

## ESTUDIOS LIMNOLOGICOS EN UNA SECCION TRANSVERSAL DEL TRAMO MEDIO DEL RIO PARANA

### IX: Biomasa y productividad del fitoplancton \*

*Norma María Perotti de Jorda \*\**

Instituto Nacional de Limnología  
José Maciá 1933 - 3016 Santo Tomé (Santa Fe)  
Argentina

#### RESUMEN

La distribución de biomasa y productividad de fitoplancton y sus relaciones con ciertos factores físicos y químicos fueron obtenidas durante 27 meses (noviembre/76 - enero/79) en la sección del río Paraná ubicada a 2,5 km aguas arriba de la ciudad de Paraná, Entre Ríos (60°29'7" LW y 31°40'34" LS).

Las variaciones temporales de la biomasa (2,8 - 17,3 mg Cl/m<sup>3</sup>) y productividad máxima por unidad de volumen (0,35 - 100 mg C/m<sup>3</sup> . h) estuvieron comprendidas entre valores relativamente bajos, con máximos en momentos de aguas bajas. La distribución horizontal y vertical de la biomasa fue homogénea y el estrato trofógeno varió (0,20 - 1,50 m) en relación a la radiación solar y extinción de la luz. La variación de la producción diaria por unidad de superficie (1 - 800 mg C/m<sup>2</sup> . d) estuvo estrechamente asociada a los cambios de transparencia y radiación solar y en menor grado a los de clorofila por área.

La tasa de fotosíntesis por unidad de biomasa fue relativamente baja y dependiente de la productividad y de aquellos factores que la controlan.

---

\* Presentado en la "Reunión Científica Especial" de la Asociación de Ciencias Naturales del Litoral, el 29/4/1983, Santa Fe. Este trabajo fue realizado en parte merced a un contrato entre A y E e INALI.

\*\* Profesional Adjunto del CONICET.

## ABSTRACT

Perotti de Jorda, N. M. 1984. Limnological studies in a cross-section of the middle reach of Paraná River, IX: Phytoplankton biomass and productivity. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*, 15: 117-133

The distribution of phytoplankton biomass and productivity and their interaction with some physical and chemical factors were recorded during 27 months (November/76 - January/79) in the section of the Paraná river located 2.5 km upstream of Paraná City, Entre Ríos (60°20'7" LW and 31°40'43" LS).

The temporal variation of biomass (2.8 - 17.3 mg Chl<sub>a</sub> m<sup>-3</sup>) and maximum productivity per unit volume (0.35 - 100 mg C m<sup>-3</sup> . h<sup>-1</sup>) were comparatively low. The highest were occurred during periods of low water level. The horizontal and vertical distribution of biomass was homogeneous and the trophogenic stratum varied (0.20 - 1.50 m) in relation to solar radiation and light extinction. The variation of daily productivity per unit of surface (1 - 800 mg C m<sup>-2</sup> . d<sup>-1</sup>) was closely related to the changes in transparency and solar radiation and in a lesser degree to chlorophyll values per area. Photosynthesis rate per unit biomass was relatively low and dependent on productivity and factors that control it.

## INTRODUCCION

Las investigaciones realizadas específicamente en el valle aluvial del Paraná medio sobre biomasa y productividad del fitoplancton en ambientes lóticos son escasas<sup>4</sup> y tienen un enfoque puramente descriptivo<sup>13</sup> o bien funcional pero tratan aspectos parciales<sup>1,14</sup>.

Este estudio, realizado durante 27 meses en una sección representativa del tramo medio del río Paraná, tuvo por objetivo el conocimiento de la distribución de la biomasa y productividad del fitoplancton en relación a la variación de los principales factores ambientales concomitantes.

## MATERIAL Y METODOS

Los muestreos se realizaron mensualmente desde noviembre de 1976 a enero de 1979, intensificándose a semanal o quincenal durante el período de la creciente estival de 1977.

De acuerdo a la batimetría del perfil transversal<sup>2</sup> se establecieron tres estaciones de muestreo, ubicadas próximas a la ribera derecha (R.D.) e izquierda (R.I.) y en el centro del cauce (C.). Durante el período noviembre/76 - diciembre /77, en la ribera derecha y centro se extrajeron muestras a tres profundidades (superficial, 0,50 y 0,95 de la profundidad total) y en la ribera izquierda a dos (superficial y 0,95). A partir de enero/78, en cada estación de muestreo, se tomó sólo una de agua superficial.

Las determinaciones de clorofila *a* y producción se realizaron de acuerdo a los métodos detallados en un trabajo anterior<sup>12</sup>. Las cantidades de clorofila se calcularon utilizando la ecuación de Parsons y Strickland<sup>10</sup> y los valores de producción se expresaron en mg C/m<sup>3</sup>, empleándose el cociente respiratorio de 1,25.

La producción diaria se estimó empleando la ecuación de Pérez del Viso y Mantovani<sup>11</sup> y la producción anual se calculó por integración de los datos de producción diaria por unidad de superficie obtenidos durante doce meses<sup>21</sup>.

La tasa de fotosíntesis por unidad de biomasa fue calculada dividiendo los datos de productividad por unidad de volumen y los de concentración de clorofila *a*<sup>21</sup>. La eficiencia de utilización de la radiación solar, fue determinada convirtiendo los valores de productividad por unidad de superficie a su equivalente calórico teniendo en cuenta que 1 mg O<sub>2</sub> ≡ 3,510 cal según la ecuación del balance fotosintético de Wimberg<sup>8</sup>.

La medición de la intensidad de luz a lo largo de perfiles verticales se efectuó con un iluminómetro equipado con célula fotovoltaica de selenio sumergible y con filtro de reducción (sensible de 340 a 900 nm, máximo 515), calibrado en bujías pie. La radiación solar para el rango fotosintético (380 a 720 nm) se calculó a partir de registros diarios de iluminación directa en luxes, teniendo en cuenta que aproximadamente 1 cal/cm<sup>2</sup> . min = 1,67.10<sup>5</sup> luxes.

Los datos de nutrientes (nitrato y fosfato) y los físicos (temperatura, transparencia, velocidad de la corriente y caudal) fueron tomados de los trabajos de Vassallo y Kieffer<sup>19</sup> y de Drago<sup>3</sup>, respectivamente.

En el análisis estadístico se utilizó la prueba de Bartlett para verificar la homogeneidad de las varianzas y la prueba de chi-cuadrado para la distribución normal. Para determinar la igualdad de las medias se empleó el diseño simple de clasificación única de ANOVA. Para estimar el grado de asociación entre cada par de variables se calcularon los coeficientes de correlación lineal de Bravais y Pearson<sup>17</sup>. La falta de normalidad de los datos de clorofila *a*, productividad y caudal fue corregida con transformación logarítmica (log *y*) y los de nitrato y fosfato con raíz cuadrada ( $\sqrt{y}$ ); los restantes presentaron distribución normal.

## RESULTADOS

### *Características limnológicas*

Las concentraciones de nitrato fluctuaron entre 0,158 y 2,384 mg/l con una media de 0,892; en tanto que las de fosfato lo hicieron dentro de un rango menor: 0,012 a 0,158 mg/l, con una media de 0,058 (fig. 1). Durante el primer año de observación las curvas de estos nutrientes siguieron la misma modalidad; los valores mínimos se determinaron en marzo y octubre y los máximos en diciembre. En tanto que en el segundo año variaron de modo diferente: las concentraciones de nitrato más elevadas se determinaron en setiembre y las de fosfato en marzo; no obstante las cantidades más bajas de ambos nutrientes se observaron en octubre.

Los caudales en función del tiempo variaron entre 9.800 y 24.700 m<sup>3</sup>/s; los más altos se determinaron en verano-otoño y los más bajos en invierno-primavera (fig. 1). Los caudales fueron comparativamente más

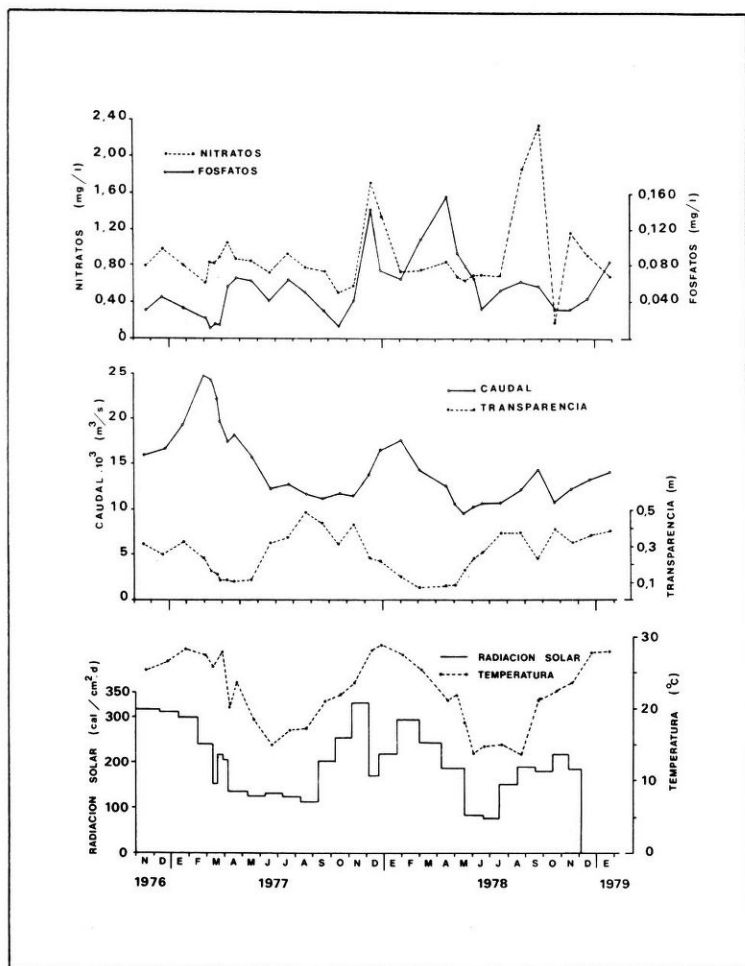


Fig. 1: Variación de parámetros químicos y físicos, en función del tiempo.

elevados y variables ( $\bar{x} = 16470$  y  $CV = 28^0/o$ ) durante el primer año que en el segundo ( $\bar{x} = 12.270$  m<sup>3</sup>/s y  $CV = 18^0/o$ ).

Los valores de  $F_s$  estimados para profundidad y velocidad de la corriente superficial fueron marcadamente mayores que el valor crítico de  $F_c$ , 1<sup>o</sup>/o (cuadro 1). La profundidad y velocidad de la corriente, en las tres estaciones variaron significativamente. En cambio, las diferencias atribuibles a la temperatura y la transparencia no fueron significativas.

La variación de la temperatura promedio de las tres estaciones estuvo comprendida entre 13,7 y 28,5°C (fig. 1); los valores más altos se determinaron en diciembre-marzo y los más bajos en junio-agosto, asociados positivamente a los de la radiación solar.

La transparencia promedio de las tres estaciones en función del tiempo (fig. 1), varió entre 0,07 y 0,49 m; los valores más altos se determinaron en caudales bajos y poco fluctuantes y los más bajos a caudales altos en franco descenso.

Los valores de radiación solar estimados para el rango fotosintético variaron entre 80 y 330 cal/cm<sup>2</sup> . día (fig. 1). La radiación medida a través del tiempo varió en relación a la radiación de la totalidad del espectro solar correspondiente a la latitud del lugar y los valores fueron aproximadamente la mitad de éstos; en los días nublados o parcialmente nublados la relación fue menor.

Cuadro 1

Media y desviación estandar de datos de variables físicas en cada estación de muestreo (noviembre/76 - enero/79).

Variables	Ribera derecha	Centro	Ribera izquierda	$F_s$
Profundidad (m)	8,9 ± 1,7	21,3 ± 1,4	4,5 ± 1,0	1219**
Transparencia (m)	0,24 ± 0,11	0,24 ± 0,12	0,25 ± 0,13	0,02
Temperatura (°C)	21,9 ± 4,8	22,1 ± 4,8	22,1 ± 4,7	0,04
Vel. Corriente (m/s)	0,45 ± 0,28	1,24 ± 0,25	0,30 ± 0,13	149**
F 5% (2, 90) = 3,10		F 1% (2, 90) = 4,85		

En la figura 2a se pueden observar los datos de iluminación en función de la profundidad, determinados en distintos días nublados de muestreo. Los coeficientes de extinción (E) variaron en relación con la transparencia del agua; la mayor penetración lumínica ( $E = 2,9 \text{ m}^{-1}$ ) se determinó cuando la transparencia fue de 0,46 m y la menor ( $E = 18,7^{-1}$ ) cuando fue de 0,10 m.

En la figura 2b se expresa la iluminación en porcentajes referida a la iluminación tomada a 1 cm por debajo del pelo de agua ( $I_0 = 100\%$ ); se puede observar que cuando la transparencia fue muy baja, el 10% de la luz alcanzó una profundidad no mayor de 0,25 m y cuando la transparencia fue más alta penetró hasta aproximadamente 1,5 m.

### *Distribución horizontal y vertical de la clorofila a*

Este estudio se realizó durante los primeros 12 meses, las variaciones de las concentraciones en las tres estaciones, en función de la profundidad y del tiempo estuvieron comprendidos entre 1,8 y 13,8  $\text{mg/m}^3$ ; en todos los casos las cantidades mayores se dieron a mediados de noviembre y las menores en marzo (fig. 3).

En el cuadro 2 se dan a conocer las medias y varianzas de los datos de concentración de clorofila a en escala lineal y logarítmica. La aparente

Cuadro 2

Media ( $\bar{y}$ ) y varianza ( $S^2$ ) de concentraciones de clorofila en escala lineal y logarítmica en cada estación de muestreo y correspondientes profundidades

	Ribera derecha			Centro			Ribera izquierda	
	S	M	P	S	M	P	S	P
$\bar{y}$	5,8	6,1	6,2	6,0	5,9	5,7	5,8	5,9
$S^2$	6,6	8,4	9,2	5,9	5,7	6,9	8,8	4,9
$\overline{\log y}$	0,7309	0,7465	0,7471	0,7470	0,7441	0,7168	0,7208	0,7463
$S^2 \log y$	0,0238	0,0391	0,0442	0,0328	0,0253	0,0404	0,0421	0,0182

S: superficial; M y P: a 0,5 y 0,95 profundidad total

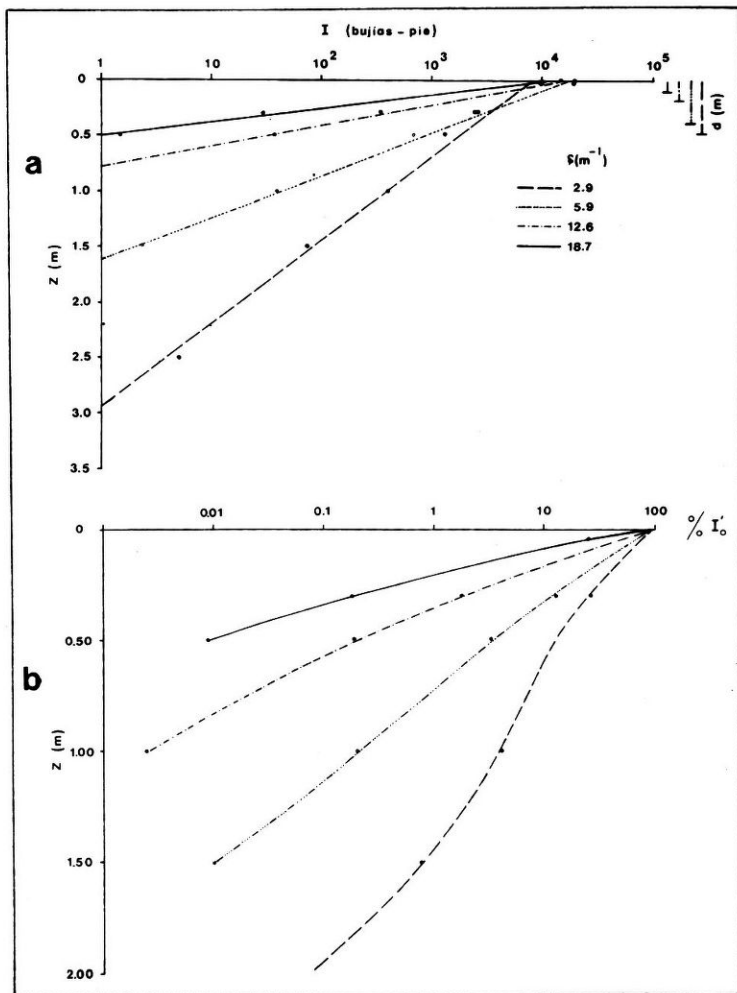


Fig. 2: a. Fracción de iluminación ( $I$ ) en función de la profundidad ( $Z$ ) para 4 días de muestreo (1/3, 14/3, 13/4 y 22/8 de 1977); se indican los correspondientes coeficientes de extinción ( $E$ ) y límites de visibilidad del disco de Secchi ( $d$ ).

b. Porcentajes de iluminación en función de la profundidad para los mismos días de muestreo.

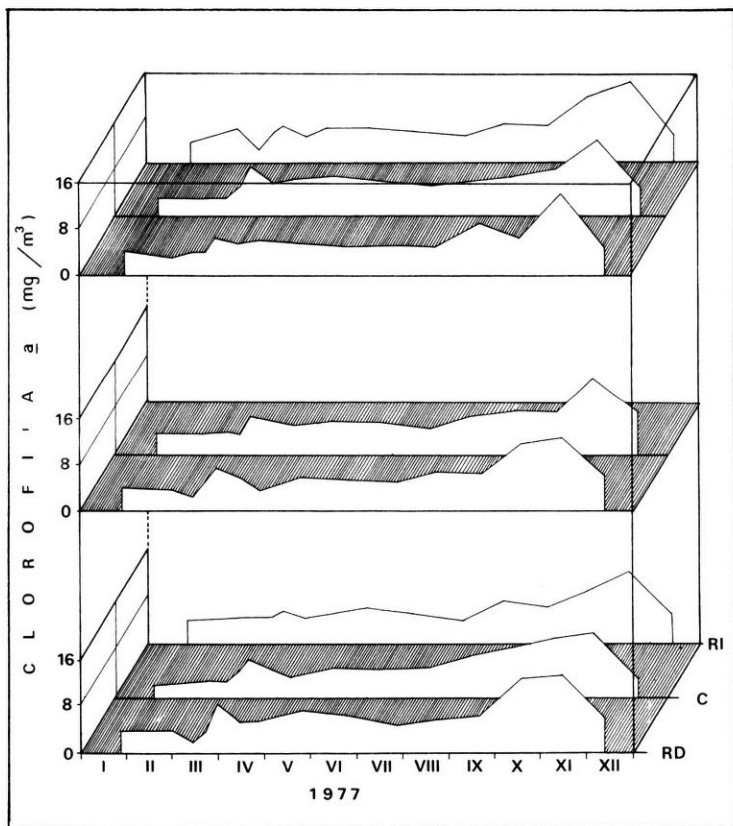


Fig. 3: Distribución horizontal (R.D.: ribera derecha, C.: centro y R. I.: ribera izquierda) y vertical (arriba: superficial; medio y abajo: 0,50 y 0,95 m de la profundidad total) de clorofila  $a$ , en función del tiempo.

igualdad de las varianzas de las muestras obtenidas en las tres estaciones de muestreo y correspondientes profundidades, fue corroborada por el valor del estadístico  $X^2$  obtenido (2,46). Dado que este fue notablemente más bajo que el valor crítico  $X^2$ , 50/o (14,07) se concluyó que las varianzas fueron homogéneas.



El resultado del ANOVA (cuadro 3) indicó que el cuadrado medio (C. M.) entre los grupos fue considerablemente menor que el C. M. dentro de los grupos y el valor de F estimado ( $F_s = 0,07$ ) fue marcadamente menor que los valores críticos  $F$ , 1<sup>o</sup>/o y 5<sup>o</sup>/o que se señalan en la parte inferior del cuadro. Esto permite expresar que las varianzas de las medias de las concentraciones de clorofila observadas entre las diferentes profundidades de las tres estaciones, fueron significativamente menores, que las varianzas de las concentraciones en cada profundidad y estación de muestreo.

#### *Variación temporal de la clorofila $\underline{a}$*

La clorofila promedio de las concentraciones determinadas en las riberas y dentro del cauce, varió entre 2,8 y 17,3 mg/m<sup>3</sup> (fig. 4). Las concentraciones tendieron a incrementarse a partir de agosto alcanzando valores relativamente altos a mediados de primavera (octubre-noviembre). A partir de estos picos la clorofila decreció pronunciadamente llegando a valores muy bajos al comienzo del verano; las concentraciones aumentaron levemente a fines de verano-comienzo de otoño y se mantuvieron durante el invierno.

Si bien las concentraciones en invierno (junio-agosto) fueron similares (alrededor de 5 mg/m<sup>3</sup>) a las de fines de verano (febrero-marzo), las cantidades absolutas de miligramos de clorofila presente en la sección fueron marcadamente diferentes (63.000 y 98.000 mg/s, respectivamente). No obstante ello, en otros momentos los cambios experimentados en ambas estuvieron asociadas en forma directa.

La variación de la clorofila por unidad de superficie a través del tiempo estuvo comprendida entre un mínimo de 15 y un máximo de 77 mg/m<sup>2</sup> (fig. 5). El valor promedio de clorofila (cuadro 4) determinado para el primer año fue ligeramente inferior al del segundo.

Cuadro 3

Datos del análisis de la varianza (ANOVA)

Fuente de variación	g l.	S.C.	C.M.	$F_s$
$\bar{y} - \bar{\bar{y}}$ Entre grupos	7	0,0170	0,0024	0,07
$y - \bar{y}$ Dentro grupos	112	3,7227	0,0332	
$y - \bar{\bar{y}}$ Total	119	3,7397		
F 5% (7, 112) = 2,09		F 1% (7, 112) = 2,80		
C.M. = cuadrado medio; S.C. = suma de cuadrados; $F_s$ y F valor estimado y crítico del parámetro estadístico; g.l. = grados de libertad.				

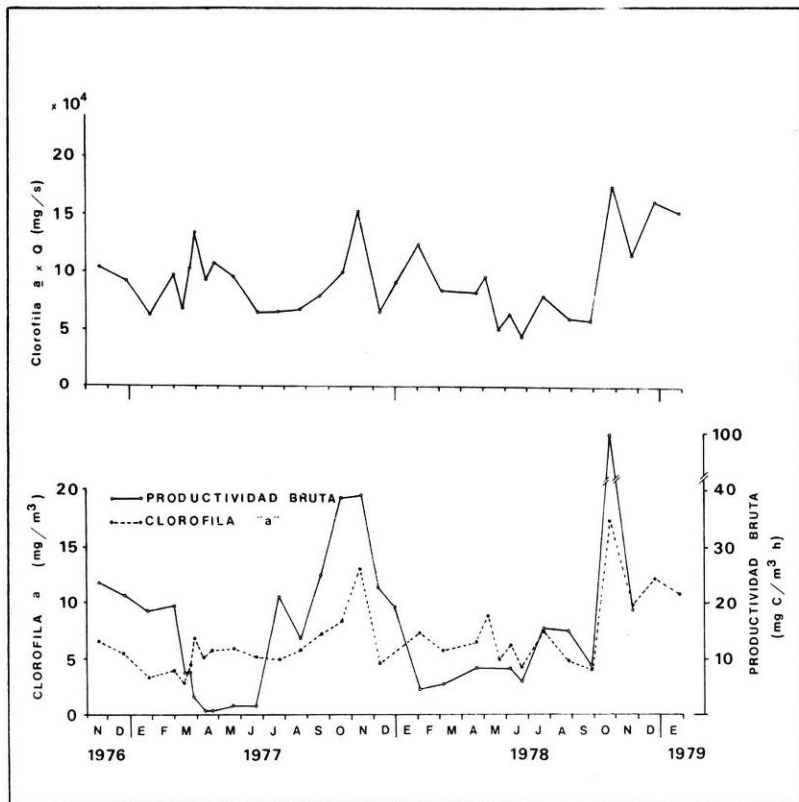


Fig. 4: Variación de caudal de clorofila a, productividad máxima y clorofila a por unidad de volumen, en función del tiempo.

#### *Variación temporal de la productividad*

La variación de la productividad en el punto de iluminación óptima (fig. 4), es decir la tasa de fijación de carbono máxima ( $P_{max}$ ), fue de 0,35 y 100 mg C/m<sup>3</sup> . h (3,9 y 1.315 mg C/m<sup>3</sup> . d, respectivamente). Generalmente la productividad máxima se determinó en aguas superficiales y el estrato trofogénico varió entre un mínimo de 0,20 y 1,50 m de profundidad, en relación a la radiación solar incidente y a la extinción de la luz.

Cuadro 4

Producción, concentración de clorofila y eficiencia del fitoplancton en dos períodos anuales (18/11/76 - 18/11/77 y 22/11/77 - 22/11/78).

	1977	1978
Producción anual (g C/m <sup>2</sup> . año)	34,4	39,9
Producción anual (g O <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> . año)	115	133
Conversión a calorías (x 3,51)	404	467
Producción diaria (mg C/m <sup>2</sup> . día)	94,2	109,2
Producción diaria (g O <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> . día)	0,315	0,364
Eficiencia (%)	0,04	0,07
Clorofila <u>a</u> (mg/m <sup>2</sup> )	27,9	33,5

La variación de la tasa de fijación máxima estuvo en buena medida asociada a los cambios en la concentración de clorofila (figura 4); no obstante en determinados períodos (marzo-junio de 1977), la productividad fue mínima

dad fue mínima (alrededor de 3 mg C/m<sup>3</sup>. h) en relación a la concentración de clorofila (alrededor de 5 mg/m<sup>3</sup>), debido a que la radiación solar incidente y la transparencia del agua fueron bajas (120 cal/cm<sup>2</sup>. d y 0,11 m, respectivamente).

La producción diaria por unidad de superficie, varió con mayor frecuencia entre 17 y 300 mg C/m<sup>2</sup>. d; no obstante se determinaron valores de 1 y 800 mg C/m<sup>2</sup>. d (fig. 5). Los valores más bajos se determinaron en ambos años, en el período marzo-junio. En el primero, el promedio diario (6 mg C/m<sup>2</sup>. d) fue apreciablemente más bajo que el segundo (13,4 mg C/m<sup>2</sup>. d). Los valores más altos se midieron en el período setiembre-diciembre (alrededor de 150 mg C/m<sup>2</sup>. d), llegando a máximos de 300 y 800 mg. C/m<sup>2</sup>. d en el mes de noviembre/77 y octubre/78, respectivamente.

Los valores de producción anual (cuadro 4) determinados en 1977 fueron ligeramente inferiores a los de 1978.

#### *Variación temporal de la eficiencia fotosintética*

La tasa de fotosíntesis por unidad de biomasa a través del tiempo varió entre 0,06 y 6,64 mg C/mg Cl<sub>a</sub> . h; el promedio para el período menos productivo (marzo-junio) fue de 0,81 y para el más productivo (setiembre-diciembre) fue de 4,36 mg C/mg Cl<sub>a</sub> .h (fig. 5). El cociente entre la productividad por unidad de área (P) y la productividad en el punto de iluminación óptima (P max.), varió entre 0,10 y 0,61 (fig. 5) con la misma modalidad que los de la actividad fotosintética.

La eficiencia de utilización de la radiación solar, (fig. 5) varió entre 0 y 0,42<sup>o</sup>/o, con una media para todo el período de estudio de 0,05<sup>o</sup>/o; las eficiencias próximas a 0 se determinaron cuando la transparencia fue baja (inferior a 0,15 m) y las mayores de 0,1<sup>o</sup>/o cuando la transparencia fue alta (superior a 0,40 m). En el cuadro 4 se da a conocer la media de las eficiencias para cada año y las calorías correspondientes a la producción anual calculada.

#### *Relaciones del fitoplancton con parámetros ambientales*

En la figura 6 puede observarse el desarrollo de la matriz de correlación obtenida entre 28 datos de cada par de variables determinados simultáneamente; se marcan los coeficientes de correlación positivos o negativos significativos.

El diagrama muestra que la variación de la concentración de clorofila a estuvo asociada en forma inversa con la del caudal y con la del nitrato; en tanto que la cantidad absoluta de clorofila a presente en la sección estuvo relacionada en forma directa con la temperatura y radiación solar e inversa con la concentración de nitrato.

La producción del fitoplancton se correlacionó positivamente con la concentración de clorofila a y de igual manera, pero a un nivel de significación más alto, con la transparencia del agua y la radiación solar incidente.

La tasa de fotosíntesis por unidad de biomasa varió en relación positiva con los incrementos de productividad y con los de los factores físicos asociados a la variación de esta variable (transparencia y radiación solar).

La variación de la eficiencia de utilización de radiación solar estuvo asociada de manera positiva a la de la clorofila a, productividad y transparencia; en tanto que de manera negativa al caudal y nitrato.

## DISCUSION Y CONCLUSIONES

La sección del río Paraná estudiada, presentó ciertas características físicas (profundidad y velocidad de la corriente) marcadamente diferentes en las tres estaciones de muestreo. No obstante ello, el fitoplancton se caracterizó por una distribución horizontal e incluso vertical homogénea; lo

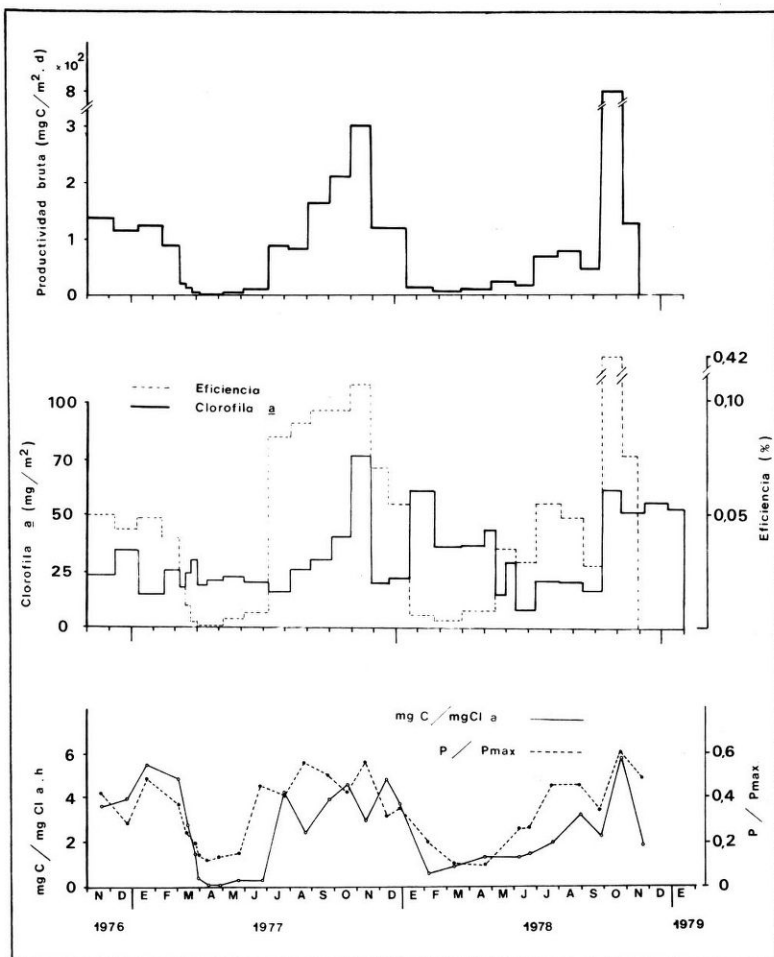


Fig. 5: Variación de productividad diaria y clorofila a por unidad de superficie, eficiencia de utilización de radiación solar, tasa de fotosíntesis por unidad de biomasa y relación productividad por unidad de área ( $P$ ) y productividad máxima por unidad de volumen.

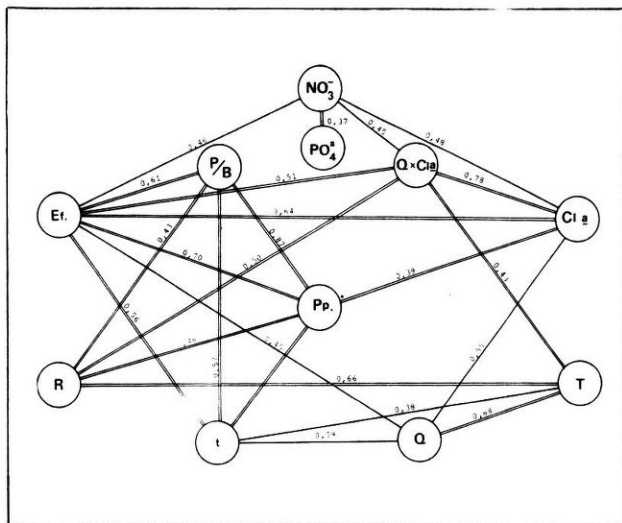


Fig. 6: Correlaciones entre una serie de parámetros relativos al fitoplancton y a su ambiente.  $\text{Cl}_a$ , concentración de clorofila  $a$ ;  $\text{QxCl}_a$ , caudal de clorofila;  $\text{Pp}$ , productividad primaria;  $\text{P/B}$ , tasa de fotosíntesis por unidad de biomasa;  $\text{Ef}$ , eficiencia de utilización de radiación solar;  $\text{NO}_3^-$ , concentración de nitrato;  $\text{PO}_4^{3-}$ , concentración de fosfato;  $\text{Q}$ , caudal de la sección;  $\text{T}$ , temperatura del agua;  $t$ , transparencia del agua y  $\text{R}$ , radiación solar. Las cifras indican correlaciones positivas (trazo doble) o negativas (trazo simple); sólo se han representado las significativas ( $0,37 p < 0,05$ ;  $0,48 p < 0,01$  y  $0,59 p < 0,001$ ).

que evidenció un buen mezclado de las aguas e indicó que un sitio de muestreo y una muestra del agua superficial resulta representativa de la sección. Kowalczewski y Lack<sup>8</sup> estudiando la distribución horizontal y vertical de la clorofila  $a$  en el río Támesis y en el Kennet (Inglaterra), llegaron a la misma conclusión luego de determinar una variación en la concentración no mayor que el 50/o de la media.

Los promedios de concentración de clorofila  $a$  obtenidos en esta sección del río fueron comparativamente bajos en relación a los hallados en 14 ríos de Iowa central (Estados Unidos)<sup>7</sup>. El rango de variación fue menos amplio que los determinados en los ríos Támesis y Kennet<sup>8</sup> y similar a los hallados en el Canal Beaufort de Carolina del Norte (Estados Unidos)<sup>20</sup> y en el río Negro del Amazonas (Brasil)<sup>16</sup>.

Las cantidades mayores de fitoplancton se dieron en momentos de estiaje y las menores en creciente, esta relación inversa entre el caudal y el fitoplancton ha sido descrita para otros ríos del mundo<sup>5, 7, 9, 16, 18</sup> y más recientemente para algunos cauces secundarios del río Paraná en su tramo medio<sup>14, 15</sup>.

Los aumentos de fitoplancton estuvieron acompañados por una pronunciada disminución en la concentración de nitrato; no obstante, los valores mínimos observados (0,158 mg/l) durante el máximo desarrollo de fitoplancton (17,3 mg/m<sup>3</sup>) fueron superiores a los señalados como críticos por diferentes autores. Concretamente, Talling y Rzoska<sup>18</sup> en el Nilo Azul (Kartum, Sudán) determinaron que durante el pulso máximo alcanzado por el fitoplancton (*Melosira granulata*) se produjo una disminución de los nitratos hasta niveles de 20 µg/l, que resultaron limitantes para el crecimiento de esa especie; contrariamente puede expresarse que el río Paraná, coincidiendo con la conclusión arribada en el estudio de los cauces secundarios<sup>14</sup>, es rico en soluciones de nutrientes (nitrato y fosfato) y que el consumo efectuado por el fitoplancton no reduce las concentraciones a niveles críticos para su desarrollo.

La media de la productividad bruta hallada es muy baja comparada con el río Támesis (3,75 g O<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> .d)<sup>8</sup> y con tres ríos de Oklahoma (1,03 a 2,66 g O<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> .d)<sup>6</sup>. En cambio, estuvo en el orden de los obtenidos en el Kennet (0,30 g O<sub>2</sub> / m<sup>2</sup> .d)<sup>8</sup> y en el Canal Beaufort<sup>20</sup> para el período de baja productividad (182 mg C/m<sup>2</sup> . d).

La variación de la productividad por unidad de área estuvo estrechamente asociada a los cambios experimentados por ciertos factores físicos (transparencia y radiación solar) y, en menor grado, por la clorofila por unidad de superficie; es decir, que no obstante la apreciable cantidad de fitoplancton presente en determinados momentos, la actividad fotosintética puede llegar a ser prácticamente nula (1 mg C/m<sup>2</sup> . d) debido a la limitación impuesta por la conjunción de los factores considerados críticos (transparencia y radiación solar).

La eficiencia en la utilización de la radiación solar fue muy baja y con promedios (cuadro 4) similares al determinado en el Kennet (0,06%/o). La actividad fotosintética por unidad de biomasa también resultó baja; los valores más altos determinados en el río Paraná fueron comparables al promedio obtenido en el Canal Beaufort en el período de menor productividad (4,2 mg C/ mg Cl<sub>a</sub> . h). A diferencia de lo observado en este último ambiente, la tasa de fotosíntesis por unidad de clorofila, no se correlacionó inversamente con la concentración de ésta y tampoco fue función de la temperatura, sino que dependió de la variación de la productividad del fitoplancton y de los factores que la controlan.

## AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Pedro Depetris (INTEC) por su colaboración en el trabajo de computación.  
A la Prof. María O. García Emiliani (INALI) por la revisión crítica del manuscrito.

## REFERENCIAS

1. Bonetto, C., Zalokar, Y., Caro, P y Vallejos, E. 1979. Producción primaria del fitoplancton del río Paraná en el área de su confluencia con el río Paraguay. *Ecosur*, 6; 207–227.
2. Drago, E. 1984. Estudios limnológicos en una sección transversal del tramo medio del río Paraná, I: Caracteres geomorfológicos e hidrológicos. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*, 15: 1–6.
3. Drago, E. 1984. Estudios limnológicos en una sección transversal del tramo medio del río Paraná, VI: Comportamiento térmico del agua. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*, 15: 79–92.
4. García de Emiliani, M. O y Perotti de Jorda, N. 1984. Ecología del fitoplancton en el valle aluvial del Paraná medio (p. 25–66). En: Estudio ecológico del río Paraná medio (2do. informe - 1a. parte). *INALI*, Santo Tomé, (135 p.).
5. Greenberg, A. E. 1984. Plankton of the Sacramento River. *Ecology*, 45: 40–90.
6. Hornuff, L. E. 1957. A survey of four Oklahoma streams with reference to production. *Rep. Okla. Fish. Res. Lab.*, 62: 1–22.
7. Kilkus, S. P., La Perriere, J. A. y Bachman, R. W. 1975. Nutrients and algae in some central Iowa streams. *J. Water Pollut. Control Fed.*, 47: 1870–1879.
8. Kowalczewski, A. y Lack, T. J. 1971. Primary production and respiration of the phytoplankton of the Rivers Thames and Kennet at Reading. *Freshw. Biol.*, 1: 197–212.
9. Lack, T. J. 1971. Quantitative studies on the phytoplankton of Rivers Thames and Kennet at Reading. *Freshw. Biol.*, 1: 213–224.
10. Parsons, T. R. y Strickland, J. D. H. 1963. Discussion of spectrophotometric determination of marine plant pigments, with revised equation for ascertaining chlorophylls and carotenoids. *J. Mar. Res.*, 21: 155–163.
11. Pérez del Viso, R. y Mantovani, 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*, 27: 59–70.
12. Perotti de Jorda, N. 1977. Pigmentos y producción primaria en el Paraná medio: laguna "Los Matadores" (Santa Fe, Argentina). *Physis*, 36: 89–113.



13. Perotti de Jorda, N. 1980. Campaña limnológica "Keratella I" en el río Paraná medio: Pigmentos y productividad primaria en ambientes lóticos. *Ecología*, 4: 55-61.
14. Perotti de Jorda, N. 1981. Fitoplancton del río Paraná medio (Santa Fe, Argentina). Su variación en relación a factores ambientales en algunos cauces secundarios. *Ecología*, 6: 79-84.
15. Schiafino, M. 1977. Fitoplancton del río Paraná. I. Sus variaciones en relación al ciclo hidrológico en cauces secundarios de la llanura aluvial. *Physis*, 36:115-125.
16. Schmidt, C. W. 1976. Primary production of phytoplankton in the three types of Amazonian waters. IV. On the Primary Productivity of Phytoplankton in a Bay of the Lower Río Negro (Amazonas, Brazil). *Amazoniana*, V: 517-528.
17. Sokal, R. R. y Rohlf, F. J. 1979. Biometría. Principios y métodos estadísticos en la investigación biológica. *Blume*. Madrid, 832 p.
18. Talling, J. F. y J. Rzoska. 1967. The development of plankton in relation to hydrological regime in the Blue Nile. *J. Ecol.*, 55: 637-662.
19. Vassallo, M. y Kieffer, L. 1984. Estudios limnológicos en una sección transversal del tramo medio del río Paraná, VII: Química del agua. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*, 15: 97-108
20. Williams, R. B. y Murdoch, M. B. 1966. Phytoplankton production and chlorophyll concentration in the Beaufort Channel, North Carolina. *Limnol. Oceanog.*, 11: 73-82.
21. Vollenweider, R. A. (Ed.). 1974. A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments (IBP Handbook nº 12). *Blackwell*. Oxford. 225 p.

Recibido/Received/: 2 setiembre 1983