

# ESTUDIO ECOLOGICO DEL EMBALSE DE LOS BERMEJALES (GRANADA): VARIACION ESTACIONAL DE ALGUNOS PARAMETROS FISICO-QUIMICOS Y BIOLÓGICOS

J.M. Rodríguez, J. Lucena

Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias, Universidad de Málaga,

Palabras Clave: Reservoir limnology, Bermejales reservoir (Spain)

## ABSTRACT

ECOLOGICAL STUDY OF BERMEJALES RESERVOIR (GRANADA): SEASONAL VARIATIONS OF SOME PHYSICO-CHEMICAL AND BIOLOGICAL PARAMETERS.

The seasonal variations of the limnologically important physico-chemical and biological factors of the Bermejales reservoir (Granada) were studied by means of monthly sampling, between July 1978 and September 1979. The parameters selected were: temperature, transparency, dissolved oxygen, phosphates, nitrites, the chlorophylls *a*, *b* and *c*, and the pigment coefficient.

The study reveals the fundamental influence that the contained water exercises on the parameters, whose fluctuations coincide with hydrological cycle, so that the reservoir may be defined as warm monomitic, in type.

Taking into account the criteria employed by other authors to define the trophic category of lakes and reservoirs, this reservoir is mesotrophic.

## INTRODUCCION

Ante la problemática surgida como consecuencia de la construcción de numerosos embalses en toda España, el Departamento de Ecología de la Universidad de Málaga ha emprendido el estudio de los ciclos biológicos en los embalses más próximos a él, con el fin de recabar datos suficientes para definir el comportamiento de los mismos. Estos trabajos se inician en 1978, en el embalse de Los Bermejales, de cuyas aguas eran escasas las informaciones que se disponían. Únicamente era de destacar el trabajo realizado por Margalef *et. al.* (1976), en donde se afirma, entre otras, la pertenencia del embalse al grupo de la España caliza, caracterizado por la gran mineralización y por la baja fertilidad de sus aguas (1,31 - 5,13 mg / m<sup>3</sup>), siendo las cantidades encontradas de fosfatos, nitratos y nitritos de 0,03 -

0,40 µg-at P/l, 2,81 - 20,50 µg-at N/l y 0,11 - 0,38 µg-at N/l respectivamente.

Como consecuencia de la poca información y la carencia total de estudios sobre el ciclo anual del mismo, surgió la necesidad de ahondar más en estos datos haciendo un estudio estacional de sus aguas. Así pues, este trabajo trata de la evolución espacio-temporal de los parámetros físico-químicos y biológicos del embalse de Los Bermejales, que actúan con mayor incidencia en el proceso de fertilización de sus aguas.

## MATERIAL Y METODOS

El embalse de Los Bermejales se encuentra situado sobre el río Cacín, en el municipio de Arenas del Rey en la provincia de Granada, utilizándose sus aguas

para riego y para la obtención de energía eléctrica. El inicio de los trabajos de construcción del embalse fué en 1947 finalizando las obras en 1952. Tiene una superficie de 307 Km<sup>2</sup> y un volumen de 104 Hm<sup>3</sup>, con un aporte medio anual de 64,40 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, siendo importante el realizado desde el río Alhama debido a la construcción de un transvase cuyas obras se iniciaron en 1967.

La presa se encuentra situada en un Cañón del río Cacán, tallado en macizos de edad Tortonense (Mioceno), que reposan sobre un sustrato de materiales alpujarrides. Al Este y Oeste, la cubeta está rodeada por limos y arcillas, localmente con yesos, del Tortonense superior -Messinense inferior, que reposan sobre los maciños antes citados. Al Sur-este, la cubeta queda limitada por las arenas y conglomerados de Fornes, de edad pliocénica (González Donoso, 1967).

Las muestras se tomaron en un punto situado en el centro del embalse, a 1,5,10,20, m. y fondo dependiendo la profundidad de esta zona de la cantidad de agua embalsada. Para la recogida de muestras se empleó una botella tipo "Nansen" de 1300cc, equipada con un juego de termómetros de inversión TSK. La transparencia fué medida con un disco Secchi.

En cada nivel se tomaron un litro de agua para la extracción de pigmentos y análisis químicos, y 250 cc para la determinación del oxígeno disuelto (Strickland & Parsons, 1968).

Los pigmentos fueron determinados según las recomendaciones dadas por el Cientific Committee on Oceanic Research, UNESCO (1961). Los nitritos y nitratos se determinaron según el método de Shinn, y los fosfatos siguiendo el método de Murphy & Riley, tal y como los describen Strickland & Parsons (1968).

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Precipitación y Temperatura Atmosférica

En el climatograma de la Figura 1, ponemos de manifiesto que el período seco correspondiente al año 1979 fué mayor que el de 1978, mientras que, en términos generales, las precipitaciones medias mensuales son inferiores durante este último año.

Es de destacar el incremento en pluviometría acaecido en los meses Enero, Febrero y Octubre de 1979, con la repercusión directa que esto supone en

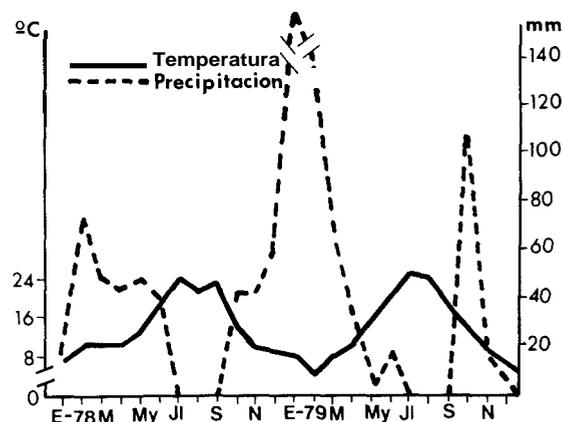


Fig. 1 Variación de la precipitación y de la temperatura durante los años 1978 y 1979.

Rainfall and temperature variations for 1978 and 1979

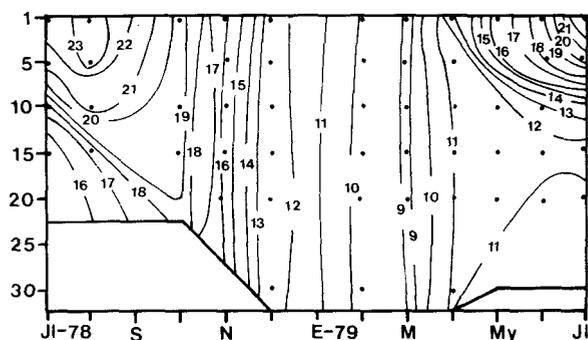


Fig. 2 - Distribución de la temperatura con la profundidad y el tiempo

Deph-rime diagram of temperature distribution

cuanto al aporte de materiales, y su influencia en los parámetros estudiados.

### Temperatura del agua

La temperatura mínima (fig. 2), de la columna de agua se alcanzó en Marzo-79, (8,6°C a 20 m., y 8,7 ± 0,11°C) y la máxima en Julio-79, (24°C en superficie, y 20,3 ± 3,6°C).

En el período de estudio se han distinguido dos épocas de estratificación. La primera de ellas, correspondiente al año 1978, alcanza su máxima expresión en el mes de Agosto, estableciéndose la termoclina entre los 10 y 15 m. de profundidad. El hipolimnion se caracteriza por su pequeño tamaño y elevada temperatura, como consecuencia de la poca cantidad de agua embalsada. La segunda época de estratificación, correspondiente al año 1979, comienza a partir de Mayo alcanzándose el máximo

en Julio. En ésta, la termoclina se sitúa entre los 5 y 10 m. Si comparamos los meses de Julio de los años 1978 y 79 observamos como la capa superficial presenta una temperatura superior en el año 1979, mientras a partir de 5 m es superior durante 1978. Lo comentado para la capa superficial queda explicado por la mayor temperatura atmosférica durante 1979 con respecto al año anterior, mientras que el menor volumen de agua embalsada durante todo 1978 explicaría esa diferencia observada a partir de los 5 m, así como la localización de la termoclina.

Entre ambas etapas de estratificación se sitúa un período de mezcla que abarca desde Septiembre-78 hasta Abril-79 ambos inclusive. En este período de mezcla se observan tres etapas bien diferenciadas: la primera u otoñal caracterizada por un rápido enfriamiento (7°C). La segunda o invernal durante la cual continúa el enfriamiento, pero de forma más suave alcanzándose a finales de la misma el mínimo. Por último la tercera etapa o de principios de primavera que se caracteriza por un fuerte calentamiento en corto período de tiempo (3°C en un mes).

#### Transparencia del agua (Fig. 3)

Las profundidades máximas de visión del disco de Secchi se obtuvieron en Diciembre (4,75 m), Julio (4,50 m) y Agosto (4 m) de 1978. Los valores mínimos de Octubre-78 a Febrero-79 se deben al desarrollo del fitoplancton acaecido en este mes (fig. 8). El resto de valores bajos en transparencia se debe fundamentalmente a la conjugación de la cantidad de fitoplancton y de la estratificación. El índice de estado trófico (TSI) (Shapiro *et. al.*, 1975) obtenido a partir de la profundidad de visión del disco de Secchi queda comprendido entre 37,52 y 51,92 para los valores mínimos y máximo respectivamente.

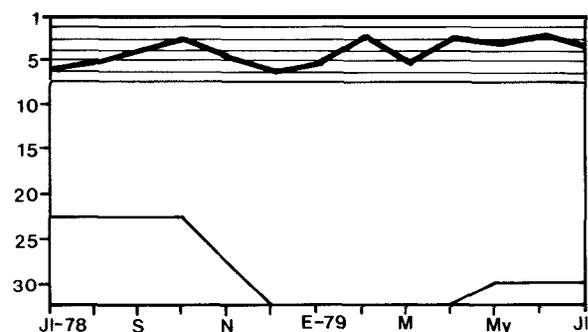


Fig 3 - Transparencia del agua en m (disco de Secchi)  
Water transparency in m (Secchi disc)

#### Oxígeno disuelto

La distribución de la concentración de oxígeno disuelto con la profundidad (fig. 4) está íntimamente relacionada con los períodos de estratificación y mezcla. Durante la estratificación de 1978, al contrario de los que con la temperatura, el gradiente en profundidad de la concentración de oxígeno disuelto es más acusado que durante el mismo período del año siguiente, de forma que a sólo 15 m se alcanza la menor concentración de oxígeno disuelto (1,3 ml/l, 18,5 % de saturación), mientras que en 1979 el valor es superior a 4 ml/l (50-60% de saturación). Esta diferencia pensamos que está relacionada con el menor volumen de agua embalsada durante 1978 lo que produce una menor cantidad absoluta de oxígeno disuelto disponible para la mineralización de la materia orgánica y por consiguiente se da un mayor agotamiento del mismo. Durante 1979, el mayor volumen de agua almacenada, hace que la concentración de materia orgánica sea menor y por lo tanto sea menos drástico el descenso en la concentración de oxígeno disuelto en el hipolimnion con respecto al año anterior.

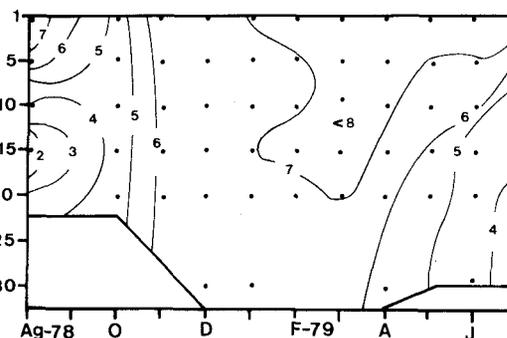


Fig 4 - Distribución del oxígeno disuelto (ml/l)  
Dissolved oxygen distribution (ml/l)

A partir de Octubre-78 se produce una homogeneización como consecuencia del hundimiento de las masas de aguas superficiales ricas en oxígeno. La difusión del oxígeno atmosférico incrementará los valores durante Noviembre y Diciembre. El incremento observado en Enero se debe a la proliferación fitoplanctónica (fig. 8) que, como consecuencia del aumento de nutrientes, se constata en este mes.

#### Fosfatos (Fig. 5)

El fosfato en el embalse de Los Bermejales, juega un papel de factor limitante por encontrarse en baja concentración y, en algunas épocas, no ser detectable.

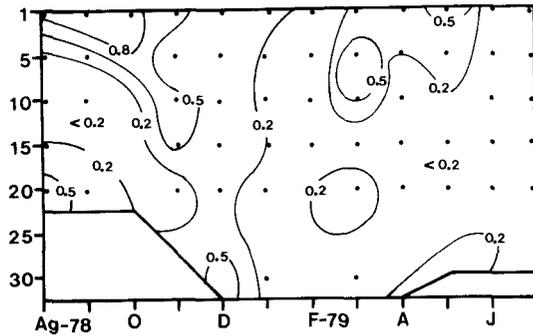


Fig. 5 - Distribución del fosfato ( $\mu\text{g-át P / l}$ )  
Phosphate distribution ( $\mu\text{g-át P / l}$ ).

Los máximos valores se han encontrado a finales de la estratificación de 1978 (Agosto) y principios del período de mezcla (Octubre y Noviembre) en superficie. Estos valores son posteriores al máximo de fitoplancton y coinciden con altos valores del coeficiente pigmentario (fig. 9), lo que nos induce a pensar en la existencia de un proceso de remineralización abacteriana que libera rápidamente gran cantidad de fósforo contenido en los organismos planctónicos (Pomeroy *et al.*, 1973).

El aumento en la concentración de fósforo en el hipolimnion durante Agosto de 1978 se debe a la restitución que desde el sedimento se produce como consecuencia del estado anóxico.

Durante el mes de Enero se produce una elevación en la concentración de fosfatos en superficie, lo cual parece estar relacionado con el aporte que conlleva el incremento de las lluvias (fig. 1), así como aportes desde el fondo al estar el agua en mezcla. Este aumento favorecerá el desarrollo fitoplanctónico, de forma que éste lo agota rápidamente, llegando al valor cero observado en Febrero. A partir de este mes, se incrementan de nuevo los valores de fosfatos debido a la liberación por mineralización, siendo estas elevadas concentraciones la base para el desarrollo primaveral del fitoplancton, la cual hace que en verano caigan de nuevo los valores de fosfatos.

Nitritos y Nitratos (Fig. 6, Fig. 7).

Los valores encontrados oscilan entre 0 y 4,69  $\mu\text{g-át. N / l}$  para los nitritos y 0,02 y 37,83  $\mu\text{g-át. N / l}$  para los nitratos.

A finales de la estratificación del año 1978 (Agosto) se dan bajos valores de nitratos, el cual alcanza su mínima expresión en superficie, debido probablemente a la lenta liberación de los mismos, provenientes de la descomposición de la materia

orgánica, y por haber sido consumido por el fitoplancton. Los altos valores de nitritos detectados en el hipolimnion parecen tener su fuente tanto en la mineralización de la materia orgánica como en la reducción del nitrato.

En el periodo de mezcla se produce un aumento en la concentración de los compuestos de nitrógeno, sobre todo de nitratos, dado que: a) el régimen hidrológico del embalse durante el verano del 78 aumenta de manera significativa el reciclado del nitrógeno, ya que la exposición al aire de los sedimentos, como consecuencia del bajo nivel de agua embalsada, contribuye al suministro de nitrógeno al agua al acelerarse la descomposición (Rada & Wright, 1979); b) el aumento de las precipitaciones origina un aumento de nitratos (Enero, Febrero y sobre todo, Marzo) y de nitritos (Enero y Febrero en los 5 primeros metros); c) la mezcla total, y al estar el agua bien oxigenada, contribuye a incrementar ambos compuestos, debido a la mineralización que sufre la materia orgánica, tanto la que se encontraba acumulada en fondo como la sintetizada durante esta época.

Fig. 6 - Distribución del nitrito ( $\mu\text{g-át N / l}$ )  
Nitrite distribution ( $\mu\text{g-át N / l}$ )

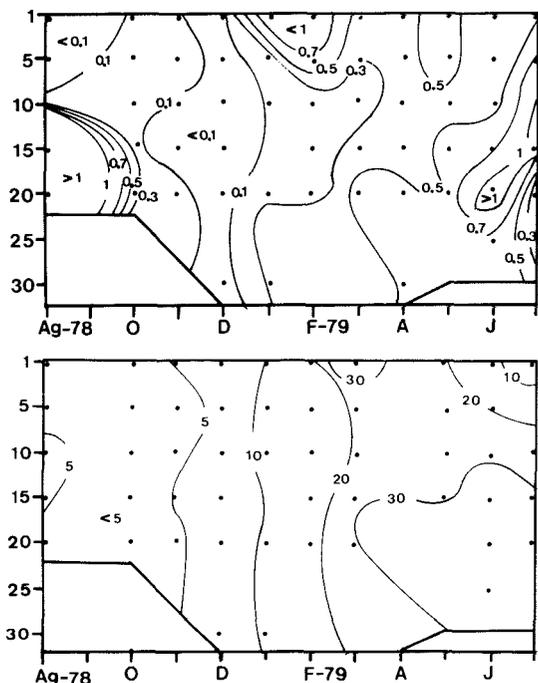


Fig. 7 - Distribución del nitrato ( $\mu\text{g-át N / l}$ )  
Nitrate distribution ( $\mu\text{g-át N / l}$ )

A partir de Mayo (estratificación del año 1979) se produce un descenso en la concentración de nitratos como consecuencia del consumo a que se ve sometido durante la proliferación primaveral del fitoplancton. Con la caída de éstos, se incrementan nuevamente debido a la mineralización de la materia orgánica sintetizada en los meses anteriores, llegándose a Julio-79 donde se da un fuerte incremento en la concentración de nitratos con la profundidad, mientras que los nitritos alcanzan los máximos valores entre 10 y 15 m. (límite profundo de la termoclina). Pensamos que este hecho es consecuencia de la sedimentación y freno de la materia orgánica sintetizada en superficie, la cual se oxida pasando a nitritos a esa profundidad. Por debajo de la termoclina, debido a la actividad bacteriana, se da una rápida oxidación de nitritos a nitratos, de ahí el incremento de estos últimos y el descenso de los primeros. En fondo se incrementan de nuevo los valores de nitritos y nitratos ya que esa profundidad, y debido a la continua sedimentación de la materia orgánica sintetizada en los metros superiores, donde se acumula ésta.

#### Clorofilas y Coeficientes Pigmentarios (Figs. 8 y 9)

Generalmente los valores de la clorofila *a* son superiores a 1  $\mu\text{g/l}$ , a excepción del final de la estratificación de 1978. Los bajos valores detectados durante ésta junto con los altos valores del coeficiente pigmentario, parecen indicar que el fitoplancton alcanza la máxima madurez.

En la época de mezcla, se produce una homogeneización de las clorofilas *a*, *b* y *c*, sufriendo a su vez un fuerte descenso el coeficiente pigmentario, hasta alcanzar el mínimo en enero. Estos bajos valores

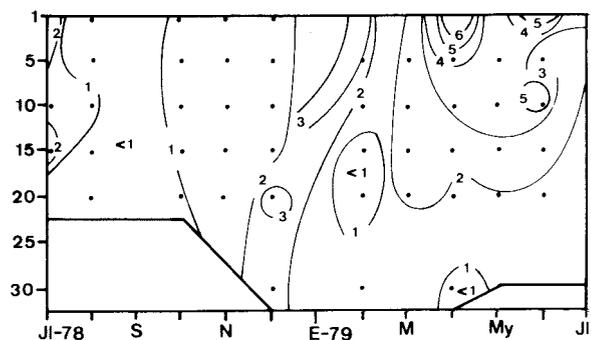


Fig. X - Distribución de la clorofila *a* ( $\mu\text{g/l}$ )  
Chlorophyll *a* distribution ( $\mu\text{g/l}$ )

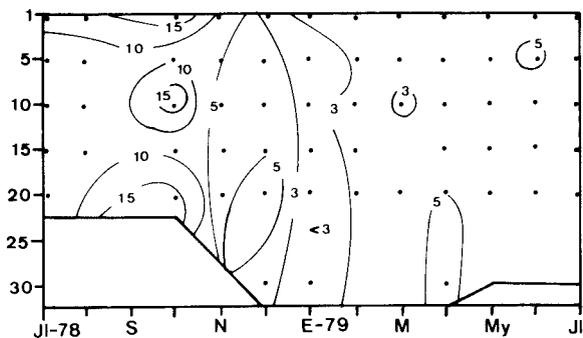


Fig. 9 - Distribución del coeficiente pigmentario  $D_{430}/D_{665}$   
Distribution of pigment coefficient  $D_{430}/D_{665}$

del coeficiente pigmentario, junto con los notorios incrementos sufridos por la clorofila *a* durante Enero y Febrero, parecen indicar un rejuvenecimiento del fitoplancton motivado, fundamentalmente, por los incrementos de los nutrientes, como ya hemos indicado.

Después de una disminución de los valores de clorofila *a* en Marzo, se produce un nuevo incremento en la concentración con un máximo en Abril, superándose los 7  $\mu\text{g/l}$  en superficies, debido a la proliferación primaveral fitoplanctónica, dándose a partir de esta fecha un descenso con el avance de la estratificación. Durante este período de producción el valor del coeficiente pigmentario queda comprendido entre 3 y 5, valores indicativos de que la sucesión ecológica se encuentra en etapas de baja madurez.

#### CONCLUSIONES

El embalse de Los Bermejales se comporta como cálido monomítico iniciándose el período de estratificación a partir de Mayo. La cantidad de agua embalsada incide de manera directa en los parámetros estudiados. Así, la temperatura que alcanza la columna de agua a partir de los 5 m durante Julio-78 es superior a la alcanzada en Julio-79 ya que durante 1978 el volumen de agua embalsada fué mucho menor que el del año siguiente. Otra consecuencia del menor volumen durante Julio-78 es el mayor agotamiento de oxígeno en comparación con el mismo mes del 79.

En relación a los nutrientes estudiados, es el fosfato el que actúa en el embalse de Los Bermejales como factor limitante, observándose las más altas concentraciones a finales de la estratificación de 1978, lo que induce a pensar en procesos de remineralización abacteriana como la principal fuente de fósforo, aun sin olvidar como fuentes significativas

tanto el aporte que conlleva el incremento de las lluvias como la liberación por mineralización y restitución desde el sedimento. (Pomeroy *et. al.*, 1973)

La mayor concentración de nitritos se observa en los metros finales del embalse durante la estratificación de 1978 debido tanto a la mineralización de la materia orgánica como en la reducción del nitrato. Estos actúan como limitante ya que en los meses de mínimos de fosfatos se obtienen cantidades suficientes de nitratos.

Es el mes de abril cuando se produce la proliferación primaveral del fitoplancton, alcanzándose los 7 µg/l de clorofila *a* en superficie. Son, así mismo notorios los incrementos sufridos por ésta en Enero y Febrero, lo que indica un rejuvenecimiento del fitoplancton, motivado fundamentalmente por los incrementos de los nutrientes junto a la mezcla de la masa de agua, hecho que queda confirmado por los bajos valores alcanzados del coeficiente pigmentario. La proliferación fitoplanctónica de Abril provoca una notoria disminución en la transparencia del agua. Otros fuertes descensos en la transparencia del agua (Octubre-78 y Febrero-79) son ocasionados por el aumento de materiales en suspensión debido, fundamentalmente, al incremento de las precipitaciones.

Según los criterios de clasificación trófica dados por Allum *et. al.* (1977) y EPA-NES (1974) en base a la

clorofila *a*, disco de Secchi y saturación hipolimnética nos permite clasificar el embalse como mesotrófico.

#### BIBLIOGRAFIA

- Allum, M.O., Glessner, R.E. & Gakstatter, J.H. 1977. An evaluation of the National Eutrophication Survey Data. Working Paper No. 900, U.S. EPA Corvallis Environ. Res. Lab., Corvallis, Oregon, 79 pp.
- EPA-NES. 1974. Tomado de Reckhow, K.H. 1981. Lake Data Analysis and Nutrient Budget Modeling. U.S. EPA Corvallis Environ. Res. Lab., Corvallis, Oregon, 64 pp.
- González Donoso, J.M. 1967. Estudio Geológico de la Depresión de Granada. Tesis Doctoral, Universidad de Granada.
- Margalef, R.; Planas, D.; Armengol, J.; Vidal, A., Prat, N., Guisnet, A., Toja, J., Estrada, M. 1976. Limnología de los embalses españoles Dirección General de Obras Hidráulicas Ministerio de Obras Públicas. Madrid.
- Pomeroy, L.R., Mathews, H.M. & Hong Saik Min. 1973. Excretion of phosphate and soluble organic phosphoric compounds by zooplankton. *Limnol. Oceanogr.*, 8, 50-55
- Rada, R.G. & Wright, J.C. 1979. Factors Affecting Nitrogen and Phosphorus Levels in Canyon Ferry Reservoir, Montana, and its Effluent waters. *Northwest Science*, 53, 3: 213-220
- S.C.O.R. (UNESCO). 1966. Determination of photosynthetic pigments in sea water. *Monographs on Oceanographic Methodology*, 1, 69
- Shapiro, J. Ludquist, J.B. & Carlson, R.E. 1975. Involving the public in limnology An approach to communication *Verhand. Intern. Verein Limnol.*, 19: 866-874.
- Strickland, J.D.H. & Parsons, T.R. 1968. A practical handbook of sea water analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Canada*, nº 167, 311