

FITOPLANCTON Y PRODUCCIÓN PRIMARIA DEL PARANÁ MEDIO

Carlos A. BONETTO *

SUMMARY: Phytoplankton and primary production of the Paraná Medio river.

This paper deals with the phytoplankton primary production and some of its limnological parameters of the Middle Paraná River in the stretch Corrientes-Esquina.

Primary production estimates were obtained from incubation *in situ* of light and dark bottle columns, assessing the ¹⁴C fixation during March 1981-March 1982.

The annual carbon fixation pattern 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 in conditions of high phytoplankton dilution and water turbidity, increasing sharply during the low water favoured by the increment in phytoplankton concentration and transparency.

In Corrientes, there are important limnological differences between both two margins. The influence of the Paraguay River increases the suspended and dissolved solids towards the right bank. Phytoplankton production is very low there, because of the high turbidity. In Esquina, about 300 km down stream there are still some differences in the cross section.

INTRODUCCIÓN

La cuenca del río Paraná, que se suma en su proción final a la del río Uruguay, definen en su conjunto a la cuenca del Plata, la segunda en importancia en América del Sur, después de la del Amazonas.

Desde muy temprano, la parte inferior de la cuenca sirvió de asiento a una fracción importante de la población argentina, siendo posteriormente escenario de un rápido desarrollo industrial, que se situó preponderantemente sobre el litoral fluvial-marítimo, en especial en el sector comprendido entre Santa Fe y Buenos Aires.

* Centro de Ecología Aplicada del Litoral (CECOAL), Casilla de Correo 291, 3400 Corrientes, Argentina. (Investigador del CONICET).

ECOSUR	Argentina	ISSN 0325-108X	v. 10	n. 19/20	pág. 79-102	1983
--------	-----------	-------------------	-------	----------	----------------	------

En el extremo noreste de la cuenca, se desarrolló también uno de los nucleamientos urbanos más importantes de Sud América, representado por el cinturón industrial de San Pablo.

En años recientes, el aumento del precio de los combustibles fósiles y el creciente interés mundial en el reemplazo de los mismos mediante fuentes alternativas de energía, unido a la escasez de hidrocarburos de algunos países del área, contribuyeron a incrementar enormemente la vital importancia económica y geopolítica de la cuenca del Plata.

En la parte superior de la misma, muchos de los tributarios de la margen izquierda han sido intensamente represados, llegándose a transformarlos de un sistema lótico inicial en una sucesión ininterrumpida de lagos concadenados.

La cuenca del río Paraná propiamente dicha, también está siendo represada en todo el tramo superior. Hacia el sur del mismo, casi sobre el límite con la Argentina, se ha finalizado el emprendimiento binacional Brasileño-Paraguayo de Itaipú, uno de los mayores del mundo. Aguas abajo, ya en territorio argentino, se realizan estudios para el importante emprendimiento Argentino-Paraguayo de Corpus, habiéndose iniciado las obras de infraestructura para la construcción del embalse de Yacyretá. Agua y Energía Eléctrica completó recientemente el proyecto ejecutivo del represamiento de Paraná Medio, que estará constituido por dos cierres frontales, el cierre Chapetón, unos 50 km al norte de la ciudad de Santa Fe, y otro aguas arriba, aproximadamente a la altura de la sección Reconquista-Goya, constituyendo un conjunto de embalses prácticamente continuos en el cual la cola de cada uno de ellos coincidirá con la presa del que le antecede, transformando de forma radical la fisonomía del litoral y las características limnológicas básicas del río.

Conforme avanzan los proyectos, existe creciente preocupación respecto del impacto ambiental que producirán estos desprendimientos, como así también sobre la futura calidad del agua de los embalses, poniendo de manifiesto la escasa experiencia con que se cuenta en nuestro medio en la realización de este tipo de estudios

El presente trabajo tiene por objeto contribuir al conocimiento limnológico del Paraná Medio, a través del estudio de algunos de los parámetros indicativos de la evolución trófica de los mismos, como son la productividad primaria del fitoplancton y aquellos factores que la condicionan, tales como la densidad y composición de la población fitoplanctónica, el clima óptico del agua, y la concentración de los nutrientes, en sus variaciones espaciales y temporales y en su relación con los ciclos hidrológicos del río y sus afluentes.

MATERIALES Y MÉTODOS

La determinación de la productividad primaria del fitoplancton se llevó a cabo mediante el método del carbono radioactivo descrito inicialmente por Steemann Nielsen (1952), atendiendo algunas modificaciones que fueron propuestas posteriormente por otros autores (Goldman, 1968; Vollenweider, 1974; Silver y Davol, 1978; Lean y Burnison, 1979).

Las determinaciones se efectuaron, en todos los casos, mediante incubaciones *in situ* de columnas de botellas claras y oscuras. Las muestras se obtuvieron a distintas profundidades con captador de Van Dorn, adaptado para operar horizontalmente. A cada botella de incubación se le agregó $3\mu\text{Ci}$ de $^{14}\text{CO}_3\text{Na}_2$ en solución de NaOH 0,05 N (Vollenweider, 1974), y se resuspendieron a la profundidad que fueron tomadas. Una vez finalizada la incubación de las botellas se conservaron en oscuridad y baño de hielo hasta su procesamiento en laboratorio, donde se filtraron a través de filtros Millipore HAWP, de 47 mm de diámetro y $0,45\ \mu\text{m}$ de poro. Los filtros fueron secados al vacío y en frío. Posteriormente se los introdujo en recipientes de vidrio apropiados, conteniendo la solución centelladora y se determinó su actividad en un contador de centelleo líquido Beckman LS-250.

El solvente utilizado fue tolueno y la solución centelladora se preparó con el agregado de 6 g/l de 2,5 difeniloxazol (PPO), 0,0075 g/l de 1,4 di 2-(5-feniloxazolil)-benzeno (POPOP), 2 ml/l bisolvente Beckman.

La cantidad de $^{12}\text{C}_{\text{total}}$ se calculó a partir de la alcalinidad, el pH y la conductividad del agua, de acuerdo al algoritmo preconizado por Golterman (1969).

La metodología seguida representa una modificación respecto de la empleada en trabajos anteriores (Bonetto *et al.*, 1979; Caro, Bonetto y Zalocar, 1979) en los cuales se procesaron las muestras siguiendo el procedimiento descrito por Strikland y Parsons (1960) en el cual se fija con formol el contenido de las botellas al término del período de incubación. Silver y Davol (1978) demostraron que la actividad retenida por el fitoplancton disminuye tras ser fijadas con preservativos. Resultados semejantes fueron observados por otros autores (Wood, Telt y Edwards, 1973; Cadee y Hegeman, 1974). Muestras de agua del río Paraná incubadas *in situ* con el agregado de $^{14}\text{CO}_3\text{Na}_2$ también registraron pérdida en la actividad asimilada al ser fijadas con formol. Por tal motivo, las estimaciones presentadas con anterioridad (Bonetto *et al.*, 1978) tienden a subestimar la producción fotosintética real y difieren de las que se consignan en el presente trabajo.

La temperatura del agua fue medida con termómetro eléctrico YSI (Yellow Spring Instrument).

El pH fue determinado por comparador colorimétrico Lovibond 1000 durante los trabajos de campo, y con potenciómetro Orion 407 A en el laboratorio.

La conductividad se estimó con puente conductímetro YSI, modelo 33 SCT.

Las mediciones de extinción lumínica se efectuaron con fotómetro de inmersión Kahl Scientific Instrument, modelo 268 WA 310, graduado en luxes, determinándose paralelamente la profundidad de desaparición del disco de Secchi.

El oxígeno disuelto fue dosado por el método de Winkler, sobre muestras tomadas con bomba peristáltica.

Los sólidos suspendidos fueron analizados siempre sobre muestras subsuperficiales, por filtración sobre filtro de fibra de vidrio Whatman GF/C, y posterior determinación de peso seco.

Los análisis de nitratos y fosfatos se realizaron siguiendo las técnicas descritas por el Standar Methods (APHA, 1975); los nitratos por el método del á-

cido fenildisulfónico y los fosfatos por reducción del ácido molibdofosfórico con cloruro estañoso.

La comunidad fitoplanctónica fue muestreada con botella de Van Dorn, fijándose las muestras con lugol. Los estudios cuantitativos se realizaron en el laboratorio por el método de Utermohl, con el empleo de microscopio invertido Zeiss (modelo Invertoscop D).

RESULTADOS

Estación Corrientes; margen izquierda

La temperatura del agua osciló durante el periodo de estudios entre 18 y 28,8°C.

La transparencia del agua es, por regla general, baja con lecturas del disco de Secchi comprendidas entre 9 (14/XII/81) y 115 cm (24/VIII/81).

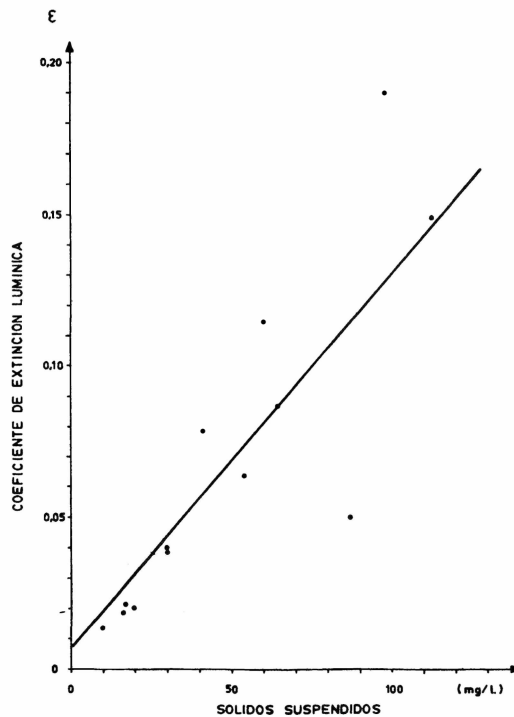


Fig. 1. Coeficiente de extinción lumínica del agua en función de la concentración de sólidos suspendidos en el río Paraná, en Corrientes (margen izquierda).

El clima óptico del agua en Corrientes, sobre la margen izquierda, se encuentra determinado en lo fundamental por la carga de sedimentos aportados por el río. En la fig. 1 se representa el coeficiente de extinción lumínica en función de la concentración de sólidos en suspensión en el agua, advirtiéndose que ambas variables guardan un estrecho grado de relación (coeficiente de correlación $r=0,79$).

La concentración de sólidos suspendidos varió en el rango 10,5-110,5 mg/l.

La conductividad del agua resultó comparativamente baja, con valores comprendidos entre 35 y 65 $\mu\text{S}/\text{cm}$ reflejando un escaso contenido de electrolitos.

El pH resultó generalmente neutro o levemente alcalino, oscilando entre 7 y 7,5. Los valores de oxígeno disuelto fueron siempre elevados, cercanos al punto de saturación, comprendidos en el rango 6,5-12,5 mg/l. La concentración de nutrientes fue moderada, oscilando el nitrógeno de 0,05 a 0,31 mg N- NO_3/l y de 0,02 a 0,04 mg N- NH_3/l y el fósforo entre 0,01 y 0,045 mg PPO $_4/\text{l}$ (Lancelle, 1982).

La composición estructural del fitoplancton se caracterizó por la dominancia de las diatomofíceas, clorofíceas y cianofíceas, por orden de importancia, mientras que otros grupos como criptofíceas, euglenofíceas, crisofíceas y dinofíceas fueron de aparición sólo esporádica.

Entre las diatomeas las mejores representadas fueron las céntricas del género *Melosira*, principalmente *M. granulata*. Las clorofíceas estuvieron representadas por varios géneros, entre los cuales cabe mencionar *Oocystis*, *Sphaerocystis*, *Dictyosphaerium*, *Scenedesmus*, *Mougeotia*, *Monoraphidium*, *Pediastrum*, *Schroederia*, *Tetraedron*, *Crucigenia*, *Crucigeniella* y *Planctonema*.

Entre las cianofíceas, la especie más numerosa fue *Raphidiopsis mediterranea*, acompañada frecuentemente por *Lyngbya limnetica*, *Anabaena* sp., *Microcystis* spp. y *Oscillatoria* sp. Una descripción estructural detallada del fitoplancton del Paraná Medio fue realizada por Zalocar de Domitrovic y Vallejos (1982).

En la fig. 2 se representan los perfiles de producción determinados a partir de marzo de 1981. Como puede observarse, la forma y profundidad del perfil se encuentran en dependencia de la transparencia del agua. La profundidad de iluminación óptima se produjo generalmente a unos 25 cm, y la profundidad del estrato trofógeno muy raramente supera los 2 m (24/VIII/81 y 12/X/81), lo que ocurriera en ocasiones en que la lectura del disco de Secchi fue superior a los 80 cm. En los muestreos en que la turbiedad del agua fue más elevada, con lecturas del disco de Secchi inferiores a 25 cm (15/V/81 y 14/XII/81), los perfiles lograron muy escaso desarrollo vertical, limitándose la zona fótica a menos de 50 cm de profundidad, y los máximos se produjeron en superficie, sin detectarse inhibición fotosintética por exceso de luz.

La tasa de fijación de carbono en la profundidad de iluminación óptima (P_{max}), osciló entre 80 (14/XII/81) y 1000 mgC/m 3 d (20/IV/81). Como puede observarse en la fig. 3, sus variaciones presentaron alto grado de correlación con las de la densidad celular (coeficiente de correlación $r = 0,78$).

La dispersión de los puntos en torno a la recta de regresión se debe a la diferente actividad fotosintética en los distintos muestreos. La actividad fotosintética en la profundidad de iluminación óptima (A_{max}) presenta fluctuaciones que se relacionaron con la intensidad de iluminación y la temperatura del agua (Bonetto, C. A., 1982b).

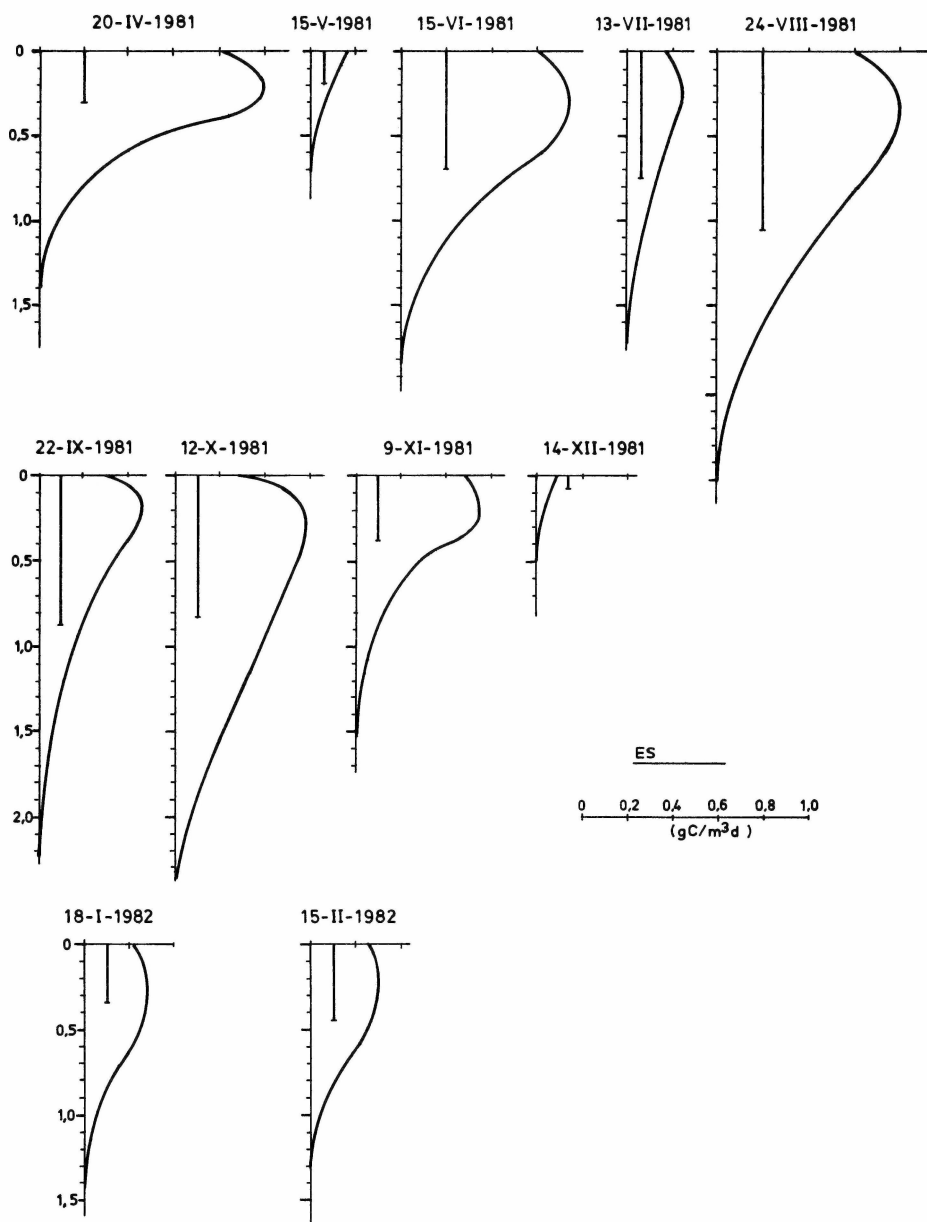


Fig. 2. Perfiles de producción primaria del fitoplancton del río Paraná en Corrientes (margen izquierda).

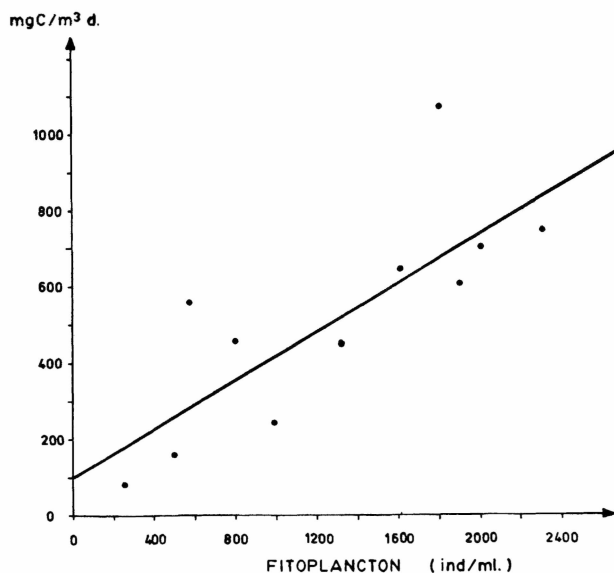


Fig. 3. Producción primaria del fitoplancton en la profundidad de iluminación óptima en función de la densidad celular del fitoplancton, en Corrientes (margen izquierda).

La concentración de clorofila *a* osciló en un rango comprendido entre 2 mg/m³ (14/XII/81) durante el primer pulso de la creciente estival de 1981 - 1982, y 18 mg/m³ (12/X/81) durante el estiaje. La actividad fotosintética varió en un rango comprendido entre 2,8 mgC/mg Cl h (18/I/82) y 7,8 mgC/mg Cl h (20/IV/81), siendo por lo general comparativamente baja, con un valor medio de 4,7. El contenido en clorofila del fitoplancton osciló entre 4,7 (24/VIII/81) y 17 µg Cl/10⁶ ind. (22/IX y 9/XI/81), con un valor medio de 9,5 µg Cl/10⁶ ind.

En la fig. 4 se representa la altura hidrométrica del río Paraná, la producción primaria por unidad de área, la transparencia del agua y la numerosidad del fitoplancton, a la altura de Corrientes sobre la margen izquierda.

Al principio del período considerado, en el mes de abril, se determinó una tasa de fijación de carbono comparativamente elevada, de 580 mgC/m²d, con una densidad de población de 1870 ind/ml. Durante el mes de mayo se produjo un repentino pulso de creciente, ascendiendo el nivel del agua de 3,3 a 5 m en menos de una semana. La población fitoplanctónica fue diluida, alcanzado el 15/V/81 a sólo 516 ind/ml, la transparencia del agua se redujo a 21 cm de lectura del disco de Secchi, y la productividad resultó igualmente escasa, de sólo 50 mgC/m²d. En los meses que van de junio a noviembre, el río se mantuvo en un nivel de aguas medias a bajas. El 24 de agosto, con el río en bajante la concentración de sedimentos en suspensión fue de sólo 10 mg/l y, en consecuencia, la transparencia del agua resultó máxima con una lectura del disco de Secchi de 1,1 m. La densidad de población del fitoplancton fue igualmente elevada, de 2031 ind/ml, determinándose en esa fecha la máxima tasa de fijación de carbono del período de estudios, de 1000 mgC/m²d.

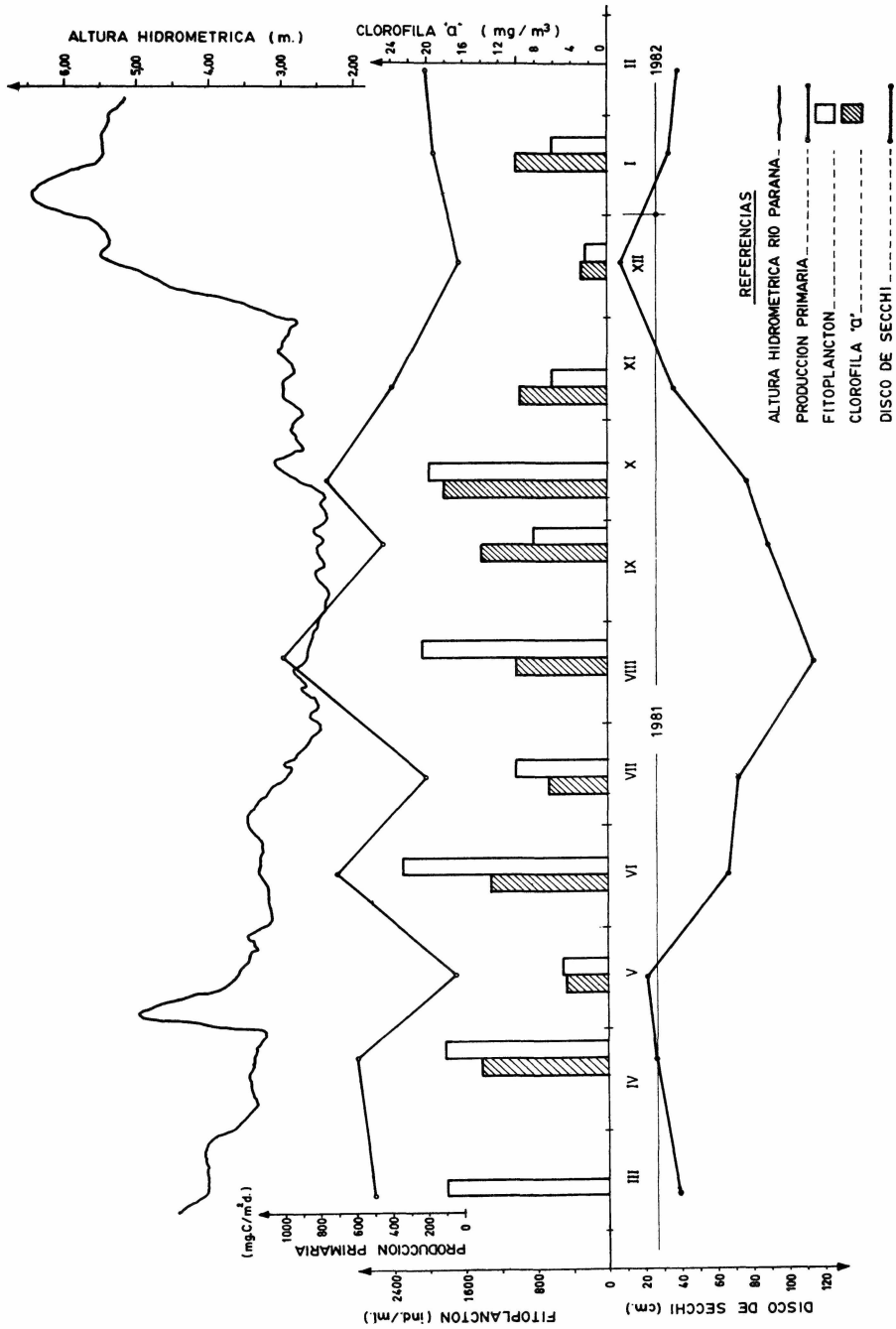


Fig. 4. Producción primaria del fitoplancton, concentración de clorofila, densidad de población del fitoplancton, transparencia del agua y altura hidrométrica del río Paraná en Corrientes (margen izquierda).

A principios de diciembre de 1981, se inicia la creciente estival de 1981 - 1982, ascendiendo rápidamente el nivel de aguas hasta 6,5 m. El mayor caudal del río durante la etapa de ascenso del nivel de aguas, diluye drásticamente la densidad celular, y el aumento de los sólidos en suspensión limita la transparencia del agua, redundando en bajos valores de productividad. El 14/XII/81 se registró la máxima concentración de sólidos suspendidos, de 110 mg/l, con una lectura del disco de Secchi de sólo 8,5 cm. La densidad celular fue la menor del período de estudios, de 249 ind/ml, como así también la tasa de fijación de carbono, de 10 mgC/m²d.

Como se ha expresado, la intensidad de fotosíntesis en la profundidad de iluminación óptima (P_{max}) guarda relación con la densidad celular del fitoplancton (F). La productividad por unidad de área (P) depende no sólo del fitoplancton sino también de la transparencia del agua. La profundidad del estrato trofogénico se incrementa con el aumento de la transparencia del agua. A igualdad de otros factores, P se incrementa en función de la lectura del disco de Secchi, mientras que P_{max} permanece constante.

En la fig. 5 se representa el cociente entre la tasa de fijación por unidad de área y la tasa de fijación en la profundidad de iluminación óptima (P/P_{max}), en función de la lectura del disco de Secchi, observándose un alto grado de correlación entre ambas variables (coeficiente de correlación $r = 0,96$). Los resultados obtenidos sugieren que podría calcularse la producción en la profundidad de iluminación óptima a partir de la densidad celular, y la producción por unidad de área a partir de la primera y de la transparencia del agua.

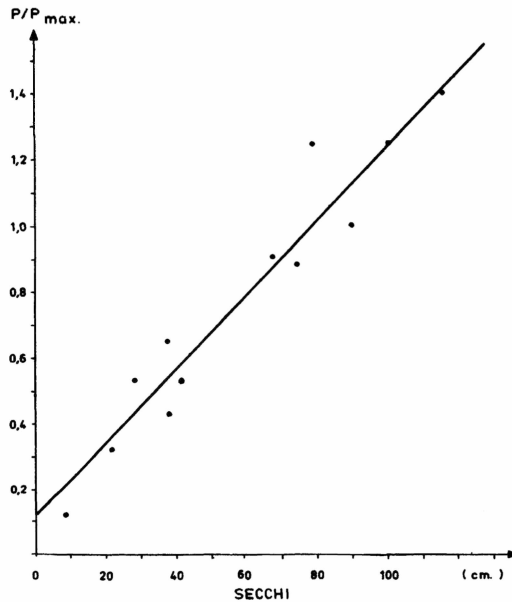


Fig. 5. Cociente entre la producción primaria por unidad de área y la tasa de fijación de carbono en la profundidad de iluminación óptima en función de la lectura del disco de Secchi, en Corrientes (margen izquierda).

El Centro de Ecología Aplicada del Litoral viene estudiando la producción primaria del fitoplancton del río Paraná frente a la localidad de Corrientes, desde 1978. La información producida en más de 60 operaciones de muestreo permitieron, en conjunto con la información reseñada en el presente período desarrollar un modelo matemático (Bonetto, C. A., 1982 a) que permite estimar la productividad del fitoplancton en función de la numerosidad celular, la temperatura del agua, la intensidad de iluminación y la transparencia del agua con alto grado de exactitud.

Estación Corrientes; margen derecha.

La temperatura del agua osciló durante el período de estudios entre 17,5 (15/VI/81) y 29°C (9/XI/81).

La transparencia del agua resultó muy baja, variando la lectura del disco de Secchi en un rango comprendido entre 2,5 (20/IV/81) y 44 cm (10/X/81).

En la fig. 6 se representa el coeficiente de extinción lumínica en función de la concentración de sólidos disueltos. La turbiedad extrema del agua sobre la margen derecha del Paraná se debe a los sedimentos acarreados por el río Paraguay, derivados del Bermejo. El alto grado de correlación (coeficiente de correlación $r=0,98$) y el bajo valor de la ordenada al origen, son asimismo indicativas de la escasa influencia que otros factores tales como el fitoplancton o la materia orgánica disuelta tienen sobre el clima óptico del agua.

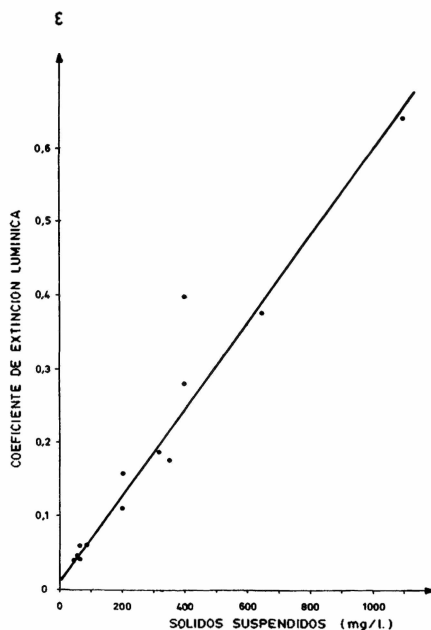


Fig. 6. Coeficiente de extinción lumínica del agua en función de la concentración de sólidos suspendidos en el río Paraná en Corrientes (margen derecha).

La concentración de sólidos suspendidos varió entre 61,5 (10/X/81) y 1221 mg/l (20/IV/81).

La conductividad del agua resultó comparativamente elevada, oscilando entre 105 (15/VI/81) y 180 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (20/IV/81), y el pH levemente alcalino, registrando valores extremos de 7 (14/XII/81) y 7,9 unidades (15/II/82).

La concentración de oxígeno disuelto fue siempre elevado, con tenores contenidos en el rango de 5,6 (20/IV/81) a 8,6 mg/l (22/IX/81).

La concentración de nutrientes fue superior a la margen izquierda. El nitrato tomó valores entre 0,09 (24/VIII/81) y 0,75 mg N-NO₃/l (15/V/81); el amonio entre 0,02 (12/X/81) y 0,13 mg N-NH₃/l (20/IV/81) y el fosfato 0,016 (12/X/81) y 0,12 mg PPO₄/l (15/V/81) (Lancelle, 1982).

La composición específica del fitoplancton difirió de aquella observada en la costa izquierda en el predominio absoluto de las diatomofíceas sobre los demás grupos. El género *Melosira* resultó el más abundante en la totalidad de los muestreos. Las especies más frecuentes resultaron *M. granulata*, *M. pseudogranulata*, *M. italica*, acompañadas, si bien en menor proporción, por *M. dickiei*, *M. herzogii* y *M. agassizi* (Bonetto, A. A.; Zalocar de Domitrovic y Vallejos, 1982).

La producción primaria mostró variaciones que se relacionan con las de la transparencia del agua y con la densidad de población del fitoplancton.

En la fig. 7 se representan los perfiles de producción determinados en las distintas operaciones de muestreo, y en la 8 las fluctuaciones de la producción por unidad de área durante el período de estudios, conjuntamente con la densidad de población del fitoplancton y la altura hidrométrica de los ríos Paraná y Bermejo.

Durante la primera parte del año, coincidiendo con la creciente del río Bermejo la concentración de sólidos en suspensión fue elevada, con un valor máximo de 1221 mg/l el 20/IV/81, y la transparencia del agua resultó muy escasa, con valores que no superan los 14 cm de lectura del disco de Secchi.

Los perfiles, hasta el mes de julio, mostraron la tasa de fijación máxima en superficie, sin presentar fenómenos de inhibición fotosintética por exceso de luz. La elevada turbiedad del agua produce una rápida disminución de la intensidad de fotosíntesis en profundidad, redundando en un estrato trofogénico muy superficial que sólo ocasionalmente superó los 25 cm. La tasa de fijación de carbono en el punto de iluminación óptima osciló entre 7 (20/IV/81) y 240 mgC/m³d (15/VI/81).

A partir de mayo, en la medida que desciende el nivel de las aguas del río Bermejo, disminuye la concentración de sólidos suspendidos sobre la margen chaquena del Paraná, aumentando la transparencia del agua hasta alcanzar un máximo de 44 cm de lectura del disco de Secchi el 12/X/81, ocasión en la que tanto el río Bermejo como el Paraná se encontraban en estiaje. En este período, los perfiles de producción (fig. 7) logran un mayor desarrollo vertical, alcanzando la zona fótica hasta 2 m de profundidad (12/X/81), localizándose el punto de iluminación óptima a 25 cm de profundidad. La producción por unidad de área, que en los primeros meses del año resultó extremadamente baja con valores de 10 mgC/m²d, asciende paralelamente a la transparencia del agua, hasta alcanzar un valor máximo de 580 mgC/m²d el 12/X/81, coincidentemente con la máxima lectura del disco de Secchi durante el período de estudios.

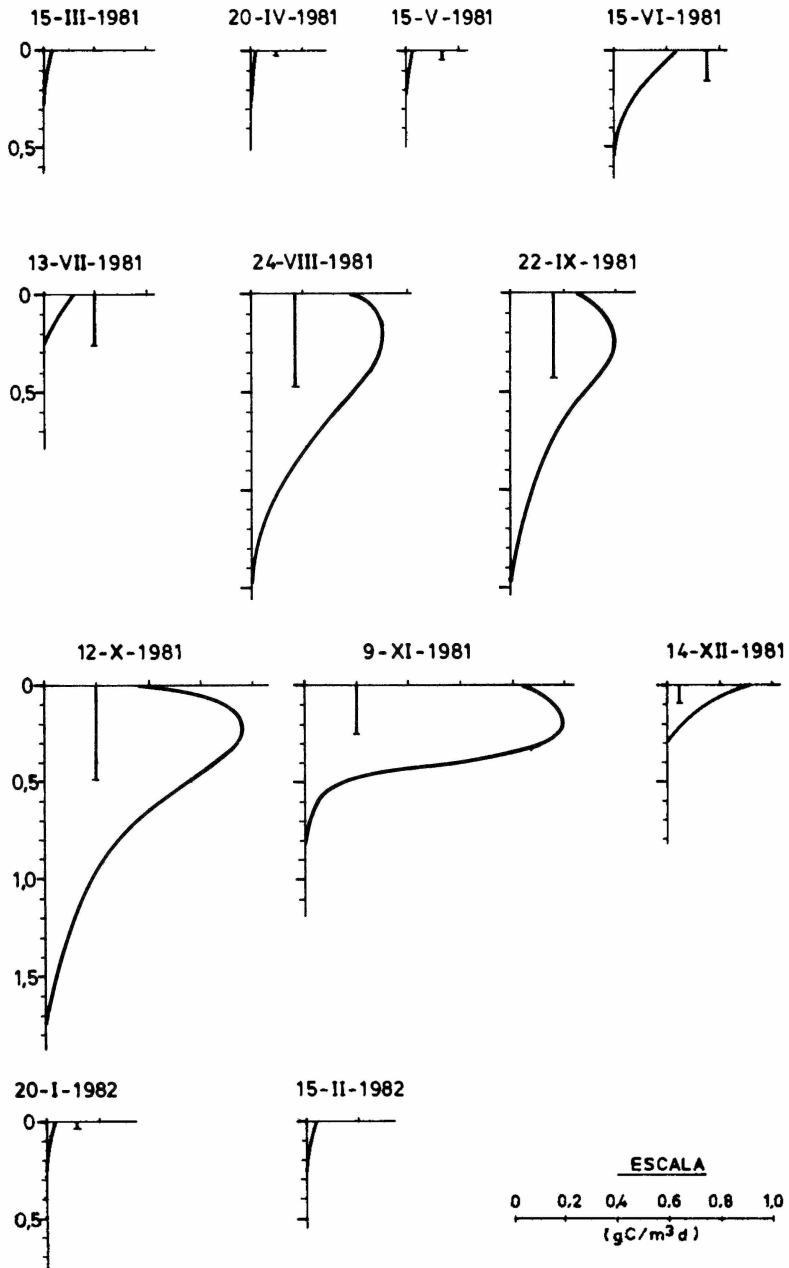


Fig. 7. Perfiles de producción primaria del fitoplancton del río Paraná en Corrientes (margen derecha).

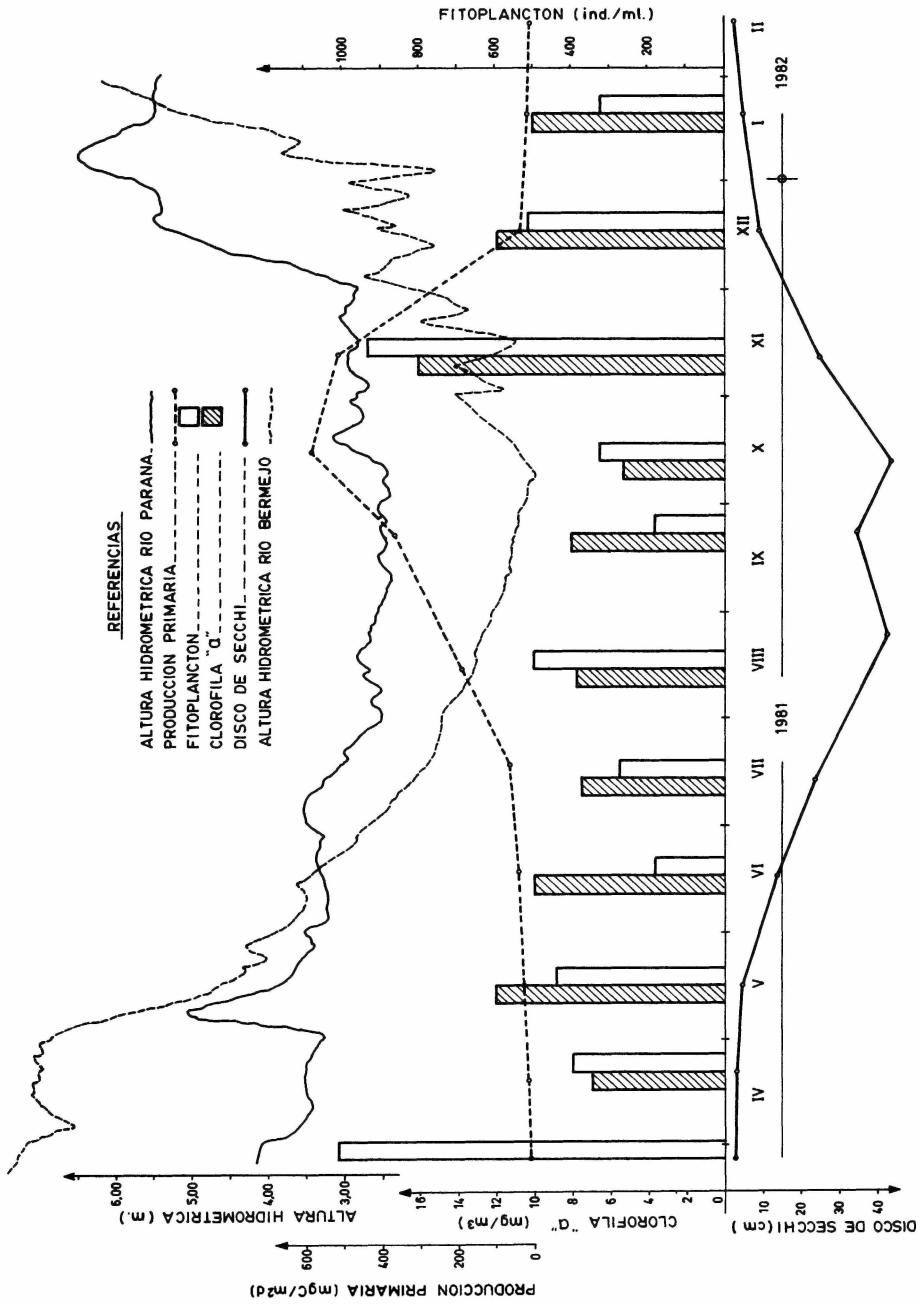


Fig. 8. Producción primaria y densidad de población del fitoplancton, concentración de clorofila, transparencia del agua y alturas hidrométricas de los ríos Paraná, en Corrientes (margen derecha), y Bermejo.

A partir de noviembre se produce una nueva reducción de la transparencia del agua y de la productividad por unidad de área. El 9/XI/81 se observó la más alta densidad de población del fitoplancton, con 944 ind/ml. En esa oportunidad se determinó la máxima tasa de fijación de carbono en la profundidad de iluminación óptima, de 1000 mgC/m³d. En la fig. 7 se pueden comparar los perfiles de producción del 12/X/81 y del 9/XI/81. En noviembre la tasa de fijación máxima fue superior, si bien la mayor turbiedad del agua reduce rápidamente la intensidad de fotosíntesis con la profundidad. En octubre, en cambio, si bien la producción máxima fue menor (750 mgC/m³d), la mayor transparencia permitió un mejor desarrollo vertical del perfil, resultando la producción por unidad de área mayor.

En diciembre de 1981 se produce un rápido incremento del nivel en el río Paraná al iniciarse la creciente estival 1981-1982, reduciéndose drásticamente la transparencia del agua que el 14/XII/81 fue de 12 cm en todas las estaciones de muestreo, en ambas márgenes. La densidad de población del fitoplancton, diluida por el rápido incremento del caudal, fue también baja, de 463 ind/ml, resultando en una tasa de fijación de carbono de 40 mgC/m³d.

En enero de 1982 se inicia la creciente del río Bermejo, sumando sus efectos a los del Paraná, repitiéndose el ciclo explicado, caracterizado por el notable incremento en los sólidos suspendidos y reducción en la transparencia del agua durante la creciente de dicho río, para disminuir gradualmente durante sus estiajes.

La concentración de clorofila *a* varió entre 5,2 mg/m³ (12/X/81) y 16 mg/m³ (9/XI/81). El contenido en clorofila de la población fitoplanctónica fue mayor que sobre la margen izquierda, oscilando entre 15 (24/VIII/81) y 58 μg Cl/10⁶ ind. y un valor medio de 28 μg Cl/10⁶ ind. La actividad fotosintética, por el contrario, resultó en casi todos los muestreos menor que en la margen izquierda, con valores extremos de 2,1 mgC/mg Cl h (14/XII/81) y 8 mgC/mg Cl h (22/IX/81). Seguramente ambas observaciones se encuentran relacionadas con la mayor turbiedad del agua en la margen derecha, disminuyendo la eficiencia del proceso fotosintético y aumentando, es respuesta, el contenido de clorofila por célula.

Estación Esquina

La temperatura del agua osciló entre 15,5 (17/IX/81) y 29°C (29/XI/81).

La transparencia del agua fue reducida, registrando lecturas del disco de Secchi comprendidas en el rango de 4 (23/IV/81) a 37 cm (20/VIII/81).

En la fig. 9 se representa el coeficiente de extinción lumínica en función de la concentración de sólidos en suspensión. El alto grado de correlación entre ambas variables (coeficiente de correlación $r = 0,95$) es expresivo de la importancia de los sedimentos transportados por el río en el condicionamiento del clima óptimo del agua.

La concentración de sólidos en suspensión varió entre 46 (12/XI/81) y 664 mg/l (23/IV/81).

La conductividad del agua osciló entre 70 (20/V/81) y 150 μS/cm (23/V/81), y el pH resultó, al igual que en las otras estaciones de muestreo, ligeramente

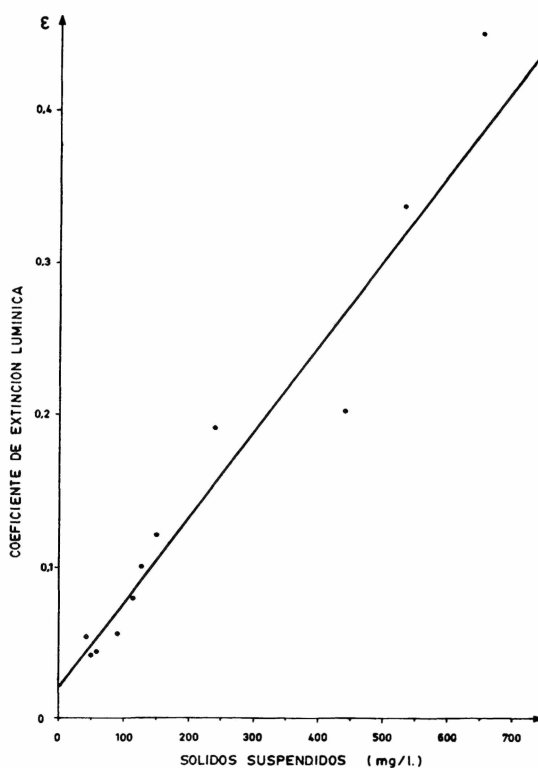


Fig. 9. Coeficiente de extinción lumínica del agua en función de la concentración de los sólidos en suspensión en el río Paraná en Esquina (Corrientes).

alcalino, registrando valores extremos de 7,1 (17/XII/81) y 7,6 (11/III/82).

La concentración de oxígeno disuelto fue elevada, variando entre 5,2 (20/I/82) y 9,3 mg/l (10/VI/81).

La concentración de nitratos varió en el rango comprendido entre 0,08 (17/IX/81) y 0,4 mg N-NO₃/l (20/V/81); la de amonio entre 0,024 (15/IX/81) y 0,1 mg N-NH₃/l (23/IV/81), y la de fosfato entre 0,02 (15/X/81) y 0,15 mg PPO₄/l (23/IV/81) (Lancelle, 1982).

La numerosidad del fitoplancton fue menor que en Corrientes. La composición específica es muy semejante a la observada en la margen derecha de Corrientes, con la diferencia de producirse una pequeña disminución en la proporción de diatomofíceas y clorofíceas, y un pequeño incremento de las cianofíceas (Bonetto, A. A.; Zalocar de Domitrovic y Vallejos, 1982; Zalocar de Domitrovic y Vallejos, 1982).

En la fig. 10 se representan los perfiles de producción determinados en la localidad de Esquina durante el período de trabajo, y en la fig. 11 la densidad

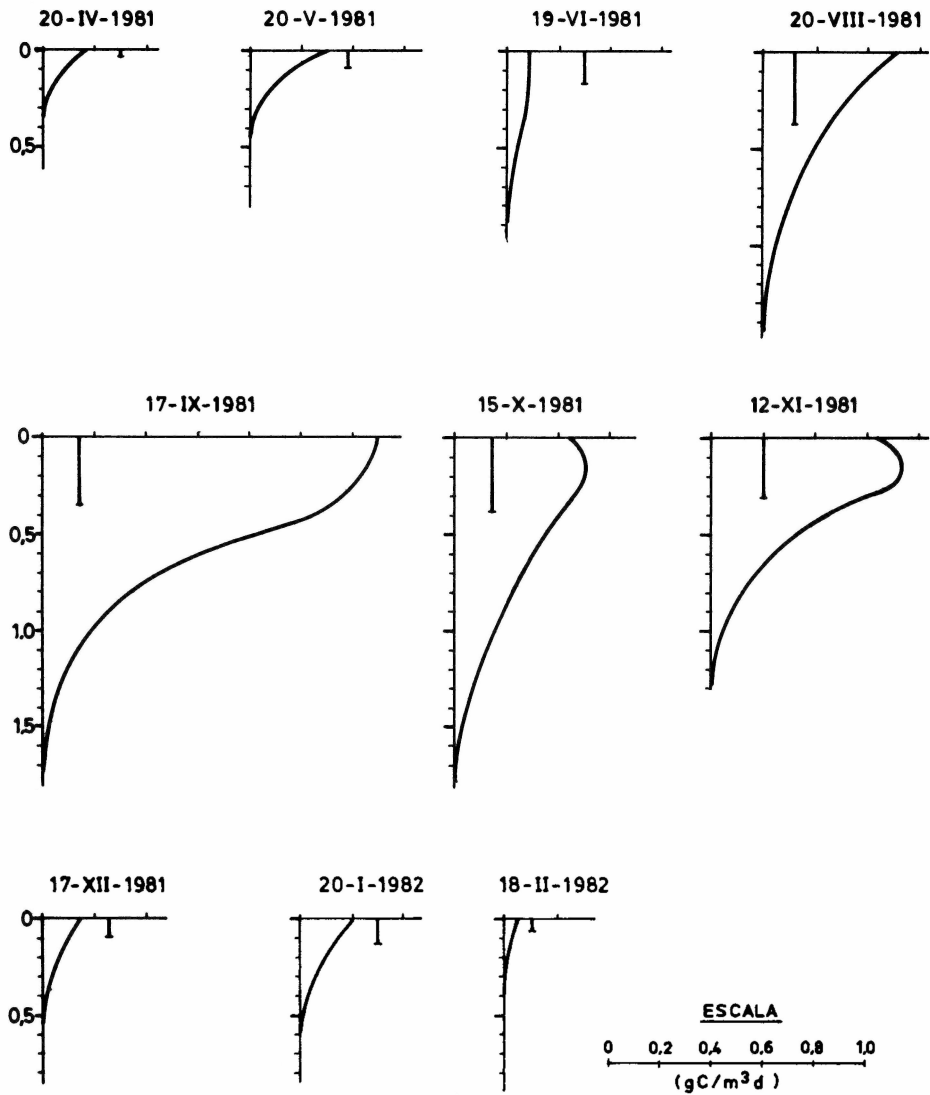


Fig. 10. Perfiles de producción primaria del fitoplancton del río Paraná en la localidad de Esquina (Corrientes).

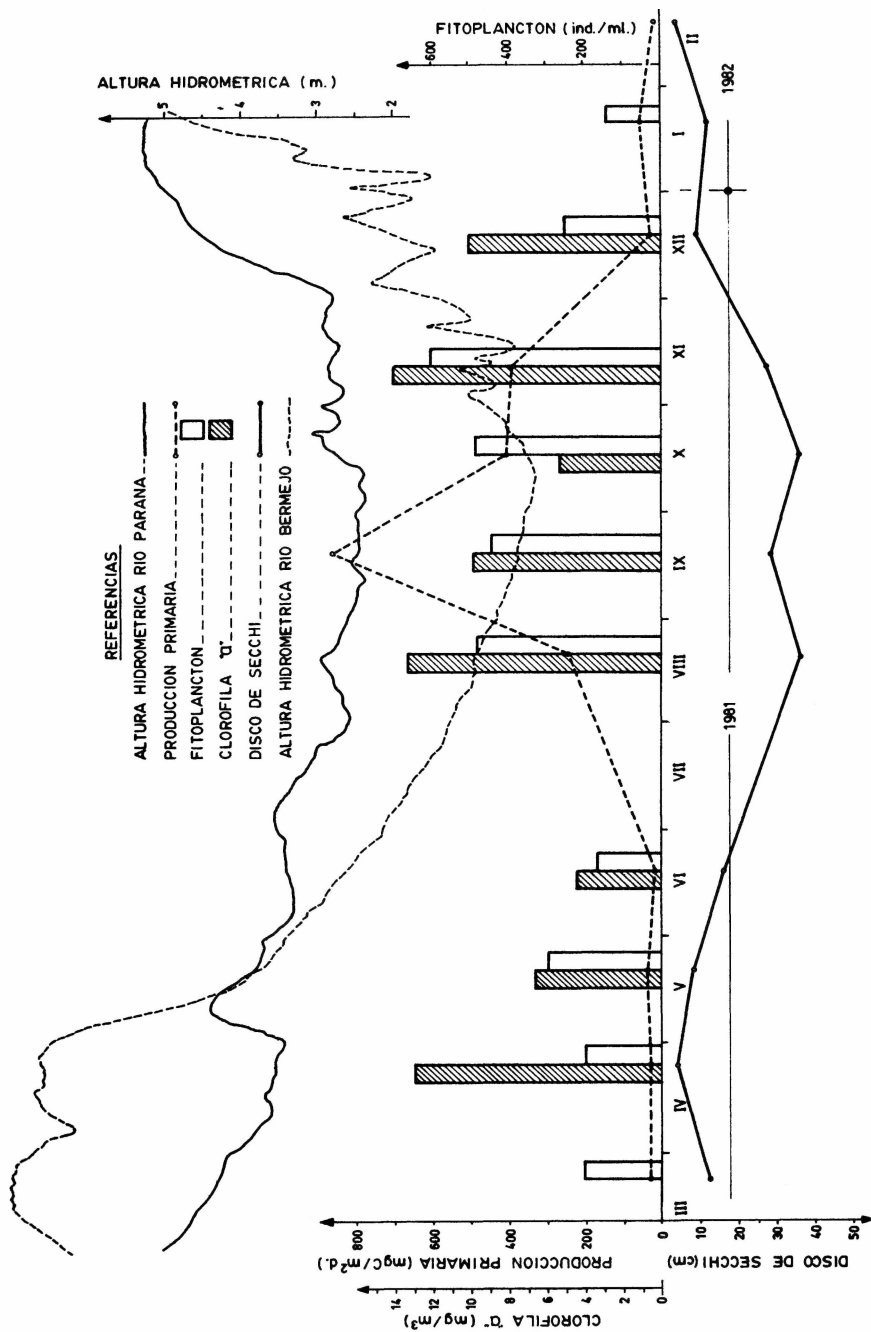


Fig. 11. Producción primaria y densidad de población del fitoplancton, concentración de clorofila, transparencia del agua y altura hidrométrica del río Paraná en Esquina (Corrientes).

de población del fitoplancton, su productividad por unidad de área, la transparencia del agua y la altura hidrométrica de los ríos Paraná y Bermejo.

En los primeros muestreos del año, hasta el mes de mayo, coincidiendo con la creciente del río Bermejo, la elevada turbiedad del agua redundó en perfiles de muy escaso desarrollo vertical. La tasa de fijación máxima fue superficial, sin presentar fenómenos de inhibición fotosintética por exceso de luz, con valores inferiores a los 300 mgC/m³d. La profundidad de la zona fótica resultó muy escasa, menor de 50 cm de profundidad. Como consecuencia de los factores antedichos, la producción por unidad de área fue muy baja, inferior a los 30 mgC/m²d. Durante los meses siguientes, en coincidencia con el descenso del nivel de aguas del río Bermejo, se producen sucesivos incrementos en la transparencia del agua.

Durante el estiaje del río Paraná, entre los meses de agosto y noviembre, la densidad de población del fitoplancton fue también mayor, con valores que oscilaron entre 450 y 600 ind/ml, en contraposición a los valores inferiores de 300 ind/ml en la primera mitad del año.

Coincidiendo con el aumento de la transparencia del agua y de la mayor densidad celular, se producen sucesivos incrementos en la intensidad de fotosíntesis. El estrato trofogenico fue ampliándose paulatinamente hasta poco más de 1,5 m, observándose en algunos muestreos (15/X y 12/XI/81) inhibición fotosintética superficial por exceso de luz, encontrándose la profundidad de iluminación óptima entre los 15 y 30 cm. El 17/IX/81 se determinó la productividad máxima del período con 850 mgC/m²d, encontrándose los ríos Paraná y Bermejo en estiaje.

Hacia el mes de diciembre de 1981 asciende rápidamente el nivel de aguas del río Paraná, diluyendo la población fitoplanctónica y aumentando la concentración de sólidos en suspensión y la turbiedad del agua, redundando en una drástica disminución de la intensidad de fotosíntesis. La creciente estival del río Bermejo contribuyó también, debido a su aporte sedimentario, a mantener elevada la turbiedad del agua del río Paraná durante los primeros meses de 1982, repitiéndose el fenómeno descrito para el ciclo 1981.

La concentración de clorofila *a* osciló entre 5,4 (15/X/81) y 13,9 mg/m³ (12/XI/81). El contenido en clorofila de la población fitoplanctónica resultó levemente inferior a la de Corrientes en la margen derecha, y superior a la de la izquierda, con un valor medio de 22 µgCl/10⁶ ind. la actividad fotosintética resultó baja con valores extremos de 1,4 (19/VI/81) y 9 mgC/mg Cl h (15/X/81), presentando sus variaciones relación con los cambios en la transparencia del agua.

DISCUSION

Asociada a la densidad del plancton y a la transparencia del agua, las variaciones en la producción primaria siguen a las de aquellos parámetros.

La transparencia del agua, a su vez, apareció en buena medida relacionada tanto con la altura hidrométrica, como con la relativa estabilidad de nivel en los días de operaciones. 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 las aguas permanece sin experimentar mayores variaciones durante un período dado, la cantidad de sedimentos disminuye gradualmente hasta llegar a un valor estable, característico para el caudal del río en ese momento. De igual forma, la transparencia mostrará una tendencia a aumentar hasta alcanzar valores constantes.

Consecuentemente, los más altos registros de transparencia observados se encontraron durante períodos de estiaje y de mayor estabilidad en el nivel de las aguas. Bonetto, C. (1980) desarrolló un modelo que permite predecir la transparencia del agua en función de la altura hidrométrica del río, y de las variaciones de altura en los días previos al muestreo.

La densidad de población del fitoplancton mostró variaciones que se relacionaron, por regla general, en forma inversa con el caudal.

La productividad primaria del fitoplancton, en concordancia con los altos valores de transparencia y densidad celular, resultó elevada durante los estiajes y mínima, al igual que los citados parámetros, en períodos de grandes incrementos del nivel de agua.

Sobre la margen derecha, sobreimpuesta a la referida alternancia de períodos de baja productividad durante las crecientes, seguidos de otros de mayor productividad en los estiajes, se observó la influencia del río Bermejo, cuyas aguas transfieren al Bajo Paraguay una elevada concentración de sedimentos, que éste a su vez descarga sobre el Paraná Medio, aumentando la turbiedad del agua y limitando la tasa de fijación de carbono.

En la tabla I se registran los valores medios de sólidos suspendidos y conductividad del agua, durante el período marzo 1981 - marzo 1982, en las localidades de Corrientes, Bella Vista, Goya y Esquina (Lancelle, 1982).

TABLA I

Valor medio de los sólidos suspendidos (mg/l) y de la conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) durante el período marzo 1981 - marzo 1982, en las localidades de Corrientes, Goya, Bella Vista y Esquina.

	Sólidos suspendidos (mg/l)		Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	
	MI	MD	MI	MD
Corrientes	33,4	389,6	51	129
Bella Vista	75,9	262	61	100
Goya	107	222	68,9	96
Esquina	104	209	72	95

(MI: margen izquierda; MD: margen derecha).

La concentración máxima de sólidos suspendidos se dio en Corrientes, sobre la margen derecha, disminuyendo gradualmente aguas abajo. La carga mínima de sedimentos se observó, por el contrario, en Corrientes sobre la margen izquierda, aumentando progresivamente aguas abajo.

La conductividad del agua registró una tendencia semejante.

Las diferencias entre ambas márgenes fueron máximas en Corrientes, disminuyendo paulatinamente a medida que se mezclan los aportes de ambos tributarios. Cabe acotar, sin embargo, que aún en Esquina, unos 300 km aguas abajo, se producen diferencias significativas en la composición física, química y biológica del agua entre ambas márgenes.

En la tabla II se registra la transparencia del agua expresada como la profundidad de desaparición del disco de Secchi en las localidades de Corrientes y Esquina, sobre ambas márgenes.

En Esquina también se observaron diferencias en la transparencia entre ambas márgenes siendo las mismas de mayor magnitud en febrero y marzo de 1982, durante la creciente del río Bermejo. En los meses de octubre, noviembre y diciembre, en cambio, durante el estiaje de dicho río, las diferencias fueron mínimas. A principios de diciembre, coincidiendo con el primer pulso de creciente del río Paraná, la transparencia fue idéntica en todas las estaciones de muestreo. Sobre la margen derecha del río, la transparencia en Esquina suele ser superior que en Corrientes. Sobre la margen izquierda, por el contrario, la transparencia del agua fue siempre menor en Esquina que en Corrientes, en concordancia con una más alta carga de sedimentos.

TABLA II

Transparencia del agua expresada como la profundidad de desaparición del disco de Secchi, en cm, en las localidades de Corrientes y Esquina, sobre ambas márgenes.

CORRIENTES			ESQUINA		
Fecha	MI	MD	Fecha	MI	MD
5/III/81	43	11	18/III/81	18	14
20/IV/81	27	2	23/IV/81	5	4
15/V/81	28	8	20/V/81	12	6
15/VI/81	67	14	19/VI/81	28	18
12/VIII/81	115	41	21/VIII/81	44	38
22/IX/81	90	35	17/IX/81	35	29
12/X/81	76	44	15/X/81	39	36
9/XI/81	38	25	12/XI/81	29	28
14/XII/81	9	9	17/XII/81	9	9
18/I/82	85	5	21/I/82	30	12
15/II/82	40	3	18/II/82	19	5
15/III/82	34	3	11/III/82	19	5

(MI: margen izquierda; MD: margen derecha).

La numerosidad e integración específica del fitoplancton también difiere entre ambas márgenes, tanto en Corrientes como en Esquina. En la tabla III se consigna los valores medios de numerosidad e importancia relativa de los principales taxones durante el período marzo 1981 - marzo 1982, en Corrientes y Esquina, sobre ambas márgenes.

TABLA III

Numerosidad del fitoplancton e importancia relativa expresada en porcentajes, en Corrientes y Esquina, sobre ambas márgenes.

	CORRIENTES		ESQUINA	
	MI	MD	MI	MD
TOTAL FITOPLANTON (ind/ml)	1143	414	395	282
Diatomophyceae	49	69	62,6	64
Clorophyceae	30	20	21	18
Cyanophyceae	18,5	4,5	12,6	15
Cryptophyceae	1,5	6,5	1,8	0,5

(MI: margen izquierda; MD: margen derecha).

La densidad celular es mayor sobre la margen izquierda, disminuyendo aguas abajo de Corrientes.

En todo el tramo las diatomofíceas fueron el grupo mejor representado, alcanzando en Corrientes, costa derecha, su mayor abundancia relativa. Por el contrario, sobre la margen izquierda de Corrientes se observó la mayor diversidad específica. Las diferencias en la composición específica entre ambas márgenes son máximas en Corrientes, disminuyendo aguas abajo, si bien en Esquina aún persisten variaciones significativas en la sección.

Asociado a las variaciones espaciales en la densidad celular y la transparencia del agua, la intensidad de fotosíntesis también resultó máxima en Corrientes sobre la margen izquierda, con un valor medio para el período considerado de 400 mgC/m²d, mínima en Corrientes sobre la margen derecha, con un valor medio de 180 mgC/m²d, incrementándose levemente aguas abajo, para alcanzar un valor medio de 200 mgC/m²d en Esquina, sobre esta misma margen.

La bibliografía existente sobre la productividad primaria del fitoplancton en grandes sistemas potámicos, es sumamente escasa y fragmentaria. La información disponible parece indicar también una relación inversa entre la tasa de fijación de carbono y el nivel de aguas. Tal relación, en algunos casos, sería consecuencia de los cambios en la densidad del fitoplancton y en la transparencia del agua, asociados a las fluctuaciones del nivel hidrométrico. Sin embargo, este efecto ha sido observado en otros ambientes donde la transparencia resultaría independiente de la altura del agua. (Schmidt., 1976) estudiando la productividad primaria del fitoplancton del río Negro (cuenca del Amazonas, 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.

Coincidiendo con observaciones realizadas en el Alto Paraná (Bonetto, C.; *et al.*, 1983) no se ha detectado relación alguna entre la productividad primaria y la concentración de nitratos y fosfatos. Por otra parte, las concentraciones de ambos nutrientes en aguas del río, estuvieron siempre por sobre los valores citados como limitantes por la literatura especializada. Según Vollenweider (1970), las concentraciones críticas por encima de las cuales cabría esperar floraciones algales, serían 0,3 mg/l de nitratos y 0,01 mg/l de fosfatos. Todas las determinaciones de fosfatos estuvieron por encima de dicho umbral, y aproximadamente la mitad de los análisis de nitratos lo superaron.

Las variaciones estacionales del fitoplancton del Nilo Azul (Talling y Rzoska, 1967) presentó algunas semejanzas con las del Paraná. La numerosidad fue mínima durante la creciente, incrementándose rápidamente hasta producir un pulso de gran densidad de *Melosira granulata* hacia el inicio del estiaje. La faz de máximo desarrollo fue acompañada de una pronunciada disminución en la concentración de nutrientes. Cuando los nitratos disminuyeron por debajo de 0,02 mg/l, *Melosira granulata* fue reemplazada por *Anabaena flosaquae*. El autor sugiere que tal concentración sería limitativa para el desarrollo de *Melosira* mientras que la concentración de fosfatos, de 0,035 mg/l en esa ocasión estaría muy por encima del umbral.

Las concentraciones de ambos nutrientes, en el río Paraná, fueron muy superiores a los tenores considerados como limitativos y, generalmente más elevados aún que aquellos considerados suficientes para producir floraciones masivas de algas. El conjunto de observaciones sugieren que los nutrientes se encontrarían en exceso respecto de los requerimientos necesarios para sustentar la productividad actual del río, pudiendo ésta aumentar notablemente si se incrementa la transparencia del agua.

Una fracción variable de los sedimentos acarreados por el río será retenida en los futuros embalses en construcción o proyectados sobre el cauce del río Paraná, disminuyendo la concentración de sólidos suspendidos aguas abajo de los mismos. Tal fenómeno es bien conocido, existiendo numerosas referencias bibliográficas sobre el mismo. Holeman (1968) describe la notable reducción en la carga sestónica de los ríos Mississippi y Missouri. Hasta 1952 el Mississippi con frecuencia excedía una carga anual de 500 millones de toneladas anuales, no superando a partir del referido año los 325 millones de toneladas. La carga sedimentaria media del río Missouri hasta 1953 fue de 134 millones de toneladas anuales, reduciéndose a un valor medio de 2,36 millones para el período 1955-1963. En ambos casos la reducción se debía al represamiento de los cauces de ambos ríos. En el río Paraná, tal como se ha expresado, la transparencia del agua guarda estrecho grado de correlación con la concentración de sólidos suspendidos. El efecto inmediato del incremento de la transparencia del agua de los embalses, será el aumento de la productividad primaria, hasta que la concentración de nutrientes sea el factor limitativo del desarrollo algal. Si bien el estudio de la relación entre el grado de trofismo de un cuerpo de agua y la carga de nutrientes que recibe de su cuenca ha recibido creciente atención en años recientes (Vollenweider, 1976; Kilworth y Carmack, 1979; Fee, 1979; Golterman, 1980a, 1980b), la inmensa mayoría de los trabajos se han realizado en ambien-

tes de zonas templadas, muy distintos a los que nos ocupa, resultando, a estar de la información reunida hasta el momento, muy incierta la posibilidad de aventurar hipótesis sobre la evolución trófica de los futuros embalses. La elaboración de la información producida durante el presente trabajo, permite plantear algunos interrogantes y sugerir líneas de investigación futura.

AGRADECIMIENTOS:

Al Dr. Argentino A. BONETTO por la lectura crítica del trabajo y por sus valiosas apreciaciones. A la Lic. Yolanda Zalocar de DOMITROVIK por la determinación de la densidad celular en la totalidad de los muestreos y por la identificación taxonómica del fitoplancton.

BIBLIOGRAFÍA

- APHA, 1975. Standard Methods for the examination of water and wastewater. *American Public Health Association, Washington*, pp. 1-1194.
- BONETTO, C. A., 1980. Estimación de la transparencia del agua en función de las variaciones de altura hidrométrica en el Alto Paraná. *Hist. Nat.*, 1(14): 93-100.
- 1982a. Estimación de la producción primaria del fitoplancton en función de algunas variables limnológicas del río Paraná (Corrientes, Argentina). *Hist. Nat.*, 2(15): 125-136.
- 1982b. Producción primaria del fitoplancton, concentración de pigmentos, materia orgánica y nutrientes, en la caracterización limnológica de los cuerpos de agua regionales del noreste argentino. *Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Buenos Aires*. 189 pp.
- BONETTO, C. A.; ZALOCAR de DOMITROVIC, Y. y VALLEJOS, E. R., 1963. Fitoplancton y producción primaria del Alto Paraná. *Physis*, 41(101): 81-93.
- BONETTO, C. A.; ZALOCAR, Y.; CARO, P. M. y VALLEJOS, E. R., 1979. Producción primaria del fitoplancton del río Paraná en el área de su confluencia con el río Paraguay. *Ecosur*, 6(12): 207-227.
- BONETTO, A. A.; ZALOCAR de DOMITROVIC, Y. y VALLEJOS, E. R., 1982. Contribución al conocimiento del fitoplancton del Paraná Medio. *Ecosur*, (9) 18: 189-212.
- CADEE, G. y HEGEMAN, J., 1974. Primary production of the benthic flora living on tidal flats in the Dutch Wadden Sea. *Neth. J. Sea Res.*, 8: 260-291.
- CARO, P. M.; BONETTO, C. A. y ZALOCAR, Y., 1979. Producción primaria del fitoplancton de lagunas del noroeste de la provincia de Corrientes. *Ecosur*, 6(11): 83-100.
- FEE, E., 1979. Relation between lake morphometry and primary production. *Limnol. Oceanogr.* 24(3): 401-417.
- GOLDMAN, C., 1968. The use of absolute activity for eliminating serious errors in the measurement of primary productivity with ^{14}C . *J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer.*, 32: 172-179.
- GOLTERMAN, H., 1969. Methods for Chemical Analysis of Fresh Waters. *Blackwell, London*, 56: pp 156.
- 1980 a. Quantifying the eutrophication process: difficulties caused, for example, by sediments. *Proc. Wat. Tech.*, 12:63-80.
- 1980b. Phosphate models, a gap to bridge. *Hydrobiologia*, 72: 61-71.
- HOLEMAN, N., 1968. The sediment yield of major rivers of the world. *Water Res. Research*, 4(4): 737-747.
- KILWORTH, P. y KARMACK, J., 1979. A filling box model of river dominated lakes. *Limnol. Oceanogr.*, 24(2): 201-218.
- LANCELLE, H., 1982. Caracterización básica de la calidad de aguas. En: *Estudios ecológicos en el área de embalse del Paraná Medio (Cierre Norte)*. Informe Final, CECOAL, Corrientes, pp. 43-72.

- LEAN, D. R. y BURNISON, B., 1979. An evaluation of errors in the ^{14}C method of primary production measurement. *Limnol. Oceanogr.*, 24(5): 917-928.
- STEEHAN NIELSEN, E., 1962. The use of radioactive carbon (C-14) for measuring organic production in the sea. *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, 18: 117-140.
- STRICKLAND, H. y PARSONS, S., 1960. A manual of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Bc. Canada*, 125: 1-185.
- SCHMIDT, G., 1976. Primary production of phytoplankton in the three types of Amazonian Waters. IV. On the primary production of phytoplankton in a Bay of the lower Rio Negro (Amazonas, Brasil). *Amazoniana V*, (4): 517-528.
- SILVER, M. y DAVOLL, P., 1978. Loss of ^{14}C activity after chemical fixation of phytoplankton: Error source for autoradiography and other productivity measurements. *Limnol. Oceanogr.*, 23(2): 362-368.
- TALLING, J. F. y RZOSKA, J., 1967. The development of plankton in relation to hydrological regime in the Blue Nile. *J. Ecol.*, 55: 637-662.
- VOLLENWEIDER, R., 1970. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. *Organisation for economic cooperation and development (OECD), Paris*, 189 pp.
- 1974. A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments. *Blackwell, Oxford*, 225 pp.
- 1976. Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. *Mem. Ist. Ital. Hidrobiol.*, 33: 53-83.
- WOOD, E.; TELT, P. y EDWARDS, A., 1973. An introduction to the phytoplankton primary production and relevant hydrography of Loch Etive. *J. Ecol.*, 61: 569-585.
- ZALOCAR de DOMITROVIC, Y. y VALLEJOS, E. R., 1962. Fitoplancton. Integración específica de la comunidad, densidad de población y sus cambios con los ciclos climáticos e hidrológicos. *En: Estudios ecológicos en el área del embalse del Paraná Medio (Cierre Norte). Informe Final, CECOAL, Corrientes*, pp. 196-222.