

Dinámica del fitoplancton en reservorios del noroeste argentino (Salta)

[Phytoplankton dynamics in reservoirs of northwestern Argentina (Salta)]

Claudia Nidia Borja, María Mónica Salusso, and Liliana Beatriz Moraña

Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta, Avda. Bolivia 5150, (4400), Salta, Argentina

Copyright © 2021 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The reservoirs of the province of Salta is characterized by its high level of hypertrophy. Monitoring phytoplankton, would enable prevention and control of water quality. We studied the phytoplankton abundance and structure of three reservoirs in the province: Cabra Corral and El Tunal belonging to the upper basin of Juramento and Campo Alegre of the Bermejo's system during a hydrologic cycle (2007-2009). Sites were considered for the areas of greatest influence lotic and the central deeper. In the reservoirs of the upper basin of the Juramento, species diversity decreased during the dry season because of the greater stability in the water column, unlike the phytoplankton density, which tended to be higher. In these reservoirs highlighted the persistence of Cryptophyta. Dinophyta with *Ceratium hirundinella* as the dominant species, occurred in the three reservoirs in both periods of the hydrologic cycle, in Campo Alegre, was dominant throughout the sample, leading to the lowest values of diversity, richness and evenness. The principal component analysis showed clustering between the sampling sites of each reservoir Campo Alegre differentiating the rest.

KEYWORDS: Reservoirs, water quality, hydrologic cycle, trophic state, microalgae.

1 INTRODUCCIÓN

La obtención de información sobre reservorios distribuidos en una determinada área geográfica puede facilitar un planeamiento regional y el gerenciamiento de las cuencas hidrográficas. Para lo cual es necesario un conocimiento de los principales mecanismos de funcionamiento que ocurren en ellos, de manera comparativa ([1], [2]).

La composición, diversidad y biomasa de las comunidades biológicas pueden ser consideradas como una expresión de las interacciones que ocurren en los reservorios. Consecuentemente, los estudios comparativos posibilitan la introducción de técnicas adecuadas de manejo y control de biomasa [3].

En Argentina las floraciones algales son eventos de frecuente aparición y en algunos sitios, particularmente cuerpos de agua destinados al abastecimiento de agua potable y/o recreación, generan serios inconvenientes. Ocasionando profundas modificaciones relacionadas especialmente con el aumento del proceso de eutrofización, alto consumo de oxígeno, mortandad de peces, olor y sabor desagradables en el agua por aumento de compuestos volátiles, deterioro general en la calidad del agua y problemas operacionales en las plantas potabilizadoras.

Los procesos de eutrofización de los embalses de la provincia de Salta son un reflejo de la calidad del agua aportada por sus tributarios y de las actividades antrópicas que se realizan en las áreas de influencia directa de las cuencas de drenaje. Diversos estudios efectuados en estos reservorios revelan que el estado trófico de los mismos tiende a incrementar en las últimas décadas ([4], [5], [6]).

Teniendo en consideración lo fluctuante e impredecible de los fenómenos de floración y las características -morfométricas y nivel de trofia- que presentan los embalses de la provincia, resulta fundamental el seguimiento del desarrollo del fitoplancton, que permitirá establecer medidas de prevención y control garantizando la calidad del agua para los diferentes usos.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDIO

El embalse Cabra Corral, se encuentra situado en el Valle de Lerma, a 70 km al sur de la ciudad de Salta. Se constituye en uno de los reservorios de mayor magnitud de Argentina, está destinado a la regulación hiperanual de caudales de la Alta Cuenca del Río Juramento y generación de energía hidroeléctrica entre sus principales usos.

El embalse El Tunal está localizado en el departamento Anta, a 180 km de la ciudad de Salta. Es la segunda construcción hidroeléctrica más importante de la provincia. El volumen acumulado en el embalse se debe un 70% a los aportes provenientes del río Juramento, descargados desde Cabra Corral, y en un 30% a los aportes pluviales. Además de producción energética es utilizado para la pesca deportiva.

El embalse Campo Alegre es parte de la subcuenca del río Mojotoro, que pertenece a la vertiente atlántica a la cual tributa por la cuenca del Bermejo, y tiene como principales usos el recreacional y riego, se constituye además en la única reserva hídrica de cierta magnitud que podría proveer de agua para consumo humano a la ciudad capital y localidades adyacentes [7]. Se encuentra en el departamento La Caldera de la provincia de Salta. Este reservorio está sometido a manejo, siendo el agua extraída para riego durante los meses de estiaje; y a la fecha ya se iniciaron las obras de la nueva planta potabilizadora.

2.2 MUESTREO

Los muestreos en los tres embalses de la provincia de Salta (fig. 1) se efectuaron en ambas épocas del ciclo hidrológico (estiaje y crecidas) entre agosto 2007 y junio 2009 según (tabla 1).

Tabla 1. Fechas en las que se muestrearon los embalses

Cabra Corral	<i>Estiaje:</i> agosto 07, octubre 08, junio 09 <i>Crecidas:</i> enero 08, abril 08
El Tunal	<i>Estiaje:</i> agosto 07, octubre 08 <i>Crecidas:</i> diciembre 08, marzo 09
Campo Alegre	<i>Estiaje:</i> agosto 07, octubre 07, noviembre 07, noviembre 08 <i>Crecidas:</i> diciembre 07, febrero 08, mayo 08

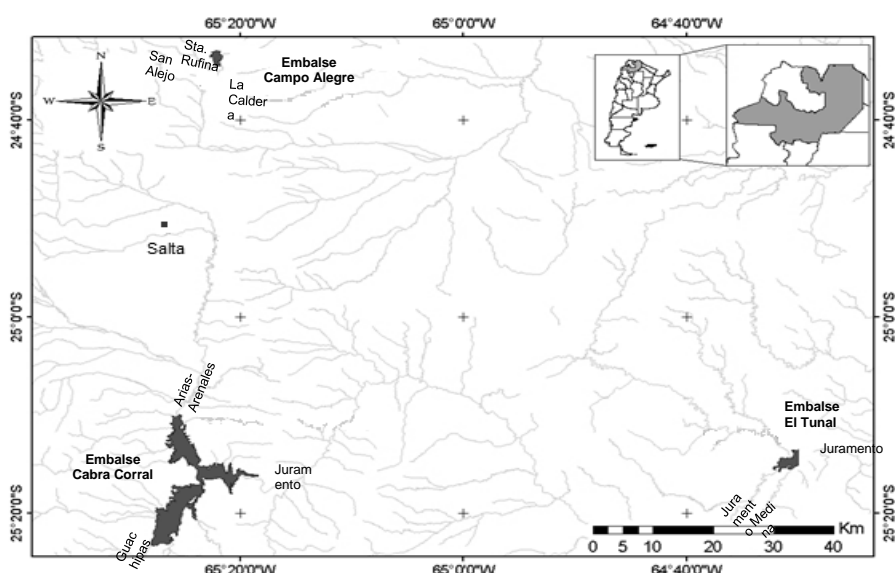


Fig. 1. Ubicación de los embalses muestreados en la provincia de Salta

Se estudiaron un total de siete sitios correspondientes a las zonas de mayor influencia lítica, y la zona central más profunda de cada reservorio (tabla 2).

Tabla 2. Ubicación de las estaciones de muestreo

Estaciones de muestreo		Coordenadas geográficas
E1	Embalse Cabra Corral - Centro	25°16'24.1"S 65°23'23.5" W
E2	Ingreso del río Arias-Arenales (La Maroma)	25°11'56.8"S 65°25'09.8" W
E3	Ingreso del río Guachipas (El Zapallar)	25°19'43.4"S 65°26'55.8" W
E4	Embalse El Tunal – Centro	25°14'01.5"S 64°29'34.0" W
E5	Ingreso del río Juramento	25°15'05.4"S 64°31'12.8" W
E6	Embalse Campo Alegre - Centro	24°34'16.0"S 65°22'00.0" W
E7	Ingreso de los ríos Santa Rufina y San Alejo	24°33'28.5"S 65°22'13.2" W

Las muestras para el análisis del fitoplancton fueron obtenidas a cuatro profundidades: subsuperficie, uno, dos y tres Secchi. De cada sitio se colectaron muestras enteras en recipientes plásticos de 250 mL. El análisis cualitativo se realizó a partir de muestras obtenidas mediante redes de 15 µm de poro, fijadas en formaldehído al 4% y examinadas al microscopio óptico con lentes de inmersión (1100 X), empleando claves taxonómicas específicas para la determinación de cada uno de los taxa algales.

El análisis cuantitativo se realizó a partir de muestras fijadas in situ con lugol acético al 1%, en laboratorio fueron sedimentadas en cámaras combinadas y contadas al microscopio invertido (Olimpus SL), el recuento se realizó siguiendo la técnica de Utermöhl [8].

Se calcularon el índice de Diversidad de Shannon – Weaver H' [9], equitatividad y riqueza específicas.

El análisis estadístico de los datos se llevó a cabo utilizando el programa INFOSTAT versión 2008 [10].

3 RESULTADOS

La densidad fitoplanctónica promedio presentó diferencias significativas entre embalses ($H=10,41$; $p<0,01$). Siendo comparativamente inferior en El Tunal (834 ind/mL) en relación a Campo Alegre (1969 ind/mL), y Cabra Corral (1814 ind/mL).

La diversidad, riqueza y equitatividad también se diferenciaron entre estos reservorios (tabla 3).

Tabla 3. Valores promedios de diversidad, riqueza y equitatividad en los embalses C. Corral, C. Alegre y El Tunal durante el período estudiado. Letras distintas indican diferencias significativas

Parámetro	Cabra Corral	Campo Alegre	El Tunal	Estadístico	Nivel de significación
Diversidad	1,72 b	1,32 a	2,12 b	13,61	0,0011
Riqueza	12,15 b	10,06 a	11,19 ab	11,79	0,0026
Equitatividad	0,50 b	0,40 a	0,61 c	15,13	0,0005

Cabra Corral presentó la mayor riqueza promedio de especies, particularmente durante los meses de aguas altas al generarse turbulencias, aportes de inóculos y material particulado que impidieron la estabilidad y dominancia de pocas especies. Los valores de diversidad y equitatividad fueron superiores en El Tunal a la inversa de los registros de densidad del fitoplancton.

Los menores valores de diversidad se registraron en Campo Alegre debido a la elevada abundancia de *Ceratium hirundinella*, a lo largo de todo el período muestreado.

Considerando los diferentes sitios de muestreo los máximos registros de densidad así como los mínimos de diversidad y equitatividad se dieron en el ingreso de los tributarios al embalse Campo Alegre (E7) (fig. 2).

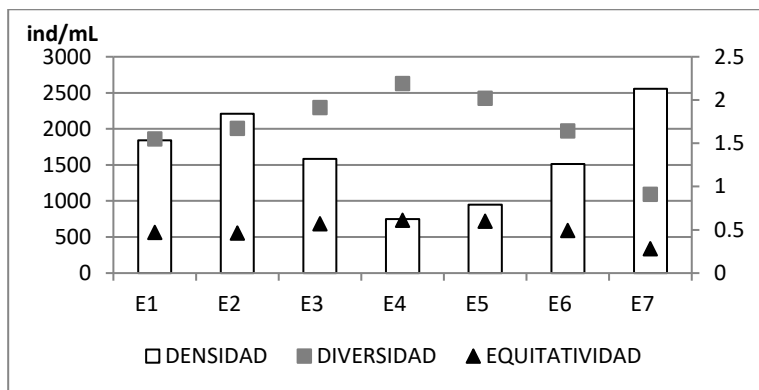


Fig. 2. Valores promedio de densidad, diversidad y equitatividad en los diferentes sitios de muestreo

En el embalse Cabra Corral la densidad del fitoplancton no presentó diferencias entre períodos del ciclo hidrológico aunque resultó comparativamente superior durante el estiaje (promedio 2076 ind/mL con respecto a las crecidas 1304 ind/mL).

Espacialmente, el fitoplancton estuvo distribuido irregularmente en la columna de agua sin embargo estos cambios en la abundancia tampoco fueron significativos a las distintas profundidades analizadas.

En El Tunal los valores de densidad fitoplanctónica en la columna de agua no presentaron diferencias estadísticas entre sitios de muestreo, aunque en general, fueron más elevados en la zona de ingreso del tributario al embalse (949 ind/mL) en comparación a la presa (749 ind/mL). Temporalmente, los valores de la abundancia algal si se diferenciaron estadísticamente entre las fases del ciclo hidrológico ($W=60$; $p=0,0001$). Siendo superiores durante el estiaje (1064 ind/mL en estiaje y 465 ind/mL en crecidas).

En ambos embalses, la composición de la comunidad fitoplanctónica durante el estiaje fue típica de ambientes turbios y turbulentos, el mayor aporte a estos sistemas, estuvo dado por criptófitas y bacillariofíceas mientras que los restantes grupos algales contribuyeron con porcentajes que no superaron el 16% (fig. 3 y 4). Los géneros *Rhodomonas* y *Cryptomonas* fueron los organismos más abundantes pertenecientes al grupo de las criptófitas. Las diatomeas o bacillariofíceas se encontraron representadas en segundo lugar con *Aulacoseira granulata*, *A. granulata var. angustissima*, *Cyclotella meneghiniana* entre las más abundantes. Las dinófitas, con *C. hirundinella* como especie dominante, alcanzaron el 14% durante este período en Cabra Corral en cambio en El Tunal el mayor desarrollo se produjo durante aguas altas (22%), particularmente en la presa en coincidencia con la mayor estabilidad de la columna de agua, con densidades máximas a la profundidad de un Secchi (216 ind/mL en marzo 09). Las clorófitas y cianófitas tuvieron mayor representatividad en la fase de crecidas y entre las especies más frecuentes del primer grupo estuvieron *Closterium moniliferum*, *Cl. venus*, *Schroeteria setigera*, *Monoraphidium griffithii*, mientras que *Anabaena spiroides*, *A. circinalis*, *Merismopedia tenuissima* fueron las cianófitas dominantes. Euglenófitas y otros pequeños fitoflagelados tuvieron una presencia que en conjunto no superaron el 2%.

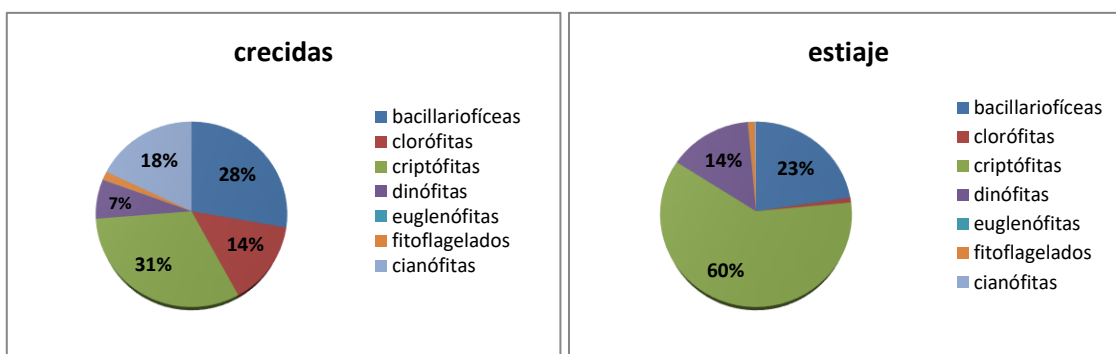


Fig. 3. Composición porcentual de los grupos taxonómicos del fitoplancton en el embalse Cabra Corral durante el período estudiado

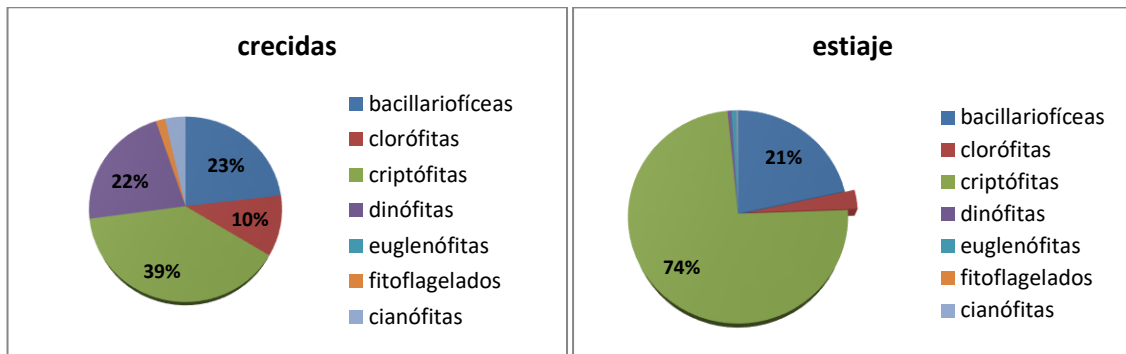


Fig. 4. Composición porcentual de los grupos taxonómicos del fitoplancton en el embalse El Tunal durante el período estudiado

En Campo Alegre la abundancia de la comunidad fitoplanctónica, analizada en base a los sitios de muestreo indicó diferencias significativas entre ellos ($W=646$; $p=0,0063$), siendo en general mayor en la cola del embalse (2556 ind/mL) en relación a la presa (1512 ind/mL). La densidad algal durante aguas altas superó significativamente a la registrada en estiaje ($W=534$; $p=0,0019$) con valores promedios de 2881 y 1513 ind/mL, respectivamente.

Durante ambas fases del ciclo hidrológico, las dinófitas representadas principalmente por *C. hirundinella*, contribuyeron con más del 75% al total de la biomasa (fig. 5).

Las cianobacterias (*Pseudanabaena mucicola*, *Microcystis aeruginosa*) que constituyeron el grupo subdominante tuvieron mayor representación durante los meses de aguas altas (7%), cuando las condiciones de la masa de agua (mayor temperatura y estabilidad de la columna de agua) promovieron su crecimiento en desmedro de los demás grupos del fitoplancton.

Aunque en general, contribuyeron escasamente a la biomasa total (5%), las criptófitas (*Rhodomonas* spp.) estuvieron siempre presentes junto a otros fitoflagelados nanoplanctónicos, favorecidas por su rápido crecimiento y eficiente incorporación de nutrientes (C estrategias).

Las clorófitas en general estuvieron escasamente representadas (menos del 2%), se destacaron *Sphaerocystis schroeteri*, *Monoraphidium minutum*, *M. irregulare* y desmidiáceas (*Staurastrum* spp., *Closterium* spp.), como subdominantes.

Las euglenófitas aportaron menos del 1% en ambas fases del ciclo hidrológico destacándose especies del género *Trachelomonas* (*T. volvocinopsis*, *T. intermedia*).

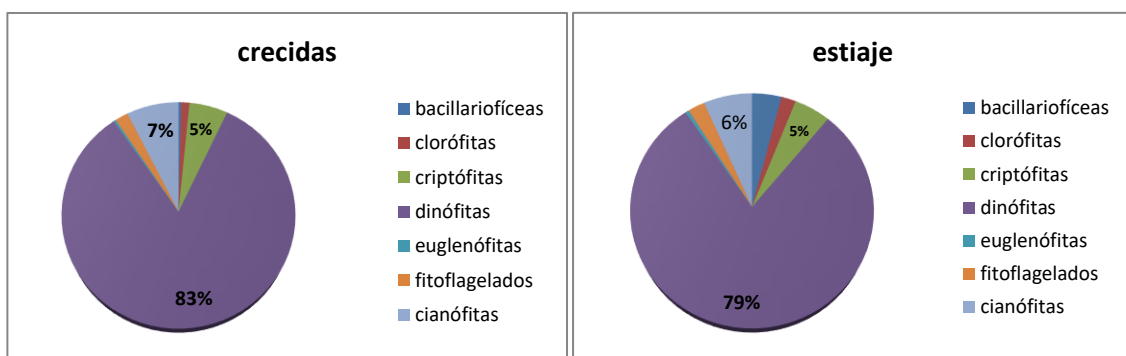


Fig. 5. Composición porcentual de los grupos taxonómicos del fitoplancton en el embalse Campo Alegre durante el período estudiado

El Análisis de Componentes Principales realizado considerando los datos de biomasa, diversidad, riqueza, equitatividad y la densidad de los grupos taxonómicos, permitió reducir estas variables a dos componentes que explicaron el 85 % de la varianza total de los datos.

El primer componente explicó el 56% de la variación de los datos y estuvo definido por su relación inversa con la diversidad, riqueza, equitatividad, y la densidad de criptófitas (fig. 6). El embalse Campo Alegre presentó los menores valores de estas variables como consecuencia de las frecuentes floraciones de *Ceratium*. En tanto que, hacia la región opuesta de este componente se ubicaron El Tunal y Cabra Corral, que presentaron valores superiores.

El segundo componente explicó el 29% de la varianza y estuvo definido por su relación directa con los datos de densidad total, y las abundancias de clorófitas y cianófitas siendo estas las variables de mayor peso en el componente. Hacia la zona positiva del eje, se puede observar que en Campo Alegre presentó la mayor biomasa total y la densidad de cianófitas, en tanto que, en Cabra Corral lo fue el grupo de las clorófitas.

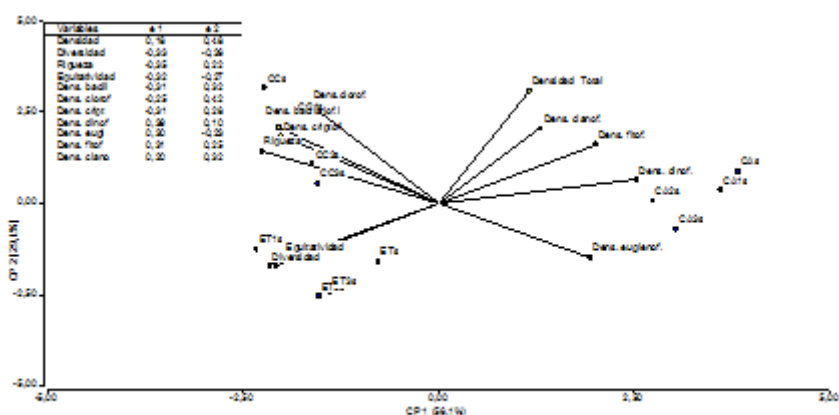


Fig. 6. ACP realizado según variables biológicas estudiadas en los embalses Cabra Corral, El Tunal y Campo Alegre

4 DISCUSIÓN

En los embalses de la Alta Cuenca del Juramento, la densidad fitoplanctónica tendió a ser más elevada en los meses de estiaje, aunque sólo mostró diferencias significativas en El Tunal. El efecto del manejo ejercido en este último reservorio y la rigurosidad climática de la región favorecen el sostenimiento de una flora más diversa y equitativa, aunque menos abundante en comparación con el resto.

En Cabra Corral y El Tunal se destacó la persistencia de criptófitas de acuerdo con lo informado para estos ambientes por estudios previos [6].

Las dinófitas con *C. hirundinella* como especie dominante, se presentaron en los tres reservorios en ambos períodos del ciclo hidrológico. En Campo Alegre, fue dominante a lo largo del muestreo, por lo que determinó los menores valores de diversidad, riqueza y equitatividad de especies. En Cabra Corral ocuparon el tercer lugar durante los meses de estiaje, luego de criptófitas y bacillariofíceas, con una contribución inferior a la registrada durante las floraciones del período 2000/03, mientras que en El Tunal estuvieron en una proporción similar a la registrada durante los pulsos de floraciones ocurridos entre 2000/02 [6].

La condición de dominancia de dinoflagelados acompañados de cianobacterias observada en Campo Alegre en los meses más cálidos fue informada previamente [7] por lo que se destaca la importancia de conocer la potencialidad de aparición de floraciones algales indeseables.

Esta situación se reitera en otros embalses del país, como los de Córdoba, donde las floraciones de dinoflagelados han incrementado su frecuencia y duración en la última década ([11], [12]). La densidad promedio registrada en la cola ($2,6 \times 10^6$ cél.L-1) fue similar a la obtenida en otros embalses como Los Molinos donde el crecimiento alcanzado en marzo de 2005 ($2,8 \times 10^6$ cél.L-1) generó la mortandad de peces en zonas con poca circulación [13].

Los géneros *Ceratium* y *Peridinium* suelen desarrollar elevadas biomásas en cuerpos de agua mesotróficos o eutróficos [14]; clasificación que correspondería a estos sistemas según estudios previos realizados por diversos autores ([15], [4], [16]).

5 CONCLUSIONES

Los reservorios Cabra Corral y El Tunal presentaron una disminución de la diversidad específica durante el estiaje producto de la mayor estabilidad en los cuerpos de agua, a diferencia de la densidad fitoplanctónica que tendió a ser más alta, aunque no mostró diferencias significativas. En Campo Alegre la presencia de *C. hirundinella* sostenida en el tiempo con pulsos de floraciones determinó los menores valores de diversidad, riqueza y equitatividad de especies en relación al resto.

La densidad fitoplanctónica de El Tunal fue marcadamente inferior, con predominio de pequeñas criptófitas. Aunque el efecto del manejo y la rigurosidad climática de la región favorecieron el sostenimiento de una flora con tendencia a ser más diversa y equitativa en relación al resto, aunque no diferente estadísticamente.

Según los niveles establecidos por la OMS estos ambientes se considerarían con escasa probabilidad de efectos adversos sobre la salud para los usos recreativos a excepción de Cabra Corral, en la presa, durante el muestreo de abril de 2008 cuando la densidad superó las 20.000 cél/mL.

Los avanzados procesos de eutrofización (mesotrófico-eutrófico) de los sistemas estudiados favorecen los florecimientos algales pudiendo dificultar los usos en los mismos. Por otro lado, teniendo en cuenta que a la fecha se han iniciado las obras de construcción de una nueva planta potabilizadora en el dique Campo Alegre, se recomienda llevar a cabo programas de control y seguimiento de las floraciones algales a los fines de garantizar la calidad del agua. Además de la implementación de proyectos de conservación de las cuencas, control de la eutrofización y ordenamiento de las actividades en los embalses.

REFERENCIAS

- [1] R. D. Margalef, J. Planas, A. Armengol, N. Vidal, A. Pratt, J. Guiset, J. Toja and M. Estrada. 1976. *Limnología de los embalses españoles*. Dirección General de Obras Hidráulicas. Ministerio de Obras Públicas. Madrid. 422 + 75 pp, 1976.
- [2] J. G. Tundisi, "Ecological studies at the lagunar region of Cananéia". *Proceedings of a workshop*. Roma: FAO, UNESCO, SCOR. p 298-304, 1981.
- [3] J. G. Tundisi and T. Matsumura Tundisi. *Limnología*. Oficina de textos. Sao Paulo. Brasil, 2008.
- [4] M. de Viana and R. Quirós, "Limnología física del embalse Gral. Belgrano, Argentina", *Comunicaciones del Museo de Ciencias Naturales Universidad Nacional de Salta*, no. 5, pp.1-10, 1988.
- [5] M. M. Salusso and L. B. Moraña, "Características físicas, químicas y fitoplancton de ríos y embalses de la Alta Cuenca del Río Juramento (Salta, Argentina)", *Natura Neotropicalis*, no. 31 (1-2), pp.29-44, 2000.
- [6] M. M. Salusso, "Evaluación de la calidad de los recursos hídricos superficiales en la Alta Cuenca del Juramento (Salta)", *Tesis Doctoral*, Universidad de Buenos Aires, 2005.
- [7] L. C. Smolko, M. M. Salusso and L. B. Moraña, "Estudio limnológico del embalse Campo Alegre (Provincia de Salta, Argentina): diez años después", *Congreso Internacional sobre Desarrollo, Medio Ambiente y Recursos Naturales: Sostenibilidad a Múltiples Niveles y Escalas*. Cochabamba, Bolivia. Vol. II: 1212-1219, 2007.
- [8] H. Utermöhl, "Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton methodik". *Mitt. Int. Verein. Limnol*, 9, 1-38, 1958.
- [9] C. E. Shannon and W. Weaver, "The mathematical Theory of communication". *The University of Illinois Press*. Urbana. 177 pp, 1949.
- [10] J. A. Di Rienzo, F. Casanoves, M. G. Balzarini, L. González, M. Tablada and C. W. Robledo. *Grupo InfoStat*, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, 2008.
- [11] R. A. Bazán, A. Cossavella, S. del Olmo, A. Rodríguez, F. Busso and N. Larrosa, "Estudio a largo plazo de la estructura y dinámica del fitoplancton del embalse Los Molinos, Córdoba". *XXII° Congreso Nacional del Agua*, Chubut, Argentina, 2009.
- [12] M. Pierotto, C. Daga, C. Prósperi and A. Rincón, "Blooms algales en embalses de la provincia de Córdoba, Argentina". *XXII Congreso Nacional del Agua*. Trelew-Chubut, 2009.
- [13] R. A. Bazán, N. Larrosa, A. Cossavella, F. Monarde, S. Oviedo Zabala, A. Rodríguez and F. Busso, "Mortandad de peces en el embalse Los Molinos asociados a florecimientos de *Ceratium hirundinella*". *XXI° Congreso Nacional del Agua*. Tucumán, Argentina, 2007.
- [14] Reynolds, C. S. *Vegetation Processes in the Pelagic: a Model for Ecosystem Theory*. Luhe, Alemania: Inter-Reserch Science Center, Ecology Institute. (Excellence in Ecology, 9), 1997.
- [15] C. Sueldo, C. and J. Quinteros, "Características físico-químicas de la Presa General Manuel Belgrano". *Consejo de Investigación*. Universidad Nacional de Salta. 20p., 1986.
- [16] M. M. Salusso and L. B. Moraña, "Estado Trófico del Embalse Cabra Corral (Provincia de Salta)". *XXV Congreso Argentino de Química*. Facultad de Ingeniería. U.N.C.P.B.A. Olavarría, provincia de Buenos Aires. Argentina, 2004.