

## *Capítulo 2*

### *Limnología del Lago de Sanabria. Trampas de sedimentación*

Contenido:

- 3. Factores ambientales que determinan el comportamiento limnológico del Lago de Sanabria. La importancia de la tasa de renovación del agua*
- 4. Caracterización físico-química del Lago de Sanabria*
- 5. Caracterización biológica del Lago de Sanabria*
- 6. Trampas de sedimentación en el Lago de Sanabria*



### **Subcapítulo 3. FACTORES AMBIENTALES QUE DETERMINAN EL COMPORTAMIENTO LIMNOLÓGICO DEL LAGO DE SANABRIA. LA IMPORTANCIA DE LA TASA DE RENOVACIÓN DEL AGUA.**

El estudio limnológico de De Hoyos (1996) evidencia la importancia del parámetro *tasa de renovación* del agua en la determinación y caracterización de los periodos de mezcla y estratificación en el Lago de Sanabria. Las entradas de agua del río Tera (balance hídrico) condicionan el comportamiento térmico del lago. Por lo tanto, el comportamiento limnológico del Lago de Sanabria está fuertemente determinado por el régimen de precipitaciones (De Hoyos, 1996; De Hoyos & Comín, 1999).

El régimen de precipitaciones de la región de Sanabria determina la variabilidad interanual de la composición del fitoplancton del lago (De Hoyos, 1996). Los grupos de algas característicos de los periodos con altas tasas de renovación del agua son los dinoflagelados, las criptofíceas, y las crisofíceas. Los grupos de algas característicos de los periodos con escasa tasa de renovación del agua son las clorofíceas, las diatomeas, y las cianobacterias (De Hoyos, 1996).

Los factores que en mayor medida determinan la distribución de las abundancias específicas del fitoplancton son, en orden de mayor a menor importancia:

- La tasa de renovación del agua.
- La variación estacional de la radiación solar que condiciona la sucesión en la comunidad.
- El gradiente vertical de factores físicos y químicos de la columna de agua.

El análisis de componentes principales de las variables físicas, químicas y biológicas, medidas en el Lago de Sanabria, ha permitido determinar los factores ambientales que controlan la variabilidad de estos parámetros (De Hoyos, 1996). Se detectó la presencia de un conjunto de parámetros que tenían una correlación positiva entre sí, y eran; pH, intensidad lumínica, temperatura, frecuencia de Brunt-Väisälä, y biovolumen (factores físico-químicos). El N y Si tienen correlación positiva entre ellos, pero negativa con el resto de parámetros mencionados anteriormente. Por otra parte, se determinó la existencia de otro conjunto de parámetros, de carácter biológico, que tenían también una correlación positiva entre ellos, y eran: clorofila *a*, clorofila *c*, biovolumen, y n° células.

La variación espacio-temporal de las variables físicas, químicas y biológicas, está explicada fundamentalmente por los siguientes factores ambientales:

- A. El gradiente vertical.
- B. La estabilidad de la columna de agua; producción primaria.
- C. La temporalidad (o alternancia de periodos de estratificación y mezcla); tasa de renovación.

El gradiente vertical y la estabilidad de la columna de agua están relacionadas con el BALANCE TÉRMICO. La temporalidad (o alternancia de periodos de estratificación y mezcla) está relacionada con el BALANCE HÍDRICO.

A. El **GRADIENTE VERTICAL**: este factor separa las variables del epilimnion de los del hipolimnion, situándose el metalimnion en la zona central. Determina el movimiento, por acción de la gravedad, de la materia suspendida en el agua. Este proceso implica la disminución de nutrientes en las capas superficiales, aumento de los procesos de descomposición de la materia orgánica muerta con la profundidad, y concentración de nutrientes en el hipolimnion.

En consecuencia;

El MOVIMIENTO de la MATERIA en SUSPENSIÓN (GRAVEDAD) implica:

- Epilimnion: Nutrientes bajos (N y Si)
- Hipolimnion: Nutrientes altos (N y Si)
- Hipolimnion: la materia orgánica se sedimenta por gravedad, y se produce su descomposición.
- Los parámetros FÍSICOS son MÁXIMOS en el EPILIMNION (no están afectados por la gravedad).
- La BIOMASA se sitúa en el METALIMNION (zona media de la columna)

B. La **ESTABILIDAD DE LA COLUMNA DE AGUA**: indica la turbulencia del agua. Separa las variables asociadas a máxima estabilidad de la columna de agua de las variables asociadas a aguas más turbulentas. Un parámetro asociado a este factor es la producción primaria. Los análisis multivariantes ponen en evidencia la relación de la producción primaria con la estabilidad de la columna (De Hoyos, 1996).

En consecuencia;

La TURBULENCIA del agua implica:

- A mayor ESTABILIDAD del agua, mayor PRODUCCIÓN PRIMARIA
- A mayor TURBULENCIA (inestabilidad), menor producción primaria.
- La PRODUCCIÓN PRIMARIA es ALTA en el METALIMNION (zona de la columna asociada a MÁXIMA ESTABILIDAD).
- La TURBULENCIA produce un EFECTO LAVADO en el Lago de Sanabria.
- Proliferación del FITOPLANCTON → cuando AUMENTA LA ESTABILIDAD del agua → cuando el GRADIENTE de DENSIDAD es elevado → se establece una barrera física (TERMOCLINA) que evita la caída por gravedad del fitoplancton.
- TURBULENCIA → AUMENTA el  $D_{430}/D_{665}$ , y AUMENTA la TASA de RENOVACIÓN.
- Los parámetros relacionados con el FITOPLANCTON (clorofila, nº células) alcanzan los valores MÁXIMOS con los mayores valores de ESTABILIDAD de la COLUMNA de AGUA.

C. La **ALTERNANCIA DE LOS PERIODOS DE MEZCLA Y ESTRATIFICACIÓN (o TEMPORALIDAD)**: este factor separa las variables asociadas a periodos de estratificación de los periodos de mezcla. Estas alternancias están determinadas por el balance hídrico (régimen de precipitaciones) y, consecuentemente, por la tasa de renovación del agua. Normalmente, los meses de mezcla coinciden con los de mayor renovación del agua, y los de estratificación con los de menor renovación. Por tanto, la estratificación y la mezcla en el Lago de Sanabria están principalmente reguladas por la renovación del agua debido a las entradas de agua desde la cuenca y a las salidas de agua del lago. Se observa que las mezclas acompañadas de fuertes entradas de agua son más importantes que las que se producen en inviernos secos. Los parámetros de tasa de renovación del agua, concentración de oxígeno y PRS aumentan en los periodos de mezcla, mientras que el número de células, el cociente de pigmentos, la conductividad, el cociente N/P, la temperatura y los nitratos, aumentan en los periodos de estratificación.

En consecuencia;

La alternancia MEZCLA/ESTRATIFICACIÓN permite deducir:

- Una RENOVACIÓN muy alta del agua del lago está generada por INTENSAS LLUVIAS, y/o AUMENTO de la PRECIPITACIÓN.
- Las INTENSAS LLUVIAS y/o AUMENTO de la PRECIPITACIÓN origina un AUMENTO de la MEZCLA (disminuye la estabilidad; AUMENTA la TURBULENCIA).
- Un invierno HÚMEDO genera una ALTA RENOVACIÓN del agua (TURBULENCIA): por lo tanto, la estratificación empieza tarde y es menos intensa. AUMENTA la MEZCLA.
- Un Invierno SECO genera una BAJA RENOVACIÓN del agua (ESTABILIDAD alta): empieza antes la ESTRATIFICACIÓN y es más intensa. Disminuye la mezcla.

El Lago de Sanabria presenta una elevada tasa de renovación del agua (tiempo de residencia = 0.50-0.75 años). Esta característica determina que su sistema limnológico sea muy susceptible al régimen de precipitaciones de la región y, en consecuencia, a los cambios climáticos (De Hoyos, 1996; De Hoyos & Comín, 1999).

## Subcapítulo 4. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL LAGO DE SANABRIA.

### 4.1. Comportamiento térmico.

#### 4.1.1. Mezcla invernal y estratificación estival.

El Lago de Sanabria es un lago monomíctico y holomíctico, es decir, presenta un único período anual de mezcla invernal completa, seguido de otro período de estratificación estival. El comienzo de la mezcla del agua está condicionada por las entradas hídricas del río Tera: en los otoños con grandes aportes hídricos, la mezcla comienza antes que en los otoños con menores entradas de agua. Así, en los otoños con grandes aportes hídricos, la mezcla se produce entre octubre y noviembre, mientras que en los otoños más secos la mezcla se produce a finales de noviembre o principios de Diciembre. Generalmente, la mezcla invernal se extiende durante los meses de Enero y Febrero.

#### 4.1.2. Estratificación térmica.

El proceso de mezcla continúa hasta que en Marzo, y conforme avanza la primavera, la energía calorífica del sol comienza a calentar las aguas superficiales del lago, produciéndose un incremento progresivo de su temperatura. De esta forma, se establece una capa superficial, menos densa y más caliente. El resultado final del flujo de calor hacia el interior de la columna de agua, así como la disminución de los procesos de turbulencia generados por el viento, es la formación y establecimiento de una termoclina a una determinada profundidad, quedando finalmente estratificado el Lago de Sanabria en tres capas: *epilimnion*, *metalimnion*, *hipolimnion* (Fig. 4.1).

*Epilimnion*: capa superficial de mayor temperatura. Experimenta un calentamiento progresivo según avanza la primavera y el verano, hasta alcanzar un máximo de 24°C en Agosto. Ocupa una zona de unos 8 m de profundidad.

*Metalimnion* (termoclina): es la zona de transición entre el *epilimnion* y el *hipolimnion*, situándose entre los 7.5 y 12.5 m de profundidad. Constituye el punto de inflexión del perfil de temperaturas: en esta zona el gradiente térmico es máximo, alcanzándose en Agosto gradientes de 1.7°C/m (De Hoyos, 1996). La termoclina (metalimnion), durante el periodo de 1986-1990, comienza a formarse en Marzo/Abril, se estabiliza a una media de 7.5 m durante el verano, y se profundiza más tarde hasta una media de 12.5 m. El metalimnion se comporta como una barrera térmica que impide, prácticamente, la comunicación y el intercambio de sales y gases entre el *epilimnion* y el *hipolimnion*.

*Hipolimnion*: capa inferior de baja y homogénea temperatura. Durante la estratificación estival, el *hipolimnion* presenta una temperatura de 7°C.

Con la llegada del otoño, el *epilimnion* experimenta una pérdida de calor. Esta estructura de la columna de agua en tres estratos, comienza a destruirse con la llegada de los fríos y el incremento de los agentes generadores de turbulencia, principalmente el viento. El enfriamiento de esta capa superficial provoca un aumento de su densidad

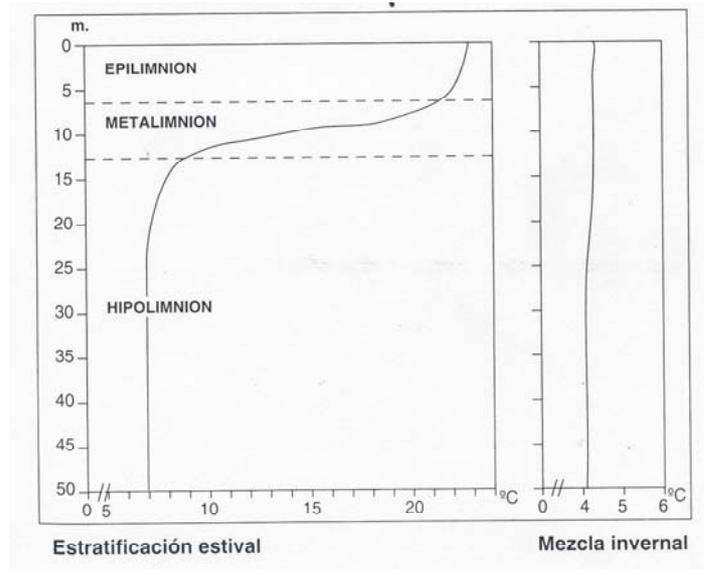


Fig. 4.1. Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) de la columna de agua del Lago de Sanabria, durante la estratificación estival y la mezcla invernal. En la estratificación estival se diferencian el epilimnion, el metalimnion, y el hipolimnion (Aldasoro et al., 1991; De Hoyos, 1996).

y su consiguiente hundimiento, alcanzándose, en Diciembre, la homogeneización térmica de toda la columna de agua, e induciéndose el afloramiento de las aguas más profundas. Este proceso de mezcla finaliza con un estado de homotermia vertical, característico del invierno: presenta inicialmente una temperatura de  $7^{\circ}\text{C}$ , pero el progresivo enfriamiento de las aguas del lago determina que se alcancen, en Enero y Febrero, valores próximos a los  $4^{\circ}\text{C}$  (Fig. 4.1).

Las isolíneas de temperatura en profundidad, en función del tiempo, se muestran en la Fig. 4.2. En ellas se pueden observar las características térmicas explicadas anteriormente: la mezcla invernal, la estratificación estival, y la profundización de la termoclina durante el otoño.

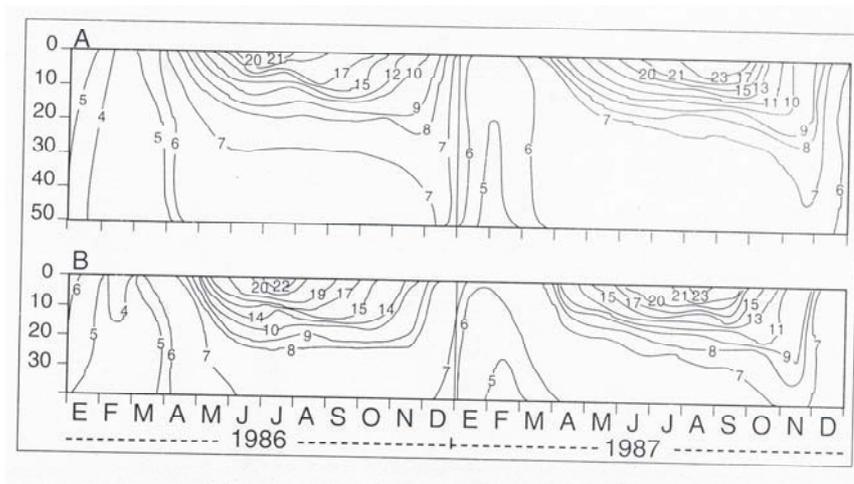


Fig. 4.2. Isolíneas de Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) en las dos cubetas del Lago de Sanabria durante los años 1986 y 1987. (A) Cubeta E, (B) Cubeta W. Profundidades en metros (Aldasoro et al., 1991; De Hoyos, 1996).

#### 4.1.3. Balance térmico.

En el Lago de Sanabria, el balance térmico es positivo desde febrero hasta agosto/septiembre, y es negativo desde agosto/septiembre hasta febrero. La media del balance térmico anual son 19.190 cal/cm<sup>2</sup> año (De Hoyos, 1996). En el 50% del balance térmico están implicados únicamente los 10 m más superficiales de la columna de agua; a partir de los 30 m las variaciones de calor que se producen son escasas.

Durante el periodo en que el balance térmico del lago es positivo (Febrero-Septiembre), las pérdidas de calor se producen fundamentalmente debido a la evaporación y a la conducción de calor entre la interfaz agua-aire, sin apreciarse importantes variaciones interanuales de los componentes del balance. Sin embargo, dependiendo de la *Tasa de Renovación* del agua, durante el periodo en que el balance térmico es negativo (Septiembre-Febrero) se producen grandes variaciones interanuales de los componentes. La importancia relativa de los componentes del balance, en función de la *Tasa de Renovación*, es la siguiente:

- Tasa de renovación alta: las pérdidas de calor se producen principalmente por procesos advectivos (55%).
- Tasa de renovación baja: las pérdidas de calor se producen principalmente por conducción directa (56%). Los procesos advectivos constituyen solamente el 9% del calor total perdido.

Cuando las entradas hídricas al lago son escasas, la disminución del calor del agua es menor con respecto a épocas con entradas hídricas elevadas.

La **Fig. 4.3.** muestra las diferencias térmicas entre las dos cubetas del Lago de Sanabria. La proximidad de la cubeta W al río Tera determina la existencia de valores térmicos más extremos en dicha cubeta, alcanzándose, con respecto a la cubeta E, valores más bajos en invierno y valores más altos en verano. Este comportamiento está determinado por la influencia de la temperatura del agua del río Tera sobre la cubeta W.

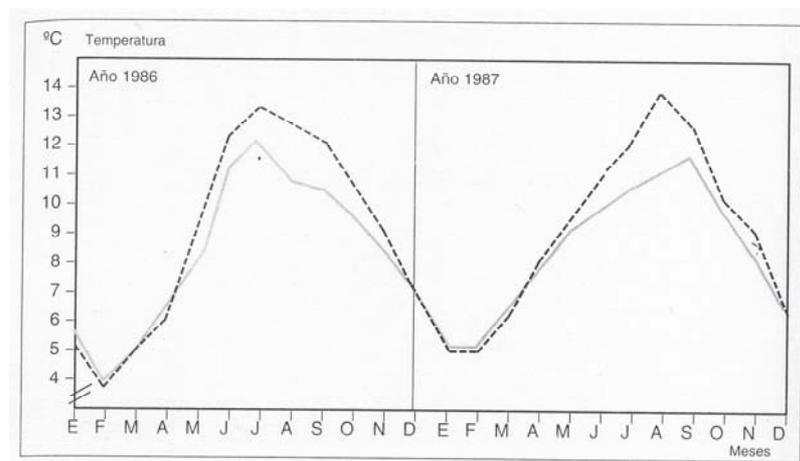


Fig. 4.3. Temperaturas (°C) medias mensuales en el Lago de Sanabria. Cubeta E (trazado continuo), Cubeta W (trazado discontinuo) (Aldasoro et al., 1991; De Hoyos, 1996).

Los estudios térmicos en superficie evidencian que la orilla N del lago es la más caliente, por ser la más soleada. Por otra parte, el viento, al desplazarse de W a E, genera un corredor central más frío a lo largo de la línea longitudinal media del lago (De Hoyos, 1996).

#### 4.1.4. Comportamiento térmico y fitoplancton.

Estos fenómenos de estratificación estival y de mezcla invernal tienen una enorme importancia para la biología general del Lago de Sanabria, ya que devuelven a la superficie buena parte de los nutrientes que desaparecen de las zonas iluminadas al hundirse en forma de materia orgánica muerta durante el período de estratificación. A su vez, permite la oxigenación de las zonas profundas del lago, donde este gas se consume en la degradación de la materia orgánica sedimentada.

La zona fótica se extiende, en general, a más profundidad que la termoclina, lo que implica que la disponibilidad de energía lumínica no es un factor limitante en el crecimiento del fitoplancton.

#### 4.2. Tiempo de residencia del agua.

La renovación de las aguas del Lago de Sanabria es bastante rápida, estimándose un tiempo de residencia de 5-9 meses (De Hoyos, 1996; De Hoyos, et al, 1999). Las entradas del agua por el río Tera representan un 89% del agua que entra al lago, y constituyen el mecanismo más importante de renovación del agua.

La **Tabla 4.1** muestra el tiempo de residencia del agua del Lago de Sanabria para diferentes periodos. El valor medio del tiempo de residencia del agua, para un periodo de 50 años, es 0.76 años (9 meses); el valor mínimo es 0.44 años (5 meses) y en ningún caso es superior a 2 años. Entre Septiembre y Febrero, la tasa de renovación del agua es mucho mayor (media 1.92 años<sup>-1</sup>) que en la otra mitad del año (media 0.7 años<sup>-1</sup>).

En los tres años en los que se llevó a cabo el estudio limnológico de De Hoyos (1996) el tiempo de residencia anual del agua fue menor que la media calculada para el periodo de 50 años (**Tabla 4.1**). Para los tres años del estudio (1987, 1988, 1989) los tiempos de residencia fueron de 0.54, 0.67, y 0.48 años, respectivamente. Durante los periodos lluviosos (septiembre-febrero de 1987-1988 y 1989-1990), la *Tasa de Renovación* del agua fue alta (3.35 años<sup>-1</sup>) y durante septiembre-febrero de 1988-1989 la *Tasa de Renovación* del agua fue baja (1.04 años<sup>-1</sup>).

	1987	1988	1989	1942-1992		
				media	máximo	mínimo
Anual	0.54	0.67	0.48	0.76	1.82	0.44
Sept.-Febr.	0.30	0.90	0.29	0.62	1.92	0.24

*Tabla 4.1. Tiempo de residencia (años) del agua del Lago de Sanabria para diferentes periodos (De Hoyos, 1996; De Hoyos & Comín, 1999). Sept.Febr.= desde Septiembre del año indicado en la tabla hasta Febrero del año siguiente. Los valores máximos correspondieron a 1944 y a Septiembre 1944 – Febrero 1945. Los valores mínimos correspondieron a 1978 y a Septiembre 1978 – Febrero 1979.*

#### 4.3. Transparencia del agua: Disco de Secchi.

La profundidad de visión del disco de Secchi está comprendida entre 5-9 m (De Hoyos, 1996). En el Lago de Sanabria, la clorofila interviene en menor medida que en otros lagos en la variación de la extinción de la luz a través de la columna de agua. Los resultados de De Hoyos (1996) ponen en evidencia la importancia de los aportes alóctonos de material disuelto y particulado (fundamentalmente de carácter orgánico) en la disminución de la profundidad del disco de Secchi. De esta forma, existe una relación directa entre las entradas de agua al lago y la transparencia del agua.

El coeficiente de extinción de la luz varía entre  $0.26 \text{ m}^{-1}$  y  $0.48 \text{ m}^{-1}$ . La zona fótica se extiende hasta una media de 13 m de profundidad.

#### 4.4. Conductividad eléctrica.

La conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}^2$  a  $25^\circ\text{C}$ ) del agua del Lago de Sanabria es una buena indicación de la mineralización del agua, y tiene una correlación muy alta con elementos como el Ca, Mg,  $\text{CO}_3$ , Cl, Na, K y  $\text{SO}_4$  (de Hoyos, 1996). Las rocas plutónicas y metamórficas que constituyen el substrato de la cuenca hidrográfica (fundamentalmente gneisses, granodioritas y granitos), se caracterizan por presentar un grado de meteorización bajo; por tanto, la escasa solubilidad de estas rocas determina el bajo contenido en sólidos totales disueltos (TSD) del agua del lago y, en consecuencia, su baja conductividad eléctrica.

El agua del Lago de Sanabria presenta una conductividad media de  $14.5\text{-}14.9 \mu\text{S}/\text{cm}$  (de Hoyos, 1996; De Hoyos & Comín, 1999). Las isóneas de conductividad en profundidad, en función del tiempo, se muestran en la **Fig. 4.4**. Los valores estimados de la mineralización, si se aplica un factor de 0.55 y 0.90, son de 7.5 y  $13.0 \text{ mg}/\text{l}$  de sales disueltas (de Hoyos, 1996). Por tanto, las aguas del lago están débilmente mineralizadas.

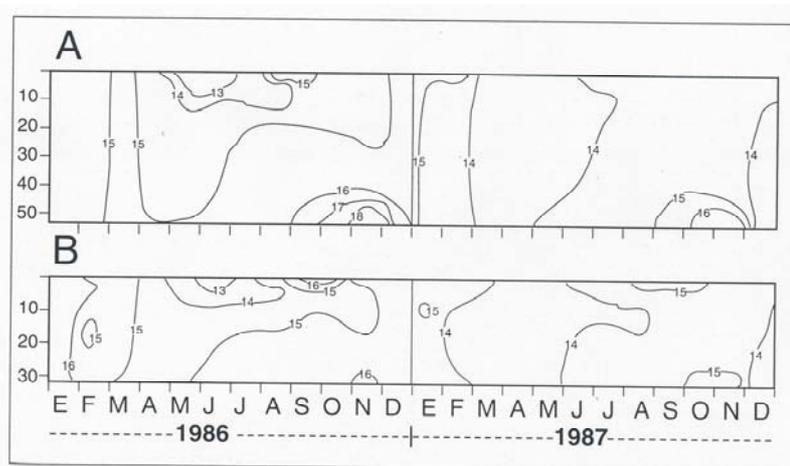


Fig. 4.4. Isóneas de Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) en profundidad (m), en el Lago de Sanabria, durante los años 1986 y 1987. (A) Cubeta E, (B) Cubeta W (Aldasoro et al., 1991; De Hoyos, 1996).

Los valores de conductividad presentan unas oscilaciones cíclicas (**Fig. 4.5**). La conductividad disminuye en primavera, debido al consumo de las sales por las algas del fitoplancton y las macrofitas litorales. Sin embargo, al final del periodo de estratificación, las sales se acumulan en el fondo del lago debido al vertido del contenido somático de las células muertas del fitoplancton (de Hoyos, 1996). El período de circulación invernal rompe la estratificación, homogeneizando de nuevo toda la columna.

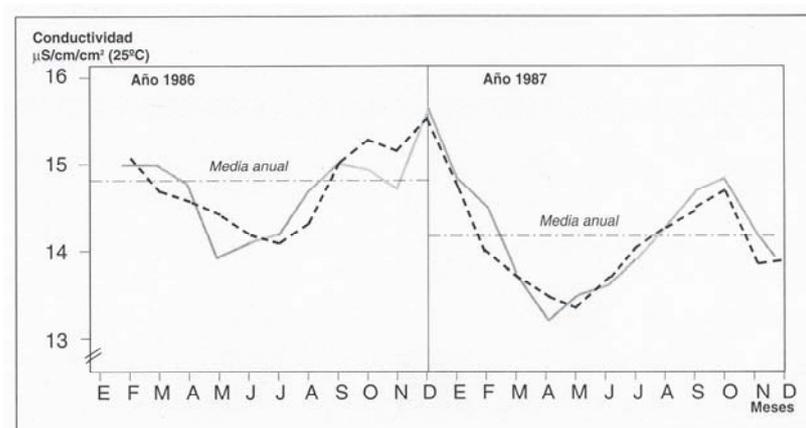


Fig. 4.5. Conductividades medias mensuales en el Lago de Sanabria ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Cubeta E (trazado continuo), Cubeta W (trazado discontinuo) (Aldasoro et al., 1991; De Hoyos, 1996).

El contenido mineral aumenta con el tiempo de residencia del agua en el lago (de Hoyos, 1996). Los cationes que contribuyen principalmente al incremento de la salinidad, durante el periodo de escasa renovación del agua, son el Ca y el Mg, estando relacionado su aumento con la disolución de los minerales del substrato.

Los valores de conductividad en el Tera oscilan entre 9-12  $\mu\text{S}/\text{cm}$  con incrementos anormales en los meses de verano y otoño (27-34  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) que pueden estar relacionados con el aumento de los vertidos del pueblo de Ribadelago durante la temporada turística, así como con los arrastres que se producen al caer las primeras lluvias de invierno (de Hoyos, 1996).

#### 4.5. pH y alcalinidad.

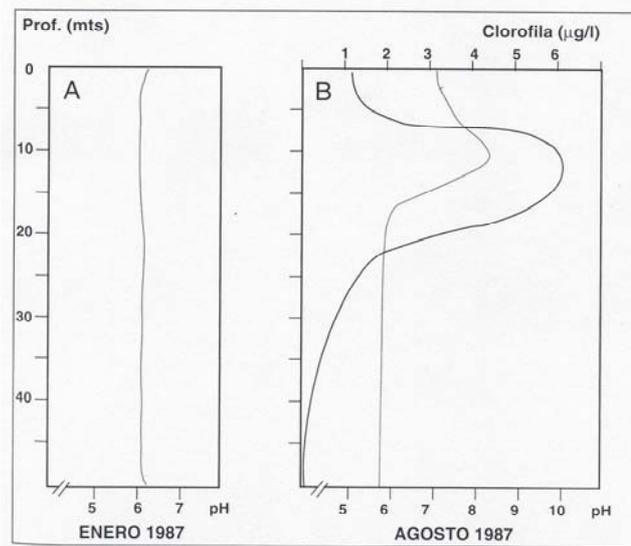
La débil mineralización de las aguas del lago, y en ausencia de ácidos húmicos o de contaminación, permite determinar que en el agua del Lago de Sanabria el pH viene determinado, en su práctica totalidad, por el siguiente equilibrio:



El  $\text{CO}_2$  de la atmósfera se solubiliza en la interfaz aire-agua. Una vez en el agua, el  $\text{CO}_2$  se hidrata en una serie de reacciones cuyo equilibrio de formación-descomposición

determina el pH del agua, en ausencia de otros compuestos que puedan ejercer un efecto tampón.

En el agua del Lago de Sanabria, el pH medio observado ha sido de 6.2-6.5 (de Hoyos, 1996; De Hoyos & Comín, 1999), existiendo, pues, unas condiciones ligeramente ácidas en las aguas del lago. La **Fig. 4.6** muestra el valor de pH, en función de la profundidad, durante la época de mezcla y estratificación. Durante la época de mezcla invernal, el valor de pH es constante en toda la columna de agua, y presenta valores ligeramente superiores a 6. Durante la estratificación estival, se alcanzan valores máximos de pH en profundidades donde se detectan, a su vez, valores máximos de clorofila (zona del metalimnion).



*Fig. 4.6. Valores de pH en el Lago de Sanabria durante la época de mezcla (A) y en la época de estratificación (B). En la estratificación, puede observarse el incremento de los valores de pH (trazado delgado) en función de los valores de la concentración de clorofila (trazado grueso) (Aldasoro et al., 1991; De Hoyos, 1996).*

La distribución vertical de los valores de pH observados responde de forma lineal al uso que se hace del  $\text{CO}_2$  en la zona más productiva, y a su restitución al medio por la respiración de las bacterias descomponedoras en las zonas profundas (de Hoyos, 1996). En los meses de mayor producción, se observan valores máximos de pH (8.4) en aquellas profundidades en que los valores de clorofila son también mayores, y valores mucho más bajos (5.7) en el hipolimnion conforme aumenta la profundidad y se incrementa la actividad bacteriana. Las isolíneas de pH en profundidad, en función del tiempo, se muestran en la **Fig. 4.7**.

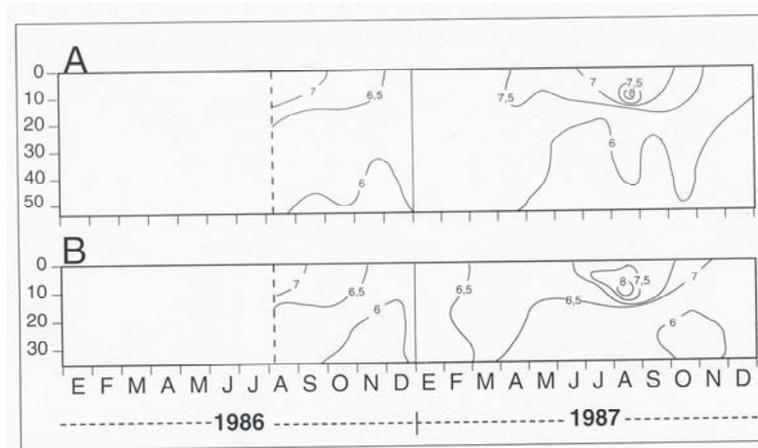


Fig. 4.7. Isolíneas de pH en ambas cubetas del Lago de Sanabria en profundidad (m), durante los años 1986 y 1987. (A) Cubeta E, (B) Cubeta W. (Aldasoro et al., 1991; De Hoyos, 1996).

El equilibrio anteriormente descrito está ligeramente desplazado hacia el predominio de la forma  $\text{CO}_2$  sobre la forma  $\text{HCO}_3^-$ . La escasa concentración de la forma bicarbonato determina que la alcalinidad observada sea siempre muy pequeña (valor medio: 0.045 meq/l) (de Hoyos, 1996; De Hoyos & Comín, 1999).

#### 4.6. Oxígeno disuelto.

El  $\text{O}_2$  se encuentra disuelto en las aguas del Lago de Sanabria en una concentración que decrece progresivamente según avanza el año. Sus oscilaciones presentan un ciclo anual que coincide con el ciclo térmico de estratificación y de mezcla (de Hoyos, 1996), existiendo su concentración máxima al final de la mezcla invernal (enero o febrero), y su concentración mínima al término del período de estratificación (noviembre) (Fig. 4.8).

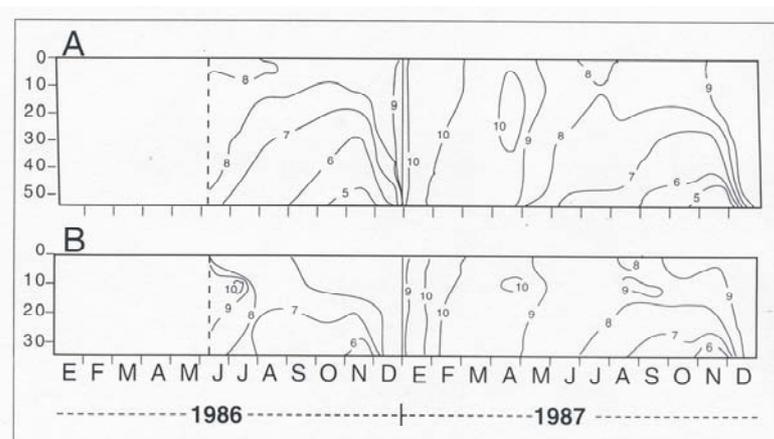


Fig. 4.8. Isolíneas de oxígeno (mg/l) en profundidad (m), en el Lago de Sanabria, durante los años 1986 y 1987. (A) Cubeta E, (B) Cubeta W (Aldasoro et al., 1991; De Hoyos, 1996).

La Fig. 4.9 presenta las concentraciones de  $O_2$  en profundidad, durante las épocas de mezcla y las épocas de estratificación. Durante la mezcla invernal, las concentraciones de  $O_2$  son prácticamente constantes a lo largo de toda la columna de agua, alcanzándose los valores máximos de todo el ciclo anual (9.5-10 mg/l). En cambio, durante la estratificación estival, el contenido en  $O_2$  disminuye apreciablemente y su distribución a lo largo de la columna de agua no se realiza de forma homogénea, detectándose valores relativamente bajos en el epilimnion e hipolimnion (7-8.5 mg /l) y máximos en el metalimnion (9 mg/l).

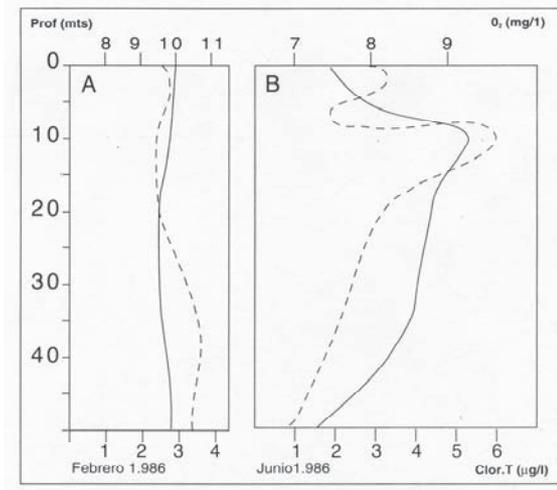


Fig. 4.9. Perfiles de oxígeno (trazado continuo) y Clorofila total (trazado discontinuo) durante los periodos de mezcla (A) y estratificación (B) (Aldasoro et al., 1991; De Hoyos, 1996).

Las variaciones en el contenido de oxígeno del lago tienen que ver fundamentalmente con los procesos relacionados con la estratificación y la mezcla, aunque las entradas de agua juegan un papel importante. Durante la estratificación, el agua está saturada de oxígeno en el epilimnion. Durante el estudio realizado por De Hoyos (1996), el hipolimnion no detectó anoxia en ningún momento, y la concentración mínima registrada fue de 3 mg  $O_2$ /l. En el epilimnion, los máximos de  $O_2$  coinciden con los mínimos de  $CO_2$  y máximos de pH, y viceversa en el hipolimnion. Los procesos implicados en estas relaciones son la fotosíntesis (epilimnion) y la respiración (hipolimnion). La mayor parte del consumo de  $O_2$  se produce en la columna de agua.

El oxígeno presente en las aguas del lago tiene fundamentalmente dos orígenes. La fuente principal es el aire que lo suministra en superficie en la interfaz aire-agua, con una eficacia que depende de la turbulencia, el coeficiente de difusión molecular y la solubilidad del gas en el agua. Durante el estudio realizado por De Hoyos (1996), en las aguas del lago nunca se ha alcanzado la máxima concentración de oxígeno posible que, en esta altitud y a la temperatura de invierno (4°C), sería de 11.5 mg  $O_2$ /l para un 100% de saturación. La concentración máxima observada ha sido de 10.6 mg  $O_2$ /l en enero, lo que representa un 94% respecto a la saturación (de Hoyos, 1996).

La segunda fuente de oxígeno en el Lago de Sanabria son las algas del fitoplancton y las plantas acuáticas de la vegetación litoral. Durante los procesos fotosintéticos de estas comunidades se liberan apreciables cantidades de  $O_2$ ; por esta razón, se detectan máximos metalimnéticos en la concentración de  $O_2$ , durante la estratificación estival, a profundidades coincidentes con los máximos de clorofila (**Fig. 4.9**).

Estas dos fuentes de oxígeno actúan en las capas más superficiales del lago, y sólo en el período de mezcla invernal afectan también a las zonas profundas, debido al hundimiento del agua del epilimnion y a la elevación del agua del hipolimnion. Por tanto, el oxígeno almacenado en estos estratos más profundos, durante el período de mezcla, será la única reserva disponible para la oxidación de la materia orgánica que desciende desde los estratos productivos superiores a lo largo del año. La concentración de  $O_2$  disminuye progresivamente en el hipolimnion hasta valores próximos a 4 mg  $O_2/l$ , valores alcanzados en el fondo del lago al final del período de estratificación térmica (mes de noviembre). La disminución progresiva de  $O_2$  en el lago a lo largo del año está determinado por: a) el consumo de  $O_2$  por parte del fitoplancton y zooplancton, b) la oxidación química de la materia orgánica, y c) la respiración bacteriana (sobretudo en interfaz sedimento-agua).

Durante el estudio limnológico de De Hoyos (1996), el  $O_2$  no ha estado ausente en ningún momento del ciclo anual, ni a ninguna profundidad. Este elemento se ha encontrado en las aguas del lago en suficiente concentración para que no aparezcan formas reducidas del nitrógeno ( $NH_4$ ), del carbono ( $CH_4$ ) o del azufre ( $SH_2$ ). Se ha observado, no obstante, que el consumo de oxígeno en las aguas profundas es superior al que cabría esperar de su producción interna, por ello es de suponer que buena parte de la reserva hipolimnética de oxígeno se emplea en descomponer la materia orgánica exógena que llega al lago a través del río Tera y de su perímetro litoral (De Hoyos, 1996).

#### 4.7. Fosfatos.

En el Lago de Sanabria, todo el ciclo ecológico del P transcurre en forma de fosfatos, ya que la energía de formación de estos compuestos es muy grande y no es posible su reducción en un ambiente natural. Las algas toman fosfatos y los ceden a gran velocidad, pudiendo afirmarse que el fosfato detectado en un momento determinado en el agua es el resultado de un cierto equilibrio con las poblaciones de algas existentes, manteniéndose en el agua una relación N/P muy similar a la existente en la materia viva vegetal; 15N:1P (en átomos) o 1P:7.5N en peso. Las variaciones en el medio de la relación N/P informan en cada momento de cuál de los dos elementos es el limitante. Si esta relación es mayor de 16 (en átomos) el P es el limitante; si es menor de 16, entonces el limitante sería el N.

En el epilimnion del Lago de Sanabria, ha sido determinada la relación N/P para un ciclo anual completo (De Hoyos, 1996) (**Fig. 4.10**). Durante el periodo de mezcla invernal, el elemento limitante es el P, debido a que se alcanzan valores de N/P superiores a 16. En cambio, durante los principales meses de estratificación estival, el elemento limitante es el N.



Fig. 4.10. Valores medios de la relación N/P ( $\mu\text{g at/l}$ ) en el epilimnion del Lago de Sanabria (Aldasoro et al., 1991; De Hoyos, 1996).

La mayor parte de la fracción de P en el agua del lago se encuentra en forma orgánica disuelta; la fracción particulada de este elemento es la menos abundante. El fósforo inorgánico disuelto (PRS) y el fósforo total (PT) están directamente relacionados con las entradas de agua del río Tera (De Hoyos, 1996).

Las concentraciones medias mensuales de fosfatos solubles, en ambas cubetas, se muestran en la Fig. 4.11. En los valores observados se aprecia una acentuada estacionalidad, con máximos en la época de la mezcla invernal (De Hoyos, 1996). Durante la mezcla invernal se produce un retorno, desde las zonas más profundas, de la mayor parte del P vertido al medio por la descomposición de la materia orgánica particulada. Este afloramiento de fosfatos en las zonas más iluminadas aportará nutrientes para el crecimiento primaveral de las algas. Posteriormente, la muerte y sedimentación del fitoplancton aportará P, de nuevo, a las zonas más profundas del hipolimnion.

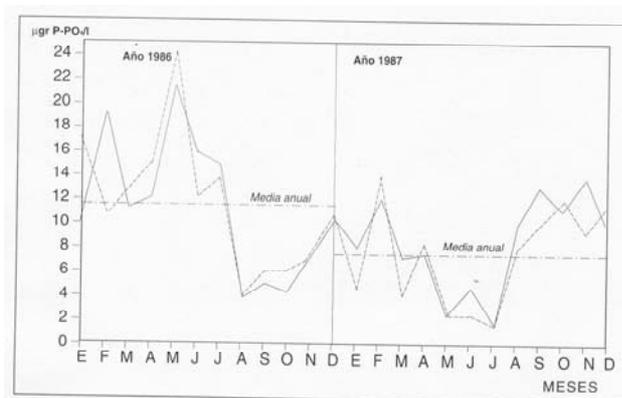


Fig. 4.11. Concentraciones medias mensuales de fosfatos solubles en el Lago de Sanabria. Cubeta E (trazado continuo), Cubeta W (trazado discontinuo) (Aldasoro et al., 1991; De Hoyos, 1996).

Debido a la escasa mineralización de las aguas del Lago de Sanabria, sólo una pequeña fracción de P se incorporará en el sedimento (De Hoyos, 1996). La incorporación de fósforo inorgánico al sedimento no se produce por precipitación en forma de fosfato de Fe o Ca; probablemente sea importante su adsorción a partículas de hidróxido de Fe.

La concentración de P en profundidad, en función del tiempo, se muestra en la Fig. 4.12. En los diagramas se puede observar la casi ausencia de un gradiente de concentración de P entre la superficie y el fondo del lago, observación que constata la baja productividad del Lago de Sanabria (De Hoyos, 1996). A medida que avanza la estratificación, se produce una pérdida continua de fosfatos hacia el fondo que determina una disminución progresiva tanto del fósforo soluble como del número de algas (De Hoyos, 1996). Así, se llega a los mínimos estivales próximos a  $1 \text{ mg PO}_4/\text{l}$  (Fig. 4.11), concentración que es limitante para el crecimiento del fitoplancton.

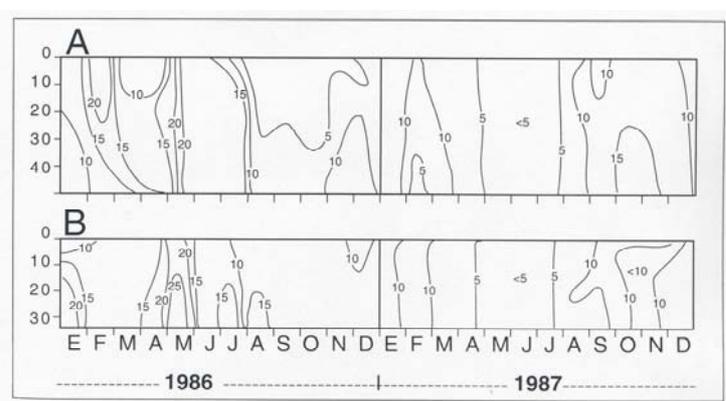


Fig. 4.12. Isolinias en profundidad (m) de la concentración de fosfatos solubles ( $\mu\text{g P-PO}_4/\text{l}$ ), en el Lago de Sanabria, durante los años 1986 y 1987. (A) Cubeta E, (B) Cubeta W (Aldasoro et al., 1991; De Hoyos, 1996).

#### 4.8. Compuestos de N.

El N es el elemento más relacionado con el crecimiento y sucesión del fitoplancton en el Lago de Sanabria: existe, no obstante, una limitación alternativa por P (De Hoyos, 1996). La mayor parte de la fracción de N en el agua del Lago de Sanabria se encuentra en forma orgánica disuelta; la fracción particulada es la menos abundante. Todo el nitrógeno que se ha detectado en el lago se encuentra prácticamente en su forma más oxidada, es decir, en nitratos ( $\text{NO}_3$ ).

La concentración en profundidad de nitratos, en función del tiempo, se muestra en la Fig. 4.13. Los perfiles de concentración evidencian unas condiciones de escasez de nitratos en el epilímnion (durante los meses de julio, agosto, y septiembre), con valores muy bajos (De Hoyos, 1996). Esto es debido a que el crecimiento de las algas del plancton, durante la primavera, consume este compuesto, y se sedimenta posteriormente hacia el hipolímnion para formar parte de los organismos muertos. Los

valores medios mensuales de las concentraciones de nitratos, en ambas cubetas, se muestran en la **Fig. 4.14**.

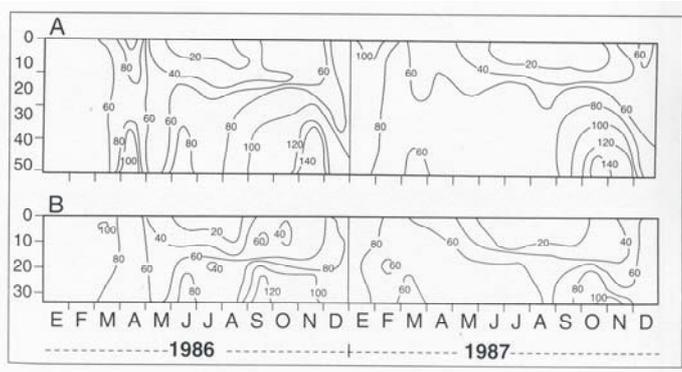


Fig. 4.13. Isolíneas en profundidad (m) de las concentraciones de nitratos ( $\mu\text{g N-NO}_3/\text{l}$ ) en el Lago de Sanabria, en los años 1986 y 1987. (A) Cubeta E, (B) Cubeta W (Aldasoro et al., 1991; De Hoyos, 1996).

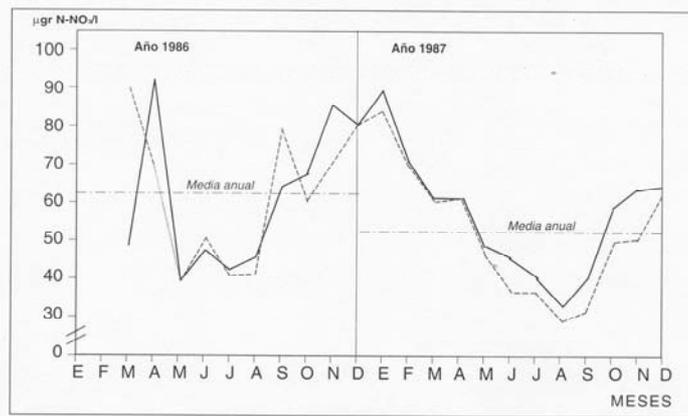


Fig. 4.14. Valores medios mensuales de las concentraciones de nitratos en ambas cubetas del Lago de Sanabria. Cubeta E (trazado continuo), Cubeta W (trazado discontinuo) (Aldasoro et al., 1991; De Hoyos, 1996).

En el hipolímnion, la materia orgánica del plancton muerto sufre un proceso de amonificación controlado por las bacterias heterótrofas. El amonio resultante, en aerobiosis, es oxidado por las bacterias nitrificantes a nitritos y nitratos. Por ello, estos elementos presentan su máxima concentración cerca del fondo del lago al final del periodo de estratificación (meses de octubre y noviembre) (De Hoyos, 1996).

Al contrario de lo que sucede con los fosfatos, no existen formas minerales insolubles de los nitratos. Sólo una mínima parte del N se fija al sedimento por tiempo no muy largo, al absorberse el amonio sobre compuestos húmicos, o bien por enterramiento de restos orgánicos. Por tanto, la mezcla invernal devuelve prácticamente la totalidad de los nitratos hacia la zona iluminada, homogeneizando toda la columna de agua (**Fig. 4.13**).

La concentración de nitratos está inversamente relacionada con las entradas de agua del río Tera (De Hoyos, 1996). El agua que entra desde el río Tera tiene mayor porcentaje de nitrógeno orgánico disuelto (NOD) y menor porcentaje de nitratos que el

agua del lago; en el lago tiene lugar un aumento de nitratos como consecuencia de la mineralización del NOD. Se ha estimado que un 8.8% del nitrógeno que entra a través del río es retenido en el sedimento del lago (De Hoyos, 1996).

#### 4.9. Relación C/N.

En el Lago de Sanabria, la relación atómica C/N de la materia orgánica oxidada, en los periodos de grandes entradas de agua, es de 43.9 (De Hoyos, 1996), valor similar al estimado para la materia alóctona (47: Hutchinson, 1957). La relación atómica C/N de la materia orgánica oxidada, en los periodos de escasas entradas de agua, es de 10.1 (De Hoyos, 1996), valor similar al estimado para el fitoplancton (9.1; Hecky & Kilham, 1988).

#### 4.10. Sílice ( $\text{SiO}_2$ ).

La sílice ( $\text{SiO}_2$ ) proviene del cuarzo existente en las rocas plutónicas y metamórficas de la cuenca hidrográfica del Lago de Sanabria. La escasa solubilidad del cuarzo determina que las concentraciones de sílice observadas en las aguas del lago sean bastante bajas. La sílice actúa como un nutriente esencial para las Diatomeas, ya que entra a formar parte importante de su esqueleto externo.

La concentración de sílice en profundidad, en función del tiempo, se muestra en la Fig. 4.15. Debido a la escasa productividad del lago, las oscilaciones de la concentración de este elemento en sus aguas son mínimas (De Hoyos, 1996). Se observa, no obstante, su progresiva desaparición de la zona iluminada durante los meses más productivos, y su acumulación en el hipolímnion, mostrando un gradiente que puede ir de 1 mg Si-SiO<sub>4</sub>/l en superficie hasta 1.9 mg Si-SiO<sub>4</sub>/l en el fondo. La mezcla invernal homogeneiza de nuevo toda la columna de agua devolviendo hacia el epilímnion la sílice necesaria para el crecimiento de las diatomeas (De Hoyos, 1996).

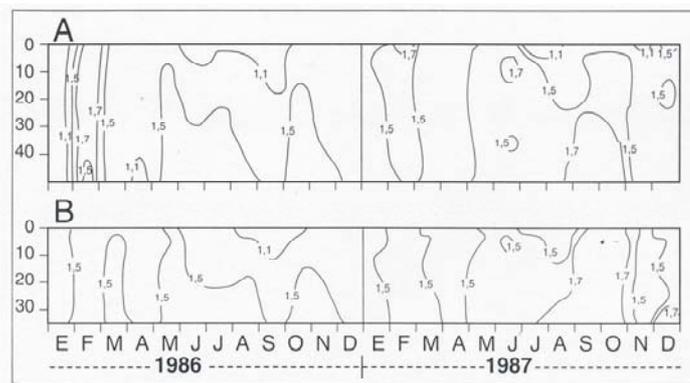


Fig. 4.15. Isolíneas en profundidad (m) de la concentración de Sílice (mg Si-SiO<sub>4</sub>/l) en el Lago de Sanabria, durante los años 1986 y 1987. (A) Cubeta E, (B) Cubeta W (Aldasoro et al., 1991; De Hoyos, 1996).

Por tanto, las disminuciones de silicio se relacionan con el crecimiento de las poblaciones de diatomeas. El contenido medio de silicio de las diatomeas del lago (estimado a partir de las variaciones de silicio en el agua) es  $0.11 \text{ pg}/\mu\text{m}^3$  (expresado por unidad de volumen celular) (De Hoyos, 1996).

## Subcapítulo 5. CARACTERIZACIÓN BIOLÓGICA DEL LAGO DE SANABRIA.

### 5.1. El fitoplancton en el Lago de Sanabria.

La producción primaria en un sistema lacustre está generada por todos los organismos que utilizan directamente la energía solar y la transforman en energía química mediante la fotosíntesis: estos organismos constituyen el nivel productor. En el Lago de Sanabria, el fitoplancton constituye el nivel productor; otro componente de este nivel es la vegetación macrofítica, que se encuentra únicamente en las zonas litorales (De Hoyos, 1996). El resto de los organismos utilizan la materia formada por los organismos productores.

El fitoplancton experimenta cambios estacionales que se deben a factores físicos (luz, temperatura, turbulencia), factores químicos (nutrientes) y factores biológicos (competencia con otras especies y depredación por el zooplancton) (De Hoyos, 1996). El fitoplancton, a lo largo del año, va adaptándose a las condiciones del medio, desde un agua turbulenta y rica en nutrientes (mezcla invernal) a un agua estratificada con el epilimnion exhausto (estratificación estival).

El fitoplancton del lago es característico de aguas poco mineralizadas (De Hoyos, 1996). Aparecen muchas especies de desmidiáceas, diatomeas (como *Aulacoseira distans*, *Tabellaria flocculosa* y *T. fenestrata*), y abundantes crisofíceas. Algunas de estas algas son, además, indicadoras del bajo pH del medio (desmidiáceas y crisofíceas).

En el estudio limnológico de De Hoyos (1996) se estudió el fitoplancton tanto de una forma cuantitativa como cualitativa. El aspecto cuantitativo incluye la determinación de los parámetros de concentración de clorofila, Índice de Margalef, y número de células/ml. El aspecto cualitativo incluye la determinación de las especies presentes y su distribución espacio-temporal.

### 5.2. Caracterización cuantitativa del fitoplancton.

#### 5.2.1. Clorofila. Índice de Margalef.

##### 5.2.1.1. Clorofila.

La clorofila del fitoplancton permite captar la energía de la luz y sintetizar la materia orgánica a partir del CO<sub>2</sub> disuelto en el agua. La determinación de la concentración de clorofila constituye, por tanto, un parámetro limnológico importante para determinar la biomasa activa del fitoplancton en un instante temporal determinado.

En el Lago de Sanabria, la distribución de la clorofila total a lo largo del año, y a las diferentes profundidades (**Fig. 5.1**), viene determinada por el paso gradual de unas condiciones propias de la mezcla invernal, a otras propias de la estratificación estival. Durante la mezcla invernal, las aguas son frías y ricas en nutrientes, con escaso desarrollo del fitoplancton; posteriormente, va apareciendo un agua estratificada con

epilímnion cálido del que van desapareciendo los nutrientes, consumidos por el desarrollo de una sucesión de comunidades de algas (De Hoyos, 1996).

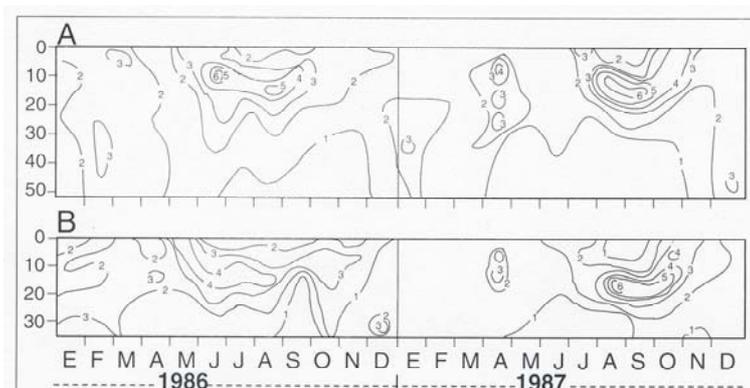


Fig. 5.1. Isolíneas (m) de la concentración de Clorofila ( $\mu\text{g/l}$ ) en el Lago de Sanabria durante los años 1986 y 1987. (A) Cubeta E, (B) Cubeta W (Aldasoro et al., 1991; De Hoyos, 1996).

El desarrollo de las poblaciones de fitoplancton está evidenciado por los máximos metalimnéticos, situados entre los 10-20 m de profundidad (**Fig. 5.1**). Los principales factores físico-químicos que determinan el desarrollo de estas poblaciones en el metalimnion son: a) la luz y b) los nutrientes. El fitoplancton muestra un crecimiento óptimo allí donde estos dos factores existan simultáneamente. Los máximos de clorofila se sitúan entre el límite de la zona fótica ( $Z_{\text{eu}}$ ) y la profundidad de la termoclina ( $Z_{\text{m}}$ ) (siempre que  $Z_{\text{eu}}$  sea mayor que  $Z_{\text{m}}$ ) (De Hoyos, 1996).

Generalmente, existen dos picos de clorofila por año, uno a principios de verano y otro, normalmente más importante, a principios de otoño (De Hoyos, 1996). Altas tasas de renovación del agua durante el invierno condicionan la ausencia de un máximo de clorofila en primavera; los años con menos entradas de agua durante el invierno presentan un pequeño pico de clorofila en primavera, nunca tan alto como los de verano u otoño. El aumento de clorofila de principios de otoño se produce debido al aumento de nutrientes que tiene lugar como consecuencia de la profundización de la termoclina y la mineralización de la materia orgánica (De Hoyos, 1996).

#### 5.2.1.2. Índice de Margalef: $D_{430}/D_{665}$

La relación entre la clorofila *a* y el resto de los pigmentos (Índice de Margalef =  $D_{430}/D_{665}$ ) permite determinar el estado de las poblaciones de fitoplancton (Margalef, 1983; De Hoyos, 1996). Un índice alto (de 5 a 9) es el resultado de un alto porcentaje de otros pigmentos respecto la clorofila *a*, que es la más directamente implicada en la fotosíntesis. Los valores altos en el Índice de Margalef están asociados a: a) poblaciones envejecidas o sometidas a déficit de N, b) poblaciones expuestas a un exceso de iluminación, y c) algas muertas donde aparecen clorofilas detríticas.

Los índices bajos corresponden, por el contrario, a los momentos de proliferación del fitoplancton, caracterizados por: a) poblaciones jóvenes, b) abundancia de nutrientes, y c) predominio de la clorofila *a*. Los valores bajos del Índice de Margalef coinciden, en el espacio y en el tiempo, con los máximos de clorofila total observados en el lago (De Hoyos, 1996).

La Fig. 5.2 muestra los valores del Índice de Margalef en profundidad, en función del tiempo. Los resultados evidencian unos valores altos en el hipolímion del Lago de Sanabria durante los meses en que el N es limitante, y coincidiendo con los máximos profundos de clorofila detrítica del invierno.

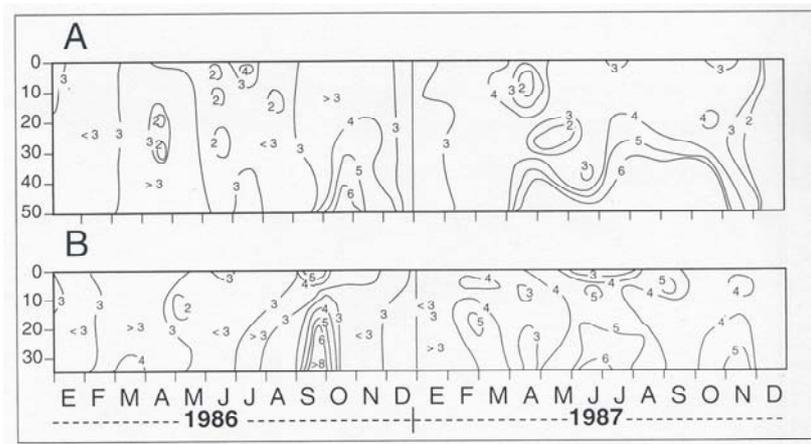


Fig. 5.2. Isolinias de los valores del cociente  $D_{430}/D_{665}$  (Índice de Margalef) en profundidad (m), en el Lago de Sanabria, durante los años 1986 y 1987. (A) Cubeta E, (B) Cubeta W (Aldasoro et al., 1991; De Hoyos, 1996).

### 5.2.2. Densidad total del fitoplancton.

La densidad total del fitoplancton en el Lago de Sanabria está comprendida entre 276 células/ml (diciembre 1987) y 5.563 células/ml (agosto 1987) (Fig. 5.3). Como puede observarse en la Fig. 5.4, los valores más altos de densidad se producen durante el verano (De Hoyos, 1996). Son valores superiores a los que cabría esperar en un lago oligotrófico, y se deben a las numerosas colonias de cianofíceas presentes en esta época.

La densidad total de fitoplancton presenta una correlación positiva con otros parámetros, como la temperatura, la clorofila total, y el pH (Fig. 5.4). Los dos primeros parámetros están asociados al aumento de la radiación solar durante la primavera y el verano, fenómeno que implica un aumento de la temperatura del agua y un aumento en la concentración de clorofila. El pH aumenta con la proliferación del fitoplancton debido a los procesos fotosintéticos; la fotosíntesis adquiere  $\text{CO}_2$  del agua, con lo que disminuye su acidez. El número de células está relacionado inversamente con la tasa de renovación del agua (De Hoyos, 1996).

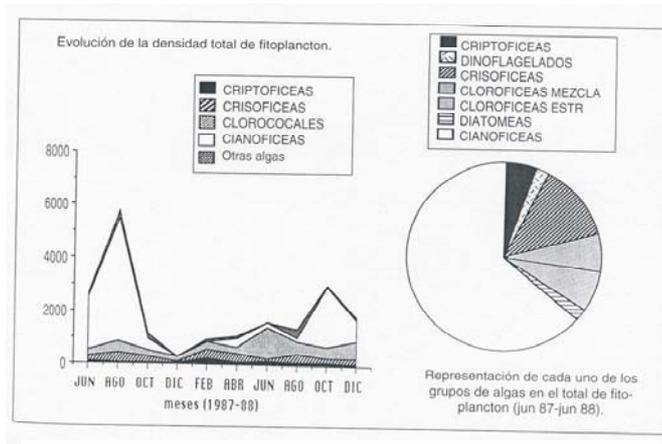


Fig. 5.3. Evolución de la densidad total del fitoplancton en el Lago de Sanabria, y porcentaje de cada uno de los grupos de algas en el total de fitoplancton, durante el periodo junio '87-junio '88 (Aldasoro et al., 1991; De Hoyos, 1996).

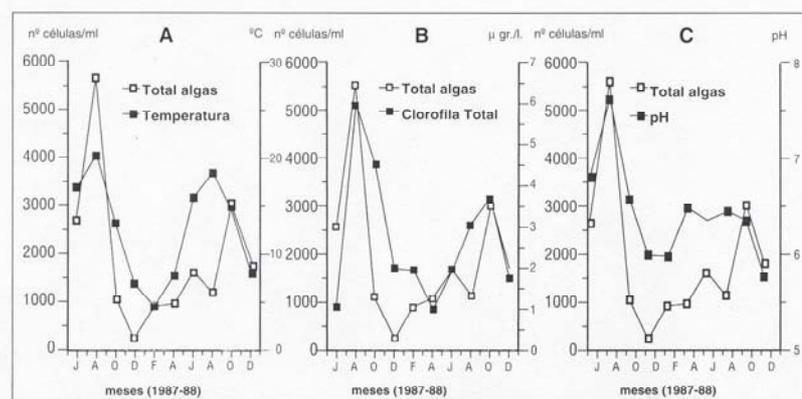


Fig. 5.4. Evolución total de las algas del fitoplancton del Lago de Sanabria (células/ml) con respecto a la Temperatura (A), a la concentración de clorofila (B) y al pH (C) (Aldasoro et al., 1999; De Hoyos, 1996).

### 5.3. Caracterización cualitativa del fitoplancton.

#### 5.3.1. Cianofíceas.

Cuando la relación N/P del agua se desvía a favor del P, se desarrollan cianofíceas fijadoras de N que introducen nitrógeno procedente de la atmósfera en el sistema. En el Lago de Sanabria, a pesar de las características ácidas y relativamente oligotróficas de sus aguas, se encuentra un gran desarrollo de las cianofíceas. Dos especies son especialmente abundantes: *Microcystis sp.* y *Merismopedia glauca*. El desarrollo de las cianofíceas se produce precisamente en los meses en que este cociente es más bajo, cuando el N es limitante (De Hoyos, 1996).

#### 5.3.2. Clorofíceas.

Dentro de las clorofíceas, en el Lago de Sanabria encontramos muchos representantes de las Clorococales. Este grupo de algas sigue en importancia a las cianofíceas en cuanto a su representación en el plancton, representando un 70% sobre el total en el mes de junio de 1988.

#### 5.3.3. Desmidiáceas.

Las Desmidiáceas constituyen una subclase dentro de las Clorofíceas. Se encuentran especialmente diversificadas y abundantes en aguas ácidas y de bajo contenido mineral, en lagos de cuenca silícica. En el Lago de Sanabria, el número de Desmidiáceas es insignificante (1% del total) comparado con el número total de algas (De Hoyos, 1996). En cambio, el número de especies es abundante, existiendo más de una docena. Las Desmidiáceas están presentes durante todo el año, pero es en el verano cuando son más abundantes.

#### 5.3.4. Crisofíceas.

La Crisofíceas proliferan en su mayor parte en aguas puras y oligotróficas, y el desarrollo de algunas especies parece asociado a concentraciones bajas de nutrientes y a aguas ácidas. En el Lago de Sanabria, las crisofíceas están bien representadas y forman una parte considerable del número total de individuos del fitoplancton (7-32%, según los meses). Las principales especies representadas son: *Mallomonas* y *Dinobryon*. El porcentaje de crisofíceas en el total de algas es mayor en las épocas frías (De Hoyos, 1996).

#### 5.3.5. Diatomeas.

Las diatomeas tienen la membrana impregnada de sílice, característica que determina la preservación de sus valvas en el sedimento lacustre. En el Lago de Sanabria, el crecimiento de las diatomeas va eliminando paulatinamente la sílice de las zonas iluminadas, para acumularlo en las zonas profundas con la sedimentación de las diatomeas muertas (De Hoyos, 1996).

La representación de las diatomeas, en el número total de las algas, es muy bajo (0.8-0.9%). Esto se debe prácticamente al bajo pH de sus aguas, ya que la concentración de sílice en el lago permitiría un desarrollo más amplio de estas algas (30-50 µg at/l).

Las diatomeas del lago están constituidas principalmente por dos géneros de diatomeas centrales: *Aulacoseira distans* y *Cyclotella glomerata*. Otras diatomeas centrales son: *Cyclotella stelligera* y *M. granulata*. Las especies de pennales más abundantes son: *Tabellaria fenestrata* y *T. flocculosa*, y procedentes del bentos *Ceratoneis arcus* y *Gomphonema acuninatum*. En el Lago de Sanabria no se encuentran especies indicadoras de eutrofización.

En la caracterización limnológica de De Hoyos (1996), *M. distans* y *C. glomerata* aparecen durante todo el tiempo del estudio, siendo siempre más abundante *M. distans*. Las especies de pennales se observan especialmente en los meses de primavera. En general, se produce un gran desarrollo de las diatomeas en la época de primavera, debido a su alta tasa de crecimiento en agua frías y bien estratificadas; posteriormente, disminuye en verano y reaparece en otoño.

#### 5.3.6. Dinoflagelados.

Los Dinoflagelados contribuyen a un porcentaje muy bajo al total de las algas del Lago de Sanabria, presentando un máximo en Octubre. Las especies más representativas son la *Peridinium* y *Ceratium*, uno de los elementos más frecuentes y voluminosos del plancton de los lagos. *Peridinium* y *Ceratium*, aunque poco abundantes en número de células en el Lago de Sanabria, son de gran tamaño y su contribución a la biomasa es importante. *Peridium* abunda en los meses fríos.

#### 5.3.7. Criptofíceas.

En las aguas dulces, las Criptofíceas son particularmente abundantes en las aguas frías, y abundan en las aguas oligotróficas y de escasa mineralización (Margalef et al., 1983). En el Lago de Sanabria existen 5 o 6 especies de criptofíceas. La especie con mayor contribución al número de criptofíceas es *Rhodomonas minuta*. Otras especies presentes son: *Chroomonas reflexa* y *Criptomonas*. La contribución al número total de algas es mayor durante la época fría.

#### 5.4. El zooplancton del Lago de Sanabria.

El Lago de Sanabria se caracteriza por presentar una pobre fauna zooplanctónica (De Hoyos, 1996), probablemente debido a: a) la escasa mineralización de sus aguas, y b) la elevada tasa de renovación de sus aguas. La mayor parte de la biomasa del zooplancton está constituido por pequeños crustáceos que se desarrollan con especial intensidad en los meses de verano y otoño.

Los principales crustáceos existentes en el Lago de Sanabria son:

##### Copépodos.

- *Diatomus castaneti ssp castaneti*: es el mayor de los organismos planctónicos. Prefiere aguas frías y poco mineralizadas.
- *Tropocyclops prasinus*: abundante en las capas más superficiales durante verano y otoño.
- *Cyclops strenuus*: aparece en verano y en aguas profundas.

Cladóceros.

- *Daphnia longispina*: su biomasa es más escasa en invierno, pero su porcentaje permanece más o menos constante a lo largo del año. Se sumerge en aguas profundas en los meses de verano.
- *Diaphanosoma brachyurum*: prolifera durante el verano, en aguas superficiales.
- *Bosmina longirostris*: prolifera durante el otoño.

Por último, existen pequeños crustáceos de origen bentónico situados en las orillas del lago, constituidos fundamentalmente por cladóceros.

## **Subcapítulo 6. TRAMPAS DE SEDIMENTACIÓN EN EL LAGO DE SANABRIA.**

El conocimiento de los procesos sedimentarios actuales existentes en el Lago de Sanabria permite comprender el conjunto de factores ambientales que determinan las características deposicionales del sistema lacustre. En consecuencia, los factores paleoambientales que actuaron en el sedimento durante el Holoceno podrán inferirse, con mayor facilidad, mediante la aplicación del principio del actualismo.

A tal fin, se ha procedido a la instalación de trampas de sedimentación, ubicadas en los puntos más profundos de la cubeta occidental y oriental del Lago de Sanabria. Las trampas de sedimentación están constituidas por tubos de metacrilato transparentes, de 5.4 cm de diámetro y 60 cm de longitud; la relación altura/diámetro es alta, con lo que se evita la resuspensión del sedimento acumulado. Las trampas de sedimentación han sido instaladas a 10 m de la interfaz agua-sedimento, y han permitido determinar las relaciones entre las distintas fracciones de sedimento (inorgánico y orgánico) con varios parámetros limnológicos y ambientales de la cuenca.

Los parámetros limnológicos medidos en las trampas de sedimentación han sido: a) fracción orgánica, b) fracción inorgánica, c) residuo seco. Estos datos han sido comparados junto con otros parámetros ambientales y limnológicos relacionados con el balance hídrico y la transparencia del agua, como son: 1) la pluviometría en Ribadelago, 2) el agua turbinada de los embalses de la cuenca, 3) el nivel del lago, 4) el color del agua, y 5) la profundidad del disco de Secchi.

La fracción inorgánica acumulada en las trampas ha sido analizada para determinar su composición mineralógica. El análisis mineralógico ha sido comparado, asimismo, junto con los parámetros relacionados con el balance hídrico: 1) la pluviometría en Ribadelago, 2) el agua turbinada de los embalses de la cuenca, y 3) el nivel del lago.

Las trampas de sedimentación han sido instaladas por el equipo de limnología de la Universidad de Salamanca, durante agosto de 1998 hasta noviembre de 1999; el sedimento fue recuperado mensualmente por dicho equipo. Los datos de sedimento de la cubeta occidental están comprendidos en el periodo agosto'98-noviembre'99, mientras que en la cubeta oriental el intervalo es ligeramente más corto (agosto'98-agosto'99). Además, la cubeta oriental presenta ausencia de datos en diciembre'98, debido a la existencia de problemas acaecidos durante el proceso de recuperación de la trampa de sedimento. Los datos limnológicos y ambientales (pluviometría, agua turbinada, nivel del lago, color del agua, disco de Secchi) están comprendidos en el periodo mayo'98-diciembre'99. Los datos mineralógicos de la cubeta occidental se encuentran comprendidos en el periodo noviembre'98-noviembre'99, mientras que la cubeta oriental está comprendida en noviembre'98-agosto'99 (con la ausencia de diciembre'98 y julio'99).

### 6.1. El sedimento. Tasa de sedimentación.

El residuo seco (Rs) representa la cantidad de sedimento que se hubiera depositado durante el periodo de tiempo en que se ha mantenido la trampa colocada en el fondo del lago. Está formada por una fracción inorgánica y una fracción orgánica. La fracción inorgánica conforma los fragmentos detríticos de los minerales que constituyen el substrato de la cuenca hidrográfica del Lago de Sanabria. La fracción orgánica está representada por materia orgánica tanto de origen alóctono (restos aportados por el río Tera) como autóctono (producción primaria del lago).

Los resultados de la determinación del Rs de las trampas de sedimentación se muestran en la **Tabla 6.1**. Los datos de sedimento son tasas de sedimentación. Durante el periodo de estudio, la cubeta W ha presentado una mayor tasa de sedimentación que la cubeta E: el Rs de la cubeta occidental es de 833 mg/m<sup>2</sup> día (valor medio), mientras que en la cubeta oriental es de 668 mg/m<sup>2</sup> día. Asimismo, la cubeta W presenta una mayor proporción de sedimento inorgánico (59.1%) con respecto a la cubeta oriental (53.6%). Las **Fig. 6.1** y **6.2** muestran las cantidades de sedimento, tanto inorgánico como orgánico, sedimentadas en ambas cubetas durante el periodo de estudio.

### 6.2. Balance hídrico y tasa de sedimentación.

Los resultados obtenidos relacionados con el balance hídrico del Lago de Sanabria (pluviometría en Ribadelago, agua turbinada de los embalses, y nivel del agua del lago) se muestran en la **Tabla 6.2**. Los resultados evidencian una relación directa entre el balance hídrico del lago y la tasa de sedimentación. Las máximas cantidades de sedimento (inorgánico y orgánico) están relacionadas fundamentalmente con niveles relativamente altos del agua del lago (**Fig. 6.3, 6.4** y **6.5**). Así, en marzo de 1999 y en octubre-noviembre de 1999, las tasas de sedimentación fueron elevadas, coincidiendo con un aumento apreciable en el nivel del lago. En marzo de 1999 se produjo un aumento considerable del nivel, registrándose los valores máximos de sedimentación durante el periodo de estudio. Los resultados para ambas cubetas son:

Cubeta W: presenta un máximo de sedimento inorgánico de 1551 mg/m<sup>2</sup> día (en octubre 1999) y un mínimo de 175 mg/m<sup>2</sup> día (en septiembre 1998). En cuanto al contenido en materia orgánica, existe un máximo de 978 mg/m<sup>2</sup> día (en marzo 1999) y un mínimo de 95 mg/m<sup>2</sup> día (en febrero 1999).

Cubeta E: presenta un máximo de sedimento inorgánico de 681 mg/m<sup>2</sup> día (en marzo 1999) y un mínimo de 100 mg/m<sup>2</sup> día (en septiembre 1998). En cuanto al contenido en materia orgánica, existe un máximo de 1415 mg/m<sup>2</sup> día (en marzo 1999) y un mínimo de 76 mg/m<sup>2</sup> día (en febrero 1999).

Los valores mínimos están asociados a momentos en que el lago presenta niveles relativamente bajos, o constantes, de sus aguas (**Fig. 6.3, 6.4** y **6.5**).

### 6.3. Factores de control que determinan el nivel actual del agua del Lago de Sanabria.

En ausencia de influencia antropogénica en el balance hídrico del Lago de Sanabria, el nivel del lago está determinado fundamentalmente por el régimen de precipitaciones de la región. No obstante, la existencia de diversas presas en la cuenca hidrográfica interfiere en el balance hídrico natural, condicionando el nivel final de las aguas del

Fecha	CUBETA W				
	Fracción inorgánica (mg/m <sup>2</sup> día)	Materia orgánica (mg/m <sup>2</sup> día)	Residuo seco (mg/m <sup>2</sup> día)	Fracción inorgánica (%)	Materia orgánica (%)
ago-98	369.46	251.91	621.37	59.5	40.5
sep-98	174.66	399.21	573.87	30.4	69.6
oct-98	358.67	327.48	686.15	52.3	47.7
nov-98	406.67	321.06	727.73	55.9	44.1
dic-98	598.36	226.41	824.76	72.5	27.5
ene-99	426.72	178.63	605.34	70.5	29.5
feb-99	246.80	94.92	341.72	72.2	27.8
mar-99	489.04	978.07	1467.11	33.3	66.7
abr-99	507.72	264.01	771.73	65.8	34.2
may-99	389.86	311.89	701.74	55.6	44.4
jun-99	283.82	218.32	502.14	56.5	43.5
jul-99	276.54	218.32	494.86	55.9	44.1
ago-99	374.26	224.56	598.82	62.5	37.5
sep-99	323.44	258.75	582.19	55.6	44.4
oct-99	1550.82	572.15	2122.97	73.0	27.0
nov-99	1257.94	447.04	1704.97	73.8	26.2
Valor medio	502.17	330.79	832.96	59.1	40.9
Acumulación total	8035	5293	13328		
Mínimo	174.66	94.92	341.72	30.4	26.2
Máximo	1550.82	978.07	2122.97	73.8	69.6

Tabla 6.1. Sedimento recogido en las trampas de sedimentación del Lago de Sanabria. Tasas de sedimentación y proporción de fracción inorgánica y orgánica del residuo seco mensual. Datos de la Cubeta W, durante el periodo agosto'98-noviembre'99.

CUBETA E					
Fecha	Fracción inorgánica (mg/m <sup>2</sup> día)	Materia orgánica (mg/m <sup>2</sup> día)	Residuo seco (mg/m <sup>2</sup> día)	Fracción inorgánica (%)	Materia orgánica (%)
ago-98	251.91	268.70	520.61	48.4	51.6
sep-98	99.80	274.46	374.26	26.7	73.3
oct-98	265.10	233.91	499.02	53.1	46.9
nov-98	406.67	278.25	684.92	59.4	40.6
dic-98					
ene-99	496.18	248.09	744.27	66.7	33.3
feb-99	284.76	75.94	360.70	78.9	21.1
mar-99	681.16	1414.71	2095.87	32.5	67.5
abr-99	456.95	243.71	700.65	65.2	34.8
may-99	249.51	280.70	530.21	47.1	52.9
jun-99	305.65	283.82	589.46	51.9	48.1
jul-99	218.32	218.32	436.64	50.0	50.0
ago-99	299.41	174.66	474.07	63.2	36.8
Valor medio	334.62	332.94	667.56	53.6	46.4
Acumulación total	4015	3995	8010		
Mínimo	99.80	75.94	360.70	26.7	21.1
Máximo	681.16	1414.71	2095.87	78.9	73.3

Tabla 6.1 (continuación). Sedimento recogido en las trampas de sedimentación del Lago de Sanabria. Tasas de sedimentación y proporción de fracción inorgánica y orgánica del residuo seco mensual. Datos de la Cubeta E, durante el periodo agosto'98-agosto'99.

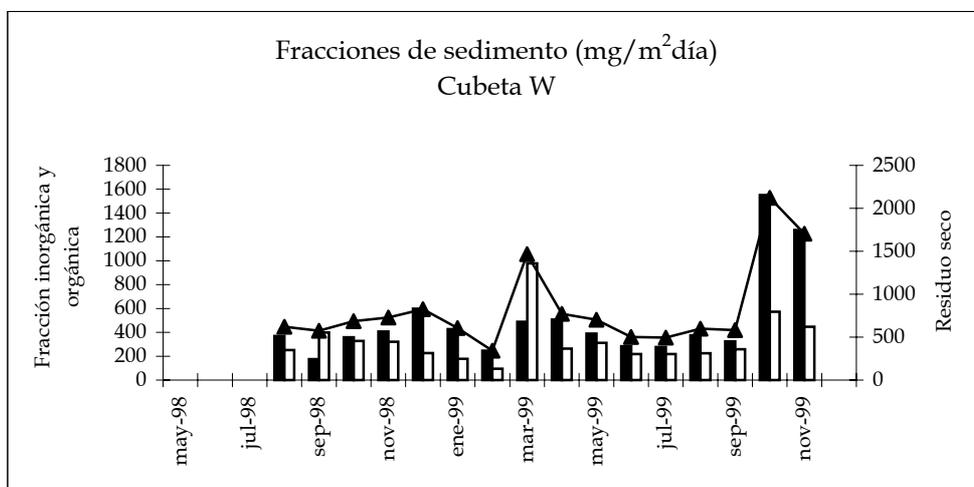


Fig. 6.1. Fracciones de sedimento acumulados en las trampas de sedimentación, en la Cubeta W, durante el periodo agosto'98-noviembre'99.

- Fracción inorgánica
- Materia orgánica
- ▲ Residuo seco

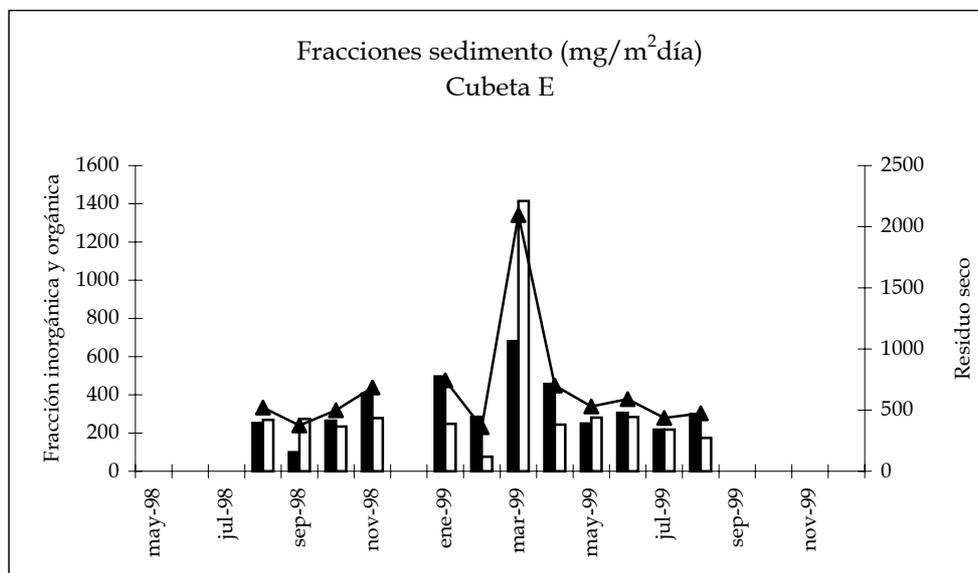


Fig. 6.2. Fracciones de sedimento acumulados en las trampas de sedimentación, en la Cubeta E, durante el periodo agosto'98-agosto'99.

- Fracción inorgánica
- Materia orgánica
- ▲ Residuo seco

Fecha	Balance hídrico			Trasparencia del agua	
	Pluviometría en Ribadelago (mm)	Agua turbinada (estimación) (Hm <sup>3</sup> )	Nivel del lago (m)	Disco Secchi (m)	Color (mg Pt/l)
may-98	142.7	9.1	-0.6	-6.5	26.64
jun-98	93.4	6.8	-0.74	-5.2	27.84
jul-98	8.8	5.1	-0.89	-9	23.92
ago-98	1.7	3.5	-0.78	-9.5	21.99
sep-98	162.1	4.1	-0.93	-8.1	10.49
oct-98	136.7	1.6	-0.82	-9.4	23.69
nov-98	25.2	2.4	-0.84	-8.6	25.23
dic-98	31.9	2.2	-0.76	-7.8	22.85
ene-99	165.5	4.8	-0.68	-7.4	21.01
feb-99	19.6	2.9	-0.87	-9	20.81
mar-99	155.6	5.8	-0.46	-8.5	24.89
abr-99	124.2	12.7	-0.43	-5.2	25.43
may-99	176	11.2	-0.63	-8.1	25.49
jun-99	24.9	3.7	-0.8	-7.2	24.56
jul-99	15.2	3.7	-0.86	-9	25.6
ago-99	95.9	5.4	-0.81	-8.1	25.15
sep-99	31.2	3.1	-0.9	-8	24.72
oct-99	233.7	5.2	-0.78	-7	22.79
nov-99	418.6	15.8	-0.68	-7.8	43.22
dic-99	71.9	7.9	-0.37	-6	33
Valor medio	106.7	5.9	-0.73	-7.8	24.97
Acumulación total	2134.8	117.0			
Mínimo	1.7	1.6	-0.93	-9.5	10.49
Máximo	418.6	15.8	-0.37	-5.2	43.22

Tabla 6.2. Datos del balance hídrico (pluviometría, agua turbinada, nivel del lago) y transparencia del agua (Disco de Secchi, color del agua) del Lago de Sanabria, durante el periodo mayo'98-diciembre'99.

lago. Los distintos embalses existentes en el altiplano de la Sierra Segundera liberan mensualmente un volumen determinado de agua turbinada, que pasa a formar parte del balance hídrico del río Tera y, en consecuencia, del Lago de Sanabria. Por lo tanto, y durante el periodo de estudio, el nivel del lago está condicionado no solamente por el régimen de precipitaciones, sino también por el volumen de agua turbinada procedente de los embalses de la cuenca.

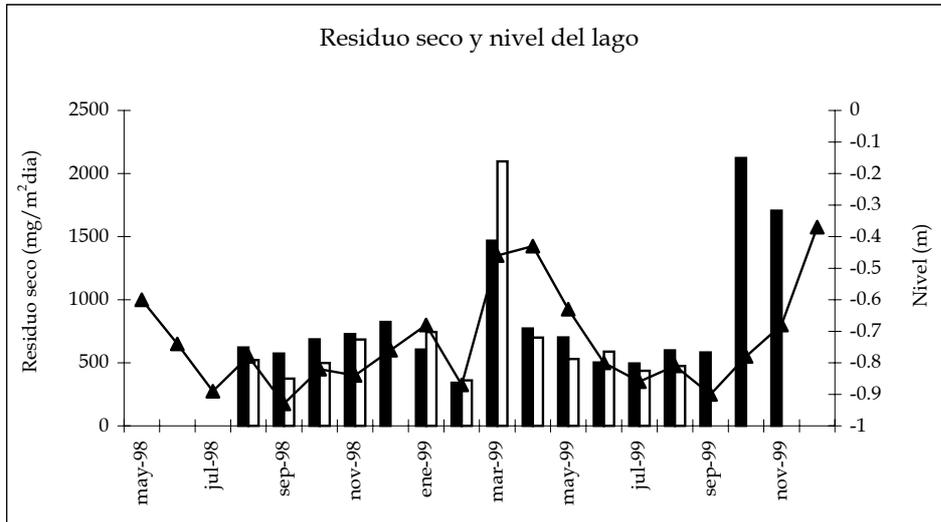


Fig. 6.3. Residuo seco y nivel del lago, en ambas cubetas, durante agosto'98-noviembre'99.

- Residuo seco (Cubeta W)
- Residuo seco (Cubeta E)
- ▲ Nivel del lago

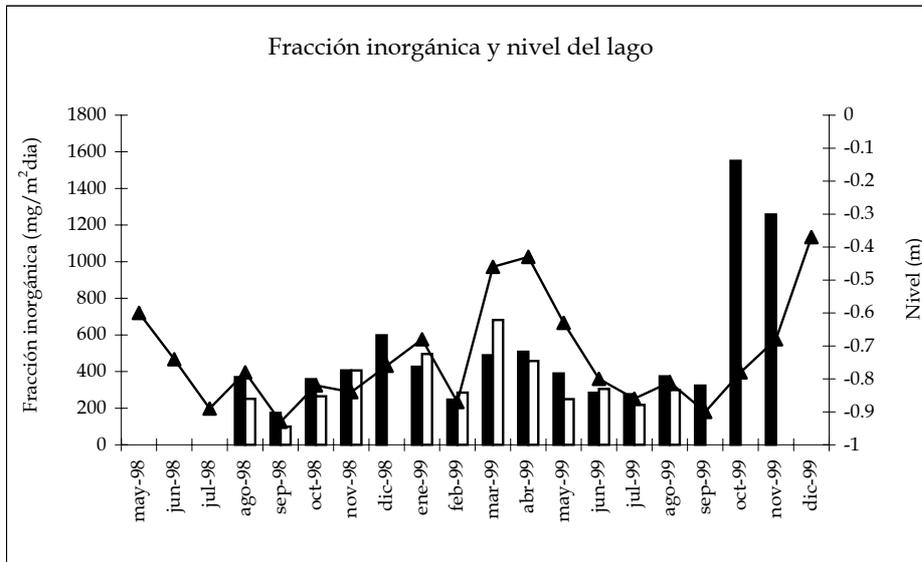


Fig. 6.4. Fracción inorgánica y nivel del lago, en ambas cubetas, durante agosto'98-noviembre'99.

- Fracción inorgánica (Cubeta W)
- Fracción inorgánica (Cubeta E)
- ▲ Nivel del lago

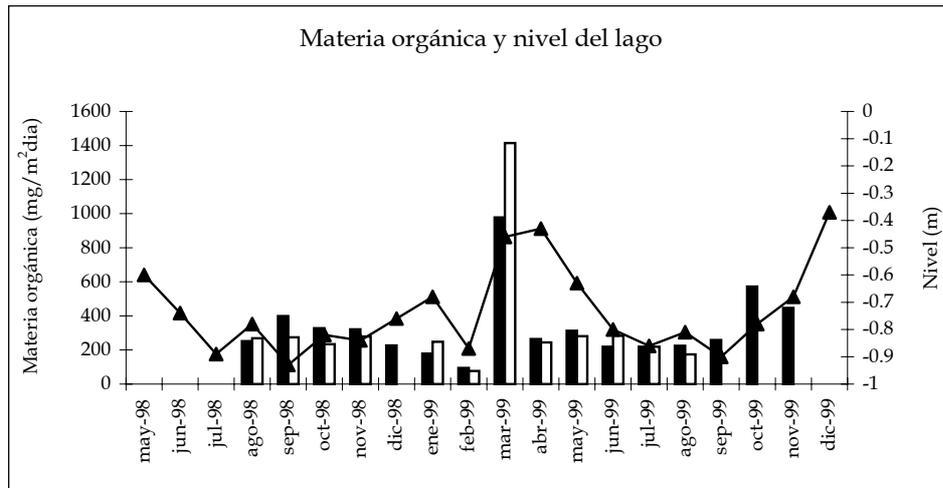


Fig. 6.5. Materia orgánica y nivel del lago, en ambas cubetas, durante agosto'98-noviembre'99.

- Fracción orgánica (Cubeta W)
- Fracción orgánica (Cubeta E)
- ▲ Nivel del lago

La cantidad de sedimento acumulado en las trampas de sedimentación está relacionada, como se ha evidenciado en el apartado anterior, con el nivel del lago. Los valores de la tasa de sedimentación están determinados, pues, por la acción conjunta del régimen pluviométrico y del volumen de agua turbinada procedente de los embalses (Fig. 6.6 y 6.7). Así, en marzo de 1999, el considerable aumento en la tasa de sedimentación está asociado, probablemente, a un aumento del volumen de agua turbinada, y no a un aumento en la precipitación. En cambio, durante el periodo octubre-noviembre de 1999, el aumento en la tasa de sedimentación está asociado a la acción conjunta tanto de las elevadas precipitaciones como del aumento del agua turbinada.

#### 6.4. Sedimentación y transparencia del lago.

La transparencia del agua en el Lago de Sanabria es función del contenido de sustancias disueltas y en suspensión del agua. El estudio limnológico de De Hoyos (1996) evidencia la importancia de la materia orgánica de origen alóctono como principal causante de la disminución de la transparencia de las aguas del lago. Así, existe una relación directa entre la cantidad de agua que entra al lago a través del río Tera, y la profundidad del disco de Secchi. En los periodos más secos (tasa de renovación baja) la transparencia del agua aumenta, con lo que la profundidad del disco de Secchi es mayor. Contrariamente, en los periodos con un elevado régimen pluviométrico (tasa de renovación alta), se produce una mayor entrada de material particulado y en suspensión, que provoca una disminución de la transparencia y una disminución de la profundidad del disco de Secchi.

Los resultados obtenidos se muestran en la **Tabla 6.2**. La relación entre el residuo seco (tasa de sedimentación) y la profundidad del disco de Secchi se muestra en la **Fig. 6.8**. Durante el periodo de estudio, la visibilidad del disco de Secchi estuvo comprendida

entre 5.2-9.5 m de profundidad, con un valor medio de 7.8 m. Los resultados obtenidos evidencian una relación causa-efecto entre el contenido de residuo seco y la transparencia del agua. Así, durante los periodos con una tasa de sedimentación relativamente baja o constante, el disco de Secchi presenta profundidades altas (véase, como ejemplo, febrero de 1999). En cambio, la entrada de material sedimentario al sistema lacustre, así como la producción algal, originan una disminución de la profundidad del disco (como ejemplo, el periodo marzo-abril de 1999, y octubre-diciembre de 1999). Estos periodos están asociados a niveles del lago relativamente altos (Fig. 6.3, 6.4 y 6.5).

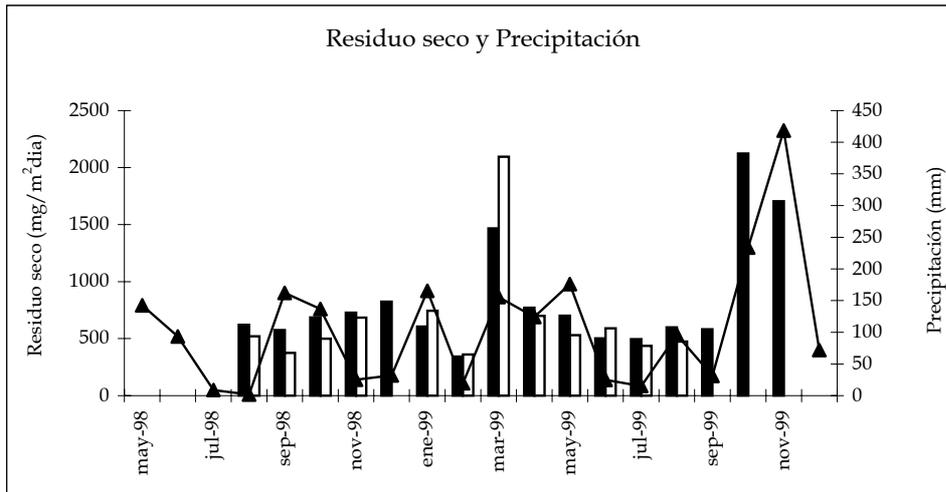


Fig. 6.6. Residuo seco y precipitación, en ambas cubetas, durante agosto'98-noviembre'99.

- Residuo seco (Cubeta W)
- Residuo seco (Cubeta E)
- ▲ Pluviometría (Ribadelago)

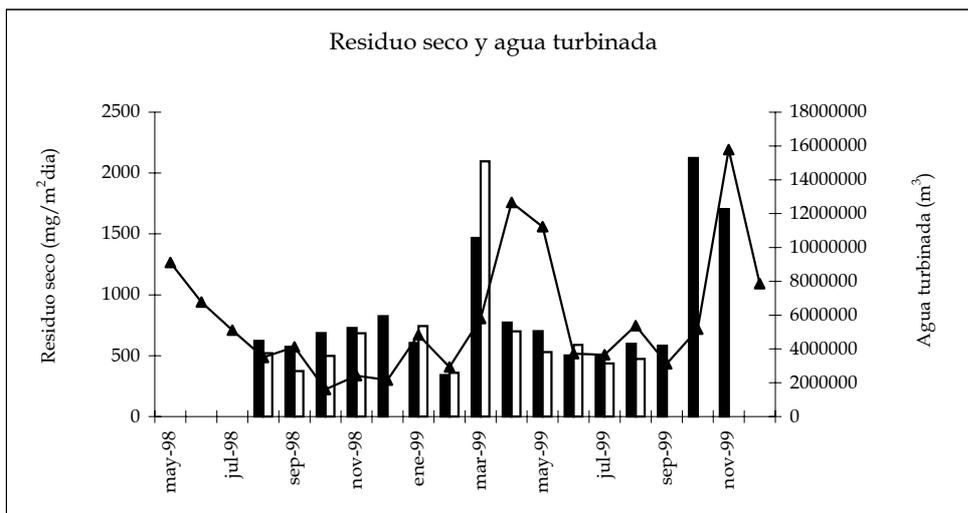


Fig. 6.7. Residuo seco y agua turbinada, en ambas cubetas, durante agosto'98-noviembre'99. El agua turbinada procede de los embalses situados en el altiplano de la Sierra Segundera.

- Residuo seco (Cubeta W)
- Residuo seco (Cubeta E)
- ▲ Volumen de agua turbinada (m³)

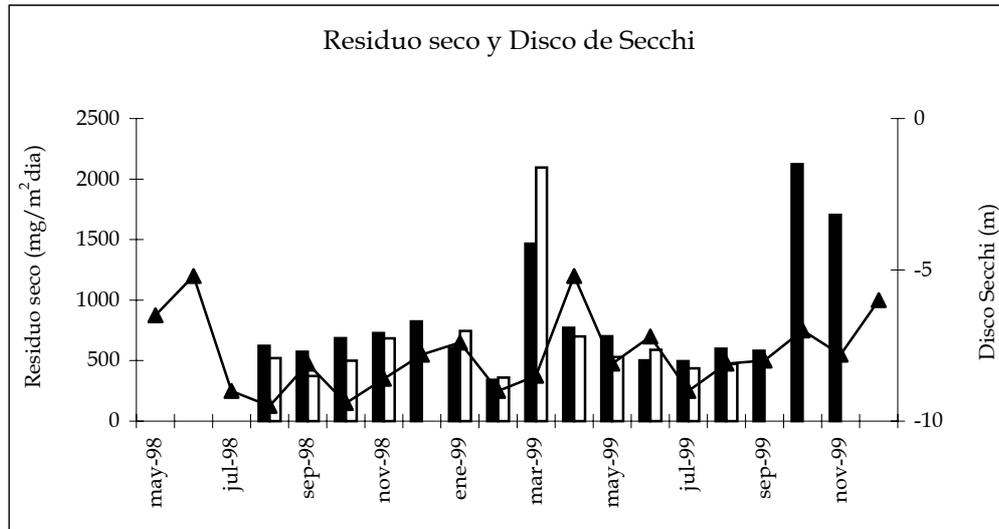


Fig. 6.8. Residuo seco y Disco de Secchi, en ambas cubetas, durante agosto '98-noviembre '99.

- Residuo seco (Cubeta W)
- Residuo seco (Cubeta E)
- ▲ Profundidad del Disco de Secchi

### 6.5. Sedimentación y color del agua.

El color del agua en el Lago de Sanabria está relacionado directamente con la cantidad de materia orgánica disuelta (De Hoyos, 1996). Así, durante los periodos con una pluviometría alta (tasa de renovación elevada), se introducirá al lago una mayor cantidad de materia orgánica alóctona procedente de la cuenca, provocando un aumento del color de sus aguas. En los periodos más secos (tasa de renovación baja), el color del agua disminuye.

Los valores obtenidos del color del agua, durante el periodo de estudio, se muestran en la **Tabla 6.2** y **Fig. 6.9**. Los resultados han aportado unos valores relativamente constantes (valor medio: 24 mg Pt/l), exceptuando el periodo octubre-diciembre de 1999; durante estos meses, se detecta un aumento en los valores que cuantifican el color del agua, asociado asimismo a un aumento en la tasa de sedimentación.

Los dos máximos de residuo seco (tasa de sedimentación) detectados en la **Fig. 6.9**, situados en marzo de 1999 y en octubre-noviembre de 1999, han originado diferentes respuestas en el color del agua. En marzo de 1999, se produce una entrada elevada de sedimento sin existir un aumento aparente del color; en cambio, en octubre-noviembre de 1999, las entradas de sedimento están asociadas a un aumento importante del color del agua.

Estas distintas respuestas pueden estar asociadas al tipo de factor que ha provocado el aumento del nivel del lago. En marzo-mayo de 1999, el agua turbinada de los embalses

es el factor principal que ha ocasionado un aumento del nivel (Fig. 6.6, y 6.7). En cambio, durante el periodo octubre-noviembre de 1999, tanto la precipitación como el agua turbinada de los embalses contribuyen a aumentar el nivel del lago.

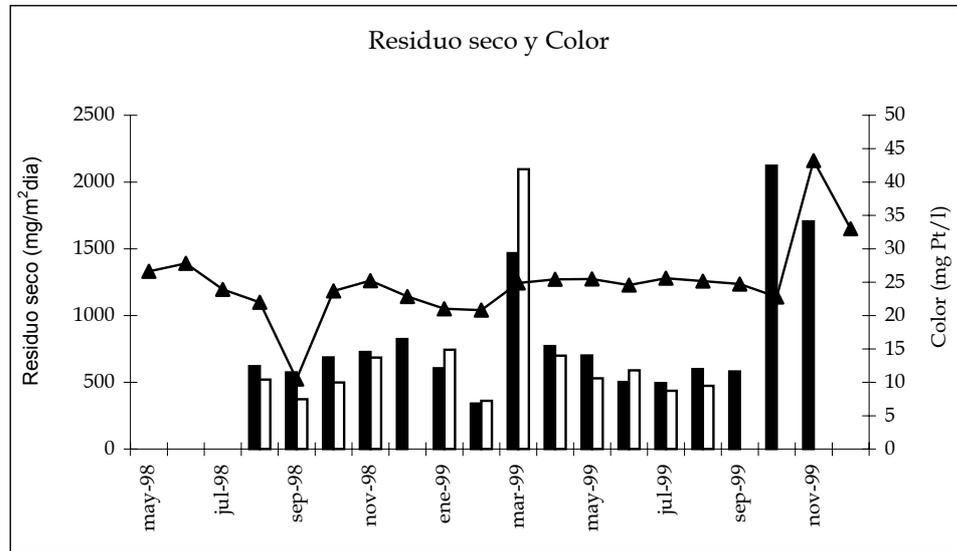


Fig. 6.9. Residuo seco y color del agua, en ambas cubetas, durante agosto '98-noviembre '99.

- Residuo seco (Cubeta W)
- Residuo seco (Cubeta E)
- ▲ Color del agua

## 6.6. Análisis mineralógico de la fracción inorgánica.

### 6.6.1. Mineralogía.

Los análisis mineralógicos, mediante difracción de R-x, han permitido determinar los componentes minerales acumulados en las trampas de sedimentación. Los resultados evidencian que la fracción inorgánica está constituida por los minerales presentes en las rocas plutónicas y metamórficas de la cuenca hidrográfica del Lago de Sanabria (gneises, granodioritas y granitos). Por lo tanto, la sedimentación inorgánica en el lago tiene un origen alóctono; se realiza mediante el aporte externo de partículas minerales procedentes de la erosión de la cuenca. La precipitación autigénica de minerales en el sistema lacustre (origen autóctono) es ausente.

Las proporciones minerales, en cada una de las dos cubetas, se ilustra en la **Tabla 6.3**, y su evolución temporal se muestra en las **Fig. 6.10** y **6.11**. La fracción mineral está representada fundamentalmente por filosilicatos (66.7%) y tectosilicatos (26.4%). Con carácter accesorio, los análisis mineralógicos han detectado la presencia de óxidos/hidróxidos de Fe/Mn (7.0%).

El principal mineral detrítico acumulado en las trampas de sedimentación es la *biotita* (50.3%). Este mineral se encuentra muy representado en las rocas de la cuenca

hidrográfica, principalmente en los gneises macroglandulares; asimismo, en estas rocas se encuentran en menor proporción cristales de *moscovita*, con lo que, probablemente, una pequeña parte del porcentaje pueda estar relacionado con este mineral. El segundo mineral en abundancia es el *cuarzo* (18.8%), mineral ampliamente representado en los gneises, granodioritas y granitos de la zona.

Mineral	Cubeta W	Cubeta E
	(%)	(%)
Biotita (+ moscovita)	50.8	49.7
Cuarzo	20.5	17.0
Feldespatos	7.3	7.9
Montmorillonita	17.2	15.7
Óxidos/hidróxidos (de Fe/Mn)	4.2	9.7
<hr/>		
Filosilicatos	68.0	65.4
Tectosilicatos	27.8	24.9

Tabla 6.3. Mineralogía del sedimento inorgánico del Lago de Sanabria, acumulado en las trampas de sedimentación de ambas cubetas durante el periodo noviembre'98-noviembre'99 (Cubeta W) y noviembre'98-agosto'99 (Cubeta E).

El tercer mineral está constituido por un conjunto de filosilicatos, principalmente *montmorillonita* (16.5%), procedente de los depósitos glaciares morrénicos y de los suelos edáficos de la cuenca hidrográfica. El cuarto mineral en abundancia son los feldespatos (7.6%); están constituidos principalmente, atendiendo a los estudios petrológicos regionales de Sanabria (Martínez García, 1973), por *ortosa*, *microclina* y *plagioclasas* (sobretudo *albita*). Finalmente, el análisis mineralógico ha determinado la existencia de óxidos/hidróxidos de Fe/Mn en una cantidad del 7%.

#### 6.6.2. Mineralogía y balance hídrico.

La mayor resistencia hidrodinámica que ofrecen los tectosilicatos (cuarzo + feldespatos), en relación a los filosilicatos, es un factor que controla su distribución temporal, de tal forma que, durante aportes hídricos relativamente energéticos, aumenta la abundancia de tectosilicatos. La capacidad tractiva de las aguas del río Tera aumenta en periodos de aportes hídricos relativamente elevados. Por lo tanto, el balance hídrico condiciona de manera importante la cantidad de tectosilicatos transportados hasta el lago.

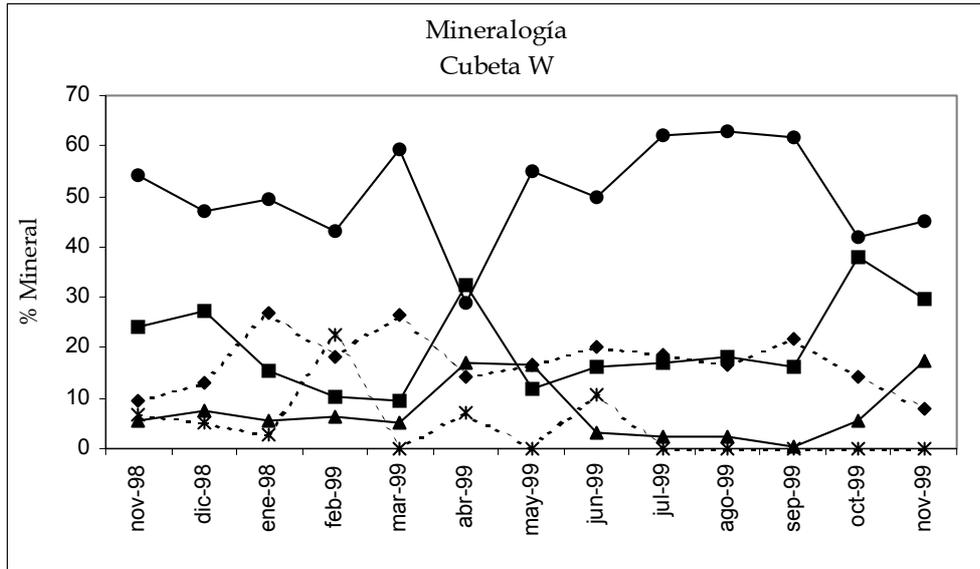


Fig. 6.10. Mineralogía de la fracción inorgánica acumulada en las trampas de sedimentación, durante el periodo noviembre'98-noviembre'99, en la Cubeta W.

- Biotita
- Cuarzo
- ▲ Feldespatos
- ◆ Montmorillonita
- \* Hematites

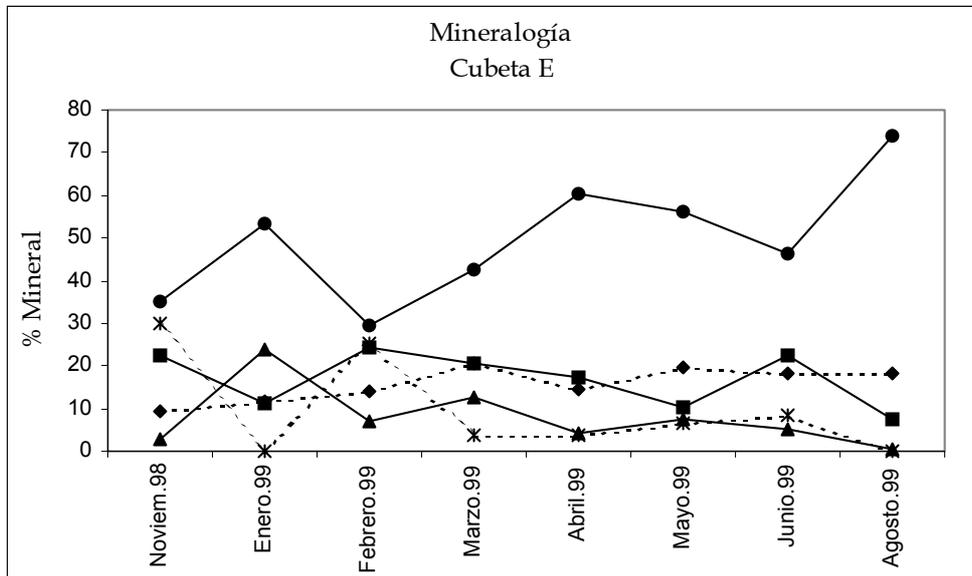


Fig. 6.11. Mineralogía de la fracción inorgánica acumulada en las trampas de sedimentación, durante el periodo noviembre'98-agosto'99, en la Cubeta E.

- Biotita
- Cuarzo
- ▲ Feldespatos
- ◆ Montmorillonita
- \* Hematites

La relación entre el balance hídrico y la abundancia de tectosilicatos se encuentra bien determinada en la cubeta occidental (próxima a la entrada del río Tera). Sin embargo, en la cubeta oriental (a unos 3 km de distancia de la entrada del río Tera), esta relación no es tan evidente.

Cubeta W: la Fig. 6.12 muestra la cantidad de filosilicatos (biotita (+moscovita) y montmorillonita) y tectosilicatos (cuarzo y feldespatos) en función del tiempo; la evolución de estos grupos minerales evidencia una correlación negativa significativa entre ellos ( $r^2 = 0.76$ ) (Fig. 6.13). El estudio de la dinámica actual del Lago de Sanabria, mediante las trampas de sedimentación, evidencia la importancia del balance hídrico en la entrada de material mineral detrítico al sistema deposicional. Así, durante los balances hídricos relativamente positivos (nivel alto del lago) la cantidad de tectosilicatos aumenta (Fig. 6.14), ya sea mediante el aumento del régimen pluviométrico (Fig. 6.15), como por el aumento del volumen de agua turbinada de los embalses de la cuenca (Fig. 6.16). Asimismo, la cantidad de sedimento aportado al lago durante las entradas elevadas de agua, presenta una correlación positiva significativa con la distribución temporal en el aporte de cuarzo y feldespatos (Fig. 6.17 y 6.18).

Cubeta E: la situación distal de la cubeta oriental (dista 3 km de la entrada del río Tera) determina la ausencia de una señal nítida en la variabilidad de la abundancia de tectosilicatos (Fig. 6.11). No existe, por lo tanto, una correlación alta entre la cantidad de filosilicatos y tectosilicatos ( $r^2 = 0.52$ ) (Fig. 6.19); la abundancia de cuarzo y feldespatos no registra las variaciones del balance hídrico (Fig. 6.20).

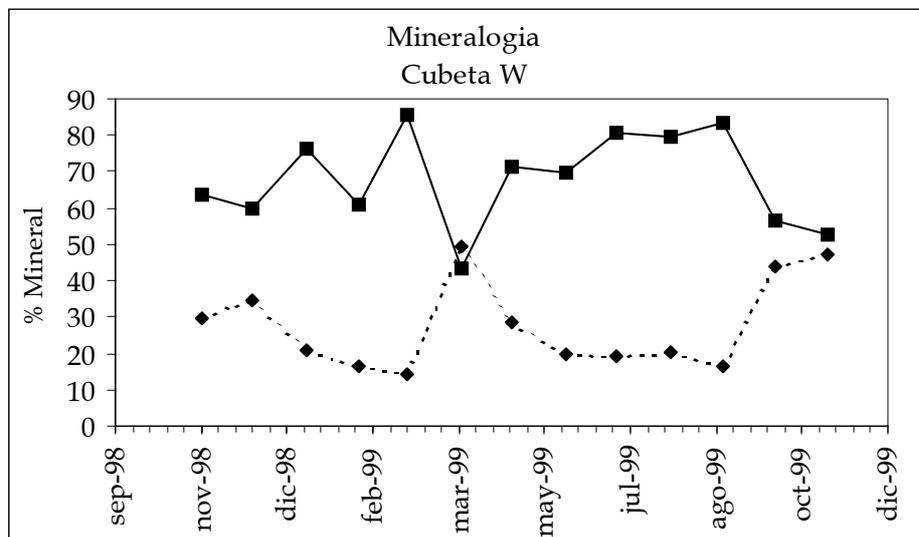


Fig. 6.12. Cantidad de filosilicatos y tectosilicatos acumulados en las trampas de sedimentación, en la Cubeta W, durante el periodo noviembre'98-noviembre'99.

- ◆ Tectosilicatos
- Filosilicatos

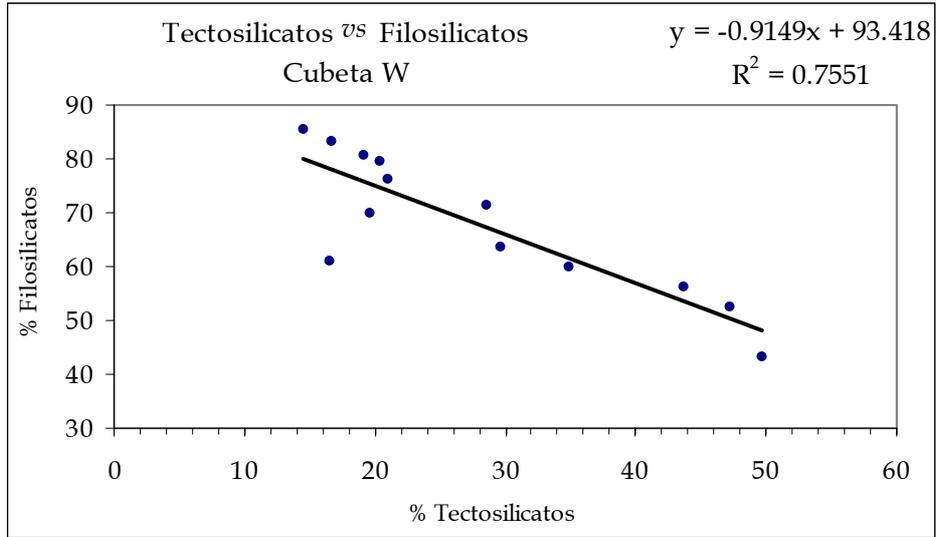


Fig. 6.13. Correlación entre la cantidad de filosilicatos y tectosilicatos acumulados en las trampas de sedimentación de la Cubeta W.

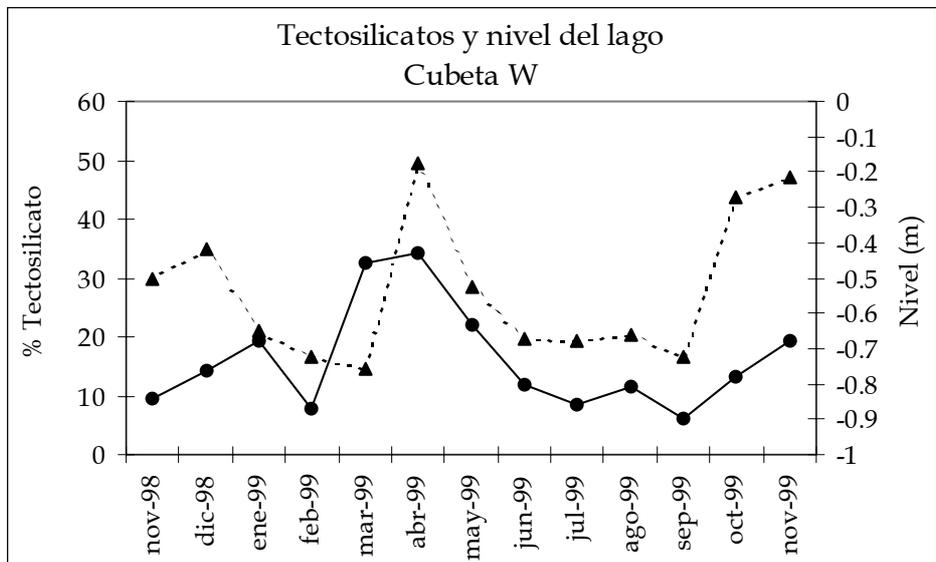


Fig. 6.14. Cantidad de tectosilicatos y nivel del lago, en la Cubeta W, durante el periodo noviembre'98-noviembre'99.

- ▲ Tectosilicatos
- Nivel del lago

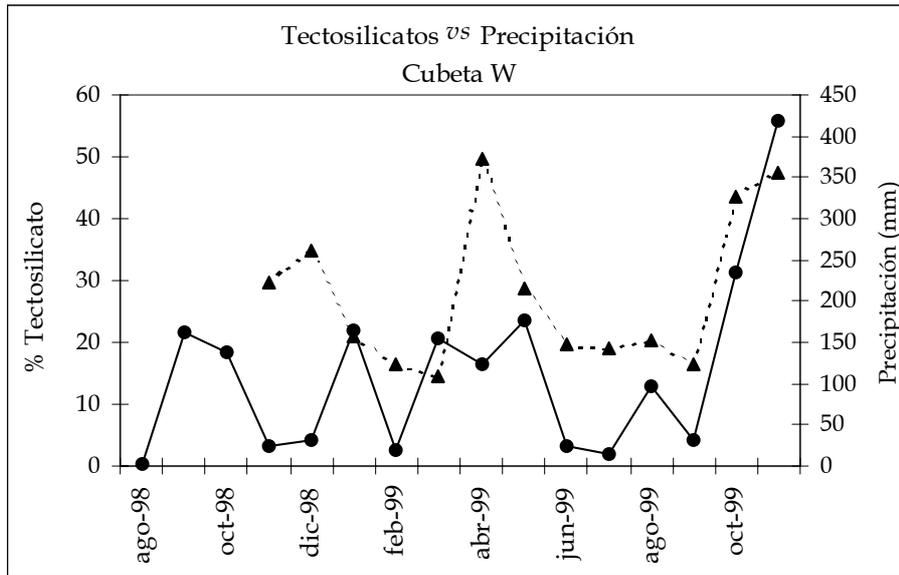


Fig. 6.15. Cantidad de tectosilicatos y precipitación pluviométrica, en la Cubeta W, durante el periodo noviembre'98-noviembre'99.

- ▲ Tectosilicatos
- Precipitación pluviométrica en Ribadelago

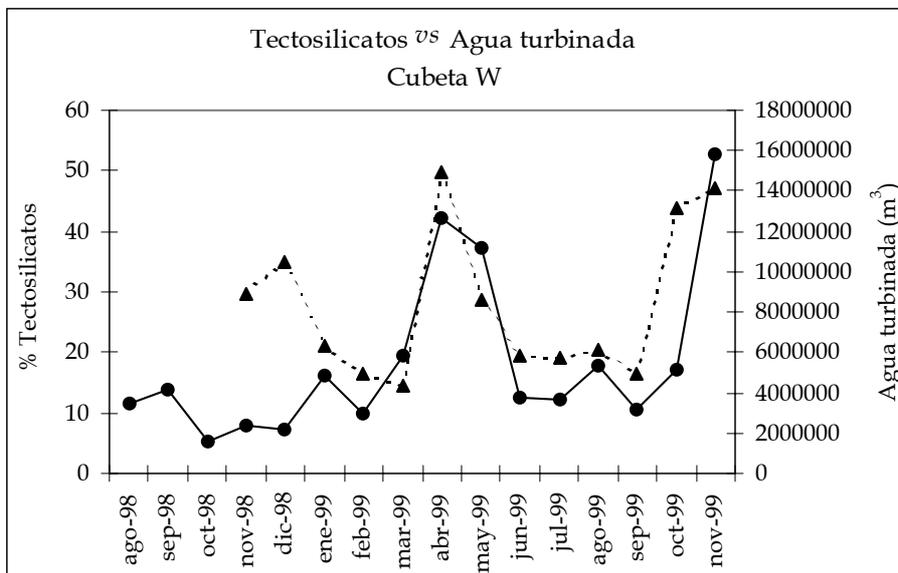


Fig. 6.16. Cantidad de tectosilicatos y agua turbinada de los embalses, durante el periodo noviembre'98-noviembre'99 (Cubeta W).

- ▲ Tectosilicatos
- Volumen de agua turbinada

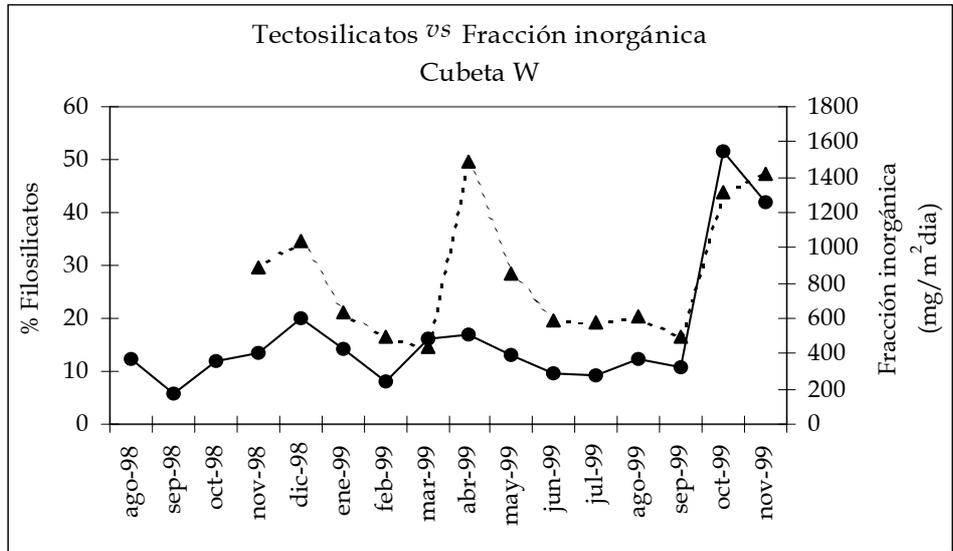


Fig. 6.17. Cantidad de tectosilicatos y fracción inorgánica, en la Cubeta W, durante el periodo noviembre'98-noviembre'99.

- ▲ Tectosilicatos
- Fracción inorgánica

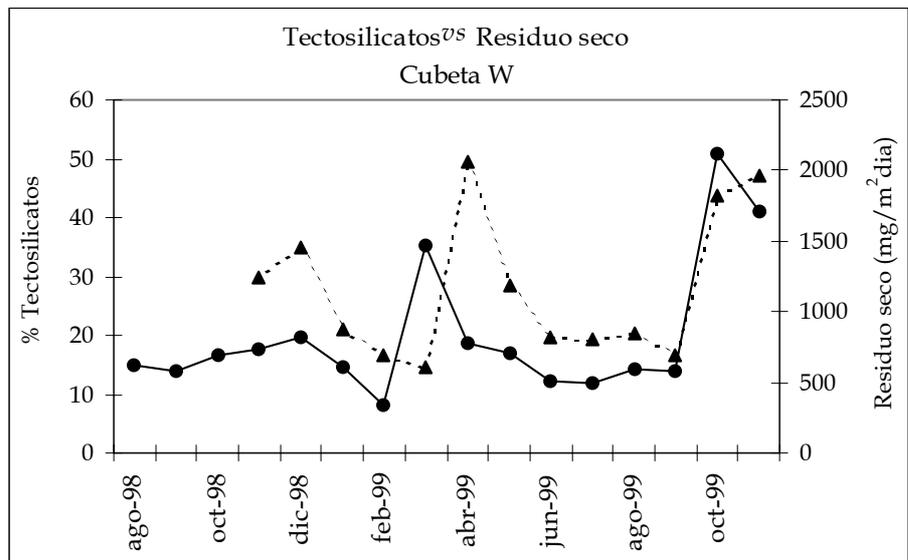


Fig. 6.18. Cantidad de tectosilicatos y residuo seco, en la Cubeta W, durante el periodo noviembre'98-noviembre'99

- ▲ Tectosilicatos
- Residuo seco

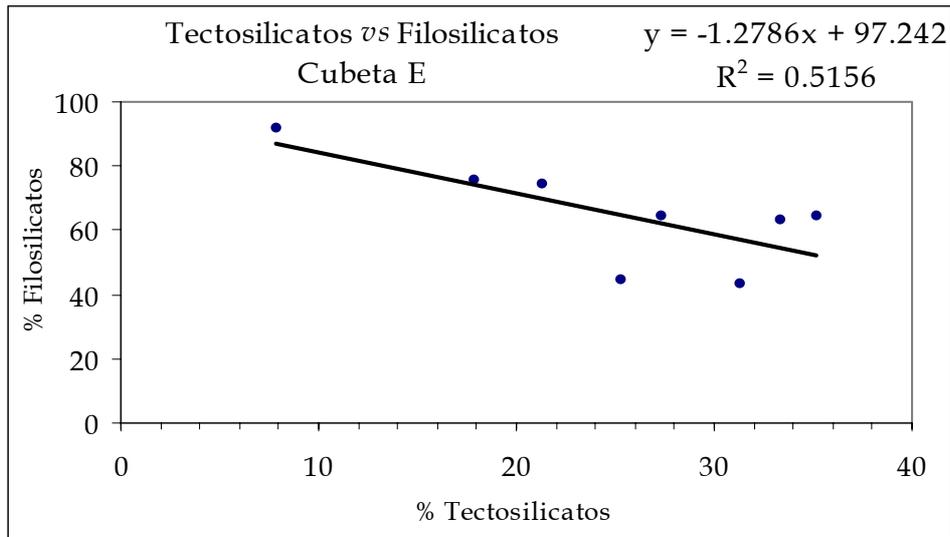


Fig. 6.19. Correlación entre la cantidad de filossilicatos y tectosilicatos acumulados en las trampas de sedimentación de la Cubeta E.

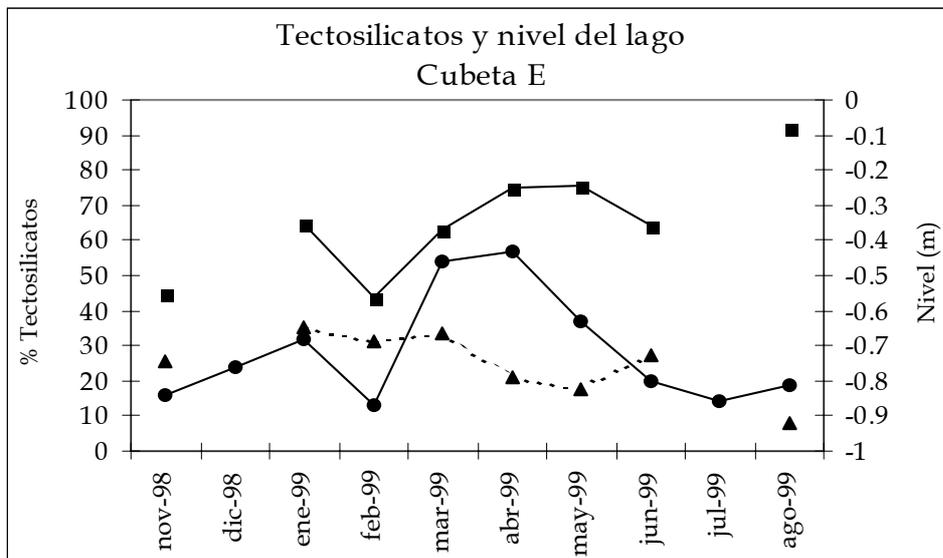


Fig. 6.20. Cantidad de tectosilicatos y filossilicatos, y nivel del lago, en la Cubeta E, durante el periodo noviembre'98-noviembre'99.

- ▲ Tectosilicatos
- Filosilicatos
- Nivel del lago

