

## EFECTO DEL LAVADO DE LA CIUDAD DE SANTA ROSA SOBRE EL ESTADO TRÓFICO DE UNA LAGUNA ARREICA

A. PILATI, S. ECHANIZ, A. VIGNATTI, A. TRUCCO  
& S. B. ALVAREZ

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de La Pampa.  
Uruguay 151, 6300 Santa Rosa (La Pampa).  
apilati2007@yahoo.com

**ABSTRACT.** Don Tomás is a shallow, hypereutrophic lake that received sewage inputs from the city of Santa Rosa until 1987. In 1993, the main body of water was divided into smaller adjacent ponds. One of these ponds, Canotaje pond (with a small surface area and average depth), receives an important urban runoff from the city. Thus, the high load of nutrients and sediments after a storm should result in a higher trophic state than Don Tomás. The objective of this research was to compare the limnological characteristics of both water bodies to verify their trophic status. We did not find any significant statistical differences among the measured variables in the two systems, except for water conductivity and suspended organic solids, which were higher in Don Tomás, and for dissolved phosphorus, which was higher in Canotaje. Laboratory experiments determined that the phytoplankton community of both systems was limited by nitrogen, which is consistent with the observed low Redfield ratio of dissolved N and P (1.32). Algal diversity in both systems was represented by 66 taxa, 1/3 of which belonged to the phylum Cyanophyta. In addition, a *Planktothrix agardhii* bloom was observed in both water bodies. From the present study, we determined that Don Tomás and Canotaje have the same trophic state (i.e. hypereutrophic). In spite of the high urban runoff loaded with nutrients and sediments into Canotaje, the high amounts of P present in this system sediments would make both ponds highly resilient to changes in trophic state.

**Key words:** trophic state, stability, flushing.

**Palabras clave:** estado trófico, estabilidad, lavado por lluvia.

### INTRODUCCIÓN

La eutrofización es el aumento de la productividad en un cuerpo de agua ocasionada por el incremento de las concentraciones de nutrientes (Lampert y Sommer, 1997). Aunque puede ser provocado naturalmente, es un fenómeno de causas principalmente antrópicas debido al desarrollo de actividades en las cuencas de captación que producen aportes que aumentan las cantidades de nitrógeno y fósforo presentes en el agua (Wetzel, 2001).

De acuerdo a las investigaciones pioneras de Redfield *et al.*, (1963) y Goldman *et al.*, (1979), en el agua marina el fósforo sería con más frecuencia el nutriente limitante para el crecimiento algal, ya que es el menos abundante. Posteriormente Schindler (1974), realizó adiciones de fósforo y carbono a lagos oligotróficos experimentales, y demostró que eran las adiciones de fósforo las que producían las floraciones algales. De esta manera la palabra eutrofización, indicadora de aumentos de productividad, ha llega-

do a ser sinónimo de adiciones de fósforo a los ecosistemas acuáticos. Sin embargo en ambientes altamente influenciados por la actividad antrópica, en los que el fósforo puede llegar a ser relativamente abundante, el crecimiento algal también puede verse limitado por una concentración proporcionalmente baja de nitrógeno.

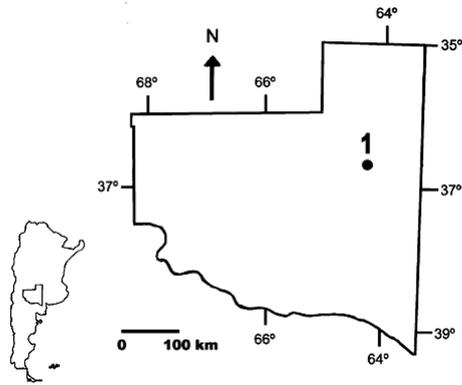
Los lagos someros (lagunas) son cuerpos de agua que debido a su escasa profundidad (menos de 3-4 m) no estratifican térmicamente, lo que les da un carácter polimíctico (Scheffer, 1998). Generalmente tienen una elevada concentración de nutrientes (fósforo y nitrógeno) en el agua, lo que ocasiona que sean ambientes eutróficos o hipereutróficos, con grandes biomásas en todos los niveles tróficos y tasas de producción primaria y secundaria también muy altas (Scheffer, 1998). Debido a que muchos de estos cuerpos de agua están ubicados en paisajes de llanura, aptos para el desarrollo de actividades como agricultura y ganadería, están altamente influenciados por acciones tales como la aplicación de fertilizantes y pesticidas o el roturado, que frecuentemente acelera la erosión del suelo (Gavilan, 1981; Chambouleyron *et al.*, 1993), todo lo cual incrementa el ingreso de nutrientes a los ecosistemas acuáticos, elevando su nivel trófico. Además, los lagos someros son más susceptibles a los efectos provocados por el ingreso de nutrientes debido a sus características morfométricas, como la poca profundidad (Vollenweider, 1976) y la polimixis que provoca frecuentes resuspensiones de sedimento.

En la provincia de La Pampa, a pesar del predominio de las condiciones de semiaridez (Cano, 1980) existe un elevado número de lagos someros, frecuentemente temporarios, que tienen elevadas concentraciones de nutrientes, por lo que pueden categorizarse como eutróficos (Quirós, 2000; Quirós *et al.*, 2002). La laguna Don Tomás es un lago somero urbano hipereutrófico de la provincia de La Pampa (Fig. 1). Es el principal cuenco receptor del

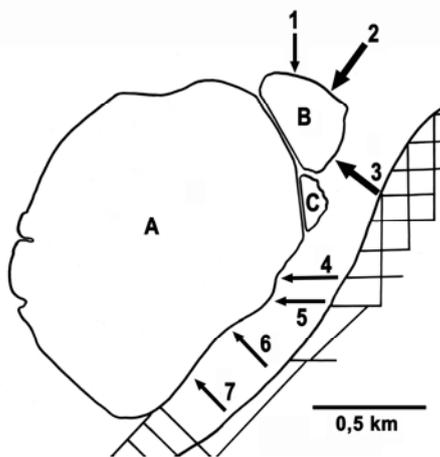
sistema de desagües pluviales de la ciudad de Santa Rosa. Tiene una profundidad máxima de 2,3 m y una superficie de 135 Ha (Echaniz *et al.*, 2008). Si bien en el pasado fue un único cuenco, la construcción de un extenso parque recreativo implicó la construcción de varios caminos sobre terraplenes que fragmentaron la cubeta original, de forma que actualmente, existen tres cuerpos de agua adyacentes y comunicados (Fig. 2), el principal, o laguna Don Tomás propiamente dicha, dada su mayor extensión, el pequeño cuenco del Parque y el de la Escuela de Canotaje. Esta última laguna, conectada con el cuenco principal, tiene una profundidad máxima de 1,7 m y una superficie de 11 Ha aproximadamente (Monteira, *com. pers.*, Febrero 2008).

La laguna de Canotaje recibe tres desagües pluviales, dos de los cuales son de gran tamaño y por ende los que aportan la mayor cantidad de agua al sistema (Fig. 2). El cuenco principal (Laguna Don Tomás) recibe otros cuatro desagües, pero de menores dimensiones que los anteriores. Considerando que la laguna de Canotaje es mucho menos extensa y profunda que la laguna Don Tomás, podría afirmarse que la alta carga de nutrientes y sedimentos por escorrentía urbana que desembocan en la laguna de Canotaje provocan que el estado trófico de esta pequeña laguna sea mayor que el del cuenco principal.

El objetivo del presente trabajo fue, por un lado, comparar las principales características limnológicas de las lagunas Don Tomás y Canotaje, dos días después de una tormenta de verano, a fin de establecer el nivel trófico de los mismos y evaluar el potencial efecto del aporte de escorrentía urbana sobre la laguna de Canotaje y por otro, desarrollar experiencias de laboratorio destinadas a establecer el nutriente limitante para el crecimiento algal en ambos cuerpos de agua.



**Figura 1:** ubicación de la laguna Don Tomás (1) en la provincia de La Pampa



**Figura 2:** Localización de las cuencas y las entradas de desagües pluviales. A: Principal (Don Tomás). B: cuenco de Canotaje. C: cuenco del Parque. (El ancho de las flechas indica la importancia)

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para comparar el estado trófico de ambos ambientes, en febrero de 2008, se midieron tanto variables abióticas como bióticas, en dos sitios diferentes en cada cuenco ( $n=2$ ), en los primeros 50 cm de profundidad. La temperatura y el oxígeno disuelto se midieron con un oxímetro de membrana YSI Modelo 55 y la conductividad con un conductímetro Oakton TDSTestr 20.

La transparencia del agua se determinó mediante un disco de Secchi de 22 cm de diámetro. Los sólidos suspendidos orgánicos (SSO) e inorgánicos (SSI) se estimaron mediante el filtrado de un volumen de agua conocido a través de un filtro de fibra de vidrio (Gelman A/E) prepesado, secado a 103-104 °C hasta peso constante y posteriormente calcinado en mufla a 500 °C por 1 hora para quemar la materia orgánica y estimar los SSI.

El fósforo total (PT) se midió por digestión con persulfato y el nitrógeno total (NT) se determinó mediante el método de Kjeldahl respectivamente (APHA, 1992). El fósforo y nitrógeno disueltos se analizaron mediante el método del ácido ascórbico y el método del fenol respectivamente (APHA, 1992).

Para determinar las concentraciones de clorofila *a* se filtraron 15 ml de agua en filtros de fibra de vidrio tipo Gelman A/E. Los pigmentos fueron extraídos en frío con acetona 100% y luego acidificados para corregir por feopigmentos. Las lecturas se hicieron con un fluorómetro Aqualuor de Turner Designs (Arar y Collins 1997).

La severidad de la limitación algal se determinó mediante experimentos de laboratorio, que consistieron en cuatro tratamientos, con dos réplicas cada uno, para lo que se colocó agua de cada cuenco en microcosmos de 175 ml, uno de los cuales fue el control (sin agregado de nutrientes) y en otros tres se agregó N, P o N+P, a partir de soluciones *stock* de nitrato de amonio y fosfato de sodio monobásico para llegar a concentraciones finales de 2.1 mgN.l<sup>-1</sup> y 0.279 mgP.l<sup>-1</sup>. Las concentraciones empleadas aseguraron que las algas estuvieran en un medio saturado por N y P, en una relación molar N:P de 20:1 (Vanni *et al.*, 2006). En todos los casos los microcosmos fueron incubados durante 48 horas, al cabo de las cuales se determinó el crecimiento algal de los tratamientos respecto del control mediante la medición de clorofila *in vivo* (Downing *et al.*, 1999).

El estado trófico de ambos cuencos se determinó utilizando mediciones de PT, clorofila y disco de Secchi según las categorías propuestas por Vollenweider y Kerekes (1982) y se compararon empleando un test T a dos colas utilizando el *software* JMP versión 7.0.1.

## RESULTADOS

De todas las variables medidas (Tabla 1), sólo la conductividad, los sólidos suspendidos orgánicos (SSO) y el P disuelto mostraron diferencias significativas entre los dos cuencos. El resto de los parámetros no mostraron diferencias al 5%.

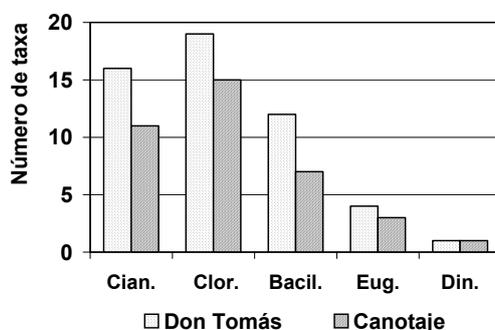
Si bien la salinidad del agua estimada a partir de la conductividad eléctrica fue relativamente reducida en ambos casos, en la laguna Don Tomás

se registró el doble ( $0,94 \text{ g.l}^{-1}$ ) que en la laguna de Canotaje ( $0,43 \text{ g.l}^{-1}$ ). Los SSO constituyeron el 100% de los sólidos suspendidos totales en Don Tomás, y estuvieron compuestos principalmente por algas. La fracción inorgánica (SSI) por otro lado, fue más conspicua en Canotaje, donde constituyó ~24% de los sólidos suspendidos totales.

Respecto de las concentraciones de N y P disueltos, la laguna de Canotaje mostró el doble de las de Don Tomás, pero sólo fue significativa la diferencia en el caso del fósforo, no así en el del N disuelto, debido a la alta variabilidad de los datos. La razón de Redfield (molar) fue muy baja, y la misma para los dos cuencos (N:P = 1,32).

**Tabla 1:** Algunas características limnológicas promedio ( $n=2$ ) de la laguna Don Tomás y la laguna de Canotaje. Entre paréntesis la desviación estándar. El asterisco indica diferencias significativas al 5% (Test t) entre ambos cuencos.

	Don Tomás	Canotaje
Temp. (°C)	22,4 ( $\pm 0,07$ )	22,3 ( $\pm 0,25$ )
Conduct. ( $\mu\text{S.cm}^{-2}$ )	1410 ( $\pm 39,6$ ) *	650 ( $\pm 5,6$ ) *
Secchi (m)	0,14 ( $\pm 0,01$ )	0,14 ( $\pm 0,01$ )
O <sub>2</sub> dis. ( $\text{mg.l}^{-1}$ )	9,3 ( $\pm 0,55$ )	9,8 ( $\pm 0,69$ )
SSI ( $\text{mg.l}^{-1}$ )	0 ( $\pm 0$ )	18,1 ( $\pm 11,4$ )
SSO ( $\text{mg.l}^{-1}$ )	66,8 ( $\pm 1,1$ ) *	58,7 ( $\pm 3,1$ ) *
PT ( $\text{mgP.l}^{-1}$ )	19,1 ( $\pm 11,9$ )	24,1 ( $\pm 0,44$ )
NT ( $\text{mgN.l}^{-1}$ )	15,9 ( $\pm 1,3$ )	11,5 ( $\pm 5,3$ )
P dis. ( $\mu\text{gP.l}^{-1}$ )	13,1 ( $\pm 0$ ) *	26,1 ( $\pm 4,6$ ) *
N dis. ( $\mu\text{gN.l}^{-1}$ )	7,7 ( $\pm 10,9$ )	15,5 ( $\pm 21,9$ )
Clorofila a ( $\mu\text{g.l}^{-1}$ )	249,2 ( $\pm 46,1$ )	240,8 ( $\pm 7,2$ )



**Figura 3:** Comparación del número de taxa fitoplanctónicas registrados en los dos cuencos. Cian.: cianofitas. Clor.: clorofitas. Bacil.: bacilariofitas. Eug.: euglenofitas. Din.: Dinofitas.

El análisis de los parámetros indicadores del estado trófico (Tabla 1), permitió establecer que el estado de ambos ambientes es hipereutrófico, ya que el PT y la clorofila sobrepasaron los 100 y 25  $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  respectivamente y la transparencia del agua fue menor a 1,5 m.

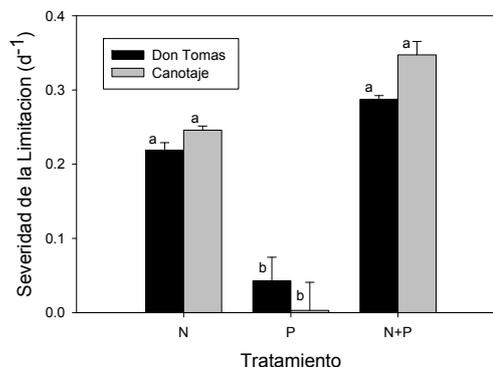
Respecto de la limitación algal por nutrientes, tanto las algas de Don Tomás como las provenientes de Canotaje mostraron un comportamiento similar durante los experimentos de adición de nutrientes (Fig. 4). Aunque se verificó una pequeña co-limitación por ambos nutrientes, en general, las algas estuvieron predominantemente limitadas por nitrógeno ya que respondieron de manera similar ante la adición de este nutriente (N ó N+P). La adición de P no pareció estimular el crecimiento algal, lo cual indica una abundante presencia de este nutriente.

## DISCUSIÓN

Dada la falta de diferencias significativas entre la mayoría de las variables físico-químicas y biológicas analizadas entre los dos cuencos, se puede aseverar que la Laguna Don Tomás y la de Canotaje no difieren en sus características limnológicas, ni en su estado trófico. Los únicos parámetros que fueron diferentes entre ambos cuencos fueron la conductividad eléctrica, los SSO y el P disuelto.

La conductividad eléctrica indicó que Don Tomás es un cuerpo que contiene mayor cantidad de sólidos disueltos respecto a Canotaje, lo que puede ser adjudicado al efecto de lavado producido por el importante ingreso de agua de lluvia en este último cuenco, ya que éste recibe los dos desagües pluviales más importantes de la ciudad de Santa Rosa. Además, la laguna de Canotaje tiene un volumen mucho menor que el cuenco principal dadas su menores superficie y profundidad (Monteira, com. pers.). Este último parámetro podría ser afectado

negativamente debido al gran aporte de sedimentos que ingresan durante las tormentas (Trucco, observación personal).



**Figura 4:** Severidad de la limitación algal ( $d^{-1}$ ) ante adiciones de nitrógeno (N), fósforo (P) y nitrógeno y fósforo conjuntamente (N+P) para dos lagos someros adyacentes. Las barras indican los promedios y sus desviaciones estándar ( $n=3$ ). Letras diferentes indican diferencias significativas al 5% (Tukey) entre los diferentes cuencos o entre los tratamientos.

La transparencia del agua fue similar en ambos ambientes. Sin embargo, es importante destacar que la turbidez de ambos cuencos producida por elementos en suspensión, pudo ser producida por diferentes causas. La laguna Don Tomás presentó el 100% de los SST compuestos por elementos orgánicos, probablemente algas, mientras que en Canotaje el 20% de los SST estuvieron compuestos por elementos inorgánicos. Tres días antes del muestreo, hubo una tormenta estival que aportó grandes cantidades de sedimentos provenientes del lavado urbano, y dada la baja profundidad de esta laguna, éstos podrían mantenerse en suspensión por la acción del viento, situación característica de los cuerpos de agua polimícticos pampásicos (Quirós *et al.*, 2002).

Con respecto a de los nutrientes, es importante destacar que si bien el PT en la laguna de Canotaje fue 26% más alto que en Don Tomás, no se detecta-

ron diferencias debido a la gran variabilidad de los datos (Tabla 1), por lo que las concentraciones de PT y NT no fueron significativamente diferentes entre ambos cuencos, lo que lleva a descartar la hipótesis postulada sobre una posible diferencia entre ambos cuencos. La mayor concentración de P en Canotaje podría deberse al aporte de ese nutriente ligado a las partículas inorgánicas que ingresaron a este cuenco durante la tormenta, ya que la concentración de P disuelto en el agua de esta laguna ( $26 \mu\text{g P.l}^{-1}$ ) es ínfimo con respecto a los valores de PT ( $24 \text{mg.l}^{-1}$ ) (Tabla 1). En cambio, las concentraciones de N y P disueltos de la laguna de Canotaje siempre duplicaron a las de Don Tomás, aunque la alta variabilidad en el caso del N disuelto impidió encontrar una diferencia significativa (Tabla 1). Las mayores concentraciones de P disuelto en Canotaje podrían atribuirse a la posible entrada de P con el agua de lluvia proveniente del lavado de la ciudad, pero, debido a que no se muestreó el contenido de este nutriente en el agua proveniente de los desagües de lluvia, no se pudo poner a prueba esta especulación.

Por otro lado, la relación atómica entre N y P disueltos en ambos cuencos fue la misma y muy baja (1,32:1). Goldman *et al.* (1979) describieron que el fitoplancton tiene una relación estequiométrica C:N:P de 106:16:1 átomos. Esta razón es conocida como la razón de Redfield, e implica que el fitoplancton no estará limitado ni por N ni por P cuando ambos nutrientes disponibles (o disueltos) estén en una proporción de 16:1 átomos. Si este cociente fuera menor a 16:1 implica que las algas estarán limitadas por nitrógeno ya que el P se presenta en exceso con respecto a los requerimientos algales (Lampert y Sommer, 1997). En el caso del presente estudio, teniendo en cuenta la relación atómica de N:P disueltos en el agua del sistema considerado, se puede afirmar que las algas de estos cuerpos de agua estarían limitadas por N.

La especulación de que las algas de ambos cuencos estuvieron limitadas por nitrógeno, pudo corroborarse mediante los experimentos de limitación de nutrientes, dado que las algas respondieron de manera similar ante la adición de este nutriente, tanto cuando fue agregado solo o en presencia de P (Fig. 4). Es de particular interés que el crecimiento algal no fue estimulado por la adición de P, en especial en Canotaje, donde la respuesta fue cercana a cero, lo que podría deberse a que este cuenco tenía más P disuelto que Don Tomás (Tabla 1).

Los altos valores de nutrientes, sobre todo P total indican que tanto la laguna Don Tomás como Canotaje son cuerpos de agua hipereutróficos. Una causa probable de esta situación es que antes de ser dividida en cuencos menores, hasta 1987, la laguna Don Tomás se comportó como cuenco receptor de líquidos cloacales tratados (Marani, com. pers.). En general, estos efluentes que se caracterizan por tener elevadas concentraciones de P (Carpenter *et al.*, 1998). El P, aportado por la planta de tratamientos cloacales ubicados en la zona Norte de la ciudad de Santa Rosa, no ha tenido salida de la laguna Don Tomás (a excepción de esporádicas derivaciones al Bajo de Giuliani), dado su carácter arreico, por lo que habría quedado en el sistema, ya sea reciclándose en la columna de agua o precipitando a los sedimentos y contribuyendo a incrementar la carga interna. La Laguna Don Tomás posee niveles sumamente elevados de este nutriente en sus sedimentos ( $1150 \text{mg de P.kg}^{-1}$ ; Echaniz, com. pers.), concentración que corresponde a más del doble registrado en un lago hipereutrófico de Estados Unidos (Pilati *et al.*, 2009). Teniendo en cuenta que una consecuencia de la resuspensión de los sedimentos del fondo es la movilización de la carga interna de nutrientes (Havens *et al.*, 2007), el sistema sería muy estable, haciendo que el estado de hipereutrofia sea irreversible (Carpenter *et al.*, 1999), de allí la falta de discrepancias

en el estado trófico de las cuencas analizados.

Por lo expuesto anteriormente, puede concluirse que el aporte de escorrentía urbana no afecta el estado trófico del cuenco de Canotaje, tal como fuera propuesto originalmente. Sin embargo, podría afirmarse que este pequeño cuenco funciona como un importante cuenco de retención *in situ* de nutrientes (P disuelto) y sedimentos (Sólidos Suspendidos).

## AGRADECIMIENTOS

A las licenciadas Graciela I. Bazán y Andrea Biasotti por la gran ayuda recibida durante la identificación de las algas, y a un revisor anónimo por sus valiosas contribuciones. Este proyecto fue subvencionado por la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UNLPam.

## BIBLIOGRAFÍA

- American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Pollution Control Federation.** 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18<sup>th</sup> ed. Washington, D. C. 1022 pp.
- Arar, E. J. y G. B. Collins.** 1997. In vitro determination of chlorophyll a and pheophytin a in marine and freshwater algae by fluorescence. Método EPA 445 disponible en [www.epa.gov/nerlcwww/ordmeth.htm](http://www.epa.gov/nerlcwww/ordmeth.htm). Visitado el 6 de Mayo de 2009.
- Carpenter, S.R., N. F. Caraco, D. L. Correll, R. W. Howarth, A.N. Sharpley, y V.H. Smith.** 1998. Non point pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications*, 8 (3): 559-568.
- Carpenter, S.R., D. Ludwig y W.A. Brock.** 1999. Management of eutrophication for lakes subject to potentially irreversible change. *Ecological Applications*, 9 (3): 751-771.
- Chambouleyron, J., J. Morabito, S. Salatino, C. Mirabile, R. Díaz, M. Simmerman, S. Campos, R. Solanes, y N. Ceciff.** 1993. Pollution of irrigation water in Mendoza, Argentina. In: Prevention of Water Pollution by Agriculture and Related Activities pp: 45-52. Proceedings of the FAO Expert Consultations. Santiago, Chile, 20-23 October 1992. Water Reports N° 1. FAO, Rome. 357 pp.
- Downing, J. A., C. W. Osenberg y O. Sarnelle.** 1999. Metaanalysis of marine nutrient enrichment experiments: variation in the magnitude of nutrient limitation. *Ecology*, 80(4):1157-1167.
- Echaniz, S., A. Vignatti y P. Buniño.** 2008. El zooplancton de un lago somero hipereutrófico de la región central de Argentina. Cambios después de una década. *Biota Neotropica*, 8(4): 63-71.
- Gavilán, J.G.** 1981. Study of water quality in the San Roque Reservoir. *Water Quality Bulletin*, 6: 136-142.
- Goldman, J. C., J. J. McCarthy y D. G. Peavey.** 1979. Growth rate influence on the chemical composition of phytoplankton in oceanic waters. *Nature*, 279: 210-215.
- Havens, K., K. Jin, N. Iricanin y R. Thomas James.** 2007. Phosphorus dynamics at multiple time scales in the pelagic zone of a large shallow lake in Florida, USA. *Hydrobiologia*, 581: 25-42.
- Lampert, W. y U. Sommer.** 1997. *Limnoecology: The ecology of lakes and streams.* Oxford University Press.
- Pilati, A., M. J. Vanni, M. J. Gonzalez y A. K. Gaulke.** 2009. Effects of agricultural subsidies of nutrients and detritus on fish and plankton of shallow-reservoir ecosystems. *Ecological Applications* 19(4):942-960.
- Quirós, R.** 2000. La eutroficación de las aguas continentales de Argentina en: A. Fernández (Ed.) *El agua en iberoamérica: Acuíferos, lagos y embalses* CYTED. Subprograma

XVII. Aprovechamiento y gestión de recursos hídricos.

- Quirós, R., J.J. Rosso, A. Renella, A. Sosnovsky y M. Boveri.** 2002. Estudio sobre el estado trófico de las lagunas pampeanas. *Interciencia*, 27: 584-591.
- Redfield, A.C., B.H. Ketchum y F.A. Richards.** 1963. The influence of organism on the chemical composition of seawater. Pp 26-77 In: M.N. Hills (Ed) *The Sea: Ideas and observations on progress in the study of the seas*, Vol 2: The composition of seawater, comparative and descriptive oceanography. New York: Interscience.
- Scheffer, M.** 1998. *Ecology of Shallow Lakes*. Chapman & Hall, London. 357 pp.
- Schindler, D.W.** 1974. Eutrophication and recovery in experimental lakes: implications for lake management. *Science*, 184: 897-899.

- Vanni, M. J., S. Andrews, W. H. Renwinck, M.J. Gonzalez y S. J Noble.** 2006. Nutrient and light limitation of reservoirs phytoplankton in relation to storm-mediated pulses in stream discharge. *Archiv für Hydrobiologie*, 167 (1-4):421-445.
- Vollenweider, R. A.** 1976. Advances in defining critical loading levels for phosphorous in lake eutrophication. *Memorie dell' Istituto Italiano de Idrobiologia*, 33: 53-83.
- Vollenweider, R. A. y J. J. Kerekes.** 1982. *Eutrophication of waters. Monitoring, Assesment and Control. Final Report.* OECD (Organization for Economic Cooperation and Development), Paris. 154 pp.
- Wetzel, R. G.** 2001. *Limnology: Lake and river ecosystems.* Academic Press, London. 1006 pp.