

Trabajos

Estructura del fitoplancton de un sistema fluvial de llanura (río Salado del norte, Santa Fe) en dos fases hidrológicas diferentes.

RECIBIDO: 15/3/08
 ACEPTADO: 27/7/08

Polla, W.M.¹ • Salusso, M.M.² • Fernández, V.C.¹

¹ Facultad de Humanidades y Ciencias (U.N.L). Paraje el Pozo s/n, 3000, Santa Fe. Argentina. Email: wandapolla@fhuc.unl.edu.ar. Tel: 0342-4550404.

² Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta.

RESUMEN: El presente trabajo analiza la conformación de las comunidades fitoplanctónicas bajo diferentes situaciones hidrológicas: aguas bajas y altas (una extraordinaria) del sistema del Salado a la altura de las localidades de San Justo y Esperanza (Provincia de Santa Fe) y su relación con las principales variables fisicoquímicas del agua en el ciclo hidrológico 2002-2003. La composición y abundancia de los grupos dominantes del fitoplancton en el cauce principal no exhibieron diferencias significativas con ambientes del valle aluvial en ambos tramos del Salado, predominando Bacillariophyceae, secundada por Chlorophyceae y Cyanophyceae.

La abundancia y diversidad de especies se vincularon en forma inversa con los tenores de oxígeno y conductividad eléctrica. En aguas altas crecientes se observaron elevados valores de densidad y diversidad específicas, siendo el nivel hidrométrico la fuerza directriz que condicionó los atributos

ecológicos del fitoplancton. Después de la crecida extraordinaria, las variables bióticas analizadas alcanzaron los menores valores del monitoreo.

PALABRAS CLAVE: Fitoplancton, Río Salado del Norte, variables limnológicas.

SUMMARY: *The phytoplankton structure in a plain fluvial system (northern Salado river-santa fe) during two different hydrological phases.*

The purpose of this study was to analyse the structure and composition of phytoplankton communities under two different hydrological conditions: low and high water levels (including an extraordinary episode) in the Salado river system at two points, the towns of San Justo and Esperanza (both in the province of Santa Fe), and their relationship with the main physicochemical variables of water during the hydrological cycle between 2002 and 2003.

The composition and abundance of

the prevailing phytoplankton groups in the main watercourse did not vary significantly from those in the alluvial valley environments at both stretches of the river, Bacillaryophyceae coming in the first place, followed by Chlorophyceae and Cyanophyceae. The richness and diversity of species were in inverse proportion to the oxygen concentrations and electric

conductivity. During the rising phase, density figures and specific diversity were high, the hydrometric level being the master force which determined the main ecological attributes of the phytoplankton in this period, even considering an extraordinary flood.

KEYWORDS: Phytoplankton, Northern Salado system, limnologic variables.

Introducción

El sistema del Salado representa un típico río de llanura asociado a un valle aluvial, ejerciéndose entre ambas interacciones mutuas, dependientes de las fases hidrológicas de la cuenca (1,2). Se ha demostrado que el sistema río-llanura aluvial funciona como una unidad, donde los pulsos de inundación representan un factor clave como fase de enriquecimiento para la producción de biomasa algal (3). Estos pulsos se producen de manera irregular en relación a los distintos años, se puede vincular el efecto que ejercen, en forma combinada con la temperatura, sobre las principales variables limnológicas en los ambientes acuáticos existentes en las llanuras de inundación. Por la magnitud y caudal del cauce principal, factores físicos tales como la disponibilidad de luz, limitada por la presencia del material particulado en suspensión, afectan directamente la eficiencia de la producción primaria, la que podrá ser inferior a la existente en la correspondiente llanura aluvial (4). El nivel hidrométrico es el factor que mejor explica los patrones de variación espacial y temporal de los parámetros ecológicos en dichos sistemas (5,6,7). El comportamiento de los ecosistemas de las planicies aluviales puede ser diferente al registrado en el canal principal del río. En fase

de aguas bajas, en la llanura aluvial, el tiempo de residencia del agua y la temperatura dependen de los factores meteorológicos locales. Estos factores ejercen un control sobre las fluctuaciones de las principales variables fisicoquímicas (3). La cuenca inferior del río Salado del Norte, es un sistema central en el ámbito de la Provincia de Santa Fe, dada la cantidad y diversidad de actividades antrópicas que en ella se realizan, y que generan contaminación del recurso hídrico. La dificultad del escurrimiento superficial por la escasa pendiente y baja permeabilidad de los suelos, trae aparejado su salinización (1,2). La composición iónica de las aguas está dominada por la presencia de cloro y sodio como productos del aporte de los acuíferos de fondo.

La fertilidad de las llanuras depende en gran medida de la calidad de los sedimentos en ellas depositados, las arcillas son las que contribuyen a incrementar, la autofertilización por resuspensión de nutrientes. Las lagunas se forman por el impacto de la lluvia rompiendo la estructura arcillosa y en el periodo seco, el viento arrastra el material arcilloso de la superficie, originando estas depresiones salinas (8,9). En relación a las algas, existen estudios acerca de la estructura y dinámica del fitoplancton en el río Salado y otros cauces secundarios del río Pa-

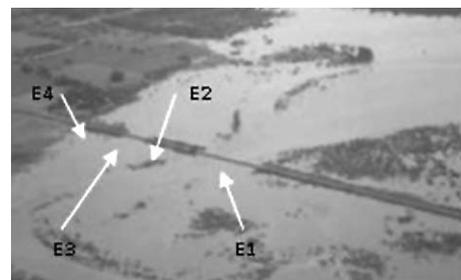
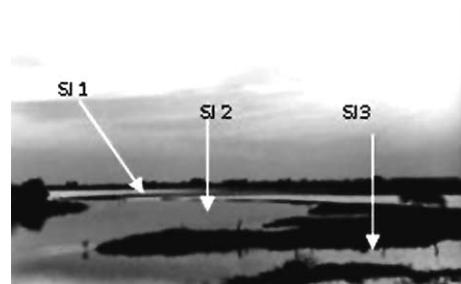
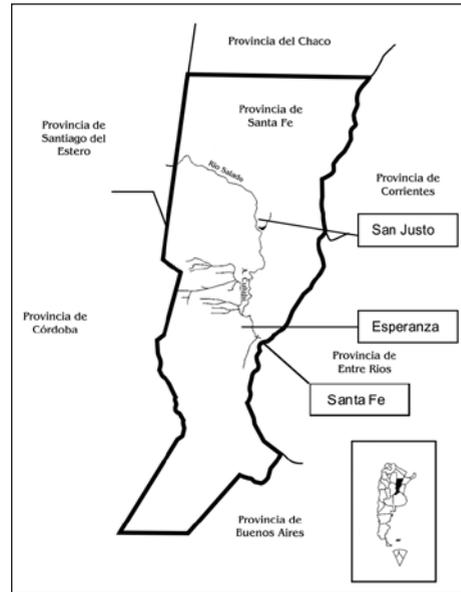
raná en su área de confluencia, donde las interacciones hidrodinámicas indican que los atributos de la comunidad presentan alta riqueza específica (Río Santa Fe–Coronda) con 149 taxa y 129, en el Río Salado y Tientuco, en tanto que 84 taxa en el río El Vado. Si bien las condiciones ambientales de los ríos comparados son diferentes, se dificulta la caracterización biológica de las comunidades debido al alto número de especies esporádicas a lo largo del año en dos o más grupos de ríos (10,11). La composición y abundancia del fitoplancton en el curso principal del Río Salado presentaron diferencias significativas con los ambientes lóticos y lénticos asociados a la llanura aluvial, en particular durante los períodos extremos de aguas bajas.

El presente trabajo tiene por objetivo comparar las principales variables limnológicas en el eje transversal correspondientes a dos sitios del sistema del Salado y establecer el efecto de las principales variables fisicoquímicas e hidrológicas sobre la estructura y composición del fitoplancton.

Material y Métodos

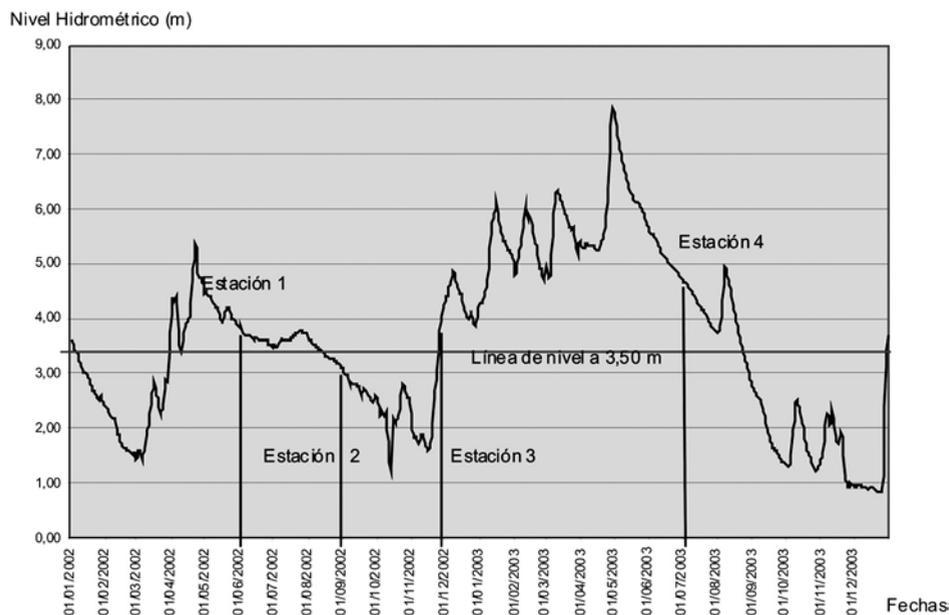
Se muestrearon dos sitios (sección transversal) de la Cuenca Inferior del río Salado del Norte, que incluyen el cauce principal: 1 y el valle aluvial: 2, 3, 4. Uno de los sitios se estableció a la altura de la localidad de San Justo (SJ) Sitio 1 30° 44' 44" S – 60° 37' 17" O, ubicada a 100 Km de la ciudad de Santa Fe; y el otro en la ciudad de Esperanza (E) denominado Sitio 2 (31° 29' 27" S - 60 ° 46' 56" O), situada a 30 Km de la ciudad capital de referencia (Figura 1). El muestreo comprendió fases de aguas altas (aa): decreciente (en junio de 2002: Jn02; y julio de 2003: Jl03), y creciente (noviembre de 2002: Nov02) y la fase de aguas bajas (ab), en agosto 2002: Ag02, totalizando

Figura 1: Área de estudio mostrando la localización de la Cuenca Inferior del Río Salado del Norte e indicando la localización de los 2 sitios de muestreo (E: Esperanza- SJ San Justo); 1 cauce principal; 2,3,4 llanura aluvial.



cuatro campañas. Se adoptó el nivel hidrométrico 3,50 m como límite de separación entre las fases, los valores superiores se consideraron positivos y definieron el período de inundación o potamofase, y los valores inferiores se consideraron negativos, y correspondieron a la situación de aislamiento del valle de inundación respecto del

Figura 2: Limnigrama del Río Salado (ruta provincial nº 70 Esperanza, período 2002-2003. Fechas: Aguas Altas (aa) Estación 1 01/06/02, Estación 3: 01/12/02, Estación 4: 01/07/03; Aguas Bajas (ab) 01/09/02. Nh: Nivel hidrométrico (m). La línea de nivel a 3,50 m separa aa y ab.



curso principal, llamado también fase seca o limnofase (Figura 2)(12). Las estaciones de muestreo ubicadas en el cauce principal se denominaron E1 y SJ1, respectivamente; las demás estaciones de muestreo del valle aluvial se numeraron en forma centrífuga desde el curso principal hacia la llanura, con números correlativos 2, 3 y 4 para E y 2, 3 para SJ (Tabla 1). E1 presentó una profundidad media de 7,5 m con macrófitas sumergidas y flotantes; E2, laguna de 0,65 m separada del albardón, presentó palustres en poca cantidad; E3 promedió una profundidad de 1,20 m, sin registros de flo-

tantes, sumergidas ni palustres. E4 tuvo la mayor densidad de macrófitas flotantes y palustres, y una profundidad promedio de 0,60 m. Por su parte, tanto SJ1, como SJ2, presentaron macrófitas sumergidas flotantes y palustres siendo en SJ3, la dominante *Schoenoplectus californicus*. Durante el año 2003, la situación de aa se manifestó en los meses de enero, febrero y marzo, produciéndose tres pulsos que superaron los 1000 m³/s. El pico principal se presentó con una intensidad inusitada, pasando de 700 m³/s a 3800 m³/s en sólo 7 días en el mes de abril (Figura 2). Por ende, aún du-

Tabla 1: Detalle de las diferentes estaciones de muestreo estudiadas en el período 2002-2003

Sitios	Estaciones de muestreo	Descripción
Esperanza	E1	Cauce principal
	E2	Llanura aluvial
	E3	Llanura aluvial
	E4	Llanura aluvial
San Justo	SJ1	Cauce principal
	SJ2	Llanura aluvial
	SJ3	Llanura aluvial

rante el mes de julio, que se considera habitualmente como fase de aguas altas decrecientes, el nivel hidrométrico fue elevado superando los valores de noviembre que se describen como fase creciente. En cada una de las estaciones, se cuantificaron los principales parámetros fisicoquímicos: temperatura (°C), pH (unidades pH), conductividad eléctrica (mS.cm⁻¹), oxígeno disuelto (mgO₂/L) y visibilidad del disco de Secchi (m). Se recolectaron una muestra cualitativa y tres cuantitativas de fitoplancton, las primeras con red de 25 mm de abertura de malla y fueron fijadas con formaldehído al 5 %; las segundas se extrajeron subsuperficialmente siendo fijadas in situ con solución de lugol. En laboratorio, se utilizó un microscopio Óptico XS2-107BN, Olympus para los recuentos algales, a partir de alícuotas de cada muestra (0,2 mL) sedimentadas en portaobjetos. Se contaron seis portaobjetos o "cámaras" hasta obtener un promedio de individuos constantes, bajo un aumento de 400 X, siendo expresados los valores en ind/mL. Para el cálculo, se empleó la fórmula: $C = N/Vb$ siendo $Vb = Ab \times V / At$ (Ab = área barrida estimada con micrómetro; V = volumen de muestra de 0,2 mL por portao-

bjeto; At : Área total de la cámara de conteo)(13). Las determinaciones taxonómicas de las algas se efectuaron en base a claves generales (14,15,16,17, 18,19,20,21,22,23). Se estimaron los valores de riqueza, equitatividad y diversidad específica (H') en base al Índice de Shannon-Weaver (24). La comparación de los atributos de las comunidades fitoplanctónicas entre las distintas fechas de muestreo, se realizó aplicando ANOVA ó Kruskal-Wallis, según si los datos cumplieron o no los supuestos de normalidad. La diferenciación de las variables bióticas entre la fase de aguas altas creciente (Nov02) versus la fase de crecida extraordinaria (Jl03) se realizó aplicando t-Student ó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney (U). Por otra parte, se aplicó el análisis multivariado de Correlación Canónica, considerando como variables dependientes a la densidad fitoplanctónica, la equitatividad, riqueza y H' ; y como variables independientes al pH, conductividad, transparencia, temperatura y oxígeno disuelto; para sintetizar la información aportada por las variables limnológicas y establecer el comportamiento de las mismas en función de los sitios en las distintas fechas.

Resultados y discusión

Los valores más elevados de densidad algal se presentaron durante Nov02, en SJ2 (49876 ind/mL) y en E1 (33585 ind/mL) por

la incorporación de inóculos provenientes del potamoplancton (Figura 3). En tanto que en fase de aguas decrecientes se produjo una marcada reducción en la concentración

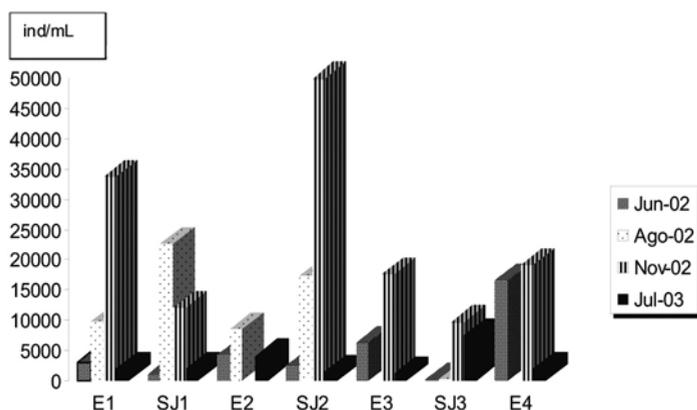


Figura 3: Valores de densidad del fitoplancton (ind/mL) en las distintas estaciones de muestreo en ambos sitios (E=Esperanza; SJ= San Justo; Jn: Junio, Ag: Agosto, Nov: Noviembre, Jl: Julio) en el período de estudio.

del fitoplancton, a consecuencia del incremento significativo del caudal en Jl03, con posterioridad a una inundación extraordinaria que redujo el tiempo de residencia hidráulica del agua, y también por las bajas temperaturas imperantes (10°C).

El sistema del Salado en Esperanza, las Bacillariophyceae fueron dominantes y se mantuvieron constantes a lo largo del estudio, mientras que las Chlorophyceae alcanzaron un máximo en aguas altas (Nov02), cuando incrementó el ingreso de nutrientes (nitritos 0,004 mg/L, nitratos 2,36 mg/L y por su parte el amonio 0,27 mg/L y el fósforo 0,98 mg/L) (Figura 4). Las Cyanophyceae sólo alcanzaron valores de abundancia significativos en E1 (4567 ind/mL). Las Euglenophyceae en todas las estaciones de muestreo presentaron pulsos (837 ind/mL) que acompañaron las mejores condiciones del período de aguas altas crecientes al igual que Dinophyceae (1023 ind/mL). En ríos impactados por efluentes orgáni-

cos, las algas dominantes, tanto en riqueza como en abundancia suelen ser las Euglenophyceae y Dinophyceae de hábitos heterotróficos (25). Las demás clases tuvieron un comportamiento similar entre ellas, registrándose los mayores valores también en el mes de noviembre.

En San Justo, las Bacillariophyceae fueron dominantes en ambas situaciones hidrológicas de aguas altas y aguas bajas (3285 ind/mL) (Figura 5). Solamente después del pico extraordinario del 2003, cuando el caudal medio fue cercano a 400 m³.s⁻¹, tuvieron un carácter de codominantes de las Dinophyceae (803 ind/mL) en todas las estaciones. Las Cyanophyceae adquirieron relevancia en Nov02, en limnofase con niveles hidrométricos inferiores a 3,50 m. bajo condiciones de mayor temperatura y estabilidad en la columna de agua. En el cauce principal del río Salado, los valores de H' fueron elevados en ambos sitios (> 3,50 bits.ind⁻¹) y descendieron a consecuencia de la creci-

Figura 4: Distribución de la abundancia de los grupos taxonómicos principales en las distintas estaciones de muestreo del río Salado en Esperanza. (Jn: Junio, Ag: Agosto, Nov: Noviembre, Jl: Julio, 02: 2002 y 03:2003)

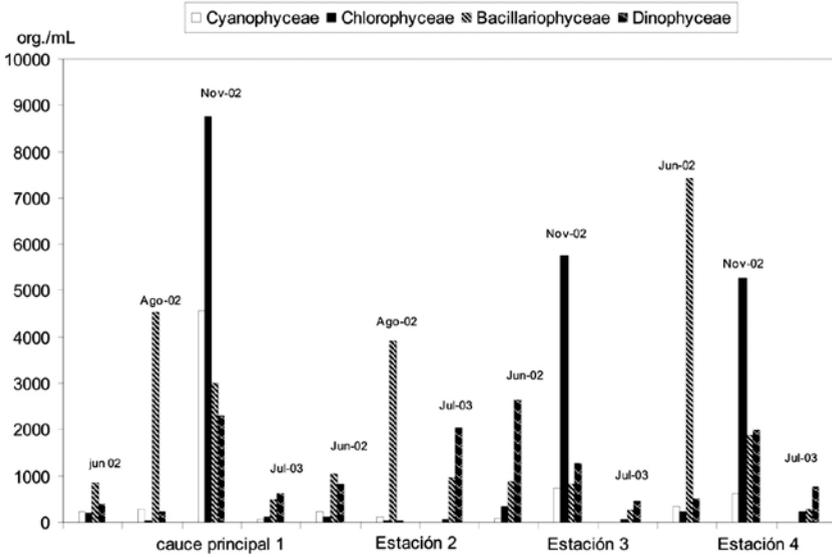
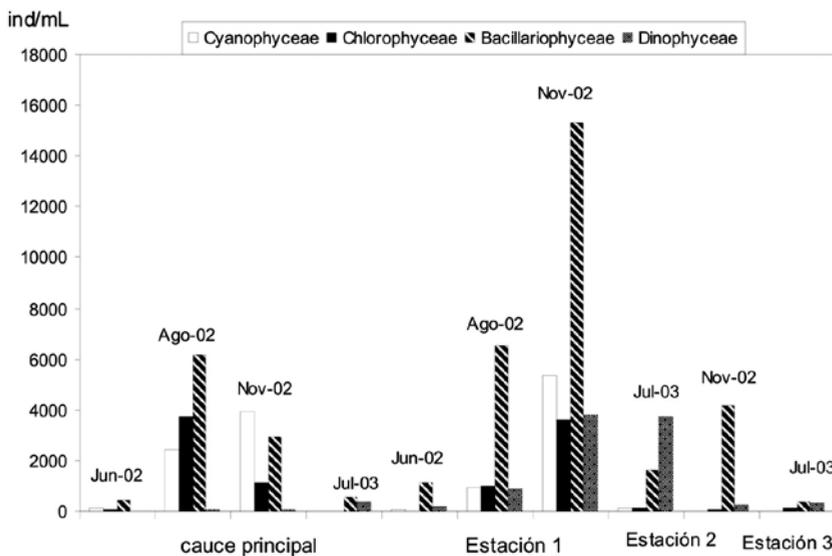


Figura 5: Distribución de la abundancia de los grupos taxonómicos principales en las distintas estaciones de muestreo del río Salado en San Justo (Jn: Junio, Ag: Agosto, Nov: Noviembre, Jl: Julio, 02: 2002 y 03:2003)



da extrema (2,5 bits.ind⁻¹, en julio de 2003). La riqueza fue también mayor en potamofase con valores entre 71-79 especies debido al ingreso de especies leníticas y ticoplancónicas, característica que fuera señalada para otros ríos de llanura (26,27,28). En el valle, el fitoplancton se caracterizó por una alta riqueza específica debido a la ocurrencia de especies esporádicas, que recibieron aportes de algas provenientes de otros hábitats, con la dominancia de las clases Bacillariophyceae y Chlorophyceae (11,29). Existen estudios similares en distintos tramos del río Paraná (30,31,32) y en otros ríos sudamericanos como el Bermejo (33). Las especies más constantes entre las Bacillariophyceae pennadas fueron *Entomoneis alata*, *Eunotia bidentula*, *Nitzschia reversa*,

N. acicularis; en Centrales fueron: *Aulacoseira granulata*, *A. granulata* var. *angustissima*, *Cyclotella meneghiniana*; *Euglena acus*, *E. pusilla* y *Strombomonas fluviatilis* y *S. gibberosa* entre las Euglenophyceae. *Protoperdinium achromaticum* por parte de Dinophyceae. Se destacaron entre las Chlorophyceae Volvocales: *Chlamydomonas vernalis* y *Pandorina morum*; y *Chlorococcales*: *Chlorococcum aquaticum*, *Planctonema lauterbornii*, *Pediastrum duplex*, *Scenedesmus* sp y *Sphaerocystis schroeteri*; y entre las Cyanophyceae: *Aphanizomenon aphanizomenoides* y *Oscillatoria limosa*.

Las variables fisicoquímicas se correlacionaron con los principales atributos ecológicos del fitoplancton (Tabla 2). La abundancia, tanto como la riqueza y H' fueron

Tabla 2: Coeficiente de Correlación de Pearson entre las variables fisicoquímicas y los atributos del fitoplancton, considerando los datos correspondientes a todas las estaciones de muestreos

Variable dependiente	Variables independientes	Coefficiente correlación P	≤ p
densidad fitoplancton	pH	-0,39	0,05
	conductividad	- 0,59	0,00
	temperatura	0,63	0,00
	transparencia	0,60	0,00
	oxígeno disuelto	-0,76	0,00
	amonio	0,42	0,05
riqueza específica	pH	-0,54	0,10
	conductividad	-0,69	0,00
	temperatura	0,71	0,00
	transparencia	0,62	0,00
	oxígeno disuelto	0,61	0,00
	amonio	-0,71	0,00
diversidad específica	pH	-0,57	0,00
	conductividad	-0,40	0,05
	temperatura	0,76	0,00
	transparencia	0,52	0,01
	oxígeno disuelto	-0,75	0,00
	amonio	0,71	0,00

inversas a los valores de pH y conductividad. A menor densidad algal menor actividad fotosintética y por ende menor pH relativo. La vinculación del plancton con la menor conductividad, en realidad estaría representando una relación subsidiaria, porque la densidad de las comunidades se vinculó positivamente con el mayor nivel hidrométrico, al aumentar éste obviamente se reduce el tenor salino de sus aguas. Los atributos del plancton se correlacionaron en forma directa con la temperatura, por el incremento de la tasa metabólica en los períodos más templados (Nov) cuando por otra parte, el tenor de oxígeno disuelto fue menor en consonancia con el incremento de la carga hidráulica durante la fase de aguas crecientes.

En un análisis conjunto de las características del fitoplancton, comparando sólo la fase de aguas altas crecientes (Nov02) versus la fase posterior a una crecida extraordinaria (JI03), se observaron diferencias

altamente significativas (Tabla 3), apreciándose el efecto extraordinario que tuvo este episodio, sobre la estructura y abundancia de los grupos principales. En otros estudios del Salado se constató que no siempre existió una relación inversa entre densidad (σ) y nivel hidrométrico (Nh) (11). En el análisis discriminado por fechas de muestreo, también se obtuvo diferencias significativas en los valores de diversidad y abundancia total del fitoplancton (Tabla 4), siendo ambos menores en JI03, a consecuencia de la perturbación extraordinaria. Entre los grupos taxonómicos representados, sólo las Euglenophyceae disminuyeron sensiblemente a consecuencia de dicho episodio.

El análisis de correlación canónica considerando como variables dependientes a la densidad fitoplanctónica, la equitatividad, riqueza y H'; y como variables independientes al pH, conductividad, transparencia, temperatura y oxígeno disuelto, mostraron que la

Tabla 3: Comparación de las variables biológicas en función de dos fases: aguas altas creciente (Nov02) y aguas altas decreciente (JI03) en la cuenca del Salado. Estadístico U (Mann-Whitney)

Atributos ecológicos	Fechas de muestreo	Test estadístico
	Nov02 y JI03	
Densidad algal (ind/mL)	Nov= 23644 JI=2838	U=63 U=0
Diversidad específica (bits .ind-1)	Nov= 4,65 JI=2,54	U=63 U=0
Equitatividad específica (%)	Nov= 81 JI=65,86	U=63 U=0
Cyanophyceae (ind/mL)	Nov= 174 JI=2	U=58 U=0
Clorophyceae (ind/mL)	Nov= 282 JI=7	U=59 U=0
Bacillaryophyceae (ind/mL)	Nov= 322 JI=45	U=61 U=0
Euglenophyceae (ind/mL)	Nov= 131 JI=2	U=60 U=0

Tabla 4: Análisis de la varianza el test paramétrico F (ANOVA) y no paramétrico H (Kruskal-Wallis). Diferencias estadísticas entre estaciones de muestreo (fases del ciclo hidrológico: aguas altas: aa y aguas bajas: ab) en algunos atributos ecológicos y grupo taxonómico (Jn: Junio; Ago: Agosto; Ag: Noviembre; Nov; Julio: Jl. 2002: 02 y 2003:03)

Atributo ecológico	Estaciones de muestreo	Promedios (ind/mL)	Test estadístico
Densidad algal	Jun 02 (aa)	6045 a	H= 8,16 p≤ 0,043
	Ago 02 (ab)	8790 a b	
	Nov 02(aa)	24055 b	
	Jul 03 (aa)	3270 a	
Diversidad específica	Jun 02 (aa)	3,26 a	F= 8,76 p≤ 0,0019
	Ago 02 (ab)	3,60 a b	
	Nov 02 (aa)	4,63 b	
	Jul 03 (aa)	2,48 a	
Euglenophyceae	Jun 02 (aa)	29,80 a b	H = 10,59 p≤ 0,0134
	Ago 02 (ab)	28,00 a	
	Nov 02(aa)	141 b	
	Jul 03 (aa)	3,20 a	

primera correlación canónica fue altamente significativa ($R=0,90$, $p=0,00024$) (Figura 6), explicando el primer par de variables canónicas el 81% de la varianza total. La construcción del primer par de variables canónicas (C1-1=dependiente; C2-1=independiente) en función de los coeficientes canónicos estandarizados de las combinaciones lineales, resultó en las siguientes fórmulas:

Variable canónica dependiente ó variable de criterio o endógena:

$$C1-1 = 0,44 \times [\text{densidad}] + 0,18 \times [\text{riqueza spp.}] + 0,50 \times [H'] - 0,11 \times [\text{equitatividad}]$$

Variable canónica independiente ó variable predoctora ó exógena:

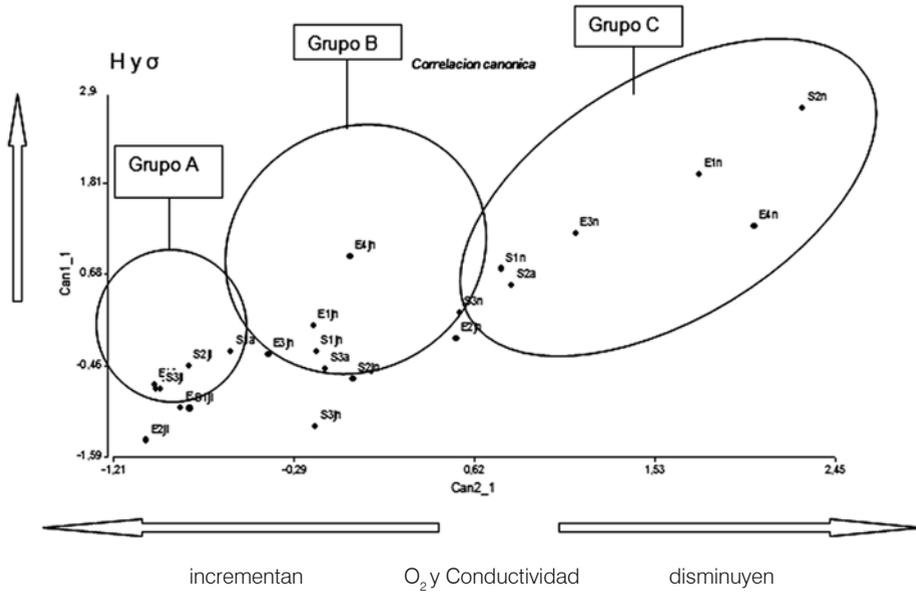
$$C2-1 = 0,08 \times [pH] - 0,44 \times [\text{conductiv.}] - 0,28 \times [\text{Secchi}] + 0,25 \times [^{\circ}TC] - 0,71 \times [O_2] + 0,12 \times [\text{amonio}]$$

La distribución temporo-espacial de los valores de H' (diversidad) y σ (densidad) estuvieron condicionados principalmente por los tenores de oxígeno y conductividad del

agua. Se aprecia en la figura 6, que en la parte positiva de la C1-1, se ubicaron las muestras correspondientes a aguas altas en fase creciente (Nov02), caracterizadas por poseer los mayores valores de H' y σ . Los valores más altos de $H' = 5$ y $\sigma = 49876$ ind/mL se obtuvieron en SJ2. El aumento en riqueza específica y densidad, al incrementar el nivel del agua, puede atribuirse al ingreso por arrastre de especies provenientes de ambientes leníticos de la cuenca del río Salado (34,35) característica también señalada en otros ríos del mundo (26,27,28).

Hacia la parte negativa del eje, se ubicaron los sitios en fase de aguas decrecientes (Jl03). Esperanza en la estación 2, tuvo los registros más bajos $H' = 1,56$ y $\sigma = 4131$ ind/mL, secundado por las estaciones 1, 2 y 3 de San Justo, con valores de H' : 2,5; 2,5 y 3 bits .ind⁻¹ y $\sigma = 1935$; 1585 Y 7549 ind/mL, respectivamente. En la región negativa del eje C2-1, se conformó el Gru-

Figura 6: Primera Correlación Canónica realizada con datos estandarizados físicoquímicos y atributos del fitoplancton en el sistema del Salado en el período de muestreo. (H': Diversidad; σ : Densidad; E: Esperanza; SJ: San Justo; 1: cauce principal; 2,3, 4: llanura aluvial; Jn: Junio; Agosto: Ag; Noviembre: Nov ; Julio: Jl. 2002: 02 y 2003:03)



po A, integrado por las muestras extraídas en JI03, caracterizadas por presentar mayores valores de los parámetros físicoquímicos. En Esperanza, la estación 2 arrojó los valores más altos de conductividad ($2400 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$) y oxígeno ($10 \text{ mgO}_2/\text{L}$), y en segundo término SJ1 presentó una conductividad de $2200 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ y un tenor de oxígeno de $9 \text{ mg O}_2/\text{L}$. En el extremo positivo se ubicaron las muestras de noviembre que estuvieron caracterizadas por menores valores (Grupo C). En E1 la conductividad fue de $1500 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ y el pH de de 8,2. En tanto SJ2, presentó valores de $1300 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ y de 7,3, respectivamente. En otros estudios se registraron valores aún menores de conductividad, entre 840 y $900 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ en fase

de aguas altas (36,37). El grupo B presentó valores intermedios en pleno estiaje, cuando por ejemplo SJ3 tuvo una conductividad de $2700 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ y un pH de 8,3.

Conclusiones

El nivel hidrométrico de los cuerpos de aguas lóaticos y lénticos del Sistema del Salado actuó como una fuerza directriz que condicionó las principales variables limnológicas, principalmente los atributos vinculados con la estructura del fitoplancton. Existió una relación directa significativa entre la altura hidrométrica y los principales atributos del plancton (densidad, diversidad, equitatividad y riqueza algal) en el sistema del río Salado, considerando el conjunto de

estaciones en todo el período de muestreo. El alcance, la duración y la intensidad de la perturbación que representó una crecida extraordinaria en 2003, modificó en forma concluyente la estructura y composición de las comunidades algales, hacia valores críticos, lo que no representaría una situación habitual en los ciclos hidrológicos de mayor regularidad. Las estaciones ubicadas en el eje transversal cauce principal-llanura aluvial de ambos sitios del Salado, Esperanza y San Justo, no se diferenciaron en los atributos ecológicos del fitoplancton ni en la mayoría de las variables limnológicas. En aguas bajas, con escaso caudal y habiéndose perdido la conexión lateral, disminuyó al máximo la capacidad autogénica de generación de algas en consonancia con la menor disponibilidad de nutrientes. A diferencia de otros sistemas subtropicales de altura pertenecientes a regiones semiáridas del noroeste argentino, el estiaje no favoreció la abundancia algal en detrimento de los restantes atributos ecológicos del fitoplancton. La composición y abundancia de los grupos dominantes en el curso principal no exhibieron diferencias significativas con los ambientes del valle aluvial. La excepción la constituyó el grupo de las Euglenophyceae que aumentaron en el período de aguas altas crecientes en comparación con las restantes fechas. El grupo de Bacillariophyceae pennadas fueron dominantes en ambos tramos del Salado, siendo secundadas por Chlorophyceae y Cyanophyceae en todos los cuerpos de aguas considerados. Las Dinophyceae sólo produjeron incrementos significativos durante julio de 2003. El índice de diversidad representó ser un buen indicador de la estabilidad de las comunidades y de su resistencia a los disturbios, siendo sus valores fueron menores después del episodio de inundación extraordinaria de 2003.

Agradecimientos

Este trabajo fue realizado gracias al apoyo económico del Proyecto CAI+D 2002 realizado en la Facultad de Humanidades y Ciencias, Universidad Nacional del Litoral; bajo la coordinación de la MSc. Mercedes Marchese, Directora del Proyecto CAI+D 2002-2004 y PICTO 2004-2006. Por datos hidrológicos y Limnograma al Ministerio de Asuntos Hídricos de la Provincia de Santa Fe.

Bibliografía

1. INCyTH. 1986. Caracterización hidrológica de la cuenca del río Salado. Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídrica-Centro Regional Litoral **1**: 169 p.
2. INCyTH. 1992. Delimitación de Areas de Riego Hídrico en Santa Fe Sistema Salado. Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídrica-Centro Regional Litoral Tomo III.
3. Junk, W. J.; Bayley, P. B. y Sparks, R. E. 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* **106**: 110-127.
4. Carignan, R. y Neiff J. J., 1992. Nutrient dynamics in the floodplain ponds of the Paraná river (Argentina) dominated by the water hyacinth *Eichhornia crassipes*. *Biogeochemistry* **17**: 85-121.
5. Thomaz, S. M.; Lansac-Toha, F. A.; Roberto, M. C.; Esteves, F. A. y Lima, A. F. 1992. Seasonal variation of some limnological factors of lagoa do Guaraná, a várzea lake of the high Paraná river, State of Mato Grosso do Sul, Brazil. *Rev. Hydrobiol. Trop.* **25** (4): 269 – 276
6. Amato de Moraes Vazzoler, A. E.; Agostinho, A. A. y Segatti Hahn, N. 1997. A planície de inundação do alto rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos. Maringá, Brazil. 460 p.
7. Pagioro, T. A. 1996. Descomposicao de duas

populacoes distintas de *Eichhornia azurea* (Swartz) Kunth da planicie de inundacao do alto rio Paraná. Maringá, Universidade Estadual de Maringá. 37 pp.

8. Maglianesi, R.E y Depetris, P. J. 1970.

Características químicas de las aguas del río Salado Inferior (Santa Fe). *Physis*. **30** (80): 19-32.

9. Giacosa, R. 1986. El valle aluvial del Salado y lagunas circulares. En: Caracterización hidrológica del Río Salado. INCYTH- Litoral-MOSP- Santa Fe **1**: 169 p.

10. Fernández, V. 1999. Fitoplancton y características ambientales en el Tramo inferior del río Salado del Norte (Santa Fe, Argentina). Tesis de Licenciatura en Biodiversidad. Universidad Nacional del Litoral. 48 p.

11. García de Emiliani, M. O. y Devercelli, M. 2004. 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). *Revista FABICIB*. **8**: 23 -42.

12. Neiff, J. 1990. Ideas para la interpretación ecológica del Río Paraná. *Interciencia* **15** (6): 424-441.

13. Villafañe, V. E. y Reid, F. M. H., 1995. Métodos de Microscopía para la cuantificación del fitoplancton. En: K. ALVEAL.M.E. FERRARIO,E.C.OLEVEIRA & E.SAR(eds.), Manual de Métodos Ficológicos. pp 169-185. Universidad de Concepción, Chile.

14. Bourrelly, P. 1968. Les Algues d'Eau Douce I. Les Algues Vertes. II Les Algues Jaunes et Brunes. III. Les Alges Bleues et Rouge. Boubée, Paris, 1461 p.

15. Tell, G; Izaguirre, I. y O´Farrell, I. 1994. Ecological and Taxonomical Remarks on the Desmid Flora of the Lower Uruguay River Basin (Argentina). *Bibliotheca Phycologica*. Cramer. Berlín. Stuttgart. 141 p.

16. Comas Gonzalez, A. 1996. Las Chlorococcales Dulceacuicolas de Cuba. *Bibliotheca Phycologica*. J. Cramer. Berlín.

Stuttgart. 192 p.

17. Komárek, J. y Anagnostidis, K. 1986. Modern Approach to the Classification System of Cyanophytes. 2. Chroococcales. *Arch. Hydrobiol., Suppl.* **73**, 2 (Algological Studies 43). Stuttgart. 157 – 226.

18. Komárek, J. y Anagnostidis, K. 1969. Modern Approach to the Classification System of Cyanophytes. 4. Nostocales. *Arch. Hydrobiol., Suppl.* **82**, 3 (Algological Studies 56). Stuttgart. 247-345.

19. Krammer, K. y Lange-Bertalot, H. 1986. Bacillariophyceae. Band 2/1. Teil: Naviculaceae. Gustav Fischer Verlag, Jena 876 pp.

20. Krammer, K. y Lange-Bertalot, H. 1988. Bacillariophyceae. Band 2/2. Teil: Bacillariaceae, Ephitemiaceae, Surirellaceae. Gustav Fischer Verlag. Jena 596 pp.

21. Krammer, K. y Lange-Bertalot, H. 1991. Bacillariophyceae. Band 2/3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. Gustav Fischer Verlag. Jena 576 pp.

22. Patrick, R. & C.W. Reimer. 1966. The Diatoms of the United States exclusive of Alaska and Hawaii. Vol.1. Acad. Nat. Sci. Philadelphia monog: **13**: 1-688. 2

23. Patrick, R. & C.W. Reimer. 1975. The Diatoms of the United States exclusive of Alaska and Hawaii. Vol.2. Acad. Nat. Sci. Philadelphia monog: **13**: 1-213.

24. Shannon, C. E. y Weaver, W., 1963. The mathematical theory of communication. Univ. Illinois Press, Urbana. 177pp.

25. Conforti, V., Alberghina, J. y Urda, E. G. 1995. Structural changes and dynamics of phytoplankton along a highly polluted lowland river of Argentina. *J. Aquatic Ecosystem Health* **5**: 59 -75.

26. Reynolds, C. S., 1972. Growth, gas vacuolation and buoyancy in a natural population of a planktonic blue-green alga. *Freshwat. Biol.* **2**: 87–106.

27. Stoyneva, M. P. 1994. Shallows of the

- Lower Danube as additional sources of potamoplankton. *Hydrobiologia* 289: 171-178
- 28.** Train, S. y Rodrigues, L. C. 1998. Temporal fluctuations of the phytoplankton community of the Baía River, in upper Paraná River floodplain, Mato Grosso do Sul, Brazil. *Hydrobiologia* **358**: 1-10
- 29.** Rojo, C.; Alvarez Cobelas, M. y Arauzo, M., 1994. An elementary structural analysis of river phytoplankton. *Hydrobiologia* **289**: 43 - 55.
- 30.** Bonetto, C. A.; Zalocar, Y.; Caro P. M. y Vallejos, E. R., 1979. Producción primaria del fitoplancton del río Paraná en el área de su confluencia en el río Paraguay. *Ecosur* **6** (12): 207-227.
- 31.** Zalocar de Domitrovic, Y. y Vallejos, E. R. 1982. Fitoplancton del río Alto Paraná, variación estacional y distribución en relación a factores ambientales. *Ecosur* **9** (17): 1-28
- 32.** Schiaffino, M. 1977. Fitoplancton del río Paraná I. Sus variaciones en relación al ciclo hidrológico en cauces secundarios de la llanura aluvial. *Physis B* **36** (92): 115-125.
- 33.** Bonetto, A. A. 1984. Contribución al conocimiento limnológico del río Bermejo en su tramo inferior. *Ecosur* **11** (21-22): 61-74.
- 34.** Garcia de Emiliani, M. O. y Emiliani, F. 1997. Mortandad de ganado y aves silvestres asociadas con una floración de *Anabaena spiroides* Kleb. *Natura Neotropicalis*. **28** (2): 150-157.
- 35.** Emiliani, F y Gonzalez de Paira, S. 1998. Calidad bacteriológica de la laguna Bedetti (Santo Tomé, Provincia de Santa Fe, Argentina) y variables ambientales asociadas. *Revista Argentina de Microbiología*. **30**: 30-38.
- 36.** Marchese, M. y Ezcurra de Drago, I. 1983. Zoobentos de los principales tributarios del río Paraná medio en el tramo Goya-Diamante. Su relación con el cauce principal y cauces secundarios. *Revista de la Asociación de Ciencias Naturales del Litoral*. **14**: 97-107
- 37.** Gabioux, M.; Trento, A. y Venturini, V. 1998. Identificación de Fuentes de Polución en la Cuenca del Río Salado (Santa Fe). En *Anales XVII Congreso Nacional del Agua*. **5**: 117