

Variaciones espaciales y temporales de organismos autótrofos en el embalse La Quebrada (Córdoba, Argentina)

Spatial and temporal variations of autotrophic organisms in the reservoir La Quebrada (Cordoba, Argentina)

Inés Claudia Daga & Marcelo Javier Pierotto

Área de Proyectos Especiales. Laboratorio de Hidrobiología. Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba. Av. Vélez Sarsfield 299, CP. 5000, Córdoba, Argentina.
inesclaudiadaga@gmail.com; marpiero2002yahoo.com

Resumen

El presente trabajo se realizó en el embalse La Quebrada desde el verano de 2001 hasta el verano de 2012. Dicho embalse está situado en el faldeo oriental de las Sierras Chicas, 32 km al noroeste de la ciudad de Córdoba. Posee un volumen de almacenamiento de agua de 4 hm³ y es utilizado principalmente como reservorio de agua potable de poblaciones aledañas. Los estudios en la zona comenzaron luego de observarse una discoloración en sus aguas, donde la especie responsable fue *Ceratium hirundinella* (Dinophyceae) principal componente del fitoplancton hasta el año 2006. Durante los veranos de 2007 y 2008 *Dolichospermum circinalis* (Cyanobacteria) fue dominante en el embalse y al verano siguiente la especie más abundante fue *Planktosphaeria gelatinosa* (Chlorophyta) reemplazada en los veranos de 2010 y 2011 por *Microcystis aeruginosa*, *M. wesenbergii* y *M. flos-aquae* (Cyanobacteria). En el último año de muestreo, el 25% de la superficie del embalse estaba cubierto con *Lemna minor* (Macrophyta). La Quebrada es uno de los espejos de agua más jóvenes de nuestra Provincia ya que inició su funcionamiento en el año 1975, sin embargo, el mismo tiene tendencia a eutrofizarse durante el verano con la consecuencia de la producción de florecimientos de fitoplancton en especial cianobacterias y macrófitas acuáticas.

Palabras clave: floraciones algales, fitoplancton, cianobacterias

Abstract

This work was performed at The La Quebrada Reservoir from summer 2001 to summer 2012. This reservoir is located in the eastern foothills of the Sierras Chicas, 32 km northwest of the city of Córdoba. It has a volume storage of 4 hm³ of water and is mainly used as a potable water reservoir by nearby populations. Studies in the area started after observing a discoloration of their water, where the species responsible was the *Ceratium hirundinella* (Dinophyceae) main component of phytoplankton until 2006. During the summers of 2007 and 2008 *Dolichospermum circinalis* (Cyanobacteria) was dominant in the reservoir. The following summer the most abundant species was *Planktosphaeria gelatinosa* (Chlorophyta) which was replaced by the *Microcystis aeruginosa*, *M. wesenbergii* and *M. flos-aquae* (Cyanobacteria) during the summers of 2010 and 2011. During the last sampling year, 25% of the reservoir surface was covered by *Lemna minor* (Macrophyta). La Quebrada is one of the youngest water mirrors of our Province since its beginning in 1975, however it tends to eutrophicate during the summer with the result of the production of phytoplankton blooms especially cyanobacteria and aquatic macrophytes.

Key words: bloom, phytoplankton, Cyanobacteria

Introducción

La Provincia de Córdoba está ubicada en el centro del territorio argentino, pertenece a una región semiárida y para un mayor aprovechamiento de los recursos hídricos se han llevado a cabo numerosas obras hidráulicas. La Provincia posee alrededor de veinte embalses de los cuales hoy en día algunas de ellos sufren un deterioro constante en la calidad de sus aguas interfiriendo así con los usos para los cuales fueron creados (Reyna *et al.*, 2006).

El embalse La Quebrada está localizado a 32 km al noroeste de la ciudad de Córdoba, abastece de agua potable a 50.000 habitantes.

La cuenca sufre un continuo deterioro de sus condiciones naturales debido al sobrepastoreo, los incendios, la tala indiscriminada y el movimiento no regulado de turistas, que deriva, entre otras consecuencias, en la existencia de severos procesos de erosión de origen hídrico, potenciado por la geomorfología y el régimen climático de la zona. Gran

parte de los sedimentos provenientes de la erosión van a parar al embalse, provocando una disminución de su capacidad de almacenamiento. Los sedimentos también aportan nutrientes, los cuales aceleran los procesos de eutrofización, fenómeno frecuente en embalses de la Provincia de Córdoba.

El embalse La Quebrada, es uno de los espejos de agua más jóvenes de nuestra Provincia y, el corto período de tiempo transcurrido entre su creación y la presencia de floraciones, demuestra la fragilidad del mismo. El primer episodio donde se registró una floración masiva de cianobacterias fue en el otoño de 1987 a tan solo diez años de su formación (Cioccale *et al.*, 1988).

El objetivo del presente trabajo fue analizar la variabilidad estacional y temporal de los organismos autótrofos que se desarrollan en el embalse La Quebrada a lo largo de once años de muestreo.

Material y métodos

Los muestreos se realizaron con una frecuencia mensual, desde enero del año 2001 hasta diciembre del año 2006 y con una frecuencia estacional de enero de 2007 a noviembre de 2012. Las muestras han sido tomadas en una estación de muestreo próxima al paredón del embalse con un muestreador de profundidad tipo Van Dorn horizontal de capacidad de 2 litros de volumen de almacenado. Se tomó una muestra subsuperficial (0.30 m), una muestra en la parte media de la zona fótica y una muestra por debajo de la zona fótica. Se registraron *in situ*: temperatura, pH, conductividad y oxígeno disuelto a través de sensores portátiles. Las muestras fueron llevadas frescas al laboratorio para su posterior observación microscópica. Luego fueron fijadas con solución de Lugol (0,5 %

y depositadas en el herbario del Laboratorio de Hidrobiología de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, con la sigla LH (UNC) y su numeración correspondiente. Para el análisis cuantitativo se siguió el método de transectas según Villafañe & Reid (1995 modificado por Lujan *et al.* (2005). Los datos fueron transformados logarítmicamente (logaritmo decimal) y se refirieron a individuos por mililitro (ind.ml^{-1}). Desde octubre de 2009 a junio de 2010 se recolectaron muestras para análisis de nitrógeno total, fósforo total y cálculo de biomasa fitoplanctónica, que fue determinada midiendo la concentración de clorofila *a* por el método espectrofotométrico (APHA, 1995). El estado trófico del embalse fue caracterizado por las concentraciones de fósforo total y clorofila *a* (Carlson, 1977). Los datos de cota del embalse fueron suministrados por la Cooperativa de Aguas y Servicios de la Localidad de Río Ceballos, Provincia de Córdoba.

Área de estudio

El embalse La Quebrada, se localiza en el centro-oeste de la Provincia de Córdoba ($31^{\circ} 14' S$; $64^{\circ} 20' O$) en el faldeo oriental de las sierras chicas a 750 metros sobre el mar. Posee una profundidad máxima de 34 metros y se alimenta de los arroyos Los Hornillos y Colanchanga

(Fig. 1). La construcción del dique data del año 1976 y forma parte de La Reserva Hídrica Parque Natural La Quebrada creada en 1987.

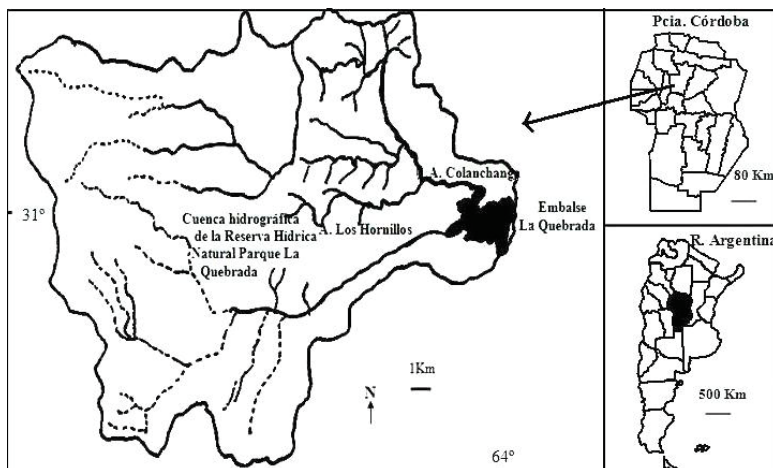


Fig. 1. Localización del embalse La Quebrada en la Reserva Hídrica Parque Natural La Quebrada

Resultados

El nivel de la cota del embalse La Quebrada, presentó variaciones durante los años de estudio de 33 metros registrados en el año 2001 llegó a 23 en los muestreos de 2012 (Fig. 2). El embalse está clasificado como monomítico con un período de estratificación que se extiende generalmente desde mediados de primavera hasta comienzos de otoño. La temperatura del agua durante el invierno tuvo una media de 14°C para los años 2002 y 2004 y de 12°C para los restantes. La media de verano fue de 24°C. A partir de los 3 metros de profundidad se observó una discontinuidad térmica con variaciones de 5°C en primavera y 10°C en verano entre la superficie y el fondo.

Las lecturas del disco de Secchi oscilaron

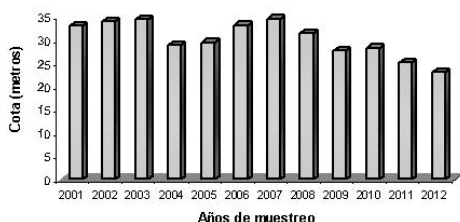


Fig. 2. Variaciones de la cota del embalse La Quebrada desde el año 2001 al 2012

entre 0,7 m en verano y 2,4 m en invierno. La conductividad del agua presentó valores promedios de 287,1 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. El pH, generalmente alcalino con mediciones que fueron de 7,5 a 9,5 los registros más elevados corresponde a la zona superficial probablemente por una mayor actividad fotosintética.

El oxígeno disuelto fue decreciente hacia el fondo, con un valor medio de 8,5 en la superficie, 7 a los 6 metros y 4,5 a los 20 metros.

A partir del análisis cuantitativo y cualitativo de las muestras de fitoplancton se han identificado las principales especies que causan florecimientos y cómo se fueron modificando a lo largo de estos doce años de estudio. En los primeros meses de estudio la especie dominante fue *Ceratium hirundinella*, con densidades de hasta 27.000 ind. ml^{-1} , que comenzaron a disminuir en otoño hasta desaparecer en invierno y reaparecer nuevamente cuando el embalse comenzó a estratificarse hacia mediados de primavera (Fig. 3).

Durante el año 2002 *C. hirundinella* estuvo presente todo el año con una media anual de 10.000 ind. ml^{-1} . En los muestreos

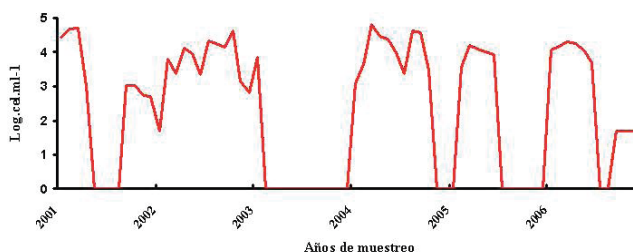


Fig. 3. Abundancia de *C. hirundinella* durante el periodo 2001 al 2006

del año 2003 se encontraron células de *C. hirundinella* sólo en el mes de enero, y fueron notorios los quistes a partir del mes de febrero persistiendo todo el año con valores que oscilaron entre 25 y 40 quistes. ml⁻¹. En este año el embalse alcanzó su cota máxima de 34 m. En los muestreos correspondientes al año 2004, *C. hirundinella* presentó una media anual de 11.000 cel. ml⁻¹. A lo largo de los años 2005 y 2006, se registraron individuos en época estival con una abundancia promedio de 8.500 ind. ml⁻¹ y 7.500 respectivamente. Las formas de resistencia, a excepción de lo ocurrido en el año 2003, estuvieron presentes hacia finales de verano.

El tamaño de los individuos osciló entre 170-245 µm de largo por 48-56 µm de ancho y se identificaron formas con tres cuernos antiapicales, con un ángulo de separación mayor entre los cuernos en los organismos que generalmente predominaron en el verano y otras con el tercer cuerno antiapical poco desarrollado o ausente más frecuente en el invierno

En cuanto a la distribución vertical, se observó en todos los muestreos, un leve aumento del número de organismos entre los tres y seis metros, desapareciendo prácticamente a partir de los quince metros, profundidad donde los quistes fueron frecuentes.

A partir del verano de 2007 hasta el

verano de 2011, se sucedieron en el embalse floraciones de cianobacterias y clorofitas. Durante los veranos de 2007 y 2008 la especie dominante fue *Dolichospermum circinalis*, reemplazada en el verano siguiente por la clorofita *Planktosphaeria gelatinosa* con una densidad media de 2.5000 ind. ml⁻¹. Durante los veranos de 2010 y 2011 *Microcystis aeruginosa*, *M. flos-aquae* y *M. wesenbergii* fueron dominantes. Desde octubre de 2009 a junio de 2010 se analizó la biomasa fitoplanctónica, medida como la concentración de clorofila a. La concentración media de clorofila a fue de 17,17 mg m⁻³, media de nitrógeno fue de 0,8 mg L⁻¹ y el fósforo (P) de 4,09 mg L⁻¹.

En los muestreos invernales las diatomeas forman el fitoplancton más abundante predominando *Aulacoseira granulata* y *Cyclotella meneghiniana*.

A lo largo del período muestreado se destaca la primavera de 2012 donde el fitoplancton fue escaso y el 25 % del embalse estaba cubierto por la macrófita *Lemna minor*.

Discusión y conclusiones

El estudio de los organismos autótrofos del embalse La Quebrada determinó la presencia de *Ceratium hirundinella* como la especie dominante y responsable de floraciones en los primeros seis años de muestreo.

En la República Argentina, fue identificada por primera vez en lagos del sur en el año 1991 (Boltovskoy, 1991) y ha tenido un comportamiento invasor hacia los cuerpos de agua ubicados al norte del territorio Argentino (Boltovskoy, 2004). En la Provincia de Córdoba está presente en la mayoría de los embalses y su máxima densidad a sido observada generalmente en el verano (Pierotto *et al.*, 2007; Girbal *et al.*, 2000) a diferencia de la Reserva Bermejales del sur de España (Pérez & Sánchez, 2002) y en los embalses Sumampa y Piriquitas de Catamarca (Silverio *et al.*, 2009) donde las máximas densidades de *C. hirundinella* ocurren de otoño a invierno en el período de mezcla. Otro estudio realizado en el embalse de Río Tercero en la Provincia de Córdoba (Mac Donagh *et al.*, 2005) concluyeron, que esta especie permanece durante todas las estaciones y las máximas densidades se registraron en verano.

Las temperaturas óptimas, para el crecimiento de *C. hirundinella* para lagos templados, oscilan entre los 12° C y los 23° C (Hutchinson, 1967; Heaney, 1976; 1980). Estos valores son válidos para nuestro embalse y pensamos que la permanencia de *C. hirundinella* a lo largo de todo el año 2002 y la mayor parte del 2004 este dada por un aumento de 2° C en la media invernal con respecto a otros años.

Las formas de resistencia o quistes, fueron evidentes hacia el final del verano, ya que aparecen generalmente cuando la población de individuos adultos decae por la disminución de intensidad luminosa, de la duración del fotoperíodo y de la temperatura (Girbal *et al.*, 2000; Cossavella *et al.*, 2000), a excepción del año 2003 donde fueron observados durante el verano. A comienzos del año 2003, el embalse alcanzó su cota máxima y, el ingreso de agua desde los tributarios podría haber producido el

arrastre de quistes hacia la zona fótica.

La ciclomorfosis es un fenómeno frecuente en *Ceratium* y numerosos estudios indican que estos cambios de forma están asociados con las variaciones de la temperatura (Huber-Pestalozzi, 1950) o a la disponibilidad de nutrientes (Kimmel & Holt, 1988). En los embalses de Cuber y Gorg Blau, en Mallorca (Moyá & Ramón, 1984) observaron que en las muestras de verano las especies tenían un mayor desarrollo de los tres cuernos posteriores y aumento del ángulo de separación entre los mismos. Las muestras de finales de verano presentaban una reducción de la longitud de los cuernos, llegando el tercero de la hipoteca a ser sólo incipiente. Cambios coincidentes con nuestro trabajo.

A partir del verano de 2007 hasta el 2011, con excepción del verano de 2009, *C. hirundinella* fue reemplazado por floraciones de cianobacterias, favorecidas por el aumento de materia orgánica proveniente de los incendios forestales ocurridos en la cuenca. La materia orgánica no solo acelera la colmatación del vaso del dique por el ingreso de un mayor volumen de sedimentos, sino también, aporta nutrientes como el fósforo y el nitrógeno considerados como factores condicionantes para el desarrollo de floraciones de cianobacterias (Huisman *et al.*, 1999; Chen *et al.*, 2003).

La concentración de fósforo total y de clorofila a empleados para determinar el nivel trófico del embalse, nos indica que este reservorio presenta un deterioro de la calidad de las aguas. Trabajos anteriores caracterizaron al embalse como oligotrófico en invierno y mesotrófico en verano (Pierotto *et al.*, 2003; Rincón *et al.*, 2007) y la tendencia de pasar a un estado eutrófico ha sido acompañada por la aparición de cianobacterias. Estos resultados concuerdan

con la mayoría de los estudios realizados en los embalses ubicados en la zona centro-norte de Argentina (Quiroz, 1988; Pedrozo & Bonetto, 1991)

En la primavera de 2012, la planta flotante libre *Lemna minor* pasó a ser el componente principal del embalse, es de rápido crecimiento y crece en aguas estancadas con altos niveles de nitrógeno y fósforo (Rook, 2002). La invasión de plantas acuáticas puede generar impactos negativos sobre la diversidad, la calidad del agua y la dinámica trófica de los ecosistemas donde se establecen (de Tezano Pinto *et al.*, 2007).

El régimen hídrico es un factor que resulta de gran importancia en las variaciones de los factores ambientales del medio en los cuerpos de agua y, por lo tanto, propicia las variaciones estructurales de la comunidad fitoplanctónica (García de Emiliani, 1979). Desde el año 2009 la zona de estudio se vió afectada por una fuerte sequía, incrementándose los incendios en la cuenca, como consecuencia, el caudal de los tributarios fue escaso y con un altos contenidos de materia orgánica favoreciendo la eutrofización.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Graciela Daniele y a Florencia Soterías por la lectura crítica del trabajo y a la Cooperativa de Aguas y Servicios de la Localidad de Río Ceballos por el suministro de los datos referidos a la cota del embalse.

Literatura citada

APHA. 1992. Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales, 17 ed. Díaz de Santos, Madrid.

Boltovskoy, A. 1991. Colonization of freshwater bodies in Argentina and Chile by *Ceratium hirundinella* (Dinophyceae). Bol. Soc. Argent. Bot. 38: 148.

Boltovskoy, A. 2004. *Ceratium hirundinella* Schrank: un

dinoflagelado invasor en lagos y embalses. Simposio. XXX Jornadas Argentinas de Botánica. Rosario, p. 183-202.

Carlson, R. E. 1977. Atrophic state index for lakes. Limnol. Oceanog 22: 361-369.

Cioccallo, M.; M. Ferri; J. Filardo; R. Ingaramo; G. Lado; N. Montivero & R. Morero. 1988. Estudio integral de la problemática del agua en la cuenca del Río Ceballos. Córdoba. Argentina. Inédito.

Chen, Y.; B. Qin; K. Teubner & M. T. Dokulil. 2003. Long-term dynamics of phytoplankton assemblages: Microcystis-domination in Lake Taihu, a large shallow lake in China. Journal of Plankton Research, 25: 445-453.

Cossavella, A.; M. Rodríguez; C. Oroná; S. Del Olmo; N. Larrosa & A. Rodríguez. 2000. Monitoreo de calidad de agua y sedimentos del embalse Los Molinos I, Córdoba, Argentina. III Taller Internacional sobre enfoques regionales para el desarrollo y la gestión de embalses de la cuenca del Río de la Plata. Posadas. Misiones.

de Tezanos Pinto, P.; L. Allende & I. O' Farrell. 2007. Influence of free-floating plants on the structure of a natural phytoplankton assemblage: an experimental approach. Journal of Plankton Research. 29: 47-56.

García de Emiliani, M. O. 1979. Effects on water level fluctuations on phytoplankton in a river-foodplain lake system (Paraná River, Argentina). Hydrobiologia 357: 1- 15.

Girbal, A.; E. Lammel & F. Busso. 2000. Utilización de permanganato de potasio para mitigar un bloom de *Ceratium hirundinella*. Resúmenes del Seminario Internacional: Identificación y Control de Algas en la Producción de Agua Potable.

Heaney, S. 1976. Temporal and spatial distribution of the dinoflagellate *Ceratium hirundinella* O. F. Müller within a small productive lake. Freshwater Biology 6: 531 -542.

Heaney, S. & T. Furnas. 1980. Dynamic aspects of dinoflagellate *Ceratium hirundinella* O.F. Müller. Freshwater Biol. 10, 163 - 170.

Heaney, S. I.; D. V. Chapman & H. R. Morrison. 1983. The role of the cystatage in the seasonal growth of the dinoflagellate *Ceratium hirundinella* within a small productive lake: Br. Phycol. J. 18, 47-59

Huber-Pestalozzi, G. 1950. Das Phytoplankton des Süswaseere: Systematik und Biologie. Cryptophyceen, Chloromonadinen, Peridineen Band 16 Teil

- 3, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. Stuttgart.
- Huisman, J.; P. van Oostveen & E. J. Weissing.** 1999. Species dynamics in phytoplankton blooms: incomplete mixing and competition for light. *The American Naturalist*, 154: 46-48.
- Hutchinson, G.** 1967. *A Treatise on Limnology Vol. 2, Introduction of Lake Biology and the Limnoplankton*, John Wiley and Sons, New York. 115 pp.
- Kimmel, B. & J. Holt.** 1988. Nutrient availability and patterns of polymorphism in the freshwater dinoflagellate, *Ceratium hirundinella*, *Archiv fur Hydrobiologie*.
- Luján, A.; M. De Fabricius; M. Luque & M. Boccolini.** 2005. Diatomeas planctónicas de cursos de agua. Cuenca del Río Piedra Blanca (Córdoba, Argentina). *Bol. Soc. Argent. Bot.* 40 (3-4): 183-198.
- Mac Donagh, M. E.; M. A. Casco & M. C. Claps.** 2005. Colonization of a neotropical reservoir (Córdoba, Argentina) by *Ceratium hirundinella* (O.f. Müller) Bergh. *Ann. Limnol.- Int. J. Lim.* 41 (4): 291-299.
- Moya, G. & G. Ramón.** 1984. variación espacio temporal de *Ceratium hirundinella*, en los embalses de Cuber y Gorg Blau (Mallorca). *Limnetica*, 1, 285-290.
- Pedrozo, F. & C. Bonetto.** 1991. Nitrogen and Phosphorus in Chaco Plain waterbodies. *Medio Ambiente* 11: 96-106.
- Pérez-Martínez, C. & P. Sánchez-Castillo.** 2002. Winter dominance of *Ceratium hirundinella* in a southern north-temperate reservoir. *Journal of plankton research*. Vol. 24, Nº 2, pag. 89-96.
- Pierotto, M.; A. Rincón; M. Gonella; C. Daga & C. Prósperi.** 2003. Hidrobiología del embalse La Quebrada (Córdoba, Argentina): Bacteriología y Fitoplancton. 13º Congreso Argentino de Saneamiento y Medio Ambiente. Buenos Aires. Argentina
- Pierotto, M.; C. Prósperi; C. Daga & A. Rincón.** 2007. Estudio de *Ceratium hirundinella* en el Embalse La Quebrada, Córdoba, Argentina. *International Congress on Development, Environment and Natural Resources: Multi-level and Multi-scale Sustainability*, Cochabamba, Bolivia.
- Quiros, R.** 1988. Relationships between air temperature, depth, nutrients and chlorophyll in 103 Argentinian lakes. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 23: 647-658.
- Reyna, S.; M. Reyna; M. Orso; E. Reyna; M. Lábaque & M. Gómez.** 2006. Plan de gestión de los recursos hídricos de la Provincia de Córdoba. I Congreso internacional sobre gestión y tratamiento integral del agua. Córdoba.
- Reynolds, C. S.** 1984. *The ecology of freshwater phytoplankton*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 384 pp.
- Rincón, A.; C. Daga & M. Pierotto.** 2007. Florecimiento de *Anabaena spiroides* en el Embalse La Quebrada. Resúmenes del I Reunión Conjunta de Sociedades de Biología de la República Argentina. Córdoba.
- Rook, E.** 2002. *Flora, fauna, earth and sky. The natural history of the north woods* Press Cambridge.
- Silverio, M.; G. Montañez; E. Fra; M. Saracho; M. Arjona; S. Amaya & B. Traccanna.** 2009. Variación poblacional de *Ceratium hirundinella* (Dinophyceae) en Embalses eutróficos de Catamarca (Argentina) y su relación con parámetros ambientales. *Huayllubios*. Nº 3.
- Villafañe, V. E. & F. M. H. Reid.** 1995. Métodos de microscopía para la cuantificación del fitoplancton. En: K. Alvear K.; M. E. Ferrario; E. C. Oliveira & E. Sar. (eds.), *Manual de Métodos Ficológicos*, pp. 169-185. Universidad de Concepción. Chile.