

PRODUCCION PRIMARIA Y LA ESTIMACION DEL RENDIMIENTO POTENCIAL PESQUERO EN EL LAGO COCIBOLCA, NICARAGUA

Hooker, E., N. Chow-Wong, K. Rivas, R. Erikson, I. Ahlgren & G. Ahlgren

RESUMEN

Once mediciones de la producción primaria utilizando el método de C^{14} se realizaron entre los años 1990 y 1998 en el Lago Cocibolca. La producción primaria varió entre 0.5 y 3.1 g C $m^{-2} d^{-1}$, registrando los valores promedios más altos durante la estación seca, en comparación con la época de lluvias, con 2.4 y 1.2 g C $m^{-2} d^{-1}$, respectivamente. Estas diferencias probablemente se deban a las variaciones en las condiciones hidrográficas, especialmente las relacionadas con el régimen de lluvias de la región.

Las diatomeas dominaron durante la estación seca, mientras que, las cianófitas y clorófitas abundaron en número y biomasa durante los meses de mayor precipitación y estabilidad en la columna de agua. La fracción de la Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR), absorbida por el fitoplancton fue muy similar en ambas estaciones. Los valores de producción primaria en el Lago Cocibolca y considerando además, el limitado número de datos de nutrientes, lo ubican como un lago eutrófico en la escala trófica. El rendimiento potencial pesquero, estimado por métodos indirectos, es de 50-70 kg $ha^{-1} a^{-1}$.

INTRODUCCION

El Lago Cocibolca (Lago de Nicaragua), es el lago más grande de la América tropical, con un espejo de agua de 8000 km^2 , y aún no afectada por actividad humana como su vecino Lago Xolotlán. A pesar de la importancia de este valioso recurso natural nicaraguense, muy pocas investigaciones limnológicas se han publicado sobre el. Datos sobre la biología de peces y sobre características limnológicas generales fueron publicados por Thorson (1976), pero solamente unas pocas mediciones sobre la producción primaria se realizaron al inicio de los años ochenta, con valores de producción entre 4 – 7 $mg O_2 m^{-2}d^{-1}$ (Katunin et al., 1983, Erikson et al. 1998).

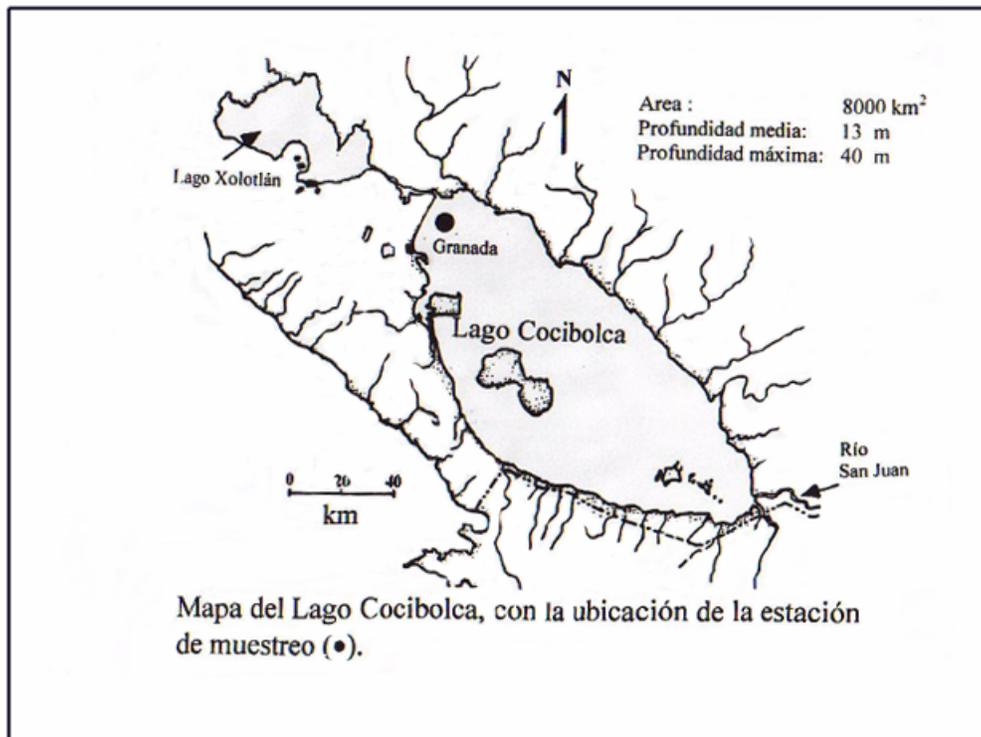
La aplicación de modelos para predecir el rendimiento pesquero utilizando la producción primaria del fitoplancton como la principal variable regulador ha sido más exitoso que otros métodos (Melack 1976, Oglesby 1977, Lowe-McConnell 1987, Downing et al. 1990, Knösche & Barthelmes, 1998). También se han obtenido muy buenas correlaciones entre la fotosíntesis diaria y la producción de alevines en estanques (Wolny & Grygierek 1972). A pesar de estas evidencias los biólogos pesqueros raras veces incorporan las mediciones de la producción primaria en sus estudios. El rendimiento pesquero por producción primaria tiende a ser mayor en lagos tropicales que en lagos templados (Melack 1976), e incrementa exponencialmente con el incremento lineal de la producción primaria en lagos de Africa e India. Sin embargo el rendimiento estimado en el Lago Cocibolca (0.5 kg

$\text{ha}^{-1}\text{a}^{-1}$, Cole, 1976), es muy bajo, cuando es comparado con otros lagos tropicales ($60 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, valor promedio de algunos lagos tropicales).

Los objetivos de este estudio es el de presentar datos sobre la producción primaria, la composición del fitoplancton y las concentraciones de nutrientes. Calcular la fracción de la PAR absorbida por el fitoplancton y estimar el potencial pesquero del Lago Cocibolca basado en los valores de producción primaria.

METODOS

La producción primaria fue medido por la técnica de la botella clara y oscura descrita en detalle en Ahlgren (1988a). Los filtros fueron tratados overnight con un solubilizador de tejido (BTS-450 Beckman) antes de agregar el cocktail de scintilero (PUGH 1973). La producción integral por unidad de área (ΣA) fue corregida con los valores de las botellas oscuras. El tiempo de exposición varió de 1 a 2 horas y la producción diaria se calculó multiplicando la tasa de producción diaria por hora por un factor de 9 (Talling 1965, Erikson et al. 1997) Las mediciones de luz fueron realizadas con un fotómetro LI-189. La extracción de clorofila se analizó utilizando etanol caliente (Nusch 1980). Los análisis químicos se realizaron de acuerdo a Ahlgren & Ahlgren (1976), e.g. nitrógeno inorgánico disuelto ($\text{DIN} = \text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$), Nitrógeno total (Kjeldahl-N + NO_3), fósforo inorgánico disuelto (DIP) y fósforo total (P-tot.).



RESULTADOS Y DISCUSION

Once mediciones de producción primaria fueron realizadas con el método del C^{14} en el Lago Cocibolca entre 1990-1998, siete al final de la estación seca (Abril) y 4 al final de la estación lluviosa (finales de Octubre, inicios de Noviembre) (Tabla 1). Todas las mediciones muestran típicas curvas de producción óptima, con variaciones de la profundidad óptima entre 0.75 y 1.25 m. La producción primaria en éste lago es de origen autóctono, debido en parte a la gran superficie de exposición del Lago Cocibolca. La temperatura presenta poca variación anual, 29 ± 2 °C (Erikson et al. 1997). El limitado número de datos de los nutrientes de solamente 5 muestreos durante la estación seca muestran valores moderadamente altas de Nitrógeno y Fósforo: $620-738 \mu\text{g l}^{-1}$ N total y $63-87 \mu\text{g l}^{-1}$ P total. El fósforo disponibilidad (DIP) fue alto, $9-50 \mu\text{g l}^{-1}$, como también el nitrógeno (DIN), $13-25 \mu\text{g l}^{-1}$. La relación Ntotal/Ptotal ha sido más o menos 10 durante los dos últimos años, así que estos dos nutrientes están bastante balanceados.

La producción primaria por unidad de área (ΣA) fue 4 – 5 veces mayor durante la estación seca en comparación con la estación lluviosa. La mayor variación fue 6-fold, entre 0.5 a $3.1 \text{ g C m}^{-2}\text{d}^{-1}$. La producción primaria en la profundidad óptima (a_{opt}) varió proporcionalmente, mientras la clorofila-a aumentó solamente un 50% durante la estación seca en relación con la estación lluviosa (Tabla 1). La razón de estas diferencias esta probablemente relacionadas con las condiciones hidrológicas. Desafortunadamente no existen registros de datos químicos para los meses de lluvias. Sin embargo, es evidente que después de los períodos de alta precipitación, se presenta una aumento en el nivel del lago de más o menos 1 metro, que pudiera causar la reducción en la concentración de los nutrientes y probablemente una reducción de la producción primaria. Los meses de verano con mayor viento también favorece a la diatomeas (more productive) mientras que el período de lluvias promueve el desarrollo de aquellas algas de crecimiento lento como s las clorofitas y cianofitas (Rivas 1998, Hooker, 1994 Informe CIRA UNAN).

El coeficiente de extinción de la luz (ϵ) fue también diferente para las dos estaciones, con los valores menores, indicando mayor transmisión de luz al final de la estación de lluvias. La fracción de luz absorbida por clorofila (f_c) solo se pudo calcular aproximadamente. Utilizando una constante de absorción específica de la clorofila (k_c) de 0.025 (Erikson, no publicado) y la concentración promedio de clorofila para la estación seca y lluviosa de 22 y 16 mg m^{-3} , se obtuvo $f_c = k_c \times Cl / \epsilon = 0.025 \times 22/2 = 0.28$ versus $0.025 \times 16/1.3 = 0.31$ para la estación seca y lluviosa respectivamente. Estos resultados muestran que el efecto de f_c fue similar en ambas estaciones. Teóricamente, ΣA tiene un valor igual al del límite superior de la fotosíntesis en un sistema donde la clorofila absorbe el 100% de la luz disponible, multiplicado por el valor de f_c (Bannister 1974, Ahlgren & Abegaz 1993). El límite superior pareciera estar alrededor de $8.8 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (Talling 1973). Por lo tanto los valores del Lago Cocibolca serían 0.28 o $0.31 \times 8.8 = 2.4-2.7 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, que son bastante cercanos a los registrados en la Tabla 1. La productividad en la profundidad óptima, medida como capacidad fotosintética (AZ), también fue mayor durante la estación seca, con valores promedios de $9 \text{ mg C mg Chl. h}^{-1}$, comparada con la estación lluviosa con promedios de $5 \text{ mg C mg Chl. h}^{-1}$.

Tab. 1. Producción primaria en el Lago Cocibolca al final de la época de lluvias y al final de la época seca. La producción primaria por día fue estimado multiplicando la producción/hora por un factor de 9. Chl.= Clorofila, a_{opt} = Producción primaria a la profundidad óptima, Z_{opt} = Profundidad óptima, AZ= Número de asimilación, ϵ = Coeficiente de Extinción, Σ = Producción integral por área.

Fecha	Chl ($\mu\text{g L}^{-1}$)	a_{opt} ($\text{mg C m}^{-3}\text{h}^{-1}$)	Z_{opt} (m)	AZ ($\text{C Chl}^{-1} \text{h}^{-1}$)	ϵ_{tot} (m)	ΣA ($\text{g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
Epoca Seca						
6 Apr 1990						
7.00–9.00		63.4	0.75		1.9	0.91
10.15–11.45		47.2	0.75	2.1	2.1	0.69
12.10–14.10		49.1	1.25			0.65
2 Apr 1997						
9.35–11.40	27	137	0.50	5.1		2.1
8 Apr 1997						
8.30–10.00	21	220	0.70	10		3.1
16 Apr 1998						
10.52–12.17	21	239	0.63	11	2.0	3.0
22 Apr 1998						
11.01–12.04	20	229	0.58	11	1.9	3.1
Promedio:	22	180	0.7	9	2	2.4
Epoca de Lluvias						
30 Oct 1991						
12.20–15.00	14	175	1.0	12	1.3	2.7
11 Nov 1996						
10.25–13.00	15	45.1	1.25	3.0	1.4	0.98
30 Oct 1997						
9.10–10.10	18	31.4	1.0	1.7	1.1	0.50
5 Nov 1997						
9.05–11.05	16	30.0	1.0	1.9	1.2	0.53
Promedio:	16	70	1.1	5	1.3	1.2

En los trópicos se han reportado valores de P_{max} de $30 \text{ mg O}_2 \text{ Chl. h}^{-1}$ (Talling et al. 1973), que corresponde a una capacidad fotosintética (AZ) de $11 \text{ mg C mg Chl. h}^{-1}$, i.e. el mismo nivel como en el Lago Cocibolca durante la estación seca. Esto es casi el doble del valor máximo considerado como realístico en las zonas templadas, el cual es de $6.2 \text{ mg C mg Chl.h}^{-1}$ (Harris et al. 1989). Si la clorofila se considera como el 1% de C, obtendremos una tasa de crecimiento de cerca de 0.11 h^{-1} o de 1 d^{-1} en el L. Cocibolca, el cual es un valor realístico, aunque el valor máximo debe estar alrededor de 2 d^{-1} a estas temperaturas altas (c.f. Kebede & Ahlgren, 1997). Sin embargo, a la máxima tasa de crecimiento toda la población, i.e. al máximo rendimiento o la máxima capacidad de carga, no podemos esperar una tasa máxima de crecimiento específico individual. Por el contrario, debemos esperar que las algas individuales están creciendo a la mitad de su tasa máxima de crecimiento (0.5μ) (cf. Ahlgren 1988b).

La tabla 1 muestra tres mediciones de la producción primaria realizadas por un período de una hora en el primer muestreo (Abril, 1990). La primera medición fue de 30-40% mayor que las mediciones posteriores. No obstante, es posible que una exposición de dos horas sea demasiado tiempo para las mediciones futuras. El fitoplancton posiblemente agotó todo el suministro de nutrientes en los momentos de mayor intensidad lumínica, i.e. el llamado efecto-botella (Harris, et. al. 1989). Otra hipótesis factible es que las algas no estaban en un estado de crecimiento equilibrado (cf. Ahlgren 1988b), estas algas pudieran estar limitadas por carbono al inicio del día, con una asimilación de carbono (DIC) mucho más rápido que el crecimiento. Al alcanzar los niveles de saturación en las dos mediciones posteriores, hubo un equilibrio entre la asimilación de carbono y la tasa de crecimiento. La intensidad lumínica también fue alta durante este último período, variando la Z_{opt} de 0.75 m a 1.25 m (Tabla 1). Desafortunadamente no existen registros de datos químicos en estas fechas.

Los valores de producción primaria moderadamente altos en el Lago Cocibolca son similares a los reportados para algunos lagos africanos, e.g. Lagos Victoria, Albert, Tanganyika y Volta (Melack, 1976, Hecky & Fee 1981. No obstante, se cree que la estacionalidad cíclica de la biomasa y producción fitoplanctónica son dependientes de la latitud, con menor variación a latitudes bajas (Letelier et al. 1993). Los datos aquí presentados tienen sus limitantes ya que corresponden a solamente dos períodos de muestreo. Los datos registrados hasta la fecha indican que la amplitud estacional de la producción primaria no es muy grande comparado con la amplitud de densidad de las poblaciones fitoplanctónicas reportadas para los trópicos por Talling (1986), por lo menos de tres órdenes de magnitud. Son necesarios datos mensuales de por lo menos dos años, antes de poder comprender la variación estacional de la producción primaria en el Lago Cocibolca. En tanto que la producción primaria es regulada principalmente por la luz y por las condiciones hidrográficas (Fogg 1965), es muy probable que la variación de la producción primaria es menor en un orden de magnitud en los trópicos. Es por eso que un valor bastante acertado del promedio diario de producción primaria sería $2 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, equivalente a una producción anual de $700 \text{ g C m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ en el Lago Cocibolca. Los datos de producción primaria diaria y los datos químicos aunque limitados ubican al Lago Cocibolca como un lago eutrófico en la escala trófica (Likens 1975).

Una regla general establece que 1% - 1‰ de la producción primaria de un cuerpo de agua puede convertirse en tejido de pez. El promedio de la relación potencial pesquero/ ΣA (en C) es de 0.35% (Melack 1976). Considerando la respiración comunitaria, este valor debe multiplicarse por 0.25. Oglesby (1977) propone 2 ecuaciones [1] y [2] para estimar el potencial pesquero (Y_f) basado en la concentración de clorofila de verano (Chls) y la producción primaria anual (ΣA_y). Adicionalmente se presentan otras ecuaciones dadas por Downing et al. 1990 (3) y Knösche & Barthelmes 1998 (relación Bulon-Vinberg)

$$\log Y_f (\text{p.f.}) = - 1.92 + 1.17 \log \text{Chl} \quad [1]$$

$$\log Y_{fc} (C) = - 6.00 + 2.00 \log \Sigma A \quad [2]$$

$$\log \text{FP} = 0.60 + 0.575 \log \Sigma A_y \quad [3]$$

$$Y = 14.24 + 0.056 \times \text{PP} \quad [4]$$

El rendimiento potencial pesquero del Lago Cocibolca, estimado por mediciones indirectas se resumen en la siguiente tabla:

Peso Fresco Kg ha ⁻¹ a ⁻¹	Factor de Conversión	Referencias
7 –70	1% - 1‰ de ΣA	Regla General
70	1% de ΣA	Ryther 1969
60	0.25 X 0.35 % de ΣA	Melack 1976
16	Chls (Ecu. 1)*	Oglesby 1977
50	ΣA_y (Ecu. (2))	Oglesby 1977
170	ΣA_y (Ecu. (3))	Downing et al. 1990
50	PP	Knösche & Barthelmes 1998

* Promedio de todos los datos de clorofila.

La mayoría de las estimaciones caen dentro de la regla general. La suposición más acertada es que los valores entre 50 – 50 kg ha⁻¹ a⁻¹ son los más realísticos. Esto significa que aproximadamente solo el 1 % de la producción pesquera potencial fue capturada en el Lago Cocibolca durante los años setenta. Estos valores concuerdan con los estimados en varios lagos africanos, e.g. Lagos Victoria, Tanganyika, Albert y Volta (Melack 1976, Hecky & Fee 1981). No obstante para realizar estimaciones más precisas del rendimiento pesquero en un lago, deben considerarse las pérdidas en la cadena alimentaria como las discutidas en Ahlgren et al. 1999.

REFERENCIAS

- Ahlgren G., 1988^a. Phosphorus as growth-regulating factor relative to other environmental factors in cultured algae. – *Hydrobiologia* 170: 191-210.
- Ahlgren, G., 1988b. Comparison of algal C¹⁴ –uptake and growth rate in situ and in vitro. – *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 26: 429-434.
- Ahlgren, G., I. B. Gustafsson & M. Boberg, 1992. Fatty acid content and chemical composition of freshwater microalgae. – *J. Phycol.* 28: 37-50.
- Ahlgren, I., R. Erikson, S. Montenegro, L. Moreno, L. Pacheco, & K. Vammen. 1999. Pelagic food web interactions in Lake Cocibolca, Nicaragua. En prensa.
- Ahlgren, I. & Z. Abegaz, 1993. Interactions of light, nutrients and stratification regimes in controlling phytoplankton primary production in eutrophic lakes. – *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 25: 506-511.
- Ahlgren, I. & G. Ahlgren, 1976. Vattenkemiska analysmetoder sammanställda för undervisningen i limnologi (Methods of water-chemical analyses compiled for instruction in limnology, English translation 1978). Institute of Limnology, Uppsala, Sweden, 112 pp.
- Bannister, T.T., 1974. Production equations in terms of chlorophyll concentration, quantum yield, upper limit in production. – *Limnol. Oceanogr.* 19: 1-12.
- Cole, G.A., 1976. Limnology of the great lakes of Nicaragua. – In: T.B. Thorson (Ed.) *Investigations of the ichthyofauna in Nicaraguan lakes*: 9-15. University of Nebraska, Lincoln, NB.
- Downing, J.A., C. Plante. & S. Lalonde, 1990. Fish production correlated with primary productivity, not the morphoedaphic index. – *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 47: 1929-1936.
- Erikson, R., M. Pum, K. Vammen, A. Cruz, M. Ruíz & H. Zamora, 1997. Nutrient availability and the stability of phytoplankton biomass and production in Lake Xolotlán (L. Managua, Nicaragua). – *Limnologica* 27: 157-164.
- Erikson, R., E. Hooker, M. Mejía, A. Zelaya, A. & K. Vammen, 1998. Optimal conditions for primary production in a polymictic tropical lake. (Lake Xolotlán, Nicaragua). – *Manuscript*.

- Fogg, G.E., 1965. *Algal cultures and phytoplankton ecology*. – The Athlone Press, London, 126 pp.
- Harris, G. P., F. B. Griffiths & D. P. Thomas, 1989. Light and dark uptake and loss of C¹⁴: methodological problems with productivity measurements in oceanic waters. – *Hydrobiologia* 173: 95-105.
- Hecky, R.E. & E. J. Fee, 1981. Primary production and rates of algal growth in Lake Tanganyika. *Limnol. Oceanogr.* 26: 532-547.
- Katúnin, D. N., V. A. Akimow, N. Vérzin. & V. E. Filátov, 1983. Investigaciones económicas de pesca de los depósitos de agua interiores de la República de Nicaragua (el Lago de Nicaragua). – Stencilled report. IRENA/Managua.
- Kebede, E. & G. Ahlgren, 1996. Optimum growth conditions and light utilization efficiency of *Spirulina platensis* (= *Arthrospira fusiformis*) (Cyanophyta) from Lake Chitu, Ethiopia. – *Hydrobiologia* 332: 99-109.
- Knösche, R. & D. Barthelmes, 1998. A new approach to estimate lake fisheries yield from limnological basic parameters and first results. – *Limnologica* 28: 133-144.
- Letelier, R. M., R. R. Bidigare, D. V. Hebel, M. Ondrusek, C. D. Winn. & D. M. Karl, 1993. Temporal variability of phytoplankton community structure based on pigment analyses. – *Limnol. Oceanogr.* 39: 1420-1437.
- Likens, G. E., 1975. Primary production of inland aquatic ecosystems. In: H. Lieth & R. H. Whittaker (Eds.), *Primary Productivity of the Biosphere*: 314-348. Springer-Verlag, New York.
- Lowe-Connell, R. H., 1987. *Ecological studies in tropical fish communities*. – University Press, Cambridge, 382 pp.
- Melack, J. M., 1976. Primary productivity and fish yields in tropical lakes. – *Transactions of the American Fisheries Society* 105: 575-580.
- Nusch, E. A., 1980. Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination. – *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.* 14: 14-36.
- Oglesby, R. T., 1977. Relationships of fish yield to lake phytoplankton standing crop, production, and morphoedaphic factors. – *J. Rish. Res. Board, Can.* 34: 2271-2279.
- Pugh, G. J. F., 1973. An evaluation of liquid scintillation counting techniques for use in aquatic primary production studies. – *Limnol. Oceanogr.* 18: 310-319.

- Ryther, J. H., 1969. Photosynthesis and fish production in the sea. – *Science* 166: 72-76.
- Rivas, K., 1998. Comportamiento del fitoplancton del Lago Cocibolca (Behaviour of phytoplankton in Lake Cocibolca). – Manuscript.
- Talling, J. F. , 1965. The photosynthetic activity of phytoplankton in East African lakes. – *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 51: 546-621.
- Talling, J. F., 1986. The seasonality of phytoplankton in African lakes. – *Hydrobiologia* 138: 139-160.
- Talling, J. F., R. B. Wood, M. V. Prosser & R. M. Baxter, 1973. The upper limit of photosynthetic productivity by phytoplankton: evidence from Ethiopian soda lakes. – *Freshw. Biol.* 3: 53-76.
- Thorson, T.B., 1976. *Investigations of the ichthyofauna in Nicaraguan lakes.* – University of Nebraska, Lincoln, NB.
- Wolny, P. & E. Grygierek, 1972. Intensification of fish ponds production. In: Z. Kajak & A. Hillbricht-Ilkowska (Eds.), *Productivity problems of freshwaters*: 563-571. Polish Scientific Publishers, Warsaw.