

© Rolando Quirós 2004  
© FAUBA 2004

# **Cianobacterias en lagos y embalses de Argentina: década del 80**

**Rolando Quirós**

**Documento N° 2, Septiembre 2004**

**Serie de Documentos de Trabajo del Área de Sistemas de Producción Acuática  
Departamento de Producción Animal, Facultad de Agronomía  
Universidad de Buenos Aires**

## Cianobacterias en lagos y embalses de Argentina: década del 80

**Rolando Quirós.** Área de Sistemas de Producción Acuática, Departamento de Producción Animal, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. [quiros@agro.uba.ar](mailto:quiros@agro.uba.ar)

### Resumen

En este trabajo presentamos un panorama sobre la distribución de cianobacterias en la zona pelágica de lagos y embalses de Argentina. La información utilizada corresponde al pico de la estación de crecimiento, para el período 1984–1987. Consideramos que la información suministrada es de utilidad para el manejo del territorio bajo diferentes horizontes y alternativas de intensificación del uso de la tierra. Este estudio provee la primera información extensiva que incluye 98 lagos y embalses, abarcando prácticamente todo el territorio de Argentina. La abundancia de cianobacterias fue significativamente mayor en los lagos y embalses poco profundos. Como era de esperar, la abundancia de cianobacterias estuvo directamente relacionada con las concentraciones de fósforo y nitrógeno y la biomasa del fitoplancton. Se presentan una serie de ecuaciones de regresión que, a partir de información relativamente fácil de obtener permite predecir la abundancia media de cianobacterias en lagos y embalses.

**palabras clave:** *cianobacterias, lagos, embalses, eutrofización, Argentina*

### Introducción

El enriquecimiento excesivo en nutrientes de las aguas de superficie, principalmente en fósforo (P) y nitrógeno (N), necesariamente conduce al cambio de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas acuáticos y al deterioro de la calidad del agua. Entre los cambios estructurales producidos por la eutrofización es de destacar el dominio de la principal comunidad de productores pelágicos de lagos y embalses, el fitoplancton, por parte de las cianobacterias.

En Argentina, especialmente durante la última década, las cianobacterias comenzaron a verse como un problema para la calidad del agua y para la salud humana y animal (Pizzolón et al., 1999). Actualmente las cianobacterias tóxicas han comenzado a representar un grave perjuicio en ciernes para el uso humano del agua en la baja cuenca de los ríos Paraná y Uruguay y para el Río de la Plata. Si bien se dispone de importantes resultados de estudios realizados en algunos ambientes acuáticos de Argentina, aún hoy no se tiene un amplio y claro panorama de la presencia y abundancia de las cianobacterias en sus lagos y embalses. Es nuestro objetivo aquí realizar una contribución a la construcción de ese panorama. Información que, por otra parte, está comenzando a ser recopilada por organismos internacionales dependientes de Naciones Unidas.

Durante los veranos de 1984 a 1987, en los meses de enero y febrero, pico de la estación de crecimiento, el Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP) realizó un muestreo extensivo que abarcó más de 110 lagos y embalses de

Argentina. La mayor parte de la información obtenida fue hecha pública como base de datos ARLARE (Quirós et al., 1988; Quirós, 1997) pero la información sobre el fitoplancton nunca fue hecha pública (Egüés y Quirós, información no publicada).

La información sobre la comunidad fitoplanctónica que se presenta aquí, así como en la planilla Excel asociada, tiene grandes deficiencias desde el punto de vista metodológico pero adquiere importancia en el contexto del manejo comparativo de las aguas superficiales de Argentina. En otras palabras, la información suministrada no debería usarse, en ningún caso, para sacar conclusiones sobre un ambiente en particular sino solamente para comparar ambientes con distinta morfometría, ubicados en diferentes regiones climáticas y geomorfológicas, y con usos de la tierras contrastantes en sus cuencas de drenaje (*sensu* Quirós et al., 2002b).

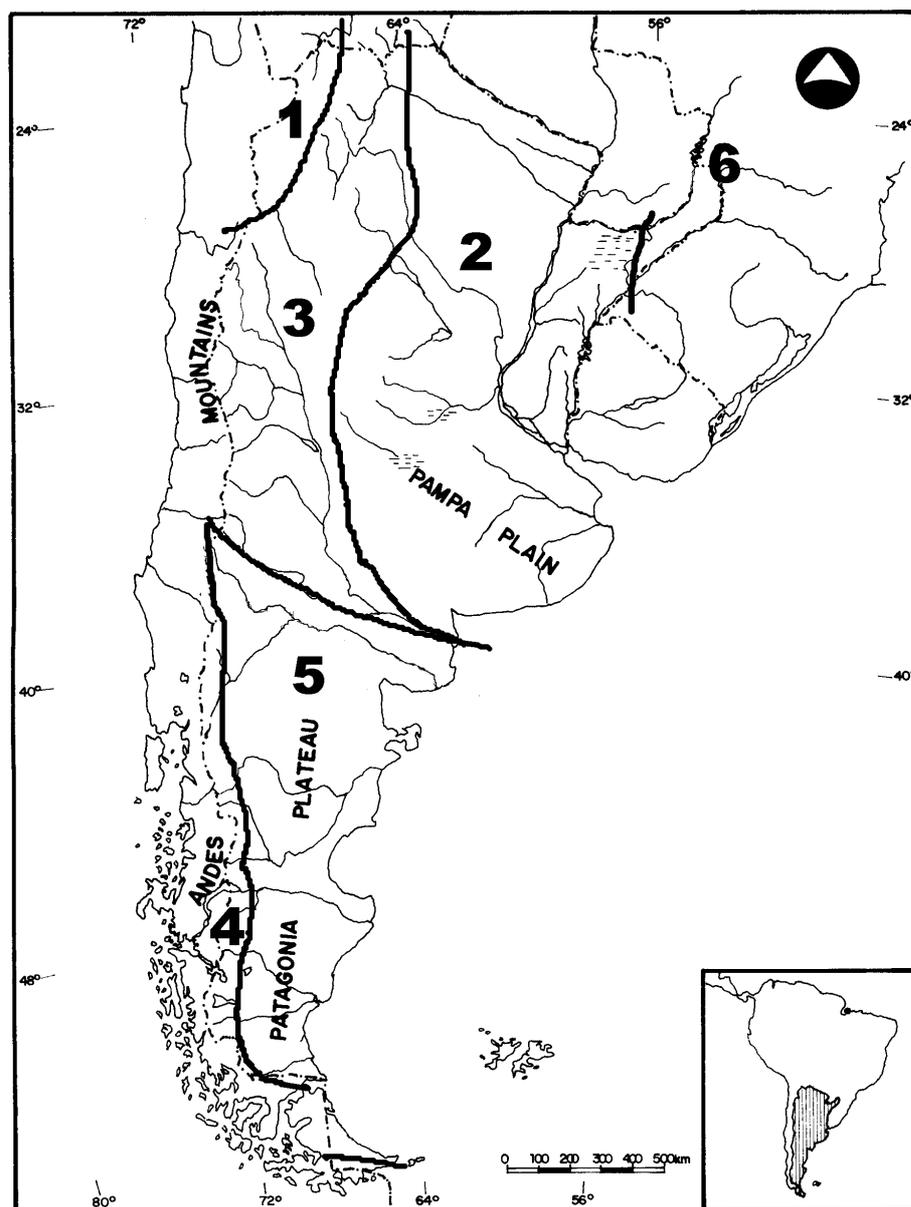
## **Materiales y Métodos**

Como indicáramos arriba, la información presentada tiene grandes deficiencias desde el punto de vista metodológico. Los muestreos del fitoplancton fueron realizados con "red de fitoplancton" en el epilimnio de los lagos y embalses (Quirós et al., 1988) y las muestras fueron conservadas en solución de lugol hasta su conteo. Es decir, cuando aquí se mencione a la numerosidad del fitoplancton ello debe entenderse como el "fitoplancton de red". Las muestras fueron analizadas bajo microscopio óptico y contadas con cámara. La identificación taxonómica del fitoplancton contó con la dirección y supervisión del Dr. Guillermo Tell (FCEN, UBA). Sin embargo, aquí se presentarán sólo los resultados correspondientes a grandes clases, expresada como individuos por mililitro (ind/ml) utilizando factores de conversión a número de individuos por unidad. Esto último representa otro grave problema metodológico al momento de valorar la calidad de la información suministrada. Como es ampliamente reconocido en la literatura (ver por ejemplo Wetzel, 2001), la expresión de la abundancia fitoplanctónica en individuos por unidad de volumen está muy lejos de ser adecuada. Sin embargo, la biomasa algal se expresa aquí como miligramos de clorofila *a* por metro cúbico. El resto de la información utilizada cumple con las normas internacionalmente aceptadas (Quirós, 1988; Quirós et al., 1988).

Las clases consideradas en este trabajo (Egüés y Quirós, información no publicada) fueron aquellas que dominaron los ambientes estudiados, a saber: Cianobacteria, Chlorophyceae, Xanthophyceae, Bacillariophyceae, Chrysophyceae, Euglenophyceae y Dinophyceae (ver Anexo I).

En nuestros estudios sobre ecosistemas acuáticos de Argentina (Drago y Quirós, 1996; Quirós y Drago, 1999) dividimos el país 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). Solamente lagos y embalses situados en los distritos de lagos de la Planicie Chaco-Pampeana, las Sierras Peri-Pampeanas, la Patagonia Andina y la Planicie Patagónica serán considerados aquí.

En este trabajo se consideran ambientes profundos a aquellos con una profundidad media superior a 6 metros mientras que aquellos con una profundidad media menor o igual a 6 metros se consideran ambientes someros. Por otra parte, se consideran como lagunas a aquellos lagos someros con una profundidad media menor o igual a 2.5 metros.



**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.

Un análisis estadístico exploratorio fue realizado utilizando técnicas de correlación, y de regresión simple y múltiple. Cuando se aplicó regresión múltiple, solamente aquellas variables relativamente poco relacionadas entre sí ( $R^2 < 0.30$ ) fueron consideradas como variables independientes. En los análisis estadísticos realizados, todas las variables, con excepción de las relación TN:TP y las variables de posicionamiento geográfico, fueron transformadas logarítmicamente.

## **Resultados**

### **Distribución geográfica de las cianobacterias**

Debido a la gran variedad climática y peculiar distribución orográfica norte-sur, los sistemas de lago de Argentina incluyen una amplia diversidad de ambientes acuáticos. Una clasificación detallada de sus lagos y embalses se obtuvo para un grupo de 108 ambientes acuáticos distribuidos entre las latitudes 25 y 55° S a lo largo y a lo ancho de las regiones áridas del centro-oeste y el noroeste, la llanura chaco-pampeana, la meseta patagónica, los Andes patagónicos y la Tierra del Fuego (Quirós, 1998a). Los lagos más profundos se sitúan en los Andes patagónicos y Tierra del Fuego, y sus estados tróficos generalmente varían desde ultraoligotrófico a oligotrófico. Todos los lagos situados en la llanura chaco-pampeana son lagos generalmente someros y su estado trófico oscila entre eutrófico e hipertrófico o son lagos salinos (Drago y Quirós, 1996; Quirós et al., 2002a). La mayoría de los embalses del centro-oeste y noroeste, y los estados tróficos de los lagos y embalses de la meseta patagónica oscilan entre mesotrófico y eutrófico. Mas de la mitad de los embalses del noroeste tienen concentraciones de oxígeno disuelto muy bajas en el hipolimnio durante el verano.

Sobre un total de 98 ambientes distribuidos a lo largo y a lo ancho de todo el territorio de Argentina (Tabla 1), un 23.5 % presentó a las cianobacterias como grupo dominante (> 50%) del fitoplancton, y un 36.7 % superó el 20% de cianobacterias. Los que presentaron mayor numerosidad, tanto absoluta como relativa, son aquellos ambientes situados en la región chaco-pampeana, seguidos de aquellos ubicados en las regiones oeste y noroeste (Tabla 2, Figuras 2a y 2b). Por otra parte, los ambientes situados en la planicie patagónica y la Patagonia andina presentaron las menores numerosidades absolutas y relativas (Tabla 2, Figuras 2a y 2b). Sin embargo, debe observarse que, especialmente para los más pequeños de los situados en la Patagonia andina, algunos cuerpos de agua se desvían drásticamente del patrón general para su región. Esos cuerpos de agua se encuentran generalmente bajo acción antrópica intensa, en especial debido a actividades agropecuarias y/o urbanas en sus respectivas cuencas de drenaje.

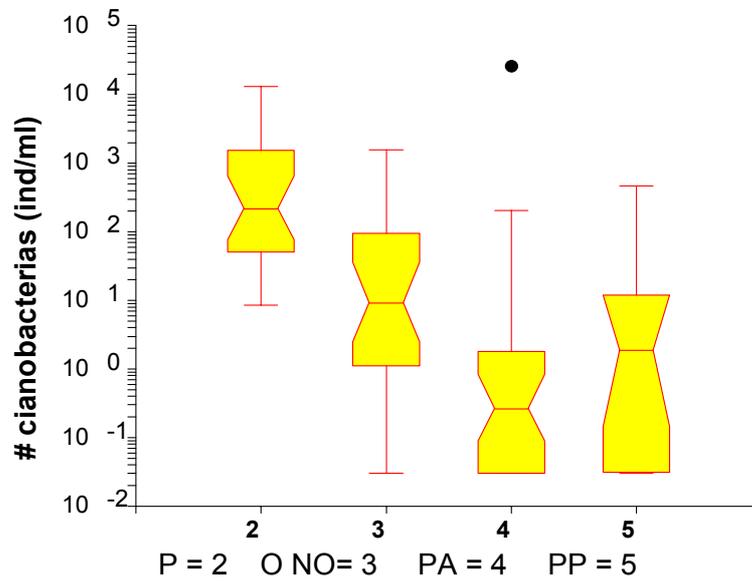
De los 7 ambientes con  $TP > 10 \text{ mg/m}^3$  en los cuales no se detectaron cianobacterias, todos presentaron una relación TN:TP superior a 35. Los mismos se distribuyeron en todos los distritos de lago, excepto el pampeano; 4 de ellos fueron dominados por Bacillariophyceae y 3 por Chlorophyceae.

**Tabla 1.** Principales características limnológicas medias de los lagos y embalses estudiados. #, número de ambientes en cada distrito.

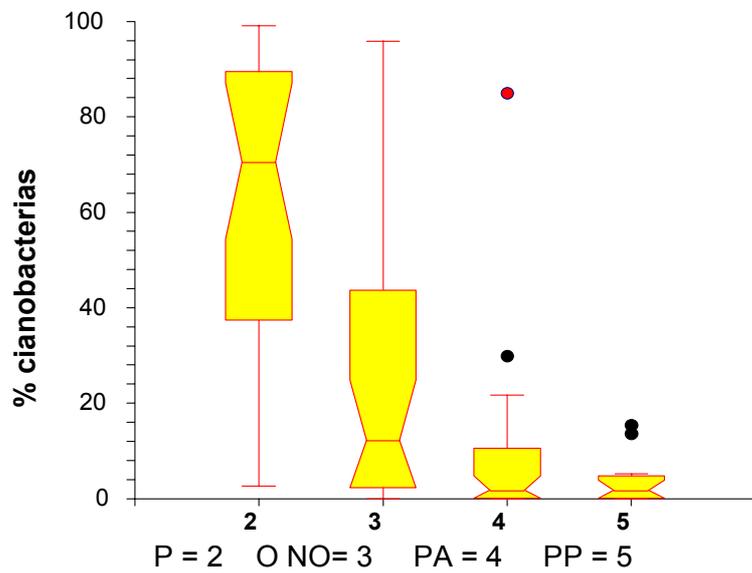
	#	GEOREGION	Area (km2)	Zmean (m)	SDL (m)	TP (mg/m3)	TN (mg/m3)	TN:TP	Chl <i>a</i> (mg/m3)
Chaco-pampa	25	2	98.0	2.2	0.87	290	8583	56	63.8
		max	1984.0	7.3	4.60	1288	28750	145	405.3
		min	1.4	0.7	0.15	23	2660	6	1.6
Oeste y noroeste	27	3	30.6	15.0	1.84	68	2008	60	20.3
		max	330.0	36.2	5.80	477	11200	147	218.1
		min	0.1	3.0	0.28	5	653	6	0.9
Patagonia andina	33	4	103.7	64.8	10.11	7	697	146	2.3
		max	1466.0	166.0	19.00	33	2242	335	54.1
		min	0.6	3.8	0.90	1	186	31	0.2
Planicie Patagónica	13	5	252.3	23.0	2.78	111	2515	48	9.0
		max	816.0	79.4	8.50	608	7900	75	41.8
		min	0.6	1.1	0.07	4	223	4	0.4

**Tabla 2.** Principales características medias del fitoplancton de los lagos y embalses estudiados. #, número de ambientes en cada distrito.

	#	GEOREGION	NUMFITO ind/ml	NUMCYANO ind/ml	CHLORO %	BACI %	CYANO %	CHRYSO %	EUGL %	XANTHO %
Chaco-pampa	25	2	2205.8	1604.3	13.6	18.8	62.5	0.1	2.6	2.4
		max	13454.0	12983.1	51.5	68.7	99.1	2.6	18.5	43.6
		min	28.7	8.5	0.2	0.6	2.6	0.0	0.0	0.0
Oeste y noroeste	27	3	527.9	166.3	19.7	39.8	26.8	2.4	0.1	0.1
		max	3908.0	1547.9	69.7	98.7	95.9	19.9	2.3	1.2
		min	0.9	0.03	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0
Patagonia andina	33	4	1031.5	787.1	17.5	54.7	8.1	14.4	2.2	2.3
		max	30251.0	25710.3	99.6	99.4	85.0	61.1	26.4	24.2
		min	0.8	0.03	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
Planicie Patagónica	13	5	921.3	40.7	33.5	51.2	3.6	0.3	2.8	8.6
		max	8833.0	459.3	80.0	95.8	15.4	3.7	20.8	63.2
		min	0.5	0.03	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0



(a)

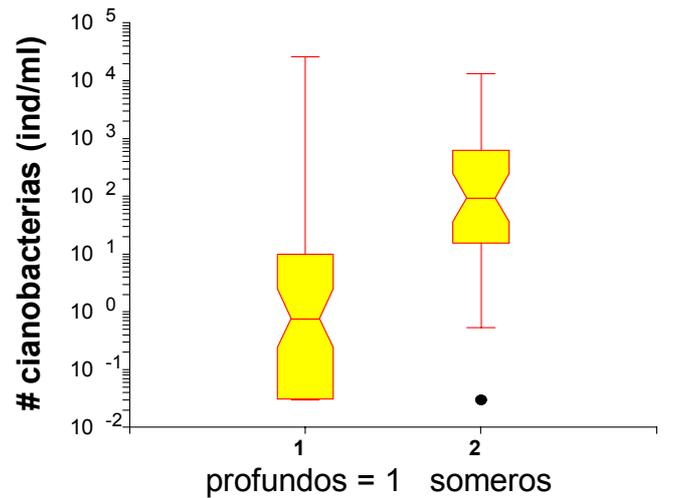


(b)

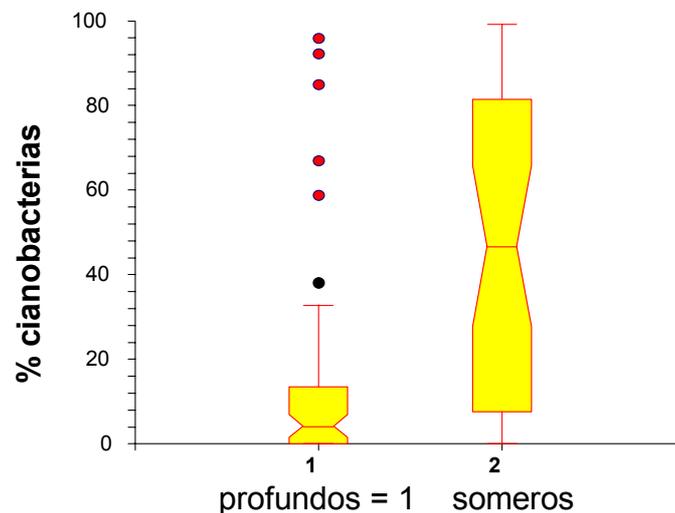
**Figura 2.** Numerosidad (a) y abundancia relativa (b) de cianobacterias en los diferentes distritos de lagos. P, chaco-pampeano; O NO, oeste y noroeste; PA, patagónico andino; PP, planicie patagónica.

### Distribución de las cianobacterias según la morfología del ambiente

Los ambientes someros ( $Z_{media} < 6.0$  m), con muy pocas excepciones, presentaron la mayor numerosidad y abundancia relativa de cianobacterias (Figuras 3a y 3b). Un 59.5% de los 37 ambientes considerados aquí como someros presentaron una abundancia relativa de cianobacterias superior al 40%. Por otra parte, sólo un 9.8% de los 61 lagos y embalses profundos presentaron abundancias relativas superiores al 30%.



(a)

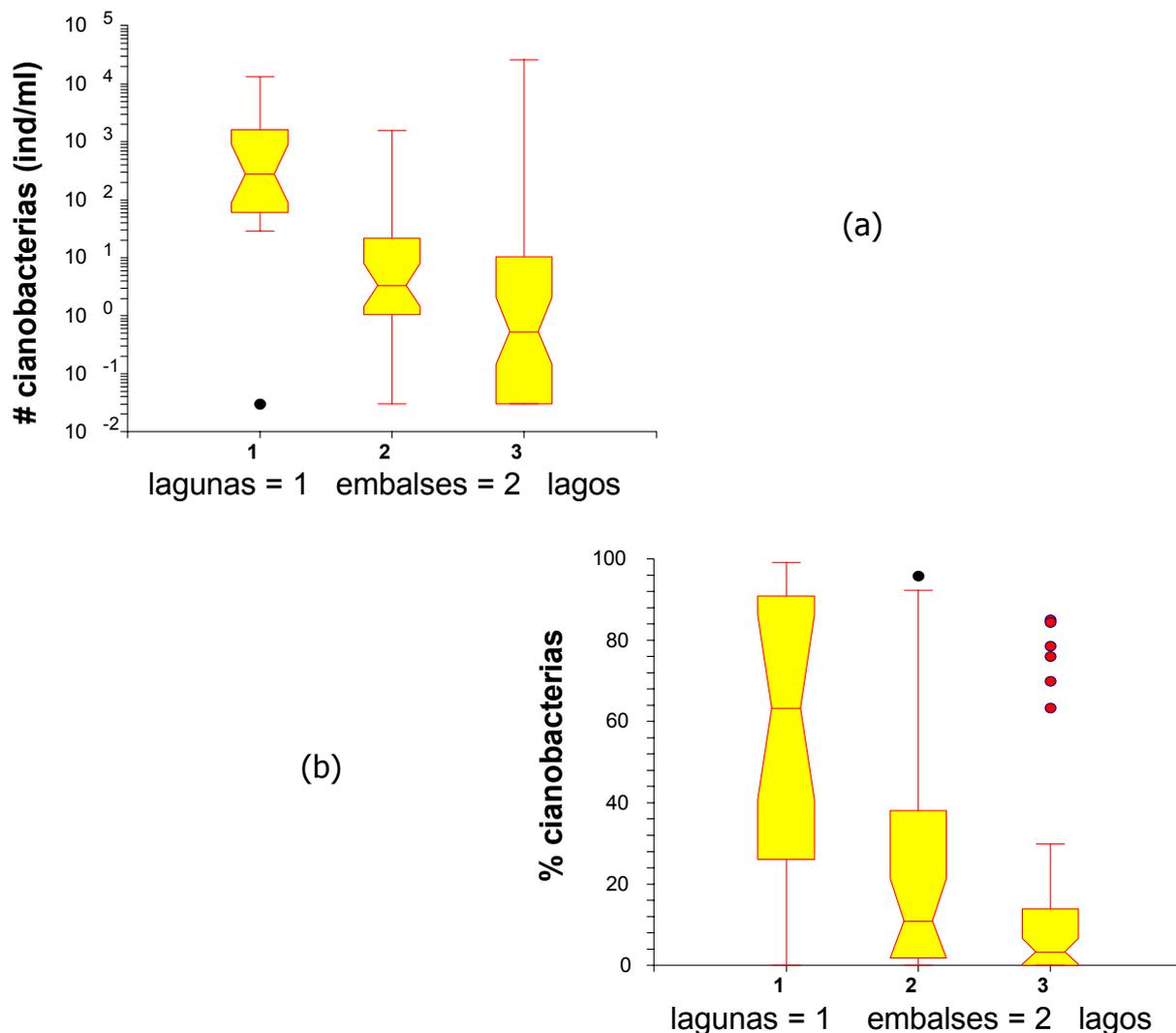


(b)

**Figura 3.** Numerosidad (a) y abundancia relativa (b) de cianobacterias en ambientes profundos y someros.

## Distribución de las cianobacterias por tipo de ambiente

En este caso se considera como laguna a aquellos ambientes cuya profundidad media sea menor o igual a 2.5 m. El resto de los ambientes se clasifica según sea un embalse o un lago. Los resultados obtenidos muestran claramente que las lagunas presentan los mayores valores de numerosidad de cianobacterias y de frecuencia relativa (Figuras 3a y 3b). Los embalses y lagos las siguen, en orden decreciente, con respecto a la numerosidad de cianobacterias (Figura 3a). Las diferencias entre embalses y lagos se hacen bastante menores con respecto a la frecuencia relativa de cianobacterias (Figura 3b). Con respecto a estos últimos, un número relativamente alto de ellos se desvía positivamente con respecto a la tendencia central de los lagos. Los lagos que se desvían positivamente son lagos someros situados principalmente en la región chaco-pampeana. Un 66.7% de las 21 lagunas presentaron frecuencias relativas de cianobacterias superiores al 40%. Por otra parte, un 29.0% de los 31 embalses y un 15.2% de los 46 lagos presentaron frecuencias relativas de cianobacterias superiores al 30%.



**Figura 4.** Numerosidad (a) y abundancia relativa (b) de cianobacterias en lagunas, embalses y lagos.

## Dependencia de la numerosidad y la abundancia relativa

La numerosidad de las cianobacterias (#CYANO) estuvo principalmente relacionada con la biomasa algal, las concentraciones de nutrientes totales, la alcalinidad total del agua y la abundancia de peces planctívoros visuales, de manera directa. Mientras tanto, su relación fue inversa y significativa con la transparencia del agua y la profundidad de los ambientes (Tabla 3). Un patrón similar de dependencias, pero menos significativo, muestra la abundancia relativa de cianobacterias (%CYANO) (Tabla 3).

**Tabla 3.** Matriz de correlación entre variables del fitoplancton y diversas variables limnológicas y pesqueras (n = 98, r = 0.25, P = 0.01)

	Chl <i>a</i>	# FITO	# CYANO	% CYANO
Area	-0.25	-0.25	-0.18	-0.11
Z <sub>media</sub>	-0.78	-0.63	-0.69	-0.56
altitud	-0.30	-0.16	-0.37	-0.37
latitud	-0.48	-0.22	-0.26	-0.26
transparencia (SDL)	-0.87	-0.59	-0.62	-0.54
alcalinidad total (TA)	0.73	0.45	0.58	0.55
TP	0.82	0.55	0.64	0.54
TN	0.85	0.59	0.71	0.62
Chl <i>a</i>	1	0.73	0.74	0.58
TN:TP	-0.61	-0.44	-0.42	-0.30
abundancia de peces	0.50	0.43	0.51	0.50
peces planctívoros	0.66	0.46	0.56	0.57
DO <sub>b</sub>	-0.41	-0.19	-0.20	-0.16
TA:Z <sub>media</sub>	0.81	0.58	0.68	0.59
TP:Z <sub>media</sub>	0.84	0.61	0.70	0.58
TN:Z <sub>media</sub>	0.84	0.63	0.73	0.61

Para el total de ambientes acuáticos considerados, la biomasa algal, expresada como concentración de Chl *a* explica un 54 % de la variabilidad en la numerosidad de las cianobacterias (#CYANO), y ninguna otra variable, entre las consideradas (ver Tabla 3), contribuye significativamente a aumentarla. La concentración de nitrógeno total (TN) explica un 51% de la variabilidad que aumenta al 55% cuando se considera la abundancia de los peces planctívoros visuales (pejerreyes). Estas dos últimas variables, concentración de nitrógeno y abundancia de peces planctívoros, están relativamente poco relacionadas entre sí ( $R^2 = 0.30$ ). Por otra parte, la profundidad media explica un 48% de la variabilidad, que también aumenta al 55% cuando se considera la abundancia de los peces planctívoros visuales; como en el caso anterior,

estas dos últimas variables, profundidad media y abundancia de peces planctívoros, están relativamente poco relacionadas entre sí ( $R^2 = 0.22$ ). Por último, la concentración de fósforo total (TP) explica un 41% de la variabilidad en la numerosidad de cianobacterias, que aumenta al 48% cuando se considera la abundancia de los peces planctívoros visuales. Estas dos últimas variables, concentración de fósforo total y abundancia de peces planctívoros, tampoco están muy relacionadas entre sí ( $R^2 = 0.27$ ). Cuando se consideran el resto de las variables (ver Tabla 3), la variabilidad de la numerosidad de cianobacterias explicada disminuye apreciablemente y se comienzan a mostrar otras relaciones descriptas con anterioridad (Quirós, 1998b).

La variabilidad en la abundancia relativa de cianobacterias (% CYANO) es explicada en un 38% por la concentración de nitrógeno total (TN), ella aumenta al 46% cuando la abundancia de peces planctívoros es también considerada en la regresión múltiple. La biomasa algal (Chl *a*) explica un 38% de la varianza de la abundancia relativa de cianobacterias, y no otra variable considerada como valiosa contribuye a aumentar ese porcentaje. Por último, la abundancia de peces planctívoros explica un 32% de la variabilidad en la abundancia relativa de cianobacterias, que aumenta a un 43% cuando la profundidad media es considerada.

A manera de resumen parcial, podemos concluir que la numerosidad de cianobacterias y su abundancia relativa, cuando se las compara entre los diferentes lagos y embalses de Argentina, están directamente relacionadas con las concentraciones de nutrientes, la alcalinidad del agua y la abundancia de peces planctívoros, y tienden a ser mayores en los lagos poco profundos. Es de resaltar que, tanto para la numerosidad como para la abundancia relativa, el valor explicativo de la abundancia total de peces es bastante menor que el de la abundancia de peces planctívoros (Quirós, 1998b).

Algunas pocas y simples ecuaciones de regresión, que pueden ser utilizadas con fines estimativos y comparativos para estimar la numerosidad de cianobacterias en lagos y embalses de Argentina, se presentan a continuación:

$$\log_e \#CYANO = -3.622 (0.579) + 1.062 (0.103) \log_e (TN / Z_{media}) \quad [1]$$
$$R^2 = 0.526, P < 0.000001$$

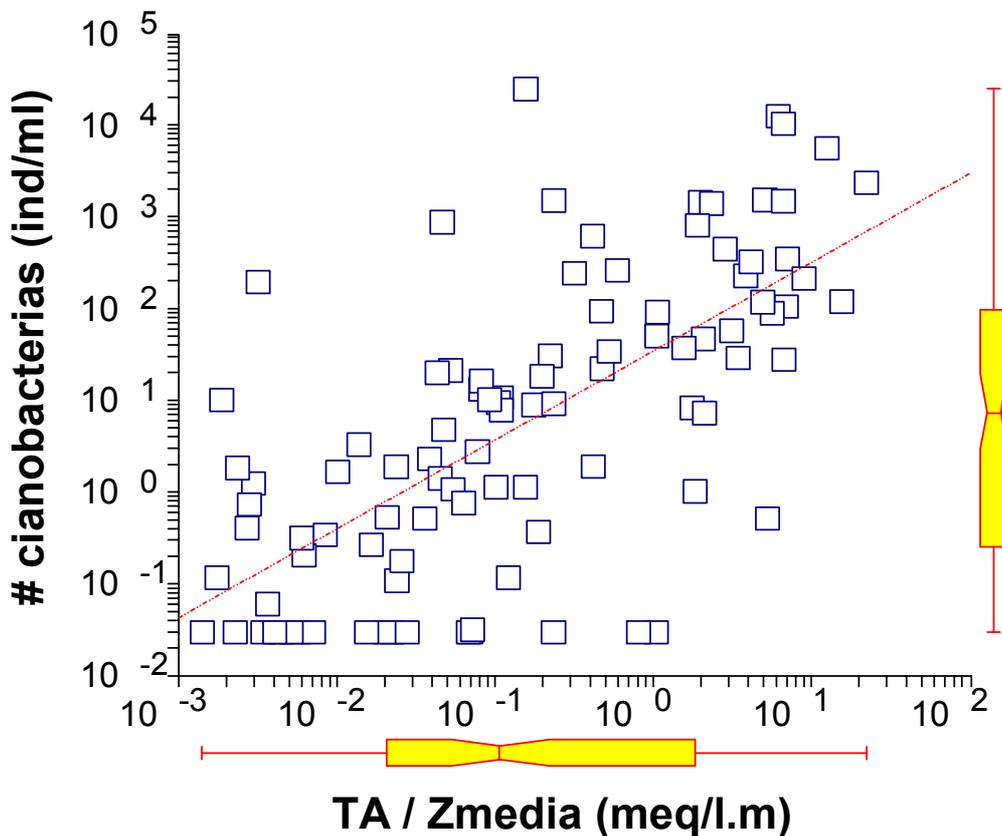
$$\log_e \#CYANO = 0.967 (0.286) + 0.848 (0.089) \log_e (TP / Z_{media}) \quad [2]$$
$$R^2 = 0.483, P < 0.000001$$

$$\log_e \#CYANO = 3.574 (0.349) + 0.972 (0.107) \log_e (TA / Z_{media}) \quad [3]$$
$$R^2 = 0.462, P < 0.000001$$

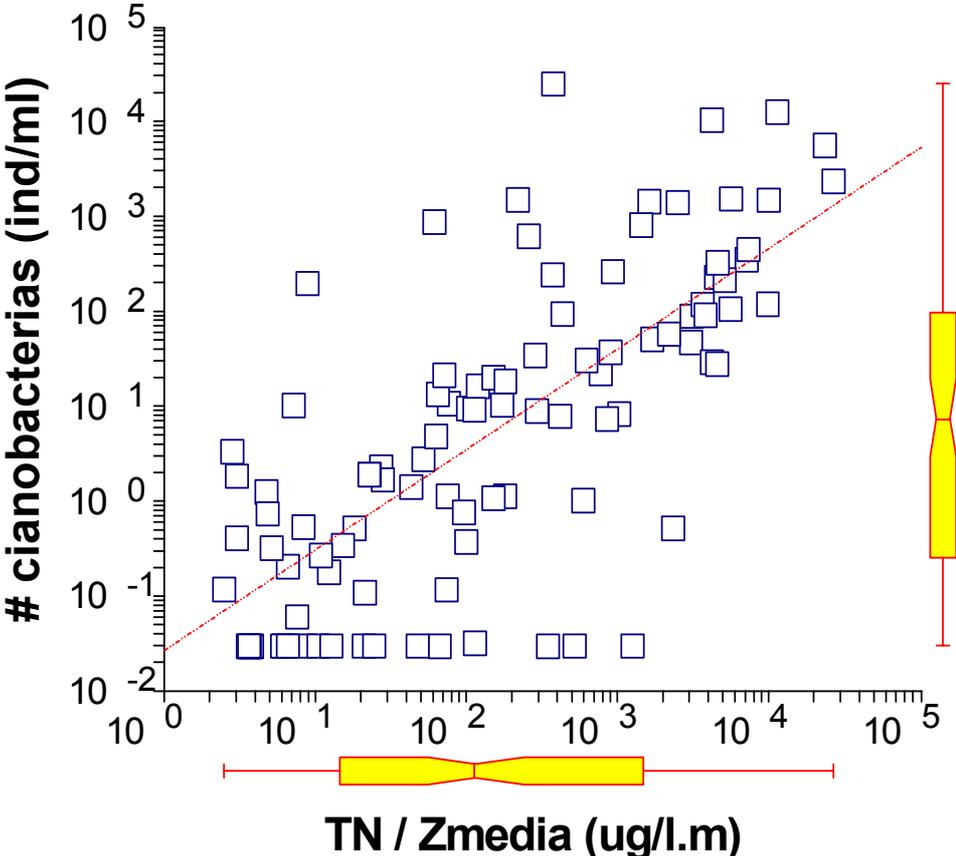
$$\log_e \#CYANO = -0.335 (0.322) + 1.395 (0.131) \log_e (Chl \ a) \quad [4]$$
$$R^2 = 0.543, P < 0.000001$$

En todas las ecuaciones, el error estándar de los parámetros de la regresión se presenta entre paréntesis. Para todas ellas, con excepción de la ecuación [4], la abundancia de pejerreyes incrementa en aproximadamente 2 % la variabilidad explicada en la numerosidad de cianobacterias. En otras palabras, a todo lo demás igual, los lagos y embalses con grandes abundancias de peces planctívoros incrementarían su probabilidad de presentar problemas relacionados con cianobacterias.

En la Figuras 5 y 6 se presentan las relaciones entre la numerosidad de cianobacterias en función de la relación entre la alcalinidad total del agua y la concentración de nitrógeno total, con respecto a la profundidad media, respectivamente.



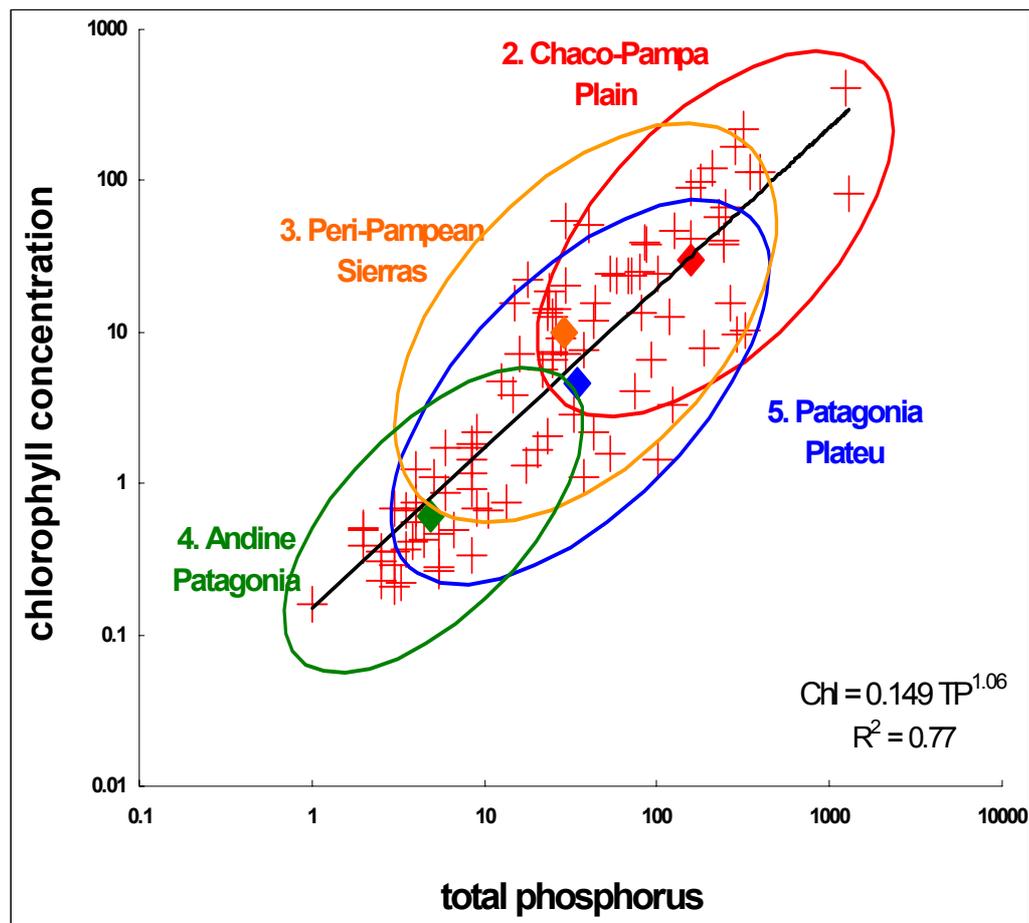
**Figura 5.** Numerosidad de cianobacterias en función de la relación entre la alcalinidad total del agua y la profundidad media.



**Figura 6.** Numerosidad de cianobacterias en función de la relación entre la concentración de nitrógeno total y la profundidad media.

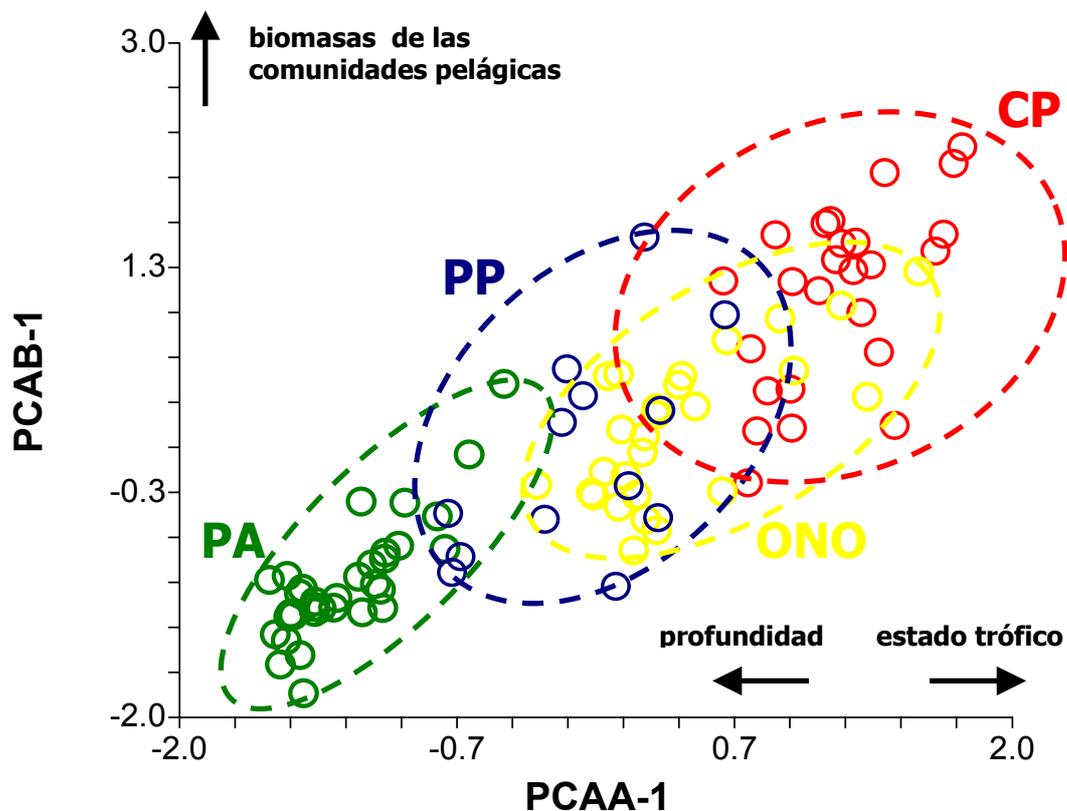
## Discusión y Conclusiones

El problema de la eutrofización de los lagos y embalses de Argentina ha sido estudiado con anterioridad (Quirós, 1988, 1998a, 2000; Quirós y Drago, 1999; Quirós et al., 2002a). Con referencia al estado trófico y la eutrofización de lagos y embalses de Argentina, los resultados logrados con respecto a la numerosidad y abundancia de cianobacterias son coincidentes con los obtenidos con anterioridad, a mayores concentraciones de nutrientes y menores profundidades los lagos y embalses presentan una mayor biomasa algal (Figura 7) (Quirós, 2000).



**Figure 7.** 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. (Quirós, 2000)

En Quirós (2000) se presentó la ordenación independiente de los lagos y embalses de Argentina utilizando por una parte las variables ambientales (PCAA) y las biomásas de las comunidades bióticas pelágicas por la otra (PCAB). A través de las ordenaciones ambiental y biológica, se concluyó que aquellos ambientes con mayores concentraciones de nutrientes (fósforo y nitrógeno) presentan las mayores biomásas de todas sus comunidades pelágicas: fitoplancton, zooplancton y peces y también de materia orgánica total disuelta y, por lo tanto, es de suponer también una mayor biomasa bacteriana (Figura 8).



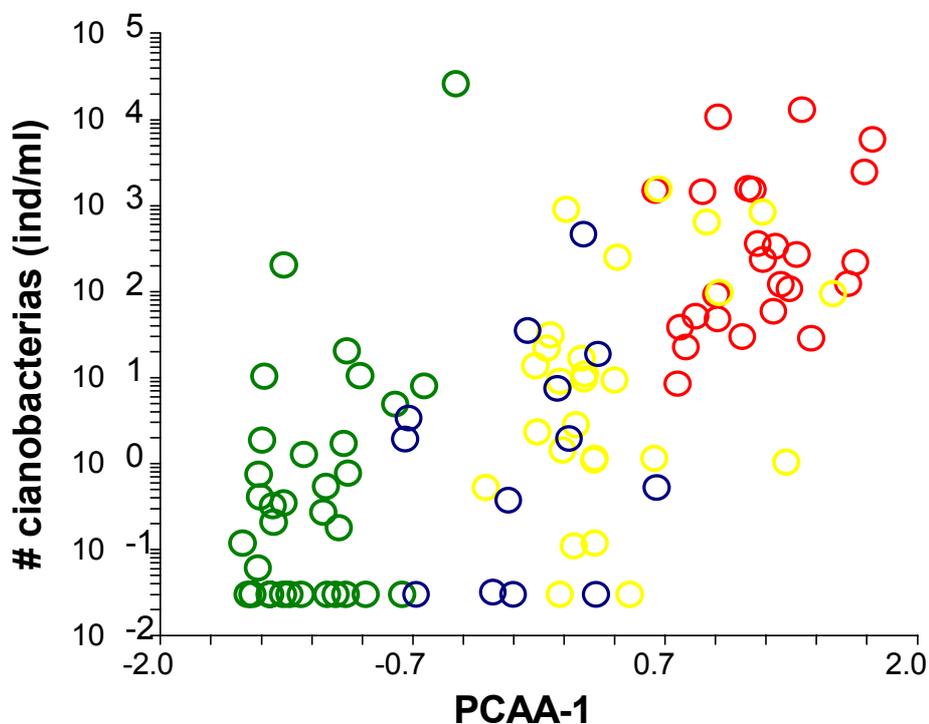
**Figura 8.** Ordenamiento biológico-ambiental de los diferentes distritos de lagos de Argentina. CP, chaco-pampeano; ONO, oeste y noroeste; PA, patagónico andino; PP, planicie patagónica. (modificado de Quirós, 2000)

El primer eje ambiental (PCAA-1, Figura 8) pondera los lagos someros, cálidos, eutróficos, sospechados de estar limitados por nitrógeno y situados a latitudes más bajas, en contraposición a los lagos australes, templado - fríos, oligotróficos, más diluidos, y generalmente limitados por fósforo. Para Argentina las características climáticas, morfométricas, y edáficas comúnmente se encuentran estrechamente relacionadas explicando la variación de estado trófico de sus lagos y embalses (Quirós, 1988). Por otra parte, el primer eje biológico (PCAB-1, Figura 8) pondera los lagos de acuerdo a las biomasas de las comunidades biológicas y la transparencia del agua. Como era de esperar, los lagos más transparentes tienen también las menores biomasas de fitoplancton, zooplancton, y peces. Como dijimos antes, las biomasas de las comunidades biológicas están altamente relacionadas con las características ambientales de los lagos. 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

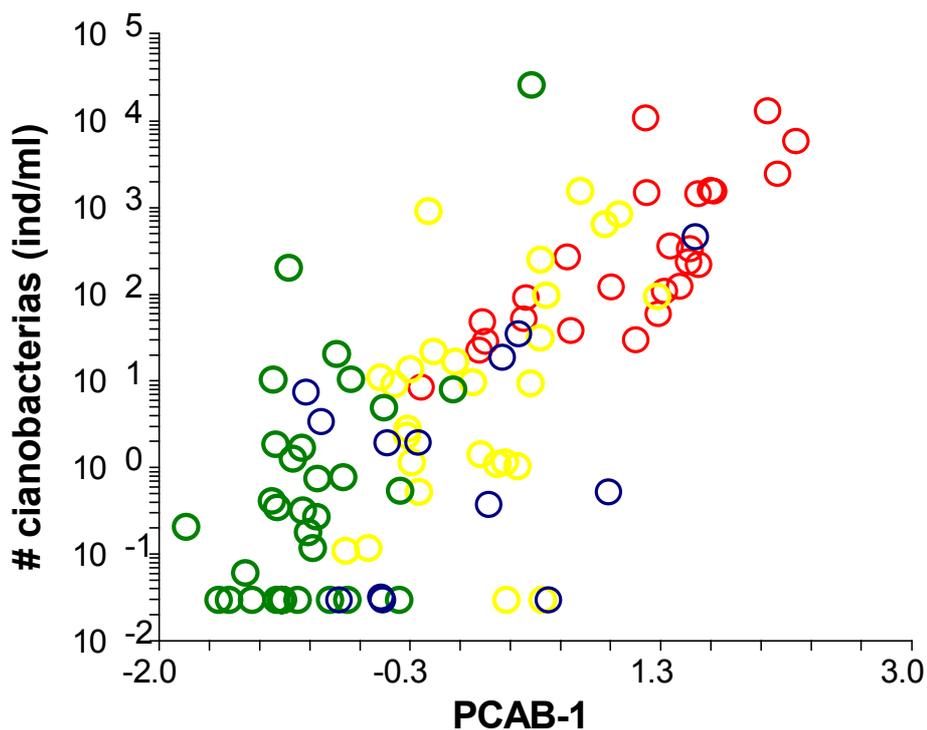
productividad biológica cuando se comparen lagos someros australes de la meseta patagónica con los lagos de la Pampa o los lagos y embalses del oeste noroeste argentino. Aquellos lagos que, perteneciendo a un distrito, se ordenan hacia los límites de un distrito de mayor grado de trofía, generalmente son aquellos que están sufriendo un mayor 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 (Quirós, 2000).

Los resultados del presente trabajo indican que las cianobacterias tienden a ser abundantes, y generalmente dominan, el fitoplancton de los lagos y embalses ricos en nutrientes, y que ese efecto resulta más pronunciado en los ambientes menos profundos (Figura 9). Sin embargo, los lagos y embalses que presentaron la mayor biomasa total, a todo lo demás igual, resultan ser los más proclives a devenir en dominados por cianobacterias, aun superando la determinación ambiental (comparar Figuras 9 y 10).

De esa manera, los resultados obtenidos refuerzan la visión que señala que el cambio en las interacciones tróficas y el aumento del carácter reductor del medio ambiente acuático, producto secundario de la eutrofización, refuerzan la dominancia de los procariotas fotosintéticos (cianobacterias) sobre los elementos eucariotas del fitoplancton (Quirós, 2003).



**Figura 9.** Numerosidad de cianobacterias en función del ordenamiento ambiental de lagos y embalses de Argentina ( $r = 0.68$ ,  $n = 98$ ,  $P < 0.000001$ ). Los ambientes acuáticos de los diferentes distritos de lagos se identifican como en la Fig. 8.



**Figura 10.** Numerosidad de cianobacterias en función del ordenamiento biológico de lagos y embalses de Argentina ( $r = 0.76$ ,  $n = 98$ ,  $P < 0.000001$ ). Los ambientes acuáticos de los diferentes distritos de lagos se identifican como en la Fig. 8.

### **Implicancias para el manejo de la eutrofización**

Los diversos problemas de calidad de agua que enfrentan los lagos y embalses de Argentina incluyen los tipos importantes de contaminación que no son regulados o controlados. La mayoría de los problemas de eutrofización de sus aguas superficiales están relacionados con las descargas de fuentes puntuales no tratadas, provenientes de áreas urbanas e industriales y de establecimientos de cría animal, y a las entradas difusas no reguladas provenientes principalmente de la agricultura. A ello deben agregarse las entradas debido al inadecuado manejo que se hace de otras actividades productivas tales como la deforestación, explotación forestal, producción animal extensiva, minería, escurrimientos urbanos, y sistemas sépticos de tratamiento y disposición de efluentes domiciliarios (Quirós, 2000). Frente a este panorama, es poco lo que puede esperarse del manejo preventivo de las floraciones de cianobacteria tóxicas, sencillamente, porque actualmente no existe conciencia de prevención ni inversiones en puerta que conduzcan a ello.

En Argentina, la gestión de lagos, con muy pocas excepciones, sigue sin ser una profesión 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 diversos tipos de causas (Quirós, 1998a). El caso del lago San Roque, situado en la Provincia de Córdoba, sigue siendo un caso paradigmático de manejo de la eutrofización en Argentina (Quirós, 1998b). Durante la década de los 60's, los estudios realizados indicaron un estado avanzado de eutrofización del embalse y, por lo tanto, medidas que conducirían a la reducción de las entradas de nutrientes fueron recomendadas (Gavilán, 1981). Esas medidas prácticamente no fueron implementadas. Los estudios realizados durante las décadas que van desde la década de los 70's hasta el presente sólo indican una cosa, que el estado del embalse ha venido empeorando. Actualmente, este embalse tiene graves problemas de floraciones de cianobacterias tóxicas.

El problema de la eutrofización de las aguas superficiales de Argentina ha sido estudiado con anterioridad (Quirós, 1988, 1998b, 2000; Quirós y Drago, 1999). La distribución y abundancia de cianobacterias es un corolario necesario de aquellos resultados (Pizzolón et al, 1999; este trabajo). El agua sigue a la pendiente de los ecosistemas terrestres, con ella van los nutrientes y la vida. Ya hace tiempo atrás que las cianobacterias alcanzaron a los lagos y embalses, hoy ya están, junto a otras algas potencialmente tóxicas, en los estuarios y las franjas costeras. Sería de desear que los políticos lo consideren un problema a prevenir y, en muchos casos, a resolver. La salud animal y humana puede estar en juego.

## Agradecimientos

R.Quirós reconoce el apoyo del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET). Agradecemos a Hugo T. von Bernard por su asistencia técnica. Este trabajo fue parcialmente subsidiado por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (PICT 04698).

## Referencias

- GAVILÁN J. G. 1981. Study of water quality in the San Roque Reservoir. *Wat. Qual. Bull.* 6, 136-142.
- DRAGO, E. and R. QUIRÓS. 1996. The hydrochemistry of the inland waters of Argentina: a review. *Int. J. Salt Lake Res.* 4, 315-325.
- PIZZOLON, L., B. TRACANNA, C. PRÓSPERI, and J. GUERRERO. 1999. Cyanobacterial blooms in argentinian freshwaters. *Lakes & Reservoirs, Research & Management*, 4:101-105.
- QUIRÓS, R. 1988. Relationships between air temperature, depth, nutrients and chlorophyll in 103 Argentinian lakes. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 23, 647-658.
- QUIRÓS, R. 1997. Argentinean lakes and reservoirs data base (ARLARE), [www.agro.uba.ar/users/quiros/](http://www.agro.uba.ar/users/quiros/)

- QUIRÓS, R. 1998a. Classification and state of the environment of the Argentinean lakes (p: 29-50). *Study Report for the Lake Environment Conservation in Developing Countries. Argentina*. Chapter 2. Lakes of Argentina. International Lake Environment Committee Foundation (ILEC). Kusatsu, Japan. 229 p.
- QUIRÓS, R. 1998b. Fish effects on pelagic - trophic relationships in a comparative lake study. *Hydrobiologia* 361: 101-111.
- 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.
- QUIRÓS, R., 2003. The relationship between nitrate and ammonia concentrations in the pelagic zone of lakes. *Limnetica* 22: 37-50.
- QUIRÓS, R., and E. DRAGO. 1999. The environmental state of Argentinean lakes: An overview. *Lakes and Reservoirs: Research and Management* 4: 55-64.
- QUIRÓS, R., A. RENNELLA, M. BOVERI, J.J. ROSSO y A. SOSNOVSKY. 2002a. Factores que afectan la estructura y el funcionamiento de las lagunas pampeanas. *Ecología Austral* 12: 175-185.
- QUIRÓS, R., J.J. ROSSO, A. RENNELLA, A. SOSNOVSKY y M. BOVERI. 2002b. Estudio sobre el estado trófico de las lagunas pampeanas. *Interciencia* 27: 584-591.
- QUIRÓS, R., C.R.M. BAIGÚN, S. CUCH, R. DELFINO, A. DE NICHILLO, C. GUERRERO, M.C. MARINONE, S. MENU MARQUE, y M.C. SCAPINI. 1988. Evaluación del rendimiento pesquero potencial de la República Argentina I: Datos 1. *Informes Técnicos del Departamento de Aguas Continentales*. Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero. Informe Técnico No 7, 55p.
- WETZEL, R.G. 2001. *Limnology. Lake and River Ecosystems*. 3rd. Ed. Academic Press, San Diego, CA, USA. 1006 p.

## Anexo I.

### Distribución del fitoplancton en lagos y embalses de Argentina

Las clases algales consideradas en este trabajo (Egüés y Quirós, información no publicada) fueron aquellas que dominaron los ambientes estudiados durante la estación de crecimiento (enero/febrero), a saber: Chlorophyceae (CHLORO), Bacillariophyceae (BACI), Cianobacteria (CYANO), Chrysophyceae (CHRYSO), Euglenophyceae (EUGL), Xanthophyceae (XANTO) y Dinophyceae (DINO).

### Distribución del fitoplancton según su distribución geográfica

Las cianobacterias dominaron, en general, los ambientes chaco-pampeanos mientras que las diatomeas dominaron los ambientes patagónicos y alcanzaron un 40% en promedio en los ambientes del oeste y noroeste de Argentina. Las clorofitas oscilaron entre un 15 y un 30% mientras que las crisofitas y las dinofíceas solo fueron relevantes en los ambientes andino patagónicos y los de las zonas áridas del oeste y noroeste respectivamente (Fig. A1).

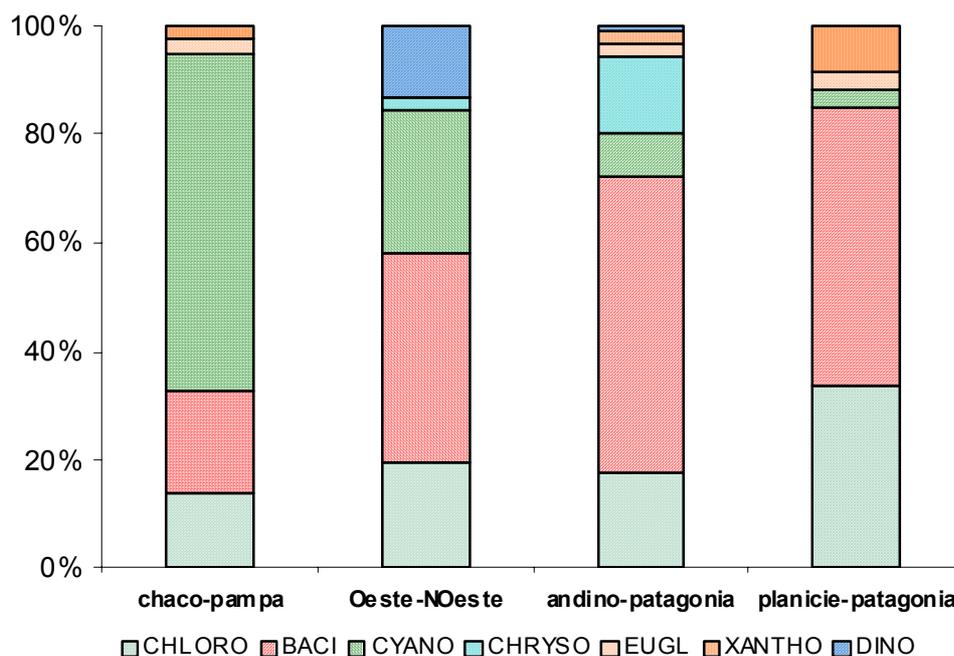


Figura 1A. Distribución geográfica de las clases del fitoplancton en lagos y embalses de Argentina. Chlorophyceae (CHLORO), Bacillariophyceae (BACI), Cianobacteria (CYANO), Chrysophyceae (CHRYSO), Euglenophyceae (EUGL), Xanthophyceae (XANTO) y Dinophyceae (DINO).

## Distribución del fitoplancton según la morfología del ambiente

Con respecto a la distribución del fitoplancton según la profundidad de los ambientes, la conclusión es casi directa: los ambientes profundos estuvieron dominados por las diatomeas y los someros por las cianobacterias (Fig. 2A). En ambos tipos de ambientes las clorofitas alcanzaron, en promedio, un 20% del total relativo.

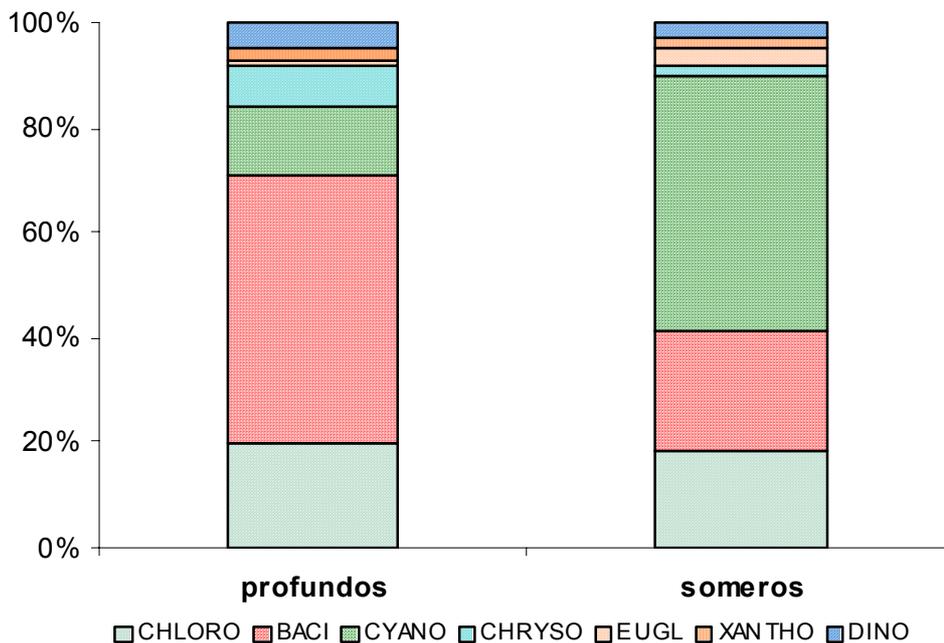


Figura 2A. Distribución de las clases del fitoplancton en lagos y embalses de Argentina según la morfología del ambiente. Chlorophyceae (CHLORO), Bacillariophyceae (BACI), Cyanobacteria (CYANO), Chrysophyceae (CHRYSO), Euglenophyceae (EUGL), Xanthophyceae (XANTO) y Dinophyceae (DINO).

## Distribución del fitoplancton según el tipo de ambiente

El fitoplancton de las lagunas estuvo dominado por cianobacterias mientras el de los lagos lo estuvo por diatomeas. Los embalses se ubicaron en una posición intermedia con cierta predominancia de las diatomeas (Fig. 3A). En los tres tipos de ambientes las clorofitas alcanzaron, en promedio, un 20% del total relativo. Las dinofíceas y crisofíceas solamente fueron relevantes en embalses y en lagos respectivamente.

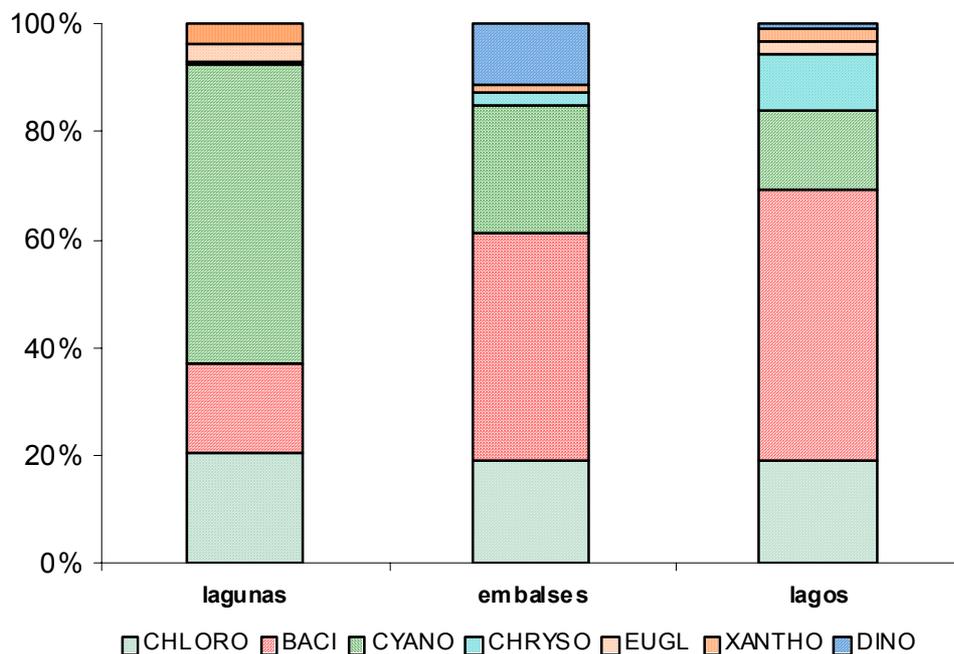


Figura 3A. Distribución de las clases del fitoplancton en lagos y embalses de Argentina según el tipo de ambiente. Chlorophyceae (CHLORO), Bacillariophyceae (BACI), Cianobacteria (CYANO), Chrysophyceae (CHRYSO), Euglenophyceae (EUGL), Xanthophyceae (XANTO) y Dinophyceae (DINO).