



COMPOSICION Y DINAMICA DEL FITOPLANCTON EN UNA SECCION TRANSVERSAL DEL RIO CORRENTOSO (LLANURA ALUVIAL DEL RIO PARANA) (*)

Mónica Inés Anselmi de Manavella y María Ofelia García de Emiliani

Instituto Nacional de Limnología (INALI)
J. Maciá 1933 - 3016 Santo Tomé (S. Fe)
Argentina

RESUMEN. Se analizó la composición, densidad y diversidad del fitoplancton en una sección transversal del río Correntoso (31° 41' S y 60° 42' W) durante 18 meses (febrero 1987 - julio 1988), con el objeto de 1) caracterizar su distribución espacial y temporal y 2) evaluar la influencia de los principales factores abióticos sobre los parámetros biológicos. El análisis de la varianza de dos factores (ANOVA), aplicado a 9 descriptores del fitoplancton, mostró diferencias no significativas entre los puntos de muestreo de la sección transversal y variaciones temporales significativas. La densidad del fitoplancton varió entre 253 y 2282 ind./ml y la diversidad entre 2,53 y 4 bits. Diatomophyceae fue dominante (principalmente *Aulacoseira granulata*) y Cryptophyceae fue, generalmente, subdominante (particularmente *Cryptomonas erosa*). El análisis de correlación parcial demostró que el nivel hidrométrico fue el factor abiótico que más estrechamente se relacionó con el fitoplancton: densidad total y de diatomeas (correlación negativa) y diversidad (positiva). La temperatura y la transparencia del agua mostraron una asociación más débil con la densidad del fitoplancton (positiva).

ABSTRACT. Phytoplankton composition and dynamics in a cross-section of the Correntoso River (Paraná River floodplain). Phytoplankton composition, density and species diversity in a cross-section of the Correntoso River (31° 41' S y 60° 42' W), between February 1987 and July 1988, were analyzed. The objectives were: to characterize the spatial and temporal distribution of the community and to evaluate the influence of the main abiotic factors over biological parameters. The two-way analysis of variance (ANOVA), applied to 9 phytoplankton descriptors showed no

(*) Subvencionado por CONICET (P.I.D. N° 3-100200/85 y N° 3-095000/88)

0325-2809/95/26(2)-39 \$2.00 © Asoc. Cienc. Nat. Litoral

significant differences between sampling points of the cross-section and significant temporal variations. Phytoplankton density ranged from 253 to 2282 ind./ml and species diversity varied from 2.53 to 4 bits. Diatomophyceae was dominant (mainly *Aulacoseira granulata*) and Cryptophyceae was generally subdominant (particularly *Cryptomonas erosa*). Partial correlation analysis proved that hydrometric level was the abiotic factor more strongly related to the phytoplankton affecting: total and diatom densities (negative correlation), and species diversity (positive correlation). Water temperature and transparency showed a weaker association with phytoplankton density (positive correlation).

INTRODUCCION

Si bien es cierto que el flujo turbulento de los ríos es el factor determinante del mantenimiento en suspensión de las algas, no siempre produce su distribución homogénea en la sección transversal. La turbulencia varía en relación a los límites sólidos (rugosidad del lecho, riberas y vegetación litoral) y sus fluctuaciones temporales pueden producir la resuspensión de formas bentónicas (o meropláncónicas), el desprendimiento de epifitas o la sedimentación (Margalef, 1960, 1983; Reynolds, 1992, Reynolds *et al.*, 1994).

En el tramo medio del río Paraná, se señalaron diferencias en la densidad y composición del fitoplancton en el agua superficial entre las riberas y el centro en los primeros 300 km de recorrido del cauce principal, debidas a la incidencia del río Paraguay sobre la ribera derecha y del Alto Paraná sobre la izquierda (Schiaffino de Marta, 1981; Bonetto *et al.*, 1979 y 1982; Bonetto, 1983). En el tramo final del Paraná medio, se comprobó estadísticamente la distribución homogénea de la concentración de clorofila *a* en una sección transversal de su cauce principal (Perotti de Jorda, 1984).

Por otra parte, los cambios temporales en la densidad y composición del pota-

motoplancton se atribuyen a factores físicos, tales como caudal, luz y temperatura, destacándose la mayor asociación con la primer variable mencionada (Carvajal-Chitty, 1993; Descy, 1987, 1993; Gosselain *et al.*, 1994; Hynes, 1970; Kofoid, 1903; Kuzmin, 1979; Lack, 1971; Lakshminarayana, 1965; Lewis *et al.*, 1990; Reynolds, *op. cit.*; Reynolds *et al.*, *op. cit.*; Saad y Abbas, 1985; Sabater y Muñoz, 1990; G. W. Schmidt, 1982; A. Schmidt, 1994; Talling, 1976).

En los ríos de la red de drenaje del Paraná el caudal se manifiesta como el principal factor integrador de los procesos que afectan al fitoplancton. A este respecto, se ha señalado la existencia de una relación inversa entre caudal (o nivel hidrométrico) y densidad (o biomasa) algal (Bonetto *et al.*, 1979; 1982; García de Emiliani, 1988, 1990; Perotti de Jorda, 1982 y *op. cit.*; Schiaffino, 1977).

En relación a la composición, las diatomeas, principalmente céntricas, son el grupo dominante en la mayor parte de los ríos tanto templados como tropicales, incluyendo el Paraná; las clorof-

ceas (principalmente clorococales) se citan, generalmente, en segundo lugar o como dominantes en determinados períodos, principalmente en verano. Una variable participación de distintos grupos algales marca diferencias entre los ríos (Anselmi de Manavella, 1986; Carvajal-Chitty, *op. cit.*; García de Emiliani, 1981, 1988, 1990; Lakshminarayana, *op. cit.*; O'Farrell, 1994; Rojo *et al.*, 1994; Reynolds *et al.*, *op. cit.*; Schiaffino, *op. cit.*; Schiaffino de Marta, *op. cit.*; G.W.Schmidt, *op. cit.*; A.Schmidt, *op. cit.*; Talling, *op. cit.*).

En este trabajo se analizan las variaciones en la composición, densidad y diversidad del fitoplancton en un cauce secundario del río Paraná, durante 18 meses en distintos puntos de una transecta. El principal objetivo fue caracterizar la distribución espacial y temporal de la comunidad y evaluar la influencia de los principales factores abióticos.

MATERIAL Y METODOS

Descripción de la zona de estudio.

El río Paraná, uno de los más extensos de Sudamérica (4000 km) nace en la Serra dos Preneos (Brasil) y desemboca en el río de La Plata, con un caudal promedio anual de 16.000 m³/s.

El tramo medio del río Paraná, desde la confluencia del Paraguay y el Alto Paraná hasta la ciudad de Diamante (600 km²), presenta sobre la ribera derecha una amplia llanura aluvial (20.000 km²) que se va ampliando hacia el sur, mientras se va reduciendo el ancho del cauce principal. Posee numerosos cauces secundarios que conforman una densa red

de drenaje con gran número de islas y cuerpos lentíticos de distinta importancia, tales como lagunas, bañados y pantanos (Soldano, 1947; Iriondo y Drago, 1972).

El ciclo hidrológico se caracteriza por presentar un período de bajante desde fines de otoño hasta agosto-setiembre, el que puede prolongarse hasta fin de año; otro de creciente con alturas máximas en febrero-marzo y una creciente de menor magnitud durante el otoño (Soldano, *op. cit.*). No obstante, existen marcadas desviaciones del limnograma medio, de manera tal que no es posible encontrar dos ciclos hidrológicos que se puedan superponer, al menos en 80 años (Neiff, 1990).

El río Correntoso (Fig.1) es un cauce secundario del tramo medio del río Paraná (31° 41'S, 60° 42'W) que nace en el río Santa Fe (2,5 km aguas abajo del puerto homónimo) y, después de un recorrido de 6 km, desemboca en el Coronda.

Teniendo en cuenta las características morfológicas e hidrológicas promedio durante el período febrero 1987-julio 1988 (ancho = 36 m; profundidad = 5 m; velocidad = 0,32 m/s; caudal = 102 m³/s), el río Correntoso se considera de menor jerarquía, en relación a los cauces de la red de drenaje del Paraná (Drago, 1989).

Durante el período mencionado el nivel hidrométrico del río Paraná en el Puerto Santa Fe (Fig. 1) varió entre 2,54 y 5,99 m (media = 4,01 m, CV = 18,78%) y estuvo fuertemente relacionado con el caudal ($r = 0,9999$; $p < 0,001$). Cuando el nivel hidrométrico aumentó por enci-

ma de 4,9 m, el río Correntoso desbordó (junio-julio 1987) (Drago, *op. cit.*). En el centro del cauce, la temperatura del agua (media = 21,2° C), conductividad (media = 172 $\mu\text{S}/\text{cm}$), pH (media = 7,1) y oxígeno disuelto (media = 7,6 mg/l) variaron en una rango relativamente estrecho, en tanto que la transparencia (lectura promedio del disco de Secchi = 20,5 cm) y los nutrientes (concentración media de nitratos = 0,612 mg/l y de fosfatos = 0,095 mg/l) fluctuaron ampliamente (Lorenzatti *et al.*, 1989a, 1989b).

Métodos

Las muestras para el estudio del fitoplancton del río Correntoso se obtuvieron durante 18 meses (febrero 1987-julio 1988), con frecuencia aproximadamente quincenal, en tres perfiles verticales: uno en el centro del cauce (superficie, 1, 2 y 4 m de profundidad) y uno en las proximidades de cada ribera (superficie y 1m) (Fig.1). En cada sitio se tomaron 2 muestras, una para el estudio taxonómico, concentrada con

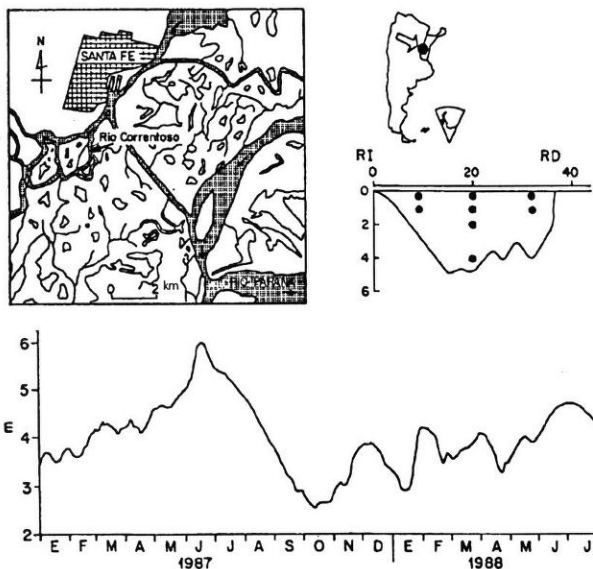


Fig. 1. Situación geográfica del río Correntoso. Perfil batimétrico de la sección transversal mostrando los puntos en los que se tomaron las muestras de fitoplancton (Riberas: RI: izquierda; RD: derecha). Abajo: nivel hidrométrico del río Paraná en Puerto Santa Fe.

red de 25 μm de abertura de malla y, otra, para el análisis cuantitativo, extraída con botella de Ruttner y conservada con solución ácida de lugol.

El recuento se realizó bajo microscopio invertido Wild M-40 (Utermöhl, 1958), siguiendo la técnica detallada por García de Emiliani (1993). Los resultados se expresan como concentración (ind./ml) y transporte (ind./s), es decir el promedio ponderado de la concentración algal por el caudal del río en ese momento (Lack, *op. cit.*).

Se estimó el índice de diversidad H (Shannon y Weaver, 1963) y el componente de equitatividad E, siendo $E = H/\log_2 S$ y S = número de especies.

Con el propósito de comprobar si las diferencias entre las medias de las distribuciones espaciales y temporales eran estadísticamente significativas, se aplicó el análisis de la varianza de dos factores sin repetición (ANOVA), previa verificación de normalidad y homogeneidad de las varianzas por medio del test de Bartlett (Sokal y Rohlf, 1979). Los descriptores elegidos fueron: concentración total de fitoplancton, diversidad y concentración de las especies más abundantes y constantes, cuyas distribuciones pudieron ser normalizadas (*Raphidopsis mediterranea*, *Monoraphidium circinale*, *Chroomonas acuta*, *Cryptomonas erosa*, *Fragilaria construens*, *Aulacoseira distans* y *A. granulata*, incluyendo sus variedades).

Para analizar las relaciones existentes entre las variables ambientales y biológicas se calcularon los coeficientes de correlación simple de Bravais-Pearson (Sokal y Rohlf, *op. cit.*) y de correlación parcial de orden 1 y 7 (Legendre y Le-

gendre, 1979; Dixon, 1981). En los de orden 1, las variables físico-químicas se independizaron de la influencia del nivel hidrométrico. En los de orden 7, se evaluó el efecto independiente de cada variable ambiental (nivel hidrométrico, conductividad, pH, transparencia, temperatura y las concentraciones de oxígeno disuelto, nitratos y fosfatos). Como descriptores del fitoplancton se seleccionaron: diversidad y densidad (total y de las Clases Diatomophyceae, Chlorophyceae y Cryptophyceae). Se comprobó, previamente, la normalidad de las distribuciones y se procedió a la transformación logarítmica (\log_{10}) de las variables que no cumplieran con este requisito (transparencia, concentración de Chlorophyceae y Cryptophyceae).

RESULTADOS

1. Distribución espacial

Se registraron 151 taxa infragenéricos: 15 Cyanophyceae, 40 Chlorophyceae, 1 Ulothricophyceae, 18 Zygothryxaceae, 30 Euglenophyceae, 6 Cryptophyceae, 2 Dinophyceae, 33 Diatomophyceae, 2 Chrysophyceae y 4 Tribophyceae.

Las algas más constantes (42) participaron con un número similar de registros en cada uno de los 8 puntos de la sección transversal (Cuadro 1). Las restantes (109) se presentaron esporádicamente durante el año y no permitieron establecer diferencias entre los puntos estudiados (riberas vs. centro o superficie vs. fondo).

Desde el punto de vista cuantitativo, los resultados de la aplicación del ANOVA a los 9 descriptores seleccionados (Cuadro 2), mostraron que las diferencias en los promedios de los 8 puntos no fueron

Cuadro 1. Frecuencia de registro de los taxa más constantes en relación al número total de muestras de cada sitio (n=30), expresada en porcentajes, de acuerdo a una escala relativa de 3 grados: (-) = 5-10%, (+) = > 10-50% y (i) = > 50-100%.

	LUGAR				CENTRO			RIBERA DERECHA		RIBERA IZQUIERDA		
	PROFUNDIDAD (m)				0	1	2	4	0	1	0	1
CYANOPHYCEAE												
<i>Anabaena viguieri</i> Denis & Héribaut					+	+	-	-	-	-	+	-
<i>Aphanocapsa delicatissima</i> W. & W.					-	-	+	+	+	-	-	-
<i>Merismopedia tenuissima</i> Lemm.					+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Raphidiopsis mediterranea</i> Skuja					■	+	+	+	+	■	■	+
CHLOROPHYCEAE												
<i>Actinastrum hantzschii</i> Kütz. & Pott					+	-	+	-	-	-	+	+
<i>Chlamydomonas</i> spp.					■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Coelastrum pseudomicroporum</i> Kütz.					-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Crucigenia quadrata</i> Moor.					-	-	-	-	-	-	-	-
<i>C. tetrapedia</i> (Kirchn.) W. & W.					+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Crucigeniella rectangularis</i> (Näg.) Kütz.					+	+	-	-	-	-	+	+
<i>Dictyosphaerium ehrenbergianum</i> Næg.					-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Monoraphidium circinale</i> (Nyg.) Nyg.					■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Scenedesmus acuminatus</i> (Lagerh.) Chod.					-	-	+	-	+	-	-	-
<i>S. bicaudatus</i> (Hantzsch) Chod.					-	-	-	-	-	-	-	-
<i>S. intermedius</i> Chod.					+	+	-	+	+	+	+	+
<i>S. quadricauda</i> (Turp.) Bréb.					-	-	-	-	+	+	-	-
<i>S. smithii</i> Teil.					-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Schroederia setigera</i> (Schröd.) Lemm.					-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Tetrastrum heteracanthum</i> (Nordst.) Chod.					-	-	-	-	-	-	-	-
ULOTHRICOPHYCEAE												
<i>Planctonema lauterbornii</i> Schmidle					+	-	+	+	+	+	+	-
BUGLENOPHYCEAE												
<i>Strombomonas fluviatilis</i> (Lemm.) Defl.					-	-	-	-	-	-	-	-
<i>S. verrucosa</i> (Daday) Defl.					-	-	+	+	+	+	+	-
<i>Trachelomonas atomaria</i> Skv.					-	+	+	+	+	+	■	+
<i>T. oblonga</i> Lemm.					-	-	-	-	-	+	-	+
CRYPTOPHYCEAE												
<i>Chroomonas acuta</i> Uterm.					■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Cryptomonas erosa</i> Ehr.					■	■	■	■	■	■	■	■
<i>C. ovata</i> Ehr.					+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Rhodomonas minuta</i> Skuja					+	+	+	+	+	+	+	+
DINOPHYCEAE												
<i>Peridinium</i> spp.					+	+	+	+	+	+	+	+
DIATOMOPHYCEAE												
<i>Aulacoseira distans</i> (Ehr.) Sim.					■	■	■	■	■	■	■	■
<i>A. granulata</i> (Ehr.) Sim.					■	■	■	■	■	■	■	■
<i>A. g. f. curvata</i> (Grun.) Sim.					■	■	■	■	■	■	■	■
<i>A. g. var. angustispira</i> (Müll.) Sim.					■	■	■	■	■	■	■	■
<i>A. muzeanensis</i> (Meister) Krummer					-	+	-	+	+	-	+	-
<i>C. glomerata</i> Bachmann					+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kütz.					■	■	■	■	■	■	■	■
<i>C. pseudostelligera</i> Hustädt					+	-	+	+	-	-	-	-
<i>Fragilaria construens</i> (Ehr.) Grun.					■	+	■	■	■	■	■	■
<i>Gomphonema</i> spp.					-	-	-	-	+	-	-	-
<i>Navicula</i> spp.					+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Synedra</i> spp.					+	+	+	+	+	+	+	+
CHRYSOPHYCEAE												
<i>Synura petersenii</i> Kütz.					-	-	-	-	-	-	-	-

Cuadro 2. Grados de libertad y valores de F obtenidos del ANOVA de 2 factores para 9 variables propias del fitoplancton. Los valores tabulados de F, al 5% son: $F_{1(7,203)} = 2,01$ y $F_{2(29,203)} = 1,46$. Las diferencias espaciales fueron no significativas, y las temporales significativas a $p < 0,001$.

Fuente de variación	Espacio	Tiempo
Grados de libertad	7	29
Fitoplancton total	1,97	30,12
<i>Raphidiopsis mediterranea</i>	0,91	3,66
<i>Monoraphidium circinale</i>	0,15	2,44
<i>Chroomonas acuta</i>	1,36	19,45
<i>Cryptomonas erosa</i>	0,56	9,17
<i>Fragilaria construens</i>	0,44	2,16
<i>Aulacoseira distans</i>	1,03	19,72
<i>A. granulata</i>	1,38	17,65
Diversidad	0,85	10,76

estadísticamente significativas. En cambio, las variaciones temporales resultaron altamente significativas.

2. Variación temporal

Se estudió la variación temporal del fitoplancton subsuperficial en la zona central del cauce.

La concentración total de fitoplancton varió entre 253 y 2282 ind./ml (media = 904 ind./ml, CV=55%). La mínima densidad algal correspondió al período de desborde (julio 1987) y la máxima

se registró con posterioridad a un descenso del nivel hidrométrico (marzo 1988) (Fig. 2).

Diatomophyceae (Fig. 2a) fue siempre la Clase dominante (rango = 131-2002 ind./ml, media = 673 ind./ml, CV=64%) y constituyó entre el 53 y el 93% del total (Fig. 3a). Por su abundancia y constancia, se destacaron *Aulacoseira granulata* (incluyendo sus variedades), *A. distans* y *Cyclotella meneghiniana*, entre las céntricas y *Fragilaria construens*, entre las pennadas.

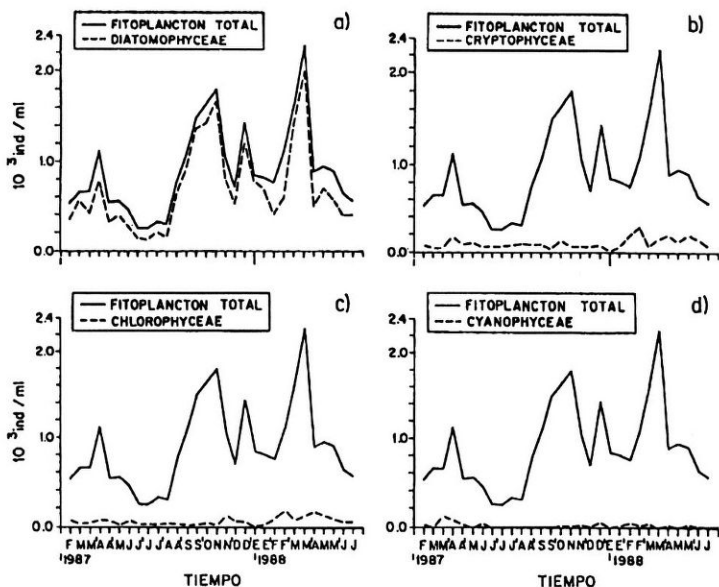


Fig. 2. Variación temporal en la densidad del fitoplancton total y en las clases más importantes: Diatomophyceae (a), Cryptophyceae (b), Chlorophyceae (c) y Cyanophyceae (d), en el agua superficial del centro del cauce.

Cryptophyceae (Fig. 2b) fue subdominante en el 77% de las muestras (rango = 25-297 ind./ml, media = 104 ind./ml, CV= 57%) y de presencia constante en el período de estudio. Su porcentaje de participación con respecto al total osciló entre 3 y 32% (Fig. 3a). Las especies numéricamente más importantes fueron *Cryptomonas erosa* y *Chroomonas acuta*.

Chlorophyceae (Fig. 2c) fue subdominante en el 20% de las muestras analizadas (rango = 25-187 ind./ml, media = 72 ind./ml, CV= 58%) y constituyó entre el 1 y el 13% del total (Fig. 3a). Las

especies mejor representadas fueron las clorococales de los géneros, *Scenedesmus*, *Crucigenia*, *Monoraphidium*, *Dictyosphaerium* y *Tetrastrum*.

La Clase Cyanophyceae (Fig. 2d) se presentó esporádicamente y con baja densidad (rango = 2-116 ind./ml, media = 22,5 ind./ml, CV = 118%), excepto en marzo 1987 en que registró el máximo y fue subdominante. La especie con mayores densidades fue *Raphidiopsis mediterranea*.

Las variación temporal en la abundancia relativa de las principales Clases

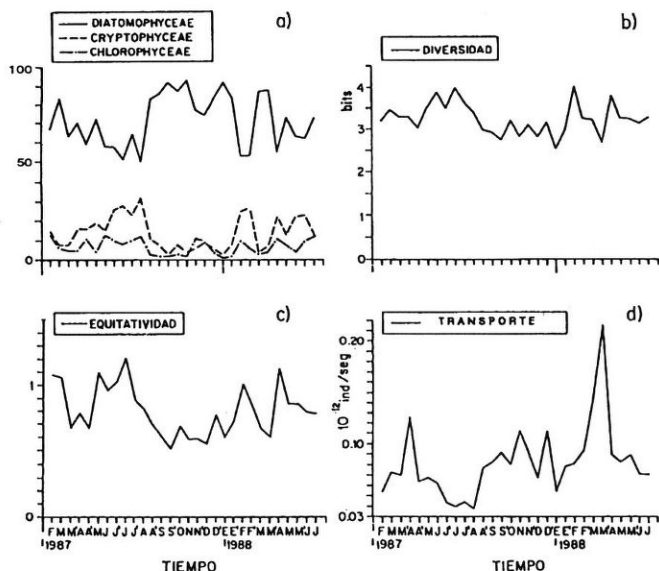


Fig. 3. Variación temporal en la densidad relativa (%) de las clases más importantes (a), en la diversidad específica (b), en la equitatividad (c) y en el transporte de fitoplancton total (d).

(Fig.3a) muestra que la proporción de diatomeas aumentó durante los períodos de niveles hidrométricos decrecientes y aguas bajas, en tanto que el porcentaje de participación de Cryptophyceae y Chlorophyceae aumentó con los pulsos hidrológicos. Durante el desborde (junio-julio 1987) y con incrementos hidrométricos de menor intensidad (febrero y abril 1988), se observó un aumento en el número de especies, principalmente de clorococales, diatomeas pennadas, euglenofíceas y desmidiáceas.

La diversidad específica (Fig. 3b) varió entre 2,53 y 4 bits (media= 3,23 bits, CV= 12%), asociándose sus incrementos con los del nivel hidrométrico. Las variaciones en el componente de equitatividad (rango = 0,52-1,21, media = 0,81, CV= 24%) (Fig. 3c) se relacionaron directamente con la diversidad.

El transporte de fitoplancton a través de la sección del río (Fig. 3d) varió entre $0,039 \cdot 10^{12}$ y $0,214 \cdot 10^{12}$ ind./s (media = $0,082 \cdot 10^{12}$ ind./s, CV= 43%). La similitud de sus fluctuaciones con las de concentración puso de manifiesto el efecto favorable de las condiciones de

aguas bajas sobre el desarrollo del fitoplancton. Como consecuencia de ello, el transporte de algas fue de un orden de magnitud mayor con bajos caudales que con altos.

3. Relaciones del fitoplancton con las variables ambientales.

La semimatriz de los coeficientes de correlación simple (Cuadro 3, parte superior derecha) muestra que los parámetros propios del fitoplancton estuvieron asociados, en gran medida, a diversos factores del medio.

En cambio, los coeficientes de correlación parcial de orden 1, manteniendo constante la influencia del nivel hidro-

métrico (Cuadro 3, parte inferior izquierda), ponen de manifiesto que gran parte de las relaciones de los parámetros ambientales con el fitoplancton (mostradas por los coeficientes de correlación simple) se deben a que ellos dependen del nivel hidrométrico. No obstante, se mantienen en un mismo nivel de significación las correlaciones de Chlorophyceae con la transparencia y con la concentración de nitratos y surge la asociación directa entre conductividad y diversidad.

Además, debido a que los coeficientes de correlación simple muestran una alta asociación (casual o causal) entre las variables ambientales, fue necesaria-

Cuadro 3. Semimatriz de los coeficientes de correlación simple significativos (triángulo superior derecho) y semimatriz de los coeficientes de correlación parcial (de orden 1) significativos (triángulo inferior izquierdo). Referencias: Nh = nivel hidrométrico, CON = conductividad, TRA = transparencia, TEM = temperatura, OXI = oxígeno disuelto, NIT= nitratos, FOS = fosfatos, FIT = fitoplacton total, DIA = Diatomophyceae, CLO = Chlorophyceae, CRY = Cryptophyceae, H = diversidad.

Nivel de significación: (*) = $p < 0,05$; (**) = $p < 0,01$ y (***) = $p < 0,001$.

	CON	pH	TRA	TEM	OXI	NIT	FOS	FIT	DIA	CLO	CRY	H
Nh	-0,57***	-0,41**	0,53***	0,51***	0,56***	-0,39**	-	-0,74***	-0,73***	-	-	0,65***
CON	1	0,39**	-0,36**	0,49***	-0,54***	-	-	0,31*	-	-	-	-
pH	-	1	-	-	-	-	-	0,39**	0,42**	-	-	-
TRA	-	-	1	-0,81***	0,63***	-0,40**	-	-0,39**	-0,32*	-0,37**	-	-
TEM	-	-	-0,73***	1	-0,79***	0,37**	-	0,48***	0,42**	-	-	0,35*
OXI	-0,32*	-	0,47***	-0,71***	1	-0,58***	-	-0,42**	-0,37**	-	-	-
NIT	-	-0,42**	-	-	-0,48***	1	-	0,35*	0,33*	0,34*	-	-
FOS	-	0,47***	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
FIT	-	-	-	-	-	-	-	1	0,98***	-	-	-0,55***
DIA	-	-	-	-	-	-	-	0,95***	1	-	-	-0,61***
CLO	-	-	-0,39**	-	-	-0,33**	-	-	-	1	0,68***	-
CRY	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,68***	1	-
H	0,44**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38**	1

Cuadro 4. Coeficientes de correlación parcial (de orden 7) significativos entre las variables propias del fitoplancton con cada una de las variables ambientales, independizándolas del efecto lineal de las restantes.

Nivel de significación: (**) = $p < 0,01$ y (***) = $p < 0,001$

	Nivel hidrométrico	Conductividad	Transparencia	Temperatura
Fitoplancton total	-0,540***			0,450**
Diatomophyceae	-0,587***		0,430**	0,458**
Diversidad	0,772***	0,477**		

rio evaluar el efecto de cada una, independientemente de las restantes, sobre los parámetros biológicos (correlación parcial de orden 7). Los resultados (Cuadro 4), confirman que el nivel hidrométrico fue el factor que más estrechamente se relacionó con el fitoplancton: densidad total y de diatomeas (correlación negativa) y diversidad (correlación positiva). También, se corrobora la asociación directa entre temperatura y densidad (total y de diatomeas). Asimismo, se descubre la influencia positiva de la transparencia sobre la densidad de diatomeas y se reitera la asociación directa entre conductividad y diversidad, identificada previamente por el coeficiente de correlación parcial de orden 1.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

El río Correntoso, a pesar de sus escasas dimensiones y caudal, presentó una turbulencia capaz de dispersar homogéneamente a las algas en toda su sección (incluso los pesados filamentos de *Au-*

lacoseira granulata), coincidiendo con lo indicado para el cauce principal del Paraná (Perotti de Jorda, 1984), cuyo caudal es significativamente mayor (2 órdenes de magnitud). Si bien nuestros datos permitieron comprobar la distribución uniforme en la densidad total de algas y en las especies más constantes y abundantes (42 taxa), es llamativo el número de especies esporádicas (109 taxa).

Con respecto a esta última observación se ha señalado (Rojo *et al.*, *op. cit.*) que el mayor número de especies raras en los ríos, en relación a los lagos, podría sugerir que ellos tienen un mayor depósito de memoria ecológica de la comunidad, en el sentido dado por Padišák (1992). En relación a esta sugerencia estamos en condiciones de agregar que es razonable que los ríos con grandes llanuras aluviales como el Paraná, tengan un mayor número de especies raras que los lagos, dado su comparativamente mayor heterogeneidad ambiental. Así, por ejemplo, muchas de las especies planctónicas que no encontraron condiciones propicias para su desarrollo en el río Correntoso se suceden como domi-

nantes en lagunas próximas (García de Emiliani, 1980, 1990, 1993), tales como clorofitas clorococales, euglenofíceas, cianofíceas y dinofíceas. Además, algunas algas están accidentalmente presentes en el plancton (ticoplanctónicas), dado que provienen de otras comunidades del cauce, tales como muchas diatomeas pennales, euglenofíceas y desmidiáceas (Descy, 1987; Gosselain *et al.*, *op. cit.*; Margalef, 1960, 1983, Reynolds, 1992; Reynolds *et al.*, *op. cit.*) o, en nuestro caso, de otros ambientes del sistema (lagunas o ríos de muy lento flujo). El aumento en el número de especies de algas esporádicas en el plancton del río Correntoso, durante los pulsos hidrológicos, se explicaría por la mayor incorporación de algas de otros orígenes.

En relación a la estructura a nivel de Clases (dominancia de Diatomophyceae y subdominancia de Cryptophyceae, eventualmente de Chlorophyceae o Cyanophyceae) y a la contribución de las especies más abundantes, el fitoplancton del río Correntoso es similar al de otros ríos del sistema del Paraná (Anselmi de Manavella, *op. cit.*; García de Emiliani, 1981, 1988, 1990; Schiaffino, *op. cit.*; Schiaffino de Marta, *op. cit.*). Esta constancia estructural da sustento a la hipótesis de la existencia de un potamofitoplancton típico del tramo medio del río Paraná, integrado por especies nativas, cuya densidad aumenta con el tiempo de residencia del agua (desde el cauce principal hasta los cauces secundarios de menor jerarquía). Por el momento, los mecanismos de supervivencia y el mantenimiento del potamofitoplancton permanecen a nivel de conjeturas (Reynolds *et al.*, *op. cit.*) No obstante, existen algunas evidencias sobre el desarrollo de sus poblaciones en

el agua enlentecida (zonas muertas) de los cauces y en canales de muy lento flujo (Descy y Gosselain, 1994; Reynolds y Glaister, 1993) o en los sedimentos como meropláncteres especializados (Stoyneva, 1994), lo cual constituiría un mecanismo de supervivencia comparativamente más eficiente (Reynolds *et al.*, *op. cit.*).

Si bien la dominancia de diatomeas céntricas, especialmente de los géneros *Aulacoseira* y *Cyclotella*, es común a muchos otros grandes ríos de sudamérica (Carvajal-Chitty, 1993; O'Farrell, *op. cit.*; Schmidt, *op. cit.*), así como a gran parte de los ríos templados y tropicales revisados por Rojo *et al.* (*op. cit.*), la subdominancia de Cryptophyceae es sólo ocasionalmente mencionada para breves períodos (Gosselain *et al.*, *op. cit.*; Rojo *et al.*, *op. cit.*; Sabater y Muñoz, *op. cit.*). Chlorophyceae es citada, generalmente, como la Clase subdominante de los ríos (o dominante en ciertos tramos o períodos del año). Es probable que esta diferencia en la estructura se deba a una mayor oferta nutritiva de esos ambientes en comparación con el Correntoso, o al aporte de las represas, en las que las Chlorophyceae encontrarían condiciones propicias para su desarrollo (Gosselain *et al.*, *op. cit.*; Kiss, 1987). Además, el fitoplancton del río Correntoso, así como del tramo medio del río Paraná, se identifica por la constancia de *Fragilaria construens* (Anselmi de Manavella, *op. cit.*; García de Emiliani, 1981; Schiaffino, *op. cit.*; Schiaffino de Marta, *op. cit.*).

La mayor parte de las especies más frecuentes (Cuadro 1), comunes al plancton de los ríos del sistema, adaptadas a la alta inestabilidad ambiental (cambios en la turbulencia y en la turbiedad) y a la abundancia de nutrientes, se identi-

can como 'w' (R-estrategas), las cuales a su vez tendrían una alta velocidad de crecimiento (especies r o C-estrategas), siguiendo la terminología de Reynolds (1988).

En cuanto a la densidad del fitoplancton, resultó evidente que está principalmente regulada por el caudal, coincidiendo con lo ya señalado para distintos cauces de la red de drenaje del Paraná (C.A. Bonetto *et al.*, 1979; A. A. Bonetto *et al.*, 1982; García de Emiliani, 1981, 1988, 1990; Perotti de Jorda, 1982, 1984; Schiaffino, *op. cit.*) así como para distintos ríos del mundo (Carvajal-Chitty, *op. cit.*; Descy, 1987, 1993; Gosselain *et al.*, *op. cit.*; Hynes, *op. cit.*; Lack, *op. cit.*; Saad y Abbas, *op. cit.*; G. W. Schmidt, *op. cit.*; A. Schmidt, *op. cit.*). La dilución de algas, principal efecto del aumento del caudal, fue puesta de manifiesto por la relación inversa entre el nivel hidrométrico y densidad (total y de diatomeas). Sin embargo, el mayor transporte de algas en aguas bajas sugiere la influencia de otros factores ambientales favorables. Entre ellos, el análisis de correlación parcial mostró el efecto positivo de la temperatura (sobre la densidad total y de diatomeas) y de la transparencia (sobre la densidad de diatomeas). Con respecto a esta última relación, es de agregar que si bien las diatomeas se mencionan como el grupo mejor adaptado a los ríos turbios de llanura y, a la especie dominante (*Aulacoseira granulata*), como una de las menos sensibles a la turbiedad, ello no significa que el aumento en la transparencia actúe negativamente sobre su desarrollo.

El paralelismo de las fluctuaciones en la diversidad y equitatividad revela la importancia de los cambios en la distribución de los individuos entre las especies sobre la diversidad. En líneas generales, las especies algales tuvieron una distribución más equitativa cuando el nivel hidrométrico aumentó, en tanto que en las bajantes, unas pocas especies son dominantes (principalmente de los géneros *Aulacoseira* y *Cyclotella*). A pesar que el número de especies esporádicas aumentó con los pulsos hidrológicos, su efecto sobre la diversidad fue mínimo.

En síntesis, la estructura y dinámica del fitoplancton del río Correntoso está más controlada por factores físicos (caudal, temperatura y transparencia) que por los nutrientes, coincidiendo con lo señalado en la literatura para otros sistemas lóticos (por ejemplo: Hynes, *op. cit.*; Gosselain *et al.*, *op. cit.*; Reynolds, 1992; Reynolds *et al.*, *op. cit.*; Sabater y Muñoz, *op. cit.*).

REFERENCIAS

- Anselmi de Manavella, M. I. 1986. Estudios limnológicos en una sección transversal del tramo medio del río Paraná. XIV. Fitoplancton. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral* 17 (2): 183-201.
- Bonetto, A. A. 1986. The Paraná River system (541-555). En: Davies, B. & H. F. Walker (eds.) *The ecology of river systems*. Junk, The Netherlands, 793 pp.
- Bonetto, A. A., Y. Zalocar de Domitrovic & E. Vallejos. 1982. Contribución al conocimiento del fitoplancton del Paraná Medio. *Ecosur* 9 (18): 189-212.
- Bonetto, C. A. 1983. Fitoplancton y producción primaria del Paraná Medio. *Ecosur* 10 (19/20): 79-102.

- Bonetto, C. A., Y. Zalocar de Domitrovic, P. Caro & E. Vallejos. 1979. Producción primaria del fitoplancton del río Paraná en el área de su confluencia con el río Paraguay. *Ecosur* 6, (12): 201-227.
- Carvajal-Chitty, H. I. 1993. Some notes about the intermediate Disturbance Hypothesis and its effects on the phytoplankton of the middle Orinoco River (117-124). En: J. Padišák, C. S. Reynolds & U. Sommer (eds.). Intermediate Disturbance Hypothesis in Phytoplankton Ecology. *Hydrobiologia* 249 (Dev. Hydrobiol. 81). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 199 pp.
- Descy, J. P. 1987. Phytoplankton composition and dynamics in the river Meuse (Belgium). *Arch. Hydrobiol. (Suppl. 78)* 2: 225-245.
- Descy, J. P. 1993. Ecology of the phytoplankton of the River Moselle: effects of disturbances on community structure and diversity (111-116). En: J. Padišák, C. S. Reynolds & U. Sommer (eds.). Intermediate Disturbance Hypothesis in Phytoplankton Ecology. *Hydrobiologia* 249 (Dev. Hydrobiol. 81). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 199 pp.
- Descy, J. P. & V. Gosselain. 1994. Development and ecological importance of phytoplankton in a large lowland river (River Meuse, Belgium) (139-155). En: J.P. Descy, C. S. Reynolds & J. Padišák (eds). Phytoplankton in turbid environments: Rivers and shallow lakes. *Hydrobiologia* 289. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 214 pp.
- Dixon, W. J. 1981. BMDP Statistical Software. Univ. California Press, Berkeley, 720 pp.
- Drago, E. 1989. Limnología física (7-78). En: Informe final del Proyecto Seston: producción, transferencia y transporte de la materia orgánica (PID 3-100200/85). *INALI*, Santo Tomé, 344 p.
- García de Emiliani, M. O. 1980. Fitoplancton de una laguna del valle aluvial del Paraná medio ("Los Matadores", Santa Fe, Argentina). I. Estructura y distribución en relación a factores ambientales. *Ecología* 4: 127-140.
- García de Emiliani, M. O. 1981. Fitoplancton de los principales cauces y tributarios del valle aluvial del río Paraná: tramo Goya-Diamante. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral* 12: 112-125.
- García de Emiliani, M. O. 1988. Fitoplancton y variables ambientales en cauces del Paraná Medio, Argentina: análisis de correlación canónica. *Rev. Hydrobiol. Trop.* 21 (3): 183-196.
- García de Emiliani, M. O. 1990. Phytoplankton ecology of the Middle Paraná River. *Acta Limnol. Brasil.* 3: 391-417.
- García de Emiliani, M. O. 1993. Seasonal succession of phytoplankton in a lake of the Paraná River floodplain, Argentina. *Hydrobiologia* 264: 101-114.
- Gosselain, V., J. P. Descy & E. Everbecq. 1994. The phytoplankton community of the River Meuse, Belgium: seasonal dynamic (year 1992) and the possible incidence of zooplankton grazing (179-191). En: J. P. Descy, C. S. Reynolds & J. Padišák (eds). Phytoplankton in turbid environments: Rivers and shallow lakes. *Hydrobiologia* 289. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 214 pp.
- Hynes, M. B. 1970. The ecology of running waters. *Liverpool Univ. Press*, Liverpool, 555 pp.
- Iriondo, M. & E. Drago. 1972. Descripción cuantitativa de dos unidades geomorfológicas de la llanura aluvial del Paraná medio. *República Argentina. Asoc. Geol. Arg. Rev.* 27: 143-160.
- Kliss, K. T. 1987. Phytoplankton studies in the Szigetköz section of the Danube during 1981-1982. *Arch. Hydrobiol. Suppl. 78/Algol. Stud.* 47: 247-273.
- Kofoid, C. A. 1903. The plankton of the Illinois River, 1894-1899. *Bull. Illinois State Lab. Nat. Hist.* 6: 95-629.
- Kuzmin, G. V. 1979. Phytoplankton of the Volga. (137-170). En: Mordukhai-Boltovskoi, Ph. D. (eds.) The river Volga and its life. *Junk*, London, 473 pp.
- Lack, T. J. 1971. Quantitative studies on the phytoplankton of the river Thames and Kennet at Reading. *Freshwat. Biol.* 1: 213-224.
- Lakshminarayana, J. S. 1965. Studies on the phytoplankton of the River Ganges, Varanasi, India. *Hydrobiologia* 25: 119-165.
- Legendre, L. & P. Legendre. 1979. Ecologie numérique. 2: La structure des données écologiques. *Masson*, París, 274 p.
- Lewis, W. M. Jr., J. F. Saunders & R. Dufford. 1990. Suspended organisms and biological carbon flux along the lower Orinoco

- River (269-300). En: F. H. Weibezahn, H. Alvarez & W. M. Lewis (eds). *The Orinoco River as an ecosystem. Impresos Rubel*, Caracas, 430 p.
- Lorenzatti, E., N. Perotti de Jorda & M. Vassallo. 1989. Hidroquímica. (79-104). En: Informe final del proyecto Seston: producción, transferencia y transporte de la materia orgánica (PID 3-100200/85). *INALI*, Santo Tomé, 344 p.
- Lorenzatti, E., N. Perotti de Jorda & M. Vassallo. 1989b. Materia orgánica y producción primaria. (113-224). En: Informe final del Proyecto Seston: producción, transferencia y transporte de la materia orgánica (PID 3-100200/85). *INALI*, Santo Tomé, 344 p.
- Margalef, R. 1960. Ideas for a synthetic approach to the ecology of running waters. *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 45: 133-153.
- Margalef, R. 1983. Limnología. *Omega*, Barcelona, 1010 p.
- Neliff, J. J. 1990. Ideas para la interpretación ecológica del Paraná. *Interciencia* 15 (6): 424-441.
- O'Farrell, I. 1994. Comparative analysis of the phytoplankton of fifteen lowland fluvial systems of the River Plate Basin (Argentina) (109-118). En: J. P. Descy, C. S. Reynolds & J. Padisák (eds). *Phytoplankton in turbid environments: Rivers and shallow lakes. Hydrobiologia 289. Kluwer Academic Publishers*, Dordrecht, 214 pp.
- Padisák, J. 1992. Seasonal succession of phytoplankton in a large shallow lake (Balaton, Hungary) - a dynamic approach to ecological memory, its possible role and mechanisms. *J. Ecol.* 80: 217-230.
- Perotti de Jorda, N. 1982. Fitoplancton de ambientes de la llanura aluvial del río Paraná medio (Santa Fe, Argentina): Pigmentos fotosintéticos. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral* 13: 37-46.
- Perotti de Jorda, N. 1984. Estudios limnológicos en una sección transversal del tramo medio del río Paraná. IX. Biomasa y productividad del fitoplancton. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral* 15 (2): 117-133.
- Reynolds, C. S. 1988. Functional morphology and the adaptative strategies of freshwater phytoplankton. (388-433). En: C. D. Sandgren (ed.). *Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton. Cambridge Univ. Press*, Cambridge, 442 pp.
- Reynolds, C. S. 1992. Algae (195-215). En: P. Calow y G. E. Petts (eds.). *The Rivers Handbook. Hydrological and Ecological Principles. Blackwell Scient. Publ.*, Oxford, 450 pp.
- Reynolds, C. S. & M. S. Gjalster. 1993. Spatial and temporal changes in phytoplankton abundance in the upper and middle reaches of the River Severn. *Arch. Hydrobiol. (Suppl.)* 101: 1-22.
- Reynolds, C. S., J. P. Descy & J. Padisák. 1994. Are phytoplankton dynamics in rivers so different from those in shallow lakes (1-8). En: J. P. Descy, C. S. Reynolds & J. Padisák (eds). *Phytoplankton in turbid environments: Rivers and shallow lakes. Hydrobiologia 289. Kluwer Academic Publishers*, Dordrecht, 214 pp.
- Rojo, C., M. Alvarez Cobelas & M. Arauzo. 1994. An elementary, structural analysis of river phytoplankton (43-55). En: J. P. Descy, C. S. Reynolds & J. Padisák (eds). *Phytoplankton in turbid environments: Rivers and shallow lakes. Hydrobiologia 289. Kluwer Academic Publishers*, Dordrecht, 214 pp.
- Saad, M. A. & M. H. Abbas. 1985. Limnological investigations on the Rosetta Branch of the Nile. III. Phytoplankton. *Freshwat. Biol.* 15: 661-669.
- Sabater, S. & I. Muñoz. 1990. Successional dynamics of the phytoplankton in the lower part of the river Ebro. *J. Plankton Res.* 12: 575-592.
- Schlaiffino, 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.
- Schlaiffino de Marta, M. 1981. Campaña limnológica "Karatella I" en el río Paraná medio. XIII. Fitoplancton de ambientes lóuticos. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral* 12: 140-147.
- Schmidt, G. W. 1982. Primary production of phytoplankton in the three types of Amazonian waters. V. Some investigations on the phytoplankton and its primary production in the clear

water of the Lower río Tapajóz (Amazonas, Brazil). *Amazoniana* 7: 335-348.

Schmidt, A. 1994. Main characteristics of the phytoplankton of the Southern Hungarian section of the River Danube, (97-108). En: J. P. Descy, C. S. Reynolds & J. Padišák (eds). Phytoplankton in turbid environments: Rivers and shallow lakes. *Hydrobiologia* 289. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 214 pp.

Shannon, C. E. & W. Weaver. 1963. The mathematical theory of communication. *Univ. Illinois Press*, Urbana, 117 pp.

Sokal, R. R. & F. J. Rohlf. 1979. *Biometría. Principios y métodos estadísticos en la investigación biológica*. Blume, Madrid, 832 p.

Soldano, F. 1947. Régimen y aprovechamiento de la red fluvial argentina. *Cimera*, Buenos Aires, 277 p.

Stoyneva, M. P. 1994. Shallows of the lower Danube as additional sources of potamoplankton. (171-178). En: J. P. Descy, C. S. Reynolds & J. Padišák (eds). Phytoplankton in turbid environments: Rivers and shallow lakes. *Hydrobiologia* 289. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 214 p.

Talling, J. F. 1976. Phytoplankton: composition, development and productivity. En: J. Rzóška (ed). The Nile, biology of an ancient river. *Junk*, The Hague, 417 pp.

Utermöhl, H. 1958. Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton Methodik. *Mitt. Int. Ver. Limnol.* 9: 1-38.