

PRODUCTIVIDAD PRIMARIA EN UN ESTANQUE DE CRIA DE PECES (31°12'S; 57°55'W)

Lino PIZZOLON y Rolando QUIROS*

SUMMARY: Primary productivity in a fish pond (31°12'S; 57°55'W).

Gross and net primary productivity, respiration and related parameters were estimated in an experimental fish pond where silverside (*Basilichthys bonariensis*) were bred, using the oxygen light-dark bottle method. The results obtained showed a positive correlation ($r = 0.83$, $p < 0.005$) with temperature. The chlorophyll a concentration, the number of phytoplankton cells and the Secchi disk showed no correlation with primary productivity.

The mean gross primary productivity on sunny days was $2022 \text{ g C m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ in the deepest zone, with a 47% variation. For the whole pond the results was $358.7 \text{ KgC ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ considering a correction for statistical average of sunny days. The respiration/gross primary productivity relation was 0.50 for the whole pond.

With comparative purposes the primary productivity was estimated with the simplified method of daily curves and by the method of oxygen changes in open waters.

INTRODUCCION

Las estimaciones de la productividad primaria en estanques de cría de peces, se realizan a fin de cuantificar la importancia relativa de la entrada de carbono por fijación fotosintética con respecto a las entradas por alimentación artificial o por fertilización con abono orgánico, y en relación a la producción de peces (Noriega-Curtis 1979; Zur 1981).

El conocimiento de la magnitud de cada una de dichas entradas está ligado a la posibilidad de modificar la trama trófica del estanque, orientando la circulación de la materia orgánica, de modo tal que la mayor parte de ella se convierta en biomasa de peces.

Mientras las entradas por alimentación y por fertilización son fácilmente cuantificables en base a los registros de suministro, la entrada por fotosíntesis requiere de una metodología ad hoc.

Entre las diversas en uso, escogimos una básica, que nos permitiera la más amplia comparación de los resultados con trabajos similares realizados previamente, es decir, la basada en la evolución de oxígeno en botellas claras y oscuras, siguiendo en principio a Boyd (1979).

* Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, Casilla de Correo 175. 7600 Mar del Plata, Argentina.

ECOSUR	Argentina	ISSN 0325-108X	v. 11	n. 21/22	págs. 1-18	1984
--------	-----------	-------------------	-------	----------	---------------	------

Sin embargo es cada vez más evidente que dicha metodología puede llegar a brindar una estimación de la productividad inferior a la real, en especial, en ambientes como el trabajado por nosotros, con poblaciones densas de fitoplancton. A fin de cuantificar esta posible subestimación por efecto del aislamiento en las botellas, realizamos estimaciones de la productividad con el método simplificado de las curvas diurnas de Odum-McConnell y con el monitoreo de los cambios en la concentración de oxígeno "in situ", simultáneamente con la incubación en botellas.

El presente trabajo se llevó a cabo en el Centro de Investigación Pesquera, INIDEP - Comisión Técnica Mixta de Salto Grande, Salto Grande (Entre Ríos), como parte del programa "Desarrollo de metodologías de cría del pejerrey lagunero (*Basilichthys bonariensis*) en aguas cálidas".

MATERIALES Y METODOS

Los experimentos se llevaron a cabo en un estanque de membrana asfáltica, cuya morfometría se indica en la Tabla 1 y Fig. 1. El mismo fue "encalado" con hidróxido de calcio durante su llenado en 1980, fertilizado inicialmente con estiércol de vaca y periódicamente con superfosfato y nitrato de potasio. No se proporcionó alimento artificial. Se agregó agua sólo a fines de compensar las pérdidas por evaporación o para diluir concentraciones excesivas de fitoplancton. Este manejo tendió a mantener una lectura del disco de Secchi aproximadamente constante.

Los valores medios de los parámetros físico-químicos considerados de importancia, se detallan en la Tabla 2. La radiación solar para el lugar corregida por heliofanía, se obtuvo de la información suministrada por la Comisión Técnica Mixta de Salto Grande y de Crivelli y Pedregal (1972).

Las incubaciones se realizaron con una frecuencia aproximadamente mensual, a cuatro niveles y en la zona de profundidad máxima. El agua se extrajo con bomba y fue mantenida en oscuridad por un período aproximado de dos horas previo al comienzo de la incubación. Esta se realizó "in situ", y a las profundidades de extracción, con tres botellas claras

TABLA I
Parámetros morfométricos.

Superficie:	152 m ²
Profundidad media:	0,50 m
Profundidad máxima:	0,95 m
Volumen:	77 m ³
Longitud:	18,5 m
Ancho:	8,5 m

TABLA 2
Parámetros físico-químicos.

Parámetro	X	N
MOD (mg C l ⁻¹)	26	2
TA (Mmol l ⁻¹)	0,72	8
PA (Mmol l ⁻¹)	0,31	8
pH	9,65	8
PT (μg l ⁻¹)	848	8
PTF (μg l ⁻¹)	374	1
P-PO ₄ (μg l ⁻¹)	269	3
NOT (μg)	215	7
N-NO ₃ (μg l ⁻¹)	23	1
N-NH ₄ (μm)	1	2
Turbidez (NTU)		8
Color real (Hazen)	30	7

(MOD: materia orgánica disuelta; TA: alcalinidad total; PA: alcalinidad a la fenolftaleína; PT: fósforo total; PTF: fósforo total filtrable; P-PO₄: fósforo de ortofosfato; NOT: nitrógeno orgánico total; N-NO₃: nitrógeno de nitratos; N-NH₄: nitrógeno de amonio).

y una oscura por nivel, mantenidas en posición horizontal por un soporte de acrílico del tipo diseñado por Schindler y Holmgren (1971). Se incubó siempre en días soleados y entre las 10 y las 12 horas. Simultáneamente se realizó la lectura del disco de Secchi (LS) y de la temperatura (T°C) en superficie. Tanto la preincubación en oscuridad como la brevedad del período de incubación se ajustaron a la necesidad de evitar la sobresaturación y consiguiente desprendimiento de burbujas de oxígeno dentro de las botellas claras (Boyd 1979).

La determinación del oxígeno disuelto (OD) se hizo con el método de Winkler, modificación de la azida sódica (Standards Methods for the Examination of Water and Waste-water, 1975) a continuación de la incubación, y con doble titulación las botellas oscura y testigo. La productividad primaria bruta (PPB), productividad primaria neta (PPN) y la respiración (R) por unidad de área, se calcularon por integración gráfica del área subyacente a las curvas fotosíntesis vs. profundidad. La determinación de clorofila a (Chl a), feopigmentos y pigmentos totales se realizó por el método de Stauffer et al. (1979). La concentración de células del fitoplancton de red (CC) se calculó con el método simplificado de Edmonson (1974), en muestras de agua tomadas en superficie y filtradas a través de una red de 55 μ.

Cálculo de la tasa diaria de productividad

Este cálculo se basó en la suposición de que la PPB es aproximadamente proporcional a la radiación incidente (E) en cada instante a lo largo del día (Vollenweider 1965; Schindler y Holmgren 1971; Boyd 1979). Es decir, siendo t el tiempo transcurrido desde el comienzo hasta el final de la incubación, y λ , el tiempo transcurrido desde la salida hasta la puesta del sol, es:

$$\frac{PPB_t}{PPB_\lambda} = \frac{E_t}{E_\lambda}$$

donde PPB_t es la PPB determinada durante el período de incubación t, PPB_λ es la PPB diaria, E_t es la energía incidente durante el período de incubación y E_λ , la energía total incidente durante el día. El valor de λ para cada fecha de incubación se obtuvo del Almanaque Náutico y Aeronáutico (1981).

El cociente E_t/E_λ se calculó suponiendo que E varía ajustándose a una función coseno desde la salida hasta la puesta del sol, con el máximo al mediodía solar, y simétrico a ambos lados del mismo (Vollenweider 1965; Platt 1971), e integrando la ecuación de Vollenweider (1965), aplicable a días despejados,

$$I_0 = I_0 \text{ máx } 1/2 (1 + \cos 2 \pi t/\lambda)$$

donde I_0 es la intensidad de radiación inmediatamente debajo de la superficie del agua e $I_0 \text{ máx}$ es la máxima E, alcanzable al mediodía solar, también en la subsuperficie.

La fracción de tiempo (t/λ) se expresó en forma adimensional mediante el número τ (Pérez del Viso y Mantovani 1967), a fin de calcular la E_t incidente en cualquier lapso de tiempo durante el día.

$$\begin{aligned} E_t &= \int_{\tau_1}^{\tau_2} I_0 d\tau = 1/2 I_0 \text{ máx } \int_{\tau_1}^{\tau_2} (1 + \cos 2 \pi) d\tau \\ &= 1/2 I_0 \text{ máx } [(\tau_2 - \tau_1) + 1/2 (\text{sen } 2\pi \tau_2 - \text{sen } 2\pi \tau_1)] \end{aligned}$$

Para un día completo de sol $\tau_1 = -0.5$ y $\tau_2 = +0.5$; entonces

$$E_\lambda = 1/2 I_0 \text{ máx}$$

$$A = E_t/E_\lambda = \frac{1/2 I_0 \text{ máx } [(\tau_2 - \tau_1) + 1/2 (\text{sen } 2\pi \tau_2 - \text{sen } 2\pi \tau_1)]}{1/2 I_0 \text{ máx}}$$

Los resultados de seis incubaciones sucesivas en un día de sol pleno (Fig. 2), mostrarían que la suposición realizada es aceptable. La PPB_λ esti-

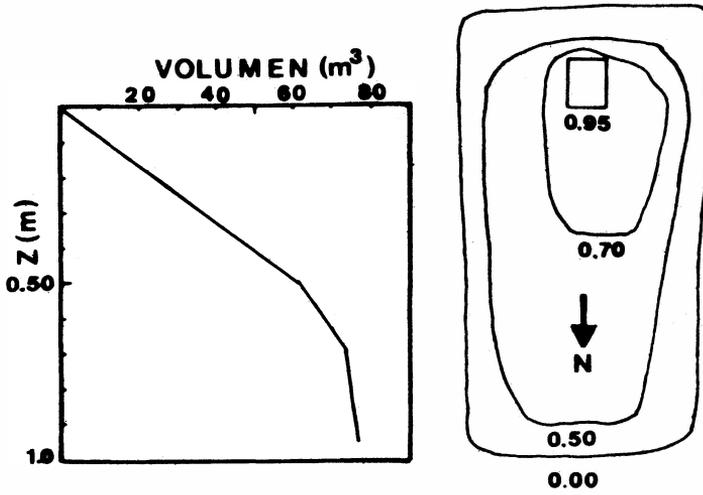


Fig. 1.- Características morfométricas. 1.a Curvas de nivel (en metros). 1.b Curva de profundidad-volumen. (Morphometrical characteristics. 1.a Bottom contours (in meters). 1.b Depth-volume curve).

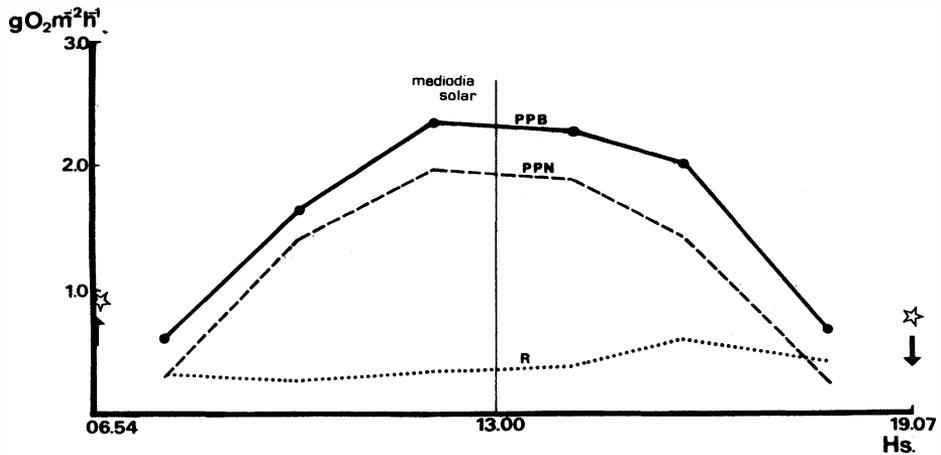


Fig. 2.- Variación de la productividad primaria bruta (PPB), productividad primaria neta (PPN) y respiración (R) en un día de sol pleno. (Changes in gross primary productivity, net primary productivity and respiration in a cloudless day).

mada con el factor A, aplicado a los valores de PPB_t obtenidos en las incubaciones de 10 a 12 hs (o de 14 a 16 hs), fue un 10% menor que la PPB_λ obtenida por sumatoria de los valores parciales de cada incubación.

La PPB diaria, estimada aplicando el factor A al valor de PPB_t del mediodía solar, fue un 15% menor que la PPB_λ obtenida por sumatoria de las PPB parciales. La PPB_λ estimada a partir de los valores de PPB_t de los extremos del día, dio resultados arbitrariamente mayores que los obtenidos por sumatoria de los parciales.

El mejor ajuste entre la PPB_λ obtenida por sumatoria y la PPB_λ estimada mediante el factor A, se obtuvo entonces cuando éste se aplicó a los valores de PPB obtenidos entre 10 y 12 hs. Este resultado es coincidente con los presentados por Vollenweider (1965), en el sentido de ser el segundo período —en un día dividido en cinco partes— el que permite la estimación de la PPB diaria con la mayor aproximación. Hammer et al. (1973) utilizando un factor de conversión empírico, encontraron las mismas desviaciones arbitrarias antes mencionadas, con respecto a las incubaciones de los extremos del día. La simetría aproximada de las curvas diarias fue encontrada también por Zur (1981) en estanques de cría de peces no estratificados.

La tasa respiratoria estimada durante el lapso de incubación se supuso constante durante las 24 hs (Boyd 1979). Restándose el valor de R sobre las 24 hs del valor diario de PPB, se obtuvo el valor de PPN sobre las 24 hs.

La PPB y la PPN para la totalidad del estanque se calcularon por método de estratos (Wetzel, 1981; Cabrera y Montecino 1982) y comparativamente, por integración hasta la profundidad media (Fott 1972), suponiendo homogeneidad horizontal de las mismas.

Los valores de PPB, R y PPN para la totalidad del período estudiado se obtuvieron por integración gráfica de los valores diarios. Puesto que fueron estimados partiendo de incubaciones realizadas en días soleados, se corrigieron por la heliofanía histórica promedio del lugar, registrada en la estación meteorológica adyacente, siendo la misma del 55% (Servicio Meteorológico Nacional 1980, 1981). La influencia de la nubosidad sobre la producción primaria se determinó con incubaciones en dos días consecutivos, con sol y nublado respectivamente, registrándose una disminución del 55% de la PPB, y del 75% de la PPN, porcentaje aproximado al de la disminución de la radiación en días muy nublados, referido por Vollenweider (1974).

Métodos comparativos

En siete ocasiones, simultáneamente con el inicio y la finalización de las incubaciones, se registró el perfil vertical de OD y de temperatura cada 15 cm con una multisonda Horiba U-7, calibrada "in situ". Por integración gráfica de las diferencias en la concentración inicial y final de OD en cada

nivel, se obtuvo el valor de PPN. Este procedimiento equivale a considerar solamente dos puntos consecutivos del método de las curvas diurnas (Odum y Hoskins 1958).

El método simplificado de las curvas diurnas se empleó determinando OD por Winkler, y temperatura, en agua extraída con botella muestreadora de captura horizontal, a cuatro niveles; la misma permitió extraer muestras de estratos de 7 cm de espesor. La PPB, R y PPN diarias se estimaron según Mc Connell (1962) y Lind (1979).

Los valores de productividad obtenidos con ambos métodos se corrigieron por difusión de oxígeno a la atmósfera, según Welch (1968), teniendo en cuenta la velocidad del viento en superficie, registrada con un anemómetro Tylor, tipo Biram. Precisando lo sugerido por Welch (1968) se adoptó como coeficiente de difusión de oxígeno, k (expresado en $\text{g O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ a 100% de apartamiento de la saturación), 0,1 para vientos de 0-1 km.p.h., 0,2 para vientos de 1-2,5 km.p.h., 0,3 para vientos de 2,5-5 km.p.h., 0,4 para vientos de 5-8 km.p.h. y 0,5 para vientos de más de 8 km.p.h.

RESULTADOS

El estanque estudiado presentó durante el día una marcada estratificación térmica y de OD, homogeneizándose el perfil durante la noche. El máximo valor de saturación de OD se registró al final del día en marzo y fue del 305%, y el mínimo, registrado al final de las noches largas de julio y agosto, fue del 97%.

Los perfiles de PPB (Fig. 3) muestran que el límite inferior de la zona eufótica, equivalente a la profundidad de compensación (Boyd 1979) determinada durante el período de incubación, se situó en promedio a 2.7 de la LS, es decir a 1 m, profundidad algo mayor que la máxima del estanque (0,95 m). La inhibición de fotosíntesis en superficie solamente se registró en mayo y junio de 1982. El mayor valor de PPB por unidad de volumen, se obtuvo en enero, siendo el mismo de $2,85 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ a 0,15 m de profundidad, sin que el perfil denotase inhibición.

En el período estudiado se estimó una PPB media de $6,47 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ en la zona de mayor profundidad, con un máximo de 12,18 y un mínimo de $2,58 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (Tabla 3). Correlacionó exponencialmente con la temperatura, $r = +0,83$; $p < 0,005$. Fue independiente de la concentración de células del fitoplancton, $r = -0,29$, de la concentración de clorofila a, $r = -0,04$ y de la lectura del disco de Secchi, $r = +0,07$. Estas dos últimas variables correlacionaron exponencialmente entre sí, $r = +0,80$ $p < 0,05$ (Figs. 4 y 5). De no mediar el valor de CC de agosto, la correlación con la Chl a se ajusta al tipo exponencial y con coeficiente de correlación de 0,99.

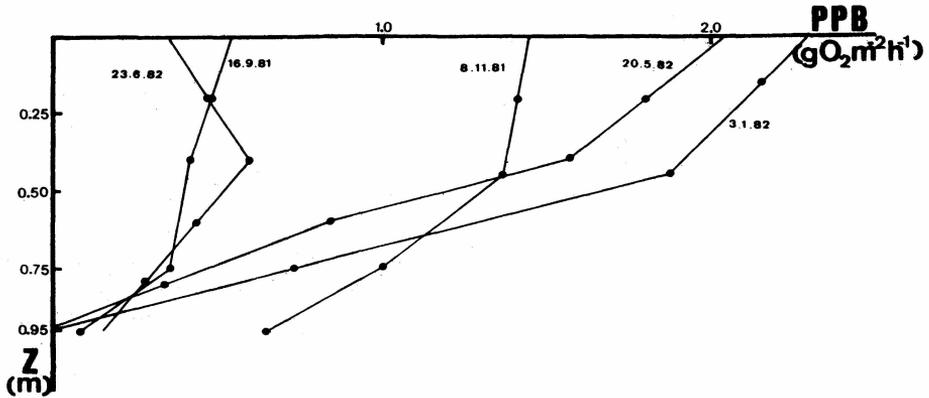


Fig. 3.-- Perfiles representativos de productividad primaria bruta (PPB). (Representative profiles of gross primary productivity (PPB)).

TABLA 3

Producción primaria bruta diaria y producción primaria neta y respiración durante las 24 hs, en la zona de profundidad máxima.

Fecha	PPB _t	A	PPB _λ	R _{24 hs}	PPN _{24 hs}
08-08-81	1,293	0,300	4,31	6,62	2,31
16-09-81	0,917	0,356	2,58	4,51	1,94
08-11-81	2,217	0,276	8,03	5,09	2,95
03-01-82	3,064	0,274	11,18	5,54	5,64
05-01-82	3,094	0,254	12,18	8,93	3,25
12-02-82	2,491	0,244	10,21	3,86	6,35
30-03-82	1,394	0,244	5,71	3,46	2,26
20-05-82	2,302	0,338	6,81	4,63	2,18
23-06-82	0,735	0,260	2,83	2,57	0,26
19-07-82	1,008	0,348	2,90	3,34	0,44
21-08-82	0,905	0,280	3,23	2,54	0,69

(Valores en g O₂ m⁻²)

(PPB_t: productividad primaria bruta estimada durante el tiempo de incubación; A: fracción del total de radiación solar diario, incidente durante el período de incubación ($A = I_t/I_\lambda$); PPB_λ: productividad primaria bruta diaria; R_{24 hs}: respiración durante las 24 hs; PPN_{24 hs}: productividad primaria neta durante las 24 horas).

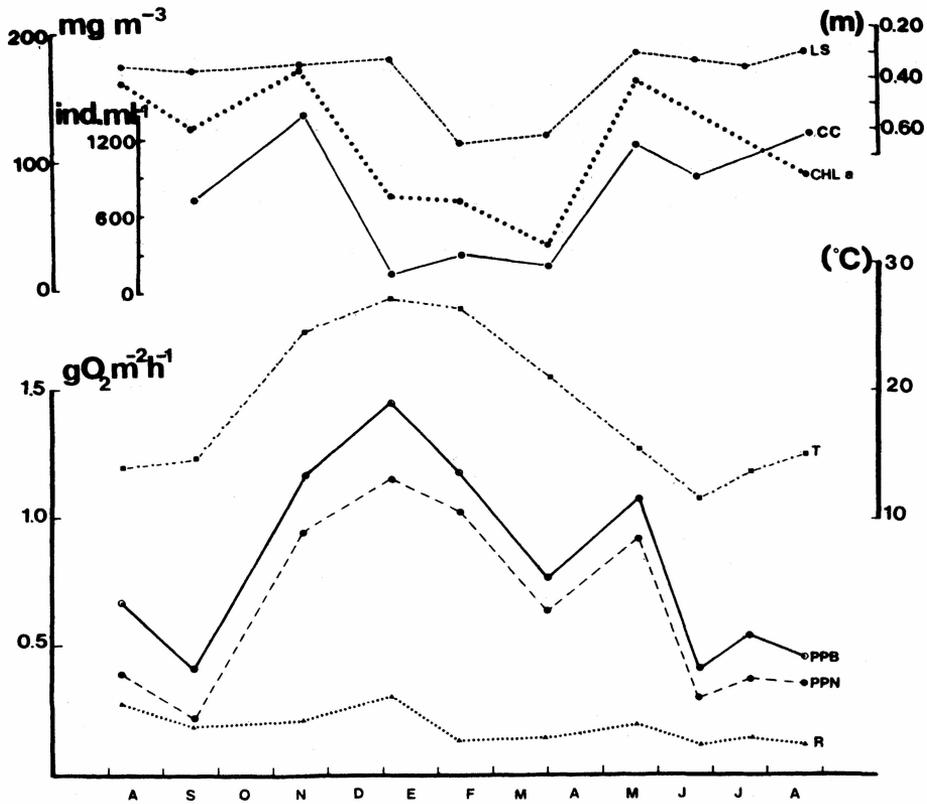


Fig. 4.- Variación temporal de la productividad primaria bruta (PPB), productividad primaria neta (PPN), respiración (R) y de los parámetros relacionados, en la zona de profundidad máxima (a). (Temporal changes in gross primary productivity, net primary productivity, respiration and related parameters in the deepest zone (a)).

La respiración tuvo una correlación poco significativa con la temperatura, $r = +0,47$; $p < 0,10$. La media anual estimada durante el período de incubación fue de $0,19 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. La media anual sobre las 24 hs fue de $4,51 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-2}$, siendo la relación R/PPB de 0,7 para la zona de profundidad máxima. La respiración diaria (24 hs) fue superior al monto de PPB en agosto y setiembre de 1981 y en julio de 1982 (Tabla 3), obteniéndose por lo tanto PPN negativas en dichas fechas.

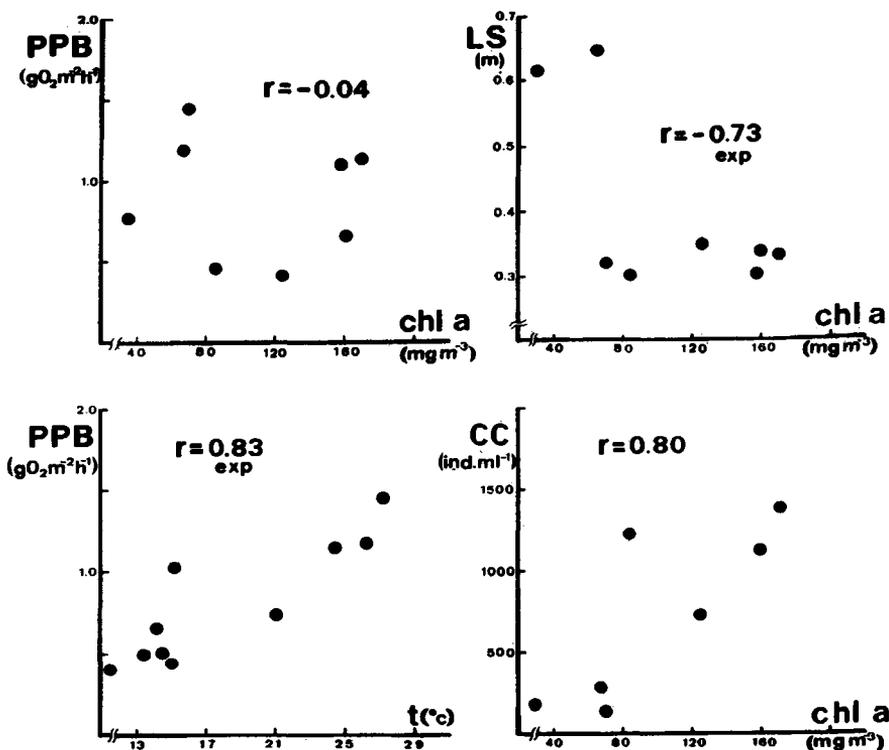


Fig. 5.— Relaciones entre la: a. Concentración de clorofila a (Chl a) y a la productividad primaria bruta (PPB). b. Temperatura (T) y la productividad primaria bruta (PPB). c. Concentración de clorofila a (Chl a) y la lectura del disco de Secchi (LS). d. Concentración de clorofila a (Chl a) y la concentración de células de fitoplancton (CC). (Relationships between: a. Chlorophyll a concentration (Chl a) and gross primary productivity (PPB). b. Temperature (T) and gross primary productivity (PPB). c. Chlorophyll a concentration (Chl a) and Secchi disk readings (LS). d. Chlorophyll a concentration (Chl a) and phytoplankton cell concentration (CC)).

La producción primaria neta fue siempre positiva durante el período de incubación, representando el 75% de la PPB. En cambio sobre las 24 hs representó solamente el 30% de la PPB, siendo negativa en las tres ocasiones antes dichas.

Los valores de PPB y PPN presentados, se obtuvieron a partir de incubaciones realizadas a pleno sol. Puesto que sólo un 55% de los días del año presenta tales condiciones (heliofanía histórica promedio de 20 años) en el lugar, para los valores de PPB se estimó una disminución del 25%, y para los de PPN, de un 36% (Tabla 4).

TABLA 4
Comparación de los valores medios diarios de productividad primaria bruta (PPB),
productividad primaria neta (PPN) y respiración (R) en la zona de profundidad
máxima y en el estanque completo.

	En días soleados	Corregida por heliofania
Z = 0,95 m		
PPB	2022	1522
PPN	613	406
R	1409	1116
Estanque completo		
PPB	1303	980
PPN	608	405
R	695	575

(Valores en g O₂ m⁻²)

En la totalidad del estanque, la PPB media fue de 1303 y de 1378 mg C m⁻² d⁻¹, valores estimados respectivamente con el método de los estratos y con el de integración gráfica hasta la profundidad media, dando ambos métodos de cálculo resultados similares dentro del error experimental.

La PPN estimada por monitoreo de los cambios de concentración de OD determinados "in situ" correlacionó con la PPN estimada con el método de la botella clara y oscura con r = + 0,63, guardando respectivamente entre sí una relación de 1,56 en promedio (Tabla 5A).

La PPB diaria obtenida a partir del método simplificado de las curvas diurnas, fue 1,82 veces superior a la estimada a partir de incubaciones en botella clara y oscura (Tabla 5B), correlacionando positivamente entre sí con r = 0,80.

Utilizando el factor de conversión de Brody (Welch 1968) de 3.374 Kcal g O₂⁻¹, la PPB media anual resulta equivalente a 21.83 Kcal. Con los datos de radiación solar para días despejados a 30 S del Handbook of Chemistry and Physics (1978) se calculó entonces una eficiencia fotosintética media de 0,8%.

La comunidad fitoplanctónica se caracterizó por la dominancia de pequeñas clorococales no determinadas, cuya concentración osciló alrededor de las mil células por mililitro, descendiendo en un orden de magnitud en los meses de enero a marzo. Le siguió en importancia la clorococal *Oocystis* sp.; ésta desapareció en marzo para repuntar luego a los valores anteriores. Otras clorococales fueron importantes como acompañantes, *Scenedesmus quadricauda*, *Scenedesmus* sp., y *Coelastrum* sp. En cambio, *Stauras-*

TABLA 5.A

Comparación de métodos - Botellas claras y oscuras (a) vs. monitoreo de los cambios de concentración de oxígeno "in situ" (b).

Fecha	(a) Botella C. y O.	(b) Sonda (1)	(a) (b)
08-08-81	0,388	0,97	2,50
08-11-81	0,939	1,05	1,12
03-01-82	1,173	1,99	1,70
05-01-82	1,119	2,06	1,84
12-02-82	1,020	1,01	1,61
30-05-82	0,907	0,97	1,07
X:			1,56

(1) Corregido por difusión. (Valores en $\text{g O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$).

TABLA 5.B

Comparación de métodos - Botellas claras y oscuras (a) vs. método simplificado de las curvas diurnas (b)

Fecha	(a) Botella C. y O.		(b) Curvas diurnas (1)		(a) (b)	
	PPB	PPN	PPB	PPN	PPB	PPN
30-03-82	5,71	2,26	13,24	3,60	2,32	1,60
10-05-82	6,81	2,18	9,06	4,15	1,33	1,91
23-06-82	2,83	0,26	4,85	0,44	1,72	1,70
19-07-82	2,90	0,44	5,43	2,03	1,87	4,62
21-08-82	3,23	0,69	5,93	3,11	1,84	4,52
X:					1,82	2,87

(1) Corregido por difusión. (Valores en $\text{g O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$).

trum sp., *Pediastrum tetras*, *P. duplex*, *Cosmarium* sp. y *Closterium* sp. fueron de rara aparición, estando ausentes en los meses más cálidos.

Raphidiopsis sp. y *Anabaena ambigua* fueron frecuentes en invierno y verano respectivamente. *Navicula* sp., *Synedra* sp. y *Melosira granulata* fueron de aparición esporádica y en muy escaso número. *Melosira granu-*

lata y *Anabaena ambigua* provinieron del agua de reposición (Luchini, comunicación personal).

El sedimento propio formado al cabo de dos años alcanzó 15 cm de espesor, presentando abundancia de quironómidos.

DISCUSION

La PPB anual estimada en días soleados en la zona de profundidad máxima, osciló entre 0,81 y 3,81 g C m⁻² d⁻¹, valores que se encuentran en el rango de los citados por otros autores:

	g Cm ⁻² d ⁻¹
Fott, 1972, Checoslovaquia	0,2 - 3,03
Imevbore et al., 1972, Nigeria	0,5 - 3,5
Boyd, 1979, EE.UU. (Alabama)	1,0 - 3,0
Balvay, 1980, Polonia	1,23 - 2,08
Hépher, 1962, Israel	3,29 - 6,43
Noriega-Curtis, 1979, Israel	1,3 - 8,5
Zur, 1981, Israel	2,2 - 8,15

Estos datos no siempre son directamente comparables. Nuestros resultados fueron obtenidos durante un período de trece meses, mientras que los autores citados, en particular los tres últimos, trabajaron durante períodos más cortos (50-90 días) y en los meses de más alta productividad. Las LS decrecientes en el trabajo de Zur, muestran que se trató de poblaciones en activo crecimiento, además de haber sometido los estanques a un manejo hiperintensivo (suministro de alimento, de estiércol fermentado, aireación y elevada carga de peces).

Esto conduce siempre a obtener eficiencias fotosintéticas más altas, de hasta 4-5% (Goldman 1979), mientras que la eficiencia fotosintética media para los 13 meses obtenida por nosotros fue del 0,8%, valor que se encuentra en el rango de los dados para condiciones similares.

La profundidad de compensación promedio (1,0 m), situándose al doble de la profundidad media del estanque (0,5 m), disminuyó el espesor de la zona fótica, limitando por consiguiente la producción primaria. Para optimizarla, es necesario que la luz sea absorbida totalmente antes de llegar al fondo (Goldman 1979; De Pauw *et. al.* 1980), hecho que no ocurrió en nuestro caso. Esto explicaría la diferencia del 35% entre las productividades brutas estimadas para la zona de mayor profundidad y para el estanque completo (Tabla 4).

Las variaciones de la PPB siguieron a las variaciones de la temperatura, con excepción del pico relativo de productividad de mayo. Otros autores comprobaron una correlación semejante de la PPB con la temperatura, pero adjudicando a la radiación la influencia directa sobre la productividad

y a la temperatura un efecto secundario, ya que esta incidiría al mismo tiempo sobre procesos catabólicos como la respiración (Goldman 1979; Lingeman 1980). El pico relativo de productividad de mayo es asignable a un repunte en la población fitoplanctónica, manifiesto en el aumento de la concentración del Chl a, de la CC y correlativa disminución de la LS (Fig. 4).

La ausencia de correlación entre la PPB y la concentración de Chl a o la CC fue encontrada también por otros autores que trabajaron en estanques de cría de peces (Zur 1981; Castagnolli et al. 1982) o en general en ambientes con elevada densidad de fitoplancton (Talling 1974). Se han propuesto algunas hipótesis explicativas (períodos de reciclaje de nutrientes entre otras) sin que al presente se hayan comprobado.

Debe tenerse en cuenta que la Chl a, la CC, y la LS son parámetros influenciados por el manejo del estanque, a través de la fertilización o de la dilución del fitoplancton cuando su densidad es muy alta, tendiendo a mantenerlos constantes. Los patrones de respuesta a estos tratamientos no puede predecirse, siendo muy variables de un estanque a otro (Boyd 1979).

La respiración en la zona de mayor profundidad fue de $1,41 \text{ g Cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ y aproximadamente la mitad en el estanque completo (Tabla 4); estos resultados se explicarían por la relativa homogeneidad en el perfil vertical de respiración. Los cocientes R/PPB medios de 0,7 y 0,5 en la zona de profundidad máxima y en el estanque completo respectivamente fueron algo más altos que los citados por Fott (1972): 0,2-0,45; Boyd (1979), 0,4-0,5; y por Noriega-Curtis (1979), 0,3 y más bajos que los citados por Balvay (1980), 0,7-0,97 y Zur (1981), 0,8-1,8. El elevado valor de respiración registrado por este último autor se debió a los procesos de descomposición de la materia orgánica disuelta proveniente del alimento no ingerido por los peces y a sus productos de excreción.

Valores de R/PPB durante las 24 hs, superiores a uno, es decir, PPN negativas durante los meses invernales, se citan también en la bibliografía (Ganf 1972; Bindloss et al. 1972; Castagnolli *et al.* 1982) para ambientes con contenidos similares de clorofila.

La respiración, tal como fue estimada por nosotros, implica una grosera simplificación y sólo se adoptó por razones de practicidad siguiendo a Boyd (1979). La tasa respiratoria registrada a lo largo de un día de verano presentó una máxima a las 16 hs, tres veces superior a la tasa inicial del amanecer. Olah *et al.* (1978), en estanques de cría de peces, encontraron un ritmo diario de la respiración con el máximo durante la tarde, en alta correlación con la concentración de OD. Ganf (1972, 1974) encontró variaciones semejantes a lo largo del día, relacionadas con la temperatura, con diferencias de 2,5 veces entre las máximas y las mínimas. Beyers (1963) y otros informan de un cambio similar, no siendo totalmente correcto por lo tanto considerar una sola tasa respiratoria durante las 24 hs.

Además, la preincubación de 2 hs en oscuridad provocó una disminución del 30% en la respiración por unidad de área, fenómeno observado en dos oportunidades realizando incubaciones simultáneamente con y sin pre-

incubación. Este hecho, dependiente de la historia previa de luz (Ganf 1974), es indicativo de que el período previo de oscuridad disminuye la fotorrespiración (Stone y Ganf 1981). Por otra parte, al medir la respiración con las botellas oscuras de por sí se la está subestimando, razón más para que los datos brindados de R y los de PPN calculados en base a éstos, se consideren solamente como una aproximación.

Aceptando una relación ideal de N:P de 6 (De Pauw *et al.* 1980), los valores de estos elementos encontrados en el estanque (Tabla 2), indicarían una limitación de la productividad por nitratos.

El elevado pH medio (9,65) fue probablemente otro limitante, ya que a tales valores de pH sólo se encuentran concentraciones ínfimas de dióxido de carbono (Boyd 1979) y el carbono inorgánico se encuentra en su mayor parte en forma de bicarbonato. Aunque este ión puede ser utilizado en la fotosíntesis, su tasa de absorción es menor que la del dióxido de carbono (Raven 1970). Los resultados experimentales muestran que en general un mayor aporte de dióxido de carbono, manteniendo el pH entre 7 y 8, conduce siempre a un aumento en la productividad primaria (Raven 1970; De Pauw *et al.* 1980; Zur 1981).

La escasa profundidad media antes mencionada, debido a la elevada producción por unidad de volumen, pudo causar el pH medio elevado, tal como se desprende de los trabajos referidos por Abeliovich (1976). El mismo autor indicó también que el cociente R/PPB aumenta al aumentar la profundidad del estanque, hecho que es coincidente con los observados por nosotros ya que, el cociente R/PPB fue de 0,5 en el estanque completo (profundidad media, 0,5 m) y de 0,7 en la zona de profundidad máxima (0,95 m). Una profundidad media entre 1 y 2 m sería la óptima para lograr una buena reserva de dióxido de carbono y pH favorables, inclusive para el desarrollo del zooplácton (De Pauw *et al.* 1980).

La altura de la pared del estanque por encima de la superficie del agua (0,70 m) disminuyó en cierta medida la acción mezcladora del viento, favoreciendo así la estratificación diaria del mismo con los consiguientes efectos de disminución de la tasa de difusión de dióxido de carbono desde la atmósfera (Schindler *et al.* 1972), a la vez que la tasa de renovación de nutrientes y dióxido de carbono desde el fondo, constituyendo un factor más que podría haber limitado la productividad primaria.

El cociente de 1,56 obtenido al relacionar los resultados obtenidos con el monitoreo de la concentración de OD "in situ" y los de incubaciones en botellas claras y oscuras respectivamente, no es comparable con los cocientes obtenidos por Welch (1968), Olah *et al.* (1978) y Kemp y Boynton (1980), de 2, 2,35 y 1,5-4, respectivamente, puesto que éstos relacionan el método de las curvas diurnas completo con el de la incubación en botellas, mientras que nosotros utilizamos solamente dos puntos consecutivos de una curva diurna. Dichos autores además, al comparar ambos métodos, realizaron incubaciones continuas de 24 hs, lo cual incrementa los efectos del aislamiento. En nuestro trabajo, al reducir el período de incubación a dos horas, dichos efectos se minimizaron y las diferencias fueron meno-

res. No obstante ello el método del monitoreo de la concentración de OD "in situ" arrojó resultados un 50% superior a los de incubación.

Tanto el método de las curvas diurnas de Odum-Wimberg como el método simplificado de las curvas diurnas de Odum-Mc Connell adolecen del inconveniente de tomar una única tasa respiratoria y de difusión de oxígeno a la atmósfera estimadas durante las horas nocturnas y suponiéndolas constantes, extrapolarlas a las 24 hs. Olah *et al.* (1978) desarrollaron una metodología de estimación de la productividad primaria basada en las curvas diurnas, pero estimando tasas instantáneas de respiración y difusión. Comparando esta metodología con la de Mc Connell, observaron sobre un gran número de experimentos, una correlación débil, desaconsejando en consecuencia su uso en estanques.

CONCLUSIONES

El valor medio anual de productividad primaria bruta para el estanque completo, corregido por heliofanía, fue de $980 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, y se encuentra en el rango de los citados para ambientes similares.

La variación temporal de la productividad primaria bruta correlacionó con las variaciones de la temperatura ($r = + 0,83$; $p < 0,05$). No se encontró correlación entre la productividad primaria y la concentración de clorofila a, lectura del disco de Secchi y concentración de células del fitoplancton. Las tres últimas variables correlacionaron significativamente entre sí.

Un probable factor limitante fue la escasa profundidad media del estanque a través de una disminución del espesor de la zona fótica y de la consiguiente producción de un elevado pH.

La productividad estimada por monitoreo de las concentraciones de oxígeno registradas "in situ" y por el método simplificado de las curvas diurnas fue un 50% y un 80% superior respectivamente, a la estimada por incubación en botellas clara y oscura.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al licenciado Simón Cuch y al técnico químico Hugo Senone por su colaboración en las tareas de campo y de laboratorio.

BIBLIOGRAFIA

ABELIOVICH, A., 1979. Operation of a deep, well-mixed, high-rate photosynthetic oxidation pond. *Wat. Res.* 13: 281-283.

ECOSUR, Argentina, 11 (21/22): 1-18 (1984)

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1975. Standard methods for the examination of water and wastewater. A.P.H.A., Inc. New York, 1193 pp.
- BALVAY, G. 1980. Fonctionnement et contrôle du réseau trophique en étang, p. 47-79, en R. Billard (Ed.), *La Pisciculture en Etang*. I.N.R.A. Publ. Paris, 435 pp.
- BEYERS, R. S., 1963. A characteristic diurnal metabolic pattern in balanced microcosms. *Publ. Inst. Mar. Sci. Univ. Tex.*, 9: 19-27.
- BINDLOSS, M. E.; HOLDEN, A. V.; BAILEY-WATTS, A. E. y SMITH, I. R., 1972. Phytoplankton production, chemical and physical conditions in Loch Leven, p. 639-659, en Kajak, Z. y Hillbricht-Ilkowska, A. (Eds.), *Proceedings of the IBP-UNESCO Symposium on Productivity Problems of Fresh Waters*. Polish Sci. Pub. Varsovia, 918 pp.
- BOYD, C. E., 1979. Water quality in warm water fish ponds. Auburn Univ. Agric. Exp. Station, Alabama, 918 pp.
- CABRERA, S. y MONTECINO, V., 1982. Eutrophy in Lake Aculeo, Chile. *Plant and Soil*, 67: 377-387.
- CASTAGNOLLI, N.; OLIVEIRA, G.; OSTINI, S. y PEREIRA FILHO, M., 1982. Influência da estação do ano e do fertilizante aplicado na produção orgânica de tanques de criação de peixes. I. Produção primária. *B. Inst. Pesca*, 9: 91-108.
- COMISION TECNICA MIXTA DE SALTO GRANDE. Modelo Matemático del Río Uruguay. Informe Climatológico. Contrato SG-41, 142 pp.
- CRIVELLI, E. y PEDREGAL, M. A., 1972. Cartas de radiación solar global de la República Argentina. *Meteorológica*, III: 80-97.
- DE PAUW, N.; DE LEEUW, L.; LAUREYS, P.; MORALES, J. y REARTES, J., 1980. Cultures d'algues et d'invertébrés sur déchets agricoles, p. 189-214, en Billard, R. (Ed.) *La Pisciculture en Etang*. I.N.R.A. Publ. Paris, 435 pp.
- EDMONSON, W. T., 1974. A simplified method for counting phytoplankton, p. 14-16, en Vollenweider, R. A. (Ed.). *A Manual on Methods for Measuring Primary Production in Aquatic Environments*. IBP Handbook Nro. 12, Blackwell Sci. Pub. 2a. ed. Oxford, 225 pp.
- FOTT, J., 1972. Observations on primary production of phytoplankton in two fish ponds, p. 673-683, en Kajak, Z. y Hillbricht-Ilkowska, A. (Eds.), *Proceedings of the IBP-UNESCO Symposium on Productivity Problems of Freshwaters*. Polish Sci. Pub. Varsovia, 918 pp.
- GANI, G. G., 1972. The regulation of net primary production in Lake George, Uganda, East Africa, p. 693-708, Kajak, Z. y Hillbricht-Ilkowska, A. (Eds.), *Proceedings of the IBP-UNESCO Symposium on Productivity Problems of Freshwaters*. Polish Sci. Pub. Varsovia, 918 pp.
1974. Rates of oxygen uptake by the planktonic community of a shallow equatorial lake (Lake George, Uganda). *Oecologia* (Berl.), 15: 17-32.
- GOLDMAN, J. C., 1979. Outdoor algal mass cultures II: Photosynthetic yield limitations. *Wat. Res.*, 13: 119-136.
- HAMMER, V. T.; WALKER, K. F. y WILLIAMS, W. D., 1973. Derivation of daily phytoplankton production estimates from short term experiments in some shallow eutrophic Australian saline lakes. *Austr. J. Mar. Freshwat. Res.*, 24: 259-266.
- HANDBOOK OF CHEMISTRY AND PHYSICS. Chem. Rubb. Co., 58 ed., 1977-1978.
- KEMP, W. M. y BOYNTON, W. R., 1980. Influence of biological and physical processes on dissolved oxygen dynamics in an estuarine system: implications for measurement of community metabolism. *Estuarine and Coastal Marine Science* II, 407-431.
- LIND, O. T., 1979. Handbook of common methods in Limnology. C. V. Mosby Co., 2a. ed., S. Luis (EE.UU.), 199 pp.
- LINGEMAN, R., 1980. Signal analysis of irradiation, temperature and primary production in a small artificial pond: I. The annual signals. *int. Revue ges. Hydrobiol.*, 65(6): 753-776.
- MC CONNELL, W. J., 1962. Productivity relations in carboy microcosms. *Limnol. Oceanogr.*, 7: 335-343.
- NORRIGA-CURTIS, P., 1979. Primary productivity and related fish yield in intensely manured fish pond. *Aquaculture*, 17: 335-344.
- ODUM, H. T. y HOSKIN, C. M., 1958. Comparative studies on the metabolism of marine waters. *Publ. of the Inst. of Mar. Science*, 5: 16-46.
- OLAH, J.; ZSIGRI, A. y KINTZLY, A. V., 1978. Primary production estimations in fish ponds by the mathematical evaluation of daily oxygen curves. *Aquac. Hung.*, 1: 3-14.
- PEREZ DEL VISO, R. y MATOVANI, V., 1967. Estimación de la productividad primaria a nivel del fitoplancton en aguas dulces a partir de los datos de iluminación y resultados de incubación en laboratorio. *Physis* XXVII(74): 59-70.
- PLATT, T., 1971. The annual production by phytoplankton in St. Margaret's Bay, Nova Scotia. *J. Cons. Int. Explor. Mar.*, 3(3): 324-333.

- SHINDLER, D. W. y HOLMGREN, S. K., 1971. Primary production and phytoplankton in the Experimental Lakes Area, northwestern Ontario, and other low-carbonate waters, and a liquid scintillation method for determining ^{14}C activity in photosynthesis. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 28: 189-201.
- SHINDLER, D. W.; BRUNSKILL, G. J.; EMERSON, S.; BROECKER, W. S. y PENG, T. H., 1972. Atmospheric carbon dioxide: its role in maintaining phytoplankton standing crops. *Science*, 177: 1192-1194.
- SERVICIO DE HIDROGRAFIA NAVAL. Almanaque náutico y aeronáutico para el año 1981. Publ. H. 225, 382 pp.
- SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL, 1980. Estadística climatológica. 1951-1960. Serie B. Nro. 6, 6ta. ed., 156 pp., 1981. Estadística climatológica. 1961-1970. Serie B, Nro. 35, 188 pp.
- STAUFFER, R. E.; LEE, G. F. y ARMSTRONG, D. E., 1979. Estimating chlorophyll extraction biases. *J. Fish. Res. Board Can.*, 36: 152-157.
- STONE, S. y GANF, G., 1981. The influence of previous light history on the respiration of four species of freshwater phytoplankton. *Arch. Hydrobiol.*, 91(4): 435-462.
- TALLING, J. F., 1974. Relations between primary production and population density ("standing crop"), p. 150-152 en R. A. Vollenweider (Ed.), A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments. IBP Handbook n° 12, Blackwell Sci. Publ. Oxford, 225 pp.
- VOLLENWEIDER, R. A., 1965. Calculation models of photosynthesis depth curves and some implication regarding day rate estimates in primary production measurements. *Mem. Inst. Ital. Idrobiol.*, XVIII, Suppl.: 425-457. 1974. Environmental factors linked with primary production, p. 157-177 en R. A. Vollenweider (ed.), A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments. IBP Handbook n° 12, Blackwell Sci. Publ. Oxford, 225 pp.
- WELCH, H. E., 1968. Use of modified diurnal curves for the measurement of metabolism in standing waters. *Limnol. Oceanogr.*, 13: 679-687.
- WETZEL, R., 1981. Limnología. Omega. Barcelona, 679 pp.
- ZUR, O., 1981. Primary production in intensive fish ponds and complete organic carbon balance in the ponds. *Aquaculture*, 23: 197-210.