

VARIACIÓN ESTACIONAL DEL FITOPLANCTON EN LA CUENCA INFERIOR DEL RÍO SALADO (PROVINCIA DE BUENOS AIRES)

M. E. BAZZURI, N. GABELLONE Y L. SOLARI

Instituto de Limnología «Dr. R. Ringuelet» (ILPLA), CONICET-UNLP. Florencio Varela, Argentina
elisab@ilpla.edu.ar

ABSTRACT. The main aim of this survey was to analyze seasonal variations in phytoplankton composition, relating its behaviour to temperature and conductivity, at El Destino (ED) sampling site in the Salado river lower-basin. A total of 28 phytoplankton samples were taken twice a week from 9/3 to 20/7/2004 and were analysed according to Utermöhl method. In total, 145 algae taxa were identified, although rare species were discarded in order to avoid statistical misinterpretation. Correlation coefficients and autocorrelation analyses (Q-Ljung-Box statistic) were performed in order to establish seasonal patterns of species abundance. Significant autocorrelations ($p < 0.05$) were observed between phytoplankton species and temperature-conductivity patterns, thus illustrating their seasonal behaviour. Moreover, taxa were grouped according to their occurrence during different water temperature periods: (1) a 'summer' group, included 41 species that were well represented during warm-waters ($>22^{\circ}\text{C}$) like *Planctonema lauterbornii*, *Chondrocystis dermochroa*, *Geminella interrupta*, *Chroococcus* spp., *Merismopedia* spp., among others; (2) a 'winter' group, which included 10 species whose highest densities were reached during the cold-waters period ($<12^{\circ}\text{C}$) for e.g. *Binuclearia* sp., *Nitzschia fruticosa*, *Schroederia indica*, *Microcystis firma*; (3) a 'transitional' group, of only 4 species with abundance peaks during 'intermediate' conditions (15.5°C average) with *Closteriopsis acicularis* and *Nodularia spumigena* being the most remarkable; and (4) an 'indifferent' group, with 29 species of random behaviour whose autocorrelations remain within confidence limits, like *Thorakochloris nygaardii*, *Pseudoanabaena limnetica*, *Monoraphidium giffithii*, *Scenedesmus linearis*, etc. An evident seasonal succession was detected, having species substitution from summer warm-stagnant adapted species to cold-waters favoured ones, hence indicating different successional stages.

Keywords: seasonal succession, potamoplankton, autocorrelation, time series, Salado River.

Palabras clave: sucesión estacional, potamoplankton, autocorrelación, series en el tiempo, Río Salado.

INTRODUCCIÓN

La estacionalidad del fitoplancton, a través de sus cambios en la densidad y composición de especies, ha sido objeto de numerosos estudios, y especialmente descrita en lagos (Garnier *et al.*, 1995). Sin embargo para los ríos, los factores que regulan el desarrollo del fitoplancton y su periodicidad estacional están menos documentados y son aún poco comprendidos (Reynolds, 1988). Desde hace tiempo se ha reconocido que la comunidad del fitoplancton experimenta cambios significativos a lo largo de un mismo año, comúnmente denominada como 'sucesión estacional', aún cuando presenta mayores similitudes con la sucesión terrestre que con su aspecto estacional (Padisák, 1994). Como consecuen-

cia de los tiempos generacionales cortos, muchas generaciones están implicadas, y por lo tanto, las comunidades del plancton están considerablemente expuestas a los disturbios, mayormente determinados por los cambios en las condiciones meteorológicas (Sommer *et al.* 1993).

A partir del reconocimiento de la existencia de poblaciones fitoplanctónicas nativas en los grandes ríos, se ha prestado una especial atención a las condiciones ambientales a las cuales están expuestas, tales como la turbulencia, los cortos tiempos de residencia, y la conectividad hidrológica: en relación a los backwaters, y como un factor clave en los sistemas de planicies de inundación del río (Reynolds, 1988; de Ruyter van Steveninck *et al.*, 1992; Ietswaart *et al.*, 1999). Estudios re-

cientes, focalizados en las fluctuaciones estacionales del fitoplancton de ríos, enfatizan la importancia de la dinámica longitudinal, dado que la adición de esta dimensión tiende a simplificar las interacciones (Garnier *et al.*, 1995). Por otra parte, estudios en la parte inferior del río Spree expresan que las diferencias estacionales en el crecimiento algal pueden ser atribuidas a cambios en los patrones de mezcla en las regiones de origen (lagos), que les permitirían tener distintas preadaptaciones al movimiento de mezcla turbulenta (Köhler, 1993). Sin embargo, los factores que varían estacionalmente, como la temperatura del agua, contribuyen significativamente a la selección de especies en el río San Joaquín (California, USA), debido a su influencia sobre las tasas de crecimiento algal (Leland, 2003).

La retención del río y la heterogeneidad del flujo de corriente son mecanismos que incrementan el tiempo de residencia y promueven las oportunidades para el desarrollo de los organismos del plancton (Reynolds y Descy, 1996). Además, la presencia de zonas de almacenamiento (zonas someras sobre el cauce y brazos de río) favorece el crecimiento de las poblaciones del potamoplancton por medio de la incorporación de inóculos, teniendo las velocidades de corriente y las fluctuaciones de caudal una importancia determinante en este intercambio (Reynolds, 1995; Walz & Welker, 1998).

Existen numerosos estudios referidos al plancton de la cuenca inferior del río Salado, pero ninguno de éstos comprende un muestreo intensivo (O' Farrell, 1993; Neschuk *et al.*, 2002). Sin embargo, Quaini *et al.* (2005) representa una excepción, dado que se realizaron análisis fisico-químicos durante 4 meses, con una frecuencia de muestreo de 2-3 veces por semana. Otros trabajos, describen la dinámica del plancton en la laguna San Miguel (backwater), su influencia sobre el cauce principal del río Salado y el rol de los patrones de conductividad y nutrientes como factores controladores de la comunidad planctónica a nivel de cuenca (Gabellone *et al.* 2001, 2005; Solari *et al.*, 2002). A su vez, también enfatizan la importancia de la geomorfología y las condiciones hidrológicas para el desarrollo del plancton, sugiriendo que la dinámica y el origen del potamoplancton estarían relacionados a

los aportes de los ambientes lénticos asociados (backwaters y lagunas).

Como es mencionado por Legendre (1993), la autocorrelación es una propiedad muy general de las variables ecológicas, especialmente de aquellas observadas a lo largo de series en el tiempo (autocorrelaciones temporales) o a través del espacio geográfico (autocorrelación espacial). En este sentido, y a través de las autocorrelaciones temporales, este trabajo presenta una herramienta para establecer patrones estacionales entre variables fisico-químicas y variaciones de la abundancia del fitoplancton. Mientras que los coeficientes de correlación toman las especies individuales como un todo, el procedimiento aplicado tiene la ventaja adicional de discernir el comportamiento de cada especie, teniendo como resultado autocorrelogramas, que pueden ser comparados con los patrones hallados para las variables ambientales. Debe mencionarse que este análisis estadístico representa una novedad para los estudios del río Salado, dado que es la primera vez que se realiza un muestreo intensivo durante varios meses, el cual permite un análisis de series en el tiempo.

El objetivo principal de este estudio fue analizar las variaciones estacionales de las especies del fitoplancton, relacionando su comportamiento con la temperatura y otras variables físicas en un sitio de muestreo (paraje El Destino) en la cuenca inferior del río Salado. Los objetivos particulares del presente son: **(1)** analizar la estructura espacial y temporal así como la dinámica del fitoplancton en la cuenca inferior del río Salado, **(2)** establecer, a través de las autocorrelaciones, el comportamiento estacional de las especies y su interdependencia con las variables ambientales como factores forzantes, y **(3)** determinar la presencia de asociaciones algales y su pertenencia a los principales grupos taxonómicos del fitoplancton.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El río Salado es el río autóctono más largo de la provincia de Buenos Aires y el último tributario de la cuenca del río de La Plata. Es un típico río de llanura, con una pendiente media de 0,107 m.km⁻¹, y una longitud de 571 km, cubriendo 150.000 km²

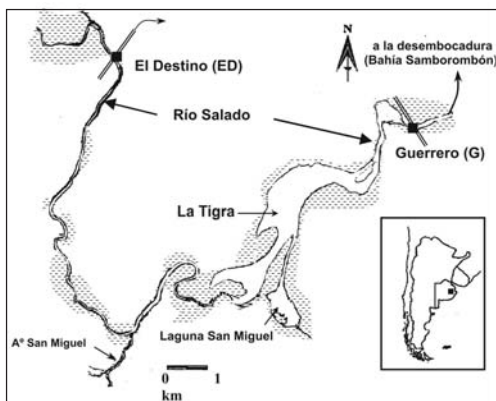


Figura 1. Mapa del área de estudio, mostrando la estación de muestreo El Destino (ED) en la cuenca inferior del río Salado.

de cuenca. Su planicie de inundación incluye gran cantidad de lagunas con diferentes grados de conectividad al río, que en condiciones normales ocupan 1.000 km². El régimen hidrológico del río Salado es muy variable, teniendo flujos de corriente que exceden los 1.500 m³.s⁻¹ durante periodos de inundación, mientras que en condiciones de sequía nunca supera los 100 m³.s⁻¹, con una consecuente variación en la conductividad y el transporte de materiales sólidos particulados. El clima es húmedo-templado, con una precipitación media anual de 899 mm.

El presente estudio comprende la estación de muestreo El Destino (ED) (35° 57' S; 58° 01' W), la cual se encuentra a 108 km de su desembocadura (Fig. 1) y a 462 km de su nacimiento, y constituye el comienzo de la cuenca inferior del río Salado (Gabellone *et al.*, 2001; Solari *et al.* 2002).

Análisis del fitoplancton

Las muestras fueron tomadas dos veces por semana desde el 9/Marzo hasta el 20/Julio de 2004, alcanzando un total de 28 muestras. Cada muestra se obtuvo de la integración de tres muestras tomadas de manera equidistante a lo largo de una transecta perpendicular al cauce. En cada punto de la transecta, se realizaron mediciones *in situ* de las variables ambientales (temperatura, pH, conductividad, salinidad, oxígeno disuelto y turbidez) utilizando un sensor múltiple Horiba U-10, siendo luego promediadas. Las muestras de fitoplancton fueron colectadas con una botella de Van Dorn, y preservadas en Lugol acético al 1%. El análisis cuantita-

tivo se realizó según la técnica de Utermöhl en cámaras de 5 ml, y los taxa fueron identificados hasta el mayor nivel taxonómico posible siguiendo bibliografía específica, tales como Germain (1981), Komárek & Anagnostidis (1999, 2005), Komárek & Fott (1983), Patrick & Reimer (1975) y Tell & Conforti (1986), entre otros. Se calculó la frecuencia relativa (FR) para cada taxón y las especies con baja ocurrencia (< 30% de FR) fueron descartadas para evitar, en lo sucesivo, interpretaciones estadísticas erróneas. También se obtuvo la riqueza de especies (número de taxa) para cada muestra analizada.

Análisis estadístico

Se realizaron correlaciones de Pearson (momento-producto) para establecer relaciones significativas entre las variables ambientales (pH, conductividad, turbidez, oxígeno disuelto, temperatura y salinidad) y la abundancia del fitoplancton (ind.mL⁻¹). Los datos fueron previamente transformados logarítmicamente para satisfacer los supuestos del test paramétrico, y los valores de probabilidad fueron corregidos por Bonferroni.

Se utilizaron coeficientes de autocorrelación para establecer las similitudes entre los patrones de abundancia de especies y variables físicas, en especial, de la temperatura del agua. Las autocorrelaciones se muestran en correlogramas, con valores de los coeficientes en las ordenadas y las distancias de clases en estaciones de muestreo (o fechas de muestreo en este caso) en las abscisas (Legendre, 1993). Además, se utilizó el estadístico Q de Ljung-Box como un método complementario de contrastación para la detección de aleatoriedad en los datos. Se aplicaron técnicas de suavizamiento (medias móviles de segundo orden y suavizamiento exponencial a =.2) sólo en los casos donde los datos presentaban un patrón estacional débil, con una probabilidad de Q no significativa (p < 0.05).

RESULTADOS

Variables ambientales

Los valores registrados para las distintas variables ambientales se encuentran enumerados en la Tabla 1. Los valores de pH estuvieron dentro del rango alcalino

	El Destino
Temperatura (°C)	15.21 (± 6.1) 25.8 - 6.07
Conductividad (mS.cm ⁻¹)	8.27 (± 2.48) 12.57 - 5.59
pH	8.31 (± 0.28) 9.53 - 7.95
Salinidad (mg.L ⁻¹)	0.46 (± 0.16) 0.72 - 0.3
Oxígeno disuelto (mg.L ⁻¹)	6.46 (± 2.41) 2.82 - 11.97
Turbidez (NTU)	247.88 (± 128.9) 72 - 445

Tabla 1. Parámetros físico-químicos. Se muestran los valores medios y su desviación estándar (primer a fila) y los rangos observados (segunda fila) de cada parámetro.

con valores máximos a comienzos del muestreo, mientras que los mínimos se registraron a mediados de Abril. Con respecto a la turbidez, los resultados no muestran una clara tendencia, dado que los valores registrados varían con elevada frecuencia. Los valores de oxígeno disuelto, estuvieron relacionados a las condiciones hidráulicas dominantes, al presentar una tendencia creciente hacia el invierno, con mayores valores durante Junio-Julio y menores durante bajos caudales, en Marzo-Abril. Un patrón similar fue observado para la salinidad, registrándose los mínimos durante el invierno (debido a la dilución de las sales) y los máximos valores a comienzos del estudio en el mes de Marzo (verano).

Durante el período de estudio, la temperatura del agua y la conductividad presentaron una clara tendencia decreciente. El máximo valor de temperatura (25,8°C) fue registrado el 30 de Marzo y el mínimo (6°C) el 1° de Julio (Fig. 2). De acuerdo a los resultados de las autocorrelaciones, pueden diferenciarse dos períodos significativos: **(1)** 'aguas cálidas', con temperaturas superiores a los 22°C, las cuales se establecieron desde el comienzo del muestreo hasta mediados de Abril y **(2)** 'aguas frías' con temperaturas inferiores a los 12°C, establecidas desde el 1° de Junio en adelante. Entre estas dos categorías podría establecerse un periodo de 'aguas transicionales' **(3)** con temperaturas medias de 15,5°C (Fig. 4-a).

La conductividad del río está relacionada a las prevalecientes condiciones hidrológicas, y presenta un patrón muy similar al de la temperatura (Fig. 4-b), al registrarse los valores más altos (12,57 mS.cm⁻¹) durante el primer período de muestreo, de clara correspondencia con la fase de 'aguas cálidas'. A partir de mediados de Abril, los valores de conductividad presentaron un marcado descenso (7,98 mS.cm⁻¹) y se mantuvieron relativamente estables hasta alcanzar el valor mínimo (5,6 mS.cm⁻¹) a fines de Junio (Fig. 2).

En cuanto al análisis de correlaciones ($n = 28$), se encontraron coeficientes positivos significativos para la abundancia del fitoplancton y las variables físicas: conductividad ($r = 0.7889$, $p < 0.05$), temperatura ($r = 0.78$, $p < 0.05$) y salinidad ($r = 0.7929$, $p < 0.05$). Mientras que para el

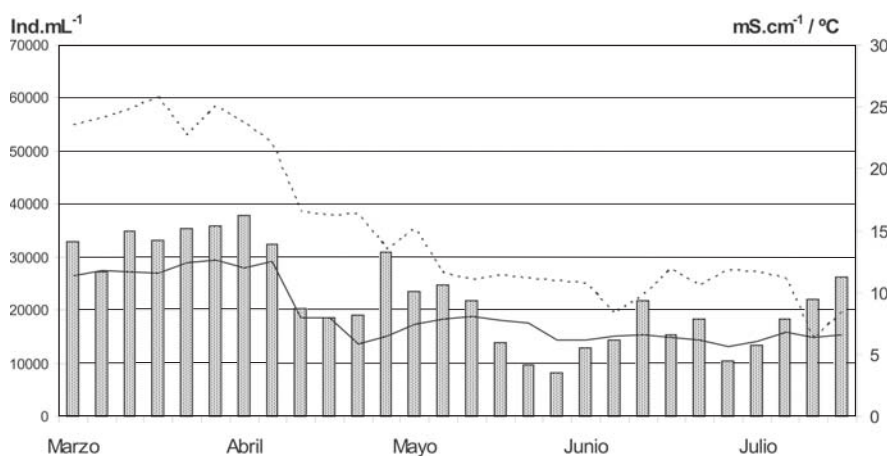


Figura 2. Parámetros físicos y abundancia del fitoplancton en El Destino: temperatura del agua (°C) en línea de puntos y conductividad (mS.cm⁻¹) en línea continua; totales de individuos (ind.mL⁻¹) en barras pautadas.

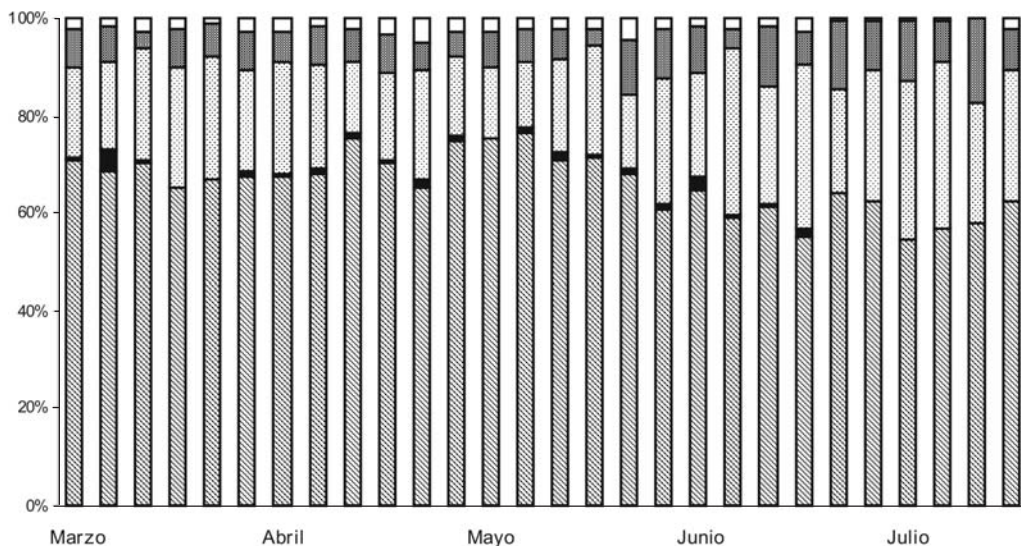


Figura 3. Porcentajes de los principales grupos algales (del total de individuos) a lo largo del muestreo: Clorofitas en rayado diagonal, Cianofitas en punteado suave, Diatomeas en sombreado, Criptofitas en blanco y Euglenofitas en negro.

oxígeno disuelto se encontró una relación significativa negativa ($r = -0.545$, $p < 0.05$).

Composición taxonómica del fitoplancton

Durante este estudio, se identificó un total de 145 especies, siendo las Clorofitas el grupo más relevante con un 55,17% del total de especies registradas. En orden de importancia, son seguidas por las Cianofitas (20,69%), Diatomeas (11,72%) y en último término por las Euglenofitas (8,28%). Entre los taxa menos representativos pueden mencionarse las Criptofitas (2,76%) así como las Xantofitas y los Dinoflagelados que presentaron el mismo porcentaje (0,7%). Con respecto a la riqueza de especies, se encontró un gran número taxa por muestra (68 en promedio), y en términos generales, la riqueza mínima se observó durante los meses de invierno, en el período de ‘aguas frías’ ($S = 45$), mientras que la máxima se registró durante el período de ‘aguas cálidas’ ($S = 88$), correspondiente al verano.

En cuanto al análisis cuantitativo (ind. mL^{-1}), las Clorofitas dominaron durante todo el período de muestreo, alcanzando hasta el 67,63% del total de individuos (Fig. 3). Entre las especies más abundantes pueden mencionarse a las Chlorococcales (*Scenedesmus* spp., *Monoraphidium*

spp., *Scotiellopsis reticulata*, *Tetraedrum minimum*, *Oocystis marsonii*, *Crucigenia* spp. y *Kirchneriella* spp.) y algunas formas filamentosas (*Planctonema lauterbornii* y *Geminella interrupta*). Le siguen las Cianofitas (21,27%), siendo las Chroococcales las más representativas *Chondrocystis*, *Merismopedia*, *Chroococcus* y *Microcystis*. También se registraron algunas formas filamentosas como *Anabaenopsis circularis*, *Anabaena aphanizomenoides* y *Oscillatoria* sp., aunque menos frecuentes. Los restantes grupos algales no superaron el 10% del total de individuos y, en orden de importancia se encuentran las Diatomeas, Criptofitas, Euglenofitas, Dinoflagelados y Xantofitas. Entre las Diatomeas, los taxa más representativos fueron *Achnanthes* sp., *Nitzschia fruticosa*, *N. communis*, *Pseudostaurosira brevistriata* var. *inflata* y *Navicula cryptocephala*. En este sentido, debería mencionarse que ninguno de los taxa identificados superó el 5% de frecuencia relativa a lo largo del muestreo, lo que evidencia una comunidad fitoplanctónica muy diversa y heterogénea sin notorios dominantes.

Estacionalidad del fitoplancton

Los taxa con baja ocurrencia (<30% de frecuencia) fueron descartadas, quedando 84 para el análisis de autocorrelaciones.

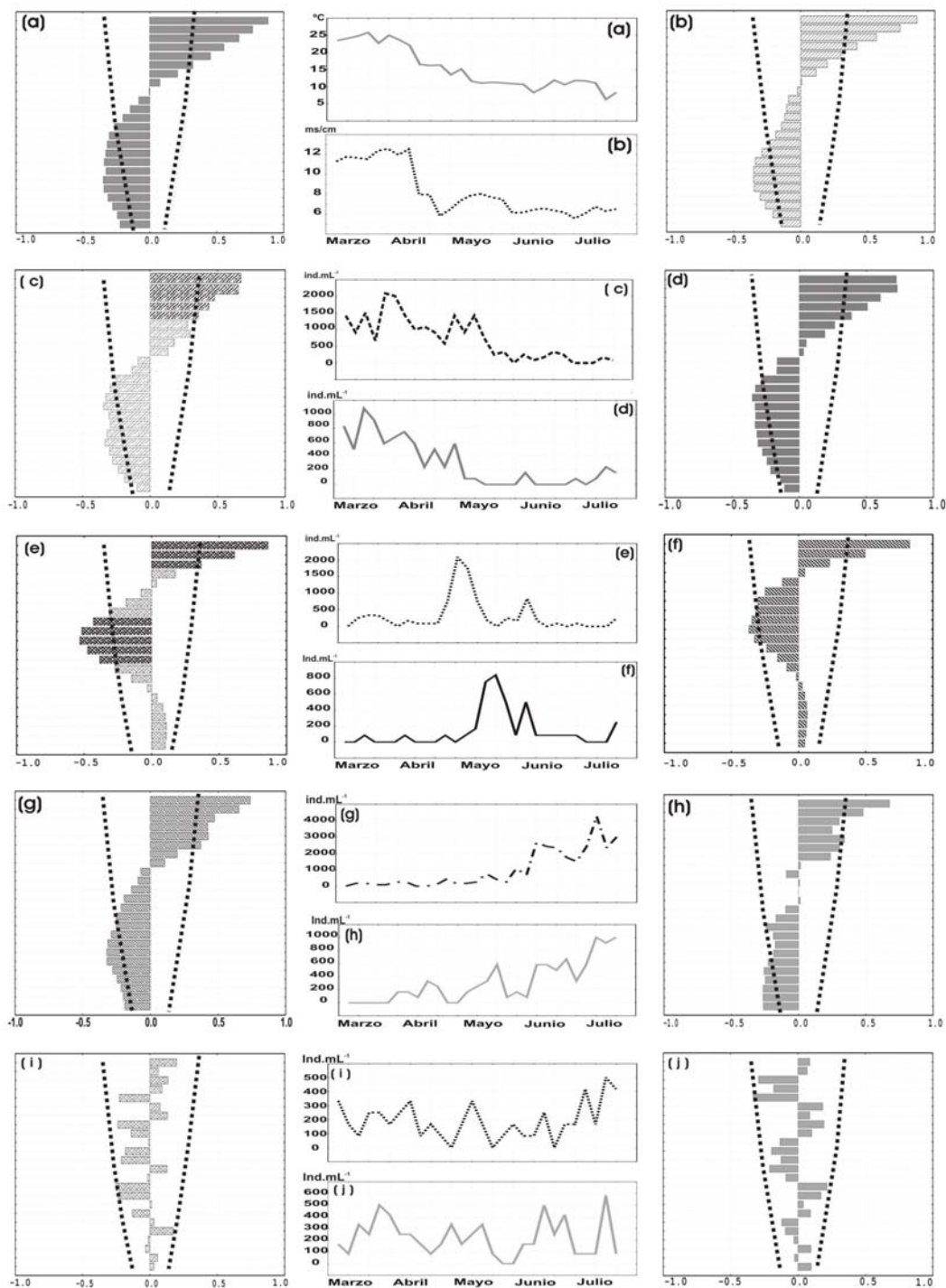


Figura 4. Autocorrelaciones de los parámetros físicos y la abundancia de las especies de El Destino. Los taxa fueron seleccionados teniendo en cuenta su abundancia y ajuste a las variables ambientales para cada grupo estacional. Los autocorrelogramas se muestran en las columnas de la extrema derecha e izquierda, con los límites de confianza en líneas de puntos. En la columna central se grafican las variaciones a lo largo del estudio (de Marzo a Julio) de los parámetros físicos y las abundancias de las especies (ind.mL⁻¹). (a) Temperatura (°C), (b) Conductividad ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), grupo de 'verano' con (c) *Planctonema lauterbornii* y (d) *Chroococcus limneticus*; grupo de 'transición' con (e) *Closteriopsis acicularis* (medias móv. de 2° orden) y (f) *Nodularia spumigena* (medias móv. de 2° orden); grupo de 'invierno' con (g) *Microcystis firma* y (h) *Binuclearia* sp. y el grupo de 'indiferentes' con comportamiento al azar, (i) *Pseudostaurosira brevistriata* var. *inflata* y (j) *Monoraphidium griffithii*.

Este paso fue realizado a fin de evitar interpretaciones estadísticas erróneas, esto es, obtener distribuciones 'al azar' debidas a baja frecuencia y no a un comportamiento aleatorio en sí mismo.

Teniendo en cuenta el autocorrelograma de cada taxa y la variación de su abundancia, pudieron determinarse cuatro grupos de taxa con directa correspondencia a los patrones de temperatura y las condiciones hidráulicas del río, estimadas a través de la conductividad. En concordancia con los períodos de temperatura del agua, los taxa fueron agrupados según su comportamiento estacional en: (1) grupo de 'verano', con representantes muy abundantes durante el período de aguas cálidas (>22°C); (2) grupo de 'invierno', cuyos in-

tegrantes presentan un creciente desarrollo durante el período de aguas frías (<12°C); (3) grupo de 'transición', que incluye unas pocas especies con densidades elevadas solo en este intervalo de condiciones intermedias (15,5°C en promedio) y (4) grupo de 'indiferentes', con taxa que presentan comportamiento al azar con Q estadísticos altamente significativos ($p < .05$) y la permanencia de los coeficientes de autocorrelación dentro de los límites de confianza (Tabla 2).

(1) Grupo de Verano

La mayor parte de los taxa analizados (41) fueron clasificadas en este grupo, y sus integrantes se caracterizan por presentar altas densidades durante las pri-

Especies de aguas cálidas (41)

Achnanthes sp. Bory
Aphanocapsa delicatissima W. et G. S. West
Chondrocystis dermochroa Kom. et Anag
Chroococcus dispersus (Keissler) Lemmerm.
Chroococcus limneticus Lemmermann
Chroococcus minutus (Kützing) Nägeli
Chroomonas coerulea (Geitler) Skuja
Coelastrum microporum Naegeli
Coenochloris planconvexa Hind.
Crucigenia quadrata Morren
Crucigenia rectangularis (A. Braun) Gay
Didimocystis bicellularis (Chod.) Kom.
Dyctiosphaerium ehrebergianum Naegeli
Dyctiosphaerium pulchellum Wood
Geminella interrupta (Thurpin) Lagerheim
Golenkinia radiata (Chodat) Wille
Kirchneriella irregularis (Smith) Kors
Kirchneriella obesa (West.) Schmidle
Melosira numuloides (Dillw.) Agardh
Merismopedia glauca (Ehrenberg) Kützing
Merismopedia minima Beck
Merismopedia tenuissima Lemmermann
Microcystis aeruginosa Kützing
Monoraphidium arcuatum (Kors.) Hind. forma
Monoraphidium contortum (Thurpin) Legn.
Monoraphidium convolutum (Corda) K.-Legn
Monoraphidium minutum (Näg.) Kom.-Legn.
Nitzschia communis Rabenhorst
Oocystis marsonii Lemmermann
Oocystis parva West & West
Planctonema lauterbornii Schmidle
Scenedesmus acutus Meyen
Scenedesmus acunae (?)
Scenedesmus intermedius Chodat
Scenedesmus intermedius var. acaudatus Hortob.
Scotiellopsis reticulata (Lund) Punc. et al.
Spirulina laxissima West (?)
Spirulina platensis Watanabe & Ischimura (?)
Tetraedron minimum (A. Braun) Hansgirg
Tetraedron trigonum (Näg.) Hansgirg
Tetraspora sp. Link

Especies transicionales (4)

Closteriopsis acicularis (Smith) Bel. & Swale
Franciaea droescheri (Lem.) Smith
Kirchneriella pseudoaperta Komarék
Nodularia spumigena Mertens

Especies de aguas frías (10)

Anabaena spiroides Klebahn
Anabaenopsis circularis (West) Wolosz. & Miller
Binuclearia sp. Wittrock
Coelasphaerium sp. Naegeli
Lagerheimia subsalsa Lemmermann
Microcystis firma (Kützing) Schmidle
Nitzschia fruticosa Hustedt
Peridinium sp. Ehrenberg
Pseudoanabaena limnetica (Lemmermann) Kom.
Scenedesmus ecornis (Ehrenb.) Chod.
Schroderia indica Philipose

Especies indiferentes (comportamiento al azar) (29)

Actinastrum gracillimum Lagerheim
Anabaena aphanizomenoides Forti
Cosmarium sp. Corda
Cryptomonas pusilla Bachm.
Cyclotella meneghiniana Kützing
Geitlerinema amphibium (Agardh ex Gomont) Anag.
Lobocystis planctonica (Tiff. & Ahlstr.) Fott
Monoraphidium giffithii (Berk.) Ko.-Legn.
Monoraphidium komarkovae Nyg.
Monoraphidium tortile (W. et G. S. West) Kom.-Leng.
Navicula cryptocephala Kütz.
Nitzschia acicularis W. Smith
Oocystis borgei Snow
Oocystis solitaria Wittrock
Oscillatoria tenuis Agardh ex Gomont
Pediastrum boryanum (Turpin) Meneghini
Pediastrum tetras (Ehrenberg) Ralfs
Phacus granum Drezepolsky
Pseudostaurosira brevistriata var. inflata (Pant.) Edlund
Raphidiopsis mediterranea Skurja
Scenedesmus communis Hegewald
Scenedesmus linearis Kom.
Scenedesmus longispina (Turp.) Kütz.
Scenedesmus obliquus (Turp.) Kütz.
Scenedesmus opoliensis Richter
Schroderia setigera (Schroeder) Lemm.
Tetrastrum triangulare (Chod.) Kom.
Thorakochloris nygaardii Komarék

Tabla 2. Lista de taxa de acuerdo a su comportamiento estacional.

meras semanas del muestreo, con temperaturas superiores a los 22°C (Fig. 4-c y 4-d). El grupo algal dominante en estas condiciones fue el de las Clorofitas, en especial las Chlorococcales *Kirchneriella* spp., *Scenedesmus* spp., *Crucigenia rectangularis*, *C. quadrata*, *S. reticulata*, *T. minimun*, *Didimocystis bicellularis*, *Monoraphidium* spp., *Oocystis marsonii*, y también algunas formas filamentosas como *P. lauterbornii* y *G. interrupta*. En segundo orden de importancia se encontraron Cianofitas Chroococcales tales como *Aphanocapsa delicatissima*, *Chondrocystis dermochroa*, *Merismopedia tenuissima*, *M. glauca*, *Chroococcus limneticus*, *C. minutus* y *C. dispersus*.

(2) Grupo de Transición

Todas las especies categorizadas en este grupo presentaron picos de abundancia durante condiciones de aguas 'intermedias' (temperatura promedio: 15,5°C), pero con densidades poco importantes durante la mayor parte del muestreo. Solo 4 especies tuvieron este comportamiento, siendo *Closteriopsis acicularis* y *Nodularia spumigena* las más representativas (Fig. 4-e y 4-f).

(3) Grupo de Invierno

Este grupo está caracterizado por la presencia de 10 taxa con creciente desarrollo hacia fines del muestreo, principalmente en los meses de Junio y Julio, en concordancia con el período de 'aguas frías' con temperaturas inferiores a los 12°C (Fig. 4-g y 4-h). Entre los taxa más importantes se encuentran: *Microcystis firma*, *Anabaenopsis circularis*, *Anabaena spiroides*, *Nitzschia fruticosa*, *Peridinium* sp., *Schroederia indica*, *Binuclearia* sp. y *Scenedesmus ecornis*.

(4) Grupo de 'Indiferentes'

Los taxa pertenecientes a esta categoría presentaron distribuciones al azar y carecieron de un comportamiento estacional, manteniendo los coeficientes de autocorrelación entre los límites de confianza ($p < 0.05$) (Fig. 4-i y 4-j). Un total de 29 taxa fueron ubicadas en este grupo, y entre ellas se destacan: *P. brevistriata* var. *inflata*, *Monoraphidium griffithi*, *M. komarkovae*, *M. tortile*, *Cryptomonas pusilla*, *Scenedesmus linearis*, *S. communis*, *S. opoliensis*, *Actinastrium gracillimum*, *Oscillatoria* spp., *Oocystis borgei* y *Thorakochloris nygaardii*.

DISCUSIÓN

En los grandes ríos, los procesos a escala de cuenca controlan la dinámica del plancton y determinan el crecimiento y las pérdidas de esta comunidad (Reynolds y Descy, 1996). Tal es el caso del río Salado, donde los cambios de conductividad del agua están estrechamente relacionados a las características geológicas particulares de la cuenca y a las fluctuaciones de caudal (Neschuk *et al.*, 2002). Por el presente, queda claro que la conductividad, la temperatura y los cambios de caudal son importantes factores forzantes sobre la comunidad del plancton, tal como se menciona en Gabellone *et al.* (2005). En acuerdo con nuestros resultados, también se señala que la composición del fitoplancton estuvo determinada por la salinidad, la alcalinidad y el estado trófico del agua.

Durante este estudio pudo establecerse que las limitaciones nutricionales no representaron una variable forzante sobre el fitoplancton en el río, dado que los resultados obtenidos por Quaini *et al.* (2005) durante el mismo período de muestreo, muestran que el valor medio de fósforo total fue de 818,6 $\mu\text{g.L}^{-1}$ para la estación ED. En concordancia con otros ríos templados, el aporte de nutrientes siempre fue lo suficientemente alto como para que sean improbables las limitaciones en el crecimiento algal (Köhler, 1993; Leland, 2003).

Con respecto a la riqueza de especies, el sitio de muestreo ED presentó mayor número de taxa que los encontrados en estudios previos en este lugar (Gabellone *et al.* 2005), donde el valor medio máximo en verano era de 55 ($S = 55$) y el mínimo medio de 23 en los meses de invierno. Mientras que nuestros resultados muestran una riqueza máxima de 88 taxa en verano, y un mínimo de 45 durante el invierno.

En cuanto a la composición taxonómica del fitoplancton, las Clorofitas dominaron durante el presente estudio, de la misma forma que fue observado por O' Farrell, (1993), Neschuk *et al.* (2002) y Solari *et al.* (2002) en trabajos previos del río Salado. A su vez, las algas verdes coccoides y nanoplanctónicas constituyeron un importante componente del fitoplancton durante condiciones de verano, al igual que lo observado por Neschuk *et al.* (2002). Esta misma dominancia fue descrita para el río Sena (Garnier *et al.*, 1995) y para ríos de

Ontario y este de Québec (Canada) donde las algas pequeñas (<20 µm) dominaron la comunidad del fitoplancton durante caudales base de verano (Chételat *et al.*, 2006).

Las Cianofitas también contribuyeron de manera importante a la comunidad del fitoplancton, dado que fueron muy abundantes en las aguas cálidas y poco fluyentes del verano, siendo en su mayoría Chroococcales coloniales. Asimismo tuvieron representantes con importantes abundancias en los meses de aguas frías (invierno), como es el caso de *Microcystis firma* y algunas formas filamentosas, al igual que lo observado por Neschuk *et al.* (2002) y Solari *et al.* (2002). Aún cuando las Cianofitas son conocidas por su inhabilidad de crecer en sistemas turbulentos o frecuentemente mezclados, grandes poblaciones han sido encontradas en ríos, tanto en condiciones de bajos caudales como de aguas estancadas, en concordancia con nuestros resultados (Köhler, 1993; Garnier *et al.*, 1995; Chételat *et al.*, 2006).

Durante el muestreo, las Diatomeas no fue el grupo dominante como usualmente ocurre en otros ríos templados, tales como el río Rin (de Ruyter van Stevenick *et al.*, 1992; Ietswaart *et al.*, 1999), el río Sena (Garnier *et al.*, 1995), el río San Joaquín en California (Leland *et al.* 2001, 2003) y en ríos canadienses (Chételat *et al.*, 2006). Sin embargo para el río Salado, y en acuerdo con nuestros resultados, Neschuk *et al.* (2002) y Solari *et al.* (2002) encuentran a las diatomeas como poco importantes, estando la mayoría de ellas asociadas a las comunidades bentónica y perifítica, y sólo unos pocos taxa de diatomeas centrales (como *Cyclotella meneghiniana*) podrían ser considerados como regulares componentes de la fracción nanoplancónica (Chételat *et al.*, 2006; Izaguirre *et al.*, 2004). En este sentido, la frecuente presencia de diatomeas Pennales tales como *Achnanthes* sp., *Nitzschia* spp., *N. cryptocephala* y *P. brevistriata* var. *inflata* podría ser atribuida a un origen perifítico y a un posible desprendimiento desde el cauce principal del río.

Las Criptomonadales, mayormente representadas por taxa pequeños del rango del nanoplancton, no representaron una fracción significativa del fitoplancton y solo aparecieron ocasionalmente, al igual que lo observado en ríos de Europa (Köhler J. 1993; Garnier *et al.*, 1995), pero en oposi-

ción a lo encontrado en ríos canadienses donde sí fueron importantes componentes del fitoplancton (Chételat *et al.*, 2006). Por su parte las Euglenofitas, resultaron ser irrelevantes a lo largo del muestreo, presentando escasas abundancias y esporádicas ocurrencias, en acuerdo con trabajos previos en el río Salado (Neschuk *et al.*, 2002).

El análisis estadístico utilizado nos permitió determinar patrones estacionales en la abundancia del fitoplancton y en la variación de la temperatura y conductividad a lo largo del muestreo. Los coeficientes de correlación establecieron relaciones significativas positivas entre las densidades del fitoplancton y algunas variables ambientales: conductividad, temperatura y salinidad. Pero los mismos no permiten visualizar los patrones de distribución a lo largo del muestreo, y por lo tanto estas variaciones quedarían mejor expresadas a través de autocorrelogramas. La autocorrelación temporal ha sido considerada como una herramienta estadística muy útil para la determinación del comportamiento de los taxa lo largo del tiempo, esto es, su respuesta a la variación estacional de las variables físicas. Por esta razón, el análisis de autocorrelaciones nos permitió confirmar la presencia de claros patrones estacionales entre los integrantes del fitoplancton en la cuenca inferior del río Salado.

Sobre esta base, se establecieron grupos de taxa de acuerdo a su similitud con los patrones significativos de conductividad y temperatura del agua ($p < 0.05$). Estas variables físicas experimentaron tendencias decrecientes a lo largo del muestreo, disminuyendo las temperaturas estivales (22-27,5°C) hasta las registradas en invierno (6-12°C), donde los crecientes flujos de caudal diluyeron las sales del río, disminuyendo los valores de conductividad. Este comportamiento estacional de la temperatura del agua también fue observado en el río San Joaquín, con temperaturas de verano entre 17,5° y 28,5°C y de otoño tardío-invierno entre 6,5° y 16°C (Leland, 2003).

Según los resultados obtenidos por el análisis de autocorrelaciones, las variaciones en la composición del fitoplancton estuvieron relacionadas a la estación climática, en total acuerdo con lo planteado por Neschuk *et al.* (2002). El grupo de

‘verano’ estuvo integrado por taxa que dominaron y alcanzaron su mayor desarrollo durante aguas cálidas, con elevados valores de conductividad durante Marzo-mediados de Abril. La mayor parte de los mismos fueron formas nanoplanctónicas coccoides, Clorofitas Chlorococcales y Cianofitas Chroococcales, aparentemente relacionadas a bajos caudales y a condiciones de aguas más estancadas, así como a elevadas temperaturas. Mientras que el plancton filamentoso de red tuvo una importancia secundaria, como ya fuera observado por O’Farrell (1993), Neschuk *et al.* (2002) y Solari *et al.* (2002) en investigaciones previas.

Como de Ruyter van Steveninck *et al.* (1992) señalan, la disminución del flujo de corriente favorece las condiciones para el crecimiento del fitoplancton mediante el aumento de los tiempos de residencia y la menor intensidad de turbulencia. Situación que parece presentarse durante el período de aguas ‘cálidas’ donde la abundancia fitoplanctónica en el río Salado fue más elevada, en coincidencia con menores valores de caudal y por ende, mayores condiciones de estancamiento.

El período de transición estuvo representado sólo por cuatro especies, con picos de abundancia durante estas condiciones de aguas ‘intermedias’ (con 15,5°C en promedio), siendo poco abundantes durante la mayor parte del estudio. Debido a sus escasos representantes, este grupo carece de rasgos comunes, y sería necesario realizar mayores investigaciones para dilucidar las posibles causas de este comportamiento.

El grupo de ‘invierno’ estuvo caracterizado por taxa con creciente desarrollo durante el período de aguas frías (6-12°C) en coincidencia con bajos valores de conductividad, y por lo tanto, crecientes flujos de corriente. El grupo estuvo mayormente dominado por *Microcystis firma*, la cual también fue encontrada en condiciones ambientales similares por Izaguirre *et al.* (2004).

Un grupo heterogéneo de taxa presentó distribuciones al azar y no tuvo, por lo tanto, claras relaciones con las variaciones de la temperatura y caudales del río. Este grupo de ‘indiferentes’ estuvo integrado por taxa que carecieron de comportamiento estacional y que tuvieron abundancias fluctuantes, sin mostrar una clara tendencia a

lo largo del estudio. Su comportamiento podría estar relacionado a otros factores físicos o biológicos del río, y en este sentido, nuevas investigaciones son necesarias para comprender la naturaleza de sus patrones netamente aleatorios.

Según nuestros resultados, la comunidad del fitoplancton presentó una respuesta similar a la mencionada en trabajos previos del río Salado, dado que estuvo significativamente afectada por la temperatura del agua, la conductividad y la hidrodinámica del río, variables consideradas como sus factores limitantes (Neschuk *et al.*, 2002; Solari *et al.*, 2002). La importancia de las condiciones hidráulicas de los ríos sobre la dinámica del plancton es mencionada para el río Rin (Ietswaart *et al.*, 1999) y el río Baía, donde la composición y abundancia del fitoplancton mostraron una fluctuación temporal significativa en respuesta al régimen hidrosedimentológico (Train y Rodríguez, 1998). Asimismo, está ampliamente aceptado que los factores hidrológicos y hidrodinámicos (descarga, tiempo de residencia del agua) son de gran importancia para el desarrollo del plancton en los ríos, en comparación a los lagos (Chételat *et al.*, 2006), y que el régimen hidrológico es la principal función forzante actuante sobre las comunidades acuáticas (Train y Rodríguez, 1998).

En coincidencia con nuestros resultados, Neschuk *et al.* (2002) señaló que el fitoplancton del río Salado mostró variaciones estacionales significativas a través de la composición de especies y abundancia, en respuesta a las variables físicas tales como conductividad, temperatura y fluctuaciones hidrológicas. Esto mismo fue encontrado para el río San Joaquín donde los factores que varían con la estacionalidad, como la temperatura del agua, contribuyen significativamente a la selección de especies, debido a su influencia sobre las tasas de crecimiento algal (Leland, 2003).

A lo largo del tiempo, se ha reconocido que las comunidades del fitoplancton experimentan ‘sucesiones estacionales’ como cambios significativos a lo largo del año (Padisák, 1994). Y en este sentido, el fitoplancton del río Salado mostró una evidente sucesión estacional, con claras sustituciones de especies, desde adaptadas a aguas cálidas y caudales bajos a especies tolerantes de las aguas frías con mayores caudales. El análisis de autocorrelaciones tem-

porales nos permitió detectar este reemplazo de especies y el comportamiento específico de cada una de ellas a lo largo del estudio. De esta forma, se identificaron grupos algales de acuerdo a su comportamiento durante los diferentes períodos de temperatura del agua, los que podrían ser interpretados como sucesivos estados sucesionales estacionales. Como Sommer *et al.* (1993) señalan, es sólo el ciclo externo de condiciones climáticas y hidrológicas el que reinicia la sucesión del plancton cada año. Sin embargo, la presencia de interacciones bióticas podría jugar un rol importante en el río Salado, al igual que en otros ríos de llanura, y por lo tanto, en este sentido, mayores investigaciones son necesarias, en especial aquellas focalizadas en estas interacciones.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por la Agencia Argentina de Promoción de Ciencias y Tecnologías (ANPCyT) (PMT-PICT 0409). Agradecemos a Construere S.A. quién nos permitió la realización de este muestro intensivo. María Elisa Bazzuri es becaria del CONICET (Argentina).

BIBLIOGRAFÍA

- Chetelat J., F. Pick y P. Hamilton. 2006. Potamoplankton size structure and taxonomic composition: Influence of river size and nutrient concentrations. *Limnology and Oceanography*, 51: 681-689.
- De Ruyter Van Steveninck E. D., W. Admiraal, L. Breebaart, G. M. J. Tubbing y B. Van Zanten. 1992. Plankton in the River Rhine: structural and functional changes observed during downstream transport. *Journal of Plankton Research*, 14: 1351-1368.
- Gabellone N., L. Solari y M. C. Claps. 2001. Planktonic and physico-chemical dynamics of markedly fluctuating backwater pond associated with a lowland river (Salado River, Buenos Aires, Argentina). *Lakes & Reservoirs: Research and Management* 6: 133-142.
- Gabellone N., M. C. Claps, L. Solari y N. Neschuk. 2005. Nutrients, conductivity and plankton in a landscape approach to a Pampean saline lowland river (Salado River, Argentina). *Biogeochemistry*, 75: 455-477.
- Garnier J., G. Billen and M. Coste. 1995. Seasonal succession of diatoms and Chlorophyceae in the drainage network of the Seine River: Observations and modeling. *Limnology and Oceanography*, 40: 750-765.
- Germain H. 1981. Flore des diatomées. Diatomophycées. Collection «Faunes et flores actuelles». Société Nouvelle des Editions Boubée, 11, Saint-Michel, Paris. 444 pp.
- Ietswaard Th., L. Breebaart, B. Van Zanten y R. Bijkerk. 1999. Plankton dynamics in the river Rhine during downstream transport as influenced by biotic interactions and hydrological conditions. *Hydrobiologia*, 410: 1-10.
- Izaguirre I., I. O'farrell, F. Unrein, y R. Sinistro. 2004. Algal assemblages across a wetland, from shallow lakes to relictual oxbow lakes (Lower Paraná River, South America). *Hydrobiologia*, 511: 25-36.
- Köhler J. 1993. Growth, production and losses of phytoplankton in the lowland River Spree. I. Population dynamics. *Journal of Plankton Research*: 335-349.
- Komarèk J. y K. Anagnostidis. 1999. Cyanoprokaryota 1. Chroococcales. Vol.19/1. Spektrum Akademischer Verlag, Hedingberg Berlin, Elsevier GmbH, 548 pp.
- Komarèk J. y K. Anagnostidis. 2005. Cyanoprokaryota 2. Oscillatoriales. Vol.19/2, München Elsevier GmbH, 759 pp.
- Komarèk J. y B. Fott. 1983. Das Phytoplankton des Süßwassers. Systematik und Biologie. Stuttgart, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele Obermiller), 1044 pp.
- Legendre P. 1993. Spatial Autocorrelation: trouble or new paradigm? *Ecology*, 74 (6): 1659-1673.
- Leland H. V., L. R. Brown y D. K. Mueller. 2001. Distribution of algae in the San Joaquin River, California, in relation to nutrient supply, and other environmental factors. *Freshwater Biology*, 46: 1139-1167.
- Leland H. V. 2003. The influence of water depth and flow regime on phytoplankton biomass and community structure in a shallow, lowland river. *Hydrobiologia*, 506-509: 247-255.
- Neschuk N., N. Gabellone y L. Solari. 2002. Plankton characterisation of a lowland river (Salado River, Argentina). *Verhandlungen Internationale Vereinigung Limnologie*, 28: 1336-1339.
- O'farrell I. 1993. Phytoplankton ecology and limnology of the Salado River (Buenos Aires, Argentina). *Hydrobiologia*, 271: 169-178.
- Padisák J. 1994. Identification of relevant time-scales in Non-equilibrium community dynamics: Conclusions from phytoplankton surveys. *New Zealand Journal of Ecology*, 18 (2): 169-176.
- Patrick R. y C. Reimer. 1975. The diatoms of the United States. *Monographs of The Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, Volumen 13, 668 pp.
- Quaini K., N. Gabellone, M. Ardohain y L. Solari. 2005. Muestreo intensivo de parámetros físico-químicos en dos sitios de la cuenca inferior del Río Salado (Prov. de Buenos Aires): Estudio comparativo. *Biología Acuática*, 22: 215-222.
- Reynolds C. S. 1988. Potamoplankton: paradigms, paradoxes and prognosis. - In: Round F. E., (ed.): *Algae and Aquatic Environments*: 285-311. Biopress Ltd., Bristol, U.K.

- Reynolds C. S.** 1995. River plankton: the paradigm regained. In: Harper D. M. & Ferguson A. L. (eds.): *The Ecological Basis for River Management*: 161-173. John Wiley & Sons.
- Reynolds C. S. y J.-P Descy.** 1996. The production, biomass and structure of phytoplankton in large rivers. *Large rivers*, 10 (1-4). *Archiv Für Hydrobiologie Supplement*, 113: 161-187.
- Solari L. C., M. C. Claps y N. Gabellone.** 2002. River-backwater pond interactions in the lower basin of the Salado River (Buenos Aires, Argentina). *Large rivers*, 13 (1-2). *Archiv Für Hydrobiologie Supplement*, 141/1-2: 99-119.
- Sommer U., J. Padisák, C. S. Reynolds y P. Juhász-Nagy.** 1993. Hutchinson's heritage: the diversity-disturbance relationship in phytoplankton. *Hydrobiologia*, 249:1-7.
- Train S. y L. C. Rodrigues.** 1998. Temporal fluctuations of the phytoplankton community of the Baía River, in the upper Paraná floodplain, Mato Grosso do Sul, Brazil. *Hydrobiología* 361: 125-134.
- Waltz N. y M. Welker.** 1998. Plankton development in a rapidly flushed lake in the River Spree system (Neuendorfer See, Northeast Germany). *Journal of Plankton Research* 20: 2071-2087.