Características limnológicas del embalse de Cúber (Mallorca)

Gabriel Moya¹ y Guillermo Ramón²

¹ Depto. de Biología. Facultad de Ciencias. Universidad de Palma de Mallorca.

² Dpto. de Microbiología. Facultad de Ciencias. Universidad de Palma de Mallorca

SUMMARY

LIMNOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE CUBER RESERVOIR (MALLORCA)

Cúber is a freshwater reservoir located in the middle of Sierra de Tramuntana in Majorca. It is a small and very affected by special climatic factors because of its location.

Its waters are very mineralized and present an unique annual period of thermal stratification during the summer. It has a very low concentration of oxygen in the hypolimnion and above saturation in the metalimnion. The level of eutrophy is low, according to the low concentrations of the fundamental nutrients, nitrogen and phosphorus. A great proliferation of phytoplankton, mainly of little green algae, is characteristic in spring. Likewise a clear annual succession of the phytoplankton communities is observed.

INTRODUCCION

La construcción del embalse de Cúber, incluido dentro del programa de aprovechamiento de las aguas superficiales para ampliación del abastecimiento a la ciudad de Palma de Mallorca, fue iniciada en abril de 1970 y su entrada en servicio tuvo lugar en el año 1972 (SERVICIO HIDRAULICO DE BALEARES, 1973).

El embalse se halla ubicado en la porción central de la Serra de Tramuntana de Mallorca, en el término municipal de Escorca, próximo a la carretera C-170 y entre sus kilómetros 34 y 35. Esta es la zona de mayor pluviosidad de la isla, con valores medios del

orden de los 1.300 litros por metro cuadrado y año, al tiempo que ocupa un valle entre montañas fuertemente afectado por los vientos que soplan según la dirección del mismo. Su situación geográfica, tomando como referencia la presa, es de 39° 47' N y 2° 48' E de Greenwich, con una orientación NW-SE de la perpendicular a la presa.

El embalse de Cúber (fig. 1) tiene una forma irregular, casi triangular, con un fondo prácticamente plano y una altura máxima posible de la columna de agua de 17,30 metros (747,30 m. altitud). Cabe destacar las reducidas dimensiones del embalse, de 59,30 Ha y 4,60 Hm³ como máximo. Ello, unido a las particulares

Las entradas de agua, procedentes de la propia cuenca del embalse, a través de dos torrentes y una serie de pequeñas fuentes (fig. 1) son reducidas y esporádicas. El suministro más regular e importante proviene del embalse del Gorg Blau, situado a unos 3 kilómetros del de Cúber en dirección NE, siendo las aguas transvasadas mediante elevación por bombeo y posterior descenso gravitacional a través de un canal de 5,5 kilómetros de longitud. Esta situación en cadena de los dos embalses confiere un mayor interés al estudio de los mismos (MARGALEF *et. al.*, 1976).

MATERIAL Y METODOS

El embalse fue visitado desde marzo de 1976 a octubre de 1978, con una periodicidad mensual y en cada una de las visitas se procedió a la determinación de la transpa-

Figura 3. Evolución espacio-temporal del tanto por ciento de saturación de oxígeno.

rencia del agua; se elaboró un perfil térmico y se tomaron muestras de diferentes profundidades en las dos estaciones establecidas en el embalse (fig. 1).

Las muestras de agua, obtenidas mediante una botella Hydro-Bios de 5 litros de capacidad, fueron utilizadas para una serie de determinaciones químicas y biológicas. Algunas de ellas se realizaron sobre fracciones específicas; el resto sobre un volumen variable --normalmente 2,5 litros-- de la muestra, que se filtraba a las 2-3 horas de su obtención y se conservaba en frascos de plástico químicamente neutros (SARACENI & RUGGIU, 1974) con unas gotas de cloroformo (ABERG & RODHE, 1942). Los análisis químicos fueron realizados en el laboratorio dentro de las 24 horas siguientes a la toma de la muestra.

Los métodos utilizados para la determinación de los parámetros que se consideran a continuación, fueron los siguientes: Temperatura (Termistor); Oxígeno y Nitratos y Nitritos (STRICKLAND & PARSONS, 1972); Alcalinidad (GOLTERMAN & CLYMO, 1969); Amonio (KOROLEFF,

1970); Fósforo soluble y reactivo (MURPHY & RILEY, 1962); Clorofila "a" (TALLING, 1974); Recuento del fitoplancton (LUND *et al.*, 1958); Diversidad biótica (SHANNON & WEAVER, 1963). Las modificaciones y particularidades seguidas en cada uno de los métodos; así como las técnicas específicas de tratamiento y conservación, aparecen recogidas en MOYA (1981).

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos en las dos estaciones de muestreo son básicamente comparables con pequeñas diferencias en algunos momentos, atribuibles al efecto ejercido por la presa sobre la estación situada cerca de la misma. Por esta razón, los resultados que se comentan son esencialmente los correspondientes a la estación E2, localizada en la zona central del embalse (fig. 1). La representación gráfica de los resultados se ha realizado mayoritariamente mediante isople-
tas para los valores obtenidos a las diferentes profundidades. El nivel de 0 metros corres-

Figura 4. Distribución de la alcalinidad (meq/l) en función del tiempo y la profundidad.

ponde a la cota máxima posible del embalse; es decir, a la cota de 747,30 metros medidos sobre el nivel del mar.

ESTRATIFICACION

La temperatura media de las aguas del embalse a lo largo del año se mantiene próxima al valor correspondiente a la temperatura ambiental, alrededor de los 12°C. Los valores mínimos más frecuentes se registran en los primeros meses del año, situándose entre 8°C y 10°C; mientras los valores máximos corresponden a los meses de verano con registros entre los 20°C y los 22°C.

El comportamiento térmico del embalse a lo largo del ciclo anual (fig. 2) se caracteriza por la existencia de dos períodos claramente diferenciados. En los meses comprendidos entre el otoño y la primera mitad de la primavera, la temperatura del agua permanece constante en todo el perfil. El resto de la primavera y los meses de verano las aguas presentan diferencias de temperatura entre

los niveles superiores y profundos, con una estratificación más o menos marcada. Todo ello nos permite concluir que el embalse de Cúber se comporta como un lago del tipo monomítico cálido (HUTCHINSON, 1957).

La concentración de oxígeno disuelto sigue, en líneas generales, un comportamiento paralelo al de la temperatura. Los valores máximos se sitúan alrededor de los 8ml/l. A pesar de la reducción en la concentración de oxígeno, registrada en el hipolimnion durante los meses de verano, no se alcanza la anoxia. El porcentaje de saturación de oxígeno (fig. 3) muestra valores superiores al 100% especialmente en los niveles superiores en la época de estratificación debidos, en su mayor parte, a la acción fotosintética (WETZEL, 1975).

MINERALIZACION

Los valores de la alcalinidad, utilizada como una medida del grado de mineralización del agua (MARGALEF, 1976), oscilan

entre 1,15 meq/l y 3,17 meq/l (fig. 4). Su evolución sigue los procesos de estratificación térmica, destacando los valores mínimos en el epilimnion en verano, como consecuencia de precipitación del carbonato cálcico; y el aumento paralelo en las proximidades del fondo, debido a fenómenos de redisolución.

Los resultados de la alcalinidad, junto con los correspondientes a otras variables relacionadas con el grado de mineralización, nos permiten concluir que se trata de una masa de agua con una reserva alcalina alta, con un pH ligeramente básico (7,2 a 8,5) siendo el calcio (28,0 a 112,0 mg/l) el catión más importante y los bicarbonatos (59,0 a 156,0 mg/l), sulfatos (< 10,00 a 68,77 mg/l) y cloruros (18,27 a 33,65 mg/l), los aniones que caracterizan el agua.

Figura 5. Relación entre las concentraciones de nitrógeno y fósforo en las dos estaciones de muestreo (círculos E1, cuadrados E2).

NUTRIENTES

Las concentraciones de los distintos compuestos de nitrógeno determinados experi-

mentan grandes variaciones a lo largo del período estudiado, comportamiento generalizado en las aguas de muchos lagos y embalses (WETZEL, 1975).

Figura 6. Distribución de la densidad total del fitoplancton (10^3 cel/ml) en función del tiempo y la profundidad.

La concentración de amonio es baja, en muchos casos por debajo de la capacidad del método ($0,1 \mu\text{g-at N-NH}_4/1$). Los máximos se registran normalmente próximos al fondo, en los períodos con déficit de oxígeno en dicha zona y, salvo contadas ocasiones, no suelen superar los $10 \mu\text{g-at N-NH}_4/1$. Las cantidades de nitritos son inferiores a $1 \mu\text{g-at N-NO}_2/1$ durante el período de estudio.

Las concentraciones de nitratos son inferiores a las encontradas en otros embalses de características semejantes (MARGALEF *et al.*, 1976); si bien son comparables a las halladas en lagos oligotróficos y de aguas bicarbonatadas cálcicas. (CAMPS *et al.*, 1976). Sus valores se hallan influidos por la estratificación y el desarrollo del fitoplancton, con máximos durante el invierno (de 5 a $45 \mu\text{g-at N-NO}_3/1$) y mínimos, ($< 0,05 \mu\text{g-at N-NO}_3/1$) durante la primavera-verano.

Las concentraciones de fósforo presentan valores muy bajos oscilando entre 0,1 y $0,9 \mu\text{g-at P-PO}_4/1$. Estos valores son consecuencia de los procesos de precipitación del fósforo condicionados por las características de mineralización de las aguas (MARGALEF, 1976).

La relación nitrógeno-fósforo, hallada a partir de los valores más arriba mencionados, presenta valores bajos; inferiores a los que cabría esperar, por las características químicas de las aguas apuntadas anteriormente. La mayoría se hallan comprendidos entre $\text{N:P} = 10:1$ y $\text{N:P} = 100:1$ (fig. 5). Los valores mínimos corresponden a los momentos en que hay un aporte de fósforo, al final de la estratificación estival e inicio de las lluvias; especialmente en septiembre de 1978.

FITOPLANCTON

El número total de células del fitoplancton experimentó variaciones muy regulares a lo largo de todo el período estudiado (fig. 6). Los valores máximos, comprendidos entre 10.000 y 23.000 cel/ml, se registran al producirse el florecimiento algal de primavera; mientras que los valores mínimos, inferiores a las 1.000 cel/ml., se dan durante el

Figura 7. Contenido medio de clorofila "a" por célula (pg/cél.). Se diferencian los períodos de mezcla (símbolos claros) y de estratificación (símbolos oscuros) en las dos estaciones de muestreo.

mes de agosto, coincidiendo al agotarse los nutrientes fundamentales.

Las concentraciones de clorofila "a" en las aguas del embalse presentan oscilaciones muy importantes si se consideran los valores extremos, pero los valores más frecuentes y el promedio de toda la columna de agua se sitúan entre 1,5 y $6,0 \text{ mg/m}^3$. Los máximos van ligados a los florecimientos algales, aunque no coincidan estrictamente con ellos. Los mínimos se registran durante los meses

Figura 8. Variación estacional de los principales grupos del fitoplancton. Los trazos son proporcionales a raíz cúbica de la concentración de células, de acuerdo con la escalera lateral.

Figura 9. Distribución de los valores de la diversidad del fitoplancton (bits/cel), en función del tiempo y la profundidad.

de verano, en las capas superficiales del embalse.

Los valores medios de clorofila "a" por célula en toda la columna de agua, oscilan ampliamente alrededor de 1 pg/cel. (fig. 7). Desviaciones en menos se detectan durante el florecimiento algal y en más a finales del verano y en las capas más profundas del embalse. Estas variaciones vienen condicionadas por los cambios en las poblaciones fitoplanctónicas y dependen de la mayor o menor concentración de clorofila en las células, del tamaño celular y de la posible presencia de clorofila detrítica.

SUCESION

El ciclo anual del fitoplancton manifestó una gran regularidad durante el período de estudio (fig. 8); y la diversidad experimentó variaciones paralelas (fig. 9).

Esencialmente podemos establecer cuatro etapas características de la sucesión de las comunidades fitoplanctónicas en el em-

balse de Cúber: Una primera etapa viene caracterizada por un fitoplancton en el que dominan las euclorofíceas de pequeño tamaño, acompañadas de unas pocas especies de diatomeas céntricas. Se trata de organismos con una elevada tasa de multiplicación que determinan el florecimiento algal de primavera y condicionan valores muy bajos de la diversidad (< 2 bits/cel).

La siguiente etapa corresponde al plancton de verano, representado por euclorofíceas en los niveles superiores; dinofíceas, criptofíceas y crisofíceas distribuidas en toda la columna de agua, y la cianofícea *Oscillatoria rubescens* que tiende a acumularse en las capas profundas. La diversidad experimenta un aumento en toda la columna de agua; salvo en las proximidades del fondo en que se mantiene muy baja.

La tercera etapa se registra durante el otoño, con un fitoplancton en el que dominan las formas móviles: criptofíceas, crisofíceas y las euglenofíceas cerca del fondo. La diversidad es máxima en toda la columna de agua con valores superiores a 3,5 bits/cel.

Finalmente durante los primeros meses de invierno tiene lugar una etapa, que puede ser catalogada como de regresión, caracterizada por la presencia de restos de las comunidades de otoño y la aparición de las formas que van a ser dominantes a lo largo de la primavera siguiente. Estos cambios van acompañados de una disminución progresiva de los valores de la diversidad.

LIMNOLOGIA REGIONAL

El estudio de un amplio número de embalses españoles puso de manifiesto la posibilidad de establecer una tipología de los mismos en función de las características regionales (MARGALEF *et al.*, 1973; ESTRADA, 1975; MARGALEF, 1975).

Por el grado de mineralización del agua, representado por la alcalinidad, y el grado de eutrofia de la misma, indicado por la concentración de clorofila, MARGALEF *et al.*, (1976) establecen en los embalses españoles seis grupos (fig. 10). Esta clasificación, basada inicialmente en los datos físicos y químicos, se ha visto reforzada con el estudio de la composición de las diferentes comunidades de organismos presentes en los embalses españoles (MARGALEF & MIR, 1979; PRAT, 1980; ARMENGOL, 1982).

Por su grado de mineralización el embalse de Cúber queda incluido en el grupo VI de los embalses españoles (MOYA & RAMON,

Figura 10. Distribución de los embalses españoles en seis grupos, en función de la mineralización de las aguas, que aumenta de izquierda a derecha, y de la fertilidad de sus aguas, proporcional a la altura sobre la línea de base (De MARGALEF *et al.*, 1976). Dentro de un cuadro se indica el número de embalses incluidos en cada grupo.

1981), con una concentración de clorofila ligeramente superior a la media del grupo. La composición específica del fitoplancton manifiesta igualmente una notable coincidencia con la que se presenta en dicho grupo de embalses españoles y particularmente con el subgrupo VIb (MARGALEF & MIR, 1979), con ligeras diferencias que posiblemente puedan ser atribuibles al déficit de nitrógeno del embalse de Cúber en relación con los embalses del grupo VI.

BIBLIOGRAFIA

- ABERG, B. & RODHE, W. 1942. Über die milieufaktoren in einigen sudschwedischen Seen. *Symb. Bot. Upsal.*, 5: 1-256.
- ARMENGOL, J. 1982. Ecología del zooplancton de los embalses. *Mundo Científico*, 11: 168-178.
- CAMPS, J., GONZALVO, I., GUEL, J., LOPEZ, P., TEJERO, A., TOLDRA, X., VALLESPINOS, F. & VICENS, N. 1976. El lago de Montcortés, descripción de un ciclo anual. *Oecologia aquatica*, 2: 99-110.
- ESTRADA, M. 1975. Statistical considerations of some limnological parameters in Spanish reservoirs. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 19 (2): 1.849-1.858.
- GOLTERMAN, H. L. & CLYMO, R. S. 1969. *Methods for chemical analysis of freshwaters*. 1. B.P. Handbook No 8. Blackwell. Oxford. 172 pp.
- HUTCHINSON, G. E. 1957. *A Treatise on Limnology. I. Geography, physics and chemistry*. J. Wiley & Sons. New York. 1.015 pp.

- KOROLEFF, F. 1970. Revised version of "direct determination of ammonia in natural waters as indophenol blue. *Int. Con. Explor. Sea*, C.M. 1969/C: 9". I.C.E.S., Information on techniques and methods for sea water analysis. *Interlab. Rep.*, 3: 19-22.
- LUND, J.W.G.; KIPLING, C. & LE CREN, E.D. 1958. The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimation by counting. *Hydrobiologia*, XI (2): 143-170.
- MARGALEF, R. 1975. Typology of reservoirs. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 19 (2): 1.841-1.848.
1976. Biología de los embalses. *Investigación y Ciencia*, 1: 50-62.
- MARGALEF, R. & MIR, M. 1979. Phytoplankton of Spanish reservoirs as dependent from environmental factors and potential indicator of waters properties. "Atti del Convegno sui bacini lacustri artificiali". Sassari 4-6 ottobre 1977" Consiglio Nazionale delle Ricerche. *Pallanza. AC/2/9-1977*: 192-205.
- MARGALEF, R.; PLANAS, D.; ARMENGOL, J.; TOJA, J.; GUISET, A. & VIDAL, A. 1973. Plankton production and water quality in Spanish reservoirs. First report on a research project. *XI Congress Internat. Comm. Large Dams*. Madrid. 21 pp. + iv tab. + 19 figs.
- MARGALEF, R.; PLANAS, D.; ARMENGOL, J.; VIDAL, A.; PRAT, N.; GUISET, A.; TOJA, J. & ESTRADA, M. 1976. *Limnología de los embalses españoles*. Dirección General de Obras Hidráulicas, Ministerio de Obras Públicas. Madrid. 422 + 85 pp.
- MOYA, G. 1981. *Limnología de los embalses de la Sierra Norte de Mallorca: El embalse de Cúber*. Tesis Doctoral. Universidad de Palma de Mallorca. 516 pp. + Apéndice.
- MOYA, G. & RAMON, G. 1981. Contribución al conocimiento de la mineralización de las aguas de los embalses de Cúber y Gorg Blau y de sus principales aportes. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 25: 21-30.
- MURPHY, J. & RILEY, J.P. 1962. A modified single-solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, 27: 31-36.
- PRAT, N. 1980. Bentos de los embalses españoles. *Oecologia aquatica*, 4: 3-43.
- SARACENI, C. & RUGGIU, D. 1974. Techniques for sampling water and phytoplankton. In: *A Manual on Methods for Measuring Primary Production in Aquatic Environments* (VOLLENWEIDER, R. A. ed.): 5-7. I.B.P. Handbook No 12. Blackwell. Oxford.
- SERVICIO HIDRAULICO DE BALEARES. 1973. Embalse de Cúber. *XI Congress Internat. Comm. Large Dams*. Madrid. 13 pp.
- SHANNON, C. E. & WEAVER, W. 1963. *The mathematical theory of communication*. Univ. Illinois Press. Urbana. 177 pp.
- STRICKLAND, J. & PARSONS, T.R. 1972. A Practical Handbook of Sea-water Analysis. *Bull. Fish. Res. Board Can.*, 167: 311 pp.
- TALLING, J. F. 1974. Photosynthetic pigments. In: *A Manual on Methods for Measuring Primary Production in Aquatic Environments* (VOLLENWEIDER, R. A. ed.): 22-26. I.B.P. Handbook No 12. Blackwell. Oxford.
- WETZEL, R. G. 1975. *Limnology*. Saunders. Philadelphia. 752 pp.