

Fitoplancton de embalses subtropicales del noroeste argentino

Phytoplankton of subtropical reservoirs of northwestern Argentina

María Mónica Salusso*
Liliana Beatriz Moraña**

Recibido para evaluación: 11 de diciembre de 2014
Aceptación: 15 de julio de 2014
Recibido versión final: 21 de julio de 2014

Resumen

Los embalses Cabra Corral y El Tunal de la cuenca del Juramento (ACJ), constituyen los reservorios de mayor relevancia de la provincia de Salta (Argentina). Se analizó la composición y estructura del fitoplancton en ambas presas en febrero, mayo y octubre en el período 1998-2011, utilizando técnicas normalizadas. El inventario algal comprendió un total de 334 spp., siendo los grupos más diversos: Chlorophyta (116), Bacillariophyta (112) y Cyanophyta (64). La abundancia y diversidad de especies estuvieron asociadas con los cambios en las descargas de agua. Los valores más altos de riqueza y diversidad específicas, se alcanzaron durante los períodos de lluvias, siendo inversa la situación en estiaje, cuando se incrementó la biomasa total; excepto durante los picos de floraciones de Dinophyta. La aparición de cianobacterias con potencial tóxico fue más significativa en el verano tardío y otoño. A pesar de que el número total de especies registrado es alto comparado con otros reservorios subtropicales, sólo unas pocas pueden ser consideradas como comunes o frecuentes (*Aulacoseira granulata*, *Cyclotella meneghiniana*, *Sphaerocystis Schroeteri*, *Chroomonas minuta*). La biomasa estuvo asociada a nivel local con las precipitaciones y el manejo del nivel hidrométrico y a nivel regional con el área superficial de los reservorios.

Palabras clave

Limnología, microalgas, reservorios, Alta Cuenca del Juramento.

Abstract

Cabra Corral and El Tunal reservoirs of High Juramento Basin, are the most important reservoirs in the province of Salta (Argentina). The composition and structure of algal assemblages in seasonal sampling in both dams during February,

.....
*. Dra. Profesora Asociada, Facultad Ciencias Naturales, Universidad Nacional Salta. Correo electrónico: mmsalusso@gmail.com

***. Dra. Profesora Adjunta, Facultad Ciencias Naturales. Universidad Nacional Salta.

May and October of 1998-2011 according standard techniques were analyzed. The inventory of species includes a total of 334 spp., being the most diverse groups: Chlorophyta (116), Bacillariophyta (112) and Cyanobacteria (64). The phytoplankton abundance and species diversity were associated with changes in water discharges. The highest values of richness and diversities, were reached during the rainy season the situation being reversed in low water when it tends to increase the total biomass, except during Dinophyta blooms. The emergence of potentially toxic cyanobacteria was more significant in the late summer and autumn. Although the total number of species recorded is high compared to other subtropical reservoirs, only a few can be considered common or frequent (*Aulacoseira granulata*, *Cyclotella meneghiniana*, *Sphaerocystis schroeteri* *Chroomonas minuta*). Biomass was associated locally with rainfall and / or management of hydrometric level and regional level with the surface area of the reservoirs.

Key words

Limnology, microalgae, reservoirs, High Juramento Basin.

Introducción

Los embalses Cabra Corral y El Tunal de la Alta Cuenca del Juramento (ACJ), constituyen los reservorios de mayor relevancia de la provincia de Salta (Argentina), por su rol estratégico en el sostenimiento de las actividades económicas de la región, habiendo sido construidos para la regulación de crecidas, riego y provisión de energía hidroeléctrica.

Ambos reservorios difieren tanto en sus características morfohidrométricas como en su ubicación geográfica, dado que El Tunal se emplaza en la región árida del Chaco salteño a menor altitud (454 msnm) siendo el colector final de aguas de la cuenca (tabla 1, figura 1). Estudios limnológicos previos en este cuerpo de agua, señalan mayor tenor salino y concentración de material particulado en suspensión (Salusso y Moraña, 2000). Por otra parte, en ambos reservorios se han sucedido desde mediados de 2000, floraciones de Dinófitas (*Ceratium hirundinella*) que en varios pulsos sucesivos, causaron diversos impactos sobre la biomasa tanto de productores primarios como sobre la fauna ictícola (Salusso y Moraña 2007).

Resultado de la estacionalidad de las precipitaciones y el prolongado estiaje, se destaca el efecto que ejerce el ciclo hidrológico sobre el funcionamiento

limnológico de estos cuerpos de agua, y la necesidad de ajustar el manejo de los niveles hidrométricos a un mínimo crítico, que no comprometa la integridad ecológica de ambos sistemas (Salusso 2010). Por otra parte, la construcción de presas ocasiona la alteración en el transporte de sedimentos a gran escala, incrementando significativamente el tiempo de retención con la aceleración de la eutrofización y contaminación, el deterioro de la calidad del agua y la pérdida de servicios ecosistémicos, incluida la biodiversidad (Tundisi et ál. 2006).

Las comunidades del fitoplancton en reservorios hidroeléctricos son altamente susceptibles a las fuerzas exógenas, tales como ingresos externos de sólidos suspendidos y nutrientes, cargas hidrológicas, tiempo de residencia hidráulica, y operación humana de las presas (Straskraba y Tundisi 1999).

A partir del monitoreo limnológico realizado en los reservorios de la ACJ, casi por dos décadas, se proponen como objetivos específicos del estudio: relevar la diversidad del fitoplancton, caracterizar la conformación de los ensambles de especies en ambas fases del ciclo hidrológico y establecer patrones de variabilidad temporal de las comunidades autótrofas.

TABLA 1. Características morfohidrológicas de los embalses de la Alta Cuenca del Juramento

Embalses	Altura msnm.	Área (km ²)	Volumen (hm ³)	Z _{max} (m)	T _w (años)	Secchi (m)	Cuenca de drenaje (km ²)	Z _m (m)
C. Corral	945	113,6	3130	50	2,6	2,11	30.000	27,5
El Tunal	470	22,83	174	35	0,25	1,01	5.900	7,6

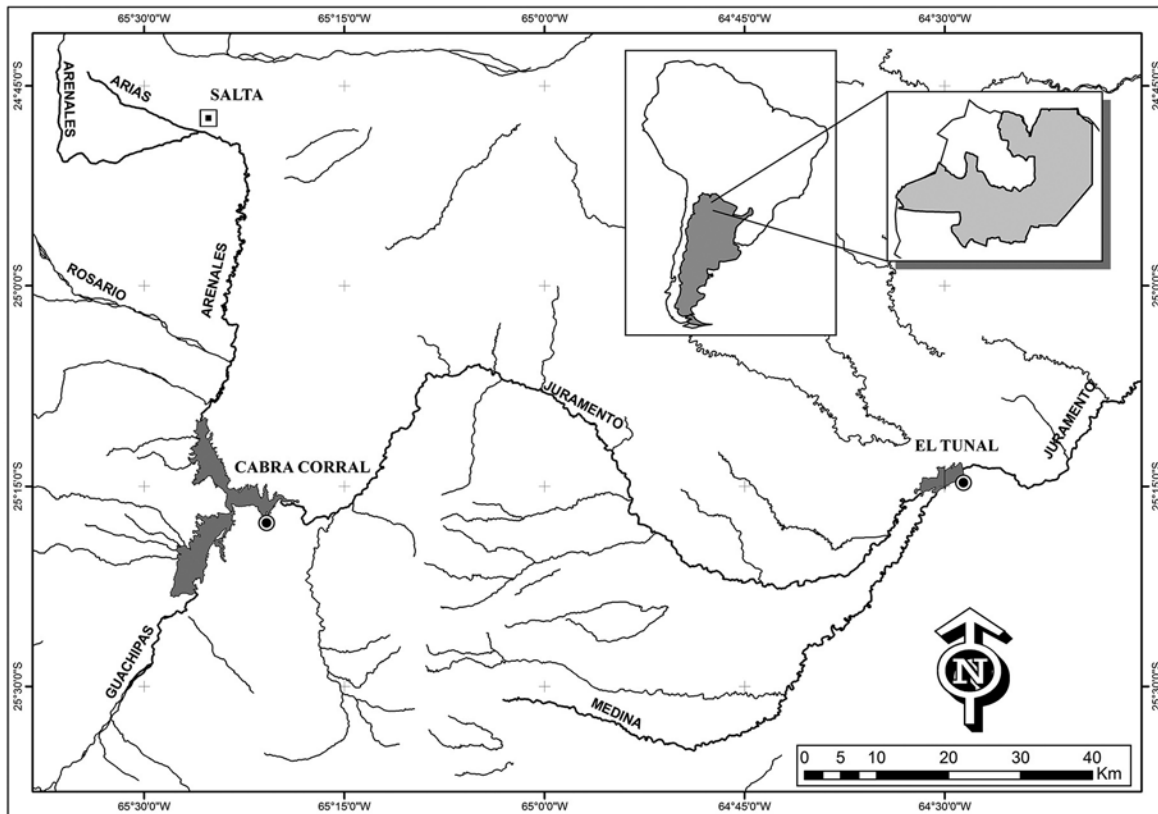


FIGURA 1. Embalses Cabra Corral y El Tunal de la Alta Cuenca del Juramento (Salta)

Metodología

Se realizaron muestreos en los dos embalses en los meses de febrero, mayo y octubre de cada año entre 1998 – 2011 (Hidroeléctrica Juramento, AES Hidroeléctrica) (figura 1). Las muestras fueron colectadas con muestreadores tipo Van Dorn, y extraídas en las presas a la profundidad de un disco de Secchi. Las muestras enteras sin filtrar se fijaron *in situ* con lugol acético al 1 %,

y se emplearon para los análisis cuantitativos, previa sedimentación en cámaras combinadas y recuentos al microscopio invertido según técnica de Utermöhl (1958). El agua para el análisis cualitativo del fitoplancton, se filtró por redes de 20 μm de poro, y fijada con formaldehído al 4 %. La cuantificación de pigmentos clorofílicos se realizó mediante técnica espectrofotométrica y extracción con etanol según Marker et ál. (1980).

Las determinaciones taxonómicas se efectuaron utilizando obras especializadas: Patrick y Reimer (1966), Komárek y Anagnostidis (1999, 2005), Komárek y Komárková-Legnerová, 2007; Krammer y Lange-Bertalot (1986, 1988, 1991), entre otros.

Las principales características morfohidrológicas de los reservorios se detallan en la tabla 1. Ambos embalses presentan estratificación térmica en verano, con un único período de mezcla en los meses invernales.

Resultados

Los reservorios están sometidos a un extenso período de estiaje (de mayo a octubre) y un corto período lluvioso (de noviembre a abril), sus características físico-químicas se muestran en la tabla 2.

El inventario de especies del fitoplancton comprende un total de 334 especies, siendo los grupos más diversos: Chlorophyta (116), Bacillariophyceae (112) y Cianoprokariota (64); en orden decreciente Euglenophyta (16), Criptophyta (10), Dinophyta (9), Chrysophyta (4), Xantophyta (3).

El número de especies por muestra varió en promedio de 17 a 21, alcanzado el valor máximo en El Tunal (48 spp.) en octubre de 2008, y el mínimo de 2 spp. en C. Corral durante la floración de Dinophyta en octubre de 2003. La cantidad media de taxa fue inferior en este último reservorio (17) comparado con el primero (21) ($p=0,041$; $t = 2,87$). En cuanto a la distribución de especies representadas por grandes grupos taxonómicos, se aprecia que las Chlorophyta, Bacillariophyta y Cianoprokariota son los grupos más diversos en ambos reservorios (figura 2). Las restantes categorías tuvieron valores bajos (menores a 20 spp.), aunque en el caso de Dinophyta y Cryptophyta, se presentaron altas densidades relativas.

En ambas presas, la riqueza de especies fue significativamente más elevada durante las fases de aguas altas del ciclo hidrológico (Tabla 3), en coincidencia con los aportes exógenos de nutrientes. Es evidente que el mayor número de taxa se presentó en los ingresos de los ríos a los dos reservorios, dado que los tributarios exhiben altos niveles de riqueza de especies (Salusso 2010).

TABLA 2. Parámetros fisicoquímicos de embalses ACJ

	Cabra Corral		El Tunal	
	mediana	rango	mediana	rango
pH	8,47	6,60 - 9,52	8,59	6,54 - 9,31
Cond (µS-cm-1)	390	259 - 490	562	336 - 706
O.D.(%)	94	12,91 - 197	98,50	4,30 - 184
Secchi (m)	1,80	0,50 - 6,00	1,00	0,60 - 2,30
Turbidez (NTU)	5,00	1,05 - 85,0	13,10	2,09 - 365
N-NO₃ (mg/L)	0,10	0,0 - 0,30	0,10	0,00 - 1,20
P-PRS (mg/L)	0,07	0,01 - 1,16	0,09	0,01 - 20,62

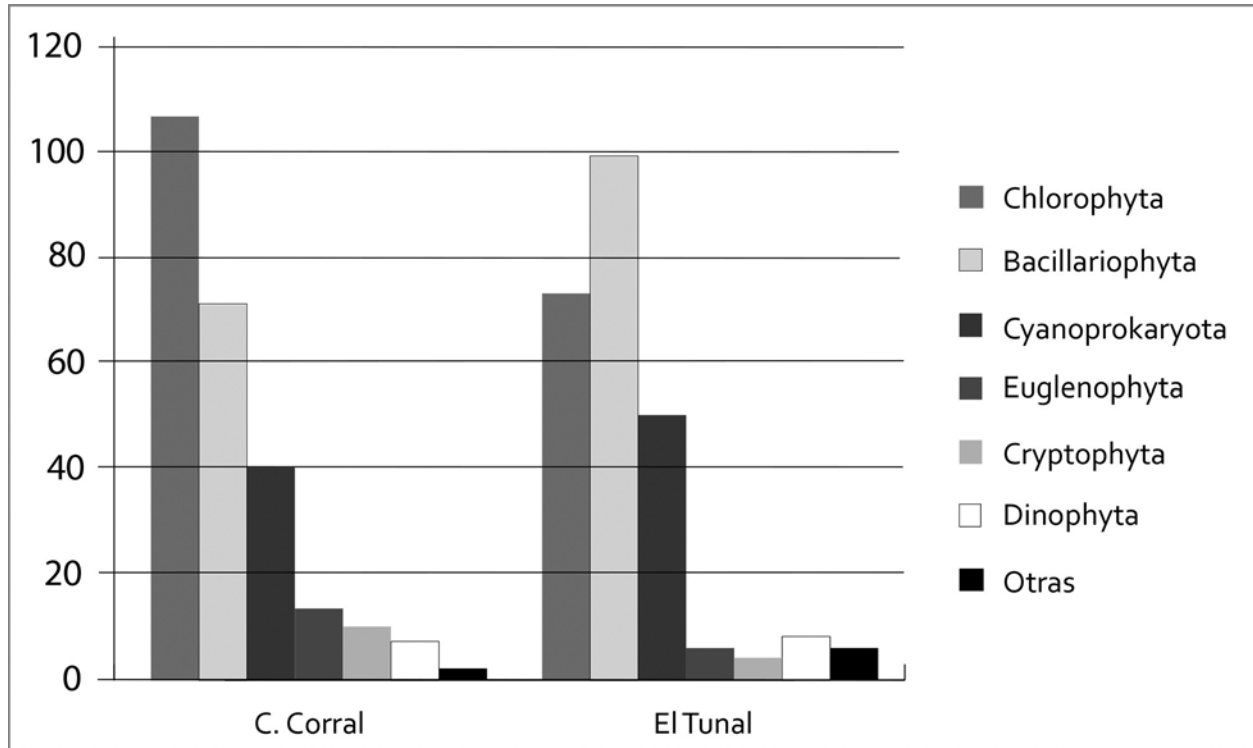


FIGURA 2. Cantidad de especies por categorías taxonómicas representadas en cada embalse de la Alta Cuenca del Juramento

TABLA 3. Atributos del fitoplancton en Cabra Corral y El Tunal en ambas fases del ciclo hidrológico

Variable	Cabra Corral	El Tunal	p
Número de spp.	C= 20,30 ± 1,42 E= 10,15 ± 1,98	C=22,25 ± 1,94 E= 11,00 ± 5,02	< 0.008
Diversidad Shannon-Weaver	C= 2,22 ± 0,17 E= 1,55 ± 0,24	C= 2,54 ± 0,17 E= 1,98 ± 0,21	< 0,045
Clorofila a	C= 13,59 ± 10,04 E= 60,84 ± 15,06	C=17,86 ± 6,63 * E= 16,41 ± 8,50 *	< 0.012

Las especies más frecuentes, aunque no necesariamente las más abundantes se encontraron entre las Bacillariophyta: *Aulacoseira granulata*, *A. granulata* var. *angustissima* y *Cyclotella meneghiniana*; entre las Chlorophyta: *Sphaerocystis Schroeteri*, *Coenococcus planctonicus*, *Oocystella lacustris*, *Eutetramorus planctonicus* y *Schroederia setigera*; entre las Criptophyta: *Chroomonas minutissima*, entre el grupo de Cianoprokariota: *Chroococcus dispersus*, y las especies con potencial tóxico: *Dolichospermum spiroides*, *D. circinale*, *D. flos-aquae* y *Microcystis aeruginosa*, *M. flosaquae*; y entre las Dinophyta: *Ceratium hirundinella*. Esta última especie a partir de 2009 ha sido reemplazada por *Ceratium furcoides*, la cual fue reportada por primera vez en 2007 en un reservorio brasileño (Matsumura-Tundisi et ál. 2010).

La abundancia del fitoplancton en El Tunal varió entre un máximo de 14.604 ml en mayo de 1999 cuando se dio una floración de Cianobacterias, y un mínimo de 197 ind/ml en mayo de 2005, en tanto que en Cabra Corral, el valor máximo de 66.227 ind/ml, correspondió a mayo de 2007 en concomitancia con una floración de *Microcystis aeruginosa* presentando también el mínimo valor 163 ind/ml

en el mes de mayo de 2005. Existieron diferencias significativas en esta variable entre ambos reservorios, correspondiendo a C. Corral el promedio más alto ($7.323,38 \pm 1681$) en relación con El Tunal ($2.357,64 \pm 1680$) ($p= 0,04$; $t= 2,89$). Los rangos de abundancia se asemejan a los obtenidos en embalses eutróficos del norte y centro de Argentina (Martínez de Marco y Tracanna 2001; Bustamente 2012).

En embalses tropicales, los dos períodos de transición (primavera temprana y otoño) situados entre los períodos más estables de estratificación y circulación, favorecen la productividad del fitoplancton. Esto puede apreciarse en nuestro estudio sólo en el muestreo intermedio de otoño realizado en C. Corral (figura 3). En la fase de crecidas del verano, las intensidades de luz son inferiores por aumento de días nublados y turbulencias causadas por tormentas, limitación de N, y aumento de sedimentos en suspensión, por lo que la biomasa tiende a ser inferior.

En Cabra Corral los grupos más abundantes fueron las Bacillariophyta, Criptophyta y Dinophyta (Figura 4), así como el grupo de Cianoprokariota, especialmente en fase de aguas altas que coincide con los meses más cálidos de verano y otoño (Figura 5).

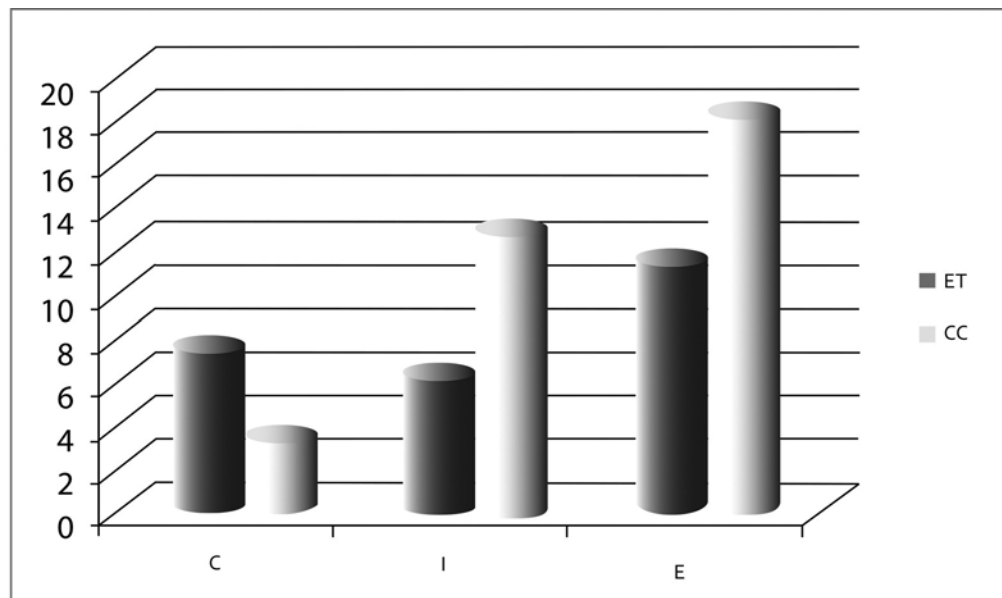


FIGURA 3. Valores medianos de biomasa (Cl a.m-2) en las etapas de crecidas, intermedia y estiaje en ambos embalses de la ACJ.

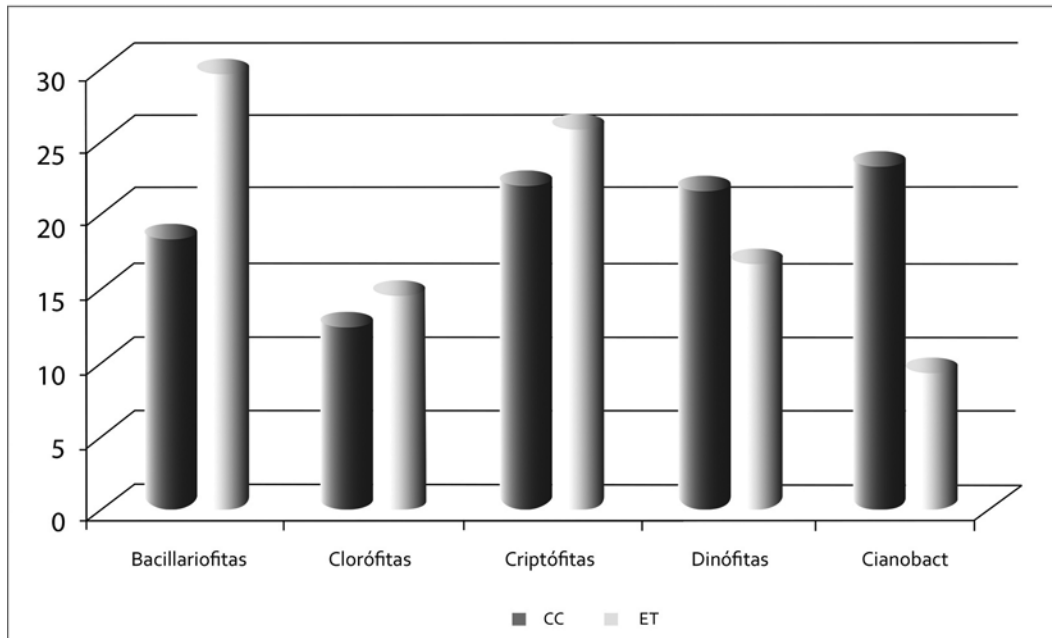


FIGURA 4. Representación porcentual de grupos taxonómicos en los reservorios de la Alta Cuenca del Juramento

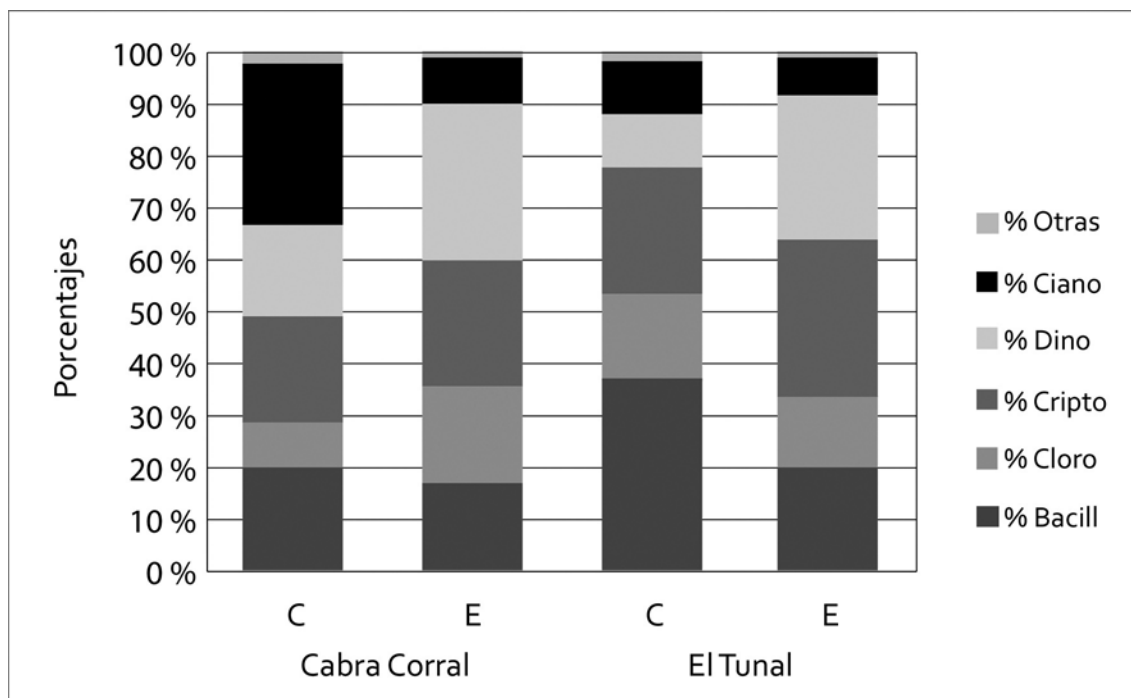


FIGURA 5. Representación porcentual de grupos taxonómicos en estiaje (E) y crecidas (C) en los reservorios de la Alta Cuenca del Juramento.

La densidad del grupo de Cianoprokariota fue la única que se diferenció entre presas, en forma significativa, siendo en C. Corral de 4.948 ind/ml y de 302 ind/ml en El Tunal ($p=0,0347$; $t= 4,18$).

Los otros grupos del fitoplancton no representan una fracción de importancia, dado que en conjunto Euglenophyta, Crysophyta y Xantophyta no superan el 2 %, siendo además su aparición esporádica, lo que es característico de otros embalses de diversas latitudes del mundo.

Según la fase del ciclo hidrológico, sólo las especies de Cianoprokariota mostraron ser más abundantes en Cabra Corral durante las crecidas (media 30,84 %) en relación al estiaje (8,95%) ($p=0,039$; $W=187$) (figura 5).

La diversidad específica también se diferenció entre ambos sitios, con un promedio mayor en El Tunal ($2,36 \pm 0,14$) con relación a C. Corral ($1,98 \pm 0,14$) ($t=3,12$; $p=0,05$). En el primer reservorio de reducido tamaño, existe un impacto directo de los ingresos de afluentes (ríos Medina y Juramento) sobre la zona limnética; existiendo una correlación positiva entre diversidad y el tenor de fósforo soluble ($p= 0,01, 0,92$) y entre la riqueza específica versus la concentración de nitrato ($p=0,03$; $0,78$). Al igual que la cantidad de especies, la diversidad específica fue significativamente más elevada durante las fases de crecidas ($p<0,006$).

La biomasa estimada como clorofila *a*, no se diferenció entre ambos sitios. Aunque en cada reservorio, en el análisis por año existieron contrastes: El Tunal tuvo menor biomasa en 2007 ($1,59 \text{ mg.m}^{-3}$) y ésta fue más alta en 1999 ($24,71 \text{ mg.m}^{-3}$) y sobre todo en 2000 ($33,43 \text{ mg.m}^{-3}$) cuando estuvo en pleno auge la floración de Dinophyta ($H=26,09$; $p=0,0165$). En concomitancia, la diversidad específica en estos últimos años fue más baja ($2,07$; $2,06$ $1,75 \text{ bits.ind}^{-1}$, respectivamente), ocurriendo un decrecimiento importante también en 2003 ($1,75 \text{ bits.ind}^{-1}$). En el período 2007-2009 El Tunal presentó un promedio de clorofila inferior al registrado durante el período 2001-2002 ($20,00 \text{ mg/m}^3$), probablemente como consecuencia de las oscilaciones en el nivel hidrométrico (con descensos de hasta 2,93 m), que pudo

haber provocado modificaciones en la biomasa de las comunidades algales, aunque también a consecuencia de una floración de *C. hirundinella* que aconteció en dicho período.

C. Corral, también se diferenció entre años: siendo menos productivos 2006 ($0,25 \text{ mgCl.m}^{-3}$), 2009 ($0,78 \text{ mgCl.m}^{-3}$), en tanto que se destacaron por la producción de biomasa los años: 2000 ($96,38 \text{ mg.m}^{-3}$), 2002 ($83,95 \text{ mg.m}^{-3}$), 2003 ($75,40 \text{ mg.m}^{-3}$) y 2004 ($42,03 \text{ mg.m}^{-3}$) cuando se dio el recrudescimiento de las floraciones de *C. hirundinella* ($H= 25$, $p=0,034$). En los años posteriores, 2005 y 2006 los recuentos de individuos fueron los más bajos de todo el monitoreo: 594, y 255 ind/ml, respectivamente.

Luego, entre 2007 y 2009 se presentaron densidades elevadas (36.523 , 21.252 y 32.552 ind/mL) producto de la presencia sobre todo de cianobacterias coloniales (*Chroococcus dispersus*, *Merismopedia tenuissima*, *Microcystis pulvereae*, *M. aeruginosa*, *M. viridis*, *Sphaerocavum brasiliense*) y en el último año se añade también el incremento en abundancia de una Clorophyta (*Eutetramorus fottii*). Aunque en 2007, el aporte mayor a la densidad del fitoplancton se debió principalmente a las Cryptophyta que oscilaron entre 2.482 y 6.254 ind/mL .

Algunas de las especies de cianoprocariontas, que dominaron en ambas presas coinciden con aquellas asignadas a ambientes de regiones templadas, por ejemplo, *Microcystis aeruginosa*, *Anabaena solitaria*, y *Dolichospermum circinale*. Algunas especies de *Anabaena* ocurren cuando el flujo de agua es bajo, asociado a períodos de estratificación térmica, alta disponibilidad luminosa ($Z_{eu} > 1 \text{ m}$), altos valores de pH (Reynolds 2006). Esto puede explicar la codominancia de *Dolichospermum spiroides* y *D. circinalis* en algunas fechas.

En función del ciclo hidrológico, y tal como ocurre con otros cuerpos lénticos de la región como los de Tucumán (El Cadillal, La Angostura), en los que al incrementar el nivel hidrométrico se produce una disminución de la biomasa (Tracanna et ál. 2006; Seeligmann y Tracanna 2009), se visualiza menor concentración durante la fase de crecidas ($14,97 \text{ mg.m}^{-3}$)

comparada con el estiaje (36,92)(=0,013; H=6,05). El comportamiento de la riqueza y diversidad específicas es inverso a la biomasa, a consecuencia del incremento de perturbaciones inducidas por el ingreso masivo de agua, lo que ya fuera señalado (Salusso 2010).

Al considerar las estaciones climáticas muestreadas: sólo el verano presentó valores de temperatura (26,29 °C), diversidad (2,52 bits.ind⁻¹) y riqueza (23,80) de especies más altos ($p < 0,005$). Por otra parte, en El Tunal se evidenciaron diferencias altamente significativas en los atributos algales entre dos períodos 1998-2004 y 2005-2011 (Tabla 4).

En el caso del Cabra Corral, no se aprecia ningún contraste entre los mismos rangos de fechas analizados.

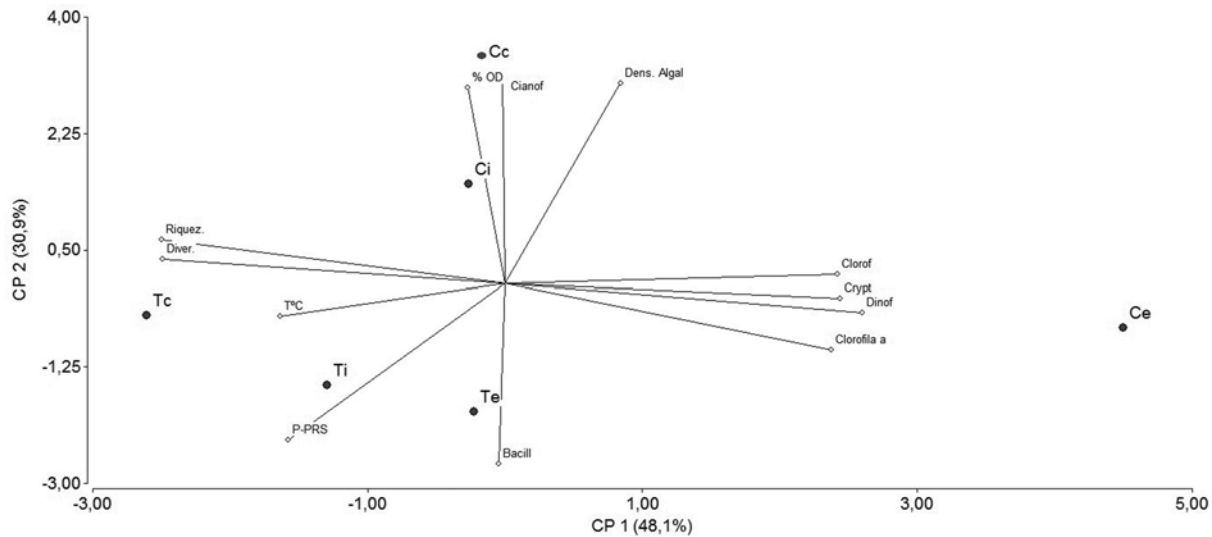
En el PCA realizado considerando los principales grupos algales y algunas variables fisicoquímicas, los dos primeros componentes dan cuenta del 79 % de la variabilidad de los datos, el primero del 48 % y el segundo del 31 % de la varianza total (figura 6; Tabla 5). Hacia la parte negativa del primer eje se distribuye El Tunal en crecidas (Tc), y fase intermedia (Ti) (final de llenado de las presas), ambos momentos en los cuales se presentan los valores más altos de riqueza (25,71 y 23 spp.) y diversidad (2,73 y 2,40 bits.ind⁻¹) en este embalse, respectivamente. En el extremo positivo del primer eje se ubica C. Corral en el estiaje (Ce), con los valores más elevados de biomasa (Cl a= 65,44 mg.m⁻³) e incrementos en la representatividad de Dinophyta (29,83 %), Cryptophyta (25,14 %) y Chlorophyta (18,43 %).

TABLA 4. Comparación de valores medianos de atributos del Fitoplancton en el embalse El Tunal en I° período (1998-2004) y II° período (2005-2011)

Variable	Mediana I°	Mediana II°	Estadístico W
Cl a mgC.m ⁻²	15,04	3,77	281 <0,0001
Densidad algal Ind./mL	2125	853	361 <0,0001
H bits.ind ⁻¹	2,17	2,90	717 <0,0001
N° spp	23	14	483 <0,0001

TABLA 5. Matriz de autovectores del PCA

Variables	e1	e2
T°C	-0,25	-0,07
P-PRS	-0,24	-0,36
Clorofila a	0,36	-0,15
Dens. Algal	0,13	0,46
Diver.	-0,38	0,06
Riquez.	-0,38	0,10
Clorof	0,37	0,02
Crypt	0,37	-0,04
Dinof	0,40	-0,07
Cianof	-3,5E-03	0,49
%OD	-0,04	0,45
Bacill	-0,01	-0,41



El segundo componente, diferenció hacia la parte positiva del eje, a C. Corral en crecidas (Cc) cuando ocurre un aumento significativo de cianobacterias (40,49 %), con floraciones diversas que producen porcentajes de sobresaturación de oxígeno, durante las horas diurnas. La representación de este grupo tuvo el promedio más alto durante la época de crecidas, comparado con el estiaje (8,96%) ($p=0,0355$; $H=6,59$) y fase intermedia (18,55%), atribuible a la temperatura más alta (26,07 °C) en relación a las restantes fases (< 21 °C).

En la etapa intermedia (Ci) sólo las diatomeas (30,94 %) fueron más abundantes (en mayo u otoño) en contraste con la fase de crecidas en la cual su representación fue la menor de las tres etapas (10,33 %) ($p=0,038$; $H=6,49$). A diferencia de otros embalses de dimensiones mucho más reducidas, opera un efecto de retardo en la movilización y circulación del agua cuando prácticamente han concluido las precipitaciones.

En la parte negativa del segundo componente, se destaca El Tunal en estiaje (Te) que presentó valores medianos bajos de fósforo reactivo soluble en estiaje (0,09 mg/L) a pesar de algunos registros puntuales altos, ambos en noviembre de 2009 y 2011, los cuales influyen en el valor medio que es mucho más alto (2,15 mg/L P-PRS), existiendo una menor proporción de diatomeas (20,75 %) en relación a la fase de crecidas

(33,90 %) y fase intermedia (35,31 %). En tanto que en crecidas (Tc) se dieron los valores más altos de diversidad y riqueza para este sitio.

El análisis del comportamiento del fitoplancton durante el período de estudio, muestra una variación cíclica en ambos embalses, con relación a algunos atributos ecológicos: valores más elevados de riqueza y diversidad específicas en la fase de aguas altas, y abundancias de diatomeas pennadas más elevadas durante la fase intermedia, en tanto que las densidades de criptófitas y dinófitas incrementan durante el estiaje.

Las criptófitas nanoplanctónicas pueden optimizar la toma de nutrientes al momento de su menor disponibilidad en la primavera. Se ha mencionado que algas menores a 20 μm contribuyen con un 70 al 100 % de la densidad total durante las fases de bajos niveles de agua en reservorios brasileños (Gil-Gil et ál. 2011). En nuestros reservorios, esto también se cumple aunque su presencia fue constante en el resto del ciclo hidrológico.

Las densidades totales del fitoplancton, muestran fluctuaciones con algunos picos en el año, lo que es característico del status trófico meso-eutrófico que poseen, al igual que ocurre en otros reservorios tropicales (Huszar et ál. 1998).

A pesar de que el número total de especies registrado es alto comparado con otros reservorios de la región,

sólo unas pocas especies pueden ser consideradas como comunes o frecuentes en estos cuerpos de agua.

La similitud entre las muestras en función de las abundancias específicas fue calculada usando el Índice de Similitud de Bray-Curtis, luego de eliminar las especies raras. La matriz de similaridad resultante fue usada para el Cluster Analysis usando el método de Agrupamiento Promedio (Figura 7). Se observan básicamente tres grupos: el grupo I comprende los ensambles

de especies típicas de la fase de crecidas (verano) con predominio de Clorophyta coloniales: *Coenococcus*, *Oocystis*, *Sphaerocystis*, *Eutetramorus*; y Cianoprokariotas (*Microcystis*, *Dolichospermum*, *Anabaena*, *Chroococcus*).

El grupo II incluye las especies predominantes en fase intermedia (otoño tardío) con *Merismopedia*, *Snowella*, *Synechococcus* entre las cianobacterias. Aparecen en ese período algunas diatomeas pennadas (*Navícula*, *Nitzschia*, *Fragilaria*) y algunas Clorophyta (*Scenedesmus*).

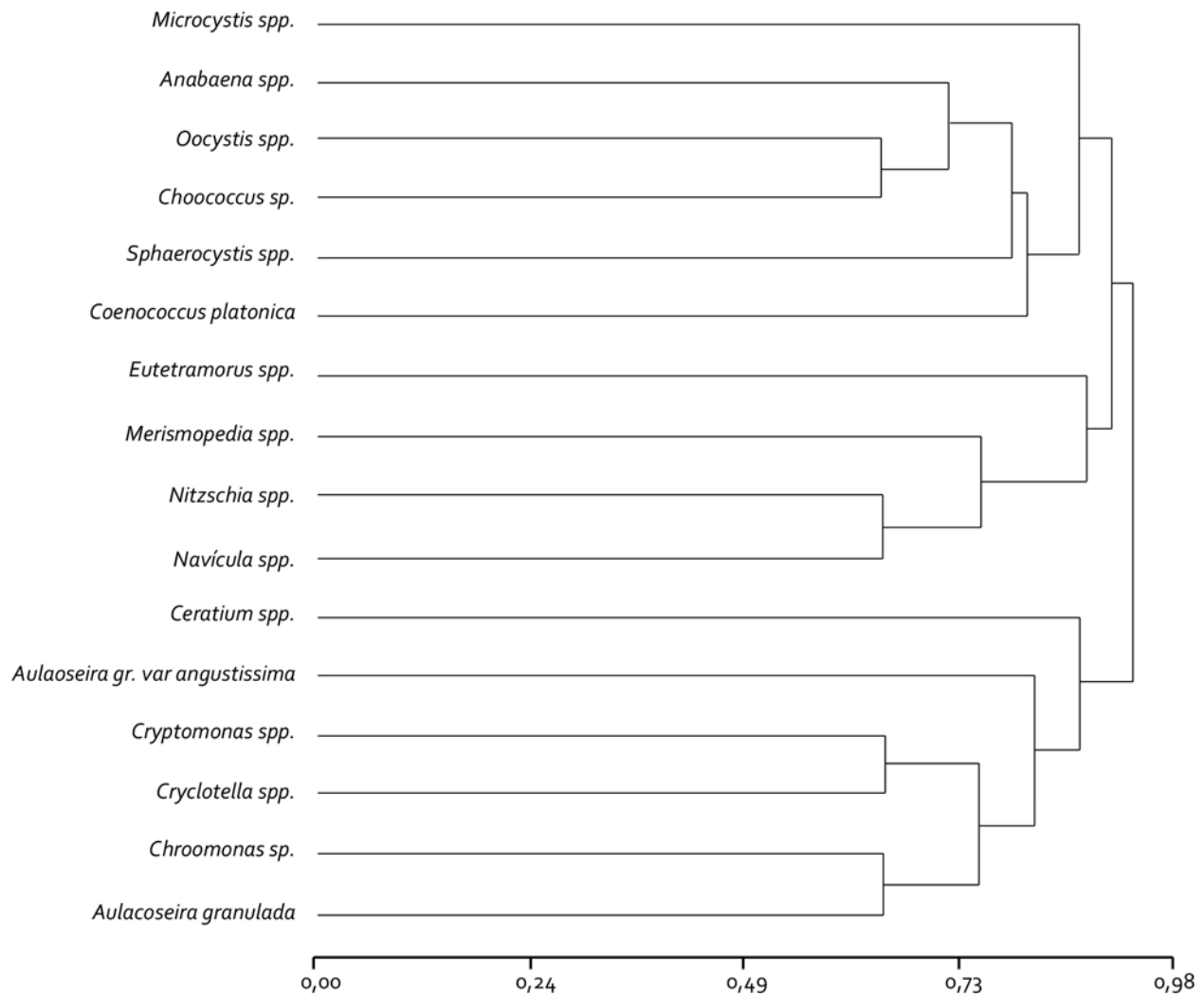


FIGURA 7. Dendrograma de ensambles de especies representativas de las fases del ciclo hidrológico en ambos embalses de la ACJ

El grupo III propiamente del estiaje incluye las asociaciones de Dinophyta (*Ceratium*) y Cryptophyta (*Chroomonas*, *Cryptomonas*), y las diatomeas centrales del género Aulacoseira: *A. granulata* y *A. granulata* var. *angustissima* y *Cyclotella* (*C. ocellata*, *C. meneghiniana*, *C. stelligera*).

Las floraciones de cianobacterias parecen estar ligadas a eventos de elevadas temperaturas e incrementos del tiempo de residencia del agua, aunque en el primer período (1998-2004) no fueron de tanta magnitud, no así en la segunda etapa (2005-2011), cuando en forma creciente se dieron sobre todo picos de *Chroococcus* y *Microcystis*. Dado el corto tiempo de retención de El Tunal, es un sistema mucho más dinámico, que permite mayores cambios en los ensamblajes algales, en tanto Cabra Corral presentó patrones temporales mucho más estables. Las cianobacterias, hacia finales del estiaje (muestreos de octubre) no fueron relevantes, lo que puede verse limitado por controles de procesos advectivos, generados por mayores erogaciones para riego y lavado hacia afuera, más bien que debido a restricciones en su capacidad de autogeneración; o bien al artificio generado por la frecuencia de muestreos. A lo largo del muestreo, se pudieron detectar numerosas especies de cianobacterias con potencial tóxico: *Microcystis flosaquae*, *M. wesenbergii*, *Gomphosphaeria aponina*, *Coelosphaerium kuetzingianum*, *Dolichospermum spiroides*, *D. circinale*, *Nodularia spumigena*, *Snowella lacustris*, *Woronichinia naegeliana*, entre otras. En muestreos realizados entre 2007 y 2009 se efectuaron análisis para detectar microcistinas en ambos embalses, obteniéndose resultados negativos (Borja, 2011). Se requiere del monitoreo continuo para prevenir riesgos ambientales.

A nivel regional, en un análisis que abarca 104 reservorios de Sudamérica, se obtuvo una correlación inversa entre el área de los embalses y la biomasa algal ($r^2=0,64$; $p<0,05$), y entre la primera y el TP ($r^2=62$, $p=0,04$) y versus el TN ($r^2=0,84$; $0,02$). Si bien otros autores han descrito una relación positiva entre área-especies en comunidades de lagos alpinos y pantanos salinos (Stomp et al. 2011), es

evidente que los microorganismos pueden mostrar una sustancial variación geográfica en la biodiversidad.

La composición florística del fitoplancton de cuerpos de agua lénticos (sub)tropicales se asemeja a la de ambientes templados tanto respecto al número total de taxones, como a las asociaciones de géneros que se establecen, por lo que tendrían similar complejidad (Lewis 1986; Huszar 1996).

En nuestros reservorios, el incremento del tiempo de residencia del agua parece ser relevante para el incremento de la abundancia/biomasa del fitoplancton, cosa que no ha sido determinante en otros reservorios subtropicales de Brasil, donde más bien su ubicación en la cuenca, determina el incremento de las condiciones tróficas aguas abajo, en las partes medias a inferiores (Nogueira et al. 2010). Hasta el muestreo de 2004, esa parecía ser la tendencia respecto a El Tunal, pero luego se revirtió. Scheffer (2004) sugiere que las comunidades planctónicas son intrínsecamente caóticas, con fluctuaciones resultantes de complejas interacciones tróficas y de competencia entre especies.

Por otra parte, los altos valores de diversidad y riqueza de especies obtenidos durante los períodos de lluvias, pueden estar asociados con disturbios de frecuencia intermedia.

Conclusiones

Se puede generalizar que en nuestros reservorios, las Chlorophyta Sphaeropleales (=Chlorococcales) son características de la estación húmeda y con la estratificación en la columna de agua se favorecen las Cianoprokariota en los otoños calurosos, en tanto que la desestratificación térmica en la estación seca, favorece las diatomeas centrales, en coincidencia con la mixis, reducción en la disponibilidad de luz y turbulencia. Se cumpliría el esquema que señala similar patrón entre reservorios tropicales y templados según Lewis (1978).

Los reservorios muestran grandes variaciones de corto término en la cantidad de biomasa del fitoplancton, por la operación a que están sometidos, y los eventos climatológicos que inducen además cambios en los ensamblajes

algales, los cuales son en cierto modo impredecibles. La variabilidad interanual en la abundancia del fitoplancton es común en reservorios tropicales, cambiando sólo la jerarquía de los agentes causales de tal variabilidad (Lewis 1986).

A futuro se plantea si existirá un cambio de escenario a consecuencia del calentamiento global, con el incremento de la temperatura superficial del agua, lo que produciría un reforzamiento de la estratificación y reducción del aporte de fósforo a la zona

eufótica, con disminución de la productividad primaria y afectación particularmente del desarrollo de las diatomeas en la estación seca. Como resultado del aumento de temperatura y la baja disponibilidad de nutrientes, aumentaría el picoplancton autótrofo y heterótrofo, y se activaría el loop microbiano que tiene una eficiencia inferior al 2 % comparado con el 22 % que proporciona la vía trófica del fitoplancton (Verburg et ál. 2003), con las consecuentes reducciones de biomasa de consumidores de la trama trófica.

Referencias

- Borja, C. N. 2011. Fitoplancton de los principales cuerpos leníticos de la Provincia de Salta. Tesis de Maestría en Recursos Naturales y Medio Ambiente, Facultad Ciencias Naturales Universidad Nacional Salta, Salta, Argentina.
- Bustamante, M. A. 2012. *Eutrofización del Embalse San Roque, Argentina: calidad del agua y funciones del ecosistema*. Madrid: Editorial Académica Española.
- Gil-Gil F., Ferragut C. y C. Bicudo C. 2011. «Do phytoplankton fractions < 20 µm dominate in tropical reservoirs independent of their trophic?». *Limnetica* 30 (1): 143-158.
- Huszar, V. L. M. 1996. «Planktonic algae, other than desmids, of three Amazonian systems (Lake Batata, Lake Mussará and Trombetas River), Pará, Brazil». *Amazoniana* 14 (1/2): 37-73.
- Huszar, V. L., L. H. S. Silva, P. Domingos, P., M. Marinho, M. y S. Melo., 1998. «Phytoplankton species composition is more sensitive than OECD criteria to the trophic status of three Brazilian tropical lakes». *Hydrobiologia* 369/370: 59 – 71.
- Komárek, J. y K. Anagnostidis. 1999. Cyanoprokaryota 1. Teil Chroococcales. En: H. Ettl, G. Gärtner, H. Heynig y D. Mollenhaver (eds.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa* 19/1. Pp. 1-548. Jena: Gustav Fischer.
- Komárek, J. y K. Anagnostidis. 2005. Cyanoprokaryota. 2. Oscillatoriales. En: B. Büdel, L. Krienitz, G. Gärtner y M. Schagerl (eds.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa* 19/2. Pp. 1-758 Heidelberg: Elsevier/Spektrum.
- Komárek, J. y J. Komárková-Legnerová. 2007. «Several rare freshwater planktic Cyanobacteria (Cyanoprokaryotes) from reservoirs in South America». *Hoehnea* 34: 49 - 58.
- Krammer, K., y H. Lange-Bertalot. 1986. «Bacillariophyceae, 1. Teil: Naviculaceae». En: H. Ettl, G. Gärtner, H. Heynig y D. Mollenhaver (eds.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. 2/1. Pp. 1-876. Heidelberg: Elsevier/Spektrum.
- Krammer, K., y H. Lange-Bertalot. 1988. «Bacillariophyceae, 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae». En: H. Ettl, G. Gärtner, H. Heynig y D. Mollenhaver, (eds.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. 2/2. Pp. 1-596. Heidelberg: Elsevier/Spektrum.
- Krammer, K., y H. Lange-Bertalot. 1991. «Bacillariophyceae, 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae». En: H. Ettl, G. Gärtner, H. Heynig y D. Mollenhaver (eds.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. 2/3. Pp. 1-576. Heidelberg: Elsevier/Spektrum.
- Lewis, W.M. 1978. «A compositional, phytogeographical and elementary structural analysis of the phytoplankton in a tropical lake». *Ecology* 66 (1): 213 – 226.

- Lewis, W. M. 1986. «Phytoplankton succession in Lake Valencia, Venezuela». *Hydrobiologia* 138: 189-203.
- Marker, A. F., A. Nusch, H. Rai, y B. Riemann. 1980. «The measurement of Photosynthetic pigments in freshwater and standardization of methods: conclusions and recommendations». *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol* 14: 91-106.
- Martínez de Marco, S. N., y B. C. Tracanna. 2001. «Limnología del embalse Dr. C. Gelsi (El Cadillal), Tucumán-Argentina. IV Cambios espaciales y temporales del fitoplancton». *Lilloa* 40 (2): 223-234.
- Matsumura-Tundisi, T., Tundisi, J. G., Luzia, A. P. y R. M. Degani. 2010. «Occurrence of *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans 1925 bloom at the Billings Reservoir, Sao Paulo State, Brazil». *Braz. J. Biol* 70 (3): 1 – 7.
- Nogueira, M. G., M. Ferrareze, M. Moreira y R. M. Gouvêa. 2010. «Phytoplankton assemblages in a reservoir cascade of a large tropical-subtropical river (SE, Brazil) ». *Braz. J. Biol.* 70 (3): 781- 793.
- Patrick, R. y C. W. Reimer. 1966. *The diatoms of the United States exclusive of Alaska and Hawaii*. Volume 1: Fragilariaceae, Eunotiaceae, Achnantheaceae, Naviculaceae. Philadelphia: Academy of Natural Sciences.
- Reynolds, C. S. 2006. *Ecology of Phytoplankton*. Cambridge: United Kingdom.
- Salusso, M. M. 2010. *Caracterización limnológica de una cuenca subtropical árida del noroeste argentino*. España: Editorial Académica Española.
- Salusso, M. M. y L. B. Moraña. 2000. «Características físicas, químicas y fitoplancton de ríos y embalses de la Alta Cuenca del río Juramento (Salta, Argentina)». *Natura Neotropicalis* 31 (1-2): 20-44.
- Salusso, M. M. y L. B. Moraña. 2007. Efecto del manejo de un embalse subtropical sobre la estructura de las comunidades bióticas. En: Jan Feyen (ed.). vol. II *Internacional Congress on Development, Environment and Natural Resources: Multi-level and Multi-scale Sustainability*. Pp. 1228-1236. Cochabamba: Universidad Mayor San Simón.
- Scheffer, M. 2004. *Ecology of Shallow Lakes*. London: Chapman y Hall.
- Seeligmann, C. y B. Tracanna. 2009. «Dinámica del fitoplancton en un embalse de alta cota del Noroeste Argentino (Tucumán) ». *Limnética* 28 (1): 105-124.
- Stomp, M., J. Huisman, G. G. Mittelbach, E. Litchman y Ch. A. Klausmeier. 2011. «Large-scale biodiversity patterns in freshwater phytoplankton». *Ecology* 92 (11): 2096-2107.
- Straskraba, M. y J. G. Tundisi. 1999. *Reservoir Water Quality Management: Guidelines of Lake Management*. Vol. 9. Kusatsu: International Lake Environmental Committee.
- Tracanna, B. C., S. N. Martínez De Marco, M. J. Amoroso, N. Romero, P. Chaile y A. Mangeaud. 2006. «Physical, chemical and biological variability in the Dr. C.Gelsi reservoir (NW Argentine): A temporal and spatial approach». *Limnetica* 25 (3): 787-808
- Tundisi, J. G., Sebastien, N. Y., Matsumura-Tundisi, T., Tundisi, J. E. M. y N. F. Manzini. 2006. «The responses of reservoir of Southern Brazil to the passage of cold fronts as 28 reflected by physical, chemical and biological variables». *Verhandlugen Internationale Vereinigung Limnologie* 29: 2124-2128.
- Utermöhl H. 1958. «On the perfecting of quantitative phytoplankton method». *Inter. Assoc. of Theor. and App. Limn. Proc.* 9: 1-38.
- Verburg, P., Hecky R. E. y H. Kling. 2003. «Ecological consequences of a century of warming in Lake Tanganyika». *Science* 301: 505-507.

Cómo citar este artículo: Salusso, M. M., y L. B. Moraña. 2014. «Fitoplancton de embalses subtropicales del noroeste argentino». *Gestión y Ambiente* 17 (1): 209-222.