

PRODUCCION PRIMARIA DEL FITOPLANCTON DEL RIO PARANA EN EL AREA DE SU CONFLUENCIA CON EL RIO PARAGUAY

Carlos A. BONETTO *, Yolanda ZALOCAR *, Patricia M. CARO *
y Eugenio R. VALLEJOS.

SUMMARY: Phytoplankton primary production of the Paraná River in the area of its confluence with the Paraguay River.

This paper deals with the phytoplankton structure and its primary production of the Paraná River in the confluence with the Paraguay River and their variations with the climatic and hydrological cycles.

The estimations of the primary production were carried out by means of columns of light and dark bottles incubated *in situ*, assessing the ^{14}C fixation, as described by Strickland and Parsons (1968).

The waters of the Paraguay River flow over a considerable distance until they reach a complete intermixing with those of the Paraná River.

Towards the Chaco (right) margin, the influence of the Paraguay is very clear; the water is more turbid and the conductivity is higher too (averaging $120\ \mu\text{S}/\text{cm}$). The primary production ranged from near 0 to $120\ \text{mg C}/\text{m}^2\text{d}$ and the phytoplankton density from 80 to $1600\ \text{ind}/\text{ml}$.

Towards the Corrientes (left) margin, there is an increment in water transparency, being the conductivity lower (averaging $50\ \mu\text{S}/\text{cm}$). The primary production ranged from $3\ \text{mg C}/\text{m}^2\text{d}$ to $285\ \text{mg C}/\text{m}^2\text{d}$ and the plankton density from 85 to $2500\ \text{ind}/\text{ml}$.

In both sampling places the diatomophyceae were the phytoplankton prevailing group, being *Melosira granulata* the most abundant specie, with spordical dominance of cyanophyceae during summer.

The carbon fixation pattern along the year showed changes closely related to the plankton concentration, transparency of the water and hydrometric level of the river. Primary production was low during the flood periods in conditions of great dilution of the phytoplankton density and high turbidity, increasing sharply during the low water phase, favoured by the increment of phytoplankton concentration and higher transparency of the waters.

* Becarios del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) en el Centro de Ecología Aplicada del Litoral, Plácido Martínez 1383, Corrientes, República Argentina.

ECOSUR	Argentina	ISSN 0325-108X	v. 6	n. 12	pág. 207-227	setiembre 1979
--------	-----------	-------------------	------	-------	-----------------	-------------------

INTRODUCCION

Dentro del abundante material bibliográfico existente sobre productividad primaria del fitoplancton y su relación con las características de las aguas, la gran mayoría de los trabajos se refieren a ambientes leníticos o bien ecosistemas litorales o marinos, resultando escasa la relativa a grandes sistemas potámicos.

Tal circunstancia podría estar relacionada con las lógicas dificultades operativas que supone la clásica determinación basada en la incubación *in situ* de columnas de botellas claras y oscuras en las aguas de un río, como así también a algunos problemas metodológicos que hacen a la aplicabilidad de las estandarizadas rutinas de laboratorio.

Las estimaciones de la productividad basadas en la evolución del oxígeno disuelto determinadas corrientemente de acuerdo al método de Winkler, implican una titulación colorimétrica, la cual provee generalmente gran exactitud y repetibilidad. No obstante, en ríos donde la concentración de sólidos en suspensión puede provocar una alta turbidez del agua disminuye la sensibilidad de tal método, debido a la dificultad para determinar con exactitud el punto final de la titulación. Por otra parte, la concentración del oxígeno disuelto es muy alta en ríos como el Paraná, encontrándose no pocas veces en condiciones de sobresaturación, mientras que la producción de tal gas por las algas resulta bastante baja debido a la moderada concentración de fitoplancton y a la referida turbidez del medio, de forma tal que las diferencias de oxígeno encontradas entre las botellas claras y oscuras pueden caer por debajo del límite de resolución que permite el método, creando serias limitaciones respecto a su aplicabilidad en ambientes lóticos como los considerados.

Para la realización del presente trabajo, las estimaciones se realizaron por el método del ^{14}C , siguiendo la técnica descripta por Strickland y Parsons (1968), detectando el carbono asimilado mediante equipo de centelleo líquido, el cual a su vez mostró también algunas dificultades cuando la presencia de sólidos en suspensión fue alta. Estos, al ser retenidos por el filtro junto con el fitoplancton, producen un aumento de "quench", o sea una disminución de la eficiencia con que el contador de centelleo líquido detecta la actividad asimilada. Tales inconvenientes se subsanaron reduciendo el volumen filtrado de las muestras y efectuando las lecturas por el método del "standard externo".

La descripción detallada de la metodología empleada ha sido publicada con anterioridad (Caro, Bonetto y Zalocar, 1979).

El río Paraná en el área de confluencia presenta marcadas diferencias en las características físicas y químicas de sus aguas, como así también en su contenido biótico, como consecuencia de los aportes del río Paraguay, cuyas aguas tienden a desplazarse por la margen derecha, en tanto que el Paraná lo hace por la izquierda. Frente a la ciudad de Corrientes -donde se realizaron los trabajos- 30 km aguas abajo del punto de confluencia, se aprecian claramente tales diferencias, manteniendo ambos ríos su relativa separación. El completo entremezclado de las aguas sólo se lograría después de un recorrido de más de 200 km.

A los efectos del trabajo propuesto y conforme a tales características del río, se establecieron dos estaciones operativas, la primera a unos 50 m de la costa correntina y la segunda a unos 50 m de la costa chaqueña en la sección del río Corrientes-Antequera. Las operaciones se llevaron a cabo con periodicidad mensual, si bien en algunos períodos de grandes variaciones hidrométricas se realizaron determinaciones seriadas con el fin de obtener una mejor información sobre los procesos involucrados.

RIO PARANA: ESTACION DE LA MARGEN CORRENTINA

Algunas características limnológicas

La temperatura del agua en el período de estudios osciló entre 18°C (4/VII/79) y 30°C (10/II/78).

La transparencia del agua, determinada con el disco de Secchi resultó generalmente baja, variando en un rango comprendido entre 7 cm (6/IV/78) y 100 cm (19/V/78). Sus variaciones mostraron estrecha aunque variada relación con las de la altura hidrométrica del río y la concentración de sólidos en suspensión.

En la fig. 1 se representa la transparencia del agua en relación con la altura del río. Si bien los puntos presentan una gran dispersión, es manifiesta la tendencia al incremento de los valores de transparencia durante el estiaje.

Las lecturas del disco de Secchi se representan en dicha figura de tres formas distintas, de acuerdo a las variaciones del nivel operado en los cinco días previos a cada muestreo (ΔH_5), clasificándolos, a tal efecto, en los tres intervalos siguientes:

- Variaciones menores de 0,2 m (representados con cuadrados).
- Variaciones comprendidas entre 0,2 y 0,3 m (representados con triángulos).
- Variaciones mayores de 0,3 m (representados con círculos).

Como puede observarse, los puntos de la parte superior de la figura (en que la transparencia resultó mayor), corresponden a situaciones caracterizadas por la escasa variación de la altura en los días previos al muestreo (valores pequeños de ΔH_5); mientras que los de la parte inferior de la misma, coinciden con etapas de mayor variación del nivel hidrométrico (valores mayores de ΔH_5). En los tres muestreos en los que la lectura del disco de Secchi resultó mayor de 80 cm, el río estaba estacionario. Por el contrario, los tres muestreos con lectura del disco de Secchi menor de 10 cm, derivan de situaciones en que tal variación de altura resultó mayor de 45 cm.

En la fig. 2 se representan las funciones que vinculan la transparencia del agua con la altura hidrométrica, para cada uno de los tres intervalos de variación considerados. Las curvas han sido obtenidas a partir de los puntos de la figura 1, agrupados según sus valores de ΔH_5 y corresponden a funciones de la forma $y = a e^{-xb}$. La tabla I muestra la expresión que toma dicha función para distintos valores de ΔH_5 y sus respectivos coeficientes de correlación (r).

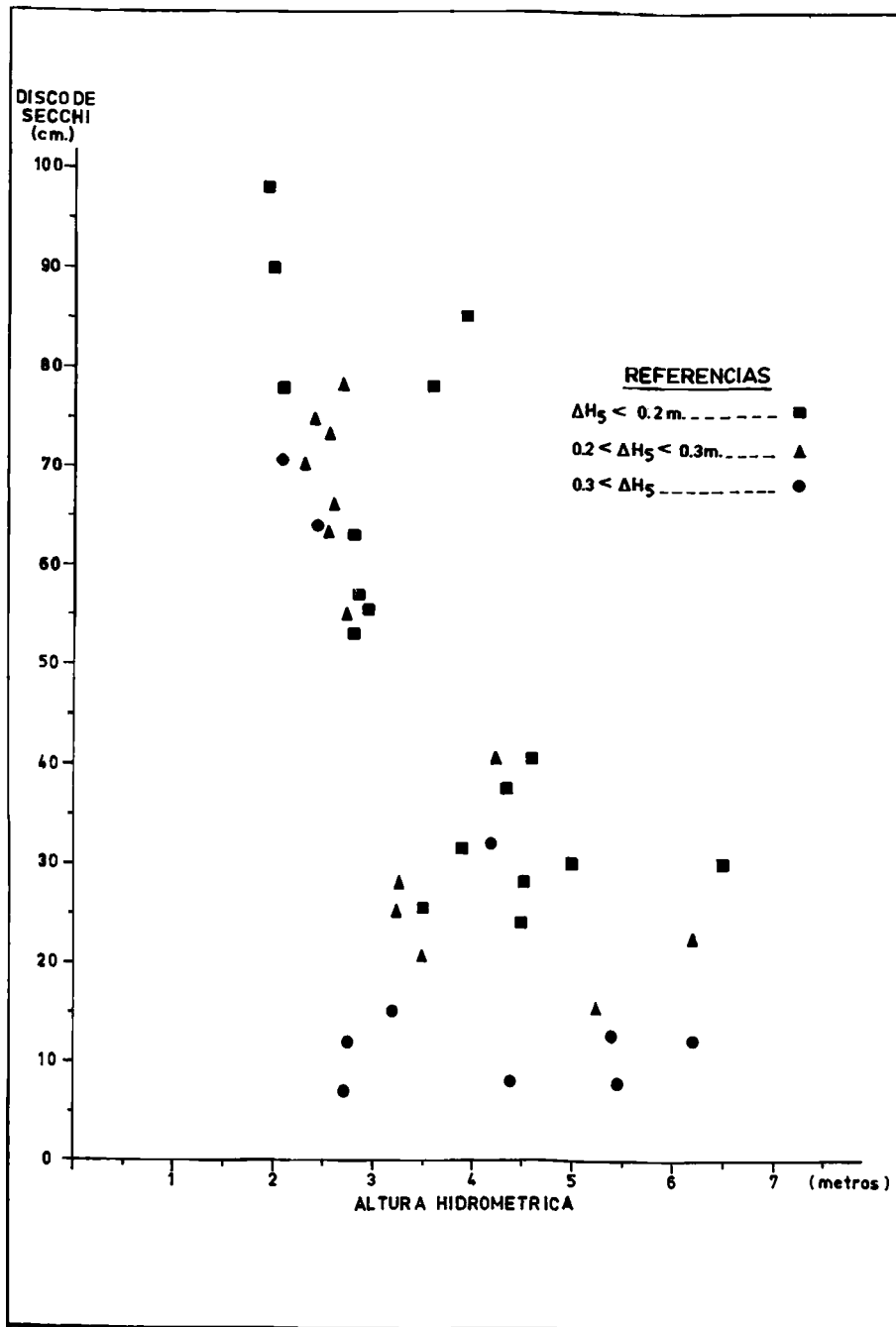


Fig. 1: Límite de visibilidad del disco de Secchi en relación con la altura hidrométrica del río en el puerto de Corrientes. Los puntos se representan de tres formas distintas según las variaciones en la altura del río en los cinco días previos a cada muestreo.

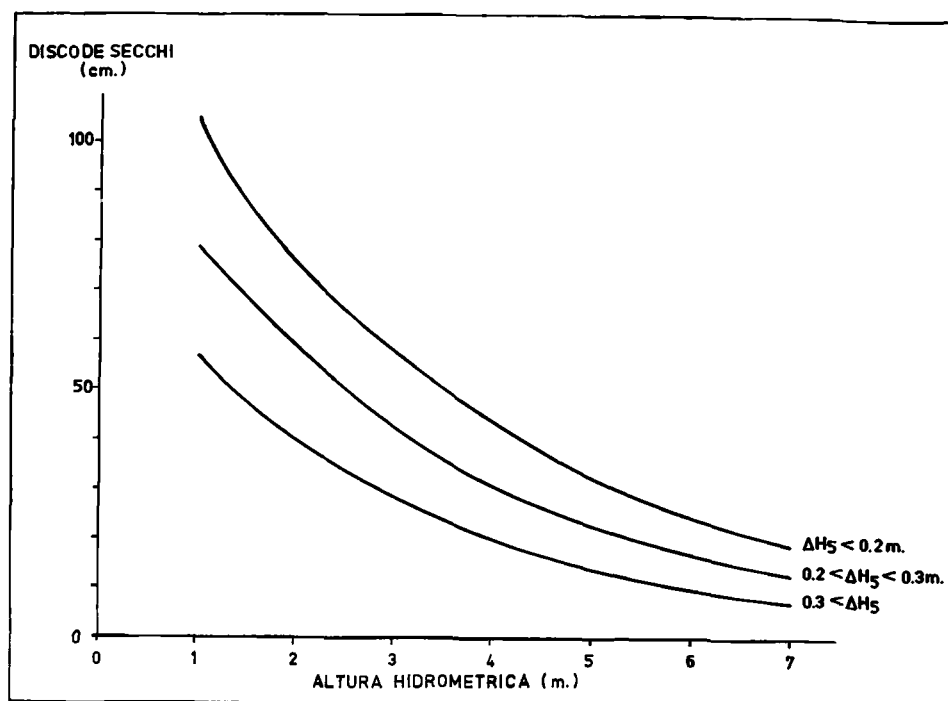


Fig. 2: Lecturas del disco de Secchi en función de la altura hidrométrica del río y de las variaciones de alturas operadas en los cinco días previos al muestreo.

TABLA I

$\Delta H_5(m)$	función	r
$\Delta H_5 < 0,2$	Secchi = $142 e^{-0,3 h}$	0,85
$0,2 \leq \Delta H_5 < 0,3$	Secchi = $110 e^{-0,32 h}$	0,72
$0,3 \leq \Delta H_5$	Secchi = $82 e^{-0,36 h}$	0,60

En la fig. 3 se representan las lecturas del disco de Secchi en función de la concentración de sólidos en suspensión, observándose una alta correlación inversa entre ambos parámetros. Los puntos de la gráfica ajustan a una función de la forma $y = ax^{-b}$, con un coeficiente de correlación de 0,86:

$$\text{Secchi} = 548 (\text{Sól. Susp.})^{-0,78} \quad r = 0,86$$

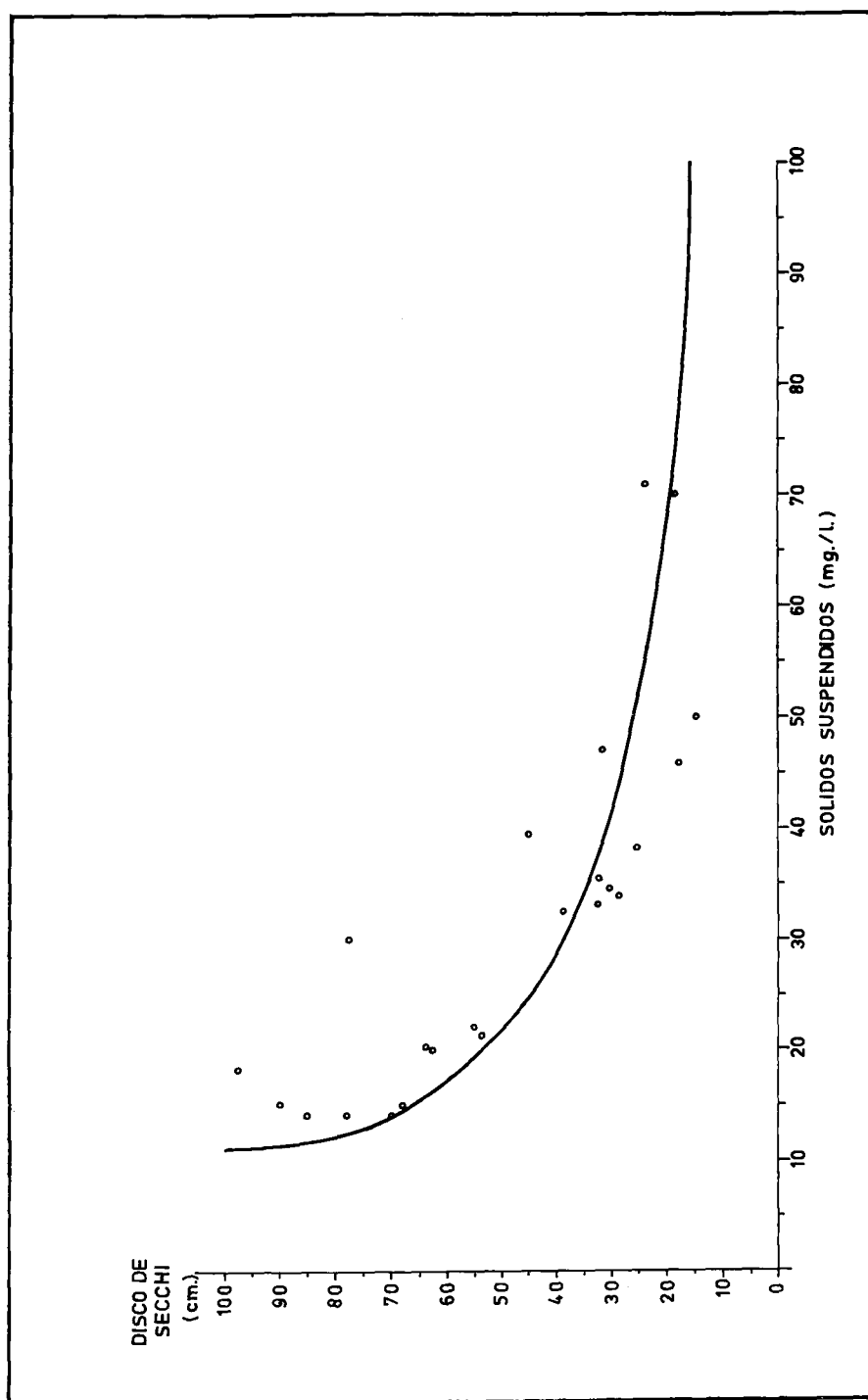


Fig. 3: Relación entre las lecturas del disco de Secchi y la concentración de sólidos en suspensión sobre la margen correntina del río.

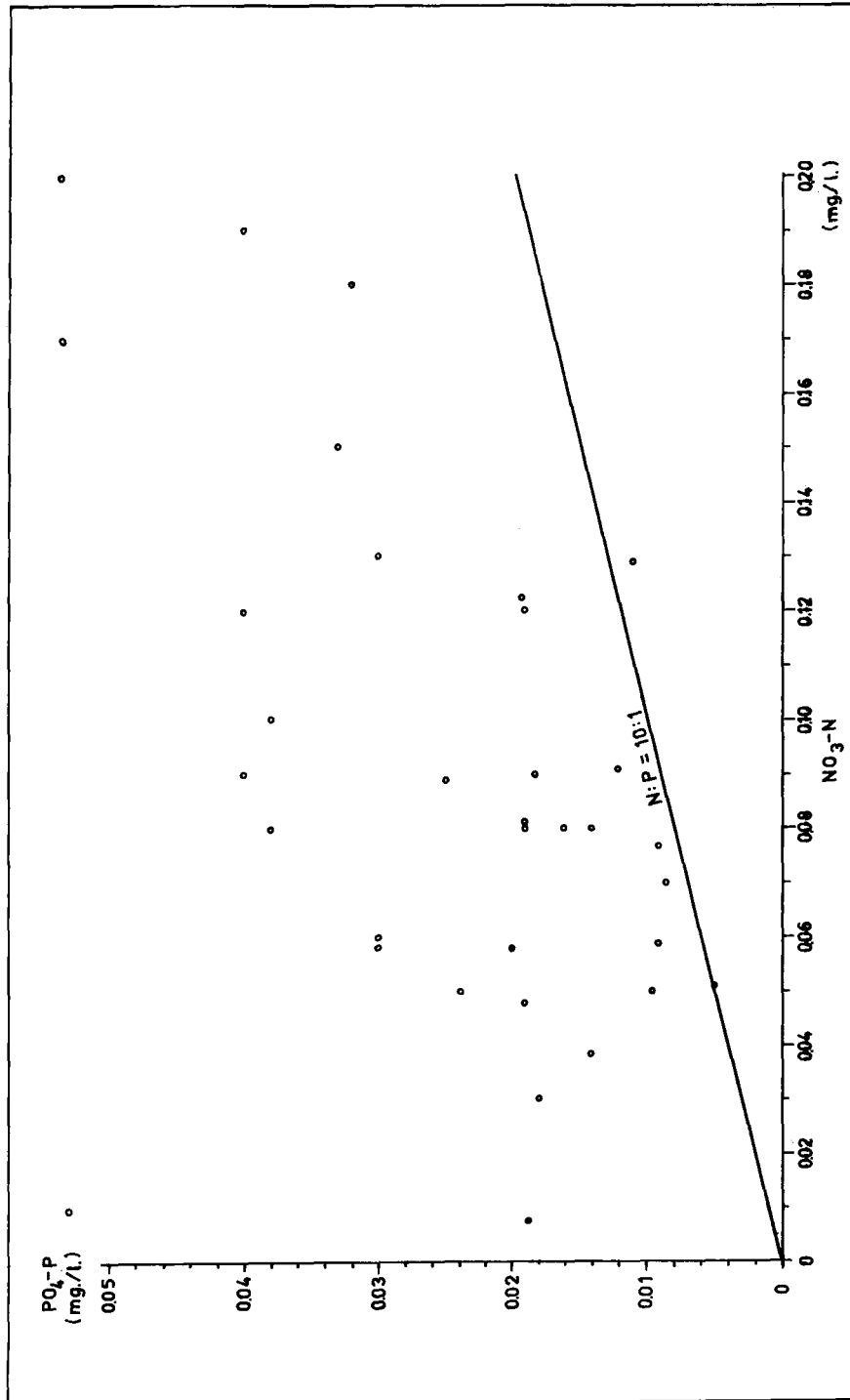


Fig. 4: Concentración de $P-PO_4^{3-}$ comparadas con las de $N-NO_3$ durante el período de estudios. La línea continua destaca la relación $N:P = 10:1$.

La conductividad de las aguas resultó baja, oscilando en un rango comprendido entre 38 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (4/VII/79) y 90 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (10/II/78 y 8/III/78).

El pH fluctuó en torno al punto neutro, con tendencia a desplazarse ligeramente al rango alcalino, oscilando así entre 6,8 (23/V/79) y 7,8 (31/VII/79).

La concentración de oxígeno disuelto resultó siempre elevada variando entre 6,3 mg/l (19/XII/78, 80% de saturación) y 9,67 mg/l (4/VII/79, 100% de saturación). Su concentración -como se verá luego- no muestra relación con la productividad del fitoplancton, pareciendo deberse, en lo fundamental, a la difusión superficial y mezcla turbulenta por el viento.

La tipología iónica correspondió al tipo bicarbonatado-cálcico-magnésico, al igual que la del Alto Paraná (Maglianesi, 1973; CECOAL, 1977; EBY, 1979).

El contenido de los principales nutrientes en el agua fue comparativamente bajo. Los nitratos presentaron un rango de variación entre 0,035 mg/l (31/VII/79) y 3,6 mg/l (1/VIII/78), con una media de 0,77 mg/l; mientras que los fosfatos lo hicieron entre 0,027 mg/l (25/VII/78) y 0,434 mg/l (28/IX/79), con una media de 0,06 mg/l.

La relación N:P resultó en casi todos los muestreos menor que 10. En la fig. 4 se representan las concentraciones de P-PO_4^{3-} en relación con las de N-NO_3^- , determinadas en operaciones de muestreo realizadas en el período del 28/VII/75 al 28/IX/79. Tal como puede observarse, la mayoría de los puntos se sitúan por encima de la recta que une la relación 10:1, con un cociente medio para dicho período, de 6,6.

Maglianesi (1973), en su estudio sobre las principales características físicas y químicas de las aguas del Alto Paraná, encontró valores levemente más altos para ambos nutrientes. Las concentraciones relativas de N y P, en el período del 9/XII/67 al 11/VII/69 en que se realizaron tales estudios, muestran también una situación similar, con un cociente N:P medio de 4,8.

Fitoplancton: Rasgos estructurales, composición específica.

En general, la densidad de población del fitoplancton fué mayor que la registrada sobre el lado chaqueño, oscilando sus valores entre 85 ind/ml (23/V/79) y 2.550 ind/ml (17/X/78). El grupo taxonómico mejor representado fue el de las diatomofíceas, principalmente diatomeas céntricas del género *Melosira*; grupo que a veces fue desplazado por las cianofíceas durante el verano y excepcionalmente por las clorofíceas, como en el muestreo del 22/V/78 (fig. 5).

A inicios del período de estudios (24/II/78), el fitoplancton se caracterizó por la clara dominancia de las cianofíceas, con valores que alcanzaron hasta el 66%, con respecto al total de la comunidad, siendo la especie más frecuente *Lyngbya limnetica*, seguida en importancia por *Raphidiopsis mediterranea*, quien desplazó de la posición dominante a *L. limnetica* durante el mes de abril de 1978. Al mes siguiente, este grupo fue reemplazado por las clorofíceas y diatomofíceas que alcanzaron valores del 49 y 42% del total, respectivamente. Entre las primeras se destacó la presencia de los géneros *Monoraphidium* (principalmente *M. contortum* y en menores proporciones *Monoraphidium* sp.,

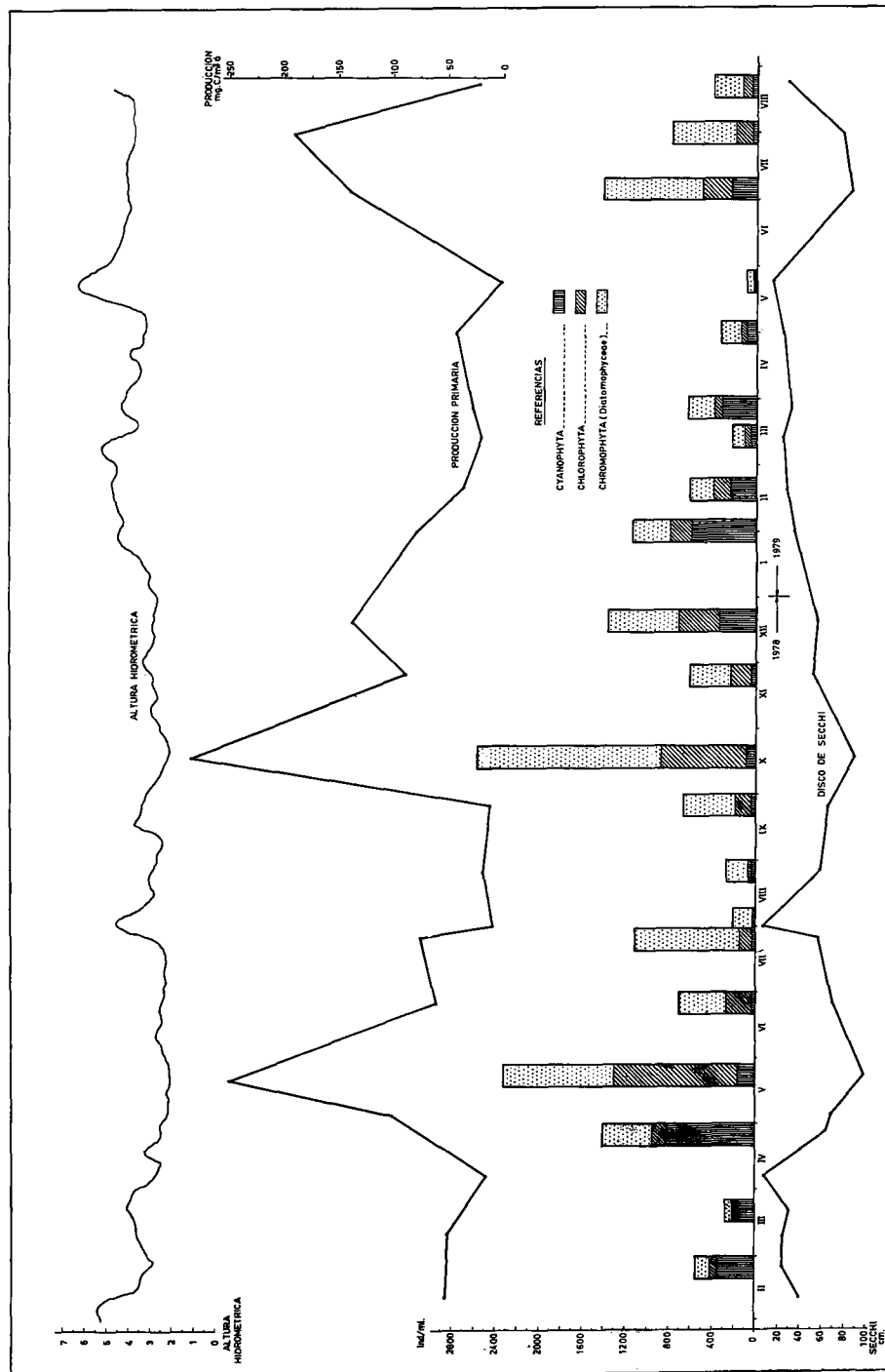


Fig. 5: Variaciones en la producción diaria por unidad de superficie, en la relación con la numerosidad del fitoplancton, el límite de visibilidad del disco de Secchi y el nivel hidrométrico del río, sobre la costa correntina, durante el período de estudios.

M. minimun y *M. griffithii*), *Scenedesmus* (*Scenedesmus* sp., *S. quadricauda*, *S. falcatus*, *S. longispina* y *S. smithii*), *Pediastrum* (*P. duplex*, *P. tetras* y *P. simplex*), *Crucigenia* (*C. quadrata*), *Crucigeniella* (*C. rectangularis*), *Schroederia* (*S. setigera*), *Tetrastrum* (*T. staurogeniaeforme*) y *Planktonema* (*Planktonema* sp.), mientras que, entre las diatomofíceas adquirieron importancia pequeñas diatomeas pennadas del género *Nitzschia* y las céntricas del género *Melosira* (fundamentalmente *M. granulata* var. *granulata*, *M. pseudogranulata* y *M. italica*).

Durante los meses siguientes del año 1978, el grupo mejor representado fue el de las diatomofíceas, entre las que predominaron las formas céntricas del género *Melosira*, principalmente *M. granulata* var. *granulata*, *M. pseudogranulata* y *M. italica* en los meses de junio, julio y agosto; mientras que, en setiembre y octubre tuvieron mayor importancia *M. granulata* f. *curvata*, *M. granulata* var. *granulata*, *M. granulata* var. *angustissima* y *M. cf. agassizii*.

Durante los meses de noviembre y diciembre fue significativa la presencia de *Melosira granulata* var. *granulata*, *M. pseudogranulata*, *M. italica* y *M. granulata* f. *curvata*.

A principios de 1979, al igual que el año anterior, también dominaron las cianofíceas resultando las especies más importantes *Lyngbya limnetica* y *Raphidiopsis mediterranea*, para ser desplazadas por las diatomofíceas durante el resto del período estudiado, fundamentalmente por *Melosira granulata* var. *granulata*, *M. pseudogranulata*, *M. italica*, *M. granulata* var. *angustissima*, *M. granulata* f. *curvata* y *M. granulata* var. *angustissima* f. *spiralis*.

Se registró también la presencia de otras diatomeas céntricas: *Cyclotella meneghiniana*, *Melosira herzogii*, *M. dickiei*, *Biddulphia* cf. *laevis*, *Hydrosera whampoensis* y *Terpsinoe musica*. Las diatomeas pennadas alcanzaron porcentajes poco significativos, estando representadas principalmente por especies de los géneros *Nitzschia* (*N. acicularis*), *Synedra* (*S. ulna*), *Cocconeis* (*C. placentula*), y *Gomphonema* (*Gomphonema* sp.).

Otros grupos tales como las euglenofíceas, crisofíceas, criptofíceas y xantofíceas tuvieron escasa representación numérica a lo largo de dicho período.

Producción primaria

Dada la escasa transparencia del agua, el perfil de producción mostró generalmente un valor máximo en superficie, disminuyendo marcadamente en profundidad. Sólo en cuatro operaciones en que la lectura del disco de Secchi resultó mayor de 70 cm, los perfiles mostraron inhibición fotosintética en los estratos superficiales y un máximo entre 0,5 y 1 m de profundidad. La tasa de fijación en el punto de máxima productividad fluctuó en un rango comprendido entre 5 mg C/m³ d (23/V/79) y 190 mg C/m³ d (19/V/78). La profundidad del estrato trofogénico varió entre unos pocos centímetros y 2,5 m, en correspondencia con la transparencia del agua.

La productividad por unidad de área, mostró estrecha relación con la nume-

rosidad del fitoplancton y la transparencia del agua que a su vez, se encuentra en estrecha relación con la altura hidrométrica del río.

Como puede apreciarse en la figura 5, los mayores valores corresponden a determinaciones realizadas con el río en estiaje. En mayo de 1978, el nivel de las aguas mostró pocas variaciones, estabilizándose alrededor de los 2 m, que representó la mínima altura registrada durante el período de estudios. En tal oportunidad, el escaso caudal del río determinó que la carga de sedimentos fuera baja, de sólo 18 mg/l, y la transparencia del agua elevada, con 100 cm de lectura del disco de Secchi. Tal situación resultó propicia para el desarrollo del fitoplancton, que el 17/V/78 alcanzó una numerosidad de 2.300 ind/ml, resultando en una tasa de fijación también elevada, de 250 mg C/m² d.

La máxima intensidad de fotosíntesis medida, de 285 mg C/m² d, se determinó el 17/X/78, fecha en que la altura hidrométrica fue sólo de 2,08 m. En esta oportunidad el disco de Secchi se extinguió a 90 cm de profundidad, y la numerosidad del fitoplancton fue de 2.550 ind/l.

La influencia de los cambios en la altura hidrométrica sobre la transparencia del agua y de tal manera sobre el proceso fotosintético, se pone de manifiesto durante el repentino pico de creciente producido a fines de julio de 1978 en que el nivel de las aguas ascendió de 2,2 m a 4,5 m en doce días. El brusco cambio de caudal diluyó la población fitoplanctónica cuya densidad cayó de 1.100 ind/ml el 25/VII/78 a sólo 200 ind/ml el 1/VIII/78. La concentración de sólidos en suspensión resultó de 30 y 94 mg/l, respectivamente, produciendo una marcada disminución en la transparencia del agua, de modo que la lectura del disco de Secchi se redujo de 60 a sólo 8 cm en dicho lapso. A su vez, la tasa de fijación de carbono que registró valores de 75 mg C/m²d antes de tal repunte, se redujo a sólo 8 mg C/m²d.

En marzo de 1979 se pudo apreciar un proceso inverso. En el lapso comprendido entre los muestreos consecutivos del 13/III/79 y 26/III/79, el nivel de aguas bajó de 4,51 a 4,22 m. La concentración de sólidos en suspensión disminuyó de 71 a 34 mg/l, redundando en un aumento de la transparencia del agua, con lecturas del disco de Secchi que ascendieron de 24 a 32 cm. Tal situación se acompañó de un aumento de la numerosidad celular que pasó de 200 a 600 ind/ml, aumentando en forma concomitante la tasa de fijación de carbono, de 18 a 27 mg C/m²d.

Los cuatro muestreos realizados entre diciembre de 1978 y marzo de 1979, se efectuaron con alturas hidrométricas paulatinamente ascendentes, mostrando la transparencia del agua, la numerosidad celular y la intensidad de fotosíntesis una tendencia descendente durante ese lapso.

En mayo de 1979 se produjo otro importante incremento del nivel de aguas, creciendo el río más de 3 m en doce días. El 23/V/79, con una altura hidrométrica de 6,26 m, se determinó la menor tasa de fijación de carbono durante el período de estudios, de sólo 3 mg C/m²d. La numerosidad celular fue también la mínima, con 85 ind/ml, y la lectura del disco de Secchi de sólo 14 cm.

En los muestreos posteriores, si bien el nivel de aguas era aún elevado, el río se encontraba estabilizado permitiendo un aumento de la productividad que resultó de 138 mg C/m²d el 4/VII/79, y 190 mg C/m²d el 31/VII/79.

ESTACION DE LA MARGEN CHAQUEÑA

Algunas características limnológicas

La temperatura del agua, durante el período abarcado por los trabajos, osciló en un rango comprendido entre 17,5°C (27/VI/78) y 29,5°C (10/II/78).

La transparencia del agua resultó siempre comparativamente baja, oscilando las lecturas del disco de Secchi entre 2 cm (10/XI/78), y 50 cm (28/VIII/78) correspondiéndose con las concentraciones máximas y mínimas de sedimentos que en esas fechas fueron de 988 mg/l y 52 mg/l respectivamente. En la figura 6 se representa el límite de visibilidad del disco de Secchi en relación con el contenido de sedimentos del agua. Los puntos representados ajustan a una curva de la forma $y = ax^{-b}$, con alto grado de correlación ($r = 0,84$) siendo sus coeficientes:

$$\text{Secchi} = 680 (\text{Sól. Susp.})^{-0,96} \quad r=0,84$$

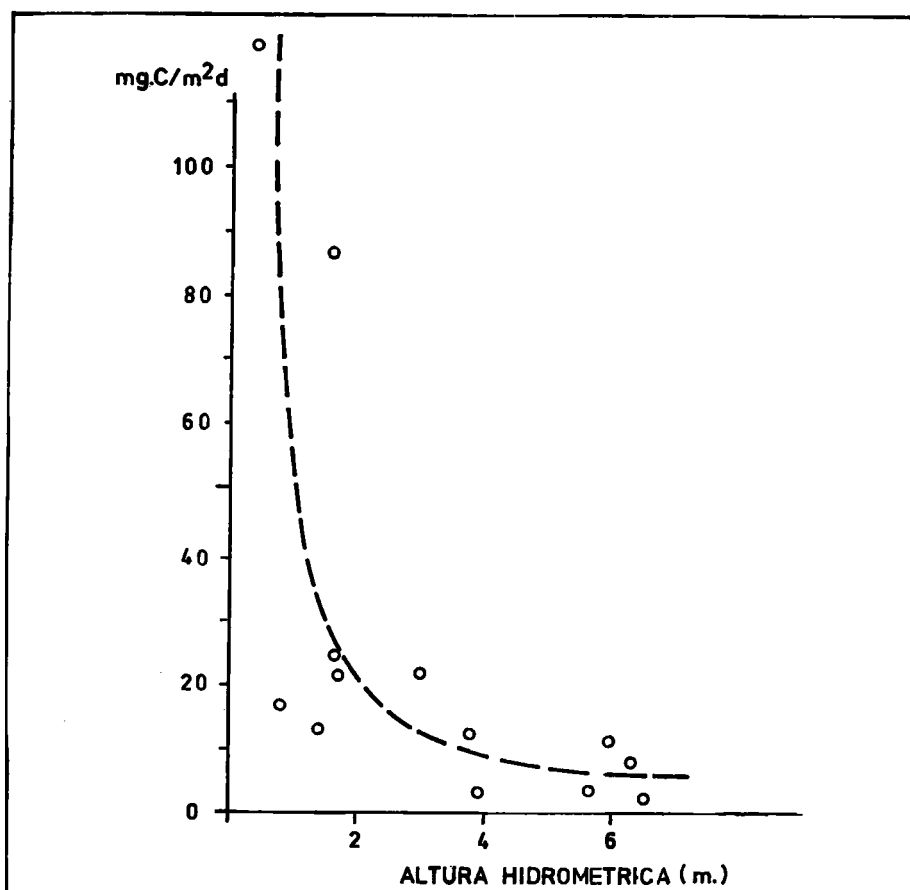


Fig. 6: Relación entre las lectura del disco de Secchi y la concentración de sólidos en suspensión sobre la margen chaqueña.

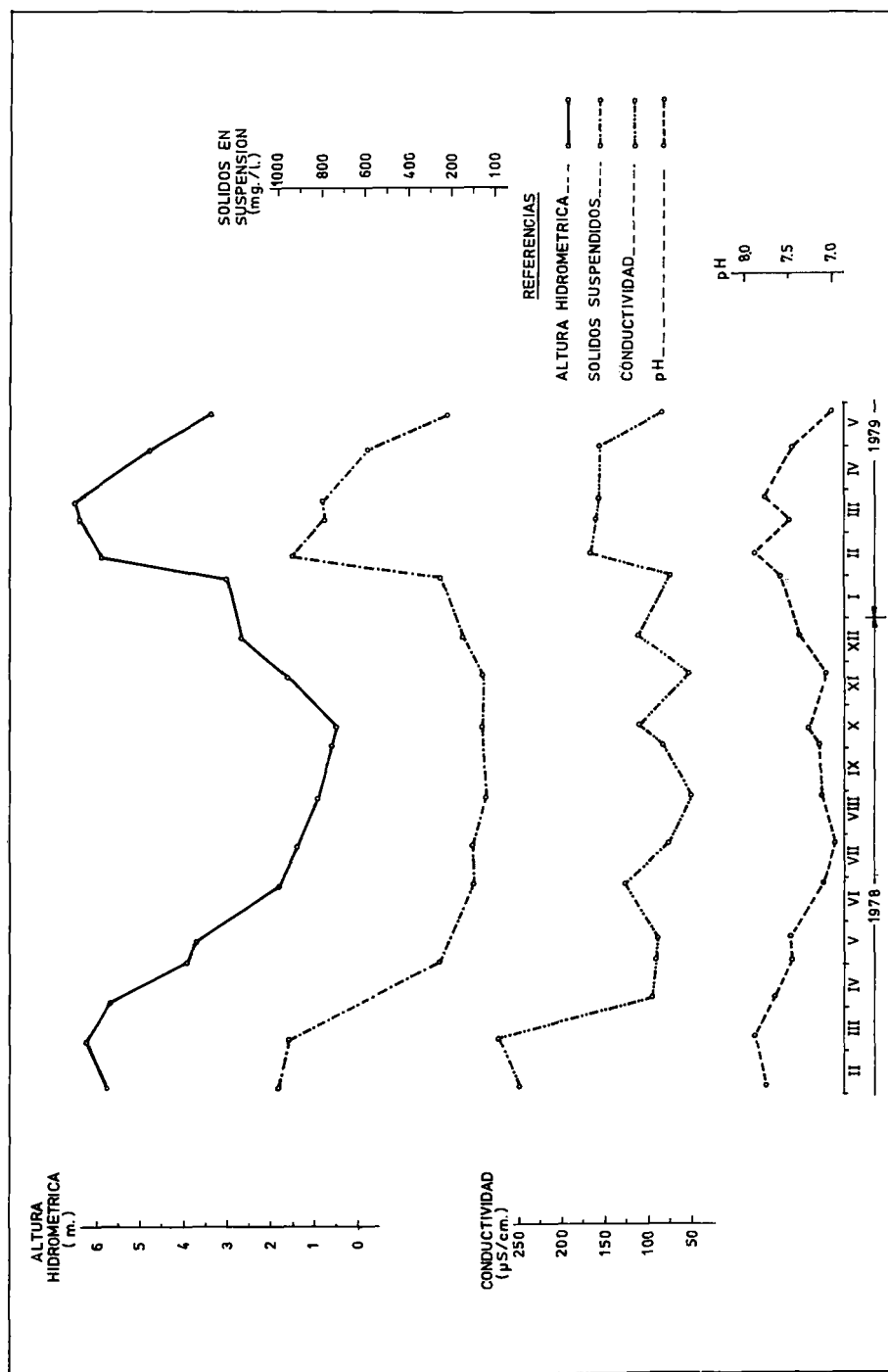


Fig. 7: Variaciones del pH, conductividad y sólidos en suspensión en el río Paraná, sobre la margen chaqueña, en relación con las de la altura hidrométrica del río Bermejo.

Como puede apreciarse en la figura 7, varios parámetros físicos y químicos del agua, sobre la margen chaqueña, muestran grandes variaciones estacionales vinculadas fundamentalmente al ciclo hidrológico del río Bermejo. La crecencia de este río se opera en forma bastante regular durante los meses de verano (diciembre-abril), durante cuyo transcurso vuelca una enorme carga de sedimentos sobre el bajo Paraguay, el que a su vez la traslada al Paraná determinando una alta turbidez del agua, la cual se acusa sobre todo en la margen derecha dentro del área considerada.

La conductividad del agua resultó comparativamente elevada, con valores más altos durante el verano, lo que se debería también a los aportes del río Bermejo, y menores en invierno. El máximo fue de 270 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (8/III/78) y el mínimo de 55 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (28/VIII/78).

El pH resultó neutro o ligeramente alcalino, variando entre 7 (25/VII/78) y 7,9 (8/III/78).

La concentración de oxígeno disuelto resultó generalmente elevada, registrando valores extremos de 5,77 mg/l (73% de saturación) el 30/I/79 y 8,99 mg/l (115% de saturación) el 10/II/78.

La concentración de micronutrientes fue comparativamente elevada, siendo el tenor promedio de NO_3^- de 0,96 mg/6 y el de PO_4^{3-} de 0,5 mg/l. La relación N:P resultó en todos los muestreos menor que 10, con valor medio de 1,2.

Fitoplancton

La concentración del fitoplancton sobre la margen chaqueña, resultó comparativamente baja, oscilando sus valores entre 83 ind/ml (23/V/79) y 1.603 ind/ml (17/X/78).

En general la comunidad se caracterizó por la presencia constante y casi exclusiva de diatomofíceas, principalmente de diatomeas céntricas del género *Melosira*. No obstante, en el muestreo del 24/II/78, las cianofíceas alcanzaron porcentajes similares al de las diatomeas, dominando claramente *Lyngbya limnetica* y *Raphidiopsis mediterranea*.

Durante el ciclo considerado, las especies más frecuentes de *Melosira* fueron *M. granulata* var. *granulata*, *M. pseudogranulata*, *M. italica* y *M. granulata* var. *angustissima*. Junto a las citadas se registraron también -en menores proporciones- *M. granulata* f. *curvata*, *M. granulata* var. *angustissima* f. *spiralis*, *M. dickiei*, *M. herzogii* y *M. agassizii*.

Entre las diatomeas pennadas se observó sólo la presencia de los géneros *Nitzschia*, *Cymbella* y *Gomphonema*.

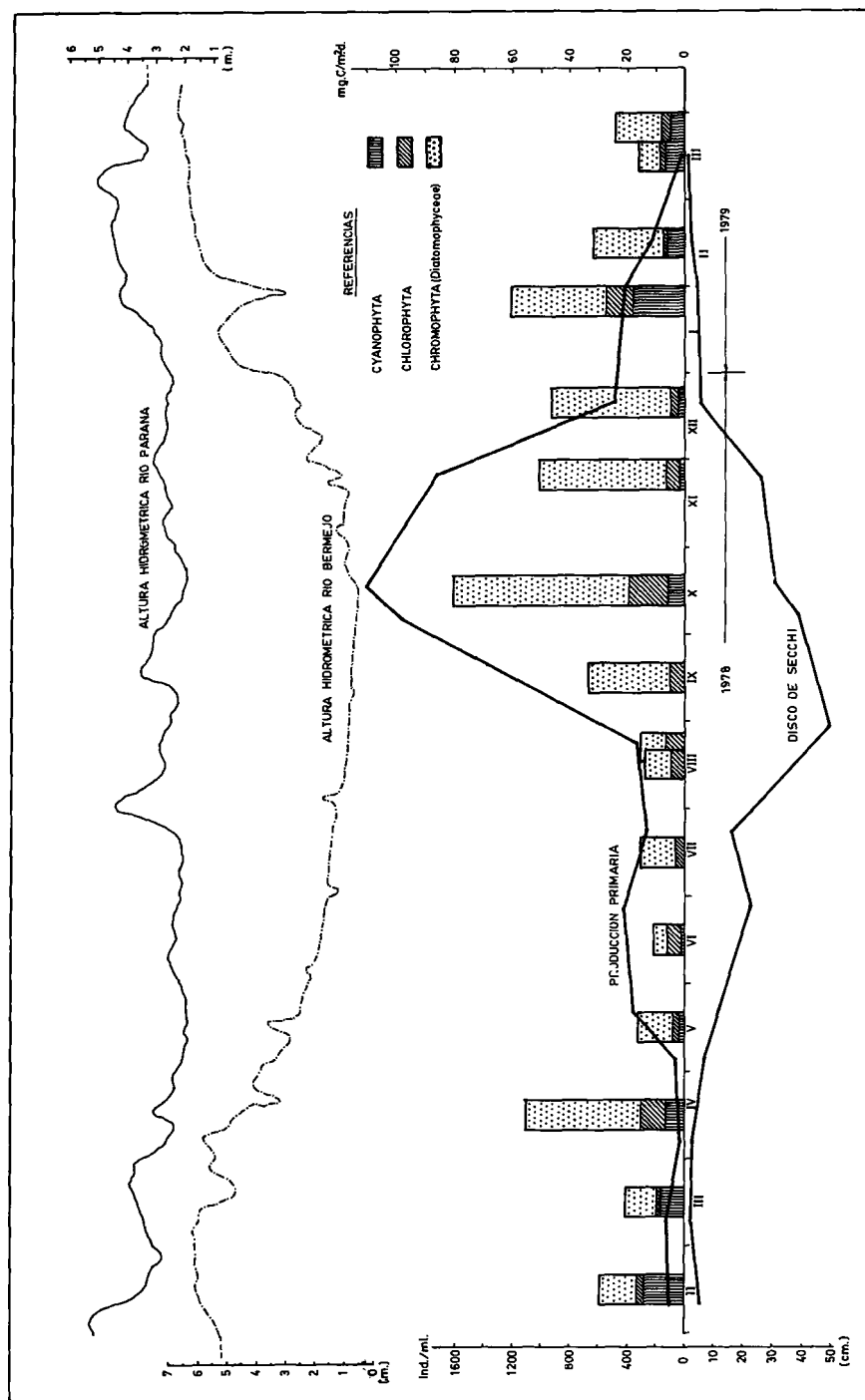


Fig. 8: Variaciones en la producción diaria por unidad de área, de la numerosidad del fitoplancton y de la visibilidad del disco de Secchi sobre la costa chaqueña, durante el período de muestreos. En la parte superior de la figura se representan las variaciones de nivel hidrométrico de los ríos Paraná y Bermejo.

Producción primaria

Debido a la elevada turbidez del agua, el perfil de producción mostró siempre el máximo en superficie, sin haberse observado nunca fenómenos de inhibición fotosintética, disminuyendo rápidamente en profundidad en forma correlativa con la curva de extinción lumínica. La profundidad del estrato trofógeno resultó en la mayoría de los muestreos menor de 30 cm, alcanzando a 1,5 m el 28/VIII/78 y 27/X/78. La productividad en superficie fue generalmente baja, variando entre 3 mg C/m³d el 13/II/79, con 310 ind/ml, y 150 mg C/m³d el 24/IX/78, con 1.000 ind/ml.

En la figura 8 se muestra la marcha anual de la productividad por unidad de área, la numerosidad del fitoplancton y la transparencia del agua sobre la margen chaqueña. En la parte superior de la figura se representan las alturas hidrométricas de los ríos Paraná y Bermejo.

En los primeros muestreos del año 1978, hasta el mes de abril, y en coincidencia con la creciente del río Bermejo, la turbidez resultó muy elevada, no superando los 5 cm las lecturas del disco de Secchi. En concordancia las tasas de fijación de carbono fueron igualmente reducidas sin alcanzar los 7 mg C/m²d.

Durante los meses siguientes, en la medida en que disminuyó el nivel de aguas del río Bermejo, las menores concentraciones de sólidos en suspensión permitieron sucesivos incrementos de la transparencia del agua, redundando en una tendencia al aumento de productividad.

El 28/VIII/78 se registró la máxima transparencia del agua con una lectura del disco de Secchi de 50 cm. Sin embargo, debido a la baja densidad del fitoplancton la tasa de fijación del carbono resultó sólo de 16 mg C/m²d.

En el mes de octubre, fecha en la cual los tres ríos (Paraguay, Bermejo y Paraná) se encontraban en estiaje, se observó la máxima densidad algal de 1.600 ind/ml, determinándose también la mayor tasa de fijación, de 120 mg C/m²d, con 32 cm de disco de Secchi.

En los muestreos siguientes, si bien la numerosidad celular permaneció relativamente elevada, el progresivo aumento de la turbidez se tradujo en valores decrecientes de productividad, hasta llegar al valor mínimo del período de estudios, con sólo 2 mg C/m²d, el 13/III/79, con 300 ind/ml, y 2 cm de lectura del disco de Secchi.

En la figura 9 se representa la producción por unidad de área en función de la altura hidrométrica del río Bermejo. Como puede apreciarse, la influencia que tienen los sedimentos aportados por dicho río sobre la turbidez del agua en la margen chaqueña del Paraná, en la zona de confluencia, condiciona en alto grado la productividad, dándose una evidente correlación inversa entre ambos parámetros.

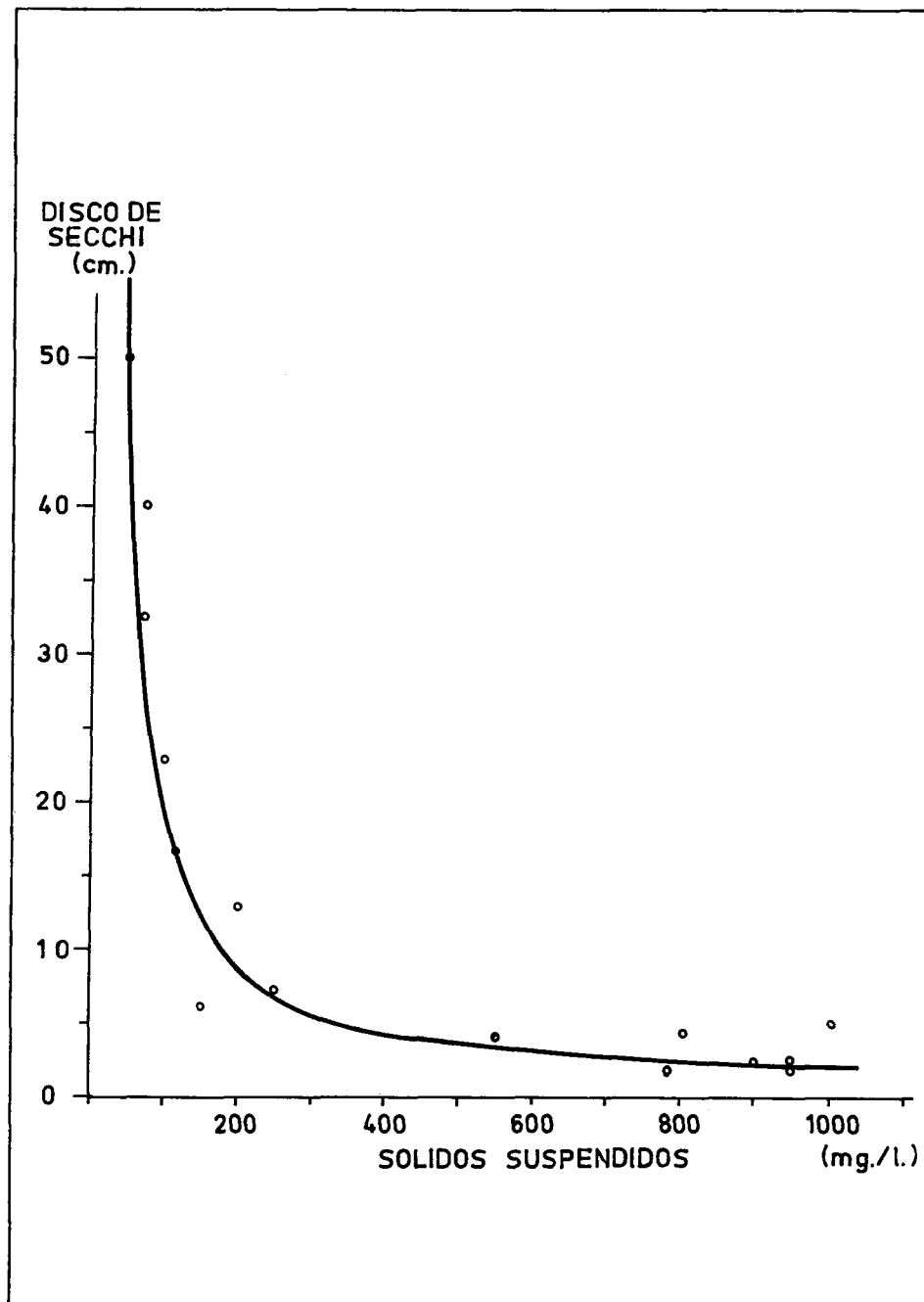


Fig. 9: Producción primaria por unidad de área sobre la costa chaqueña en relación a la altura hidrométrica del río Bermejo.

CONSIDERACIONES FINALES

Las propiedades físicas, químicas y biológicas de las aguas del río Paraná en la zona de confluencia, difieren considerablemente en la sección, resultando las características detectadas de la margen correntina muy similares a las del Alto Paraná, en tanto que, sobre la costa chaqueña se hace manifiesta la influencia del río Paraguay. En la tabla II se presentan los resultados de las determinaciones de algunas características físicas y químicas de las aguas, de interés para el tema considerado. Puede observarse que la concentración de sólidos en suspensión y micronutrientes, como así también la conductividad, pH y turbidez, resultaron mayores en la costa chaqueña. Asimismo, sus rangos de variación fueron más amplios, encontrándose los valores más altos durante la creciente del río Bermejo y, los más bajos, durante el estiaje de dicho río.

TABLA II

	Margen Correntina			Margen Chaqueña		
	Máx.	Mín.	M	Máx.	Mín.	M
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	0,434	0,027	0,068	1,72	0,075	0,505
NO ₃ ⁻ (mg/l)	3,65	0,035	0,772	2,28	0,244	0,96
O ₂ disuelto (mg/l)	9,1	6,3	8,1	8,99	5,8	7,3
O ₂ ; % saturación	108	80	96	115	73	84
pH	7,8	6,8	7,2	7,9	7	7,5
Secchi (cm)	100	7	45,7	50	2	15,6
Sól. susp. (mg/l)	103	14	40,4	988	52	434
Conduct. (μS/cm)	90	38	49,4	270	55	121

Sobre la margen correntina se determinaron 113 especies de algas durante el período considerado, y 109 sobre la otra. Si bien la composición del fitoplancton no presentó marcadas diferencias en la sección del río, las cianofíceas y clorofíceas estuvieron mejor representadas sobre la costa correntina. En esta margen, en los muestreos de febrero, marzo y abril de 1978, y en los de enero, febrero y marzo de 1979, resultaron dominantes las cianofíceas, siendo las especies mejor representadas *Lyngbya limnetica* y *Raphidiopsis mediterranea*. En mayo de 1978 el grupo de mayor importancia resultó el de las clorofíceas, con la especie dominante *Monoraphidium contortum*. Durante el resto del año dominaron las diatomofíceas. Sobre el lado chaqueño, en cambio, con la única excepción del muestreo realizado el 24/II/78, en que la mayor abundancia correspondió a las cianofíceas (dominando *L. limnetica*), las diatomofíceas resultaron siempre el grupo mejor representado. Cabe señalar, en esta margen, la presencia del género *Tetracyclus*, diatomea pennada conocida en el río Paraguay, la que no se registró en el río Paraná, antes de confluen-

cia. Por el contrario, tres especies de diatomeas céntricas: *Biddulphia* cf. *laevis*, *Hydrosera whampoensis* y *Terpsinoe musica*, se encontraron en el Alto Paraná y en la costa correntina, sin haber sido observadas en el río Paraguay ni en la costa chaqueña.

La numerosidad celular fue generalmente mayor sobre la margen correntina, con la excepción de los muestreos realizados el 24/II/78, 20/III/78, 24/XI/78 13/III/79 y 15/XI/79. La densidad máxima se observó el 17/X/78 y resultó de 2.550 ind/ml en la margen correntina y 1.603 ind/ml en la chaqueña. La menor concentración se registró el 23/V/79, encontrándose 85 ind/ml en la primera estación y 83 ind/ml en la segunda.

La productividad primaria, en concordancia con la mayor transparencia del agua y densidad del fitoplancton, resultó también mayor sobre la margen correntina, con un valor medio de 80 mg C/m²d, contra sólo 30 mg C/m²d de la otra. El mayor valor se obtuvo el 17/X/78, en ambas estaciones, y resultó de 285 para la margen correntina y de 120 mg C/m²d, para la chaqueña.

Las variaciones en la tasa de fijación de carbono mostraron relación con las de la numerosidad del fitoplancton, la transparencia del agua y la altura hidrométrica del río.

A su vez, la transparencia del agua apareció en buena medida relacionada tanto con la altura hidrométrica, como con la relativa estabilidad del nivel en los días de operaciones. Aparentemente, cambios bruscos de nivel producirían activos incrementos de la concentración de sólidos en suspensión, con la consecuente reducción de la transparencia. Si el nivel de aguas permanece sin experimentar mayores variaciones durante un período dado, la cantidad de sedimentos disminuye gradualmente hasta llegar a un valor estable, característico, para la altura del río en ese momento. De igual forma, la transparencia mostrará una tendencia a aumentar y alcanzar valores más constantes. Consecuentemente, los más altos registros de transparencia observados se encontraron durante períodos de estiaje y de mayor estabilidad en el nivel de aguas.

Como ocurre corrientemente, la numerosidad del fitoplancton se correlaciona en forma inversa con la altura hidrométrica del río. Schiaffino, M. (1977) en su estudio del fitoplancton en afluentes del Paraná Medio, encontró también una clara relación inversa entre el caudal y la densidad celular en los ríos Santa Fe, Coronda, Correntoso y El Cordobés. La importancia de variaciones de caudal como factor determinante de la densidad del fitoplancton ha sido puesta de manifiesto por numerosos autores, entre otros Kofoid (1908) para el río Illinois, Allen (1920) para el río San Joaquín, Galstoff (1924) para el río Mississippi y Lack (1971) para el Támesis. Talling, en el río Nilo (1967) encontró también relación inversa entre la numerosidad celular y el caudal del río: durante el período de creciente, la densidad resultó mínima debido a la turbidez y efecto dilutivo del agua, mientras que durante el período de estiaje se produjo un rápido incremento, primero de las diatomofíceas (*Melosira* spp.), seguido por las cianofitas (*Anabaena flosaquae* f. *spiroides*).

La intensidad de fotosíntesis registró también variaciones que se relacionaron en forma inversa con las del nivel hidrométrico. Tales variaciones corres-

ponderían a la resultante de los cambios en la transparencia y densidad del fitoplancton, asociados a las diferencias de nivel del agua. Sin embargo, este efecto ha sido observado en otros ambientes donde la transparencia resultaría independiente de la altura hidrométrica. Schmidt (1976), estudiando la productividad primaria del fitoplancton del río Negro (de la cuenca del Amazonas, en Brasil), encontró una evidente correlación inversa entre la altura hidrométrica y la tasa de fijación de carbono, aún cuando la permeabilidad lumínica fue prácticamente constante durante el ciclo anual estudiado. En el lago Castanho, un ambiente lenítico del valle de inundación del río Solimoes, cuyas aguas se contactan periódicamente con las de dicho río, el citado autor (1973) encontró que la producción por unidad de volumen ($\text{mg C/m}^3\text{d}$) varía en forma inversa a la de la altura hidrométrica; la productividad por unidad de área, en cambio ($\text{mg C/m}^2\text{d}$) mostró variaciones relacionadas con la transparencia del agua, numerosidad del plancton y la influencia del agua de dicho río.

En su estudio sobre la productividad primaria de la laguna Los Matadores, laguna isleña del río Paraná Medio, en contacto casi permanente con el río Correntoso (Santa Fe, Argentina), Perotti de Jorda (1978) registró los valores más altos en los meses de noviembre y diciembre, con el río en estiaje, y los más bajos durante los meses de abril, mayo, junio y julio de 1974, período en el cual el río se encontraba en creciente.

Evidentemente, las variaciones de caudal propias del régimen hidrológico de un río condicionan fuertemente la productividad primaria del fitoplancton. Cualquiera sea el mecanismo a través del cual se ejerza dicha influencia (dilución del fitoplancton, cambios en la concentración de sólidos suspendidos, modificaciones en otras características de las aguas, aportes fitoplanctónicos de reflujo desde el valle aluvial inundado) la misma viene a ser de fundamental importancia, aunque no siempre resulte muy clara en sus efectos ni estrictamente unidireccional en sus resultados.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Argentino A. Bonetto por la dirección de las investigaciones y la lectura crítica del manuscrito y al Dr. Guillermo Tell por la colaboración prestada en la identificación de algunas especies y la lectura crítica del trabajo.

BIBLIOGRAFIA

- ALLEN, W.E. 1920. A quantitative and statistical study of the plankton of San Joaquin River and its tributaries in and near Stockton, California in 1913. *Univ. Calif. Publ. Zool.* 22: 1-292.

- APHA. 1975. Standard methods for the examination of water and wastewater. 14th edition. American Public Health Association. Washington. 1194 pág.
- BONETTO, A.A. 1976. Calidad de las aguas del río Paraná. INCYTH - PNUD - ONU. 202 pág.
- CARO, P.M.; BONETTO, C.A.; ZALOCAR, Y. 1979. Producción primaria del fitoplancton de lagunas del noroeste de la provincia de Corrientes. *Ecosur* 6(11): 83-100.
- CENTRO DE ECOLOGIA APLICADA DEL LITORAL. 1977. Estudios ecológicos en el área de Yaciretá. Informe de avance N° 2. Corrientes, Argentina. 204 pág.
- DRAGO, E.C.; MARCHETTI, J.L. 1973. Estimación del seston en base a valores de disco de Secchi y turbiedad. *Rev. Asoc. Cien. Nat. Lit.* N° 4: 97-104.
- ENTIDAD BINACIONAL YACIRETÁ. 1979. Estudios ecológicos en el área de Yaciretá. Informe de Avance N° 3. Bs. As. 152 pág.
- GALSTOFF, P.S. 1924. Limnological observations in the upper Mississippi U.S. *Bur. Fish. Bull.* 39: 347-438.
- GOLTERMAN, H.L. 1975. Physiological limnology. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam - Oxford - N.Y. 489 pág.
- KOFOID, C. 1908. The plankton of the Illinois River 1894-1899. Part. II Constituent organism and their seasonal distribution. *Bull. Illinois State Lab. Nat. Hist.* 8: 3-361.
- LACK, T.J. 1971. Quantitative studies on the phytoplankton of the rivers Thames and Kennet at Reading. *Freshwat. Biol.* 1: 213-224.
- LUND, J.W.G. 1970. Primary production. *Water Treat. Exam.* 19:332-358.
- MAGLIANESI, R.E. 1973. Principales características químicas y físicas de las aguas del Alto Paraná y Paraguay Inferior. *Physis* 32(85): 185-197.
- PEREZ DEL VISO, R.; MANTOVANI, V. 1967. Estimación de la productividad primaria a nivel de fitoplancton en aguas dulces, a partir de los datos de iluminación y resultados de incubación en laboratorio. *Physis* 27(74): 59-70.
- PEROTTI de JORDA, N.M. 1977. Pigmentos y producción primaria en el Paraná Medio: laguna "Los Matadores" (Santa Fe, Argentina). *Physis* 35(92): 89-113.
- SCHIAFFINO, M. 1977. Fitoplancton del río Paraná. I. Sus variaciones en relación al ciclo hidrológico en cauces secundarios de la llanura aluvial. *Physis* 36(92): 115-125.
- SCHMIDT, G.W. 1973. Primary production of phytoplankton in the three types of Amazonian Waters. III: Primary productivity of phytoplankton in a tropical flood-plain lake of Central Amazonia, Lago do Castanho, Amazonas, Brazil. *Amazoniana* IV(2): 379-404.
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 Rio Negro. (Amazonas, Brazil). *Amazoniana* V (4): 517-528.
- STRICKLAND, J.D.H. and PARSONS, T.R. 1968. A practical handbook of sea water analysis. Ottawa. Fisheries Research Board of Canada: 311 pág.
- TALLING, J.F. and RZOSKA, J. 1967. The development of plankton in relation to hydrological Regime in the Blue Nile. *J. Ecol.* 55: 637-662.