

Estructura y dinámica del fitoplancton de un río tributario (Salado) y cauces secundarios del río Paraná (Santa Fe, Coronda y El Vado) en el área de confluencia (Santa Fe, Argentina)

García de Emiliani, M. O.; Devercelli, M.

Instituto Nacional de Limnología (CONICET y UNL), José Maciá 1933, (3016) Santo Tomé, Santa Fe, Argentina. TE: 0342-4740723. FAX: 0342-4750394.

RESUMEN: El fitoplancton y la calidad físico-química del agua del río tributario (Salado-Tientuco: grupo 1) y cauces secundarios de alto (ríos Santa Fe-Coronda: grupo 3) y bajo caudal (río El Vado) fueron analizados en dieciséis sitios de muestreo en aguas bajas y altas: nivel hidrométrico mínimo, máximo y decreciente (julio 1993-marzo 1994). El grupo 1 tuvo valores medios anuales significativamente mayores de conductividad, pH, nutrientes, DBO₅ y abundancia de fitoplancton (densidad y clorofila *a*), y dominancia de Chlorophyceae, principalmente especies pequeñas de los géneros *Chlamydomonas*, *Pyramimonas*, *Monoraphidium*, *Scenedesmus* y *Oocystis* (C-estrategas o invasoras). El grupo 3 presentó mayores valores medios anuales de transparencia y oxígeno disuelto, menor abundancia de fitoplancton y dominancia de Bacillariophyceae, especialmente *Aulacoseira granulata* y *A. distans* (R-estrategas o aclimatables). Los valores medios anuales fueron intermedios en el río El Vado debido a interacciones hidrodinámicas: ingreso de los ríos Salado (reversión del flujo) y Santa Fe al mínimo nivel del agua.

Palabras claves: fitoplancton - calidad del agua - interacciones hidrodinámicas - ríos de llanura.

Summary: Phytoplankton structure and dynamics of a tributary River (Salado) and side-channels of the Paraná River (Santa Fe, Coronda y El Vado) in the confluence area (Santa Fe, Argentina). García de Emiliani, M. O.; Devercelli, M.. The phytoplankton and physico-chemical water quality of the tributary river (Salado-Tientuco: group 1) and side-channels of high (Santa Fe-Coronda: group 3) and low discharge (El Vado) were analysed in sixteen sampling sites at low- and high-water level: minimum, maximum and decreasing hydrometric level (July 1993-March 1994). Group 1 had significant higher annual mean values of conductivity, pH, nutrients, BOD₅ and phytoplankton abundance (density and chlorophyll *a*), and dominance of Chlorophyceae, mainly small-size species of the genera *Chlamydomonas*, *Pyramimonas*, *Monoraphidium*, *Scenedesmus* y *Oocystis* (C-strategists or invasive). Group 3 presented higher annual mean values of transparency and dissolved oxygen, lower phytoplankton abundance and dominance of Bacillariophyceae, mainly *Aulacoseira granulata* y *A. distans* (R-strategist or attuning). Annual mean values were intermediate in El Vado River due to hydrodynamic interactions: inflow of the rivers Salado (flow reversion) and Santa Fe at the minimum water level.

Key words: phytoplankton - water quality - hydrodynamic interactions - lowland rivers.

* Correspondencia

e-mail: yomimel@yahoo.com.ar

Recibido: 01-07-04

Aceptado: 23-09-04

Introducción

Desde los primeros estudios sobre el fitoplancton de ríos de llanura se mencionan a los factores físicos (caudal, turbiedad y temperatura) como las variables conductoras de la estructura y dinámica de la comunidad. En las últimas décadas, se destacó el papel fundamental del tiempo de residencia del agua (o retención fluvial) para explicar las diferencias del fitoplancton entre ríos turbios de llanura. La variación de este factor no sólo depende de las variables que determinan el caudal del río (morfología del cauce y velocidad de la corriente), sino también de la existencia de zonas de retención hidráulica ('zonas muertas' o de almacenaje de poblaciones algales) en las riberas del propio cauce o ambientes acuáticos adyacentes. El intercambio de fluido entre dichas zonas y el flujo principal del cauce posibilitaría el enriquecimiento del fitoplancton transportado por los ríos. Frecuentemente, el fitoplancton de estos ríos se caracteriza por la alta riqueza debida a especies esporádicas, la relación inversa entre densidad y nivel del agua, y la dominancia de Bacillariophyceae Centrales y Chlorophyceae Chlorococcales. Los nutrientes y la salinidad también determinan diferencias en la composición y abundancia de la comunidad entre ríos. Los ríos con mayor tiempo de residencia del agua y alta oferta nutritiva favorecen el desarrollo algal, pudiéndose observar alta densidad del fitoplancton, dominancia de distintos grupos algales y, en especial, proliferaciones transitorias de Cyanophyceae en zonas de retención hidráulica (1, 2, 3).

Por otra parte, en el área de confluencia de ríos con distinto régimen hidrológico, las interacciones hidrodinámicas pueden afectar las características físico-químicas y biológicas propias de cada sistema fluvial. En algunos tributarios salinos de las provincias de Buenos Aires (4) y Santa Fe (5) se observa el efecto de la intrusión del río Paraná sobre la calidad del agua y el fitoplancton. En la zona próxima a la desembocadura del río Salado se menciona la dilución de sus aguas, provocada por la penetración del río Santa Fe, así como su concentración debido al efecto remanso ejercido por el cauce receptor (6). El desarrollo masivo de poblaciones de Cyanophyceae potencialmente tóxicas se describe para el río Salado al aumentar transitoriamente el

tiempo de residencia del agua y durante un período prolongado de aguas bajas, inducido por el fenómeno de El Niño-Oscilación Sur en ambas cuencas fluviales (7). Este aspecto adquiere particular interés en el área de estudio debido a su uso como balneario, prácticas de diversos deportes acuáticos y competencias internacionales de natación. No obstante, no existen antecedentes de estudio sobre la composición y abundancia del fitoplancton del río Salado durante ciclos hidrológicos normales, mientras que para los cauces secundarios sólo se pueden citar los trabajos llevados a cabo en los ríos Santa Fe y Coronda (8, 9).

El objetivo de este trabajo es analizar la estructura y dinámica del fitoplancton, así como la calidad físico-química del agua, en relación a los estados hidrológicos, en el área de confluencia de un tributario salino (río Salado, incluyendo un pequeño brazo lateral: río Tientuco) y tres cauces secundarios del río Paraná de distinto caudal (ríos Santa Fe, Coronda y El Vado).

Descripción del área de estudio

El río Salado se denomina Pasaje o Juramento en su nacimiento (precordillera andina, Salta) y recorre 1500 km hasta su desembocadura en un cauce secundario del río Paraná (río Santa Fe), entre las ciudades de Santa Fe y Santo Tomé. Al ingresar a la provincia de Santiago del Estero toma el nombre de río Salado, o Salado del Norte para diferenciarlo de su homónimo situado en la provincia de Buenos Aires. En las provincias de Salta, Catamarca, Tucumán, Santiago del Estero, Chaco y Santa Fe desarrolla una extensa cuenca de drenaje (247.000 km²). También, se conocen las características geológicas, geomorfológicas, climáticas e hidrológicas de las cuencas superior, media e inferior (6).

El tramo inferior del río Salado, en el que se localiza el área de estudio, se extiende desde el límite interprovincial Santiago del Estero-Santa Fe y finaliza en el río Santa Fe, abarcando un área estimada en 29.700 km² (29° a 31° 30' S y 60° 30' a 62° W). En este tramo, el cauce principal (ancho medio = 100 m) es meandriforme (índice de sinuosidad medio = 1,8) y presenta albardones estrechos que lo separan de la llanura de inundación (ancho medio = 2,5 km), ocupada por lagunas, bañados y paleocauces. El caudal es ampliamente variable, fluctuando en pro-

medio durante el período 1960-1980 entre 20 y 420 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ (módulo = 105 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) en un sitio localizado en la ruta provincial n° 70, próximo a la ciudad de Esperanza. Sin embargo, en años de aguas altas el caudal máximo se incrementa alcanzando valores de 2430 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ (junio 1973) y 3500 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ (abril 2003). Las precipitaciones pluviales presentan una gran irregularidad espacial y temporal, con medias anuales de 1000 mm, concentrándose un 72% en el período primavera-verano; la temperatura promedio de verano es de 24°C y la de invierno de 11°C (período 1920-1982). Por otra parte, se conocen las variaciones temporales en el caudal y en las características físico-química del agua durante un ciclo hidrológico normal (10). Además, es de mencionar las crecientes modificaciones ocurridas en los últimos 80 años, tanto en el modelo de escurrimiento natural por la construcción de obras de ingeniería (canales, redes viales y control de crecientes), como en la calidad del agua por el aporte de aguas residuales urbanas e industriales (6).

En lo que respecta al tramo medio del río Paraná, la geomorfología e hidrología de su anastomosado cauce principal y compleja llanura aluvial, al igual que las características físicas y químicas de sus aguas resultan ampliamente conocidas (11, 12, 13). Además, Schiaffino (8) y Perotti de Jorda (9) describen las variaciones temporales en la hidrología y la calidad físico-química del agua de los ríos Santa Fe y Coronda durante un ciclo hidrológico normal.

Materiales y métodos

El área de estudio abarcó el último tramo del cauce principal del río Salado, un pequeño brazo lateral (río Tientuco) y los cauces secundarios del río Paraná: río Santa Fe, del cual nace el río El Vado que finaliza en el río Salado y el río Coronda, denominación que toma el río Santa Fe después de la desembocadura del río Salado (Fig. 1a). Se seleccionaron 16 sitios de muestreo, teniendo en cuenta algunos aportes puntuales de contaminación, el uso recreativo del agua y las posibles interacciones entre ambos sistemas fluviales. En el río Salado se ubicaron los sitios 1 y 3, aguas arriba y abajo del desagüe de aguas residuales urbanas acumuladas en bañados que ingresan a través de un canal artificial (sitio 2); los sitios 4 y 5 corresponden a la zona anterior y

posterior a la ubicación de una bomba que aporta aguas residuales; además el sitio 5, ubicado en la zona de balneario, permitiría evaluar el probable ingreso del río El Vado (sitio 10); aguas abajo, los sitios 6 y 7 posibilitarían la estimación del ingreso directo de agua del río Santa Fe en el río Salado; los sitios 8 y 9 se ubicaron en el río Tientuco en la zona de probable aporte de agua por desborde de la laguna de oxidación de los efluentes cloacales de la ciudad de Santo Tomé y su influencia aguas abajo, respectivamente. En el río Santa Fe, se eligieron los sitios 11-15, ubicados antes y después de la salida de líquidos cloacales de la ciudad de Santa Fe, situándose el 14 en una zona de probable ingreso del río Salado a través del río El Vado. Con igual criterio se ubicó el sitio 16 en el río Coronda (Fig. 1a).

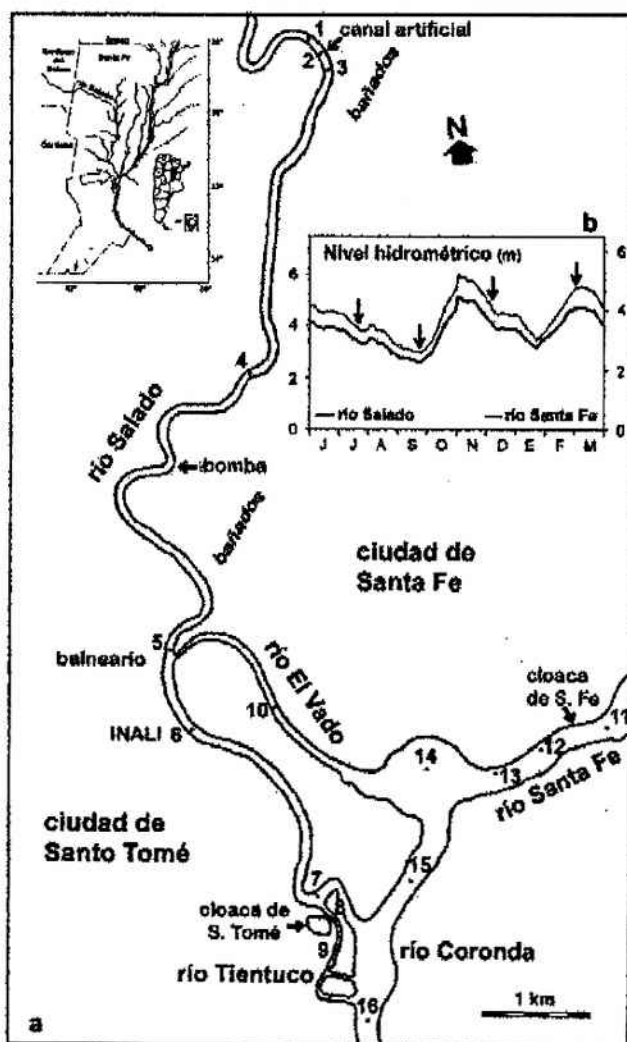
Los muestreos se realizaron con frecuencia estacional (Fig. 1b) en distintas condiciones hidrológicas: aguas bajas, con nivel hidrométrico (Nh) decreciente (Nh = 3,4 m; julio 1993) y mínimo (Nh = 2,7 m; setiembre 1993); aguas altas con nivel decreciente (Nh = 4m; diciembre 1993) y máximo (Nh = 4,7 m; marzo 1994). Los hidrogramas del período para el río Salado y Paraná se obtuvieron de la lectura de las escalas localizadas en el INALI (31° 39' 58" S y 60° 45' 17" O) y en el dique 2 del Puerto Santa Fe (31° 41' S y 60° 42' O), respectivamente.

Las muestras fueron obtenidas del agua subsuperficial con botella de Van Dorn horizontal en el centro del cauce en todos los sitios y fechas, excepto en los sitios 1-3 y 13-14 en los que no se efectuó el muestreo de julio 1993.

La temperatura, pH y conductividad del agua fueron medidas 'in situ' con un equipo electrónico Horiba y la transparencia fue estimada con un disco de Secchi. En laboratorio se efectuaron los análisis de oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), nitratos, nitritos, amonio y fosfatos (14), mientras que la clorofila *a* se determinó en espectrofotómetro a partir de extractos acetónicos, con corrección por feopigmentos (15). Las muestras de fitoplancton se preservaron con solución de Lugol y en heladera hasta ser contadas bajo microscopio invertido, siguiendo el método de Utermöhl (16). Las densidades de cada especie (células, colonias o filamentos) y grupo taxonómico se expresan en individuos por mililitro (ind. ml⁻¹). A partir de estos resultados se estimó la diversidad específica (17) y los

índices tróficos basados en los cocientes de abundancias de grupos taxonómicos indicadores de calidad del agua. Se utilizaron los índices: Chlorophyta/Bacillariophyceae, frecuentemente expresado C/D, usando la inicial del nombre común diatomeas con que se designa a la última clase y el cociente entre los órdenes Centrales y Pennales (C/P) de la clase Bacillariophyceae (18,19).

Figura 1 a: Mapa del área de estudio, indicando la localización de los 16 sitios analizados en el sistema tributario (ríos Salado y Tientuco) y en los cauces secundarios del río Paraná (ríos El Vado, Santa Fe y Coronda). Situación del área en la provincia de Santa Fe. **1b:** Hidrograma del río Salado, en el INALI (ciudad de Santo Tomé) y del río Santa Fe, en el dique 2 del Puerto de la ciudad homónima, indicando las fechas de muestreo.



Para el análisis de las diferencias entre los ríos, se obtuvieron los promedios de los resultados correspondientes a los sitios de los ríos Salado - Tientuco (grupo 1) y Santa Fe - Coronda (grupo 3), mientras que el río El Vado (grupo 2) se estudió separadamente a los efectos de determinar el probable ingreso de agua de los ríos Salado o Santa Fe. Se utilizó el ANOVA no paramétrico (Kruskal-Wallis) y el pos-test de Dunn para comprobar diferencias significativas en los valores medios entre los grupos de ríos a un nivel $< 0,05$ (20).

Para la clasificación de todas las muestras (sitios y fechas), se usó el coeficiente de similitud de Gower y el agrupamiento (UWPGMA: grupos pares no ponderados usando medias aritméticas), sobre la base de variables ambientales y biológicas con distribución normal: conductividad, DBO_5 , clorofila *a*, diversidad específica y densidad de Cryptophyceae, así como normalizadas (\log_{10}): nitratos y densidad de Bacillariophyceae Centrales, Cyanophyceae y Chlorophyceae (21).

Resultados y discusión

Hidrología y calidad físico-química del agua

Los hidrogramas de los ríos Salado y Santa Fe siguieron el mismo patrón temporal (Fig. 1b), si bien los regímenes hidrológicos del río Paraná y del tributario son independientes (6). Los ríos estudiados se caracterizaron por sus notables diferencias en los valores medios anuales de profundidad y caudal, los cuales aumentaron desde El Vado (2,8 m y $40 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) al Salado (4,2 m y $120 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) y, aún más, en el Coronda (9,5 m y $980 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) y Santa Fe (11 m y $1300 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$).

En promedio, los parámetros físicos y químicos presentaron los mayores valores en los ríos Salado-Tientuco (grupo 1), excepto temperatura, transparencia y oxígeno, los que fueron más altos en el Santa Fe-Coronda (grupo 3). Las diferencias en los valores medios anuales entre los grupos 1 y 3 fueron significativas, excepto en temperatura. Los valores promedios en el río El Vado (grupo 1), resultaron intermedios en comparación con los anteriores y sólo los correspondientes a transparencia y fosfatos fueron significativamente diferentes a los del grupo 3 (Tabla 1).

La variación longitudinal en la temperatura, transparencia, pH, conductividad y oxígeno disuelto (rango: $4\text{-}10 \text{ mg l}^{-1}$) fue relativamente homogénea en cada fecha tanto en el sistema tributario como en los ríos Santa Fe-Coronda. En ellos, los mayores valores se registraron en aguas bajas, con nivel hidrométrico decreciente y mínimo ($Nh \leq 3,4 \text{ m}$, julio y setiembre 1993, respectivamente), exceptuando la temperatura por presentar los mayores valores en coincidencia con el máximo nivel del agua ($Nh = 4,7 \text{ m}$, marzo 1994). El Vado se diferenció de los anteriores, por su mayor conductividad en las fases Nh decreciente ($Nh = 3,4 \text{ m}$ y 4 m , julio y diciembre 1993, respectivamente), lo cual sería un indicador de la mayor intrusión de agua del río Salado en esas condiciones hidrológicas (Fig. 2).

Como muestra la figura 2, los nutrientes y la DBO_5 presentaron diferencias entre sus patrones temporales, así como fluctuaciones espaciales más pronunciadas en el sistema tributario. En general, las concentraciones de nitratos y nitritos mantuvieron los valores más bajos y similares en aguas altas ($Nh \geq 4 \text{ m}$, diciembre 1993 y marzo 1994), mientras que los valores más altos se observaron en el último tramo del río Salado con el mínimo Nh (setiembre 1993). En cambio, los cauces secundarios presentaron las mayores concentraciones, aunque de menor magnitud, con el descenso del Nh (julio 1993). Los valores más altos de amonio y DBO_5 se observaron en Nh decreciente (diciembre 1993) y mínimo (setiembre 1993), condición en la que se destacan los picos registrados en el sitio 12 del río Santa Fe. Contrariamente a lo esperado, la concentración de fosfatos fue más alta en aguas altas ($Nh \geq 4 \text{ m}$, diciembre 1993 y marzo 1994), destacándose la mayor magnitud alcanzada en los ríos de menor caudal (Salado, Tientuco y El Vado).

Si bien los ríos de los grupos 3 (Santa Fe-Coronda) y 1 (Salado-Tientuco) mantuvieron una calidad físico-química del agua sustancialmente diferente, los rangos de variación de la mayor parte de los parámetros analizados fueron similares a los descriptos para sitios próximos en años anteriores, tanto en el Salado (10) como en el Santa Fe y Coronda (8, 9). En cambio, los altos valores detectados en el río El Vado lo diferenciaron de los rangos de variación observados en otros cauces secundarios del tramo medio del río Paraná, en los que la calidad

físico-química del agua se asemejó a la del cauce principal (13, 22). Como ya se señaló, esta diferencia fue causada por la intrusión del río Salado en períodos de descenso en el nivel del agua. Por el contrario, la penetración de agua del río Santa Fe en el río El Vado, mejoró la calidad físico-química de sus aguas en la fecha de Nh mínimo. Este efecto favorable, si bien no parece incidir sobre el río Salado, puede asemejarse al descrito para tributarios salinos contaminados cuando ingresa agua del cauce principal del río Paraná (4, 5).

Los resultados sobre la distribución espacial, particularmente amonio y DBO₅, revelaron que los aportes puntuales de contaminación orgánica tendrían un efecto local en el río Santa Fe (sitio 12), al disminuir la capacidad de dilución de los efluentes cloacales de la ciudad homónima (Nh mínimo). En cambio, la variación espacial de estos parámetros en el río Salado mostraría, además de la mayor contaminación en períodos de mínimo caudal, su ingreso desde áreas inundadas al descender el nivel del agua. También, la mayor concentración de fosfatos en ambos sistemas fluviales durante el período de aguas altas (Nh \geq 4 m), podría ser consecuencia de su ingreso desde zonas inundadas, el cual tendría mayor impacto en los ríos menos caudalosos. Estas consideraciones sobre la variación de la calidad del agua con respecto a las del nivel hidrométrico, indicarían que los compuestos transportados por los ríos no siempre responden a la conocida relación inversa entre concentración y nivel del agua, tal como fuera observado por otros autores (2, 3, 13).

Fitoplancton

Riqueza

Se registraron 171 taxa en la totalidad de las muestras analizadas. El número de taxa fue mayor en los ríos Santa Fe-Coronda (grupo 3) que en los ríos Salado-Tientuco (grupo 1). El comparativamente bajo número de taxa en el río El Vado (grupo 2) se atribuye al menor número de muestras analizadas (Tabla 2). En todos los grupos de ríos, el número de algas aumentó desde el estado de aguas bajas en descenso hasta aguas altas decrecientes (julio a setiembre y diciembre de 1993), pero disminuyó en el máximo Nh (marzo 1994): 58, 70, 97 y 79 (grupo 1); 31, 38, 44 y 31 (grupo 2) y 59, 69, 118 y 81 (grupo 3), respectivamente. Como puede observarse en la

tabla 2, la riqueza total se debió a las algas pertenecientes a las clases Chlorophyceae (62), Euglenophyceae (33), Bacillariophyceae (31), Cyanophyceae (16), Zygothryx (7), Tribophyceae (6), Cryptophyceae (6) y Chrysophyceae (5). Como se observa en la Tabla 2, el número de taxa propios de cada grupo de ríos fue bajo en comparación con el total. Si bien el número total de taxa fue alto, gran parte de las especies se observaron esporádicamente, lo cual parece ser un atributo de los ríos de llanura (1), causado por el alto aporte de algas originadas en otros hábitats (ticoplanctónicas).

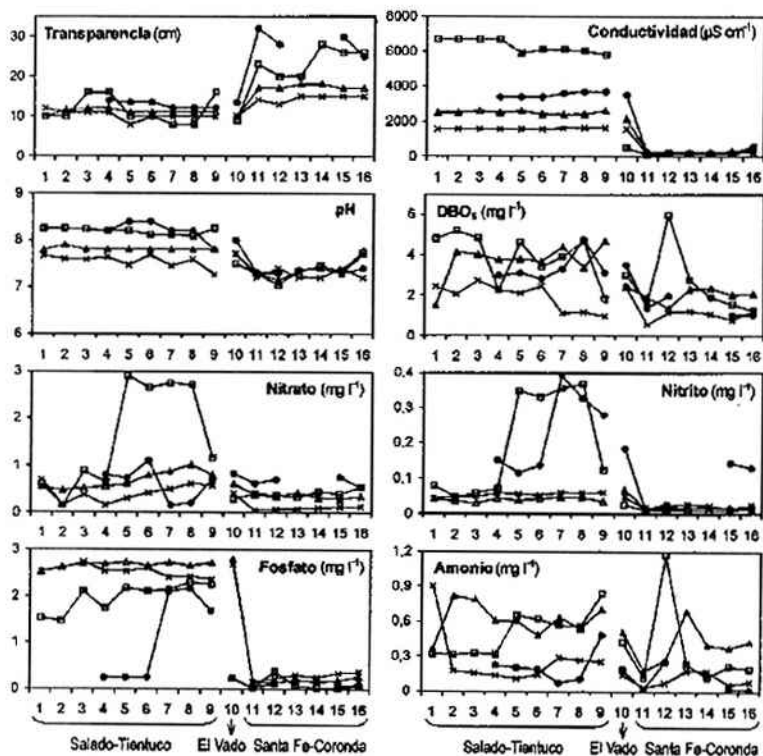
Las algas registradas con relativa frecuencia (\geq 10% de las muestras, Tabla 3) fueron 74 (43% del total) y pertenecieron principalmente a las clases Chlorophyceae (31), Bacillariophyceae (18), Cyanophyceae (9), Euglenophyceae (7) y Cryptophyceae (5). Entre ellas, sólo dos especies se encontraron exclusivamente en los ríos Salado-Tientuco (*Anabaenopsis arnoldii* y *Thalassiosira weissflogii*) y dos en los ríos Santa Fe-Coronda (*Anabaena spiroides* y *Aulacoseira italica*). Las algas restantes fueron halladas con distinto grado de constancia, resultando la mayoría (59) comunes a los 3 grupos de ríos o compartidas por 2 grupos: 8 (grupos 1 y 3), 2 (grupos 1 y 2) y 1 (grupos 2 y 3). Como puede observarse en la Tabla 3, las pocas algas constantes a lo largo del año fueron compartidas por dos o más grupos de ríos: 9, fueron comunes a los ríos Salado, Santa Fe y Coronda; 3, a los ríos Salado y El Vado; 1 a todos los cauces secundarios del río Paraná (Santa Fe, Coronda y El Vado) y 2, a todos los ríos estudiados.

Debido al alto número de algas esporádicas y a la presencia de la mayor parte de las relativamente constantes a lo largo del año en dos o más grupos de ríos, no resulta posible la caracterización biológica (presencia-ausencia de especies) de los ambientes estudiados. Sin embargo, es de destacar la mayor constancia de taxa pertenecientes a Bacillariophyceae Centrales y Cryptophyceae (principalmente *Cryptomonas*) en los ríos Santa Fe - Coronda, lo cual constituye un rasgo característico del fitoplancton del cauce principal del Paraná y sus cauces secundarios durante ciclos hidrológicos normales (8, 22, 23), así como de otros ríos de llanura, en lo referente al orden señalado en primer término (2, 3). En cambio, la mayor permanencia a lo largo del año de taxa

Tabla 1: Variables físicas y químicas en los cauces tributarios y secundarios del río Paraná (julio 1993-marzo 1994). Valores medios, coeficiente de variación (CV, %) y número de datos (n) para cada grupo de ríos. Las letras distintas (a y b, entre paréntesis) indican diferencias significativas.

cauces grupo de ríos n	tributarios		Secundarios del río Paraná			
	1. Salado y Tientuco 33		2. El Vado 4		3. Santa Fe y Coronda 22	
	media	CV	media	CV	media	CV
Temperatura (°C)	21,2	24 (a)	20,1	34 (a)	21,5	23 (a)
Transparencia (m)	0,11	18 (a)	0,11	19 (a)	0,20	28 (b)
pH	7,91	4 (a)	7,73	3 (a) (b)	7,33	2 (b)
Conductividad ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	3475	54 (a)	1921	66 (a) (b)	235	48 (b)
Oxígeno disuelto (mg l^{-1})	5,70	20 (a)	6,65	32 (a) (b)	8,50	15 (b)
DBO (mg l^{-1})	3,23	37 (a)	2,86	18 (a) (b)	1,76	62 (b)
Nitrato (mg l^{-1})	0,85	90 (a)	0,54	44 (a) (b)	0,35	58 (b)
Nitrito (mg l^{-1})	0,12	99 (a)	0,08	86 (a) (b)	0,03	130 (b)
Amonio (mg l^{-1})	0,42	58 (a)	0,32	56 (a) (b)	0,24	109 (b)
Fosfato (mg l^{-1})	2,16	33 (a)	1,49	97 (a)	0,17	67 (b)

Figura 2: Variables físicas y químicas en los sitios de muestreo de los 3 grupos de ríos (Salado-Tientuco, El Vado y Santa Fe-Coronda), en distintos estados hidrológicos: nivel hidrométrico bajo y decreciente (julio 1993: ●), mínimo (setiembre 1993: □), alto y decreciente (diciembre 1993: △) y máximo (marzo 1994: x).



pertenecientes a las clases Chlorophyceae (Chlorococcales y Volvocales), Cyanophyceae y Euglenophyceae en el sistema del río Salado, coincide con lo observado en ríos eutróficos templados (1, 2, 4).

Densidad y estructura

El promedio anual en la densidad del fitoplancton total y los correspondientes a la mayor parte de los grupos taxonómicos disminuyeron desde los ríos Salado-Tientuco (grupo 1) a El Vado (gru-

Tabla 2: Número de taxa de cada grupo taxonómico (clase/orden) hallados en el fitoplancton de los cauces tributarios y secundarios del río Paraná durante el período julio 1993-marzo 1994 (todos) y en cada grupo de ríos, indicando el número de taxa propios y compartidos por dos o tres grupos.

cauces grupo de ríos	tributarios		secundarios del río Paraná	
	1. Salado y Tientuco	2. El Vado	3. Santa Fe y Coronda	todos
n	33	4	33	59
Clase / Orden				
Cyanophyceae	13	7	16	16
Chlorophyceae	55	36	58	62
Chlorococcales	41	26	46	46
Volvocales	14	10	12	16
Zygophyceae	0	3	7	7
Ulothricophyceae	1	1	2	2
Bacillariophyceae	25	16	28	31
Centrales	11	8	12	14
Pennales	14	8	16	17
Chrysophyceae	2	0	4	5
Tribophyceae	3	1	5	6
Cryptophyceae	5	4	6	6
Dinophyceae	2	2	3	3
Euglenophyceae	23	14	20	33
Total de taxa	129	84	149	171
Taxa propios	16	3	29	
Taxa comunes a 1 y 2				3
Taxa comunes a 1 y 3				42
Taxa comunes a 2 y 3				10
Taxa comunes a 1, 2 y 3				68

po 2) y más aún en los ríos Santa Fe-Coronda (grupo 3), excepto Cryptophyceae y Bacillariophyceae (y su orden Centrales) cuyos promedios fueron mayores en el grupo 3 (Tabla 4).

El análisis estadístico demostró diferencias significativas entre los promedios del grupo 1 y 3, tanto en la densidad del fitoplancton total como en la correspondiente a los grupos taxonómicos, excepto Ulothricophyceae y Bacillariophyceae Pennales. En el río El Vado los valores de los promedios anuales resultaron generalmente intermedios y estadísticamente similares a los registrados en los otros dos grupos de ríos, excepto por la significativamente mayor densidad media de Euglenophyceae con respecto al grupo 3 (Tabla 4).

La densidad del fitoplancton varió en un amplio rango (144 - 28380 ind. ml⁻¹). Los valores fueron más altos en la fecha de mínimo nivel hidrométrico (setiembre 1993) y disminuyeron en los períodos de descenso en el nivel del agua (julio y diciembre 1993), aunque con fluctuaciones más pronunciadas entre sitios en los ríos Salado-Tientuco que en el Santa Fe-Coronda. La mayor similitud entre los grupos de ríos se observó en la fecha de máximo nivel del agua (marzo 1994), cuando la densidad del fitoplancton se mantuvo en los valores más bajos (Fig. 3).

En general, las variaciones en la densidad del fitoplancton de los ríos Salado - Tientuco y El Vado fueron explicadas por la densidad de Chlorophyceae (Volvocales y Chlorococcales), seguidas por Bacillariophyceae (Centrales y Pennales) y Cryptophyceae. En cambio, en los ríos Santa Fe - Coronda la densidad del fitoplancton dependió de las variaciones registradas por Bacillariophyceae Centrales y, en menor magnitud, por Cryptophyceae y Chlorophyceae Chlorococcales (Fig. 3). La densidad relativa media de los grupos taxonómicos (promedio de los porcentajes de participación con respecto a la densidad total en cada sitio y fecha) demostró diferencias sustanciales en la estructura de la comunidad entre los grupos de ríos. En los ríos Salado-Tientuco y El Vado dominaron las Chlorophyceae (51 vs 43%), seguidas por Bacillariophyceae (15,4 vs 25%), Cryptophyceae (13,9 vs 12,5%) y Cyanophyceae (9,5 vs 9,3%), en tanto que en los ríos Santa Fe-Coronda la dominancia correspondió a las Bacillariophyceae (61%) y la subdominancia a Cryptophyceae (17,3%) y Chlorophyceae (11,7%).

La mayor parte de la variación espacial y temporal en la estructura del fitoplancton se debió a unas pocas especies, muchas de las cuales fueron agrupadas considerando en lo posible sus estrategias de supervivencia, a los efectos de la representación gráfica. Como muestra la figura 4, 10 especies o grupos supraespecíficos explicaron más del 60% de la abundancia total en cada sitio y fecha, aunque con diferencias en los porcentajes de participación.

Los ríos Salado-Tientuco (Fig. 4) se caracterizaron por la dominancia de las Volvocales en los estados de aguas bajas decrecientes y mínimo nivel (media = 60% y 37%, en julio y setiembre, respectivamente), principalmente debido a la alta participación de especies de los géneros *Chlamydomonas* y *Pyramimonas*, aunque con mayor porcentaje del primero en la primer fecha y del segundo en la segunda fecha. Las Chlorococcales fueron subdominantes (media = 15% y 33%, en julio y setiembre, respectivamente), especialmente por la contribución de los géneros *Monoraphidium* y *Oocystis*, si bien en julio se advirtió una mayor participación del género *Cyclotella* (Bacillariophyceae Centrales) en algunos sitios. En cambio, en setiembre la densidad relativa de las especies del género *Cyclotella* fue mínima, resultando compartido el tercer lugar por la Ulothricophyceae *Planctonema lauterbornii* (9,5%) y el orden Pennales (10%), particularmente debido a los géneros *Nitzschia* y *Navicula*. También, en aguas bajas se destacó la mayor abundancia de *Chaetoceros muelleri* y *Thalassiosira weissflogii*, especies típicas de aguas salinas.

Por su parte, en los ríos Santa Fe-Coronda en aguas bajas la dominancia absoluta (Fig. 4) correspondió a las Bacillariophyceae Centrales (media = 62%, en julio 1993 y 70%, en setiembre 1993), explicada por las especies típicas del río Paraná (*Aulacoseira granulata* y *A. distans*). En aguas bajas decrecientes (julio 1993), subdominaron las Cryptophyceae (14%), con mayor aporte de especies de pequeño tamaño de los géneros *Rhodomonas* y *Chroomonas*, en tanto que en el estado de mínimo Nh (setiembre 1993) la subdominancia fue compartida, con similares porcentajes promedio (alrededor de 8%), por Cryptophyceae, Chlorophyceae y Cyanophyceae (*Chroococcus*, *Aphanocapsa* y *Merismopedia*). El río El Vado mantuvo la estructura

Figura 3: Densidad del fitoplancton y de los principales grupos taxonómicos (ind. ml⁻¹) e índices bióticos en los sitios de muestreo de los 3 grupos de ríos (Salado-Tientuco, El Vado y Santa Fe-Coronda), en distintos estados hidrológicos: nivel hidrométrico bajo y decreciente (julio 1993: ●, mínimo (setiembre 1993: □, alto y decreciente (diciembre 1993: △) y máximo (marzo 1994: x).

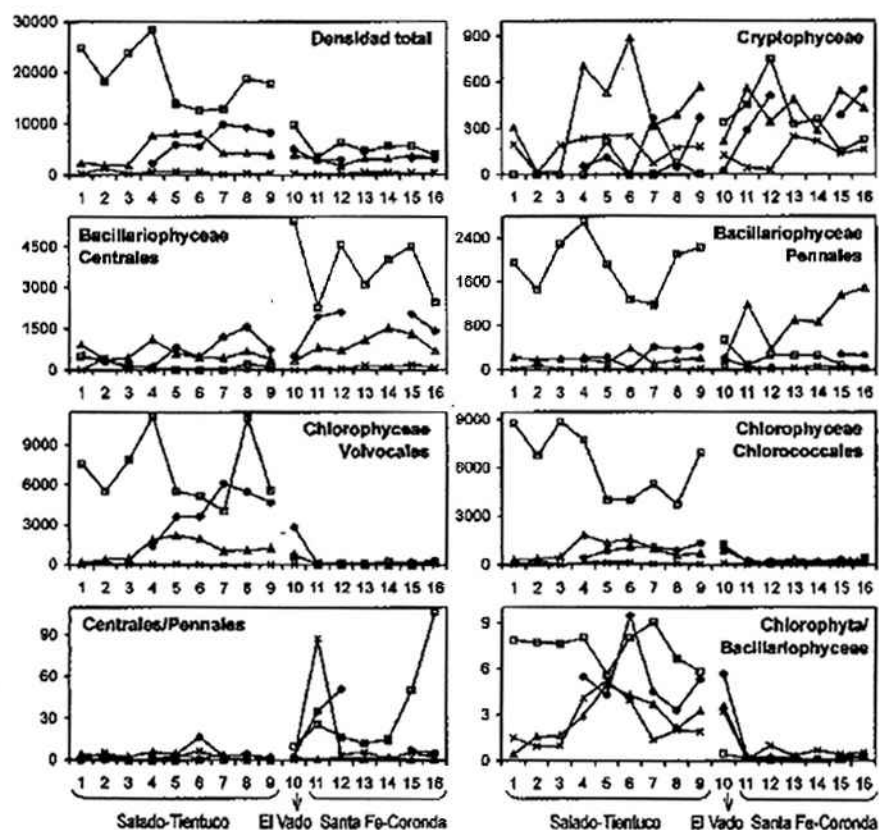


Tabla 3: Algas relativamente frecuentes en las muestras de los cauces tributarios y secundarios del río Paraná (n = 59). Se indican las frecuencias $\geq 10\%$ de n (-) y $\geq 30\%$ de n (+) para cada grupo de ríos y fechas (J: julio 1993; S: setiembre 1993; D: diciembre 1993; M: marzo 1994).

cauces grupo de ríos	tributarios				secundarios del río Paraná							
	1. Salado y Tientuco				2. El Vado				3. Santa Fe y Coronda			
fechas	J	S	D	M	J	S	D	M	J	S	D	M
n	6	9	9	9	1	1	1	1	4	6	6	6
CYANOPHYCEAE												
<i>Anabaena spiroides</i> Kleb.										+	+	
<i>Anabaenopsis arnoldii</i> Apt.	+	-	-		+	+				-		
<i>Aphanizomenon aphanizomenoides</i> (Forti) Hor. & Kom.	+	-	+	+	+	+					+	+
<i>Aphanocapsa delicatissima</i> W. West & G. S. West	+	+	+	+		+	+		+	-	+	+
<i>Chroococcus minutus</i> (Kütz.) Näg.		-	-	+					+	+	+	+
<i>Coelosphaerium kuetzingianum</i> Näg.	+	+	-									
<i>Merismopedia minima</i> Beck		+				+					-	
<i>Merismopedia tenuissima</i> Lemm.	+		+	+	+	+	+	+	+	-	+	+
<i>Raphidiopsis mediterranea</i> Skuja			+	-			+				+	
CHLOROPHYCEAE												
<i>Actinastrum hantzschii</i> var. <i>subtile</i> Wolosz.	+	+	+	-		+				+	+	-
<i>Chlamydomonas</i> cf. <i>microsphaerella</i> Pascher & Jahoda	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Chlamydomonas</i> cf. <i>pertusa</i> Chod.		+	+	+			+			-		-
<i>Chlamydomonas</i> sp.	+	+	+		+	+			+	+	-	
<i>Chlorogonium gracile</i> Matv.		+		+	+						-	
<i>Crucigenia quadrata</i> Morr.	+	-			+				+		+	-
<i>Crucigenia tetrapedia</i> (Kirchn.) W. West & G. S. West	-	+	-	+				+	+	-	+	+
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> Wood.	+	+	+	-	+	+			+		+	+
<i>Diplostauron haccardii</i> Bourr.	+	+	+	+	+	+	+	+	+			+
<i>Kirchneriella irregularis</i> (G. M. Smith) Kors.	+	+							+		-	-
<i>Monoraphidium circinale</i> (Nyg.) Nyg.	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	-	
<i>Monoraphidium contortum</i> (Thur.) Kom.-Legn.	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	-
<i>Monoraphidium convolutum</i> (Corda) Kom.-Legn.	+	+	+	+	+	+	+				+	+
<i>Monoraphidium griffithii</i> (Berk.) Kom.-Legn.	+	+	-		+	+	+		+	+	+	+
<i>Monoraphidium minutum</i> (Näg.) Kom.-Legn.		+	-			+				-	+	
<i>Nephroselmis angulata</i> (Kors.) Skuja	+	+	+	+	+		+		+			+
<i>Oocystis parva</i> W. West & G. S. West	-	+		+			+		+		+	+
<i>Oocystis pusilla</i> Hansg.	+	+	+	-	+	+			+	-	-	
<i>Oocystis rhomboidea</i> Fott			+			+					-	+
<i>Oocystis submarina</i> Lagerh.	+	+	+	-								
<i>Oocystis</i> sp.		+										-
<i>Phacotus minusculus</i> Bourr.	+	+	+	+	+	+			+		+	+
<i>Pteromonas angulosa</i> Lemm.	+	+	+	+	+	+	+		+	-		+
<i>Pteromonas limnetica</i> Hort.	+	+			+				+		+	+
<i>Pyramimonas minima</i> Pasch.	+	+	+	-	+	+	+		+	-		
<i>Scenedesmus acuminatus</i> (Lagerh.) Chod.	-	-	+	-						-	-	-
<i>Scenedesmus ecornis</i> (Ehrenb.) Chod.	-	-	-	+			+	+			+	+

continuación tabla 3

<i>Scenedesmus intermedius</i> Chod.		+	+	+		+	+		+	+
<i>Scenedesmus nanus</i> Chod.		-	+	+		+		-	-	-
<i>Scenedesmus quadricauda</i> (Turp.) Bréb.		-	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Tetrastrum glabrum</i> (Roll) Allstr. & Tiff.		-	+	+		+	+			-
ULOTHRICOPHYCEAE										
<i>Planctonema lauterbornii</i> Schmidle		-	+	+	-	+	+	+		+
BACILLARIOPHYCEAE										
<i>Aulacoseira distans</i> (Ehr.) Sim.						+		+	+	+
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehr.) Sim.		-	+	+		+		+	+	+
<i>Aulacoseira g.</i> var. <i>angustissima</i> (Müll.) Sim.						+		+	+	-
<i>Aulacoseira italica</i> (Ehr.) Sim.								+	+	+
<i>Chaetoceros muelleri</i> Lemm.		+	+	-		+	+	-	-	-
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kütz.		+	-	+	+	+	+	+	+	+
<i>Cyclotella cf. glomerata</i> Bachman		+		+	+	+	+	+	-	+
<i>Cyclotella cf. striata</i> (Kütz.) Grun.		+		+	+	+		+	+	-
<i>Fragilaria construens</i> (Ehr.) Grun.		-		+	+			+	-	+
<i>Navicula cryptocephala</i> Kütz.		-		+	+			+	-	
<i>Navicula cuspidata</i> (Kütz.) Kütz.		-	-	+	+	+		+	+	+
<i>Navicula</i> sp.		-	+	+	+	+		+		-
<i>Nitzschia acicularis</i> (Kütz.) W. Smith		+	+	+	-	+	+	+	+	-
<i>Nitzschia actinastroide</i> (Lemm.) Van Goor						+	+		+	+
<i>Nitzschia apiculata</i> (Greg.) Grun.		-	-	+	+			+	+	-
<i>Nitzschia reversa</i> W. Smith				+	-			+	+	+
<i>Synedra ulna</i> (Nitzsch.) Ehr.		+			-			+	+	+
<i>Thalassiosira weissflogii</i> (Grun.) Fryxell & Hasle		+	+	+						
CHRYSOPHYCEAE										
<i>Epipyxis</i> sp.		-		+				+	+	-
TRIBOPHYCEAE										
<i>Goniolochloris mutica</i> (A. Br.) Fott		-	+	-	+	+		+	+	-
CRYPTOPHYCEAE										
<i>Chroomonas acuta</i> Uterm.				-	+			+	+	+
<i>Cryptomonas erosa</i> Ehr.		+	-	+	+	+	+	+	+	+
<i>Cryptomonas ovata</i> Ehr.				-	+			+	+	+
<i>Cryptomonas pusilla</i> Bachm.		+	-	+	+	+	+	+	+	+
<i>Rhodomonas minuta</i> Skuja		-		+	+	+	+	+	+	+
DINOPHYCEAE										
<i>Protoperdinium achromaticum</i> (Levan.) Balech		+		+	+	+		+		+
EUGLENOPHYCEAE										
<i>Euglena caudata</i> Hubn.		-		+		+		+		-
<i>Euglena gracilis</i> Klebs.		+		-	+	+	+		-	-
<i>Euglena viridis</i> Ehr.		+	+			+				
<i>Phacus parvulus</i> Klebs.				+	+			+		-
<i>Phacus pyrum</i> (Ehr.) Stein		+	+	+		+				
<i>Strombomonas fluviatilis</i> (Lemm.) Defl.				+	+			+		-
<i>Trachelomonas oblonga</i> Lemm.		+	+		+	+			+	+

Tabla 4: Densidad del fitoplancton (total y principales grupos taxonómicos), clorofila *a* e índices bióticos en los cauces tributarios y secundarios del río Paraná (julio 1993-marzo 1994). Valores medios, coeficiente de variación (CV,%) y número de datos (n) para cada grupo de ríos. Las letras distintas (a y b, entre paréntesis) indican diferencias significativas.

cauces grupo de ríos n	tributarios		secundarios de río Paraná			
	1. Salado y Tientuco		2. El Vado		3. Santa Fe y Coronda	
	33		4		22	
	media	CV	media	CV	media	CV
Densidad (ind. ml⁻¹)						
Total	7895	101 (a)	4760	82 (a)(b)	2850	65 (b)
Cyanophyceae	807	116 (a)	408	118 (a)(b)	138	101 (b)
Chlorophyceae	5149	111 (a)	1865	82 (a)(b)	269	60 (b)
Chlorococcales	2144	129 (a)	814	61 (a)(b)	175	66 (b)
Volvocales	3005	108 (a)	1051	116 (a)(b)	94	92 (b)
Ulothricophyceae	534	175 (a)	240	141 (a)	86	92 (a)
Bacillariophyceae	1008	84 (a)	1811	155 (a)(b)	1971	74 (b)
Centrales	377	107 (a)	1579	165 (a)(b)	1608	89 (b)
Pennales	631	133 (a)	232	95 (a)	363	130 (a)
Cryptophyceae	197	113 (a)	175	77 (a)(b)	340	54 (b)
Euglenophyceae	130	94 (a)	137	99 (a)	13	161 (b)
Clorofila <i>a</i> (mg m⁻³)						
	17	78 (a)	13,8	60 (a) (b)	7	44 (b)
Índices bióticos						
Diversidad (bits ind. ⁻¹)	4	10 (a)	4,2	7 (a)	3,7	17 (a)
Centrales/Pennales	2,4	133 (a)	3,8	112 (a)	20	147 (b)
Chlorophyta/Bacillariophyceae	4,4	59 (a)	3,2	66 (a)	0,3	79 (b)

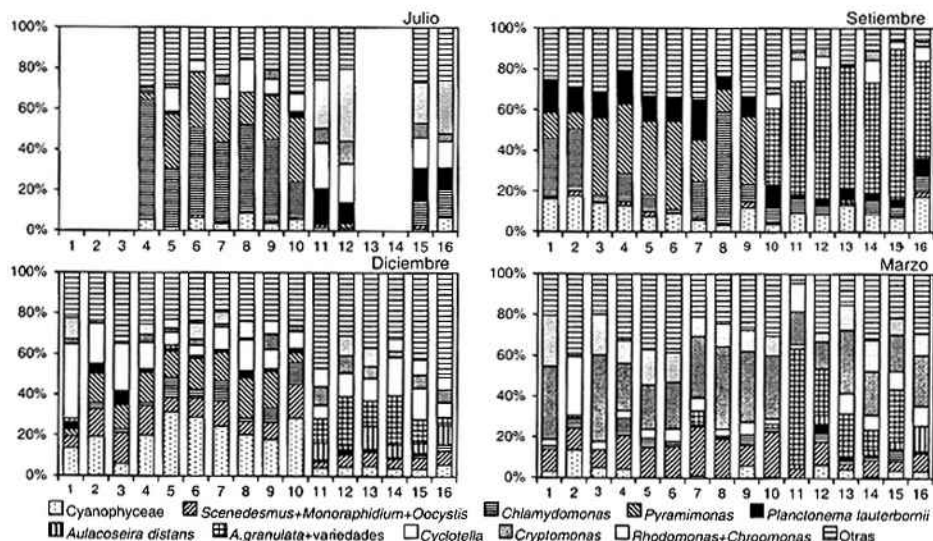
descrita para el Salado-Tientuco en aguas bajas en descenso y para los ríos Santa Fe-Coronda en la fecha de mínimo Nh (Fig. 4).

En aguas altas con nivel decreciente (diciembre 1993), los ríos Salado-Tientuco y El Vado se caracterizaron por la distribución más equitativa de la densidad del fitoplancton entre los grupos taxonómicos, tal como puede apreciarse por los promedios en la densidad relativa: Volvocales (23 vs 20%: *Pyramimonas* y *Chlamydomonas*), Cyanophyceae (20 vs 29%: *Aphanocapsa*, *Merismopedia* y *Aphanizomenon*), Chlorococcales (19 vs 24%: *Monoraphidium*, *Scenedesmus* y *Oocystis*) y Centrales (16 vs 8,5%: *Cyclotella*). Como puede observarse en la figura 4, la participación de los grupos mencionados varió entre los sitios y au-

mentó el porcentaje de las especies agrupadas como «Otras» (Euglenophyceae: 4,5 vs 8% y Pennales: 5,5 vs 4%). En los ríos Santa Fe-Coronda, las Bacillariophyceae Centrales (34%) fueron las principales contribuyentes a la densidad, aunque a diferencia del período de aguas bajas, aumentó la participación de *Cyclotella* en desmedro de las especies de *Aulacoseira*. También fue alta la participación de Pennales (32%: *Navicula* y *Nitzschia*), seguidas por Cryptophyceae (15%: *Rhodomonas* + *Chroomonas* y *Cryptomonas*) y por Chlorococcales (9%: *Monoraphidium*, *Scenedesmus* y *Oocystis*).

El aumento en el nivel del agua a su valor máximo favoreció a las Cryptophyceae en todos los ríos, cuyo porcentaje de participación promedio decreció desde los ríos Salado-Tientuco (42%) a El Vado (41%)

Figura 4: Contribución relativa de las principales especies y grupos taxonómicos supraespecíficos a la densidad total del fitoplancton en los sitios de muestreo de los 3 grupos de ríos (Salado-Tientuco: 1-9, El Vado: 10 y Santa Fe-Coronda: 11-16), en distintos estados hidrológicos: nivel hidrométrico bajo y decreciente (julio 1993), mínimo (setiembre 1993), alto y decreciente (diciembre 1993) y máximo (marzo 1994).



y aún más en los ríos Santa Fe-Coronda (32%). En los ríos Salado-Tientuco y El Vado dominaron las Cryptophyceae (*Cryptomonas* y *Rhodomonas* + *Chroomonas*) y subdominaron las Chlorococcales (19 vs 29%: *Scenedesmus* y *Monoraphidium*), seguidas por «Otras» (Pennales: 5,5 vs 6,5% y Euglenophyceae: 5,4 vs 8%), excepto en el sitio 2 en el que dominó *Cyclotella* (Fig. 4). En los ríos Santa Fe-Coronda, las Bacillariophyceae Centrales resultaron dominantes en promedio (33%) y aunque la especie mejor representada fue *Aulacoseira granulata*, su importancia decreció aguas abajo hasta valores indetectables en el río Coronda, mientras aumentó la participación de *Cyclotella* y *Aulacoseira distans*. En promedio, las Cryptophyceae resultaron subdominantes, si bien en algunos sitios superaron a las Bacillariophyceae, como se advierte en la figura 4. La presencia de *Aulacoseira granulata*, especie típica del río Paraná, en el río El Vado y en el río Salado, aguas abajo de su confluencia con El Vado, se considera un indicador de la intrusión del río Santa Fe, aunque de menor magnitud que la observada

en el río El Vado en el estado de mínimo Nh (setiembre 1993).

La densidad y estructura del fitoplancton a nivel de grandes grupos taxonómicos revela diferencias sustanciales del sistema tributario (ríos Salado-Tientuco) y, en menor proporción, del cauce secundario menos caudalosos (río El Vado), con respecto a los otros cauces secundarios de mayor caudal (ríos Santa Fe-Coronda). En los ríos Salado, Tientuco y El Vado se destacan los altos valores de densidad del fitoplancton, los que pueden ser explicados considerando las comparativamente mejores condiciones ambientales para el desarrollo algal (particularmente de Chlorophyceae), especialmente el mayor tiempo de residencia del agua y de incorporación de nutrientes (2, 3). No obstante, es de señalar que el ciclo hidrológico analizado no se observaron zonas de retención hidráulica en las riberas, las cuales favorecen el crecimiento de Cyanophyceae potencialmente tóxicas, tal como se observó para otros periodos de agua bajas (7). Si bien varias de especies de esta clase permanecieron durante el año,

sólo una con tales características (*Aphanizomenon aphanizomenoides*) se observó con baja densidad en aguas altas decrecientes. La alta participación de Chlorophyceae durante gran parte del año, también fue registrada en otros ríos poco caudalosos, salinos, eutróficos y sujetos a contaminación orgánica localizados en las provincias de Buenos Aires y Santa Fe (4, 5, 24, 25), así como en otros ríos del mundo (2). En comparación con los ríos estudiados por los autores citados, el fitoplancton de los ríos Salado-Tientuco y El Vado se diferenció por la dominancia de Volvocales, en los estados de Nh decreciente y mínimo, y de Cryptophyceae en el máximo Nh, exceptuando la fecha de mínimo nivel del agua en el río El Vado. La importancia de estos grupos algales puede atribuirse, tal como señalara Unrein (26), al comportamiento mixotrófico de muchas de las especies que lo integran en ambientes con contaminación orgánica.

Por lo que respecta a los ríos Santa Fe y Coronda, tanto el rango de variación en la densidad del fitoplancton como su estructura, resultaron similares a los descriptos para sitios próximos durante un ciclo hidrológico normal, destacándose la semejanza en la participación de la clase dominante (Bacillariophyceae: 60 y 58%, respectivamente), a pesar del tiempo transcurrido (8). Si bien la densidad media anual en el río Paraná aumenta desde su cauce principal a los cauces secundarios de menor tamaño, todos los ríos mantienen una estructura similar: dominancia de Bacillariophyceae Centrales y subdominancia de Chlorophyceae Chlorococcales o Cryptophyceae, de acuerdo a los estados hidrológicos (22, 23, 27). La dominancia de Bacillariophyceae y la temporal alternancia de Chlorococcales es un rasgo común de grandes ríos de llanura (2, 28). En lo referente a las Cryptophyceae, si bien se reconoce su constancia en otros ríos (29), su alta contribución a la densidad total en períodos de aguas altas, parece ser un carácter diferencial del fitoplancton del río Paraná, tal como fuera señalado para ciclos hidrológicos normales o extraordinarios, como consecuencia del fenómeno de El Niño-Oscilación Sur (27). En cambio, la comparativamente alta participación de Bacillariophyceae Pennales en aguas altas decrecientes se considera una característica circunstancial debida al drenaje de las aguas de inundación de la extensa llanura aluvial que aporta especies

fitoplanctónicas (31), desprendidas de los sustratos en los que se desarrollan.

Clorofila a e índices bióticos

El rango de variación en la concentración de clorofila a fue muy amplio (1-44 mg m⁻³) y explicado en gran parte por las fluctuaciones espaciales y temporales observadas en el sistema tributario. Los valores medios anuales de clorofila a decrecieron desde el grupo 1 (Salado-Tientuco) al 2 (El Vado) y, marcadamente, en el 3 (Santa Fe-Coronda), comprobándose diferencias significativas entre el primero y el último grupo (Tabla 4). En general, los patrones temporales siguieron a los descriptos para la densidad del fitoplancton. Los valores más altos de clorofila a se registraron en la fecha de mínimo nivel del agua en los ríos Salado-Tientuco y en los ríos Santa Fe-Coronda (setiembre, media = 33 y 10 mg m⁻³, respectivamente). En cambio, en el río El Vado la mayor concentración correspondió a aguas bajas decrecientes (julio = 20 mg m⁻³) y decreció ligeramente en setiembre (17 mg m⁻³) cuando se produjo el cambio en la estructura de la comunidad provocada por la penetración de aguas del río Santa Fe. Los valores más bajos coincidieron con el máximo nivel del agua en todos los grupos de ríos, con un decrecimiento promedio comparativamente mayor en los grupos 1 y 2 (1,5 mg m⁻³) que en el grupo 3 (2,9 mg m⁻³).

Las variaciones temporales y los valores medios en los ríos Santa Fe y Coronda fueron similares a los descriptos en sitios próximos casi 20 años atrás (9). La variación espacial en la concentración de clorofila a del río Salado resultó comparable con la observada en una cuenca tributaria salina, en la que el valor medio fue igual al promedio anual registrado en el río Salado (30). En comparación con otros ríos del mundo (1), los valores más altos de los ríos Salado-Tientuco ocupan la posición de los más eutróficos en tanto que los más bajos y el rango de variación observado en los ríos Santa Fe-Coronda corresponden a los citados para grandes ríos relativamente prístinos.

En lo referente a la diversidad específica del fitoplancton, sus valores fueron altos (generalmente mayores a 3 bits ind⁻¹), observándose un rango de variación mayor en los grupos de ríos 1 y 3 (3,1-4,8 bits ind⁻¹ y 2,7-4,6 bits ind⁻¹, respectivamente) que

en el río El Vado (3,9- 4,6 bits ind⁻¹). La mantenimiento de una alta diversidad en este río se atribuye a la presencia de especies provenientes tanto del río Salado como del Santa Fe. Los valores medios anuales decrecieron desde el grupo 1 al 3, pero sus diferencias no fueron significativas (Tabla 4). En todos los grupos de ríos se observó un incremento en la diversidad media desde el primer muestreo al tercero y una ligera disminución en el último, siguiendo las variaciones descritas previamente en lo relativo a la riqueza. Además, la máxima diversidad correspondió a aguas altas decrecientes, período en el cual se observó una más equitativa distribución de la densidad del fitoplancton entre las especies más importantes (ver Fig. 4).

La alta diversidad específica y la tendencia observada en relación a las variaciones en el nivel del agua en los ríos Santa Fe-Coronda, también corresponden a las registradas en el cauce principal y algunos cauces secundarios del río Paraná (31), así como a otros grandes ríos del mundo (1). En cambio, la diversidad específica en los ríos Salado-Tientuco resultó alta en relación a la obtenida en otros estudios realizados en ríos contaminados (4, 24) y similar a la registrada en el tributario salino antes citado (30), el cual mantiene una mejor calidad del agua. Estas comparaciones parecen demostrar el menor grado de contaminación del río Salado o su mayor poder de autodepuración.

En lo referente al cociente entre la densidad de Chlorophyta y Bacillariophyceae (C / D), sus variaciones fueron consistentes con las observadas en la densidad de los grupos taxonómicos dominantes en cada grupo de ríos (Fig. 3). Los valores medios anuales decrecieron desde el grupo 1 (ríos Salado-Tientuco) al 2 (río El Vado) y en forma muy acentuada en el 3 (ríos Santa Fe-Coronda), comprobándose diferencias significativas del primero y el segundo con respecto al último (Tabla 4). Los valores medios para cada fecha en los ríos Santa Fe-Coronda y El Vado, en aguas bajas (setiembre 1993), fueron iguales o inferiores a 0,5, indicando la dominancia de Bacillariophyceae. En los ríos Salado-Tientuco y El Vado (en las restantes fases hidrológicas), los valores promedios fueron superiores a 2,5, registrándose un máximo de 7,4 en el sistema tributario al disminuir al mínimo Nh (setiembre 1993). Como muestra la figura 3, el índice obtenido en el río El Vado se

asemejó al de los ríos Salado-Tientuco, excepto en la fecha de mínimo Nh.

El promedio anual del índice basado en la abundancia de Bacillariophyceae Centrales y Pennales (C / P) fue significativamente mayor en los ríos Santa Fe-Coronda que en los otros dos grupos de ríos, aunque los coeficientes de variación resultaron altos en todos los grupos de ríos (Tabla 4). Los promedios del índice para cada fecha revelaron tendencias distintas en cada grupo de ríos. Los valores medios del índice inferiores a 1, es decir mayor abundancia de Pennales con respecto a Centrales, sólo se observaron en los ríos Salado-Tientuco y El Vado en las fechas de mínimo y máximo nivel del agua (setiembre 1993 y marzo 1994, respectivamente). En cambio en los ríos Santa Fe-Coronda, el índice promedio más bajo (1,1) correspondió a aguas altas en descenso (diciembre 1993). En las restantes fechas la densidad de Centrales superó a la de Pennales, si bien las especies responsables fueron distintas, principalmente entre las Centrales de los grupos de ríos 1 y 3, y las fluctuaciones entre sitios fueron pronunciadas (Fig. 3).

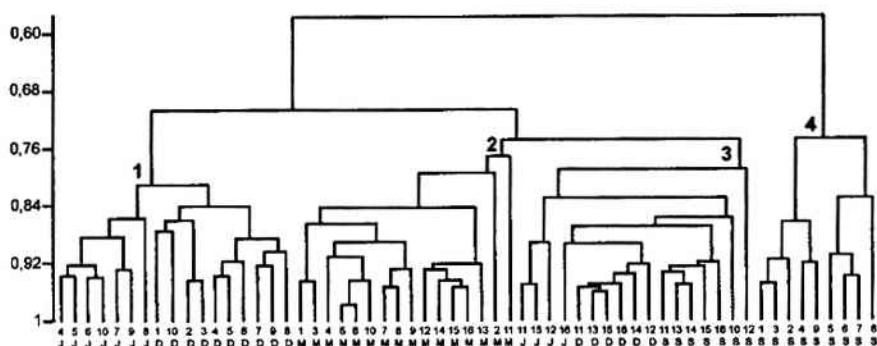
Los resultados obtenidos sobre las variaciones del índice C / D en los ríos Salado-Tientuco son similares a las descritas en un río sujeto a fluctuaciones espaciales y temporales en el grado de contaminación orgánica (24). En cambio, los ríos Santa Fe-Coronda presentaron siempre valores bajos del índice ($\Sigma 1$), circunstancialmente registrados en el estudio citado, debido a la comparativamente mayor densidad de Bacillariophyceae y, en consecuencia, la mejor calidad del agua. En lo que respecta al índice C / P, los valores encontrados en el río estudiado por los autores mencionados son comparables con los observados en los ríos Salado-Tientuco y El Vado cuando la densidad de Centrales fue igual o 2-3 veces mayor que la de Pennales (aguas altas decrecientes y Nh máximo, y además, en aguas bajas decreciente en el río El Vado). Por el contrario, los ríos Santa Fe-Coronda, caracterizados por la neta predominancia de Centrales típicas del río Paraná, sólo presentó valores tan bajos y similares a los del trabajo referido cuando descendieron las aguas de inundación, aunque en este caso se debió al ingreso de una mayor proporción de especies de Pennales desarrolladas en otros hábitats y no a un aumento en la contaminación.

Similitud entre sitios y estados hidrológicos

En la figura 5 se presenta el resultado del análisis de agrupamiento de los sitios y estados hidrológicos, obtenido a partir de los coeficientes de

similitud, usando algunas variables ambientales indicadoras del grado de salinidad, eutrofización y contaminación, así como de la abundancia y estructura del fitoplancton, mencionadas en material y métodos.

Figura 5: Dendrograma basado en los coeficientes de similitud entre muestras (sitios y fechas), usando variables ambientales (conductividad, nitrato y DBO) y biológicas (clorofila *a*, diversidad específica, densidad de Cyanophyceae, Chlorophyceae, Cryptophyceae y Bacillariophyceae Centrales). Se indica la formación de 4 grupos (1, 2, 3 y 4). Los números de los sitios son los de la figura 1 y las letras son las iniciales de los meses de muestreo (julio 1993, setiembre 1993, diciembre 1993 y marzo 1994).



El dendrograma muestra la formación de 4 grupos. El grupo 1 reúne a todos los sitios de los ríos Salado, Tientuco y El Vado en los estados de aguas en descenso (julio y diciembre 1993), los que formaron a un mayor nivel de similitud un subgrupo para cada fecha. El grupo 2 se formó con los sitios de todos los ríos (Salado, Tientuco, El Vado, Santa Fe y Coronda) en la fecha de máximo nivel del agua (marzo 1994). No obstante la mayor homogeneidad del agua de los ríos en la fecha de máxima dilución, se formaron 2 subgrupos que diferencian a los ríos Salado, Tientuco y El Vado con respecto a los ríos Santa Fe y Coronda, excepto los sitios 2 y 11, ubicados aguas arriba en los respectivos sistemas fluviales, los que se agregaron después de la unión de los subgrupos anteriores. El grupo 3 correspondió a todos los sitios de los ríos Santa Fe y Coronda en las restantes condiciones hidrológicas: aguas en descenso (julio y diciembre 1993) y mínimo nivel del agua (setiembre 1993), así como al río El Vado en la última fecha. Este grupo reúne a subgrupos que, en

general, correspondieron a cada fecha, aunque se advierte una mayor diferencia de las muestras de setiembre del río El Vado y el sitio 12 del río Santa Fe, ubicado frente a los desagües de efluentes cloacales de la ciudad de Santa Fe. El grupo 4 reunió a todos los sitios de los ríos Salado y Tientuco en la fecha de mínimo nivel del agua. La mayor diferencia de este grupo con respecto a los anteriores se visualiza por su unión, a un menor nivel de similitud, al grupo conformado por los 3 primeros (grupos 1, 2 y 3).

El método de clasificación utilizado permitió visualizar muchas de las observaciones realizadas en la exposición individual de los resultados, destacándose las mayores diferencias entre las condiciones hidrológicas en los ríos Salado-Tientuco y El Vado, con respecto a las registradas en los ríos Santa Fe-Coronda, así como la similitud del río El Vado con el Salado-Tientuco, aún en la fecha de máxima dilución, con la única excepción del estado de aguas bajas cuando se comporta como un cauce secundario semejante a los otros dos (Santa Fe y Coronda).

Conclusiones

Si bien a escala regional los regímenes hidrológicos de los ríos Paraná y Salado, tributario del sistema, son independientes, los hidrogramas siguen el mismo patrón temporal durante el período estudiado, característico de ciclos hidrológicos normales.

El análisis de las variaciones espaciales y temporales en los parámetros físicos y químicos demuestra la persistencia de sustanciales diferencias en la calidad del agua entre el río tributario (río Salado-Tientuco: grupo 1) y los cauces secundarios del río Paraná (ríos Santa Fe y Coronda: grupo 3), especialmente debidas a la mayor conductividad, pH, nutrientes y DBO_5 , y la menor transparencia y oxígeno disuelto en el grupo 1 en comparación con el grupo 3. En cambio, la calidad del agua del río El Vado (grupo 2) se asemeja a la del río Salado en los períodos de nivel hidrométrico decrecientes y máximo ($N_h \geq 3,4$ m), si bien más diluida, y a la del río Santa Fe en la fase de mínimo N_h (2,7 m). Por otra parte, los aportes puntuales de contaminación orgánica, principalmente detectados por el amonio y la DBO_5 , tienen una incidencia local vinculada con la relación entre los caudales del efluente y del cauce receptor. En general, las fluctuaciones se relacionan con los cambios hidrológicos, observándose la mayor homogeneidad físico-química entre los ríos en el estado de nivel hidrométrico máximo.

Los atributos de la comunidad también indican diferencias notables entre los ríos. La riqueza específica es alta en los ríos Santa Fe-Coronda (149 taxa), disminuye en los ríos Salado-Tientuco (129) y es baja en el río El Vado (84), como consecuencia del bajo número de muestras analizadas. Si bien las condiciones ambientales de los ríos comparados son diferentes, no resulta posible la caracterización biológica de la comunidad (presencia - ausencia de especies) debido al alto número de especies esporádicas y a la presencia de la mayor parte de las algas relativamente constantes a lo largo del año en dos o más grupos de ríos.

En cambio, el mayor tiempo de residencia del agua y la alta oferta nutritiva en los ríos menos caudalosos (Salado-Tientuco y El Vado, excepto en aguas bajas) favorecen el desarrollo algal (densidad y clo-

rofila a), principalmente de especies de pequeño tamaño pertenecientes a la clase Chlorophyceae (Volvocales: *Pyramimonas* y *Chlamydomonas* y Chlorococcales: *Monoraphidium*, *Scenedesmus* y *Oocystis*), seguidas por Bacillariophyceae (Centrales: *Cyclotella*, y Pennales: *Nitzschia* y *Navicula*) y Cryptophyceae (*Cryptomonas*, *Rhodomonas* y *Chroomonas*). De acuerdo a las estrategias de supervivencia las especies de la clase dominante (Chlorophyceae) son C-estrategas o invasoras, típicas de ambientes eutróficos, en tanto que las especies de Cryptophyceae que caracterizan los períodos de aguas altas parecen poseer rasgos intermedios entre las estrategias R y C (aclimatables-invasoras). Por el contrario, en los ríos Santa Fe-Coronda (y en El Vado sólo en aguas bajas), la abundancia del fitoplancton es comparativamente baja. Las Bacillariophyceae, particularmente Centrales, resultan dominantes debido a la alta participación de especies filamentosas de mayor tamaño: *Aulacoseira granulata* y *A. distans* (R-estrategas, adaptadas para vivir en condiciones de variable iluminación y profundidad de la capa de mezcla), seguidas por Chlorophyceae Chlorococcales (*Monoraphidium* y *Scenedesmus*) y por Cryptophyceae (*Cryptomonas*, *Rhodomonas* y *Chroomonas*) en aguas altas. La dominancia de distintos grupos taxonómicos se expresa en los índices tróficos: el cociente Chlorophyta / Bacillariophyceae es mayor en los ríos más eutróficos (grupo 1 y 2, excepto este último en aguas bajas), mientras que el cociente Centrales / Pennales es mayor en los ríos más prístinos del grupo 3, excepto por el bajo valor en aguas altas decrecientes, el cual no se relaciona con el aumento de la eutrofización sino con el mayor ingreso de Pennales con las aguas de inundación.

La estructura de la comunidad muestra alteraciones en las proporciones relativas de las especies o grupos supraespecíficos más importantes (sólo 10 explicaron más del 60% de la abundancia total) con los cambios hidrológicos, pero retiene una composición específica básica integrada por especies eu- o meropláctónicas ampliamente tolerantes a las condiciones propias de cada sistema fluvial, agregándose otras especies esporádicas cuya presencia en el flujo principal de los ríos parece depender del grado de interacción con las zonas de retención hidráulica de los propios cauces y los cuerpos

de agua de la llanura de inundación, además de las procedentes de otros hábitats o aportadas por los ingresos de aguas residuales urbanas e industriales.

En síntesis, en el contexto de las interacciones hidrodinámicas en el área de confluencia de ríos con distinto régimen hidrológico y calidad del agua, los resultados obtenidos demuestran la intrusión del tributario (río Salado) en el cauce secundario menos caudaloso (río El Vado), el cual actúa como un canal de desagüe del tributario (reversión en la dirección del flujo) y recupera los atributos de la comunidad propios de los cauces secundarios al ingresar agua del río Santa Fe en la fecha de mínimo nivel del agua. Además, la presencia de *Aulacoseira granulata*, especie típica del río Paraná, en el río Salado en aguas altas (aguas abajo de su confluencia con El Vado), actúa como único indicador del ingreso del río Santa Fe, ya que no se registran cambios en la calidad del agua ni en los atributos generales del fitoplancton. Por otra parte, debido a que el período estudiado corresponde a ciclos hidrológicos normales en ambos sistemas fluviales, no se observan episodios de remanso hidrodinámico ocasionados por el mayor nivel del agua del cauce receptor que impida el flujo natural del agua del tributario y crea condiciones favorables para el desarrollo de especies de Cyanophyceae potencialmente tóxicas, tal como se menciona para otros períodos.

Agradecimientos

Este trabajo fue realizado con el apoyo financiero del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) en el marco del Proyecto PID-BID N° 0230. También se contó con el apoyo del CAI+D 12/G307 (Universidad Nacional del Litoral). Agradecemos a los Sres. Ramón Regner y Eduardo Lordi por su colaboración en la realización de los muestreos.

Bibliografía

1. Rojo, C.; Alvarez Cobelas, M. and Arauzo, M., 1994. An elementary, structural analysis of river phytoplankton. *Hydrobiologia* **289**: 43-55.
2. Reynolds, C.S. and Descy, J.-P., 1996. The production, biomass and structure of phytoplankton in large rivers. *Arch. Hydrobiol./Suppl.* **113**, Large Rivers **10**: 161-187.

3. Everbecq, E.; Gosselain, V.; Viroux, L. and Descy, J.-P., 2001. Potamon: a dynamic model for predicting phytoplankton composition and biomass in lowland rivers. *Wat. Res.* **35**, 4: 901-912.
4. O'Farrell, I.; Lombardo, R.; Tezamos Pinto, P. and Loez, C., 2002. The assessment of water quality in the Lower Luján River (Buenos Aires, Argentina): phytoplankton and algal bioassays. *Envir. Pollution* **120**: 207-218.
5. García de Emiliani, M.O., 1994. Fitoplancton y características ambientales de un arroyo contaminado (arroyo San Lorenzo, Santa Fe, Argentina). *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Lit.* **24-25**: 57-64.
6. INCyTH, 1986. «Caracterización hidrológica de la cuenca del río Salado». Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídrica-Centro Regional Litoral (Santa Fe), I, 169.
7. Emiliani, F. y García de Emiliani, M.O., 2003. Predicción de la calidad bacteriológica de las aguas naturales en ambientes urbanos. Influencia de El Niño-Oscilación Sur. *Rev. Arg. Microbiol.* **35**: 8-18.
8. 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.
9. Perotti de Jorda, N., 1981. Fitoplancton del río Paraná Medio (Santa Fe, Argentina). Su variación en relación a factores ambientales en algunos cauces secundarios. *Ecología* **6**: 79-84.
10. Maglianesi, R. y Depetris, P., 1970. Características químicas de las aguas del río Salado Inferior (provincia de Santa Fe, República Argentina). *Physis* **30**, 80: 19-32.
11. Bonetto, A.A. and Wais, I.R., 1995. Southern South American streams and rivers. In: Cushing, C.E.; Cummins, K.W. and Minshall, G.W. (eds.). "River and stream ecosystems". Elsevier (Amsterdam): 257-294.
12. Drago, E., 1989. Morphological and hydrological characteristics of the floodplain ponds of the Middle Paraná River (Argentina). *Rev. Hydrobiol. Trop.* **22**, 3: 183-190.
13. Vasallo, M. y Kieffer, L., 1984. Estudios limnológicos en una sección transversal del tramo medio del río Paraná, VII: Química del agua. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral* **15**, 2: 97-108.
14. Greenberg, A. E.; Clesceri, L.S. and Eaton, A.D., 1992. "Standard methods for examination of water and wastewater". 18th ed., American Public Health Association, (Washington).
15. Marker, A. F.; Nush, E.; Rai, H. and Riemann, B., 1980. The measurement of photosynthetic pigments in freshwater and standardization of methods: conclusions and recommendations. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.* **14**: 91-106.
16. Utermöhl, H., 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen

Phytoplankton Methodik. Mitt. int. Ver. Limnol. **9**: 1-38.

17. Shannon, C. E. and Weaver, W., 1949. "The mathematical theory of communication". Univ. Illinois Press (Urbana): 177.

18. Nygaard, G., 1949. *Hydrobiological studies in some ponds and lakes*. II: The quotient hypothesis and some new or little known phytoplankton organisms. Kgl. Danske. Vidensk. Selsk. Biol. Skrifter **7**,1: 1-293.

19. Margalef, R., 1983. "Limnología". Omega (Barcelona): 1010.

20. Sokal, R.R. y Rohlf, F.J., 1979. «Biometría. Principios y métodos estadísticos en la investigación biológica». Blume (Madrid): 832.

21. Legendre, L. and Legendre, P., 1979. "Ecologie numérique.2: La structure des données écologiques". Masson (Paris): 274.

22. García de Emiliani, M.O., 1997. Effects of water level fluctuations on phytoplankton in a river-floodplain lake system (Paraná River, Argentina). *Hydrobiologia* **357**: 1-15.

23. Zalocar de Domitrovic, Y., 1999. «Estructura y dinámica del fitoplancton en la cuenca del eje potámico Paraguay-Paraná (Argentina)». Tesis doctoral, U.N.C. (Córdoba): 375.

24. del Giorgio, P.A.; Vinocur, A.L.; Lombardo, R.J. and Tell, G., 1991. Progressive changes in the structure and dynamics of the phytoplankton community along a pollution gradient - a multivariate approach. *Hydrobiologia* **224**: 129-154.

25. O'Farrell, I., 1994. Comparative analysis of the phytoplankton of fifteen lowland fluvial systems of the River Plate Basin (Argentina). *Hydrobiologia* **289**: 109-117

26. Unrein, F., 2002. Changes in phytoplankton community along a transversal section of the Lower Paraná floodplain, Argentina. *Hydrobiologia* **468**: 123-134

27. García de Emiliani, M.O. y Devercelli, M., 2003. Influencia del fenómeno de «El Niño» sobre el transporte y la estructura del fitoplancton en el cauce principal del río Paraná Medio, Argentina. *Bol. Soc. Argent. Bot.* **38**, 1-2: 29-38.

28. Lewis, W.M. Jr.; Hamilton, S.K. and Saunders, J.F., 1995. Rivers of Northern South America. In: Cushing, C.E.; Cummins, K.W. and Minshall, G.W. (eds.). "River and stream ecosystems". Elsevier (Amsterdam): 219-256.

29. Gosselaín, V.; Descy, J.-P. and Everbecq, E. 1994. The phytoplankton community of the River Meuse, Belgium: seasonal dynamics (year 1992) and the possible incidence of zooplankton grazing. *Hydrobiologia* **289**: 179-191.

30. García de Emiliani, M.O. y Anselmi de Manavella, M.I., 1989. Fitoplancton y variables ambientales en la cuenca del río Saladillo (Santa Fe, Argentina). *Rev. Brasil. Biol.* **49**, 4: 957-967.

31. Anselmi de Manavella, M. y García de Emiliani, M.O., 1995. Composición y dinámica del fitoplancton en una sección transversal del río Correntoso (llanura aluvial del río Paraná). *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral* **26**: 39-54.