

La eutrofización de las aguas continentales de Argentina

Rolando Quirós

I Reunión de la Red Temática sobre Eutrofización de Lagos y Embalses
Subprograma XVII. Cooperación Iberoamericana. Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED).
Marzo 16 y 17, 2000. Mar del Plata, Argentina

**Area de Sistemas de Producción Acuática
Facultad de Agronomía
Universidad de Buenos Aires**

Marzo 2000

La eutrofización de las aguas continentales de Argentina¹

Rolando Quirós

Sistemas de Producción Acuática, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.
Av. San Martín 4453, 1417 Buenos Aires, Argentina. Email: quiros@mail.agro.uba.ar

Introducción

La Argentina posee una amplia variedad de tipos de lagos, tanto en lo referente a su origen, como a su tamaño, forma, ubicación climática, química de aguas y fertilidad natural (Quirós y Drago, 1999). Para Argentina como un todo tanto la densidad poblacional (habitantes/km²) como el número de habitantes por unidad de superficie de lago (habitantes/km² de lago) son bajas (Quirós, 1997). Sin embargo, y ligado principalmente a la desigual distribución de su población y zonas de desarrollo, Argentina presenta graves problemas de eutrofización en algunos de sus lagos y embalses.

Los sectores más educados de la sociedad actualmente reconocen que los ecosistemas acuáticos realizan una serie de funciones ambientales sumamente valiosas, tales como: reciclado de nutrientes, purificación de aguas, mantenimiento del régimen de descarga de ríos y arroyos, recarga de napas subterráneas, provisión de hábitat para una gran cantidad de especies animales y vegetales y aporte de oportunidades de recreación para los seres humanos.

Es también ampliamente reconocido que la eutrofización de las aguas superficiales, producida por una carga excesiva de fósforo (P) y nitrógeno (N), desorganiza el normal funcionamiento de los ecosistemas acuáticos impidiendo que brinden los servicios que la sociedad necesita. En los países desarrollados las fuentes puntuales han sido controladas, debido a que se dispone del conocimiento y las inversiones necesarias. A nivel de la ciencia y tecnología, también se dispone de una buena comprensión de las causas que provocan la eutrofización a partir de fuentes no puntuales (Carpenter et al., 1998).

Los impedimentos al control de la eutrofización parecen tener, en la actualidad, un componente social, económico, político e institucional mucho más importante que el componente técnico. Esto último podría contribuir a explicar porqué Argentina sigue considerando a sus aguas de superficie como un sumidero con capacidad infinita para diluir nutrientes y otros contaminantes.

¹ QUIRÓS, R. 2000. La eutrofización de las aguas continentales de Argentina (p:43-47). En A. Fernández (ed.) *El Agua en Iberoamérica: Acuíferos, Lagos y Embalses*. CYTED. Subprograma XVII. Aprovechamiento y Gestión de Recursos Hídricos. 147 p.

Características regionales

En nuestros estudios sobre ecosistemas acuáticos (Drago y Quirós, 1996; Quirós y Drago, 1999) dividimos Argentina en seis regiones geográficas principales: 1) Puna, 2) Planicie Chaco-Pampeana, 3) Sierras Peri-Pampeanas y valles y "bolsones" relacionados, 4) Patagonia Andina, 5) Planicie Patagónica, y 6) Meseta Misionera como parte del Escudo Brasileño (Figura 1).

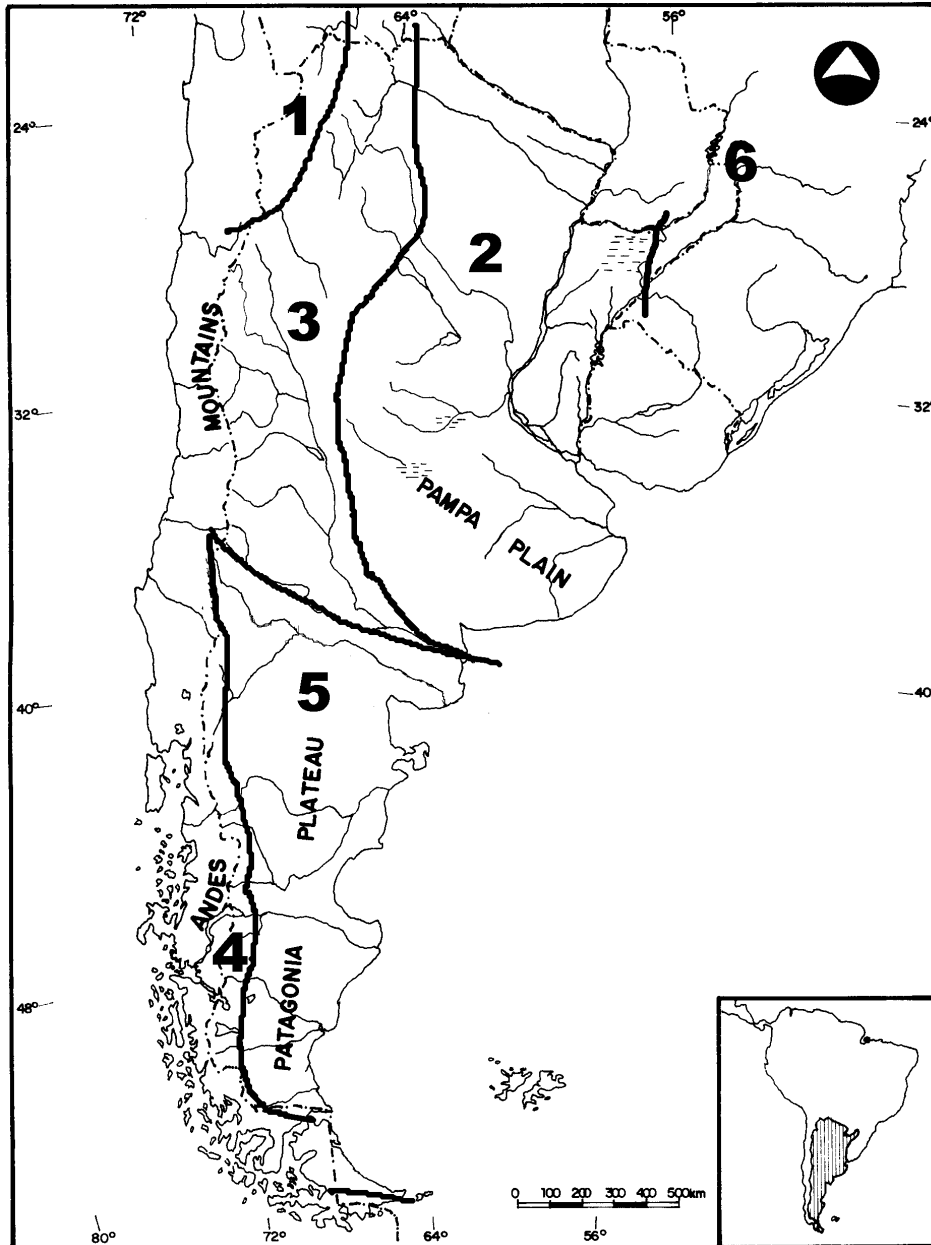


Figura 1. Distritos de lagos para Argentina. (1), Puna; (2), Planicie Chaco-Pampeana; (3), Sierras Peri-Pampeanas; (4), Patagonia Andina; (5) Planicie Patagónica; (6) Escudo Brasileiro.

Los lagos más profundos de Argentina están situados en los Andes Patagónicos y su estado trófico varía entre ultraoligotrófico y oligotrófico (Figura 1, Tabla 1) (Quirós, 1988; Pedrozzo et al., 1993). La mayoría de los lagos situados en los Andes Patagónicos son lagos poco perturbados. Sin embargo, se ha informado de algunos problemas de calidad del agua característicos de procesos de eutrofización para ciertos lagos situados cerca de concentraciones urbanas medianas (por ej. los lagos Lacar y Nahuel Huapi) (Pedrozzo et al., 1993; Pedrozzo, 1997).

Los lagos y embalses de la Planicie Patagónica varían entre mesotróficos y eutróficos. Estos cuerpos de agua, así como los ecotono patagónico pueden también considerarse como poco perturbados. Sin embargo, problemas de eutrofización se están presentando en ciertos lagos y embalses usados para actividades de riego semi-intensivo o de cría de peces (Temporetti et al., 1998). La erosión ha aumentado la tasa de sedimentación en los lagos y embalses, y ha ocasionado cierto deterioro en los lagos de las zonas bajas.

Los embalses ubicados en las regiones áridas del centro-oeste y del noroeste de Argentina varían entre mesotróficos y eutróficos (Figura 1, Tabla 1). La mayoría de los mismos están altamente influidos por la agricultura bajo riego, el manejo pecuario en alta pendiente, la erosión del suelo, la actividad minera, la descarga de efluentes domésticos no tratados, los molinos de caña de azúcar, y otras industrias alimentarias (Gavilan, 1981; Chambouleyron et al., 1993). Como resultados de ello, la carga de materia orgánica sobre los embalses es generalmente alta y muy frecuentemente los mismos tienen su hipolimnio desprovisto de oxígeno disuelto durante el verano medio (Quiros, 1988). Para algunos de esos embalses (por ej. el Lago San Roque), se han informado importantes florecimientos de cianobacterias potencialmente tóxicas (Pizzolon et al., 1999).

Tabla 1. Concentraciones de fósforo total y clorofila a para lagos y embalses de Argentina, agrupados por región geográfica. Valores medios y rango de variación para concentraciones (Quirós, 1997).

	fósforo total (mg/m ³)			clorofila a (mg/m ³)		
	media	max	min	media	max	min
Pampa	256	1288	23	64.1	405	1.6
Oeste y Noroeste	54	322	5	22.4	218	1.1
Planicie Patagónica	59	294	4	7.6	23.8	0.7
Andes Patagónicos	7	33	1	2.2	54.1	0.2

Por otra parte, los lagos muy poco profundos de la llanura Chaco-Pampeana son naturalmente eutróficos (Quirós, 1998; Pedrozzo y Bonetto, 1991), si bien en el caso de los lagos situados en la región pampeana (Pampas) no es raro encontrar lagos en un estado sumamente avanzado de trofia (hipereutróficos) (Figuras 2 y 3). Por ej., en la alta cuenca del río Salado (Buenos Aires), los lagos poco profundos (lagunas) utilizados para recreación (natación, pesca y náutica) suelen presentar concentraciones de TP y TN similares a las de las descargas de una planta de tratamiento de efluentes cloacales característica de un país desarrollado. En los mismos es común observar floraciones superficiales de cianobacterias potencialmente tóxicas (*Anabaena*, *Microcystis*, *Aphanizomenon*) y periódicas mortandades masivas de peces de importancia deportiva y comercial (Quirós, información no publicada). Estos lagos son altamente vulnerables a los efectos del uso antrópico de los recursos del agua y de la tierra (Quiros, 1993). Actualmente se encuentran ligeramente impactados por las descargas cloacales urbanas, las operaciones agrícolas, la lechería, y por otras industrias que procesan alimentos. Sin embargo, cierto deterioro en su estado ambiental es actualmente evidente (Quiros, obs. pers.). Además, para la franja cerealera argentina es de esperar un auge de las actividades de riego durante los próximos años. Por lo tanto, las actividades antrópicas en este distrito de lagos deberían ser cuidadosamente planificadas.

Los grandes embalses situados en los grandes ríos que drenan las últimas estribaciones del Escudo Brasileño son compartidos con países limítrofes y producto de la industria de la hidroelectricidad. Para éstos embalses se han reportado importantes floraciones de cianofitas en los brazos laterales que avanzan sobre el cuerpo principal del embalse en épocas de aguas bajas.

Estado trófico de lagos y embalses

Los niveles de biomasa algal de los lagos de Argentina son explicados principalmente por los niveles de nutrientes de los mismos (Figura 2) (Quirós, 1988). Sin embargo, otros factores ligados a la composición de las tramas tróficas y a la biodisponibilidad de los nutrientes dan cuenta de gran parte de la dispersión de la regresión TP-Chl (Quirós, 1990, 1995). Esto ocurre a pesar de que, para los lagos y embalses de Argentina, las características climáticas, morfométricas y edáficas se encuentran altamente relacionadas: a) los lagos más profundos se sitúan a latitudes mayores (templado fríos) y oscilan desde ultraoligotróficos a oligotróficos; b), todos los lagos en las llanuras son muy poco profundos, se distribuyen a todas las latitudes pero predominan a latitudes intermedias (templado cálidos), y varían desde eutróficos hasta hipertróficos o lagos salinos. La mayoría de los embalses de las regiones centro - occidental y del noroeste y los lagos de la meseta patagónica oscilan desde mesotróficos hasta eutróficos, pero predominan desde latitudes medias a altas (templado-cálidos y subtropicales).

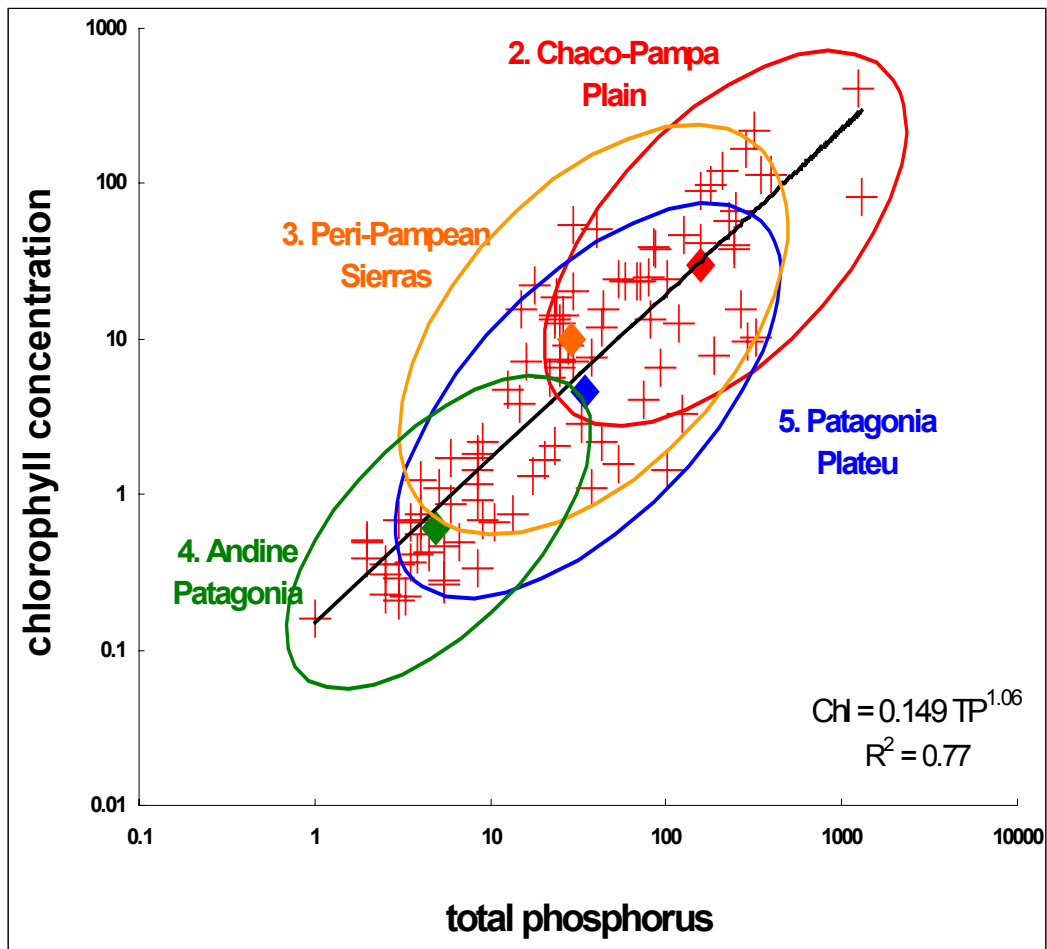


Figure 2. Relación TP – Chl para lagos y embalses de Argentina. Los distritos de lagos están destacados. (2), Planicie Chaco-Pampeana; (3), Sierras Peri-Pampeanas; (4), Patagonia Andina; (5) Planicie Patagónica.

Ordenamiento ambiental y eutrofización de lagos y embalses

El ordenamiento ambiental de los lagos argentinos utilizando información climática, morfométrica, hidroquímica, y de concentraciones de nutrientes, discrimina cuatro agrupamientos de lagos que aproximadamente coinciden con cuatro de los principales distritos de lagos usualmente considerados para Argentina: el árido y semiárido del centro-oeste y noroeste, las grandes llanuras centrales, la Planicie Patagónica y los Andes Patagónicos (Figura 3) (Quirós y Drago, 1999).

El primer eje (EF-1, Figura 3) pondera los lagos someros, cálidos, eutróficos, con tendencia a estar limitados por nitrógeno y situados a latitudes más bajas, en contraposición a los lagos australes, templado - fríos, oligotróficos, más diluídos, y generalmente limitados por fósforo. El segundo eje (EF-2, Figura 3) pondera los lagos con déficit de oxígeno

disuelto y más cálidos en el hipolimnio, a diferencia de los fríos lagos australes con un hipolimnio bien oxigenado. Por lo tanto, para Argentina las características climáticas, morfométricas, y edáficas comúnmente se encuentran estrechamente relacionadas explicando la variación de estado trófico de sus lagos (Quiros, 1991).

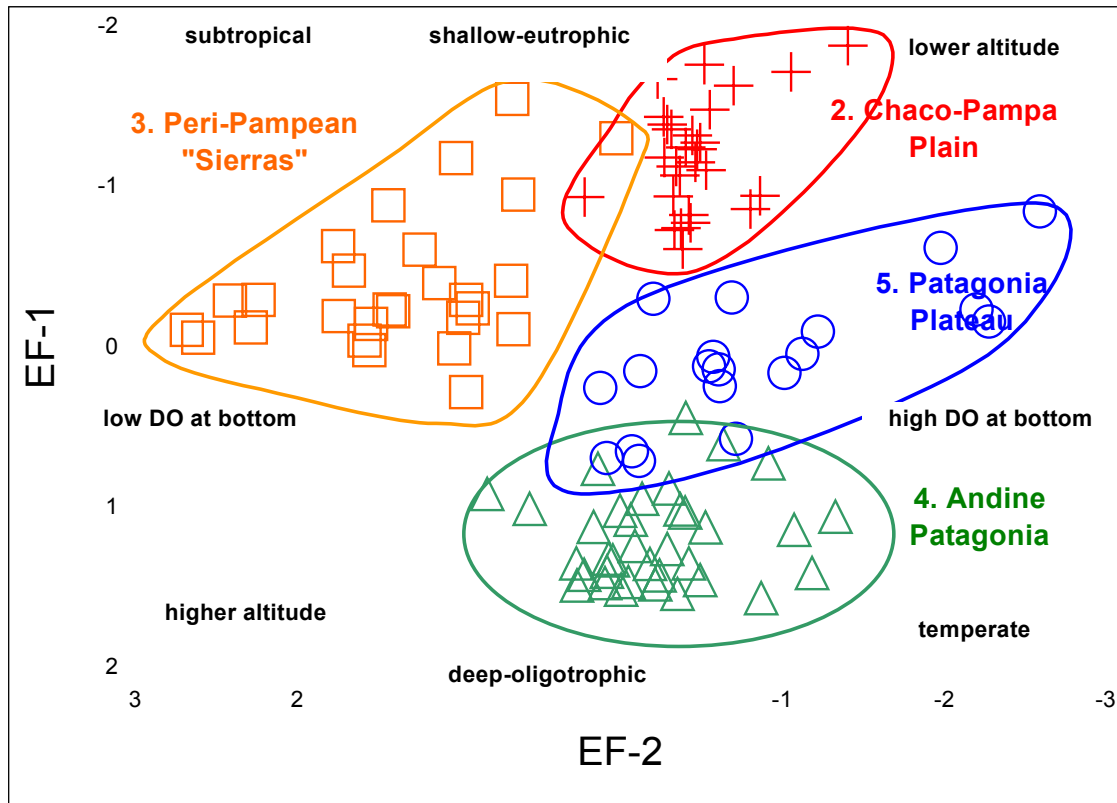


Figura 3. Ordenación ambiental de lagos y embalses de Argentina. Los distritos de lagos están destacados. (2), Planicie Chaco-Pampeana; (3), Sierras Peri-Pampeanas; (4), Patagonia Andina; (5) Planicie Patagónica.

El resultado del ordenamiento muestra un arreglo de lagos en un espacio de dimensiones menores al original, tal que los lagos similares son agrupados y los lagos poco semejantes son separados (Figura 3). Los embalses del noroeste, cálido - templados y subtropicales, y los lagos poco profundos de la Pampa se separan claramente de los lagos templado - fríos más australes. Sin embargo, alguna superposición entre los lagos andinos y los de la meseta patagónica es evidente, así como también entre los lagos de la Pampa y los embalses situados en la región de las sierras Peri-Pampeanas (Figura 3).

El ordenamiento de los lagos usando como información las biomásas de las comunidades biológicas y la transparencia de los lagos tiene una buena relación con la ordenación ambiental (Figura 4). El primer eje biológico (BF-1) pondera los lagos de acuerdo a las biomásas de las comunidades biológicas y la transparencia del agua. Como era de esperar, los lagos más transparentes tienen también las menores biomásas de fitoplancton, zooplancton y peces. Como señalamos anteriormente, las biomásas de las comunidades

biológicas están altamente relacionadas con las características ambientales de los lagos. El primer eje ambiental (EF-1) explica un alto porcentaje de la variación en el primer factor biológico (BF-1) (Figura 4). Una alta superposición entre lagos es evidente cuando se comparan los lagos poco profundos de la Pampa con algunos lagos y los embalses pequeños y someros situados en la región de las sierras Peri-Pampeanas, y cuando se comparan los embalses más extensos de la última región con los lagos y embalses ubicados en la meseta patagónica. Sin embargo, debido a diferencias en la duración de la estación de crecimiento, es de esperar que las diferencias sean mayores para la productividad natural cuando se comparen lagos someros australes de la meseta patagónica con los lagos de la Pampa o los lagos del norte argentino.

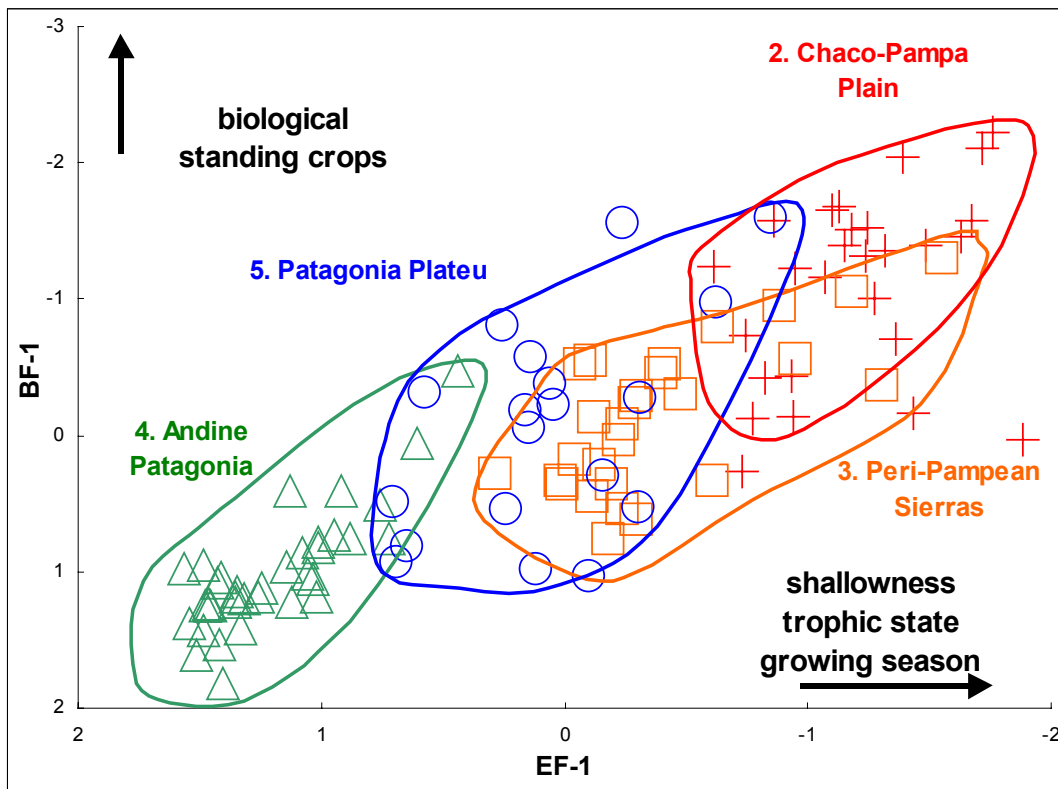


Figura 4. Relación entre la ordenación ambiental y la ordenación biológica para lagos y embalses de Argentina. Los distritos de lagos están destacados. (2), Planicie Chaco-Pampeana; (3), Sierras Peri-Pampeanas; (4), Patagonia Andina; (5) Planicie Patagónica.

Aquellos lagos que, perteneciendo a un distrito, se ordenan hacia los límites de un distrito de mayor grado de trofia, generalmente son aquellos que sufren un cierto grado de eutrofización de sus aguas. Ese efecto también es notorio para los lagos hipereutróficos de la planicie pampeana, coincidiendo con aquellos lagos que reciben las mayores cargas de nutrientes con respecto a sus tiempos de renovación hidráulicos.

Fortalezas y debilidades

Los diversos problemas de calidad de agua que enfrentan los lagos argentinos incluyen los tipos importantes de contaminación que no son regulados o controlados. La mayoría de los problemas de eutrofización de los lagos están relacionados con las descargas de fuentes puntuales no tratadas provenientes de las áreas urbanas, y con los contaminantes difusos de las descargas no reguladas que provienen de fuentes difusas resultantes de las diversas actividades que tienen lugar en una cuenca de drenaje tales como agricultura, deforestación, explotación forestal, producción animal, minería, escurrimiento urbano, tratamiento de efluentes cloacales y sistemas de tratamiento de efluentes domiciliarios. Durante las últimas décadas, el crecimiento de la población, la expansión urbana e industrial, y el aumento en el interés por el uso recreativo, han conducido a una mayor demanda del público para controlar la eutrofización y contaminación de los lagos. Sin embargo, un alto porcentaje de la población urbana de Argentina aún descarga efluentes no tratados hacia las aguas interiores superficiales, probablemente a causa de la abundancia relativa de aguas de lago y de río disponibles para la dilución de efluentes.

Para Argentina como un todo, la densidad de población humana es tan baja como lo es la población humana por unidad de superficie de lago (Quirós, 1997). Además, para algunas regiones de Argentina (por ej. la Patagonia) la densidad es más alta para el ganado que para los humanos (Di Pace et al., 1992). Por lo tanto, es de esperar que el estado ambiental de los lagos argentinos sea generalmente bueno. Sin embargo, frecuentemente se informa sobre problemas de eutrofización de ciertos lagos en Argentina.

En Argentina, la gestión de lagos no es, actualmente, una profesión ampliamente reconocida. A la fecha, solamente se han implementado unos pocos programas dirigidos a controlar la eutrofización o eliminar la contaminación de los lagos. Entre ellos, muchos programas han fracasado en eliminar o controlar la eutrofización de los lagos debido a:

- carencia de una legislación adecuada para el recurso agua,
- autoridad y responsabilidad fragmentadas,
- superposición de responsabilidades y existencia de disputas jurisdiccionales,
- poco o ningún respaldo proporcionado a los gobiernos locales,
- falta de inversión y relativamente altos niveles de corrupción,
- insuficiencia de pericia técnica e inadecuadas habilidades para la resolución de problemas,
- inadecuada o nula participación pública en los procesos de planificación de la calidad de agua de los lagos.

Por otra parte, el enfoque de los programas de control de la eutrofización generalmente ha fracasado en reconocer los procesos relacionados y las importantes conexiones de los sistemas ecológicos dentro de las cuencas de drenaje. Existen ejemplos de implementación de programas de corto plazo para solucionar los problemas de la calidad de agua de un lago, sólo en base a las jurisdicciones políticas de provincias y municipios, en

lugar de hacerlo con base en los plazos de tiempo ecológicos y abarcando los límites de la cuenca de drenaje. En Argentina, es común que muchos de los programas de calidad de agua de lagos y embalses comiencen, y finalicen, en estudios de un año de duración "dentro del lago" y sólo para estudiar el estado y la variabilidad de algunas de las características del lago. El Lago San Roque (embalse) situado en la Provincia de Córdoba constituye un ejemplo paradigmático de manejo de la eutrofización en Argentina. Durante la década de los 60's, los estudios realizados indicaron un estado avanzado de eutrofización del embalse. Obviamente, los cuerpos técnicos gubernamentales recomendaron medidas tendientes a la reducción de la carga de nutrientes (Gavilán, 1981). Esas medidas no fueron implementadas o sólo lo fueron parcialmente. Los estudios realizados entre los años 60's y los 90's sólo indicaron una cosa: que el estado del embalse empeoraba. Actualmente se están estudiando las cianofitas del embalse en lo que a sus cepas tóxicas se refiere.

En Argentina, hasta el presente, rara vez se ha utilizado la ordenación de las aguas a nivel de la cuenca de drenaje como un todo. Cuando ello fue recomendado, nunca se lo implementó. La utilización de mejores prácticas de gestión para la agricultura ha sido considerada comúnmente como no necesaria, debido a la baja intensidad de la explotación agropecuaria para la mayoría de la tierra agrícola de Argentina (Di Pace et al., 1992). Además, un uso agrícola sustentable de la tierra en las zonas marginales, áridas y semiáridas, no ha sido generalmente ejecutado o ni siquiera considerado. Sin embargo, la intensificación y diversificación agrícola actuales producirán grandes cambios en el uso del agua y modificaciones de gran magnitud en el estado ambiental de los lagos. Para los próximos años puede esperarse también un aumento en el número de conflictos de interés entre quienes utilizan el agua de manera extractiva y aquellos usuarios directos de los lagos. Por lo tanto, ambos tipos de enfoques, el tradicional tratamiento de efluentes y el más abarcativo de manejo integrado de la cuenca de drenaje, deberían implementarse sin demora para el gerenciamiento de los lagos argentinos.

La Argentina todavía posee una gran proporción de sus lagos en condiciones naturales. Sin embargo, el panorama que se espera en el desarrollo de sus recursos naturales indica que las metas argentinas para la ordenación de las aguas de lago deberían incluir la conservación de alguna proporción del ambiente natural de lago previo a la colonización europea y, para las regiones más desarrolladas, la evolución de un ambiente de lago administrado de manera estable y sostenible.

Bibliografía

- Carpenter S. R., N. F. Caraco, D. L. Correll, R. W. Howarth, A. N. Sharpley & V. H. Smith (1998) Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications* 8, 559-568.
- Chambouleyron, J., J. Morabito, S. Salatino, C. Mirabile, R. Dias, M. Simmerman, S. Campos, R. Solanes, and N. Neciff (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 Consultation. Santiago, Chile, 20-23 October 1992. Water Reports No 1. FAO, Rome. 357 p.
- Di Pace M. (ed.) (1992) *Las utopías del medio ambiente: Desarrollo sustentable en la Argentina*. Centro Editor de America Latina, Buenos Aires, Argentina. 207 p.
- Drago, E. & Quiros R. (1996) The hydrochemistry of the inland waters of Argentina; a review. *Int. J. Salt Lake Res.* 4, 315-325.
- Gavilan J. G. (1981) Study of water quality in the San Roque Reservoir. *Wat. Qual. Bull.* 6, 136-142.
- Pedrozzo, F. (1997) Efforts and issues in the conservation and management of Lake Nahuel Huapi. Study Report for the Lake Environment Conservation in Developing Countries -Argentina-. International Lake Environmental Committee Foundation, ILEC, Japan: 169-196.
- Pedrozzo, F., y C. Bonetto (1991) Nitrogen and Phosphorus in Chaco Plain waterbodies. *Medio Ambiente* 11: 96-106.
- Pedrozzo, F., S. Chillrud, P. Temporetti, and M. Diaz (1993) Chemical composition and nutrient limitation in rivers and lakes of Northern Patagonian Andes (39.5o-42o S; 71o W) (Rep. Argentina). *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 25: 207-214.
- Pizzolon, L., B. Tracanna, C. Prosperi, and J. Guerrero (1999) Cyanobacterial blooms in Argentinian freshwaters. *Lakes and Reservoirs: Research and Management*
- Quiros R. (1988) Relationships between air temperature, depth, nutrients and chlorophyll in 103 Argentinian lakes. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 23, 647-658.
- Quiros R. (1990) Factors related to variance of residuals in chlorophyll total phosphorus regressions in lakes and reservoirs of Argentina. In *Bio-manipulation -Tool for Water Management* (eds. R.D. Gulati, E.H.R.R.Lammers, M.L. Meijer & E. van Donk) *Hydrobiologia* 200-201, 343-355
- Quiros R. (1991) Empirical relationships between nutrients, phytoplankton and zooplankton, and relative fish biomass in lakes and reservoirs of Argentina. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 24, 1198-1206.
- Quiros R. (1993) Inland fisheries under constraints by other uses of land and water resources in Argentina. In *Prevention of Water Pollution by Agriculture and Related Activities* pp. 29-44. Proceedings of the FAO Expert Consultation. Santiago, Chile, 20-23 October 1992. Water Reports No 1. FAO, Rome. 357 pp.

- Quiros R (1995) The effects of fish assemblage composition on lake water quality. *Lake and Reservoir Management* 11, 291-298.
- Quiros R. (1997) Classification and state of the environment of the Argentinean lakes (p: 29-50). ILEC Workshop on Better Management of the Lakes of Argentina, San Martin de los Andes, Argentina, 24-25 October, 1997. In Study Report for the Lake Environment Conservation in Developing Countries: Argentina. 229 p.
- Quiros, R. (1998) Fish effects on pelagic-trophic relationships in the pelagic zone of lakes. *Hydrobiologia* 361: 101-111.
- Quiros, R., and E. Drago (1999) The environmental state of Argentinean lakes: An overview. *Lakes and Reservoirs: Research and Management* 4: 55-64.
- Temporetti, P., W. Lopez, P. Gonzalez Lucas, and F. Pedrozzo (1998) Limnological effects of intensive aquaculture in reservoirs and reduction in nutrient inputs. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* (in press)