ANALISIS ESTADISTICO DE LAS COMUNIDADES ZOOPLANCTONICAS DE UNA CUBETA MEROMICTICA Y DE UNA LAGUNA ANOXICA DEL SISTEMA CARSTICO DE BANYOLES

M. Teresa ALFONSO, M. Rosa MIRACLE y Manuel SERRA

Departamento de Ecología. Facultad de Biología. Universidad de Valencia.
VALENCIA

Palabras clave: Asociaciones de zooplancton, aguas anóxicas, lagos meromícticos.

SUMMARY

STATISTICAL ANALYSIS OF THE ZOOPLANKTON COMMUNITIES IN A MEROMICTIC BASIN AND AN ANOXIC POND OF BANYOLES KARSTIC SYSTEM

Key words: zooplankton associations, anoxic waters, meromictic lakes.

A cluster analysis was performed with zooplankton density of populations data from the study of 263 samples from a meromictic basin of Banyoles lake and 83 samples from the anoxic sulfurous pond of Cisó, taken at different depths, during the years 1977-78. From the analysis of Banyoles four main groups of association were characterized consisting on: (1) the different species of copepods present in the lake permanently, (2) the species occurring in the chemocline, (3) the summer epilimnetic species and (4) the late summer species. From the analysis of Cisó three main groups were characterized on: (1) the more or less permanent species with summer maxima, (2) the species occurring in the oxygenation period of late summer of 1978 and (3) the species occurring in the oxygenation period of spring of 1977.

INTRODUCCION

Se ha puesto en evidencia la existencia de comunidades zooplanctónicas presentes en aguas microaerófilas y anóxicas (MIRACLE, 1977; MIRACLE y VICENTE, 1983). Con la intención de caracterizar las especies con mayor tendencia a presentarse en dichas condiciones se ha hecho un estudio estadístico de agrupamiento con los datos del zooplancton de una cubeta meromíctica (cubeta III) del lago de Banyoles, con un monimolínion anóxico a partir de los 18 m de profundidad y de una laguna muy cercana cuyas aguas son en su mayor parte anóxicas.

El lago de Banyoles está situado a unos 17 km de la ciudad de Gerona al noreste de España, la cubeta meromítica de dicho lago presenta una forma ovalada, con un área superficial de 7.5 Hm^2 y una profundidad correspondiente a la interfase agua-sedimento en suspensión que ha sido establecida en 25 m. Esta cubeta ha sido descrita en varias publicaciones, siendo las más específicas, aportando datos físico-químicos y bacteriológicos de las mismas fechas en las que se obtuvieron las densidades zooplanctónicas la de Guerrero, Abellà y Miracle (1978) y datos sobre el zooplancton en distintas fechas las de Miracle (1975, 1976).

La laguna del Cisó se encuentra a 200 m al oeste del lago de Banyoles, es una pequeña dolina de 0.046 Hm^2 de superficie, que en el año de estudio tenía 11 m de profundidad. Esta laguna está descrita en varias publicaciones, concretamente las descripciones correspondientes a las mismas fechas del presente estudio se pueden encontrar en Guerrero y Abellà (1978), Abellà, Montesinos y Guerrero (1980), Guerrero et al. (1980), Pedros-Alió, Abella y Guerrero (1984) y Alfonso y Miracle (en prensa).

MATERIAL Y METODOS

Para la cubeta III de Banyoles el período de muestreo quedó comprendido entre los meses de noviembre de 1976 hasta octubre de 1978; se recogieron muestras cada quince días en general, tomándose perfiles verticales a intervalos de 5 m hasta una profundidad de 24 m. En la laguna de Cisó, se hicieron 28 campañas de muestreo distribuidas más o menos regularmente durante los meses de enero de 1977 a septiembre de 1978; recogiendo muestras a intervalos de 5 m hasta una profundidad de 10 m. En ambos casos se obtuvieron muestras cuantitativas de zooplancton procedentes de la filtración (por una malla de $55 \mu\text{m}$ de poro) de 8 l de agua, recogida con una doble botella Van Dorn, siendo posteriormente contados los individuos de cada una de las especies con un microscopio invertido a 100x y 200x.

Se calculó una matriz de coeficientes de correlación entre las especies cuyas densidades de población se habían transformado logarítmicamente, y se estudiaron los grupos de asociación entre las diferentes especies, utilizando la técnica de agrupamiento conocida como "Cluster", mediante el método UPGMA (SNEATH y SOKAL, 1973) a partir de la mencionada matriz de correlación.

RESULTADOS Y DISCUSION

Un total de 263 muestras recogidas en la cubeta III de Banyoles fueron estudiadas, obteniéndose la variación en el perfil vertical y durante dos ciclos anuales, de las abundancias de las 8 especies de crustáceos y 25 de rotíferos identificadas en las mismas.

Las correlaciones entre estas especies, caracterizadas por la variación mencionada de sus densidades de población (densidades totales suma de los individuos de estadios tanto larvarios como juveniles y adultos) se muestran en la hemimatriz ordenada por un análisis cluster de la figura 1. Las correlaciones son más fuertes entre las especies cuya presencia se reduce a una estación o período determinado, mientras que son variables en magnitud y signo en las perennes o entre las que aparecen en varias estaciones. Las especies que presentan correlaciones bajas con todas las

Fig. 1.- Hemimatriz de correlación sombreada, ordenada mediante un análisis cluster que representa los diferentes grupos de especies del zooplancton más correlacionadas entre sí, de la cubeta III de Banyoles.-Shaded correlation semimatrix, after rearrangement by cluster analysis, representing the different groups of zooplankton species, in the Banyoles lake meromictic basin.

demás han quedado situadas en la parte baja de la hemimatriz y son especies de presencia esporádica o accidental. Para facilitar la caracterización de los grupos de especies asociadas se ha efectuado el dendrograma de correlaciones (figura 2), en la que puede observarse los siguientes grupos de especies:

(1) Grupo I: Especies de otoño-primavera, que aparecen en períodos de mezcla y de invierno, siendo la más característica Synchaeta pectinata.

(2) Grupo II: Especies perennes cuya mayor abundancia se produce en primavera-verano. Este grupo está formado por las cuatro especies de copépodos presentes en el lago. Estos copépodos, forman un grupo bien definido y correlacionado, representando una abundancia bastante constante a lo largo del tiempo. Las especies Tropocyclops prasinus y Diacyclops bicuspidatus evitarían su competencia mediante una distribución vertical diferente; T. prasinus en superficie y D. bicuspidatus más profundamente. Por ello, D. bicuspidatus presenta correlaciones altas con el grupo de especies (III) característico de la quimioclina, es decir de niveles profundos.

Arctodiaptomus salinus y Cyclops abyssorum presentan una correlación bastante alta. La correspondencia espacio-temporal de estas especies ya se observó en el estudio del ciclo anual de 1970 realizado por Miracle (1976), en el cual se atribuye dicha correspondencia a una predación de C. abyssorum sobre A. salinus.

Todas las especies del grupo presentan correlaciones bastantes altas con las del grupo III debido a que los muestreos se efectuaban a mediodía, hora en que los copépodos se encuentran en capas más profundas y a que la mayor parte de los individuos son nauplios con tendencia a situarse en capas más profundas que los adultos.

(3) Grupo III: Especies con tendencia a situarse en la quimioclina en condiciones microaerófilas o prácticamente anóxicas. Muchas de estas especies presentan una distribución bimodal cada año, con un máximo en primavera en todo el perfil vertical y otro en verano en la quimioclina. Los géneros Keratella - Anuraeopsis no presentaron idéntica distribución en los años estudiados. Así por ejemplo, Anuraeopsis fissa y Keratella quadrata apenas estuvieron representadas en 1978. Sin embargo, si que lo estuvo Keratella cochlearis, mostrando característicamente aquella distribución bimodal. Por otra parte, los géneros Polyarthra y Filinia tienen una distribución temporal más amplia con clara tendencia a situarse en profundidad, no disminuyendo su abundancia durante los años estudiados.

(4) Grupo IV: Especies epilimnéticas de verano. Las especies del género Hexarthra presentan una correlación algo alta entre ellas, sin embargo evitan la competencia mediante una separación espacio-temporal, mientras que Hexarthra fennica encuentra su máximo cercano a la superficie, Hexarthra mira desplaza el suyo a capas más profundas cuando está presente Hexarthra fennica.

Fig. 2.- Dendrograma que representa los diferentes grupos de asociación de las especies del zooplankton resultantes de un análisis cluster, basado en los coeficientes de correlación sobre sus densidades poblacionales en la cubeta III de Banyoles.-Dendrogram representing the different association groups of the zooplankton species, based of correlation coefficients on their population densities, in Banyoles lake meromictic basin.

(5) Grupo V: Especies estivales tardías. Formado por los cladóceros, y algunas especies de rotíferos. *Diaphanosoma brachyurum* presenta un marcado máximo a finales de verano y no coincide mucho con la distribución de *Daphnia longispina* con tendencia a presentarse más equinocialmente. Los demás cladóceros no se encuentran de forma establecida en el plancton, por lo que suelen aparecer sólo cuando la cantidad de alimento disponible es grande, siendo principalmente litoral-bentónicas. *Trichocerca similis* es una especie con un máximo claro a finales de verano pero muy dependiente de los años. *Kellicottia longispina* es una especie que presentó su máximo en primavera de 1978. Sin embargo, también presenta pequeños máximos al final del verano.

Por otra parte, hay una serie de especies que no han sido incluidas dentro de ningún grupo de asociación, en general por ser especies de origen bentónico, poco significativas en el plancton.

En la laguna del Cisó se recogieron 83 muestras, con las que se describió la variación estacional y el perfil vertical de las especies del zooplancton encontradas, 2 crustáceos y 23 rotíferos, en un artículo anterior (ALFONSO y MIRACLE, en prensa). En esta laguna el oxígeno disuelto tiene una distribución muy limitada, en general hay un ambiente anóxico a lo largo de todo el año, pero cuando se empieza a iniciar la estratificación térmica se puede formar una zona aeróbica superficial que permite la aparición de organismos planctónicos. La estratificación fue diferente según los años estudiados, de modo que en 1977 se produjo una zona aerobia hasta los 2 m de profundidad durante marzo-agosto, con un máximo de organismos planctónicos en mayo, mientras que en el año 1978 se retrasó este período de oxigenación comenzando a mediados de abril, lo cual retrasó la aparición de organismos más planctónicos en la laguna cuyo máximo tuvo lugar en agosto.

Las correlaciones entre las especies de esta laguna se muestran en la hemimatriz ordenada por un análisis cluster (figura 3) y los grupos de especies asociadas se observan en la figura 4 al igual que se ha hecho para la cubeta III, obteniéndose en este caso los siguientes grupos:

Fig. 3.- Hemimatriz de correlación sombreada ordenada mediante un análisis cluster que representa los diferentes grupos de especies del zooplancton más correlacionadas entre sí, en la laguna de Cisó.-Shaded correlation semimatrix, after rearrangement by cluster analysis, representing the different groups of zooplankton species, in Cisó pond.

(1) Grupo I: Especies establecidas con máximo estival. Estas especies de carácter bentónico son las que se encuentran mejor adaptadas al tipo de ambiente de la laguna de Cisó, resistiendo concentraciones de sulfhídrico superiores a 100 mg/l.

(2) Grupo II: Especies que aparecieron en el segundo período de oxigenación. Estas especies en parte constituyen la composición de la comunidad durante el segundo período de oxigenación estudiado (agosto de 1978). Destacamos la presencia de *K. longispina* y *D. brachyurum*; también estuvo presente en esta época *Thermocyclops dybowskii* pero en escaso número, por ello y debido a que su máximo se dio en primavera de 1977 ha resultado asociada con el Grupo IV.

(3) Grupo III: Especies colonizadoras de primavera con poca densidad. Las fuertes correlaciones que aparecen entre las especies de este grupo son debidas al bajo porcentaje de ocurrencia y frecuencia de las mismas. Todas ellas presentaron una aparición esporádica de pocos individuos en el período de oxigenación del año 1977.

(4) Grupo IV: Especies de primavera correspondientes a la primera oxigenación de la laguna. Este grupo de especies apareció en primavera,

Fig. 4.- Dendrograma que representa los diferentes grupos de asociación de las especies del zooplancton resultantes de un análisis cluster, basado en los coeficientes de correlación sobre sus densidades poblacionales, en la laguna del Cisó.-Dendrogram representing the different association groups of the zooplankton species based of correlation coefficients on their population densities, in Cisó pond.

debido a la aireación de las capas superiores al inicio de la estratificación, esto sucedió durante mayo de 1977, siendo principalmente abundantes las especies A. fissa y de una forma especial T. dybowskii que alcanzó un elevado número de individuos. Al año siguiente el período de oxigenación no se produjo hasta agosto y la composición zooplanctónica varió notablemente. Las especies Polyarthra vulgaris y H. mira no fueron muy significativas en el plancton de Cisó pero aparecieron cuando se dió el máximo de T. dybowskii.

(5) Grupo V: Especies bentónicas de máximo primaveral. Este grupo se compone de los rotíferos Mytilina crassipes, de varias especies de Bdelloidea y de algunos ciliados pertenecientes a la familia Euplotidae. Estas especies son típicas de los niveles profundos, estando adaptadas a las peculiares características de la laguna.

CONCLUSIONES

El análisis estadístico pone de manifiesto la existencia de grupos de asociación de especies que corresponden a comunidades establecidas en los diversos ambientes espacio-temporales. En la cubeta III de Banyoles, cabe destacar las asociaciones entre: (1) copépodos (Grupo II), (2) especies presentes en la interfase o quimioclina (Grupo III), (3) especies epilimnéticas de verano (Grupo IV) y (4) especies estivales tardías (Grupo V).

Los principales grupos resultantes del análisis estadístico de las muestras del Cisó fueron: (1) la asociación de las especies establecidas o más o menos constantes en la laguna con máximo estival (Grupo I), (2) especies que aparecieron en el segundo período de oxigenación (Grupo II) y (3) especies de primavera correspondientes a la primera oxigenación de la laguna (Grupo IV).

Aunque los dos ambientes se encuentran muy cerca uno de otro y aunque la cubeta III tiene un fondo anóxico, la composición específica del zooplancton es muy diferente, favoreciéndose en las aguas anóxicas del Cisó especies bentónicas como Mytilina crassipes, Colurella salina, Mytilina compressa y bdelloides.

En cambio en Banyoles prácticamente todas las especies que se desarrollan alrededor de la oxiclina son planctónicas. Algunas de ellas aparecieron también en el Cisó pero sólo durante los períodos de oxigenación, unas en superficie como Anuraeopsis, Polyarthra y otras en profundidad y condiciones anóxicas como Kellicottia y Filinia.

Algunos otros rotíferos y el cladócono Diaphanosoma, abundantes en Banyoles, también se encontraron en el Cisó en superficie durante los períodos de oxigenación, no apareciendo ninguno de los copépodos de Banyoles, siendo éstos sustituidos por T. dybowskii.

BIBLIOGRAFIA

- ABELLA, C., MONTESINOS, E. y GUERRERO, R. 1980. Field studies on the competition between purple and green sulfur bacteria for available light (Lake Sisó, Spain). Developments in Hydrobiology, 3:173-181.
- ALFONSO, M.T. y MIRACLE, M.R. Variación temporal de las poblaciones zooplanctónicas de la laguna anóxica del Cisó (Gerona). Limnetica, 3: en prensa.

- GUERRERO, R. y ABELLA C. 1978. Dinámica espaciotemporal de las poblaciones bacterianas fotosintéticas en una laguna anaerobia de aguas sulfurosas. Oecologia aquatica, 3:193-205.
- GUERRERO, R., ABELLA, C. y MIRACLE, M.R. 1978. Spatial and temporal distribution of bacteria in a meromictic karstic lake basin: relationships with physicochemical parameters and zooplankton. Verh. Internat. Verein. Limnol., 20:2264-2271.
- GUERRERO, R., MONTESINOS, E., ESTEVE, I. y ABELLA C. 1980. Physiological adaptation and growth of purple and green sulfur bacteria in a meromictic lake (Vila) as compared to a holomictic lake (Siso). Developments in Hydrobiology, 3:161-171.
- MIRACLE, M.R. 1975. Segregation of zooplankton populations in several depressions within one lake basin. Verh. Internat. Verein. Limnol., 19:1140-1149.
- MIRACLE, M.R. 1976. Distribución en el espacio y en el tiempo de las especies del zooplancton del lago Banyoles. Icona Monografias Min. Agric., 5:1-270.
- MIRACLE, M.R. 1977. Migration, patchiness and distribution in time and space of planktonic rotifers. Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol., 8:19-37.
- MIRACLE, M.R. y VICENTE, E. 1983. Vertical distribution and rotifer concentrations in the chemocline of meromictic lakes. Hydrobiologia, 104:259-267.
- PEDROS-ALIO, C., ABELLA, C. y GUERRERO R. 1984. Influence of solar radiation, water flux and competition on biomass of phototrophic bacteria in Lake Cisó, Spain. Verh. Internat. Verein. Limnol., 22:1097-1101.
- SNEATH, P.H.A. y SOKAL, R.R. 1973. Numerical Taxonomy. Ed. W.H. Freeman. San Francisco: 573 pp.