



## PENETRACION DE LA LUZ Y SU RELACION CON LA CLOROFILA Y EFICIENCIA FOTOSINTETICA EN EL LAGO PELLEGRINI (RIO NEGRO, ARGENTINA)

*Víctor H. Conzonno, Aldo A. Mariazzi y M. Cristina Romero.*

Instituto de Limnología Raúl A. Ringuelet.

Facultad de Ciencias Naturales - Universidad Nacional de La Plata - Argentina.

**RESUMEN.** La mayoría de los estudios sobre la absorción de la luz en los lagos son hechos en conexión con la producción primaria. La profundidad de visión del disco de Secchi en el Lago Pellegrini fue en promedio de 5,2 m y coincidió con un 16,3% de intensidad relativa de luz. La profundidad del estrato eufótico alcanzó casi el fondo, de modo que la relación entre estas dos variables dió una constante de  $c_1 = 2,7$ . El coeficiente de extinción fue bajo y constante ( $0,39 \text{ m}^{-1}$ ) incidiendo sobre su valor en forma preponderante los pigmentos fotosintéticos. La relación entre el coeficiente de extinción (K) y la profundidad del disco de Secchi ( $Z_{DS}$ ),  $K = c / Z_{DS}$ , se resolvió con  $c_2 = 1,9$ . Al analizar la relación entre la concentración de clorofila con la profundidad del estrato eufótico y disco de Secchi, se obtuvieron correlaciones significativas, que corroboraron que la componente fitoplanctónica fue la más importante en la atenuación de la luz en la columna de agua. La eficiencia fotosintética fue menor a la unidad hasta los 5 m y mayor al 1% a más profundidad. A pesar de la disponibilidad de luz, se destaca que los valores de eficiencia fueron bajos y al igual que la producción primaria atribuidos al carácter de aguas duras, donde la precipitación de carbonato de calcio limita la concentración de nutrientes.

**ABSTRACT.** Light penetration and its relation with chlorophyll and photosynthetic efficiency in Lake Pellegrini (Rio Negro, Argentina). Studies on light penetration in lakes are mainly made in connection with primary production. Secchi disc readings in Lake Pellegrini gave a mean value of 5.2 m and were in coincidence with a 16.3% of relative light intensity. The depth of euphotic layer reached nearly the bottom and the relation between these two variables gave a constant of  $c_1 = 2.7$ . The extinction coefficient was low and constant ( $0.39 \text{ m}^{-1}$ ), where photosynthetic pigments had direct incidence on it. The relation between the extinction coefficient (K) and Secchi disc depth ( $Z_{DS}$ ),  $K = c / Z_{DS}$  gave  $c_2 = 1.9$ . Chlorophyll-a had a significative correlations with euphotic layer and Secchi disc, showing that the phytoplanktonic

component was important in light attenuation in the water column. Phytoplanktonic efficiency was less than 1% till 5 m and higher at deeper layers. In spite of light availability, values of efficiency were low, as well as primary production. This could be due to the hard water characteristics, where precipitation of calcium carbonate determines important nutrients limitation.

## INTRODUCCION

La mayor parte de la luz incidente en un cuerpo de agua se dispersa en la superficie (Schanz, 1983), el resto es absorbido o dispersado por las sustancias disueltas y particuladas, quedando una fracción variable disponible para los organismos autótrofos. Las propiedades ópticas del agua son importantes como índices de la capacidad productiva y del estado trófico de los ecosistemas acuáticos (Carlson, 1977).

En el presente estudio hemos evaluado la atenuación de la luz en el Lago Pellegrini y su relación con la clorofila, actividad y eficiencia fotosintética; teniendo en cuenta que este cuerpo de agua presenta la característica de ser un lago de aguas duras, lo cual influye sobre los nutrientes, la producción primaria y densidad fitoplanctónica (Conzonno *et al*, 1982).

## MATERIAL Y METODOS

El lago tiene una superficie de 112 km<sup>2</sup> y una profundidad media de 9,4 m. Está localizado en la Provincia de Río Negro a 68° 06' W y 38° 06' S. Se formó por llenado de una depresión natural con aguas del Río Neuquén, con la finalidad de regular su régimen (Lange, 1904).

Las muestras se obtuvieron de una estación central del lago (prof. máx. 17 m) con botella tipo Van Dorn de los niveles de superficie 1; 2,5; 5; 7,5 y 10 m. Se

muestreó con periodicidad mensual desde abril de 1981 hasta febrero de 1982.

La transparencia se estimó con el disco de Secchi y la intensidad de luz en la columna de agua, mediante un fotómetro subacuático Li-Cor 192 SB.

La concentración de clorofila se determinó según la técnica de Lorenzen (1967), filtrando cantidades adecuadas de agua a través de filtros Whatman GF/C y utilizando acetona al 90% como solvente.

La producción primaria se midió por el método de Steemann Nielsen (1952) por incubación *in-situ* de botellas claras y oscuras de 100 ml, inoculadas con 4µCi de Na<sup>14</sup>CO<sub>3</sub>H. La incubación se realizó entre las 10 y 14 h.

La atenuación de la luz en el agua puede calcularse mediante la fórmula de Lambert-Beer, despejando el coeficiente de extinción

$$K = \frac{-\ln(I_z / I_0)}{Z}$$

donde I<sub>z</sub>: intensidad de luz a la profundidad Z; I<sub>0</sub>: intensidad de luz en superficie, y Z: profundidad.

El sensor utilizado mide la energía de la radiación fotosintéticamente disponible (PAR) por lo cual el coeficiente de extinción es el correspondiente a esa fracción del espectro (390-700 mµ), y mediante la aplicación de la fórmula propuesta por Dubinsky and Berman (1979) se obtiene:

$$K = \frac{-\ln(\text{PAR}_{Z_2} / \text{PAR}_{Z_1})}{Z_1 - Z_2}$$

La eficiencia fotosintética ( $\epsilon$ ) se calculó en base a Dubinsky (1980)

$$\epsilon (\%) = \frac{\text{PSR} \cdot 100}{\Delta \text{PARZ}}$$

donde: PSR radiación fotosintéticamente almacenada (Morel, 1978);  $\Delta \text{PARZ}$  radiación fotosintéticamente disponible entre los niveles  $Z_1$  y  $Z_2$ .

Ambas expresadas en cal.  $\text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ , utilizando como factores de conversión 12 cal.  $(\text{mg C})^{-1}$  y 41,6 cal.  $(\mu\text{E})^{-1}$  (Margalef, 1983).

Las relaciones matemáticas entre las variables fueron resueltas mediante el cálculo de regresiones simples, método de los cuadrados mínimos (Kohan y Carro, 1978)

## RESULTADOS Y DISCUSION

La intensidad de luz en función de la profundidad (Fig. 1) se estudió en conexión con la distribución de biomasa fitoplanctónica. El coeficiente de extinción ( $K_{\text{PAR}}$ ) es función de los componentes que inciden sobre la absorción y dispersión de la luz, tales como las sustancias disueltas, partículas en suspensión y pigmentos fotosintéticos.

Schanz (1985) en el lago Zürich distingue cinco tipos de perfiles subsacuáticos de la intensidad de luz en función de la densidad fitoplanctónica y clorofila. Las respuestas obtenidas en el Lago Pellegrini coincidieron con el modelo lineal (tipo I), que se verifica en cuerpos de agua con mezcla vertical y distribución homogénea del plancton (Dring, 1981). En consecuencia, no se verificaron fluctuaciones del coeficiente de extinción significativas por

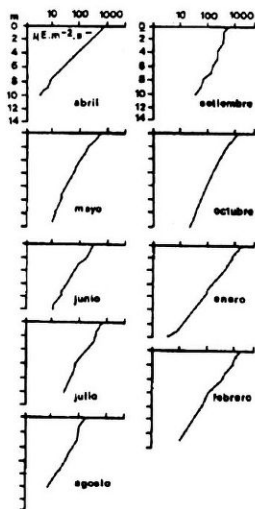


Fig. 1: Perfil de intensidad de luz por niveles

niveles, sino variaciones de los valores medios.

La profundidad de visión del disco de Secchi ( $Z_{\text{DS}}$ , Cuadro 1) fluctuó entre 3,5 y 7,7 m, con un valor promedio de 5,2 m. Mayor variación se halló en la intensidad que llega al Secchi ( $I_{\text{ZDS}}$ ), que fue de 21 y 500  $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ; por lo cual la intensidad relativa ( $I_{\text{ZDS}} / I_0$ ; Arai, 1981) fue de 6,1% en abril y 25,8% en septiembre y enero (promedio 16,3%). Porcentajes dispares fueron citados para diferentes cuerpos de agua, tales como 10% (Arai, *op. cit.*); 15% (Ikusima, 1967); 15-27% (Tsuda, 1980).

La profundidad del estrato eufótico ( $Z_1$ ) estuvo en el orden de 12-17 m (Fig. 2),

Cuadro 1. Variables lumínicas para cada fecha de muestreo.  $I_{o, \max}$ : intensidad máxima incidente en superficie ( $\mu\text{E. m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ );  $I'_o$ : intensidad subsuperficial ( $\mu\text{E. m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ );  $I_{ZDS}$ : intensidad de luz que llega al disco de Secchi ( $\mu\text{E. m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ );  $Z_{DS}$ : profundidad de visión del disco de Secchi (m);  $Z_{1\%}$ : profundidad del estrato eufótico (m);  $K$ : coeficiente de extinción de la radiación fotosintéticamente disponible ( $\text{m}^{-1}$ );  $I_{ZDS}/I'_o$ : intensidad de luz relativa del disco de Secchi (%).

|  | 1981 |      |      |      |      |      |      | 1982 |      |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | I    | II   |
| $I_{o, \max}$<br>$\mu\text{E. m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ | 1320 | 820  | 450  | 1050 | 340  | 1600 | 1800 | 2200 | 1920 |
| $I'_o$<br>$\mu\text{E. m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$        | 1930 | 720  | 350  | 900  | 220  | 1200 | 1260 | 1950 | 1680 |
| $I_{ZDS}$<br>$\mu\text{E. m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$     | 75   | 105  | 67   | 135  | 21   | 310  | 150  | 500  | 300  |
| $Z_{DS}$<br>m  | 4,8  | 4,5  | 4,6  | 5,5  | 7,7  | 4,7  | 7,0  | 3,5  | 4,5  |
| $Z_{1\%}$<br>m   | 7,6  | 14,0 | 13,3 | 12,7 | 12,8 | 13,5 | 16,0 | 11,8 | 14,0 |
| $K$<br>$\text{m}^{-1}$                                     | 0,6  | 0,37 | 0,34 | 0,36 | 0,34 | 0,37 | 0,30 | 0,41 | 0,38 |
| $I_{ZDS}/I'_o$<br>%  | 6,1  | 14,6 | 19,1 | 15,0 | 9,5  | 25,8 | 11,9 | 25,6 | 19,1 |

permitiendo la llegada de la luz casi al fondo y el desarrollo de macrófitas que cubren el 80% de su área. La relación entre los dos parámetros se ajusta a la fórmula  $Z_{1\%} = c_1 \cdot Z_{DS}$ , con valores de  $c_1 = 2,7$  para el Lago Biwa (Tsuda, *op cit.*). Para el Lago Pellegrini se obtuvo  $c_1 = 2,94$  ( $P < 0,10$ ).

El coeficiente de extinción ( $K_{PAR}$ ) fue constante y bajo (promedio  $0,39 \text{ m}^{-1}$ ), sin fluctuaciones estacionales. Valores semejantes fueron hallados en los embalses españoles  $K = 0,35 \text{ m}^{-1}$  (Rull *et al.*, 1984); en el Lago Zürich  $K = 0,20-0,35 \text{ m}^{-1}$  (Schanz, *op cit.*); en Plußsee y Edersee  $K = 0,4-1,6 \text{ m}^{-1}$  (Meffert and Overbeck, 1985).

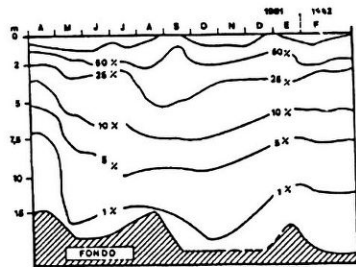


Fig. 2: Variación de los porcentajes de luz subacuáticos (%).

La relación entre el coeficiente de extinción y el Secchi, responde a  $K_{PAR} = c_2 / Z_{DS}$ , donde  $c_2 = 1,2-1,7$  (Hishida *et al.*, 1978); 1,7 (Planas, 1973) y 1,9 (Ikusima, *op cit.*). En el Lago Pellegrini esta relación se resolvió con  $c_2 = 1,9$  ( $P < 0,05$ ).

Las concentraciones de clorofila-a fluctuaron entre 0,1 y 2,0 mg. clor.  $m^{-3}$  (Fig. 3), se puede apreciar que fueron uniformes en la columna de agua hasta los 15 m. La correlación simple entre el  $K_{PAR}$  y la clorofila dio un valor de 0,79 ( $P < 0,01$ ) interpretándose que los pigmentos fueron un factor significativo en la atenuación de la luz.

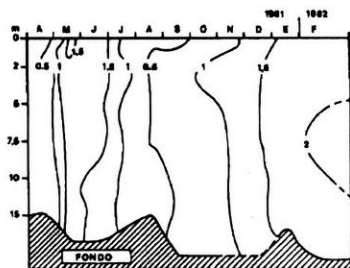


Fig. 3: Variación espacio-temporal de la concentración de clorofila (mg clor.  $m^{-3}$ )

El Secchi se utiliza indirectamente para estimar la concentración de clorofila, mediante la expresión  $[clor]^{0,68} = c_3 / Z_{DS}$ . Shapiro *et al.* (1975) propusieron una constante  $c_3 = 7,7$ ; Rull *et al.* (1984) y Carlson (1980) utilizaron valores de 3,5 y 2,0, respectivamente. Los resultados obtenidos coincidieron con los de este último autor, resolviéndose con  $c_3 = 2,3$  ( $P < 0,05$ ).

Los máximos de producción primaria en la columna de agua estuvieron compren-

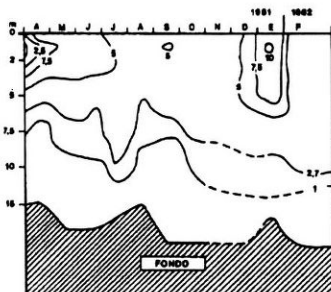


Fig. 4: Variación espacio-temporal de la producción primaria (mg  $C.m^{-3}.h^{-1}$ )

didados entre 2,5 y 11,0 mg  $C. m^{-3}. h^{-1}$  (Fig.4). Se destaca que dichos valores se obtuvieron a los 2,5 m de profundidad en invierno y a 5 m en verano, por lo que la radiación incidente fue suficientemente elevada como para inhibir la producción, encontrando el fitoplancton mejores condiciones de luz a mayores profundidades.

La eficiencia en la utilización de la luz (Cuadro 2) fue menor al 1% desde la superficie hasta los 5 m de profundidad, por debajo se incrementó hasta un valor máximo de 4,3% (agosto de 1981). Este hecho fue sostenido por otros autores que hallaron porcentajes superiores al límite teórico del 25% (Tilzer *et al.*, 1975; Dubinsky, *op. cit.*). Cabe destacar que los valores de eficiencia son bajos, lo cual está en relación con una producción primaria moderada. El principal factor que contribuye a estas tasas es la escasez de nutrientes, vinculada a las características de un cuerpo de aguas duras, con valores de aproximadamente 350 mg  $CaCO_3 .l^{-1}$ .

Cuadro 2. Eficiencia fotosintética por niveles (%), en el lago Pellegrini.

|       | 1981 |      |      |      |      |      |      | 1982 |      |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|       | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | I    | II   |
| sup   | 0,10 | 0,35 | 0,43 | 0,50 | 0,20 | 0,50 | 0,28 | 0,80 | 0,85 |
| 1 m   | 0,40 | 0,80 | 0,35 | 0,48 | 0,53 | 0,58 | 0,45 | 0,95 | 0,93 |
| 2.5 m | 0,35 | 0,50 | 0,52 | 0,98 | 0,95 | 0,68 | 0,58 | 1,02 | 0,48 |
| 5 m   | 1,90 | 1,30 | 1,23 | 1,30 | 1,90 | 0,90 | 2,01 | 2,00 | 1,60 |
| 7.5 m | 2,30 | 2,30 | 2,50 | 2,50 | 2,80 | 1,70 | 1,20 | 2,50 | 2,80 |
| 10 m  | -    | 1,50 | 3,40 | 3,80 | 4,30 | 3,90 | 2,30 | 3,45 | 2,50 |

(Conzonno *et al.*, *op. cit.*). Esta particular condición determina que el fenómeno de formación y precipitación de carbonato de calcio provoque la adsorción y co-precipitación de nutrientes (Schelske, 1962; White and Wetzel, 1975 ).

## CONCLUSIONES

La atenuación de la luz en la columna de agua fue baja, como se deduce de los valores del coeficiente de extinción y lectura de Secchi; condicionada fundamentalmente por la concentración de pigmentos. Esto determinó que el estrato eufótico tuviese un espesor considerable, llegando la luz casi hasta el fondo.

La eficiencia fotosintética baja estuvo relacionada con las tasas de producción primaria moderadas, debido a la escasez de nutrientes propia de cuerpos de aguas duras.

## AGRADECIMIENTOS

A Ricardo Echenique y Héctor Labollita por la colaboración en el trabajo de campaña. A Carlos R. Tremoules por la realización de los gráficos.

## REFERENCIAS

- Arai, T. 1981. Attenuation of incident solar radiation in lake water. *Jpn. J. Limnol.* 42: 92-99
- Conzonno, V. H., A. A. Mariazzi, M. A. Casco, R. O. Echenique, H. Labollita y M. Petrocchi. 1982. Estudio limnológico en el Lago Pellegrini (Río Negro, Argentina). *Ecosur* 8 (5): 153-170.
- Carlson, R. E. 1977. A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.* 22: 361-369.
- Carlson, R. E. 1980. More complications in the chlorophyll-Secchi disc relationship. *Limnol. Oceanogr.* 25: 379-382.
- Dring, M. J. 1981. Chromatic adaptation of photosynthesis in benthic marine algae: an examination of its ecological significance using a theoretical model. *Limnol. Oceanogr.* 26: 271-284.
- Dubinsky, Z. and T. Berman. 1979. Seasonal changes and the spectral composition of downwelling irradiance in Lake Kinneret (Israel). *Limnol. Oceanogr.* 24: 652-663.
- Dubinsky, Z. 1980. Light utilization efficiency in natural phytoplankton communities. In: Primary productivity in the sea, Ed. P. G. Falkowski, New York. Pag. 83-97.

- Hishida, K., K. Yanashita and M. Takezawa. 1978. On the optical properties of the sea water in the Seto Inland. *Umi. To Sora*. 54: 21-32
- Ikusima, I. 1967. Ecological studies on the productivity of aquatic plant communities. III. Effect of depth on daily photosynthesis in submerged macrophytes. *Bot. Mag. Tokyo*. 80: 57-67.
- Kohan, N. C. y J. M. Carro. 1978. Estadística aplicada. *Eudeba*. 357 p.
- Lange, C. 1904. Río Negro y sus afluentes. *Minist. Agric. Ofic. Meteor. Arg. Secc. Hidrom.*
- Lorenzen, C. 1967. Determination of chlorophyll and phaeopigments: spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr.* 12: 343-346.
- Margaleff, R. 1983. *Limnología. Ed. Omega, Barcelona*. 1010 pp.
- Meffert, M. E. and J. Overbeck. 1985. Dynamics of chlorophyll and photosynthesis in natural phytoplankton associations. II. Primary productivity, quantum yields and photosynthetic rates in small north german lakes. *Arch. Hydrobiol.* 104: 363-385.
- Morel, A. 1978. Available, usable and stored radiant energy in relation to marine photosynthesis. *Deep. Sea Res.* 25: 273-288.
- Planas, D.M. 1973. Composición, ciclo y productividad del Lago de Banyoles. *Oecologia aquatica* 1: 3-106
- Rull, V., T. Vegas y J. Navarro. 1984. Estimación de la luz en los embalses españoles. Relaciones con la concentración de clorofila y partículas en suspensión. *Oecologia aquatica* 7: 25-36
- Schanz, F. 1983. Light conditions in Lake Zürich 1980/ 1981. Part 2: surface effects. *Arch. Hydrobiol.* 97: 501-508
- Schanz, F. 1985. Vertical light attenuation and phytoplankton development in Lake Zürich. *Limnol. Oceanogr.* 30: 299-310.
- Shapiro, J.J., B.Ludquist and R.E. Carlson. 1975. Involving the public in Limnology. An approach to communication. *Ver. Int. Verein. Limnol.* 19: 866-874
- Schelske, C. L. 1962. Iron, organic matter and other factors limiting primary productivity in a marl lake. *Science* 136: 45-46
- Stemann Nielsen, E. 1952. The use of radioactive carbon <sup>14</sup> C for measuring organic production in the sea. *J. Cons. Int. Explor. Mer.* 18: 117-140.
- Tilzer, M. M., C. R. Goldman and E. De Améaga. 1975. The efficiency of photosynthetic light energy utilization by lake phytoplankton. *Verh. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol.* 19: 800-807.
- Tsuda, R. 1980. Measurements of underwater spectral irradiance in Lake Biwa. *Jpn. J. Limnol.* 41: 57-67
- White, W. S. and R. G. Wetzel. 1975. Nitrogen, phosphorus, particulate and colloidal carbon content of sedimenting of a hard water lake. *Verh. Int. Ver. Limnol.* 19: 330-339.

Recibido/Received/: 27 abril 1994

Aceptado/Accepted/: 29 diciembre 1994