

## Estudio del fitoplancton en el marco de monitoreo del Embalse San Roque (Cba)

Rodríguez, M.I.<sup>1</sup>, Bustamante, M.A.<sup>1</sup>, Ruibal, A.L.<sup>1</sup>, Ruíz, M.A.<sup>1</sup> & Busso, F.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> CIRSA, INA, Ambrosio Olmos 1142, 5000 Córdoba

<sup>2</sup> Aguas Cordobesas, S.A

minesrodrig@gmail.com

### Resumen

El embalse San Roque, principal fuente de abastecimiento para la Ciudad de Córdoba, es regularmente monitoreado desde el año 1999. Debido a su reconocida problemática de eutrofización la dinámica y estructura del fitoplancton, adquiere particular relevancia.

Se analizan junto a parámetros físico-químicos, la variabilidad de abundancia y diversidad particularmente de cianobacterias, en el sector de toma. Asimismo, se discuten aspectos específicos relacionados con el monitoreo de algas, tales como transparencia de Secchi y dinámica térmica del embalse.

La manifestación de floraciones tóxicas, el uso recreativo incipiente de playas y la posible aplicación de medidas de control de eutrofización son aspectos que hacen de este embalse un caso de gran interés.

### Introducción

En las últimas décadas el interés por la ecología del fitoplancton presente en lagos y embalses se ha incrementado significativamente. Esto se debe a que los problemas asociados a su desarrollo excesivo, particularmente de determinadas especies de algas, pueden limitar el uso recreativo de un cuerpo de agua, afectar su calidad estética y en caso de ser fuente de abastecimiento, también puede provocar inconvenientes en el proceso de potabilización.

La problemática de eutrofización está definida por la excesiva cantidad de nutrientes presente en el sistema en particular de nitrógeno y fósforo. El desarrollo de floraciones algales particularmente de cianobacterias y la escasa transparencia del cuerpo de agua son algunos de los principales efectos de esta problemática.

El embalse San Roque, principal fuente de provisión de agua de la capital de Córdoba, con una población de más de 1,3 millón de habitantes, presenta un avanzado estado de eutrofia (Bustamante et al, 2002). Las algas causantes de floraciones son principalmente las cianobacterias *Anabaena spiroides* y *Microcystis aeruginosa*, y la pirrófita *Ceratium hirundinella* (Ruibal et al, 1999). La presencia de cianobacterias de los géneros mencionados adquiere particular importancia ya que son algas potencialmente productoras de toxinas. En ocasiones, las floraciones de *M. aeruginosa* y *A. spiroides* desarrolladas en el Embalse San Roque han sido tóxicas (Ruibal, 2003).

Existen numerosos estudios que describen las condiciones ambientales que favorecen el desarrollo de las especies de algas mencionadas (van Ginkel et al, 2001 y Pérez-Martínez y Sánchez-Castillo, 2002), sin embargo, la variabilidad de las condiciones climáticas como así también las características propias del cuerpo de agua, hacen que

los resultados no sean siempre extrapolables. Desde este punto de vista, la descripción de la dinámica térmica y transparencia locales asociado fitoplancton, puede aportar información útil para la aplicación de medidas de control de la eutroficación.

La dinámica de estratificación térmica es uno de los factores de relevancia que acompaña a la variación en la composición de la comunidad de algas en embalses. Los movimientos del agua no sólo son importantes en cuanto al movimiento físico dentro de la zona fótica, sino que son decisivos en el transporte vertical de materia mineralizada a partir de zonas profundas y en mantener a las algas dentro de la zona eufótica. (Margalef, 1983). La profundidad eufótica ( $Z_{eu}$ ) y la profundidad de mezcla ( $Z_{mez}$ ) en la columna de agua afectan la disponibilidad de luz para las algas. Sin un acceso periódico al estrato eufótico las algas mueren ya que por debajo de esta zona, el crecimiento está limitado por la falta de luz (Reynolds, 1984).

La turbulencia en el estrato de mezcla provoca que las algas circulen dentro del mismo y la proporción de tiempo en que las algas se encuentran en condiciones iluminadas está determinado por el cociente  $Z_{eu}/Z_{mez}$ . Mientras mayor sea la profundidad de mezcla en relación a la zona iluminada mayor es el tiempo bajo condiciones de oscuridad para las algas. De este modo las mismas ingresan y salen de la zona fótica siendo relativamente corto el tiempo en condiciones de luz, lo que restringe su crecimiento (Lawrence et al. 2000).

#### **Objetivos del monitoreo**

Como fuente de abastecimiento de agua para potabilización el seguimiento continuo del estado de la calidad de aguas del embalse es de alta prioridad.

El monitoreo constituye uno de los ejes fundamentales para su estudio ya que es una herramienta esencial para comprender la condición actual del recurso y evaluar el grado de éxito de las medidas correctoras a implementar a nivel de cuenca (ej: saneamiento) o lago (ej: instalación de difusores).

#### **Marco institucional**

Actualmente las campañas de monitoreo del embalse y cuenca son programadas y conducidas por CIRSA perteneciente al INA. Estos estudios se realizan como una Actividad Permanente y en el marco de Proyectos de Investigación y Desarrollo. Han participado en las actividades de monitoreo la empresa concesionaria del servicio de agua potable Aguas Cordobesas y en numerosas ocasiones se ha contado con la colaboración de Subsecretaría Provincial de Recursos Hídricos (ex-DiPAS).

### **Objetivos**

Describir la dinámica y estructura de las algas, en particular de cianobacterias, en el sector del centro y de la toma.

Verificar si existe una variación en composición en la columna de agua a las distintas profundidades muestreadas.

Describir el comportamiento de la variable transparencia medida a través del Disco de Secchi.

Relacionar la dinámica de algas en función de las variables físicas del sistema.

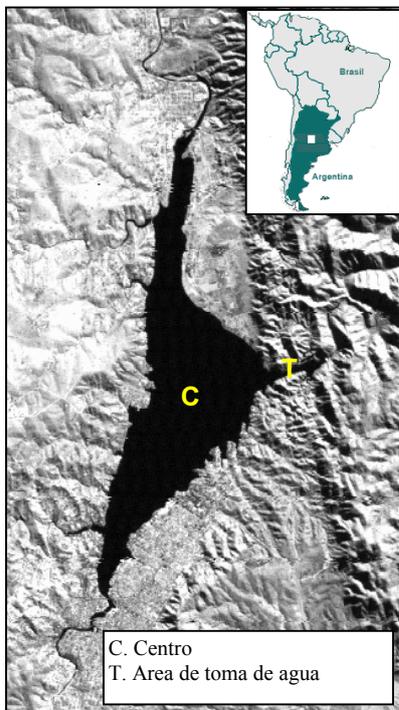
### **Descripción del área de estudio**

El Embalse San Roque (31° 22' S y 64° 27' O) se localiza en el Valle de Punilla a 608 m.s.n.m. en la Provincia de Córdoba, Argentina (Figura 1). El clima de la región es templado con una temperatura media anual de 14° C y vientos predominantes del cuadrante sur y norte, con precipitaciones estivales en el rango de 400 a 1000 mm y una media anual aproximadamente de 720 mm.

A nivel de cota de vertedero (35,3 m), la superficie del embalse es de 15 km<sup>2</sup>, con 201 hm<sup>3</sup> de volumen y una profundidad media de 13,4 m. El tiempo de residencia medio aproximado es de 0,6 años. La cuenca de drenaje es de 1750 km<sup>2</sup>.

En relación a la dinámica térmica, el embalse posee un régimen monomítico (López et al, 1997; Helmbrecht y López, 2000 y Morillo, 2002).

El embalse cumple principalmente la función de provisión de agua, de control de inundaciones aprovechamiento hidroeléctrico y es a su vez, un ámbito en el que se desarrollan múltiples actividades recreativas.



**Figura 1: Ubicación del Embalse San Roque**

### **El área de toma**

La toma de agua en el embalse se halla ubicada en el sector de la garganta (Figura 2), en la margen derecha, a 13,2 m del fondo.

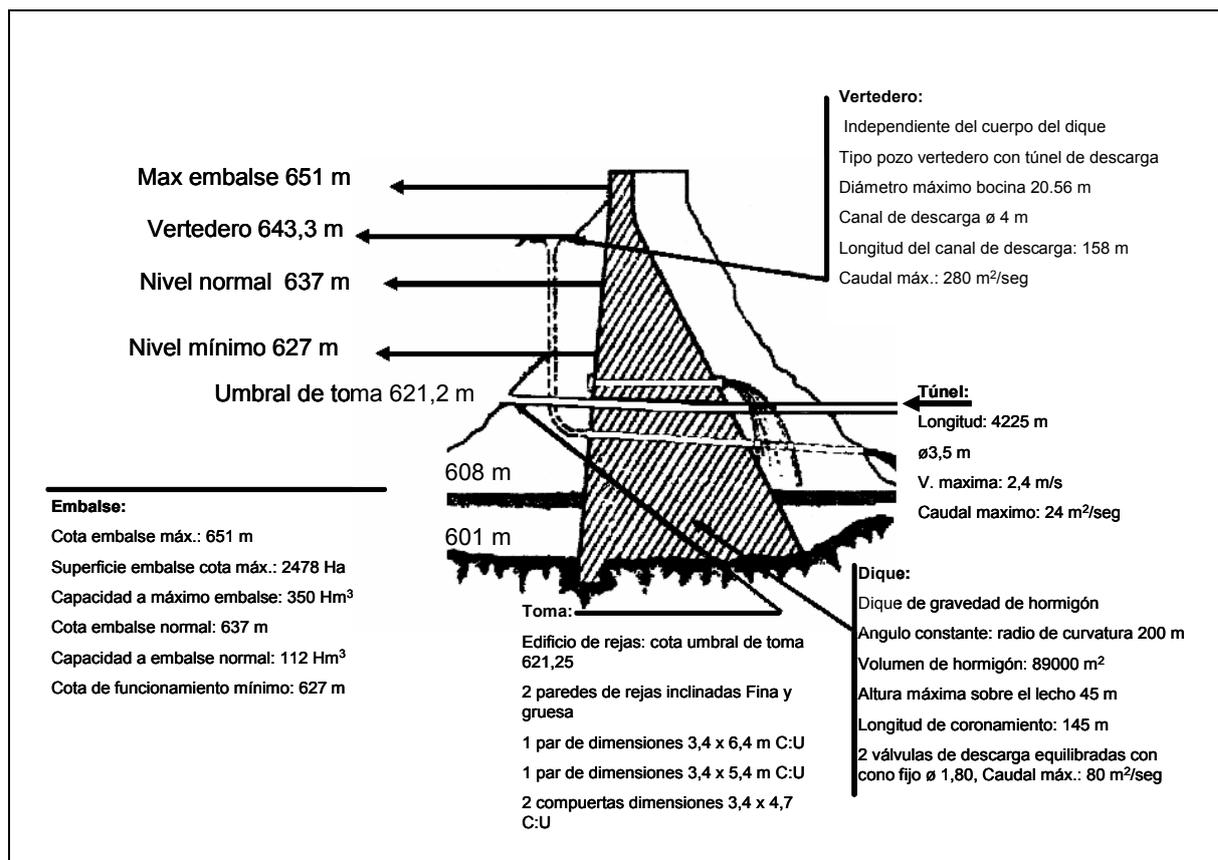


Figura 2: Esquema en corte de los sistemas de evacuación de caudales del embalse San Roque (Fuente: Agencia Córdoba Ambiente).

### Material y metodología

Los datos comprenden las mediciones de parámetros *in situ* y los resultados de análisis de muestras de agua en centro (C) y área de toma (T), próxima al paredón. La ubicación se muestra en la Figura. Se tomaron lecturas en el perfil de la columna de agua cada un metro de temperatura (°C) del agua con una sonda (Horiba U-23). La transparencia se evaluó a través del disco de Secchi (m). Las muestras de agua fueron tomadas a nivel subsuperficial (0,20 m) y con una botella de tipo Van Dorn a mayores profundidades: dentro la zona fótica determinada por  $2,7 \times Z_{\text{Secchi}}$  (Sherwood y Gilbert, 1974), a la profundidad de la toma y a un metro del fondo. Los análisis de laboratorio incluyen además, clorofila *a* ( $\mu\text{g/l}$ ) por espectrofotometría y recuento de algas en filtro e identificación (cél/l) (APHA, 1999).

Se consideraron también las mediciones diarias del nivel de cota relativa (m) del embalse.

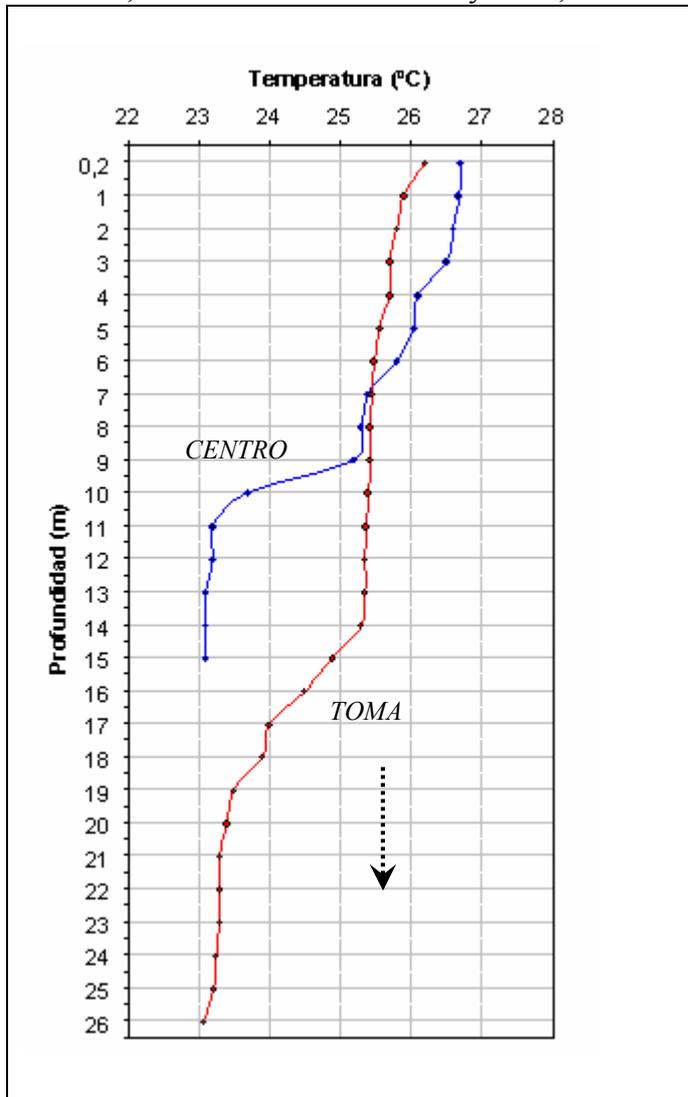
El período analizado abarca desde el 29/9/1999 al 18/12/2007. La frecuencia de muestreo durante el período estival 1999-2000 fue semanal y posteriormente quincenal, mientras que para el año 2001 al 2007 la frecuencia fue mensual.

### Análisis de resultados y conclusiones

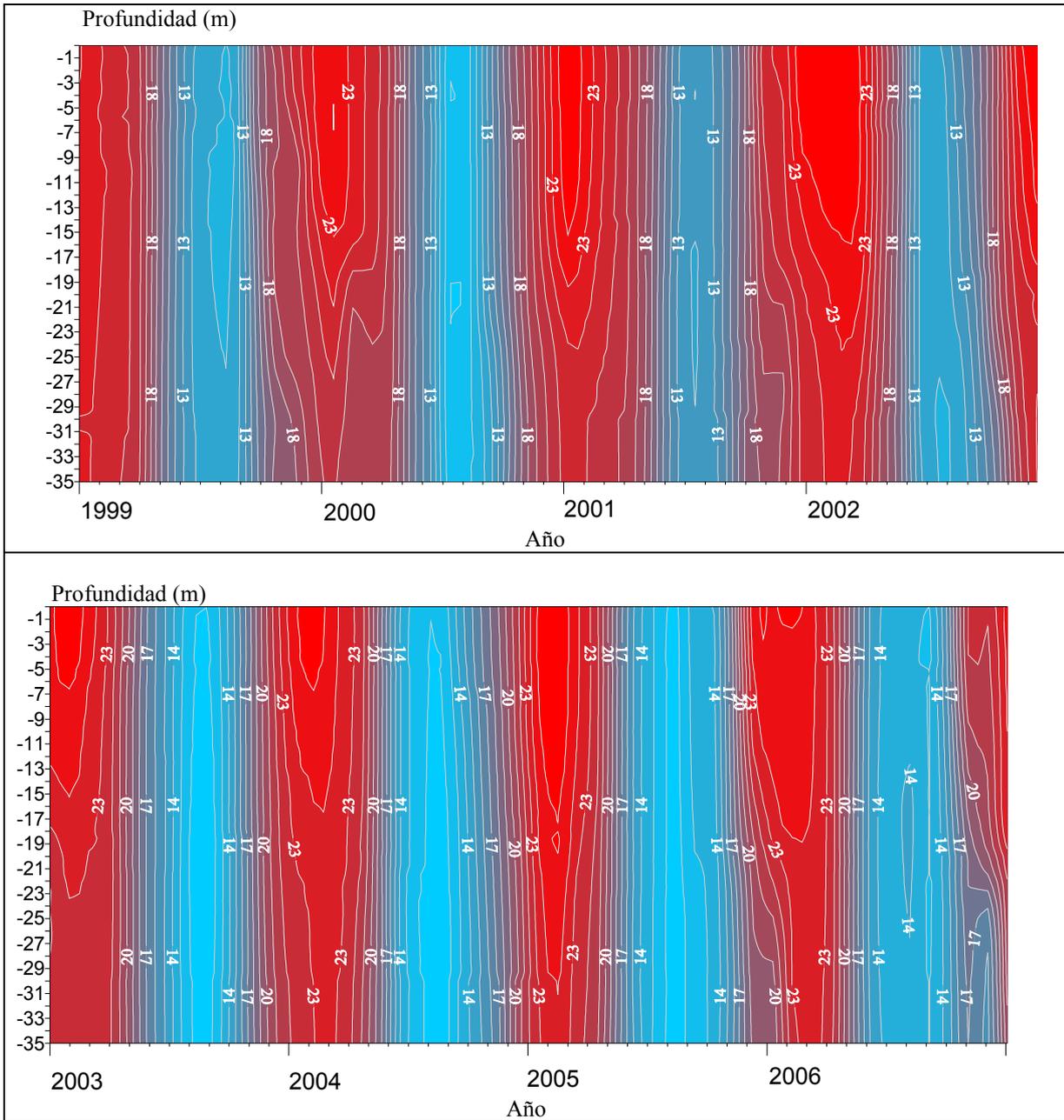
Según las observaciones, el centro del embalse puede presentarse estratificado durante los meses de septiembre a abril y bajo condición de mezcla de mayo a agosto. La capa del metalimnio ha sido registrada a una profundidad mínima de 5 m.

Se ha indicado que si bien esta estratificación en el embalse es marcada y de gran estabilidad dinámica de enero a marzo, es factible que se produzcan afloramientos superficiales de capas de mayor densidad a la superficie, cuando se producen eventos de vientos extremos (Helmbrecht y López, 2000). En el área de la toma las condiciones difieren ya que si bien pueden observarse gradientes de temperatura en profundidad de septiembre a marzo, éstos son menos abruptos que en el centro (Figura 3).

Se ha sugerido que esta diferencia se debería a la existencia del antiguo muro que yace sumergido y que otorga al sector condiciones hidrodinámicas particulares (Granero et al, 2000; Granero et al 2002). El descenso de temperatura mencionado en el área de toma, ha sido registrado a partir de los 5 m. De abril a agosto la condición de mezcla es definida claramente (Figura 4). La profundidad de la toma en función del nivel del embalse, se encuentra entre los 16 y 26 m, comúnmente por debajo de este gradiente.



**Figura 3: Perfil de temperatura en el centro y área de toma. Los datos corresponden al 27/01/2004. (cota relativa: 33,5 m y  $Z_{\text{toma}}$ : 22 m)**



**Figura 4: Campos de temperatura en el área de toma de agua durante el período 1999-2007.**

Los valores de transparencia del disco de Secchi pueden presentarse en el rango de 0,5 a 1,9 m en centro y entre 0,45 y 2,1 m en el área de toma. Esta última presenta en general registros de transparencia levemente mayores que el centro y la diferencia de sus medias para todo el periodo, es significativa (Figura 5).

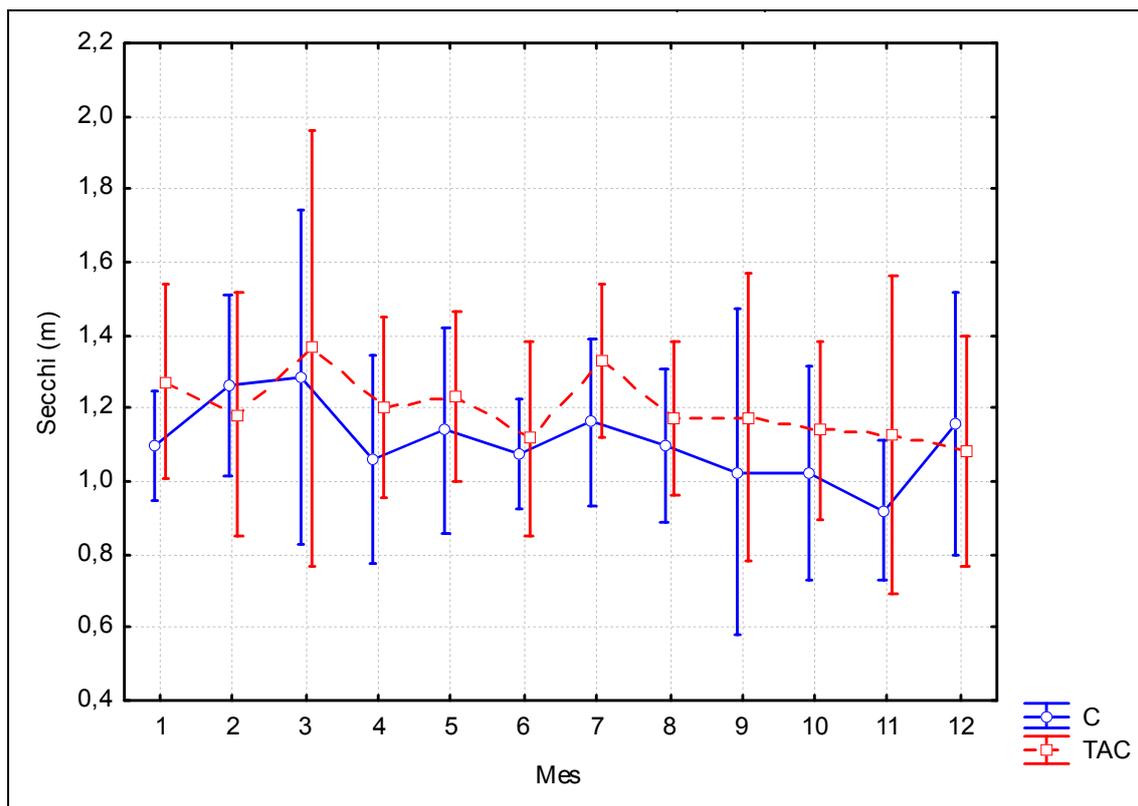


Figura 5: Variación anual de valores medios, mínimos y máximos del disco de Secchi. La media anual entre sitios difiere de modo significativo,  $F(1|206) = 5,39$   $p = 0,02$ .

Los coeficientes de correlación permiten establecer algunas aso-ciaciones importantes (Tabla 1). Existe una tendencia a una menor transparencia cuando los niveles de embalse son más bajos en invierno y primavera, coincidente con incrementos en la conductivi-dad.

El aumento de temperatura en el verano junto con el ingreso de nutrientes provenientes de la cuenca, coincide con un aumento en la biomasa de algas (clorofila a) y menor transparencia.

	Cond. ( $\mu\text{S/cm}$ )	Temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	Cota (m)	Secchi (m)	Clorofila ( $\mu\text{g/l}$ )	Total algas (cel/l)
Cond. ( $\mu\text{S/cm}$ )	1,000	-0,095	<b>-0,538</b>	-0,048	<b>-0,195</b>	<b>0,101</b>
Temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	-0,095	1,000	<b>0,294</b>	0,014	<b>0,281</b>	0,082
Cota (m)	<b>-0,538</b>	<b>0,294</b>	1,000	0,145	0,044	<b>-0,329</b>
Secchi (m)	-0,048	0,014	0,145	1,000	<b>-0,334</b>	<b>-0,174</b>
Clorofila ( $\mu\text{g/l}$ )	<b>-0,195</b>	<b>0,281</b>	0,044	<b>-0,334</b>	1,000	<b>0,482</b>
Total algas (cel/l)	<b>0,101</b>	<b>0,082</b>	<b>-0,329</b>	<b>-0,174</b>	<b>0,482</b>	1,000

Tabla 1: Coeficientes de correlación de Spearman. Los valores resaltados son significativos con  $p < 0,050$ .

La escasa transparencia del lago determina que la zona eufótica se limite a pocos metros de espesor, la profundidad límite de este estrato se ubica entre 1,2 y 5,6 m de profundidad (Figura 6). Esta capa de agua siempre queda incluida en el estrato de mezcla es decir, en la mayoría de las ocasiones se observa una relación  $Z_{eu}/Z_m < 1$ . Los registros de valores extremos de Secchi y profundidad de termoclina registrados indican que la proporción puede hallarse en un rango de 0,13 a 1.

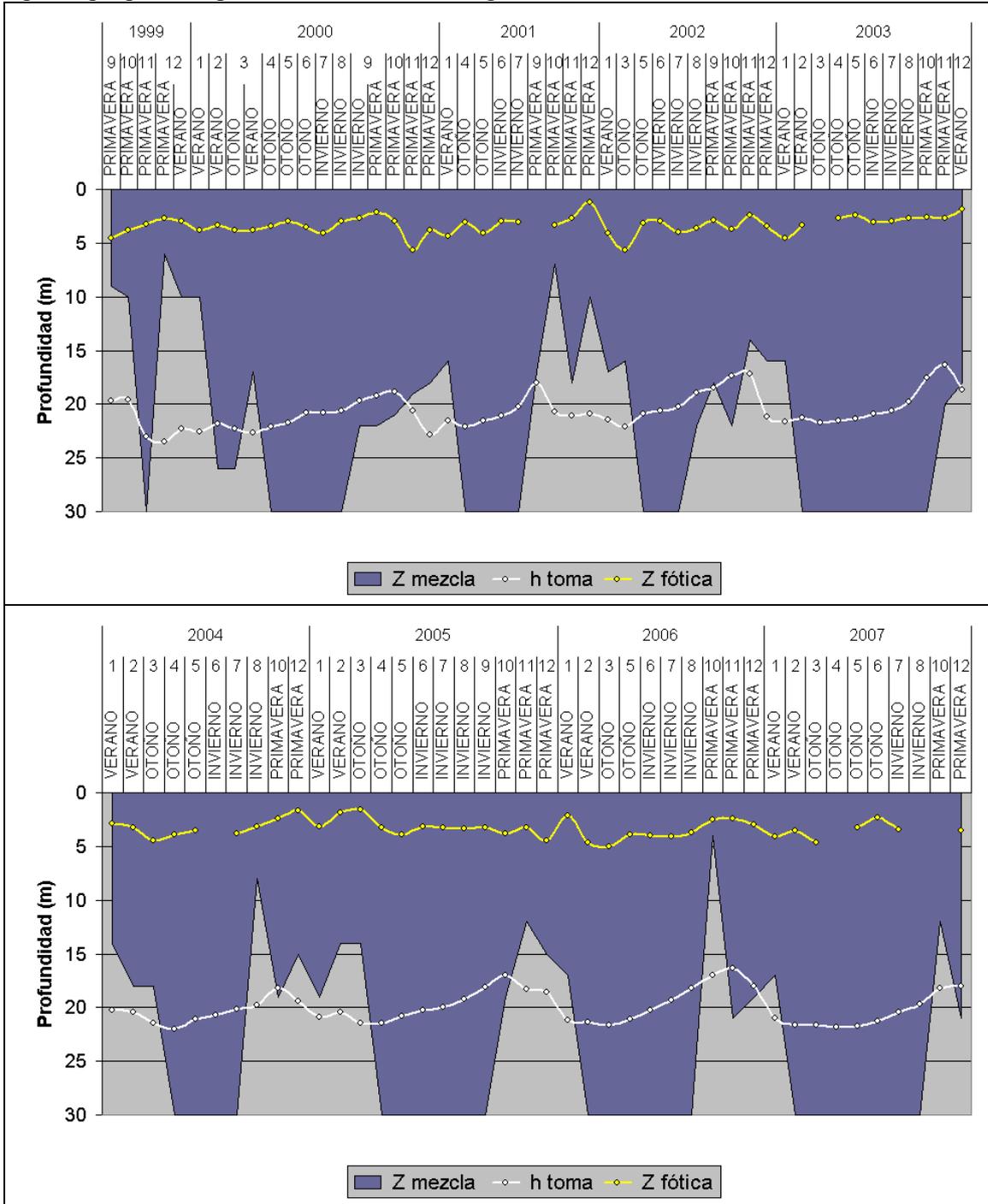


Figura 6: Variación de Zmez y Zeu en relación a la Ztoma para el período 1999-2007.

Bajo estas condiciones se entiende que las algas capaces de regular su posición en la columna de agua por mecanismos de flotación como las cianobacterias sean las beneficiadas y sobretodo durante periodos de calma y estratificación (Dokulil & Teubner, 2000). Se ha observado que si la calma se mantiene y no se produce una mezcla homogénea en el epilimnio, cianobacterias como *Anabaena* sp pueden formar floraciones superficiales (Hamilton, 2004).

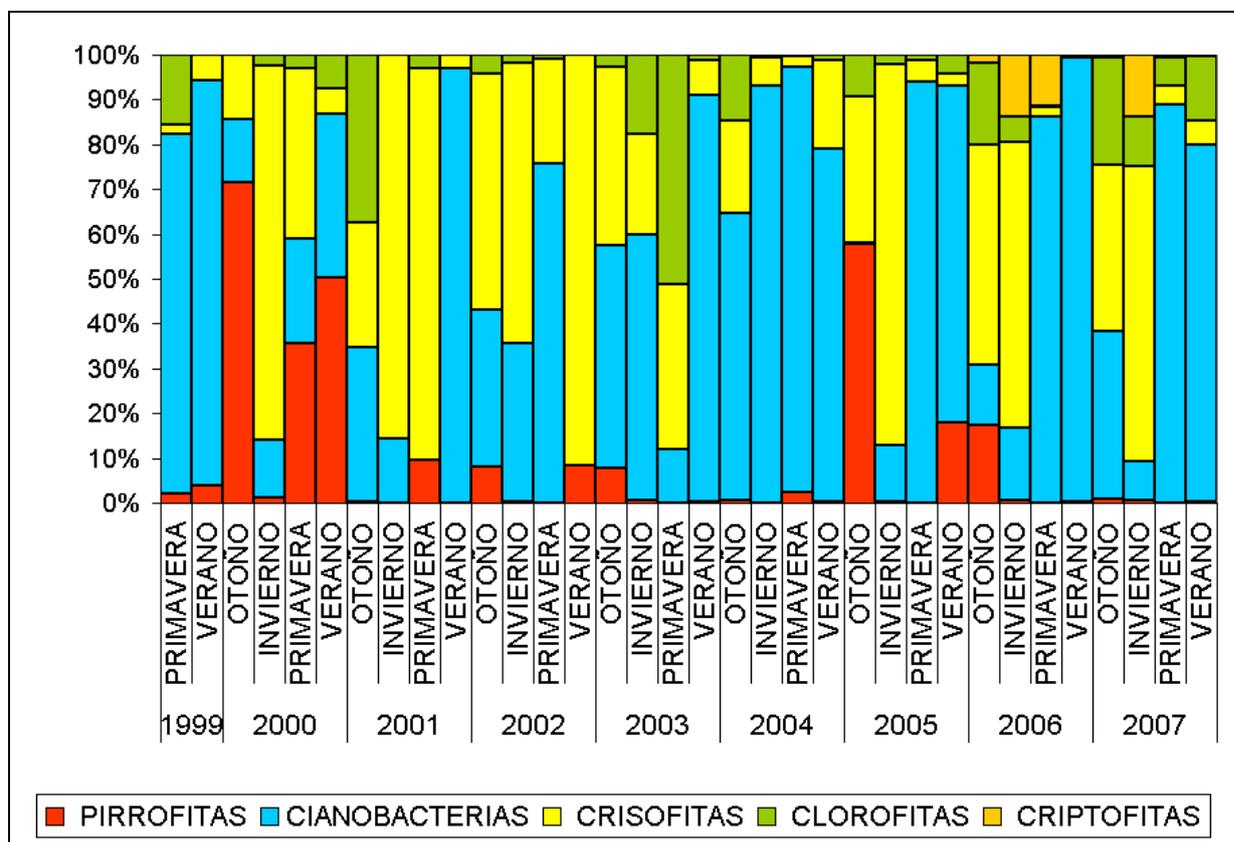


Figura 7: Distribución porcentual de grupos de algas a nivel subsuperficial en el área de toma durante el periodo de estudio.

La Figura 7 muestra la dominancia de cada grupo expresada como porcentaje del total de algas que, graficada temporalmente permite distinguir periodos de dominancia de crisófitas en los meses fríos alternados con periodos de dominancia de cianobacterias o pirrófitas en los meses cálidos.

Entre los géneros de algas más comúnmente registrados se hallan *Cyclotella* sp, *Ceratium* sp, *Aulacoseira* sp, *Anabaena* sp., *Melosira* sp *Microcystis* sp, *Navicula* sp, *Carteria* *Closterium* sp y *Stephanodiscus* sp.

De estos géneros, *Cyclotella* sp, *Ceratium* sp, *Anabaena* sp, *Microcystis* sp, *Closterium* sp y *Carteria* sp han desarrollado floraciones en el embalse San Roque (Rodríguez et al, 2005).

Particularmente, los géneros de cianobacterias detectados en el Embalse son *Microcystis*, *Anabaena*, *Merismopedia*, *Oscillatoria*, *Raphidiopsis* y *Pseudoanabaena*, siendo los dos primeros más frecuentes y abundantes que el resto.

La dominancia de cianobacterias se expresó como porcentaje del total de algas. Estos datos se agruparon en 4 profundidades: (Z0) subsuperficial, (Z1) zona fótica de 1 a 5

metros, (Z2) proximidades a la toma de agua entre los 10 y 22 m y (Z3) a 1 m del fondo.

Un análisis teniendo en cuenta las cuatro profundidades, los dos sitios de monitoreo, en las cuatro épocas del año, muestra que la variabilidad es debida principalmente a la estación del año y la profundidad (Figura 8). En verano en la superficie y fondo, el área de toma presenta mayor abundancia de cianobacterias con respecto al centro.

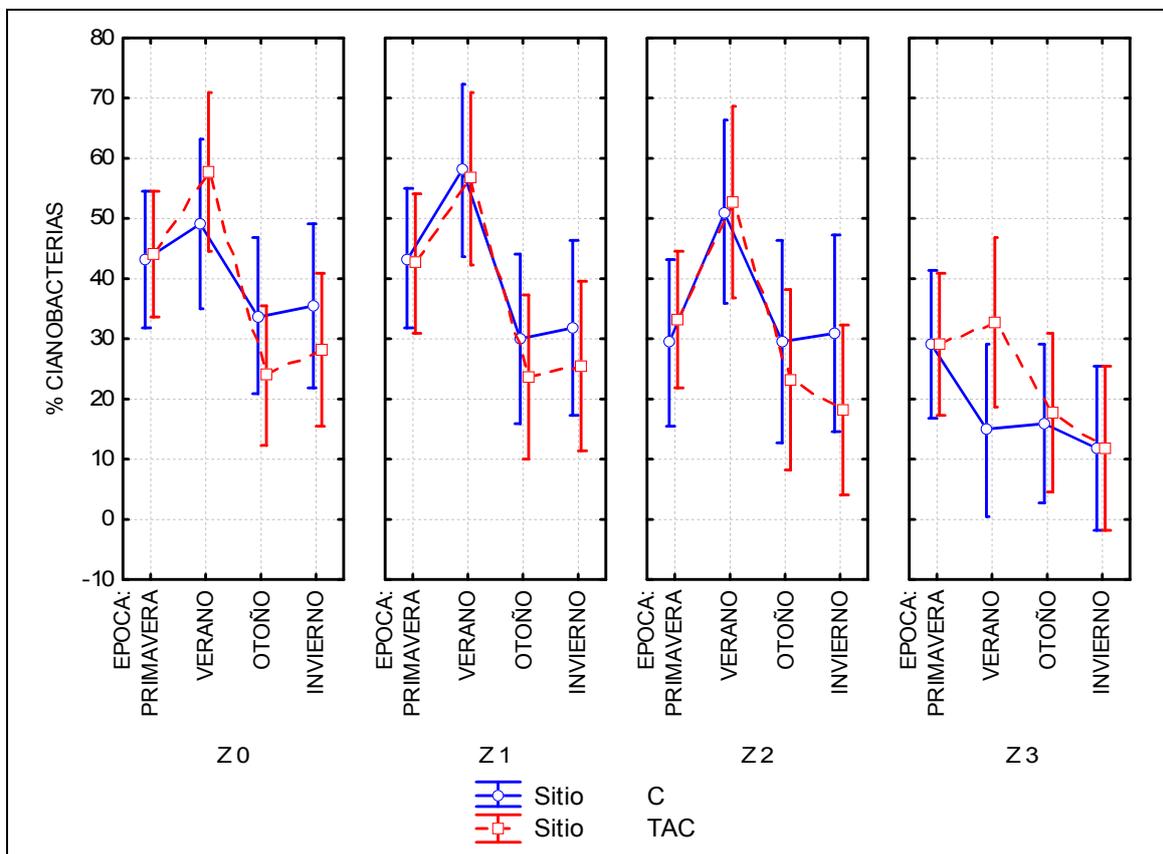


Figura 8: Variación de medias de porcentaje de cianobacterias en el área de toma y centro

Particularmente en el área de toma, se observa que la abundancia de cianobacterias (cél/l) disminuye en profundidad, siendo significativamente diferente los dos estratos superiores con respecto a los inferiores. También se observa un mayor porcentaje de *Microcystis* en relación a *Anabaena* dentro del grupo de cianobacterias en los 4 estratos (Figura 9).

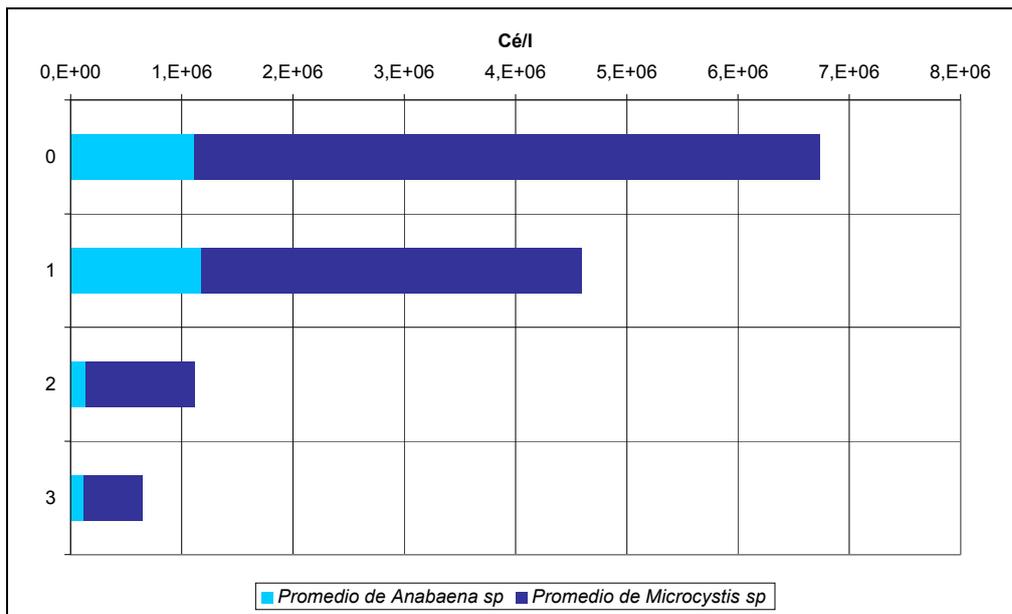


Figura 9: Distribución vertical promedio por estrato de cianobacterias en el área de toma.

Durante un año promedio se observa una disminución en la abundancia de cianobacterias en otoño e invierno y un incremento en primavera, alcanzando máximos en verano. *Anabaena sp* muestra una fluctuación menos marcada en relación a este patrón y su proporción relativa a *Microcystis sp* aumenta en invierno (Figura 10).

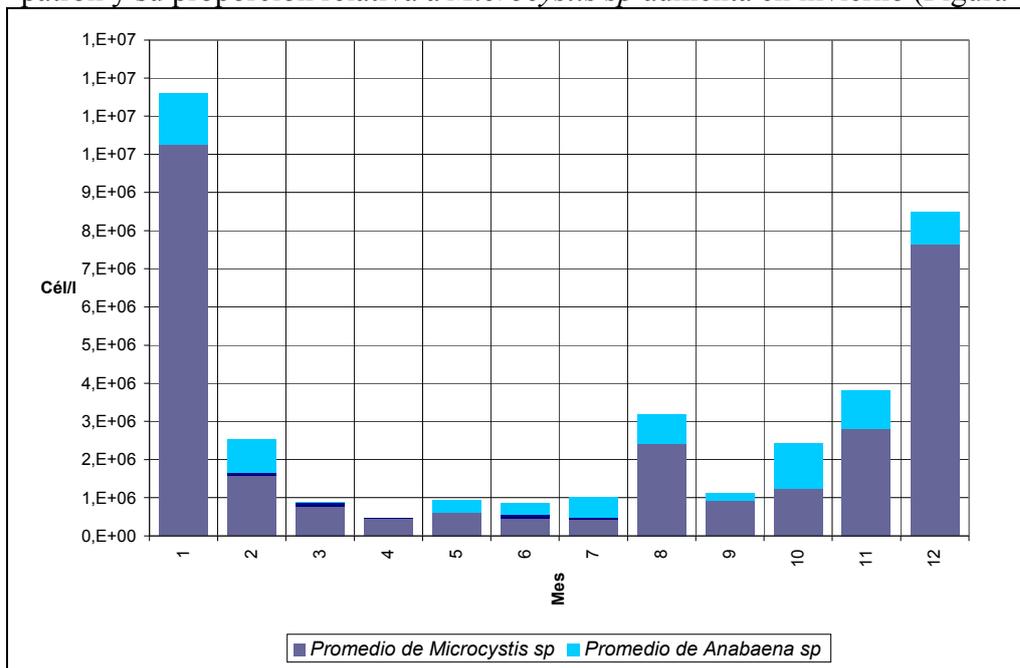


Figura 10: Distribución temporal promedio mensual en la columna de agua de principales cianobacterias en el área de toma.

Los porcentajes de *Microcystis sp* y *Anabaena sp* sobre el total de algas, se agruparon en tres rangos de dominancia: 0, <50% y >50%. La Figura 11 muestra que con una dominancia >50%, *Microcystis sp* se presenta en verano comienzo del otoño, en superficie y zona eufótica. A finales del otoño y en invierno, *Microcystis sp* en general no es dominante o no se presenta. En primavera, las cuatro profundidades son similares.

En primavera *Microcystis* sp de modo no dominante (<50 %) es menos frecuente a la altura de toma.

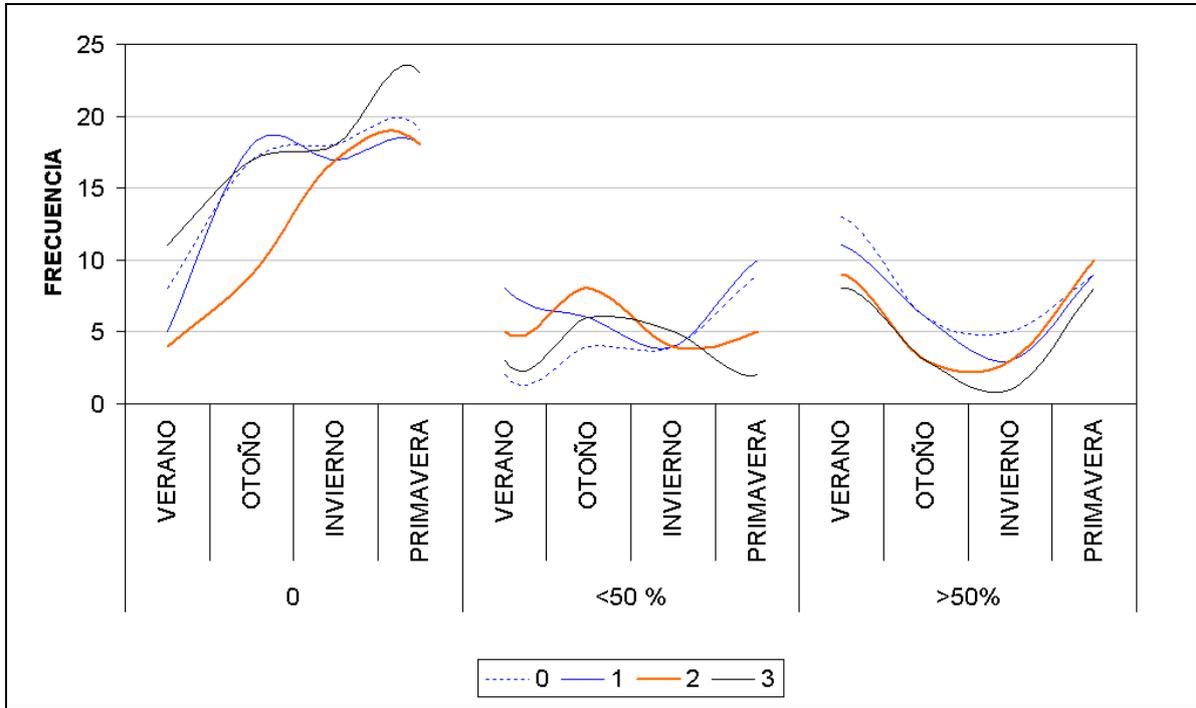


Figura 11: Presencia de *Microcystis* sp en el área de toma en tres profundidades.

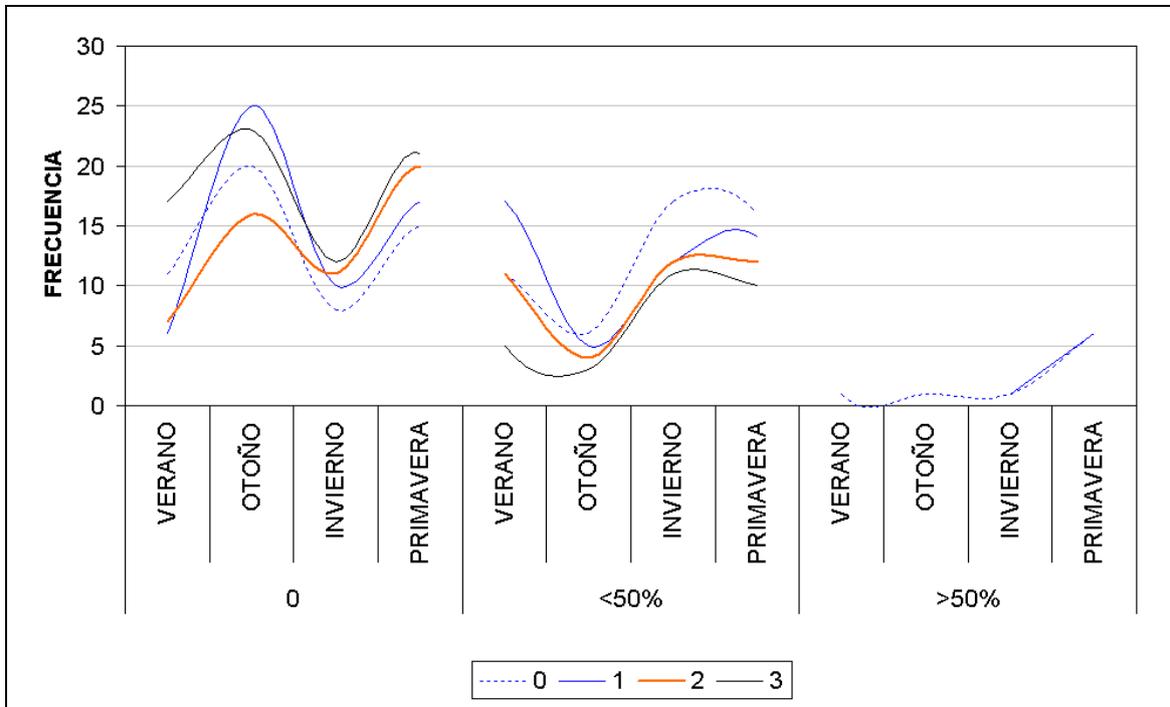


Figura 12: Presencia de *Anabaena* sp en el área de toma en tres profundidades.

La presencia de *Anabaena* sp superior al 50% ha sido registrada en escasas ocasiones. Esta condición se ha observado principalmente en primavera y en los estratos superiores. Sin embargo su presencia no dominante en el embalse puede registrarse frecuentemente en invierno y verano.

En otoño su presencia es poco frecuente y de escasa abundancia a nula (Figura 12 Figura 12: Presencia de *Anabaena* sp en el área de toma en tres profundidades.).

Los períodos más críticos en abundancia de cianobacterias son coincidentes con mayores temperaturas, estratificación estable y siempre con un espesor del estrato de mezcla superior al eufótico. Estas condiciones, sumadas a una alta disponibilidad de nutrientes, con períodos calma o de vientos suaves aumentan el riesgo de floraciones. El aumento en concentraciones de amonio, debido a las condiciones anóxicas del hipolimnio, es uno de los factores que favorecería un mayor desarrollo y presencia de *Microcystis* sp con respecto a *Anabaena* sp.

## **Bibliografía**

- APHA American Public Health Association (1995)** *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, Part 10200, American Water Works Association, Water Environment Federation, APHA, 19 ed., Washington D.C.
- Bustamante, M A; Granero, M; Bonetto, C; Morillo, S y López, F (2002)** *The role of nutrients, physical processes and climatological factors on cyanophytes and dinoflagellates summer blooms*, 4th International Conference on Reservoir Limnology and Water Quality, Ceske Budejovice, Rep. Checa.
- Dokulil, M. T. & Teubner, K. 2000**, *Cyanobacterial dominance in lakes*, Hydrobiologia, 438: 1-12.
- Granero, M; Bustamante, M A y Ruiz, M (2002)** *Hypolimnion water quality in an eutrophicated water body: San Roque Reservoir (Córdoba, Argentina)* 4th International Conference on Reservoir Limnology and Water Quality, Ceske Budejovice, República Checa.
- Granero, M., Bustamante, M.; López, F y Ruibal Conti, A. (2000)** *Impacto del antiguo muro del Embalse San Roque (Córdoba, Argentina) en la Calidad del agua de la toma*, XIX Congreso latinoamericano de Hidráulica, I :181-190, Córdoba, Argentina
- Helmbrecht, J y López, F (2000)** *Predictores físicos de la calidad del recurso en el Lago San Roque (Córdoba, Argentina)* XIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica, I:75-84, Córdoba, Argentina.
- Lawrence, I., Bormans, M., Oliver, R., Ranson, G., Sherman, B., Ford, P. and Schofield, N. (2000)** *Factors controlling algal growths and composition in reservoirs: Report of Reservoir Managers Workshops*, ISBN: 0957704844, Cooperative Research Centre for Freshwater Ecology, Canberra.
- López, F (1997)** *Numerical modelling of the seasonal thermal stratification in Lake San Roque*, 7° Conf. Int. Cons. Lagos, San Martín de los Andes, Argentina.
- Margalef, R. (1983)** *Limnología*, Ed. Omega, España.
- Morillo, S; Dasso, C; Bustamante, M A; Granero, M y López, F (2002)** *Modelación unidimensional de la limnología física del Embalse San Roque, Córdoba, Argentina*, XIX Congreso Nacional del Agua, Villa Carlos Paz, Córdoba, Argentina.
- Oliver, R. L. and Ganf, G. G. 1999**, *Freshwater Blooms*, in Whitton, B. A. & Potts, M.(eds.) *The Ecology of Cyanobacteria: Their diversity in time and space*, Kluwer Academic Publishers.
- Pérez-Martínez C. and Sánchez-Castillo, P (2002)** *Winter dominance of Ceratium hirundinella in a southern north-temperate reservoir*, Journal of Plankton Research 24 (2): 89-96.
- Reynolds, C.S. (1984)** *The Ecology of Freshwater Phytoplankton*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Ruibal, A L; Bustamante, A; Granero, M; López, F; Girbal, A; Lammel, E; Simonin, M E y Busso, F (1999)** *Estudio de la evolución de la calidad de agua del Embalse del Dique San Roque (Córdoba) asociado al desarrollo de floraciones de Ceratium*, Congreso Argentino de Grandes Presas y Aprovechamiento Hidroeléctrico, San Martín de los Andes, Argentina.
- Ruibal, AL (2003)** *Seasonal Variation of Microcystins in Argentinean Inland Waters*, Thesis, Kyoto University, Department of Global Environment Engineering, Japan.
- Sherwood B. I.& Gilbert, R.G. (1974)** *On the universality of the Poole and Atkins Secchi disk-light extinction equation* The Journal of Applied Ecology, Vol. 11, No. 1, pp. 399-401.
- Rodríguez, M.I.; Busso, F.; Bustamante, M.A.; Ruibal Conti, A.L; Ruiz M. y Angelaccio, C.M. (2005)** *Floraciones de algas en el Embalse San Roque (Córdoba)*, XX Congreso Nacional del Agua y III Simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur, Mendoza, Argentina.
- van Ginkel, C E; Hohls, B C and Vermaak, E (2001)** *A Ceratium hirundinella (O.F. Müller) bloom in Hartbeespoort Dam*, South Africa, *Water SA* 27(2):269-276.