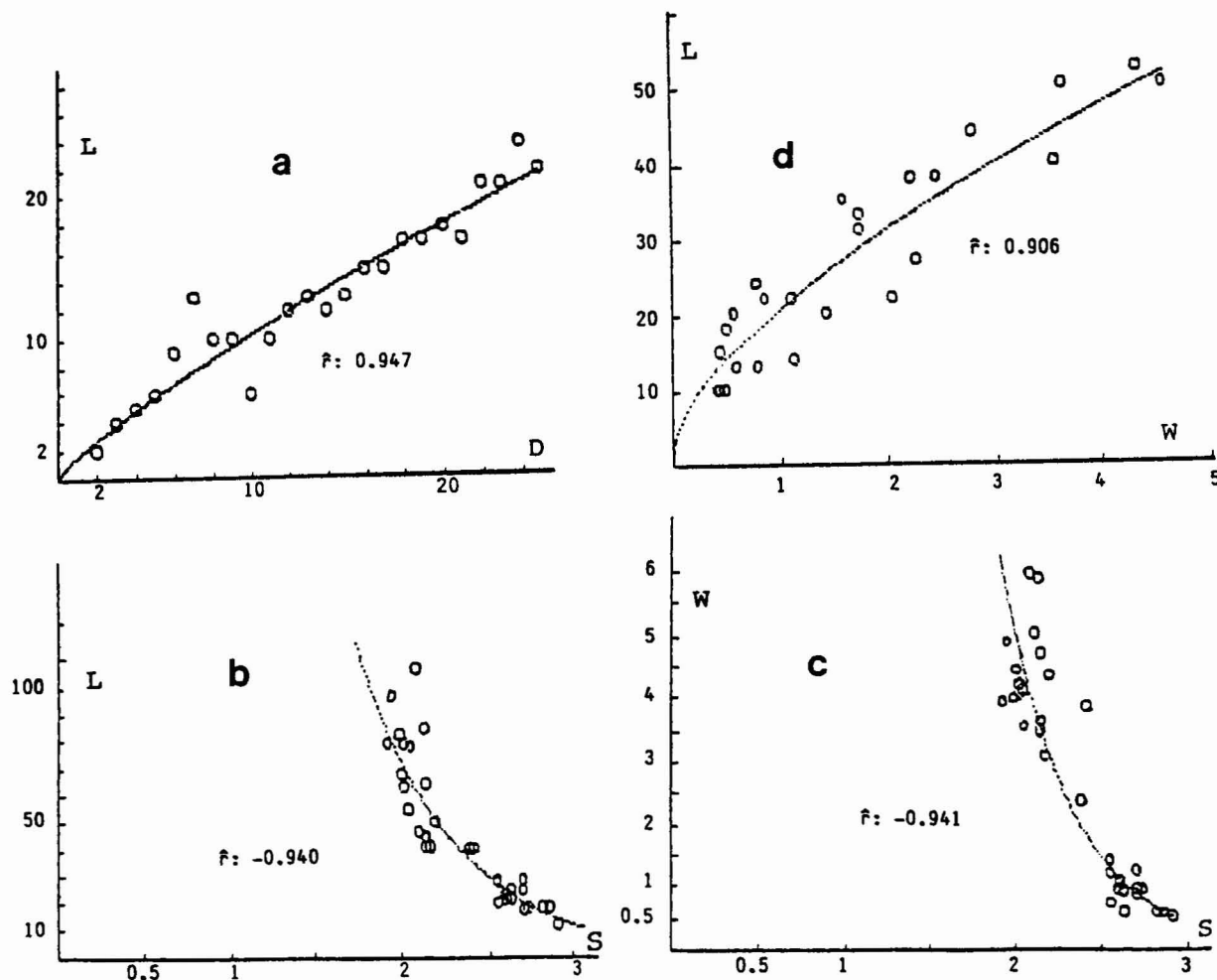


Fig. 6.—a) Relación entre número de líneas (L) y días (D) a temperatura ambiente. b) Relación entre número de líneas (L) y tamaño (S) en condiciones termostáticas. c) Relación entre el crecimiento espiral (W) y el tamaño (S) en condiciones termostáticas. d) Relación entre número de líneas (L) y espesor espiral (W) a temperatura ambiente. \hat{r} es la estimación de la correlación correspondiente a las transformaciones logarítmicas.

mencionados, las siguientes: oxígeno (OXI), saturación de oxígeno (SATOXI), conductividad (COND), pH (PH), Eh (REDOX), temperatura máxima (TMX), temperatura mínima (TMI), temperatura en la toma de muestra (TM), nitritos (NO₂), nitratos (NO₃), alcalinidad total (ALCT) y alcalinidad a la fenolftaleína (ALCF), dureza total (DT) y salinidad (SAL).

Ello ha proporcionado, para la estación de «La Cova», 25 muestras (tantas como días ha durado la campaña), con veinte medidas por muestra, y lo mismo para la estación de «Riba». Esta estructura multidimensional ha hecho aconsejable el análisis de componentes principales para las 25 muestras de cada estación, con la transformación $\ln(X+1)$ (ver más arriba). Las tablas 1 y 2 dan un resumen de las mismas.

La primera componente principal, para ambas estaciones, posee altos factores de carga para COND, Cl,

Na y K. En ambos casos explica un alto porcentaje de variabilidad (33,49 por 100 para «La Cova» y 28,12 por 100 para «Riba»). No obstante, para «La Cova», REDOX, OXI y SATOXI presentan factores de carga positivos importantes, lo cual no es así para la estación de «Riba».

La segunda componente principal de «La Cova» posee factores de carga positivos para las tres variables relacionadas con la temperatura (TMX, TMI y TM), lo cual difiere de la correspondiente de «Riba» que, en cambio, presenta altos factores de carga positivos para NO₂ y NO₃ (nutrientes), junto con REDOX. La segunda componente de «La Cova» también presenta factores de carga, significativamente distintos de cero, para las variables Cl, K y SAL, y ello no es así en la de «Riba». Ambas estaciones, no obstante, tienen en común —para esta componente— un elevado factor de carga en el PH, con signo negativo.

En cuanto al sedimento, han sido detectados los siguientes elementos químicos: Na, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Sr, Ba y Pb.

A continuación, se van a describir los resultados de los análisis químicos obtenidos para la parte de concha segregada durante el período de tiempo que ha durado la campaña. Como que se ha partido de la base de considerar sólo aquellos ejemplares que representan un número de líneas de crecimiento igual al número de días que ha durado la campaña, nada más que tres ejemplares en «La Cova» y cuatro en «Riba» cumplen esta condición, que es asumida como consecuencia del ritmo circadiano, al cual se aproximan las conchas cuando alcanzan un tamaño medio.

Cada uno de los gasterópodos representa un conjunto de 28 observaciones multivariantes para «La Cova» y 26 para «Riba» (tantas observaciones multivariantes como ha durado la campaña). Cada una de estas observaciones está formada por los contajes, mediante EDX, de doce elementos químicos, algunos de los cuales no están presentes en el agua, sino en el sedimento. Dichos elementos son: Ca, Na, Mg, Al, Si, P, Sr, S, Cl, K, Ba y Ti. Cada concha constituye, pues, una muestra de observaciones multivariantes y, como tal, será sometida, a su vez, a un análisis de componentes principales.

La primera componente principal de cada una de las siete conchas posee, para los siete casos, una estructura muy semejante, independiente de la localidad de procedencia (tabla 3). En todos los casos, el Ca

Tabla 1.—Factores de carga correspondientes a las variables originales en las cinco primeras componentes principales en la estación de «La Cova». C.1, C.2, C.3, C.4 y C.5 designan dichas componentes.

		C.1	C.2	C.3	C.4	C.5
Na	15	0,886	0,000	0,000	0,000	0,000
SATOXI	11	0,841	-0,392	0,000	0,000	0,000
OXI	10	0,823	-0,436	0,000	0,000	0,000
Cl	22	0,784	0,302	0,000	-0,382	0,000
COND	9	0,777	0,493	0,000	-0,264	0,000
Ca	17	0,720	0,293	0,000	0,381	0,000
NO2	25	-0,712	0,000	0,000	-0,449	0,000
NO3	26	0,634	-0,413	0,483	-0,252	0,000
PH	12	0,623	-0,579	0,000	0,361	0,000
DT	19	0,616	0,480	-0,359	0,308	0,000
K	16	0,538	0,359	0,000	-0,459	0,431
REDOX	14	0,523	0,000	-0,302	0,274	0,488
TM	5	0,000	0,780	0,460	0,000	0,000
Sr	20	0,000	0,750	0,000	0,000	0,267
TMX	6	0,000	0,699	0,371	0,000	0,000
Mg	18	0,000	0,698	-0,554	0,000	0,000
TMI	7	0,000	0,588	0,578	0,275	0,255
P	24	0,489	0,000	0,574	0,000	0,000
ALCT	23	0,000	0,423	0,000	0,579	-0,369
SAL	8	0,487	0,255	0,000	-0,411	-0,459
VP		6,699	4,456	1,983	1,838	1,199

Tabla 2.—Factores de carga correspondientes a las variables originales en las cinco primeras componentes principales en la estación de «Riba». C.1, C.2, C.3, C.4 y C.5 designan dichas componentes.

		C.1	C.2	C.3	C.4	C.5
COND	9	0,871	0,292	0,310	0,000	0,000
Cl	22	0,861	0,000	0,000	0,000	0,000
Na	15	0,857	0,000	0,411	0,000	0,000
ALCAF	23	-0,765	0,000	0,000	0,000	0,000
K	16	0,703	0,000	-0,258	-0,272	0,000
SAL	8	0,691	0,000	0,000	0,389	0,000
NO2	26	0,000	0,872	-0,359	0,000	0,000
P	25	0,000	0,742	-0,400	0,000	0,000
PH	12	-0,267	-0,738	0,300	0,000	0,000
ALCT	24	-0,594	0,690	0,000	0,000	0,000
Ca	17	-0,577	0,683	0,311	0,000	0,000
NO3	27	-0,357	0,656	-0,328	0,000	-0,377
DT	19	-0,463	0,644	0,506	0,000	0,269
Sr	20	0,474	0,641	0,569	0,000	0,000
REDOX	14	-0,250	0,528	0,339	0,359	-0,289
Mg	18	0,000	0,000	0,655	0,000	0,608
OXI	10	-0,506	0,000	0,549	0,514	0,000
TM	5	0,464	0,000	-0,358	0,713	0,000
TMX	6	0,000	0,000	0,000	0,701	0,311
TMI	7	0,000	0,000	-0,490	0,663	0,447
SATOXI	11	-0,477	0,000	0,527	0,562	0,000
VP		5,906	4,795	3,110	2,508	1,241

posee un factor de carga negativo, de alto valor absoluto (en general, el máximo, aunque no siempre). Los otros factores de carga, o bien son positivos, o son nulos. Además, Si, Mg, Al y Na contribuyen en mayor grado, con sus elevados factores de carga positivos, a las variaciones de esta componente. Sin embargo, las variaciones del elemento K no parecen tener relevancia para explicar la variabilidad de dicha primera componente principal.

La química de las conchas y las características del medio durante un largo período de tiempo y distintas estaciones.—Los resultados de los análisis semanales de aguas van a ser tratados, en conjunto, mediante un análisis de componentes principales. Para «San Vicente», la primera componente explica el 23,39 por 100 de la variabilidad total. Representa el antagonismo de dos grupos de variables, cuyos factores de carga poseen un elevado valor absoluto. El grupo con factores positivos es: TMI, TM y TMX, frente al grupo con factores negativos, PH y Na. En cambio, en la segunda componente principal, todos los factores de carga son positivos o nulos.

Para la estación de «Riba», la primera componente principal explica el 31,06 por 100 de la variabilidad total. También se da un antagonismo entre factores positivos y negativos, con elevados valores absolutos. Los positivos corresponden a Sr, Cl, SAL, Na, Mg, TMX y TMI, mientras que los negativos son ALCF

Tabla 3.—Análisis de componentes principales correspondiente a los microanálisis de 28 líneas de crecimiento segregadas en 28 días, para 12 elementos químicos, en la concha C325 de la estación de «La Cova». Hay tres componentes (C.1, C.2 y C.3) que explican la variabilidad observada.

		C.1	C.2	C.3
Ca	10	-0,942	0,000	0,000
Mg	2	0,937	0,000	0,000
Na	1	0,927	0,000	0,000
Si	4	0,894	0,000	0,000
Al	3	0,878	0,000	0,000
P	5	0,864	0,000	0,267
Sr	6	0,793	0,000	0,000
S	7	0,749	0,326	-0,403
Cl	8	0,597	0,000	0,429
Ba	11	0,513	0,000	0,000
Ti	12	0,351	0,695	-0,511
K	9	0,000	0,657	0,660
VP		6,890	1,254	1,181

Tabla 4.—Correlaciones entre los valores que toma diariamente la primera componente principal de los análisis de las aguas y los contajes, línea por línea, de seis de los elementos analizados. El signo * indica correlación significativamente distinta de cero para el 5 por 100.

	Na	Mg	Al	Si	Sr	Ca
C180	0,27	0,272	0,136	0,265	0,325	-0,332
C325	-0,192	-0,135	0,086	-0,23	-0,117	0,018
C399	0,276	0,471*	0,521*	0,364	0,237	-0,145
R13	-0,23	-0,305	-0,309	-0,347	-0,283	0,353
R25	-0,417*	-0,499*	-0,386	-0,419*	-0,297	0,455*
R38	0,575*	0,478*	0,408*	0,25	0,325	-0,284
R169	0,087	-0,024	0,083	0,185	0,027	0,007

y PH. La segunda componente principal sólo contiene factores positivos o nulos.

La confrontación de los promedios mensuales de los parámetros ambientales con los promedios de contajes mensuales en las conchas, para cada uno de los doce oligoelementos, ha mostrado algunas tendencias, puestas de manifiesto por correlaciones estadísticas significativas. La estación de «Riba» sólo exhibe, como estadísticamente significativa, la correlación negativa entre ALCT y Ti.

En «San Vicente» se observa que los elementos traza se incorporan en mayor proporción con el aumento de TMI (y, posiblemente, con TMX), mientras que ello es a la inversa cuando aumentan SAL, COND y OXI.

Discusión

El crecimiento.—Los análisis estadísticos muestran que, al no cumplirse la hipótesis L=D, el pretendido

crecimiento circadiano, para las conchas de estos gasterópodos, no tiene lugar. Una evidencia directa muestra que ejemplares muy pequeños generan un gran espesor espiral y un enorme número de líneas de crecimiento (L>>D), mientras que los ejemplares ya muy desarrollados dan lugar a espesores espirales casi despreciables y a un muy bajo número de líneas de crecimiento (L<<D). Entonces, la circadianidad, en este caso, es más bien una ilusión que se produce al observar ejemplares de tamaño medio que todavía están creciendo a un cierto ritmo, el cual, en bastantes casos, se aproxima al ritmo circadiano. El decrecimiento exponencial negativo para el número de líneas de crecimiento y el espesor espiral, ambos en relación con el tamaño, está de acuerdo con las mencionadas observaciones empíricas.

Es importante tener presente que las correlaciones, entre cualesquiera de las magnitudes, aumentan en el acuario termostático en relación con el acuario normal. Ello es lógico, ya que la fluctuación ambiental aleatoria incidirá sobre el crecimiento, por canalizado que esté, modificándolo, a su vez, al azar.

Relaciones entre la química de las conchas y las características del medio durante un corto período de tiempo y distintas estaciones.—Lo primero que hay que decir es que los análisis de componentes principales de las características del agua reflejarán diferencias ambientales difíciles de decidir a partir de los datos brutos. La primera componente principal, tanto para «La Cova», como para «Riba», cabe interpretarla como una representación de las variaciones de aquellos aspectos ligados a la salinidad (factores positivos altos asociados a COND, Cl, Na y K) en ambas estaciones. Al mismo tiempo, existen importantes fluctuaciones de la actividad biológica en «La Cova» (elevados factores positivos de carga asociados a REDOX, OXI y SATOXI); en cambio, ello no es así en «Riba».

La influencia de las variaciones de temperatura, aunque menor, se manifiesta en «La Cova» para la segunda componente principal; sin embargo, las variaciones de esta magnitud no influyen mucho en la explicación de la variabilidad total observada en «Riba». En esta última localidad sí que tienen importancia, para la segunda componente principal, las variaciones de NO2, NO3 y REDOX. Entonces, en el ambiente de «La Cova», las variaciones de actividad biológica y de temperatura serán las que lo distinguirán del ambiente de «Riba».

Si atendemos ahora a los análisis de componentes principales de las composiciones en oligoelementos de los gasterópodos estudiados (morfotipo B en «La Cova», y morfotipo A en «Riba»), nos damos cuenta que, en general, la primera componente principal explica un porcentaje muy elevado de variabilidad en las conchas de ambas localidades (y, por tanto, para ambos morfotipos). Su estructura (ver el capítulo

resultados) siempre presenta el Ca con un factor negativo de carga. Esto hay que interpretarlo desde la perspectiva de que es el elemento básico que integra la materia mineral de la concha; por tanto, toda fluctuación habrá de expresarse como pérdida relativa; por ese mismo motivo, los demás elementos serán, por lo general, integrados en la concha a expensas del Ca. Entonces, esta primera componente refleja las pérdidas del constituyente básico, Ca, frente a la ganancia en oligoelementos.

Sin embargo, aunque en la mayoría de los casos el factor de carga del Ca es el de mayor valor absoluto, ello no siempre es así. Esas excepciones podrían interpretarse como incorporación de oligoelementos no sólo en la parte mineral de la concha, sino también, en cierto grado, en la matriz orgánica. Ello va a ocurrir siempre, pero, en esos casos excepcionales, la incorporación en la matriz orgánica va a asumir una importancia relativa grande.

Otro aspecto a discutir es la presencia de Si y Al en la concha. El agua no los revela en disolución, pero sí que abundan en el sedimento (micelas de arcilla) y en el alimento (sobre todo, el Si, ya que las frústulas de diatomeas son frecuentes en el contenido del tubo digestivo). Los difractogramas, no obstante, no han puesto de manifiesto la presencia de ningún mineral distinto del aragonito en la concha. En otro orden de cosas, el K no contribuye apenas a la variabilidad total y si lo hace, es de una manera irrelevante, lo cual parece indicar una fuerte canalización genética para ambos morfotipos en la tría de este elemento.

Como se dijo, hay siete conchas (cuatro de «Riba» y tres de «La Cova») cuyo número de líneas se ajusta al número de días de la campaña. Han sido estudiadas las correlaciones entre los contajes para los elementos Na, Mg, Al, Si, Sr y Ca de cada línea, de una parte, y los valores que toma cada día la primera componente principal de los parámetros de las aguas, de otra (en el supuesto del ajuste de las líneas de crecimiento a los días indicados) (tabla 4). En general, parece haber independencia con respecto a dicha componente. Sólo en uno de los ejemplares («Riba»), la primera componente parece estar correlacionada negativamente (de modo significativo) con todos los oligoelementos, salvo para con el Al y el Sr (correlación no significativa); en cambio, con el Ca presenta correlación significativa positiva. No obstante, aunque claramente diferentes de cero, dichas correlaciones son muy bajas. Todo parece indicar que este organismo, en algún aspecto, sería sensible a los cambios de parámetros representados por las variaciones de la primera componente principal. Sin embargo, no se observa ninguna pauta general, fuera de lo que representa este caso individual.

Estos pocos resultados sólo muestran que existe variabilidad en cuanto a la incorporación de oligoele-

mentos en la concha en un intervalo estrecho de fluctuación ambiental. Cada uno de estos dos grupos de organismos está sumergido en un mismo ambiente, lo cual nos permite eliminar el factor ambiental como componente de la variabilidad en nuestra interpretación. Entonces, en un mismo grupo parece claro que existe una mayor o menor sensibilidad a los cambios ambientales en lo referente a la incorporación de oligoelementos en la concha (correlaciones significativamente distintas de cero a correlaciones no significativamente distintas de cero); tal variabilidad ha de ser de índole genética.

Relaciones entre la química de las conchas y las características del medio para un largo período de tiempo y distintas estaciones.—En primer lugar, trataremos de dar una interpretación de los análisis de componentes principales de las características de las aguas en «San Vicente» y en «Riba», a lo largo de los siete meses que ha durado el estudio. La primera componente de la estación «San Vicente» representa, fundamentalmente, la variación de las temperaturas, mientras que, más secundariamente, muestra el antagonismo entre los aspectos ligados a SAL, por una parte, y a PH, por otra (signos distintos para ambos grupos de atributos). En «Riba», las variaciones de SAL son las que poseen mayor relevancia y, secundariamente, existe un antagonismo entre temperaturas y PH.

La interpretación de las demás componentes principales haría demasiado prolijo este condensado resumen de discusiones; ello será tratado en otros trabajos más específicos en curso de preparación. Lo importante es ver que la primera componente principal muestra diferencias notables, a lo largo del tiempo, para ambos ambientes. Parte de lo dicho concuerda con lo ya observado en «Riba» durante un corto período de tiempo; en aquellas circunstancias, las variaciones de temperatura tampoco eran relevantes frente a las variaciones de otros parámetros del agua. El que la salinidad o la temperatura sean, alternativamente, las que contribuyan a la variabilidad total en un caso o en otro, se debe al régimen de cierre o apertura, en ambas acequias, y al mayor contenido de vertidos («Riba»), o al menor contenido de estos («San Vicente») (ver **materiales y su localización**).

En segundo lugar, vamos a discutir lo referente a la incorporación de oligoelementos en las conchas en relación con las características del agua durante estos siete meses. El número de promedios es bajo (tantos como meses), pero esta campaña es orientativa nada más, y ha arrojado algunos resultados interesantes que hay que interpretar. Según parece, para una gran mayoría de oligoelementos en «San Vicente» (morfotipo B), la incorporación de aquellos está directamente influida por el aumento de temperatura del agua, e inversamente por la salinidad o el contenido en oxígeno. Esto es válido para aquellos elementos que

más parecen contribuir a la variabilidad química observada, a partir de los análisis de componentes principales de secuencias de líneas de crecimiento en las conchas; esto es: Ca, Na, Mg, Al, Si y Sr. No obstante, la interpretación de estas correlaciones en base al metabolismo permanece oscura.

Sin embargo, el morfotipo A («Riba») no ha mostrado aparentemente sensibilidad ante esta variación a largo plazo. Desgraciadamente, no tenemos datos acerca del morfotipo B en otras localidades («La Cova») por las causas ya comentadas. La carencia de sensibilidad puede ser real (el organismo está independizado de las fluctuaciones ambientales en cuanto a la incorporación de oligoelementos) o ficticia (puede existir la tendencia, pero la gran variabilidad la oscurece en un conjunto de datos tan pequeño). Solamente campañas con intervalos más estrechos de muestreo de agua y conchas (con lo que aumentará el número de muestras y disminuirá el ruido de fondo producido por las perturbaciones inesperadas) podrán arrojar más luz sobre los problemas aquí discutidos.

Conclusiones

Las principales conclusiones de este trabajo se refieren al planteamiento inicial: el crecimiento de la concha y la incorporación de oligoelementos durante el crecimiento, en un período de tiempo corto o largo y en distintas estaciones.

En cuanto al crecimiento, las conclusiones se refieren al morfotipo B, pero son fácilmente extendibles al A. Existe un intervalo de temperatura crítica, por debajo del cual no se dan incrementos de acreción en la concha, y por encima de él, sí; es muy probable que sea así para ambos morfotipos. El intervalo crítico está comprendido entre los 14 y 15°C para el morfotipo B, pero no tenemos datos para el morfotipo A.

La acreción de líneas sucesivas no representa un ritmo circadiano, sino que es una función del tamaño y, éste último, para una misma población, es función de la edad de los organismos. La relación con la edad nos es desconocida; además, en cada población de una misma especie, esta relación dependerá de todo un conjunto de factores genéticos y ambientales, lo cual será un hándicap en el momento de tratar de obtener conclusiones paleoecológicas. El paleontólogo puede contar con tamaño y forma, pero no con tasas de crecimiento. Por esto mismo, muchos de los tratamientos aquí efectuados no se podrían llevar a cabo en Paleoecología, puesto que aquí hemos podido verificar que algunas de las conchas utilizadas sí que presentaban la acreción diaria de una línea de crecimiento, cosa que un paleontólogo no podría averiguar.

Queda claro que el agua, los sedimentos y el alimento aportarán los elementos traza que hallamos en las conchas. Los análisis han mostrado su presencia

en agua y sedimento. Sin embargo, si bien el sedimento contiene todos los elementos presentes en las conchas, en el agua parecen estar ausentes Si, Al, Ba y Ti.

Por otra parte, los análisis de componentes principales de las características de las aguas se han mostrado útiles instrumentos a la hora de caracterizar diferentes ambientes, cosa que a la vista de los datos brutos sería muy difícil de realizar, dadas las semejanzas aparentes entre ellos. De aquí que, para los análisis a corto plazo, «La Cova» y «Riba» revelan dos tipos de ambientes acuáticos distintos (remanso de río y acequia con circulación interrumpida cada semana, respectivamente), caracterizados por la importancia de la fluctuación de parámetros distintos en cada caso.

Las composiciones químicas de las secuencias de líneas de crecimiento en las conchas también han sido tratadas mediante análisis de componentes principales. Las variaciones en el contenido de Ca, por una parte, y de los otros oligoelementos, por otra, durante un corto período de tiempo, se pueden interpretar como pérdidas del elemento fundamental (Ca) frente a ganancia de oligoelementos que, algunas veces, son incorporados en mayor proporción en la matriz orgánica.

Los oligoelementos cuya fluctuación contribuye más a la variabilidad observada en las conchas son Mg, Si, Na y Al. No obstante, como ya se dijo, Si y Al no están en el agua. Tampoco hemos logrado saber si forman parte del contenido mineral de la concha o de compuestos organo-metálicos.

Tampoco parece haber pautas en cuanto a correlaciones entre el medio (representado por los valores diarios de la primera componente principal) y los contajes de oligoelementos en las secuencias de líneas de aquellas conchas que ajustan el número de líneas de crecimiento al número de días.

Por último, en la campaña llevada a cabo durante un período de tiempo de siete meses, el morfotipo B («San Vicente») ha mostrado correlaciones positivas para la incorporación de los oligoelementos, con la temperatura, y negativas con la salinidad y el contenido en oxígeno. Sin embargo, el morfotipo A («Riba») no ha manifestado ninguna correlación significativa, pero ello puede ser debido a elevada variabilidad y bajo número de datos.

Todo esto muestra que, al menos para esta especie de agua dulce —con antepasados muy afines, abundantes y no diagenizados durante el Cenozoico—, se hace muy difícil obtener datos ecológicos a partir de la concha. Las pautas son muy variables y las consecuencias paleoecológicas serían, pues, pobres (caso de encontrar esta misma especie fósil en terrenos relativamente modernos). Además, una posibilidad, considerada con ilusión desde hace unos años, parece quedar en entredicho: los tiempos absolutos de historias vitales registradas en los esqueletos con crecimiento por acreción. Se necesitaría una reconsideración de

aquellos casos que se han aportado como ejemplos claros. No necesariamente el número de líneas ha de depender, como aquí, del espesor espiral y del tamaño de la concha. Sin embargo, sí que es lógico que el espesor espiral segregado dependa del tamaño de la concha.

Una última conclusión que se obtiene es que la mayor parte de la bibliografía sobre estos temas sólo de generalizaciones empíricas acerca de los mismos, pero no parece haber hipótesis contrastables acerca de cómo se incorporan los oligoelementos en las conchas. Quizá un punto de partida más fructífero fuera este último, para una posterior aplicación a la Paleocología.

AGRADECIMIENTOS

Dada la complejidad del presente trabajo, éste no se habría podido realizar sin el concurso de muchas personas. Estas han sido: Dr. Miguel de la Guardia y Dr. Vicente Peris (Depto. Química Analítica); Dr. Eduardo Vicente, Dr. Sergi Ferrer, Dr. Manuel Serra y Sr. Juan Soria (Depto. de Microbiología y Ecología); Dr. Luis Franco y Dr. Joaquín Moreno (Depto. de Bioquímica). Todos ellos de la Universitat de València.

También damos nuestras más expresivas gracias al Dr. Adolf Travería (Inst. «Jaume Almera» del C.S.I.C. de Barcelona), al Dr. Ricardo Mora (Empresa INTASA de Alicante) y al Dr. Agustín Fontarnau (Universidad Politécnica de Valencia).

Referencias

- Amiel, A. J.; Friedman, G. M. y Miller, D. S. (1973). Distribution and nature of incorporation of trace elements in modern aragonitic corals. *Sedimentology*, 20, 47-64.
- Auernheimer, C.; Llavador, F. y Pina, J. A. (1984). Chemical minority elements in bivalve shells. A nature model (Mar Menor, Spain). *Arch. Sc. Genève*, 37, 317-331.
- Berry, W. B.N. y Barker, R. M. (1975). Growth increments in fossil and modern bivalves. In: *Growth rhythms and the history the earth's rotation* (G. D. Rosenberg y S. K. Runcorn, edit.). John Wiley & Sons. London, 9-25.
- Bertalanffy, L. (1968). *Teoría general de los sistemas* (traducción de 1976). Fondo de Cultura Económica. México, 311 págs.

- Brito, J. (1987). *Estudio de la incorporación, durante el crecimiento, de elementos traza en la concha de gasterópodos de agua dulce del género Melanopsis y posibilidades de aplicación de sus consecuencias en Paleocología*. Tesis doctoral, Universitat de Valencia, 423 págs.
- Buchardt, B. y Fritz, P. (1978). Strontium uptake in shell aragonite from the freshwater gastropod *Limnaea stagnalis*. *Science*, 199, 291-292.
- Cuadras, C. M. (1981). *Métodos de análisis multivariante*. Eunibar. Barcelona, 642 págs.
- Dodd, J. R. (1967). Magnesium and strontium in calcareous skeletons: A review. *J. Paleontol.*, 41, 1313-1329.
- Dodd, J. R. y Stanton, R. J., jr. (1981). *Paleoecology, concepts and applications*. John Wiley & Sons. New York, 559 págs.
- Eisma, D.; Mook, W. G. and Das, H. A. (1976). Shell characteristics, isotopic composition and trace-element contents of some euryhaline molluscs as indicators of salinity. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 19, 39-62.
- Goldstein, H. (1979). *The design and analysis of longitudinal studies*. Academic Press. London, 169 págs.
- Moberly, R., jr. (1968). Composition of magnesium calcite of algae and pelecypods by electron microprobe analysis. *Sedimentology*, 11, 61-82.
- Rhoads, D. C. y Lutz, R. A. (edit.) (1980). *Skeletal growth of aquatic organisms. Biological records of environmental change*. Plenum Press. New York, V.I. 750 págs.
- Schifano, G. (1984). Environmental, biological and mineralogical controls on strontium incorporation into skeletal carbonates in some intertidal gastropod species. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 46, 303-312.
- Schroeder, J. H. (1969). Experimental dissolution of calcium, magnesium and strontium from recent biogenic carbonates: a model of diagenesis. *Jour. Sediment. Petrol.*, 39, 1057-1073.
- Valentine, J. W. (1973). *Evolutionary paleoecology of the marine biosphere*. Prentice-Hall. New Jersey, 511 págs.
- Weber, J. N. (1973). Incorporation of strontium into reef coral skeletal carbonate. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 37, 2173-2190.
- Zischke, J. A.; Watabe, N. y Wilbur, K. H. (1970). Studies on shell formation: Measurement of growth in the gastropod *Ampullarius glaucus*. *Malacologia*, 10, 423-439.

Recibido el 28 de abril de 1988

Aceptado el 1 de diciembre de 1988