

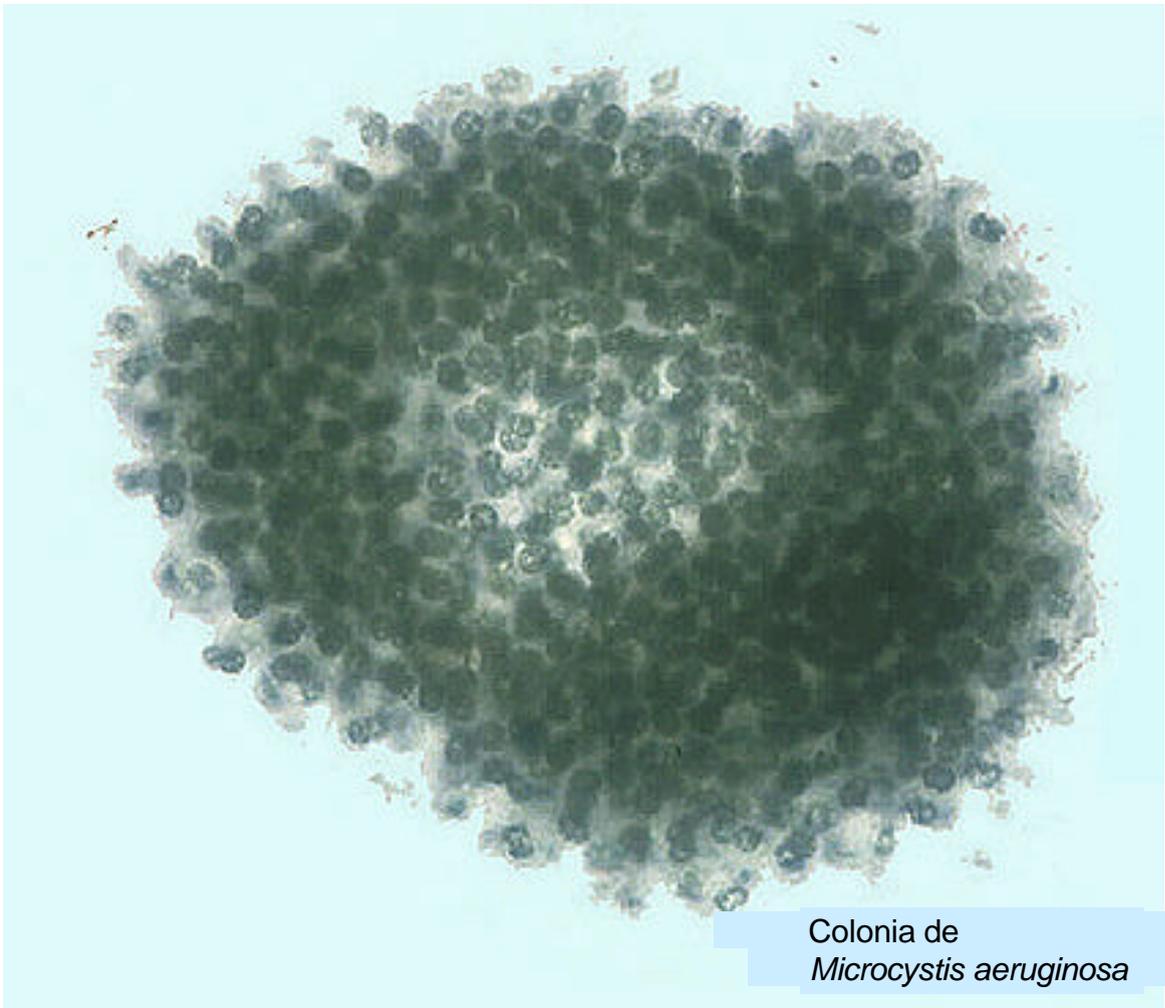


MINISTERIO DE  
MEDIO AMBIENTE

CONFEDERACIÓN  
HIDROGRÁFICA  
DEL EBRO

COMISARÍA DE AGUAS

# ESTADO LIMNOLÓGICO DE LA ESTANCA DE ALCAÑIZ



Colonia de  
*Microcystis aeruginosa*

**ESTADO LIMNOLÓGICO DE LA ESTANCA DE  
ALCAÑIZ**

*Enero, 2002*

**ESTADO LIMNOLÓGICO DE LA ESTANCA DE  
ALCAÑIZ**

*Enero, 2002*

## ÍNDICE

---

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>3</b>
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>5</b>
3.1.	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN .....	5
3.2.	MUESTREO.....	6
3.2.1.	<i>Caracterización hidroquímica</i> .....	6
3.2.2.	<i>Caracterización del fitoplancton</i> .....	7
3.2.3.	<i>Cuantificación e identificación de microcistinas</i> .....	7
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>9</b>
4.1.	USOS DEL SUELO EN LA CUENCA .....	9
4.2.	MORFOMETRÍA.....	11
4.3.	HIDROLOGÍA.....	11
4.4.	HIDROQUÍMICA .....	13
4.4.1.	<i>Temperatura</i> .....	13
4.4.2.	<i>Turbidez</i> .....	13
4.4.3.	<i>Mineralización</i> .....	14
4.4.4.	<i>Alcalinidad y composición iónica</i> .....	14
4.4.5.	<i>pH</i> .....	15
4.4.6.	<i>Oxígeno disuelto</i> .....	16
4.4.7.	<i>Nutrientes</i> .....	16
4.5.	FITOPLANCTON .....	21
4.5.1.	<i>Clorofila</i> .....	22
4.5.2.	<i>Composición del fitoplancton</i> .....	22
4.6.	ESTADO TRÓFICO .....	28
4.6.1.	<i>Modelo de Vollenweider</i> .....	28
4.6.2.	<i>Parámetros de la OCDE</i> .....	29
<b>5.</b>	<b>MEDIDAS CORRECTORAS</b> .....	<b>31</b>
<b>6.</b>	<b>PLAN DE SEGUIMIENTO</b> .....	<b>37</b>
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>39</b>
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>43</b>

## APÉNDICES

TABLAS  
FIGURAS  
FOTOGRAFÍAS

---

## 1. INTRODUCCIÓN

---

El presente estudio sobre el *Estado limnológico de La Estanca de Alcañiz* (Expte: 11/01-ANS) ha sido realizado para el Área de Calidad de las Aguas de la Confederación Hidrográfica del Ebro.

La Estanca de Alcañiz es un embalse artificialmente alimentado desde el río Guadalupe por un canal, de más de 23 km. de recorrido, que además de alimentar la Estanca, proporciona agua para riego y para abastecimiento a Alcañiz y Valdealgorfa. Aunque inicialmente el uso principal del agua embalsada era agrícola, actualmente se destina también, previo tratamiento, al abastecimiento de los núcleos de Valmuel y Puigmoreno (597 hab). El Canal de Valmuel constituye el principal desembalse, aunque existen varias acequias de menor entidad. El embalse, que soporta además usos recreativos y deportivos, ocupa 151 Ha y tiene una capacidad útil de 6,8 hm<sup>3</sup>.

Durante los últimos años, se han detectado variaciones en la calidad del agua, relacionadas con el crecimiento masivo de algas (*blooms*). Estas proliferaciones algales, en la Estanca, están dominadas por cianobacterias del género *Microcystis*, que son habituales en sistemas eutróficos. Algunas especies de cianobacterias, incluidas las del género *Microcystis*, producen sustancias con efectos tóxicos para la fauna piscícola, el ganado e incluso el hombre.

En este estudio se analiza la dinámica del fitoplancton a lo largo del año 2001, se identifican los factores implicados en la proliferación de cianobacterias y se proponen medidas correctoras oportunas para limitarla o prevenirla. Además, se caracteriza con precisión el tipo de cianotoxina dominante durante las etapas de *bloom* algal.



## **2. OBJETIVOS**

---

Los objetivos concretos de este estudio son los siguientes:

- Caracterizar la dinámica del fitoplancton y el estado trófico del embalse a lo largo de un ciclo anual
- Establecer los factores implicados en la dinámica del fitoplancton
- Cuantificar e identificar cianotoxinas presentes en el embalse
- Proponer medidas correctoras para limitar o prevenir las proliferaciones de cianobacterias



### **3.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN**

#### *Aspectos limnológicos*

Se ha consultado el estudio titulado *Manejo piscícola de la Estanca de Alcañiz*, realizado por el contratista Astacus, SC para el Gobierno de Aragón (1995). Contiene información acerca de aspectos limnológicos básicos, aspectos de botánica y de fauna piscícola.

La Confederación Hidrográfica del Ebro ha aportado toda la información referente a aspectos hidrológicos, histórica y actual. Se trata de los datos diarios de caudales de aportación y desembalse de todo el año 2001 y de los resúmenes mensuales de años precedentes. También se ha consultado su base de datos de calidad de las estaciones de la Red de Variables Ambientales y de la Red ICA.

#### *Usos del suelo*

Se ha recopilado información sobre los usos del suelo en el entorno inmediato de la Estanca y en la cuenca de aportación del río Guadalope, principal alimentador de la Estanca. En cuanto usos del suelo del entorno de la Estanca, se ha consultado la propuesta de PORN de la Estanca de Alcañiz, realizada por F. Bergua (1995) como Proyecto Final de Carrera (ETSEIA, Universidad de Lleida). Este trabajo incluye una zonificación de usos, basada en la valoración ecológica del territorio. La información disponible sobre los usos del suelo en la cuenca del Guadalope es más genérica.

### 3.2. MUESTREO

Se han llevado a cabo 12 campañas mensuales a lo largo del año 2001, en las que se han obtenido las muestras necesarias para:

- la caracterización hidroquímica del agua
- la caracterización del fitoplancton
- la cuantificación e identificación de microcistinas

En septiembre y octubre del 2000, cuando se produjo un *bloom* de cianobacterias, se realizaron 3 muestreos extraordinarios. Los puntos de muestreo habituales, y los parámetros medidos en cada uno de ellos, se resumen a continuación:

ESTACIONES			ANÁLISIS		
UTM	LOCALIZACIÓN		Hidroquímica	Fitoplancton	Microcistina
EA 0	X: 07 37 827 Y: 45 36 389	Canal Alimentador en el punto de toma (río Guadalupe)	✓		
EA 1	X: 07 36 832 Y: 45 49 618	Canal Alimentador en la entrada de la Estanca	✓		
EA 2	X: 07 36 665 Y: 45 49 765	Embalse de la Estanca, junto a la presa	✓	✓	
EA 3	X: 07 35 130 Y: 45 50 052	Canal de Valmuel (salida de la Estanca)	✓	✓	✓

En la Figura 1 se puede consultar la ubicación de las estaciones de muestreo.

#### **3.2.1. Caracterización hidroquímica**

Las medidas *in situ* se realizan con sonda multiparamétrica e incluyen conductividad, temperatura, oxígeno disuelto, turbidez y pH. En EA 2 se toman estas medidas en profundidad, metro a metro. Además, se mide la profundidad de visión del Disco de Secchi como medida suplementaria de la turbidez.

Los parámetros analizados con posterioridad, en laboratorio, son: alcalinidad, calcio, magnesio, nitrito, nitrato, amonio, fósforo total, fósforo disuelto y sílice. En la

estación EA 2 (presa), se obtienen muestras de superficie y de fondo con una botella hidrográfica.

### **3.2.2. Caracterización del fitoplancton**

Se obtienen muestras de fitoplancton en las estaciones EA 2 (presa) y EA 3 (Canal de Valmuel). En los mismos puntos se toman muestras de agua para el análisis posterior, en laboratorio, del contenido en clorofila.

En EA 2 se toman muestras integradas, mezclando 3 volúmenes iguales de agua: una obtenida en superficie, otra a la profundidad de visión del Disco de Secchi y otra a 2,7 veces esta profundidad. De este modo se obtiene una muestra representativa de la comunidad algal que se desarrolla en la zona fótica de la columna de agua.

En EA 3 se obtienen muestras para análisis cuantitativo y cualitativo. Las muestras para el recuento (cuantitativas) consisten en un volumen conocido de agua, que se fija en el campo, y en el que posteriormente se identifica y se cuenta el fitoplancton. Las muestras cualitativas se obtienen mediante el arrastre de una red de 30 µm de poro y proporcionan información suplementaria sobre la composición de la comunidad algal, ya que incluyen algas de mayor tamaño que entran en proporción minoritaria.

### **3.2.3. Cuantificación e identificación de microcistinas**

Uno de los procedimientos más sensibles para analizar la presencia de microcistinas es la cromatografía de alta resolución (HPLC), que permite caracterizar e identificar con precisión distintas variantes de microcistina. Un método más rápido, aunque proporciona resultados menos específicos, es el test ELISA, basado en técnicas inmunológicas de reconocimiento de anticuerpos monoclonales y que permite conocer la concentración de microcistina LR libre, el único tipo para el cual se ha descrito un nivel guía: la OMS estableció el valor de 1 µg/L de microcistina LR (libre y sestónica) en agua potable.

En el Canal de Valmuel, EA 3, se obtienen las muestras para la cuantificación de microcistina libre (mediante ELISA) e intracelular (mediante HPLC). Para el test ELISA, se filtra, preferiblemente *in situ*, un volumen variable, entre 1 y 2 L. Se transporta refrigerado y se analiza en laboratorio la concentración de microcistina LR en el agua filtrada. El test (Envirogard Microcystins Quantitube Test Kit) se basa en la

técnica inmuno-enzimática ELISA (*Enzyme Linked Immunosorbed Assay*). Su nivel de detección se sitúa en 0,2 µg/L y sus resultados pierden fiabilidad si las muestras no se filtran *in situ*, dando resultados más elevados de los reales. Esto se debe a que las células algales de la muestra, al morir, liberan microcistina (en la muestra del día 2/10/01 en el laboratorio de URS se comprobó que, sin filtrar, la concentración aumenta de 1,1 a 7,7 µg/L transcurridos tres días, a 4°C).

Durante el episodio de *bloom* de 2001, además, se ha llevado a cabo la identificación de los diferentes tipos de microcistina presentes en el embalse usando técnicas cromatográficas (HPLC), mediante convenio con la Fundación Universidad Autónoma de Madrid (FUAM). Se ha analizado el contenido intracelular de estas toxinas.

A lo largo del ciclo anual, tres laboratorios han llevado a cabo los análisis de microcistina:

<b>Laboratorio</b>	<b>Método</b>	<b>Periodo</b>
Laboratorio Labaqua	ELISA	Enero a septiembre
Laboratorio URS	ELISA	Octubre a diciembre
UAM (Dr. Quesada)	HPLC	Octubre

**4.1. USOS DEL SUELO EN LA CUENCA**

En el estudio de sistemas acuáticos, el análisis de los usos del suelo en la cuenca de aportación informa sobre la influencia de éstos en la calidad fisicoquímica, en especial en el contenido de nutrientes.

La cuenca que actualmente alimenta el embalse de La Estanca se compone de dos ámbitos: su entorno inmediato (cuenca natural) y la cuenca del río Guadalope aguas arriba del azud de derivación del Canal Alimentador.

***Cuenca natural***

La cuenca natural de La Estanca, incluida en la del Guadalope, ocupa unos 3 km<sup>2</sup> y está constituida por materiales miocénicos (arcillas, margas, areniscas y yesos). Los usos del suelo en el entorno inmediato de la Estanca y en el propio embalse (520 Ha) son los siguientes: agrícola (intensivo y extensivo), recreativo terrestre, camping, gestión hidráulica, forestal, baño, vías y edificaciones, pesca y navegación (Bergua, 1995).

Los usos dominantes, por superficie de ocupación, son el uso agrícola extensivo, con 171 Ha (cultivos de secano, como cebada y olivos) y la navegación (120 Ha). El resto de los usos son minoritarios. En cuanto a su incidencia intrínseca sobre el medio natural, los más impactantes son el bar, el camping, el baño y la navegación, seguidos del uso agrícola intensivo, la gestión hidráulica, las vías y edificaciones, y los usos recreativos terrestres. El uso más extendido, el agrícola extensivo, se considera que tiene un impacto moderado (Bergua, 1995).

La información proporcionada por la Confederación Hidrográfica del Ebro indica que no hay autorizaciones de vertido directo a la Estanca. El camping, situado en la margen derecha, tiene una autorización de vertido a filtro verde, por infiltración.

### *Cuenca del Guadalope*

La cuenca entera del Guadalope ocupa 4.000 km<sup>2</sup>. Tras el embalse de Santolea el río recibe su principal afluente, el Bergantes, después de haber recorrido 86 km., y se adentra en el embalse de Calanda. A poca distancia de la presa aguas abajo recibe por la margen izquierda el río Guadalopillo (caudal medio 2,7 hm<sup>3</sup>/año). El Guadalope aguas abajo de Calanda tiene una aportación media de 175,3 hm<sup>3</sup>/año. El azud de derivación del Canal Alimentador de La Estanca se sitúa a unos 2 km. de esta confluencia.

Aguas arriba de la toma para el Canal Alimentador, el Guadalope presenta un caudal regulado. Durante la época de riegos se turbinan unos 2 m<sup>3</sup>/s (que son los que van al río y al Canal Alimentador) mientras que el resto del año, el caudal de mantenimiento es de 0,4 m<sup>3</sup>/s. El embalse de Calanda se caracterizó de eutrófico en 1996 y de mesotrófico en el año 2001 (un año especialmente húmedo), y el riesgo de que presente anoxia hipolimnética es moderado.

La cuenca baja del Guadalopillo estaba afectada, hasta hace poco, por la influencia de los núcleos de Alcorisa y Calanda, que vertían sus aguas residuales directamente al río. Actualmente ambas poblaciones disponen de EDAR y es perceptible la mejora de la calidad del agua. El índice biótico en la estación 254 (Alcorisa) de la Red de Variables Ambientales de la Confederación Hidrográfica del Ebro ha pasado de 4 (valor medio entre 1991 y 1996) a 60 (en verano del 2001).

<b>Red Variables Ambientales</b>	<b>BMWP' (1991/96)</b>	<b>BMWP' 2001</b>	<b>Fósforo total (jul. 2001)</b>
<b>254</b> (Guadalopillo en Alcorisa)	4	60	0,12 mg/L
<b>461</b> (Guadalope a. ab. del Guadalopillo)	55	61	0,014 mg/L

## 4.2. MORFOMETRÍA

De perímetro irregular, ligeramente triangular, la Estanca tiene 1,8 km. de longitud máxima por 1,2 km. de amplitud máxima (Figura 1). Está orientada de E a O y ocupa una superficie de 151 Ha. La capacidad inicial, tras el recrecimiento de 1931, era de 11 hm<sup>3</sup>. La capacidad útil, por encima del umbral de la toma de fondo, es de 6,8 hm<sup>3</sup>. La máxima profundidad es de 7,9 m y la media, de 4,2 m. En el substrato, rico en carbonatos, dominan las dolomías (CEDEX, 2001).

En el extremo oriental se ubica la presa, de tierra, de planta recta, con 11,50 m de altura sobre el cauce. La cota de máximo embalse es la 342 m.s.n.m., y la de coronación, la 344 m.s.n.m. A unos 200 m al sur de la presa se conecta el Canal Alimentador, y en el extremo opuesto, al oeste, sale el Canal de Valmuel (cota de explotación 336,13 m.s.n.m.).

DATOS MORFOMÉTRICOS	ESTANCA DE ALCAÑIZ
Cota (m.s.n.m)	342
Volumen (hm <sup>3</sup> )	6,8
Superficie (Ha)	151
Profundidad máxima (m)	7,9
Profundidad media (m)	4,2

## 4.3. HIDROLOGÍA

La hidrología es uno de los factores que afecta el desarrollo de *blooms* de cianobacterias. Una elevada tasa de renovación del agua supone una pérdida de efectivos algales y perjudica a las especies de crecimiento lento, como las cianobacterias. Un incremento de la estabilidad de la columna de agua, en cambio, favorece el desarrollo de este tipo de algas, capaces de regular su flotabilidad. En general, el poco volumen y la turbulencia las afecta negativamente (Jacoby, 2000).

El régimen hidrológico de La Estanca está determinado principalmente por los riegos. Mientras que existe solamente un canal de entrada (el Canal Alimentador), las salidas

de agua de la Estanca son tres: el Canal de Valmuel, la Acequia de La Estanca y el tramo 2º de la Acequia Vieja.

### ***Caudal de entrada***

El Canal Alimentador parte de un azud situado sobre el río Guadaloque, aguas abajo de la confluencia del río Guadalopillo. Tiene una longitud de 23,4 Km. y de él salen multitud de pequeños canales y acequias, tanto para riego como para granjas y abastecimiento. La última derivación, a unos 50 m de la llegada a La Estanca, es la Acequia Gabalda.

El régimen de caudales que aporta el Canal Alimentador es muy irregular. Durante la época de riegos, entre mayo y septiembre, entran los máximos caudales (Figura 2). Durante el año 2001, el máximo se produjo en agosto ( $5,65 \text{ hm}^3$ ) y el mínimo en diciembre ( $0,24 \text{ hm}^3$ ) (Tabla 1).

### ***Caudal de salida***

Hay dos tomas de agua. En el extremo oeste, diametralmente opuesto a la presa, se encuentra el principal canal de desembalse, el Canal de Valmuel. La otra toma es la de la Acequia de La Estanca, en el desagüe de la presa. El régimen de desembalses sigue el mismo patrón que el de los caudales de aportación (Figura 2 y Tabla 1), puesto que son determinantes las tomas para riego. La toma de agua para abastecimiento se mantiene casi constante: en 2001 osciló entre 0,01 y  $0,06 \text{ hm}^3/\text{mes}$ ; siendo los meses de mayor consumo julio y septiembre ( $0,6 \text{ hm}^3$  anuales; un 2% del desembalse total).

### ***Régimen de explotación***

El flujo de agua está determinado por las necesidades de riego: en verano, las aportaciones y los desembalses registran sus máximos, mientras que el resto del año las aportaciones son mínimas y se mantiene un pequeño volumen de desembalse (el que corresponde a abastecimiento). Las aportaciones del Canal Alimentador presentan, pues, oscilaciones muy bruscas, especialmente al final del verano, entre septiembre y octubre, en que prácticamente deja de entrar agua en el embalse (Figura 2).

Entre 1999 y 2001, la cota del embalse muestra una amplitud total de oscilación de 2,3 m (Figura 3). En el 2001 la cota media ha sido mayor que en años precedentes porque

había excedentes de agua debidos a la avenida de los días 23/24 de octubre del 2000. En general, las cotas mínimas se registran en los meses de julio o agosto, que es cuando hay un mayor trasiego de agua. En septiembre entra más agua de la que sale y se sube la cota.

Los caudales entrantes y salientes determinan la tasa de renovación del agua, que es máxima en julio y agosto (Figura 4 y Tabla 2). En el año 2001 el tiempo de residencia del agua en el embalse ha oscilado entre 1,2 meses (agosto) y 28,4 meses (diciembre). Es remarcable el brusco incremento del tiempo de residencia del agua que se da en octubre, pasando de 2 a 16 meses.

## **4.4. HIDROQUÍMICA**

### **4.4.1. Temperatura**

Las temperaturas altas favorecen el crecimiento de cianobacterias; su rango óptimo se sitúa entre 15 y 25°C y se adaptan muy bien a la época de final de verano, cuando el día se acorta.

En La Estanca, durante el año 2001, la temperatura superficial oscila entre 1,8 y 24,5°C (diciembre y agosto) (Tabla 3). En verano hay un calentamiento relativo del agua embalsada respecto a la del Canal Alimentador (en julio la diferencia es de unos 6°C), pero es apreciable la influencia de las oscilaciones térmicas del agua entrante (Figura 5). Éstas se reflejan, algo atenuadas, en el agua del embalse.

La alta tasa de renovación del agua y la poca profundidad del embalse impiden que se forme una termoclina estable (Figura 6). Solamente las condiciones ambientales de finales de verano (alta insolación, poca pluviosidad, ausencia de vientos fuertes) propician la formación de un gradiente térmico en agosto. Es remarcable el efecto del enfriamiento del agua del Canal, en julio, que homogeneiza la temperatura en toda la columna de agua.

### **4.4.2. Turbidez**

La turbidez puede ser de origen planctónico o mineral (sólidos en suspensión). En La Estanca las variaciones de este parámetro se atribuyen principalmente al crecimiento de plancton, aunque en aguas carbonatadas los fenómenos de defracción de la luz

ocasionalmente hacen también disminuir la transparencia (Figura 7). Durante los meses de invierno la profundidad de visión del Disco de Secchi oscila entre 100 y 180 cm, con independencia de la concentración de clorofila (que varía entre 3,6 y 10,6 mg/m<sup>3</sup>). En verano, en cambio, se registran los mínimos valores de transparencia junto a concentraciones superiores de clorofila (Figura 8). Especialmente, la turbidez incrementa hacia el fondo; en parte se debe al efecto del oleaje sobre el sedimento y en parte al aporte de biomasa muerta (en verano) (Figura 9).

#### **4.4.3. Mineralización**

La mineralización en La Estanca depende del agua que llega por el Canal Alimentador y de las características de la cuenca natural, situada sobre un terreno soluble. Las aguas son ligeramente mineralizadas y con predominancia de sulfatos (Alonso y Comelles, 1985). La conductividad, durante el año 2001, varía entre 700 y 900 µS/cm (Tabla 3).

A lo largo del ciclo anual se aprecia la predominancia de una u otra cuenca de aportación. Entre enero y junio, casi no entra agua procedente del Canal, hay poco volumen de agua embalsada, la tasa de renovación es baja, y el agua del embalse se mantiene más mineralizada que la del Canal (Figura 10). A partir de mayo, y coincidiendo con la época de mayor flujo de agua, la conductividad en el embalse tiende a disminuir y es menor que la del Canal, aunque muestra el mismo patrón de variación (Figura 11).

La variación espacial sólo se manifiesta en agosto, cuando hay diferencias entre el agua superficial y la profunda (Figura 12). La leve estratificación térmica que se produce en este mes, cerca de la presa, hace que el agua del Canal, más fría y más mineralizada que el agua superficial, se “hunda” y que se detecte un incremento de conductividad en profundidad.

#### **4.4.4. Alcalinidad y composición iónica**

La alcalinidad limita la amplitud de los cambios de pH. Las proliferaciones de cianobacterias, y especialmente de *Microcystis* se dan a pH altos, con bajo contenido de CO<sub>2</sub> y presencia de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> y CO<sub>3</sub><sup>=</sup>.

En La Estanca la alcalinidad oscila entre 2 y 3 meq/L (Tabla 4 y Figura 13). Durante la época estival, entre junio y agosto, disminuye ligeramente en superficie, mientras que se incrementa hacia el fondo (en agosto). El descenso en superficie se atribuye a la actividad fotosintética del fitoplancton, que induce a la precipitación de  $\text{CaCO}_3$  al consumir  $\text{CO}_2$ .

El calcio es un factor muy importante en la regulación de la eutrofia porque secuestra el fósforo disuelto en el agua y forma con él complejos muy poco solubles. Cuando la concentración de Ca supera los 40 mg/L, la de P tiende a mantenerse por debajo de 0,01 mg/L. En la Estanca, el contenido de Ca es elevado -su concentración varía entre 80 y 150 mg/L- (Figura 14 y Tabla 4) y el contenido medio de fosfato es 0,004 mg/L (media anual en EA 2).

El contenido en calcio oscila mucho durante la época de mayor trasiego de agua y no guarda relación con los cambios de alcalinidad ni con la conductividad (Figura 15). Disminuye en junio (84,2 mg/L), presenta un máximo en julio (154,3 mg/L), vuelve a disminuir en agosto y se recupera en septiembre (116,2 mg/L). Estos cambios pueden deberse a la actividad fotosintética (cuyo aumento en verano tiende a provocar la precipitación de  $\text{CaCO}_3$  y la disminución de Ca disuelto) y al pH (el descenso generalizado de pH impuesto por el agua del Canal Alimentador, entre junio y julio explicaría el brusco incremento de Ca).

El magnesio presenta una evolución temporal similar a la de la conductividad, con mínimos en el mes de julio (Figura 16 y Tabla 4).

#### **4.4.5. pH**

Las cianobacterias del género *Microcystis* crecen bien en aguas con pH alto. Este parámetro determina la especiación química de los nutrientes y, por lo tanto, su biodisponibilidad. En aguas con una reserva alcalina considerable, como ocurre en La Estanca, la amplitud de cambios de este parámetro es, en principio, limitada. A lo largo de 2001 ha variado entre 7,3 y 9 unidades (Tabla 3).

En verano, la actividad fotosintética de los productores primarios suele provocar un incremento de pH y una disminución de la alcalinidad. En La Estanca, sin embargo, el pH tiende a disminuir, siguiendo el mismo patrón de variación que el agua del Canal Alimentador (Figura 17). El gran caudal entrante, y la elevada tasa de renovación,

confieren al agua embalsada las mismas propiedades hidroquímicas que el agua del Canal Alimentador; el pH en el embalse es mínimo en septiembre, coincidiendo con el del Canal (Figura 18).

#### **4.4.6. Oxígeno disuelto**

Este parámetro se relaciona bien con el metabolismo del embalse. Cuando predominan los procesos de respiración se consume O<sub>2</sub> y cuando domina la producción primaria se genera. Su solubilidad –y su concentración en el agua– depende además de la temperatura (a mayor temperatura menor solubilidad).

El contenido en oxígeno de las aguas superficiales es muy constante. A lo largo de 2001, tiende a disminuir desde enero a julio, lo que se atribuye al calentamiento progresivo del agua. Durante los meses de verano se incrementa ligeramente en superficie, debido a la actividad fotosintética de los productores primarios, y disminuye bruscamente hacia el fondo (Figura 19). En profundidad, se aprecia un progresivo descenso hasta agosto (3,9 mg/L). La inexistencia de una termoclina estable impide que haya anoxia pero es manifiesta la importancia de procesos respiratorios (Figura 20).

#### **4.4.7. Nutrientes**

##### ***Fósforo***

El fósforo se considera generalmente el elemento limitante de la producción primaria en los ecosistemas acuáticos. Esto se debe a que es muy poco abundante y, lo que es más importante, a que su ciclo biogeoquímico se encuentra ligado al agua y al suelo, lo que le diferencia de otros nutrientes principales como el carbono, el oxígeno y el nitrógeno, que cuentan con enormes reservas en la atmósfera. En La Estanca, la elevada concentración de Ca contribuye a controlar el contenido de P disuelto, por fenómenos de coprecipitación.

La concentración de fósforo disuelto del agua del Canal Alimentador (EA 1) oscila entre 0,007 y 0,036 mg/L, la media anual es 0,018 mg/L (Tabla 5). Salvo en agosto, es siempre superior a la concentración detectada cerca de la presa (EA 2), cuya media es de 0,004 mg/L (Figura 21). Aquí, la concentración de PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> está gobernada por tres factores: dos tienden a hacerla bajar (la asimilación algal y la concentración de Ca) y

uno a incrementarla (el aporte neto por el Canal Alimentador). Entre marzo y junio, hay poco aporte de caudal (y de fósforo) y se empieza a desarrollar el fitoplancton, por lo que el fósforo disuelto tiende a disminuir ligeramente. En agosto, se incrementa el aporte de fósforo por el Canal Alimentador (concentración anual máxima: 0,017 mg/L). A partir de entonces, mengua la entrada de caudal, se produce un *bloom* de cianobacterias, que asimilan eficazmente este nutriente, y disminuye la concentración de fósforo disuelto (Figura 22).

En el Canal de Valmuel (EA 3), el patrón de variación es similar al de EA 2 pero con un incremento brusco en septiembre ( $> 2$  mg/L), tras el *bloom* de *Microcystis*, que se atribuye a la liberación del fosfato acumulado, una vez las células empiezan a deteriorarse. Como las condiciones hidrológicas en el canal no son óptimas para el crecimiento de *Microcystis* (hay poca profundidad de agua, flujo constante), se interpreta que las que allí se encuentran son las que llegan arrastradas por la corriente y están ya en malas condiciones.

Aunque hay un solo valor de concentración de fósforo soluble en la toma del Guadalope (EA 0), es remarcable el enriquecimiento que este agua experimenta a lo largo del Canal Alimentador hasta llegar a la Estanca: de 0,003 a 0,016 mg/L (septiembre).

El aporte de fósforo soluble a La Estanca, a través del Canal Alimentador, a lo largo de 2001, es de 818 kg. (ver tabla siguiente). Este cálculo puede resultar inferior al real, puesto que en las campañas de enero y febrero no se pudo obtener muestra del Canal Alimentador, porque estaba seco en los días que se muestreó; y sin embargo, en estos meses, los datos estadísticos de explotación de la Confederación Hidrográfica del Ebro indican que entró agua por el Canal Alimentador ( $2,8 \text{ hm}^3$ ), con sus correspondientes aportes de fósforo disuelto.

Meses (año 2001)	Caudal entrante (m <sup>3</sup> /s)	P disuelto en el Canal Alimentador (mg/L)	Carga de P (kg/mes)
Marzo	1,63	0,002	8,45
Abril	3,82	0,013	128,72
Mayo	1,68	0,018	78,38
Junio	4,47	0,016	185,38
Julio	4,36	0,010	113,01
Agosto	5,65	0,007	102,51
Septiembre	3,33	0,016	138,10
Octubre	0,41	0,034	36,13
Noviembre	0,26	0,008	5,39
Diciembre	0,24	0,036	22,39
<b>TOTAL</b>	-	-	<b>818,48</b>

El aporte de fósforo de la cuenca natural se estima muy inferior. Asumiendo que los usos agrícolas ocupan 191,5 Ha (Bergua, 1995), y que el suelo dominante es margoso-arcilloso, los modelos de aportación difusa de Ryding y Rast (Unesco, 1992) permiten estimar un aporte de 57,45 Kg. anuales.

La salida anual de fósforo soluble por el Canal de Valmuel es inferior a la entrada (ver tabla adjunta), si se asume que la salida de fósforo en septiembre es inferior a la que resulta del cálculo directo. Este supuesto se basa en que no es esperable que durante el mes entero se mantenga la concentración de 2,7 mg/L detectada el día 20/9, por lo que se adopta el valor de 0,03 mg/L. La salida de fósforo soluble asumiendo este cambio es de 508,43 kg/año.

Meses (año 2001)	Caudal de salida (m <sup>3</sup> /s)	P disuelto en el Canal de Valmuel (mg/L)	Salida de P (kg/mes)	Balance
Enero	0,18	0,001	0,47	-
Febrero	0,29	0,003	2,26	-
Marzo	1,90	0,010	49,25	-
Abril	4,17	0,003	32,43	96,29
Mayo	1,38	0,002	7,15	71,23
Junio	4,85	0,001	12,57	172,81
Julio	5,02	0,001	13,01	100,00
Agosto	5,29	0,017	233,10	-130,58
Septiembre	2,60	2,731 (0,03)	202,18	-64,07
Octubre	0,26	0,002	1,35	34,78
Noviembre	0,38	0,003	2,95	2,44
Diciembre	0,36	0,004	3,69	18,70
<b>TOTAL</b>	-	-	<b>508,43</b>	<b>310,04</b>

De acuerdo con las cargas de entrada y salida estimadas, el balance a lo largo de 2001, es decir el fósforo que se queda en La Estanca, es de 310 kg. Esta cantidad se traduce, en valores medios, como una aportación anual de 199,7 mg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/m<sup>2</sup> o de 0,04 mg/L. El mantenimiento de la concentración media de fosfato en La Estanca alrededor de 0,004 mg/L se debe a la coprecipitación con el Ca. La fracción mayoritaria de este precipitado es insoluble y así “desaparece” del ciclo biológico hacia el sedimento.

La concentración media de fósforo total en la presa (EA 2) es de 0,12 mg/L. Entre agosto y octubre hay un leve descenso, coincidiendo con la proliferación algal. El incremento del fósforo disuelto en esta misma época indica que un mayor porcentaje del fósforo total está en forma disuelta, biodisponible (Figura 23 y Tabla 5).

### *Nitrógeno*

De todas las formas inorgánicas de N disuelto en el agua, el nitrato y el amonio son las directamente asimilables. El N atmosférico también es directamente asimilable por parte de algunas cianobacterias, y ello les permite desarrollarse con ventaja en condiciones de escasez de nitrato o amonio (cuando la relación N:P es baja).

El nitrito es una forma intermedia, poco estable en el ciclo de oxidación-reducción de los compuestos de nitrógeno. Es un buen indicador de los procesos de reciclado de materia orgánica o de descomposición. En La Estanca, durante el año 2001, los valores más altos se encuentran entre junio y agosto (0,18 mg/L en agosto), cuando la concentración es mayor en el Canal Alimentador y entra un mayor caudal (Figura 24 y Tabla 5). Además, coincide con la máxima actividad biológica. La disminución del oxígeno en el agua profunda, en verano, corresponde con un incremento de nitrito en el fondo (Figura 24).

El agua procedente del Canal Alimentador presenta concentraciones de nitrato entre 0,2 y 9,2 mg/L con una media anual de 5,2 mg/L (Figura 25 y Tabla 5). La concentración más baja es en mayo; en junio es cuando empiezan a encontrarse cianobacterias en el fitoplancton. Respecto al agua derivada del Guadalupe, a 23 km., no se aprecian diferencias, aunque solamente se dispone del dato de septiembre (5,9 en el Guadalupe y 5,7 en el Canal Alimentador antes de entrar en La Estanca). El aporte de nitrato por el Canal Alimentador es de 345,6 Tm/año.

En el embalse, la concentración de nitrato se incrementa suavemente hasta mayo, presenta un máximo en superficie (9,2 mg/L) en junio, y durante el verano tiende a disminuir. Este descenso estival se explica por el incremento de la actividad biológica, que impone una tasa de asimilación elevada. En el Canal de Valmuel, siempre hay menos nitrato que en el resto de puntos de muestreo porque se consume en La Estanca. Considerando que este es el mayor desembalse de La Estanca, las salidas de nitrato son de 164,15 Tm/año.

En el agua del Canal Alimentador el amonio se encuentra en concentraciones moderadas, desde "no detectable" hasta 0,4 mg/L, la media anual es de 0,10 mg/L (Tabla 5 y Figura 26). El máximo valor se da en mayo (justo cuando la aportación de nitrato es menor) y, en los meses de mayor influjo, la concentración se mantiene entre 0,05 y 0,2 mg/L. Tras el episodio de proliferación de *Microcystis*, en septiembre-octubre, se observa un incremento de amonio en todo el embalse, que sigue aumentando hasta un mes más tarde en el agua de fondo.

### ***Relación N:P***

Una relación N:P baja es favorable para el desarrollo de las cianobacterias; algunas de las cuales (entre ellas *Microcystis* sp.) pueden aprovechar el exceso relativo de P fijando N atmosférico. En La Estanca la relación N:P es siempre superior a 16:1 y cuando más se acerca el cociente N:P a este valor es en los meses de agosto y septiembre (Figura 27). La aparente “escasez” de P que da lugar a cocientes N:P más altos de lo esperable puede atribuirse a la eficiencia con la que este nutriente es acumulado por parte de los productores primarios.

En el Canal Alimentador, la relación N:P es muy variable y normalmente superior a la calculada para la Estanca, lo que indica que, respecto a la relación 16:1, el agua entrante aporta más N que P.

### ***Sílice***

El silicio es un elemento nutritivo cuya concentración media en las aguas continentales se sitúa alrededor de 6 mg/L. En La Estanca la concentración media es de 3,4 mg/L. A lo largo de 2001 tiende a incrementar entre enero y agosto, disminuyendo bruscamente en septiembre, tras la formación del *bloom* de cianobacterias (Figura 28). En general, el silicio fluctúa a la par que las poblaciones de diatomeas.

## **4.5. FITOPLANCTON**

El fitoplancton constituye la fracción más importante de los productores primarios en La Estanca, especialmente en los meses de verano. Los macrófitos semisumergidos (helófitos) de las orillas, las fanerógamas acuáticas y las formaciones de carófitos en zonas someras más abiertas forman parte también de los productores primarios. Su actividad fotosintética posiblemente contribuye a mantener una concentración de oxígeno alta en el fondo, durante los meses de invierno (Astacus, 1993). En verano, el crecimiento algal les limita la disponibilidad de luz y nutrientes.

Normalmente, se considera que un sistema puede calificarse de eutrófico cuando la concentración de fitoplancton excede 5.000 cél/mL. En La Estanca, entre junio y julio, se pasa de 3.852 a 30.020 cél./mL, en la zona de la presa (Tabla 6). En el Canal de Valmuel, los cambios son aún mayores: al ser el principal desembalse de La Estanca,

en los momentos de mayor flujo (septiembre) hay un arrastre de biomasa algal, llegándose a más de 800.000 cél./mL.

El ambiente óptimo para el desarrollo del fitoplancton es la masa de agua y los remansos que quedan apartados del flujo de agua principal. En estos enclaves la poca turbulencia favorece el desarrollo y el mantenimiento de la comunidad algal. En el Canal de Valmuel (EA 3) el ambiente es más fluvial que lacustre y el fitoplancton que allí se encuentra es el arrastre de las formaciones que crecen en la zona de mayor profundidad.

#### **4.5.1. Clorofila**

La concentración de clorofila es una medida indirecta de la abundancia de fitoplancton. Se considera que una concentración media anual superior a 8 mg/m<sup>3</sup> es indicadora de eutrofia. En La Estanca oscila entre 3,6 y 20,7 mg/m<sup>3</sup>, siendo la media 8,4 mg/m<sup>3</sup> (Tabla 6). En el Canal de Valmuel los valores son más altos, debido al arrastre la biomasa algal, que se concentra en esta zona.

La mayor concentración de clorofila se da en agosto, justo cuando la tasa de renovación es máxima (Figura 29). Altas tasas de renovación son, en principio, desfavorables para el desarrollo de fitoplancton; sin embargo, en La Estanca, las altas tasas de renovación se deben al incremento del caudal entrante, un caudal rico en nutrientes, especialmente P, que favorece el crecimiento algal.

#### **4.5.2. Composición del fitoplancton**

Los principales grupos que integran el fitoplancton de La Estanca son cianobacterias, diatomeas, crisofíceas, criptofíceas y clorofíceas (Figuras 30 a 33 y Tabla 7). Las clorofíceas son siempre minoritarias y las diatomeas prácticamente dominan la biomasa algal hasta el mes de mayo, cuando aparecen las cianobacterias, absolutamente dominantes entre julio y septiembre. No hay diferencias, en cuanto a composición, entre la zona de la presa y el Canal de Valmuel.

Criptofíceas y crisofíceas componen aproximadamente el 50% del fitoplancton durante el mes de abril y, en diciembre, una única especie de crisofícea (*Uroglena* sp.) domina la comunidad algal.

Entre las clorofíceas hay diferencias de composición a lo largo del año. En los meses de invierno y primavera dominan *Chlamydomonas* sp., *Carteria* sp y *Ankistrodesmus falcatus*. En verano, persiste e incrementa esta última, pero la más abundante es *Coelastrum reticulatum*. Todas son especies típicas de aguas eutróficas y moderadamente mineralizadas.

La diatomea más abundante y constante a lo largo de todo el año es *Cyclotella compta*. El resto de especies son típicas de aguas eutróficas y presentan una distribución muy constante a lo largo del año

### ***Cianobacterias***

Las cianobacterias crecen en el verano avanzado, cuando hay nutrientes (especialmente P), y la turbidez y la temperatura son elevadas.

El problema principal asociado a la proliferación de cianobacterias es su potencial toxicidad.

### ***Proliferación de Microcystis sp. en verano de 2001***

La especie de cianobacteria dominante es *Microcystis aeruginosa*. En cantidades muy bajas, siempre inferiores a 5.000 cél./mL, se encuentran *Aphanizomenon flosaquae* y *Oscillatoria agardhii*. Cerca de la presa (EA 2), *M. aeruginosa* aparece en junio y aumenta rápidamente sus efectivos hasta el mes de agosto (de 1.980 cél/mL a 20.000 cél/mL). En el canal de Valmuel (EA 3) también empieza a detectarse en junio (1.340 cél./mL), aumenta durante julio y agosto (<5.000 cél/mL) y es en septiembre cuando se encuentra en mayor cantidad (>800.000 cél/mL) (Figura 34).

La gran diferencia de concentración de *Microcystis* entre la presa (EA 2) y el Canal de Valmuel, en septiembre, hace suponer que el crecimiento masivo se produce, en la zona de mayor profundidad y menos corriente (EA 2), entre las campañas de agosto (20/8/01) y septiembre (20/9/01), y que las elevadas concentraciones detectadas en septiembre, en el Canal, son acumulaciones arrastradas por la corriente (el tiempo de residencia del agua es de 1 mes).

Existen varios factores físicos y químicos que tienen incidencia en el desarrollo de las cianobacterias en La Estanca.

- **Hidrología:** Las elevadas tasas de renovación del agua influyen negativamente sobre el desarrollo del fitoplancton en general, porque provocan una pérdida directa de biomasa algal. Para las cianobacterias, el perjuicio es mayor; por un lado, porque su tasa de crecimiento es baja y, por el otro, porque su capacidad de regular la flotabilidad –mediante la formación de vacuolas gaseosas- es lenta, de modo que cuando hay turbulencia, fácilmente son arrastradas. En La Estanca las condiciones hidrológicas previas a la formación del *bloom* no son favorables para la proliferación de *Microcystis aeruginosa*;
- **Temperatura e insolación:** el rango de temperatura óptimo es de 15 a 25 °C. En La Estanca, cerca de la presa, el crecimiento de *Microcystis aeruginosa* evoluciona con la temperatura: empieza a aparecer en junio (21°C), presenta los valores más altos en julio y agosto (21-23°C), y disminuye en septiembre (18°C). A lo largo del mes de agosto, es esperable que se mantenga la temperatura superficial alta, favorable para su crecimiento y que, en septiembre, el enfriamiento rápido del agua limite su desarrollo. En La Estanca, la temperatura es un factor favorable para su crecimiento.
- **Disponibilidad de nutrientes:** las cianobacterias son capaces de asimilar y almacenar P con mucha eficacia. En La Estanca, hay un importante aporte de P soluble por el Canal Alimentador durante los meses de primavera y verano; y el cociente N:P es mínimo en agosto (aunque superior a 16:1), justo antes de la formación del *bloom*. Éste tiene lugar entre agosto y septiembre, cuando incrementa la disponibilidad de P (de 0,003 a 0,009 mg/L). En La Estanca, el alto contenido en Ca es un factor limitante de la concentración de P, pero que no es suficiente para contrarrestar el aporte del Canal Alimentador.

### ***Producción de microcistina***

Más del 50% de las proliferaciones masivas de cianobacterias son tóxicas (Roset, 2001). Las toxinas, habitualmente denominadas cianotoxinas, pueden clasificarse, por su tipo de toxicidad, en neurotoxinas y hepatotoxinas. Dentro de las hepatotoxinas se encuentran péptidos cíclicos (microcistinas y nodularinas) y alcaloides cíclicos de guanidina (cilindrosperminas). Hay más de 60 variantes de microcistinas, que se forman por cambios en la composición de aminoácidos (Codd, 1999). La microcistina-LR, llamada así por los aminoácidos Leucina y Arginina, es la única para la cual se ha establecido un nivel guía de concentración tolerable en agua potable (Tabla 8). Los géneros que cuentan con especies productoras de microcistinas son *Microcystis*, *Anabaena*, *Oscillatoria* y *Nostoc* (Roset, 2001; Codd, 1996). Las condiciones desencadenantes de la producción de microcistina no se conocen bien; algunas especies que la producen durante toda su fase de crecimiento y otras sólo durante el final de la fase logarítmica; además, dentro de una misma especie existen cepas que producen toxinas y otras que no la producen (Chevalier, 1999; Jacoby, 2000; Roset, 2001).

En La Estanca de Alcañiz, la formación de *blooms* algales a finales de verano no es rara. La que se produjo en el año 2000 fue muy perjudicial y obligó a cortar temporalmente la captación para abastecimiento de Valmuel y Puigmoreno. Durante el año 2001 se ha podido mantener la captación ininterrumpidamente; la máxima concentración de microcistina en el agua sin tratar de la Estación de Tratamiento de Aguas Potables (ETAP) ha sido de 7 µg/L, el día 10/9/01 (Gestión de Aguas de Aragón, *com. pers.*).

A lo largo del año 2001, la concentración de microcistina-LR se ha analizado en 13 ocasiones, en el Canal de Valmuel (Tabla 9 y Figura 35). Ha sido indetectable entre enero y junio, empieza a aparecer en julio y presenta un máximo (17,1 µg/L) en septiembre, que rápidamente remite, aún superando el valor guía de 1 µg/L hasta el mes de noviembre (ver tabla adjunta). El valor de septiembre puede ser sobreestimado, puesto que según el laboratorio encargado del análisis la muestra no fue filtrada inmediatamente.

Fechas de muestreo	<i>Microcystis aeruginosa</i> (cél/mL)		Microcistina –LR (mg/L)
	EA-2	EA-3	EA-3
18/05/01	-	-	<0,2
19/06/01	1.980	1.340	<0,2
19/07/01	26.000	4.300	0,30
20/08/01	20.000	4.800	0,30
20/09/01	8.200	840.000	17,10
02/10/01	No analizada	No analizada	1,10
31/10/01	800	360	1,20
20/11/01	400	200	<0,2
26/12/01	-	-	<0,2

La aparición de microcistinas ocurre con retraso respecto al desarrollo de *Microcystis aeruginosa*, lo cual es normal, porque se trata de endotoxinas que son liberadas tras la lisis celular consecutiva a la muerte de las células (Chevalier, 1999). Corrobora esta explicación el máximo de fósforo disuelto detectado en EA 3 en septiembre, ya que, con la lisis celular se libera también el fósforo que tan eficazmente almacenan las cianobacterias. Mientras que no existe evidencia de correlaciones significativas entre concentración de *Microcystis* y microcistina, sí la hay entre fósforo disuelto y microcistina (Jacoby, 2000; Chevalier, 1999).

Las microcistinas son relativamente persistentes en el medio acuático. Estudios realizados en Australia demuestran que tras tratar con alguicidas un *bloom* dominado por *Microcystis aeruginosa*, se detecta microcistina al cabo de 21 días, y que para reducir su concentración al 50% tienen que pasar, por lo menos, 5 días (Health Canada, 1998).

La muestra del día 2 de octubre, cuando la proliferación empieza a menguar, ha sido analizada mediante HPLC, para caracterizar y cuantificar el tipo de microcistinas presentes en el interior de las células (Dr. Antonio Quesada, Universidad Autónoma

de Madrid). Los compuestos mayoritarios hallados mediante este método son microcistina-LR y microcistina-YR, en cantidades similares (ver tabla adjunta).

El valor guía de la OMS, de 1 µg/L, se refiere al contenido total, intra y extracelular. Con el método ELISA se detecta el contenido extracelular; con HPLC, el intracelular. No obstante, a efectos de potabilización de aguas, suele medirse el contenido extracelular, porque con un filtrado previo ya se retiene la microcistina intracelular.

Microcistina-LR	Microcistina-YR	TOTAL
<i>Análisis mediante HPLC (contenido intracelular)</i>		
53,05 µg/L	56,38 µg/L	<b>109,43 µg/L</b>
<i>Análisis mediante ELISA (contenido extracelular)</i>		
1,1 µg/L	no analizable	<b>1,1 mg/L</b>

En los sistemas acuáticos, la compartimentación de la toxina dentro y fuera de las células es muy variable y se relaciona con su estado fisiológico (Codd, 1994). Los datos de octubre de 2001 reflejan que, aunque la concentración de toxina libre tiende a disminuir, la intracelular es todavía importante, lo que indica que irá siendo liberada a medida que mueran las células.

### ***Toxicidad***

La microcistina es perjudicial para los humanos y puede ser letal para peces y plantas (Carmichael, 1992). En el hombre y en los animales, la toxicidad de las cianotoxinas hepatotóxicas, entre ellas la microcistina-LR, se basa en que provoca una necrosis de los hepatocitos y de los tejidos renales, intestinales y pulmonares. Una hemorragia hepática y un choque hemodinámico suelen preceder el paro cardíaco que causa la muerte (Chevalier, 1999; Hooser, 1990).

Se ha descrito la muerte de animales tras abrevarse en aguas con  $>10^6$  cél./mL de *Microcystis aeruginosa* (Carmichael, 1992). La dosis diaria de ingestión tolerable, sin efectos perceptibles, en humanos, es de 40 µg/kg de peso corporal (Health Canada, 1998).

## 4.6. ESTADO TRÓFICO

Se ha evaluado el estado trófico de la Estanca de Alcañiz mediante el modelo Vollenweider (1975) y de acuerdo con la clasificación de la OCDE (1982).

### 4.6.1. Modelo de Vollenweider

Se trata de un modelo empírico diseñado para evaluar el grado trófico que alcanzará un embalse en función de la carga de fósforo anual que recibe así como de su morfología e hidrología. El modelo de Vollenweider se basa en datos reales de un gran número de lagos.

Para calcular el estado trófico de La Estanca según este modelo, se ha tenido en cuenta la carga de fósforo que entra por el Canal Alimentador y los parámetros hidromorfológicos (tasa de renovación, profundidad media y superficie del embalse) considerados mes a mes.

Los resultados muestran que el embalse presenta tendencia a la eutrofia, ya que la carga de fósforo anual se sitúa en el límite tolerable (Figura 36). La carga de fósforo se relaciona siempre inversamente con el tiempo de residencia, y esto impide que el grado de eutrofia sea mayor. La razón es que ambos parámetros dependen estrictamente del caudal del Canal Alimentador: un mayor caudal de entrada representa, a la vez, una mayor carga de fósforo pero un menor tiempo de residencia.

Parámetros	Estanca de Alcañiz
Área promedio embalse (m <sup>2</sup> )	1.510.000
Carga fósforo anual (Tm/año)	0,82
g/ m <sup>2</sup> año	0,54
Profundidad media (m)	4,2
Tiempo de residencia (TR) (años)	0,10 (37 días)
Prof. media / TR (m/año)	41,35

#### 4.6.2. Parámetros de la OCDE

Aplicando los criterios de la OCDE (modificado de OCDE, 1982), según el contenido medio de clorofila debe considerarse que La Estanca es un embalse eutrófico, aunque la concentración de P correspondería a aguas mesotróficas.

<b>Categoría trófica</b>	<b>P Total media anual mg/L</b>	<b>Clorofila media anual mg/L</b>	<b>Clorofila máx. anual mg/L</b>	<b>Disco de Secchi* media anual m</b>	<b>Disco de Secchi* mín. anual m</b>
Ultraoligotrófico	<4	<1	<2,5	>12	>6
Oligotrófico	<10	<2,5	<8	>6	>3
Mesotrófico	10-35	2,5-8	8-25	6-3	3-1,5
Eutrófico	35-100	8-25	25-75	3-1,5	1,5-0,7
Hipereutrófico	>100	>25	>75	<1,5	<0,7
<b>Estanca de Alcañiz</b>	<b>21,2 (M)</b>	<b>8,47 (E)</b>	<b>20,7 (M)</b>	<b>1,13 (H)</b>	<b>0,63 (H)</b>



## 5. MEDIDAS CORRECTORAS

Se han analizado diferentes posibilidades para reducir las proliferaciones de cianobacterias. Pueden ser de carácter hidrológico, químico y biológico.

### *Medidas hidrológicas*

Una alta tasa de renovación del agua es desfavorable para el desarrollo de cianobacterias. En La Estanca la tasa de renovación en 2001 ha sido muy alta y el crecimiento de *Microcystis aeruginosa* se ha producido precisamente después de una pérdida de cota y cuando la tasa de renovación ha sido mayor, es decir, cuando las condiciones han sido más desfavorables

Hay dos maneras de incrementar la tasa de renovación: aumentar el trasiego de agua o reducir el volumen embalsado. Con la primera opción, al incrementar la entrada de agua por el Canal Alimentador, se aporta más fósforo, lo que es contraproducente porque favorece el desarrollo de cianobacterias; además, existen limitaciones estructurales del sistema de canales y acequias, que deberían soportar caudales mayores. La segunda opción también resulta desfavorable porque limita los usos recreativos del embalse y afecta negativamente a los macrófitos. Además existe el precedente de que el mantenimiento de menos volumen embalsado, durante el año 2000, coincidió con un *bloom* de mayores proporciones que el de 2001.

Factores desfavorables al crecimiento de cianobacterias	Medios para potenciarlos	Comentarios
Incremento de la tasa de renovación	Incremento del flujo de agua	Supone incrementar los caudales circulantes por el Canal Alimentador (mayor entrada de P y mayor detracción de agua del Guadalope)  Limitaciones estructurales de la red de canales y acequias
	Disminución del volumen embalsado	Es paisajísticamente desfavorable (ceja árida) y compromete los usos recreativos  Afecta negativamente a los macrófitos

Teniendo en cuenta las limitaciones existentes para incrementar la tasa de renovación, en cuanto a la gestión hidrológica se recomienda:

- mantener una tasa de renovación máxima ( $0,8 \text{ mes}^{-1}$ ) durante los meses junio a septiembre y, en años especialmente cálidos ( $T^a$  superficial del agua  $> 20^\circ\text{C}$ ), incluso en octubre;
- evitar incrementos puntuales del tiempo de retención del agua en verano o a principios de otoño; es decir, evitar reducir bruscamente el caudal entrante durante el verano;
- hacer posible la captación de agua para abastecimiento directamente desde el Canal Alimentador. Esta medida supone realizar obras para la captar y conducir el agua desde el Canal Alimentador hasta la Estación de Tratamiento de Aguas Potables de Valmuel y Puigmoreno.

### ***Medidas químicas: control de nutrientes***

El pH moderadamente alto, una temperatura elevada y la disponibilidad de nutrientes –especialmente de fósforo- son los factores fisicoquímicos que propician crecimientos masivos de cianobacterias.

En La Estanca, durante el año 2001, *Microcystis aeruginosa* prolifera a finales de verano, cuando la temperatura se mantiene alta y ha habido un aporte continuado de nutrientes desde el Canal Alimentador, con efecto “fertilizador” (el 75% de la carga de fósforo procedente del Canal Alimentador tiene lugar entre mayo y septiembre). La reducción del aporte de fósforo es el factor que más decisivamente contribuirá a controlar las proliferaciones de cianobacterias.

El fósforo que llega a La Estanca procede mayoritariamente de:

- **la cuenca del Guadalope:** el aporte es máximo en verano, y se atribuye principalmente al río Guadalopillo. El Guadalope lleva agua del embalse de Calanda, normalmente desembalsada del epilimnion durante el verano (datos de la red ICA en Calanda indican que el fósforo soluble es indetectable), mientras que el Guadalopillo recibe los efluentes de las EDAR de Alcorisa y Calanda,

- **el Canal Alimentador:** entre el azud de toma y la llegada a La Estanca, el canal discurre mayoritariamente a cielo abierto, en un entorno donde el uso del suelo es agrícola y ganadero. En un muestreo se ha comprobado que el agua se enriquece en fósforo al fluir por el Canal.

Las medidas correctoras se orientan a reducir la carga de fósforo procedente de ambos focos:

Factores desfavorables al crecimiento de cianobacterias	Medios para potenciarlos	Comentario
Poca disponibilidad de nutrientes, especialmente de P	<b>Cuenca del Guadalopec:</b>  Mejorar la calidad del agua aguas arriba de la toma del Canal Alimentador  Detraer agua directamente del embalse de Calanda	Supone mejorar el tratamiento de las EDAR de Calanda y Alcorisa; controlar posibles vertidos y detectar focos de contaminación difusa  Ya sea directamente o a través de una conexión con el canal de Calanda - Alcañiz
	<b>Canal Alimentador:</b>  Reducir la carga de P	Supone evitar el enriquecimiento en P a lo largo del Canal y/o provocar la precipitación química de P

- Mejorar la calidad del agua en la cuenca del Guadalopec. Constituye la alternativa más efectiva ya que corregiría el problema en origen. Esta medida correctora incluye:
  - identificar y tratar adecuadamente los vertidos que se producen en la cuenca (contaminación puntual);
  - mejorar el tratamiento en las EDAR de Alcorisa y Calanda, incorporando tratamientos terciarios, y
  - modificar los actuales usos del suelo en la cuenca, para reducir los coeficientes de exportación de fósforo (contaminación difusa).

- Detraer agua directamente del embalse de Calanda, para evitar el efecto del río Guadalopillo. Esta medida supone conectar el Canal Alimentador con el embalse, ya sea directamente o a través de una conexión con el Canal de Calanda-Alcañiz. Esta medida beneficiará a las tomas para abastecimiento que actualmente parten del Canal Alimentador.
  
- Reducir la carga de fósforo en el Canal Alimentador.
  - *A lo largo del Canal Alimentador.* Se ha constatado un enriquecimiento en fósforo entre el punto de toma y la llegada a La Estanca. Se debería confirmar este incremento (que puede deberse a la entrada de escorrentías) y adoptar medidas relativas al diseño del canal, para limitarlo;
  - *A la llegada a La Estanca.* La precipitación de fósforo en el Canal Alimentador, presenta dificultades técnicas y económicas. Existen varios productos químicos que pueden provocarla: el sulfato de alúmina y potasio, el hidróxido de calcio y el carbonato cálcico. El sulfato de alúmina es poco soluble y ocasionalmente resulta tóxico para el fitoplancton. El hidróxido de calcio  $-Ca(OH)_2-$  y el carbonato cálcico  $-CaCO_3-$  son más adecuados. Se utilizan habitualmente como alguicidas y agentes precipitadores de fósforo. No son tóxicos, tampoco resultan caros y si se dosifican adecuadamente, el incremento de pH que provocan es mínimo. Como alguicidas, a diferencia del sulfato de cobre, no causan lisis celular. Si se aplicara la precipitación química en el Canal Alimentador, dada la entrada continua de P, se requerirían grandes cantidades de producto; una dosis de tratamiento de 50 mg de  $Ca(OH)_2$  / L supondría la necesidad de construir una planta con la siguiente capacidad:

mes	caudal medio (m <sup>3</sup> /s)	dosis Ca (OH) <sub>2</sub> (g/s)
mayo	1,68	84,0
junio	4,47	223,5
julio	4,36	218,0
agosto	5,65	282,5
septiembre	3,33	166,5

Si el producto se aplicara en el embalse (6,8 hm<sup>3</sup>), se necesitarían 340 Tm de producto; considerando el coste directo del producto (3,4 M Pta.) y el de aplicación, es una opción poco viable económicamente. Técnicamente, además, entraña dificultades de aplicación.

Para llevar a cabo las medidas correctoras mencionadas sería preciso realizar un estudio detallado de las aportaciones de fósforo en la cuenca del Guadalopec y a lo largo del Canal Alimentador. Con ello sería posible identificar y cuantificar los focos de contaminación localizados y difusos, en el propio Canal, en la cuenca del Guadalopillo y en el Guadalopec aguas abajo del embalse de Calanda. La cuantificación de la contaminación difusa exige un análisis detallado de los usos del suelo, para aplicar coeficientes de aportes de nutrientes asociados a cada categoría de uso del suelo (Ryding y Rast, 1995).

### ***Medidas biológicas***

Tienen por objetivo reducir la concentración de algas, ya con productos químicos o por biomanipulación.

La eliminación de algas mediante aplicación de alguicidas químicos no es recomendable, especialmente si provocan lisis celular, porque, en el caso de las cianobacterias, pueden contribuir a incrementar súbitamente la liberación de microcistina, lo que tiene efectos claramente perjudiciales. Debe evitarse la aplicación de estos productos en casos de proliferación de cianobacterias.

La aplicación de paja de cebada es un método eficaz en el control de las proliferaciones algales, pero es sólo recomendable en lagos y lagunas de pequeñas dimensiones (entre 5 y 12 Ha y < de 1 Hm<sup>3</sup>) (Caffrey, 1999). Las dimensiones de la Estanca lo harían inviable.

Las medidas basadas en la biomanipulación son poco recomendables, porque exigen un conocimiento muy detallado de las relaciones tróficas del sistema y no siempre resultan eficaces, porque hay multitud de factores incidentes, de difícil control.



## 6. PLAN DE SEGUIMIENTO

---

Con el fin de seguir vigilando la calidad del agua en el embalse de La Estanca y proceder a su gestión se recomienda el siguiente seguimiento:

### *Campañas de muestreo*

La frecuencia de muestreo puede reducirse a los meses de funcionamiento del Canal Alimentador.

Las campañas deben cubrir el periodo de mayor trasiego de agua en La Estanca, es decir, entre mayo y septiembre.

### *Puntos de muestreo*

*En la cuenca del Guadalupe:* aguas arriba del punto de toma, para estimar el efecto de las aportaciones de los ríos Guadalopillo y Guadalupe.

*En el Canal Alimentador:* en el punto de toma, a medio tramo y a su llegada en La Estanca (EA-1).

*En La Estanca:* EA-2 (presa) y EA-3 (Canal de Valmuel).

### *Parámetros a analizar "in situ" y en las muestras*

Se proponen los siguientes parámetros:

Disco de Secchi	Alcalinidad	Amonio
Temperatura	Calcio	Microcistina LR
pH	Sulfato	(solamente en La Estanca)
Conductividad	P soluble y total	Clorofila
Turbidez	Nitrito	Fitoplancton
Oxígeno disuelto	Nitrato	



### *Cuenca de drenaje*

- Los usos del suelo en el entorno inmediato de La Estanca (cuenca natural) son predominantemente agrícolas. No hay focos de contaminación local y la aportación difusa de fósforo se estima en 57,5 kg. anuales
- La principal cuenca alimentadora, en volumen aportado, es el río Guadalope, tras la confluencia con el Guadalopillo. Los usos del suelo en la zona de captación son eminentemente agrícolas, ganaderos y urbanos; al Guadalopillo vierten las EDAR de Alcorisa y Calanda, de implantación reciente
- La proporción de agua procedente de los ríos Guadalope y Guadalopillo varía a lo largo del año, en función del régimen de explotación del embalse de Calanda
- La calidad del agua del río Guadalopillo ha mejorado en los últimos años, tras la puesta en funcionamiento de las mencionadas EDAR (el índice biótico BMWP' en Alcorisa ha aumentado de 4 a 60)
- El Canal Alimentador, de más de 23 km., discurre mayoritariamente a cielo abierto, en un entorno dominado por usos agrícolas y ganaderos. El agua se enriquece en nutrientes entre el punto de toma y su llegada a La Estanca

### *Hidrología*

- El régimen hidrológico es totalmente artificial y está regulado por las necesidades de riego; entre junio y septiembre, el tiempo de residencia del agua es mínimo (1,5 meses), pero suficiente como para que se produzcan proliferaciones de algas.

### *Hidroquímica*

- Las características hidroquímicas del agua del Canal Alimentador se imponen a las propias de La Estanca durante los meses de verano, en los que hay un mayor trasiego de agua (las variaciones de temperatura, conductividad y pH del Canal se aprecian en el embalse)

- No hay estratificación térmica estable ni anoxia en el fondo

### ***Metabolismo y desarrollo de fitoplancton***

- El Canal Alimentador aporta más de 818 kg anuales de fósforo disuelto, concentrados entre la primavera y el verano. La elevada concentración de Ca del agua del embalse (80 a 150 mg/L) y el mantenimiento de una alta tasa de renovación en verano contrarrestan su efecto fertilizador
- La disponibilidad de fósforo, las elevadas temperaturas y una alcalinidad moderada explican la proliferación de *Microcystis aeruginosa*, que ha formado un *bloom* entre finales de agosto y septiembre de 2001
- Se detecta microcistina libre tras la proliferación algal, en septiembre de 2001; el umbral de 1 µg MIST-LR/L, establecido por la OMS, se supera durante los meses de septiembre y octubre
- La caracterización de la microcistina mediante cromatografía líquida (HPLC) evidencia que las variantes LR e YR se encuentran en igual proporción; y que el contenido sestónico es muy superior a la fracción libre detectada en el agua
- El estado trófico de La Estanca, según el modelo de Vollenweider, se sitúa en el límite entre la mesotrofia y la eutrofia; según los parámetros de la OCDE es eutrófico

### ***Medidas correctoras***

- Se recomienda evitar incrementos puntuales del tiempo de residencia del agua en verano.
- Se recomienda construir una conducción de *by-pass* que permita captar agua para abastecimiento directamente desde el Canal Alimentador.
- Se constata que la adopción de medidas de tipo químico para reducir *in situ* la carga de fósforo exigiría una gran capacidad de tratamiento, lo que es inviable técnica y económicamente

- Dado que se ha identificado el fósforo como causa principal de la proliferación de cianobacterias, se recomienda su control a nivel de la cuenca del Guadalupe y del Guadalopillo, como medida correctora más efectiva.
- Se recomienda analizar la viabilidad de detraer agua directamente del embalse de Calanda, para evitar el deterioro de la calidad del agua debido al río Guadalopillo.



## 8. BIBLIOGRAFÍA

---

Anento, J. L. (1991). Endorreísmo en el Bajo Aragón: apuntes sobre la singularidad natural de los focos de la Laguna de Chiprana y de las Saladas de Alcañiz. *Teruel. Revista de Instituto de Estudios Turolenses* 82 (1)

Alonso, M., y M. Comelles (1985) Catálogo limnológico de las balsas y lagunas de la provincia de Teruel. *Teruel*, 73

Astacus, SC (1993). Manejo piscícola de la Estanca de Alcañiz, Diputación General de Aragón

Bergua, F. M., A. Palau, *et al.* (1996). PORN de la Estanca de Alcañiz y su entorno inmediato (Teruel) mediante SIG. *Montes. Ciencia y Técnica* 45: 37-44

Canada Health (Dirección General de Protección de la Salud, C. H.) (1998). Les toxines cyanobactériennes. Les microcystines dans l'eau potable, Sous-Comité Fédéral-provincial sur l'eau potable

Carmichael, W. (1994). Toxinas de cianobacterias. *Investigación y ciencia* 3-1994: 22-29

CEDEX (2001). Reconocimiento sedimentológico del embalse de La Estanca de Alcañiz. Informe técnico para el Ministerio de Medio Ambiente

Chevalier, P. (1999). Les cyanobactéries toxiques et les microcystines. *Bulletin d'Information en Santé Environnementale* 10 (4)

Chu, F. S., X. Huang, *et al.* (1989). Enzyme-linked Immunoabsorbent Assay for Microcystins in Blue-Green Algal Blooms. *Journal of the Association of Analytical Chemists* 73 (3): 451-456

Chu, F. S., X. Huang, *et al.* (1989). Production and Characterization of Antibodies against Microcystins. *Applied and Environmental Microbiology* 55: 1928-1933

Codd, G. A., S. G. Bell, *et al.* (1999). Cyanobacterial toxins, exposure routes and human health. *European Journal of Phycology* (34): 405-415

Department of Natural Resources, (2000). Blue-Green Algae: Effects on Humans. <http://www.dnr.qld.gov.au/water/bga/how.html>. Brisbane.

J.M. Jacoby, *et al.* (2000). Environmental factors associated with a toxic bloom of *Microcystis aeruginosa*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 57 (1): 231-240

Lahti, K., J. Rapala, *et al.* (2001). Occurrence of microcystins in raw water sources and treated drinking water of Finnish waterworks. *Water Science and Technology* 43 (12): 225-228

Margalef, R., D. Planas, J. Armengol, A. Vidal, N. Prat, A. Guiset, J. Toja y M. Estrada. (1976). *Limnología de los embalses españoles*. Ministerio de Obras Públicas. Madrid. 450 pp.

OCDE (Organization for Economic Cooperation and Development) (1982). Eutrofication of waters. Monitoring, Assessment and Control. Final Report. OECD Cooperative Programme on Monitoring of Inland Waters (Eutrofication Control). Environment Directorate. OECDE, Paris, 154 p.

OMS (1998). Guidelines for Drinking water Quality, Segunda edición, Addendum del Vol 2. Health criteria and other supporting information. Ginebra.

Parker, D., H. Kumar, *et al.* (1997). Potassium salts inhibit growth of the cyanobacteria *Microcystis* spp. in pond water and defined media: implications for control of microcystin-producing aquatic blooms. *Applied and Environmental Microbiology* 63 (6): 2324-2329

Roset, J., S. Aguayo, *et al.* (2001). Detección de cianobacterias y sus toxinas. *Revista de Toxicología* (18): 65-71

Ryding, S.-O. y Rast, W. (1992). El control de la eutrofización en lagos y pantanos. UNESCO y Pirámide. Madrid.

Shapiro, J. Jundquist, J. B., Carlson, R.E. (1975). Involving the public in Limnology. An approach to communication. *Verh. Intern. Verein. Limnol.*, 19: 866-874.

Vollenweider, R. A. (1975). Input-output models with special reference to phosphorous loading concept in limnology. *Schweiz. Zeit. Hydrol.* 37: 53-84.

Weinberg, A. (2000). EPA comment on toxins. *Lake Line* 20(4): 13

Zurawell, R. (2000). Cyanobacteria: a Review Toward Understanding. *Lake Line* 20 (4): 29-33

## **TABLAS**

---

Tabla 1.-

Caudales mensuales de entrada y salida ( $\text{hm}^3$ ) en la Estanca de Alcañiz (de 1999 a 2001)

meses	Caudal de entrada ( $\text{hm}^3$ )				Caudal de salida ( $\text{hm}^3$ )			
	1999	2000	2001	media	1999	2000	2001	media
Enero	0,63	0,19	1,89	0,90	0,15	0,36	0,18	0,23
Febrero	0,24	0,25	0,91	0,47	0,12	0,17	0,29	0,19
Marzo	0,37	1,42	1,63	1,14	0,13	1,86	1,90	1,30
Abril	1,94	1,01	3,82	2,26	2,40	1,42	4,17	2,66
Mayo	1,67	3,29	1,68	2,21	1,68	3,49	1,38	2,18
Junio	2,80	2,57	4,47	3,28	3,33	2,10	4,85	3,43
Julio	3,95	3,02	4,36	3,78	3,36	4,26	5,02	4,21
Agosto	2,55	5,29	5,65	4,50	2,87	4,23	5,29	4,13
Septiembre	2,27	2,49	3,33	2,70	1,49	2,47	2,60	2,19
Octubre	0,67	0,97	0,41	0,68	0,29	1,05	0,26	0,53
Noviembre	0,12	0,10	0,26	0,16	0,19	0,49	0,38	0,35
Diciembre	0,32	0,08	0,24	0,21	0,42	0,24	0,36	0,34
<i>máximo</i>	3,95	5,29	5,65	4,50	3,36	4,26	5,29	4,21
<i>mínimo</i>	0,12	0,08	0,24	0,16	0,12	0,17	0,18	0,19
<i>media</i>	1,46	1,72	2,39	1,86	1,37	1,85	2,22	1,81
Volumen Total Anual	17,53	20,68	28,65	-	16,43	22,14	26,68	-

Tabla 2.-  
Tasa de renovación y tiempo de residencia del agua en La Estanca, entre 1999 y 2001

meses	Tasa de renovación (mes <sup>-1</sup> )			Tiempo de residencia (meses)		
	1999	2000	2001	1999	2000	2001
Enero	0,093	0,028	0,278	10,8	35,8	3,6
Febrero	0,035	0,037	0,134	28,4	27,2	7,5
Marzo	0,054	0,209	0,240	18,4	4,8	4,2
Abril	0,285	0,148	0,561	3,5	6,7	1,8
Mayo	0,245	0,483	0,247	4,1	2,1	4,1
Junio	0,411	0,378	0,657	2,4	2,6	1,5
Julio	0,580	0,444	0,641	1,7	2,3	1,6
Agosto	0,375	0,777	0,830	2,7	1,3	1,2
Septiembre	0,334	0,366	0,489	3,0	2,7	2,0
Octubre	0,098	0,143	0,060	10,2	7,0	16,6
Noviembre	0,018	0,015	0,038	56,7	68,1	26,2
Diciembre	0,047	0,012	0,035	21,3	85,1	28,4
<i>Mínimo</i>	0,018	0,012	0,035	1,7	1,3	1,2
<i>Máximo</i>	0,580	0,777	0,830	56,7	85,1	28,4
<i>Media</i>	0,215	0,253	0,351	13,6	20,5	8,2

Tabla 3.-

Parámetros de medida in situ: temperatura, conductividad, temperatura, oxígeno disuelto, pH y turbidez

	AÑO 2001												Mín.	Máx.	Media
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.			
<b>Temperatura (°C)</b>															
EA 0															
EA 1			10,7	12,3	20,7	16,6	15,3	22,1	18,2	15,0	8,3	1,8	1,8	22,1	14,1
EA 2S		9,1	14,9	11,9	19,4	22,1	21,6	23,9	17,8	17,5	7,7	4,0	4,0	23,9	15,5
EA 2F		8,4	13,4	11,4	14,7	19,9	21,5	21,5	17,0	17,5	7,6	4,0	4,0	21,5	14,3
EA 3	8,3	8,8	15,7	12,0	18,1	22,7	21,0	24,5	18,5	17,5	7,6	4,0	4,0	24,5	14,9
<b>Conductividad (mS/cm)</b>															
EA 0															
EA 1			663	657	645	703	770	860	781	851	1035	1040	645	1040	801
EA 2S		760	778	730	730	712	690	718	706	781	787	805	690	805	745
EA 2F		760	784	726	731	712	688	892	706	789	789	795	688	892	761
EA 3	844	761	794	740	734	716	687	783	691	795	792	795	687	844	761
<b>Oxígeno disuelto (mg/L)</b>															
EA 0															
EA 1			14,3	13,9	9,5	17,6	10,9	14,7	6,4	15,8	19,7	14,4	6,4	19,7	13,7
EA 2S		11,9	10,9	11,2	9,8	8,9	8,8	10,4	7,9	9,0	12,2	11,6	7,9	12,2	10,2
EA 2F		12,9	10,8	10,4	8,2	8,2	8,6	3,9	6,3	7,4	11,8	11,1	3,9	12,9	9,1
EA 3	9,8	11,8	11,0	11,2	9,7	9,4	8,8	9,3	8,9	8,5	11,4	11,6	8,5	11,8	10,1
<b>pH</b>															
EA 1			8,6	8,6	9,1	8,9	8,3	8,4	7,4	8,4	8,7	8,9	7,4	9,1	8,5
EA 2S		8,7	8,4	8,7	8,3	8,2	8,3	8,2	7,8	8,2	8,5	8,6	7,8	8,7	8,4
EA 2F		8,7	8,4	8,6	8,2	8,3	8,3	7,4	7,6	8,2	8,5	8,5	7,4	8,7	8,2
EA 3	8,25	8,7	8,4	8,7	8,2	8,5	8,3	7,9	7,8	8,2	8,5	8,5	7,8	8,7	8,3
<b>Turbidez (NTU)</b>															
EA 2S		4,1	10,2	14,7	4,9	8,9	33,4	150	4,3	5,0	13,8	0,4	0,4	150,0	22,7
EA 2F		6,4	19,2	13,6	29,1	23,1	41,3	140	37,4	3,0	14,4	1,2	1,2	140,0	29,9
EA 3		4,0	7,4	35,2	12,0	22,0	57,2	-	17,0	-	10,2	-	4,0	57,2	20,6
<b>Disco de Secchi (cm)</b>															
EA 2S		129	102	120	140	70	63	130	77	160	103	180	63	180	116
EA 3		152	110	-	-	-	-	64	65	148	141	240	64	240	131

Tabla 4.-

Alcalinidad y concentración de Ca y Mg, en las estaciones de muestreo de La Estanca de Alcañiz, en 2001

	AÑO 2001												<i>Mín.</i>	<i>Máx.</i>	<i>Media</i>	
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.				
<b>Alcalinidad (meq/L)</b>																
EA 2S		2,92	2,86	2,78	2,76	2,80	2,62	2,14	2,44	2,54	2,52	2,66	2,14	2,92	2,64	
EA 2F		2,80	2,82	2,90	2,86	2,86	2,54	2,80	2,50	2,58	2,70	2,52	2,50	2,90	2,72	
EA 3		2,76	2,74	2,80	3,00	2,90	2,62	2,22	3,76	2,48	2,50	2,66	2,22	3,76	2,77	
<b>Calcio (mg/L)</b>																
EA 2S		120,2	116,2	114,2	124,2	84,2	154,3	108,2	116,2	120,2	126,3	132,3	84,2	154,3	119,7	
EA 2F		128,3	122,2	110,2	126,3	104,2	146,3	106,2	112,2	122,2	126,3	134,3	104,2	146,3	121,7	
EA 3	134,3	120,2	116,2	114,2	122,2	100,2	156,3	116,2	140,3	118,2	126,3	134,3	100,2	156,3	124,9	
<b>Magnesio (mg/L)</b>																
EA 2S		29,2	30,4	29,2	20,7	19,5	6,1	25,5	26,8	26,8	25,5	28,0	6,1	30,4	24,3	
EA 2F		38,9	30,4	26,8	28,0	21,9	15,8	29,2	28,0	26,8	26,8	26,8	15,8	38,9	27,2	
EA 3	26,8	34,0	32,8	10,9	20,7	13,4	6,1	19,5	23,1	34,0	25,5	26,8	6,1	34,0	22,8	

Tabla 5.-

Concentración de nutrientes en las estaciones de muestreo de La Estanca, en 2001.

	AÑO 2001												Min.	Máx.	Media	
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.				
<b>Fósforo disuelto (mg/L)</b>																
EA 0									0,003							
EA 1			0,002	0,013	0,018	0,016	0,010	0,007	0,016	0,034	0,008	0,036	0,002	0,036	0,016	
EA 2S		0,004	0,000	0,002	0,001	0,001	0,003	0,009	0,006	0,006	0,004	0,001	0,000	0,009	0,0034	
EA 2F		0,003	0,010	0,002	0,002	0,001	0,002	0,017	0,004	0,006	0,002	0,000	0,000	0,017	0,0045	
EA 3	0,001	0,003	0,010	0,003	0,002	0,000	0,001	0,017	2,731	0,002	0,003	0,004	0,000	2,731	0,231	
<b>Fósforo Total (mg/L)</b>																
EA 0									0,037							
EA 2S		0,021	0,018	0,017	0,016	0,019	0,044	0,019	0,018	0,007	0,016	0,007	0,007	0,044	0,0184	
EA 2F		0,018	0,027	0,022	0,027	0,028	0,044	0,054	0,010	0,008	0,018	0,009	0,008	0,054	0,0241	
EA 3	0,023	0,018	0,018	0,025	0,064	0,026	0,053	0,026	3,418	0,006	0,018	0,010	0,006	3,418	0,309	
<b>Nitrito (mg/L)</b>																
EA 0									0,036							
EA 1			0,042	0,058	0,008	0,092	0,078	0,054	0,052	0,048	0,014	0,021	0,008	0,092	0,0467	
EA 2S		0,033	0,038	0,046	0,040	0,055	0,181	0,066	0,040	0,043	0,045	0,035	0,033	0,181	0,0565	
EA 2F		0,034	0,038	0,043	0,048	0,071	0,064	0,133	0,001	0,043	0,050	0,039	0,001	0,133	0,0513	
EA 3	0,012	0,030	0,035	0,041	0,045	0,006	0,056	0,078	0,000	0,037	0,047	0,030	0,000	0,078	0,035	
<b>Nitrato (mg/L)</b>																
EA 0									5,97							
EA 1			6,11	4,84	0,17	6,54	4,96	5,27	5,67	2,85	9,18	6,42	0,17	9,18	5,20	
EA 2S		2,95	3,54	4,02	3,50	9,24	1,75	1,28	2,08	1,64	2,18	1,60	1,28	9,24	3,07	
EA 2F		3,12	3,21	4,11	3,76	4,07	2,12	2,12	0,34	1,54	1,85	1,42	0,34	4,11	2,51	
EA 3	1,49	3,200	3,41	3,93	3,37	4,03	1,57	1,10	0,00	1,48	1,34	1,34	0,00	4,03	2,19	
<b>Amonio (mg/L)</b>																
EA 0									0,10							
EA 1			0,05	0,05	0,40	0,07	0,05	0,05	0,20	0,08	0,05	0,00	0,00	0,40	0,10	
EA 2S		0,05	0,05	0,08	0,05	0,10	0,07	0,05	0,25	0,20	0,17	0,00	0,00	0,25	0,10	
EA 2F		0,05	0,05	0,00	0,05	0,08	0,07	0,10	0,20	0,40	0,20	0,05	0,00	0,40	0,11	
EA 3	0,08	0,08	0,05	0,05	0,05	0,10	0,07	0,05	0,45	0,25	0,15		0,05	0,45	0,13	
<b>Sílice (mg/L)</b>																
EA 2S		0,26	1,11	3,10	0,90	3,58	3,23	3,99	2,33	5,35	6,79	4,83	0,26	6,79	3,22	
EA 2F		0,24	1,16	3,19	3,01	3,77	3,25	7,21	2,49	5,52	6,79	5,42	0,24	7,21	3,82	
EA 3	0,75	0,40	0,99	3,01	1,87	4,07	3,78	4,89	0,95	5,48	6,60	5,09	0,40	6,60	3,16	

Tabla 6.-

Concentración de clorofila y de fitoplancton (cel/mL) en La Estanca de Alcañiz (Datos de 2001).

	AÑO 2001												<i>Mín.</i>	<i>Máx.</i>	<i>Media</i>
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.			
<b>Clorofila (mg/m<sup>3</sup>)</b>															
EA 1			9,3	2,5	11,3	2,3	5,1	1,5	3,2	10,8	1,6	3,6	1,5	11,3	5,1
EA 2 S		5,6	3,6	4,0	3,7	5,5	11,0	16,9	15,2	6,9	10,6	9,9	3,6	16,9	8,4
EA 2 F		4,4	4,2	3,7	6,2	4,9	10,1	20,7	11,8	7,3	10,3	9,8	3,7	20,7	8,5
EA 3	9,9	6,8	3,2	4,4	7,1	3,6	13,6	17,7	1518,0	6,1	9,9	7,0	3,2	1518,0	133,9
<b>Células/mL</b>															
EA 2 S		1.933	986	780	2.210	3.852	30.020	29.431	12.466	3.172	5.957	5.000	780	30.020	8.710
EA 3		3.104	1.108	1.058	4.788	3.550	12.053	15.238	847.695	2.515	4.434	4.708	1.058	847.695	81.841

Tabla 7a.-

Resultados de los recuentos de células del fitoplancton sedimentado (en cel/ml) en la estación EA-2 (presa) de la Estanca de Alcañiz, 2001. El recuento de las algas se ha realizado con una muestra integrada formada por partes alicuotas de tres muestras: superficie, profundidad de visión del disco de Secchi y 2,7\* prof. de visión del D. S. (\* = recuento impreciso por exceso de mucílago).

	Feb.*	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agos.	Sept.	Oct.*	Nov.*	Dic.*
<b>CIANOFICEAS (%)</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>12,82</b>	<b>0,00</b>	<b>51,66</b>	<b>92,01</b>	<b>84,60</b>	<b>68,67</b>	<b>25,22</b>	<b>6,71</b>	<b>6,00</b>
<i>Microcystis aeruginosa</i>					1.980	26.000	#####	8200	800	400	
<i>Aphanizomenon flosaquae</i>			100		10						
<i>Oscillatoria agardhii</i>						1.620	4.900	360			300
<b>CRIFTOFICEAS (%)</b>	<b>16,71</b>	<b>18,26</b>	<b>33,85</b>	<b>13,76</b>	<b>5,71</b>	<b>0,64</b>	<b>1,94</b>	<b>3,59</b>	<b>12,17</b>	<b>3,54</b>	<b>2,00</b>
<i>Cryptomonas ovata</i>	98	40	64	56	78	72	114	140	86	125	100
<i>Rhodomonas minuta</i>	225	140	200	248	142	120	456	308	300	86	
<b>CRISOFICEAS (%)</b>	<b>10,35</b>	<b>15,21</b>	<b>25,64</b>	<b>11,31</b>	<b>11,16</b>	<b>2,20</b>	<b>2,71</b>	<b>7,41</b>	<b>31,53</b>	<b>10,91</b>	<b>68,00</b>
<i>Chromulina, Ochromonas.....</i>	200	150	200	250	430	660	798	924	1000	650	400
<i>Uroglena sp.</i>											3000
<b>DIATOMEAS (%)</b>	<b>72,94</b>	<b>60,85</b>	<b>24,62</b>	<b>72,76</b>	<b>28,48</b>	<b>3,91</b>	<b>8,72</b>	<b>19,09</b>	<b>26,61</b>	<b>78,83</b>	<b>20,00</b>
<i>Cyclotella compta</i>	1410	496	80	1104	1047	1124	228	840	156		1000
<i>C. meneghiniana</i>										68	
<i>Melosira granulata</i>			16		43	26		1400	280	478	
<i>Asterionella formosa</i>			96	320					294	3922	
<i>Fragilaria crotonensis</i>				160			684		57	228	
<i>Synedra acus</i>		40		16	7	24	1653	140	57		
Diatomeas bentónicas sp. pl.		64		8							
<b>CLOROFICEAS (%)</b>	<b>0,00</b>	<b>5,68</b>	<b>3,08</b>	<b>1,81</b>	<b>2,96</b>	<b>1,25</b>	<b>2,03</b>	<b>1,24</b>	<b>4,48</b>	<b>0,00</b>	<b>4,00</b>
<i>Chlamydomonas sp.</i>		8	8	16		8					
<i>Carteria sp.</i>		32	8	8	57	68					
<i>Oocystis lacustris</i>				16							
<i>Coelastrum reticulatum</i>					8	256	513	112	114		
<i>Ankistrodesmus falcatus</i>		16	8		42	28	57	28	28		
<i>Closterium sp.</i>					7	14	28	14			
<i>Chlorella sp</i>											200
<b>VARIOS</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,36</b>	<b>0,03</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<i>Ceratium hirundinella</i>				8	1						
<b>TOTAL cel/ml</b>	<b>1.933</b>	<b>986</b>	<b>780</b>	<b>2.210</b>	<b>3.852</b>	<b>30.020</b>	<b>29.431</b>	<b>12.466</b>	<b>3.172</b>	<b>5.957</b>	<b>5.000</b>

Tabla 7 b.-

Resultados de los recuentos de células del fitoplancton sedimentado (en cel./ml) en la estación EA-3 (canal de Valmuel) de la Estanca de Alcañiz, 2001.

En el plancton de red predominan las diatomeas bentónicas junto con *Melosira*, *Asterionella* y *Fragilaria*, *Coelastrum* y *Pediastrum*

	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agos.	Sept.	Oct.*	Nov.*	Dic.*
<b>CIANOFICEAS (%)</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>11,81</b>	<b>0,00</b>	<b>38,03</b>	<b>64,71</b>	<b>49,22</b>	<b>99,63</b>	<b>14,31</b>	<b>4,51</b>	<b>0,00</b>
<i>Microcystis aeruginosa</i>					1.340	4.300	4.800	840.000	360	200	
<i>Aphanizomenon flosaquae</i>			125								
<i>Oscillatoria agardhii</i>					10	3.500	2700	4560			
<b>CRIFTOFICEAS (%)</b>	<b>9,79</b>	<b>2,17</b>	<b>31,76</b>	<b>6,18</b>	<b>6,62</b>	<b>5,53</b>	<b>2,74</b>	<b>0,03</b>	<b>22,66</b>	<b>14,43</b>	<b>4,46</b>
<i>Cryptomonas ovata</i>	136	16	64	160	21	185	162	171	205	240	10
<i>Rhodomonas minuta</i>	152	8	272	120	214	467	256	114	365	400	200
<i>Chroomonas cf. ovalis</i>	16			16		14					
<b>CRISOFICEAS (%)</b>	<b>9,02</b>	<b>27,08</b>	<b>20,89</b>	<b>5,43</b>	<b>10,03</b>	<b>3,93</b>	<b>4,99</b>	<b>0,11</b>	<b>34,19</b>	<b>13,53</b>	<b>4,25</b>
<i>Mallomonas akrokomos</i>						14					
<i>Uroglena sp.</i>											3000
<i>Dinobryon divergens</i>			1								
<i>Chromulina, Ochromonas.....</i>	280	300	220	260	356	460	760	969	860	600	200
<b>DIATOMEAS (%)</b>	<b>78,09</b>	<b>60,65</b>	<b>30,25</b>	<b>60,32</b>	<b>43,01</b>	<b>23,21</b>	<b>25,78</b>	<b>0,17</b>	<b>24,89</b>	<b>67,52</b>	<b>0,00</b>
<i>Cyclotella compta</i>	2.400	512	128	1.680	1.233	1.166	783	456	125		
<i>C. meneghiniana</i>										24	
<i>Melosira granulata</i>			48		185	1.120	120	684	182	616	
<i>Asterionella formosa</i>			112	976					217	2.120	
<i>Fragilaria crotonensis</i>				128	15		190		34	234	
<i>Synedra acus</i>	24	160	32	48	8	56	2835	285	68		
Diatomeas bentónicas sp. pl.				56	86	456					
<b>CLOROFICEAS (%)</b>	<b>2,84</b>	<b>10,11</b>	<b>5,29</b>	<b>27,90</b>	<b>2,06</b>	<b>1,74</b>	<b>17,11</b>	<b>0,05</b>	<b>3,66</b>	<b>0,00</b>	<b>27,57</b>
<i>Chlamydomonas sp.</i>	16	32	8	16		42			12		
<i>Carteria sp.</i>	8	80	16	80	7	84					
<i>Pandorina morum</i>				896							
<i>Sphaerocystis Schroeteri</i>					8						
<i>Oocystis lacustris</i>				16	8				12		50
<i>Coelastrum reticulatum</i>							2592	456	68		500
<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	64		8	32	42	28	15				48
<i>Dictyosphaerium sp.</i>				128							400
<i>Closterium sp.</i>			24	8	8	56					
<i>Chlorella sp.</i>											300
<i>Actinastrum hantzschii</i>				160							
<b>VARIOS</b>	<b>0,26</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,17</b>	<b>0,25</b>	<b>0,87</b>	<b>0,16</b>	<b>0,00</b>	<b>0,28</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<i>Peridinium sp.</i>	8								6		
<i>Trachelomonas sp.</i>				8		7					
<i>Euglena sp.</i>					1	98	25		1		
<i>Ceratium hirundinella</i>					8						
<b>TOTAL cel/ml</b>	<b>3.104</b>	<b>1.108</b>	<b>1.058</b>	<b>4.788</b>	<b>3.550</b>	<b>12.053</b>	<b>15.238</b>	<b>847.695</b>	<b>2.515</b>	<b>4.434</b>	<b>4.708</b>

Tabla 8.-

Niveles guía de toxinas sintetizadas por cianofíceas en el agua de abastecimiento y efectos sobre la salud en función de la concentración en aguas destinadas al baño

<b>AGUAS PARA ABASTECIMIENTO</b>	
<b>Nivel guía</b>	<b>Recomendaciones</b>
<1 µg/L de microcistina*	No es necesario ningún tratamiento específico para toxinas
>1 µg/L de microcistina*	Se recomienda tratamiento específico para eliminar las toxinas
<b>AGUAS DE BAÑO</b>	
<b>Nivel guía</b>	<b>Posibles efectos sobre la salud</b>
Formación de espumas o >100.000 cél. cianofíceas /mL <sup>†</sup> o >50µg/L Clorofila <sup>†</sup> dominancia de cianofíceas.	Síntomas adversos a corto plazo como irritación de la piel y molestias gastrointestinales. Intoxicación severa en caso de ingestión
20.000-100.000 cél.cianofíceas/mL <sup>†</sup> o 10-50µg/L <sup>†</sup> Clorofila con dominancia de cianofíceas.	Síntomas adversos a corto plazo como irritación de la piel y molestias gastrointestinales, probablemente con baja frecuencia
<20.000 cél.cianofíceas /mL <sup>†</sup> o <10 µg/L <sup>†</sup> Clorofila con dominancia de cianofíceas	No se esperan síntomas adversos a corto plazo

\* Nivel guía provisional establecido por la OMS en 1998

† Nivel guía provisional establecido por el Departamento de Recursos Naturales del Gobierno Australiano 2000

Tabla 9.-

Concentración de *M. aeruginosa* y de microcistina-LR libre, durante el año 2001

Fecha	<i>Microcystis aeruginosa</i> (cél./mL)		Microcistina LR (mg/L)
	EA 2	EA 3	
25/01/01	-	-	<0,2
23/02/01	-	-	<0,2
22/03/01	-	-	<0,2
23/04/01	-	-	<0,2
18/05/01	-	-	<0,2
19/06/01	1.980	1.340	<0,2
19/07/01	26.000	4.300	0,30
20/08/01	20.000	4.800	0,30
20/09/01	8.200	840.000	17,10
02/10/01	na	na	1,10
31/10/01	800	360	1,20
20/11/01	400	200	<0,2
26/12/01	-	-	<0,2

(na = no analizado)

## **FIGURAS**

---

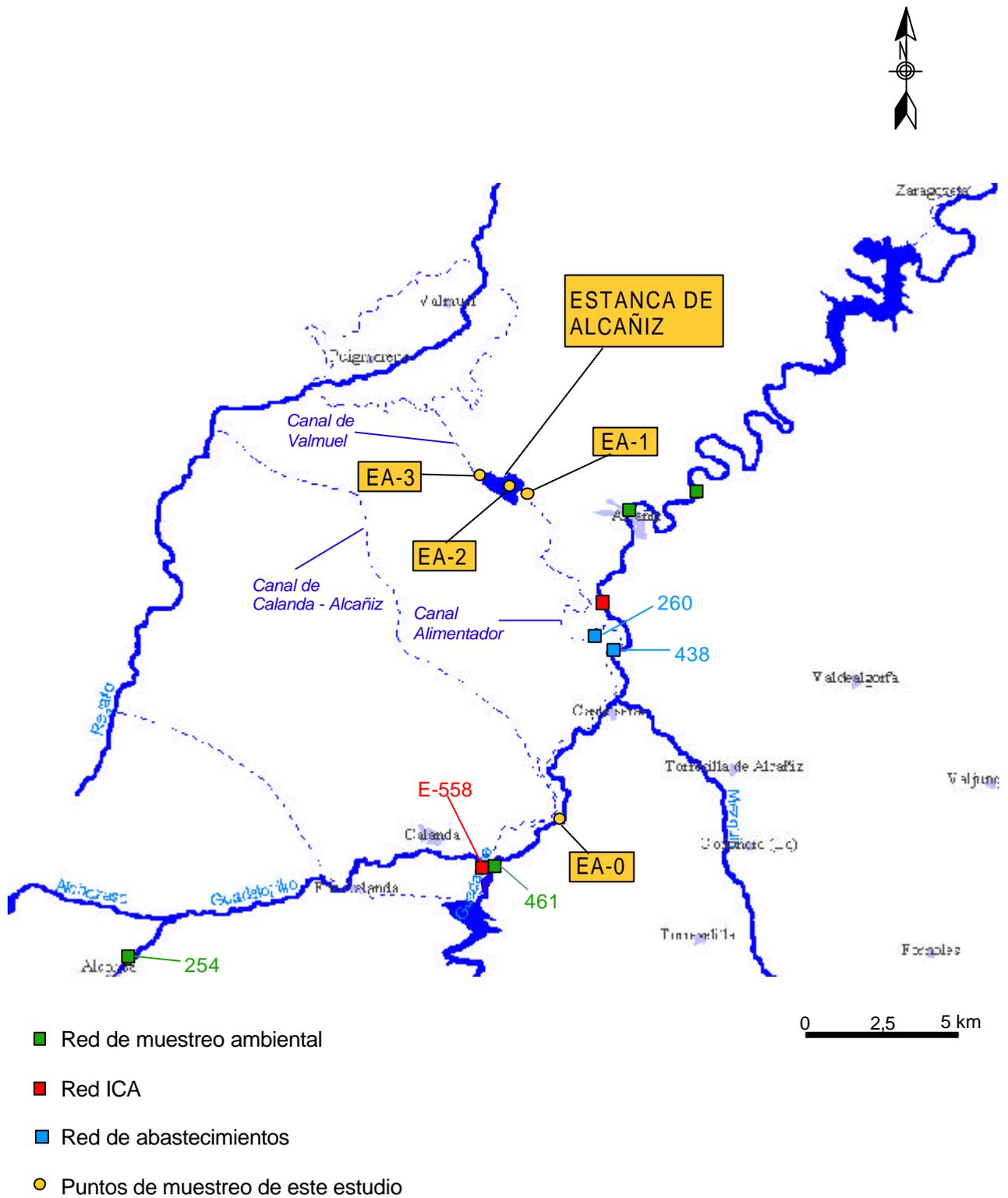


Figura 1.-  
 Localización de los puntos de muestreo en la zona de estudio.

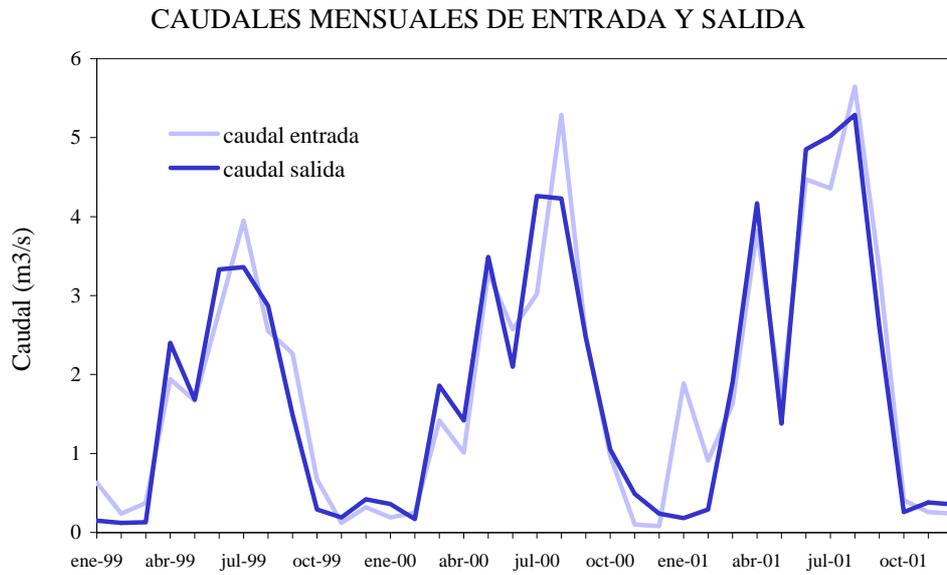


Figura 2.-  
Caudales medios mensuales de aportaciones y desembalses en La Estanca durante los años 1999. 2000 v 2001

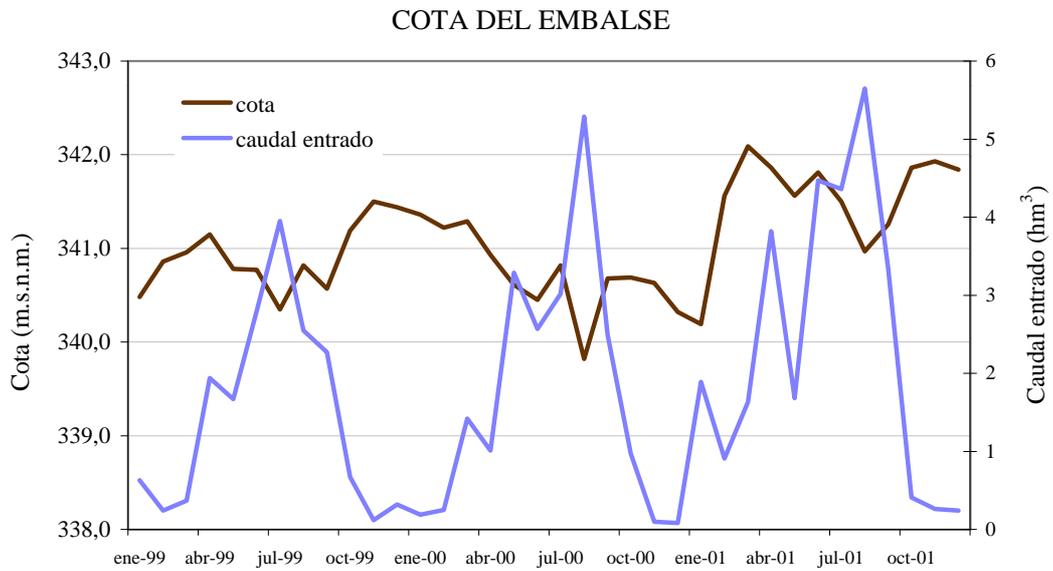


Figura 3.-  
Variación de la cota del embalse (m.s.n.m.) y de los caudales entrados (hm³) en la Estanca de Alcañiz, entre 1999 y 2001

### TASA DE RENOVACIÓN MEDIA MENSUAL

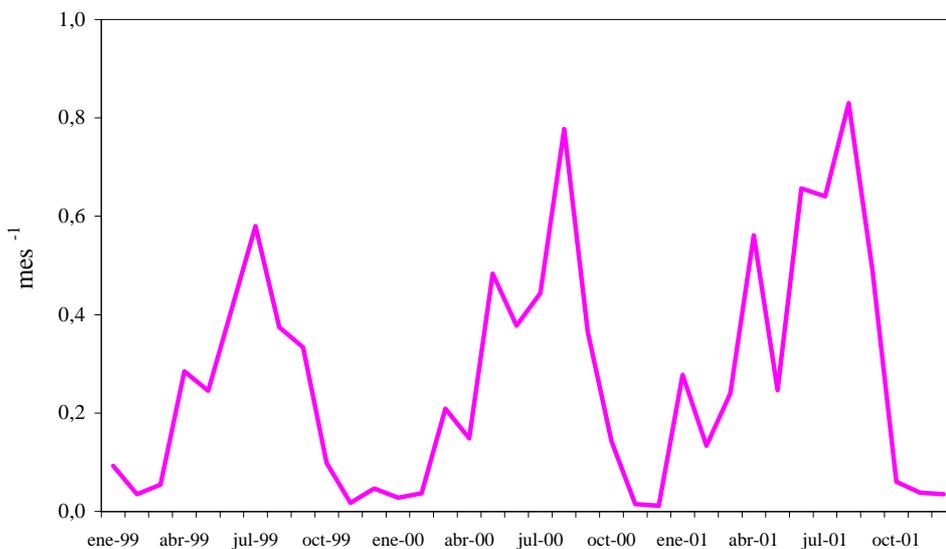


Figura 4.-  
Tasa de renovación media mensual en el embalse de La Estanca, en los años 1999, 2000 y 2001

### TEMPERATURA

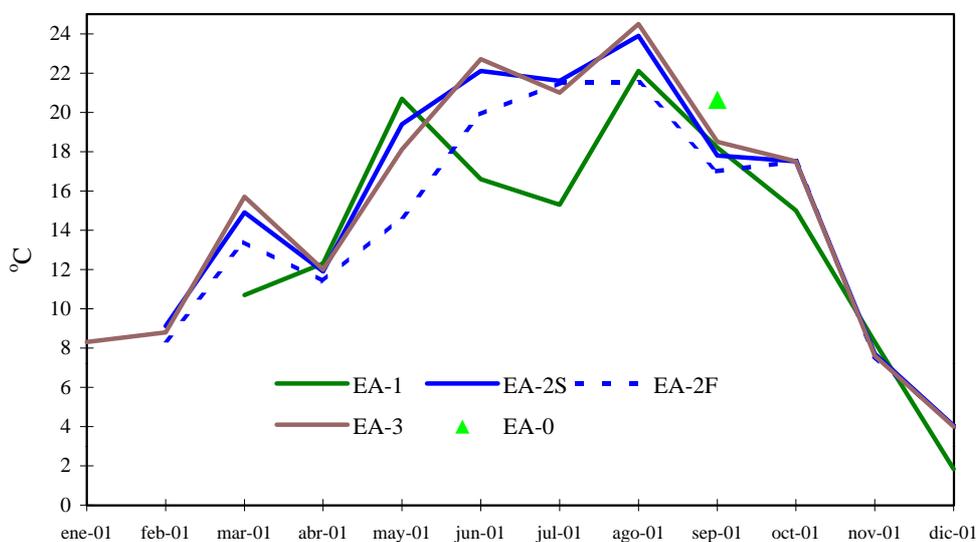


Figura 5.-  
Evolución de la temperatura (°C) en las estaciones de muestreo indicadas. Datos de 2001.

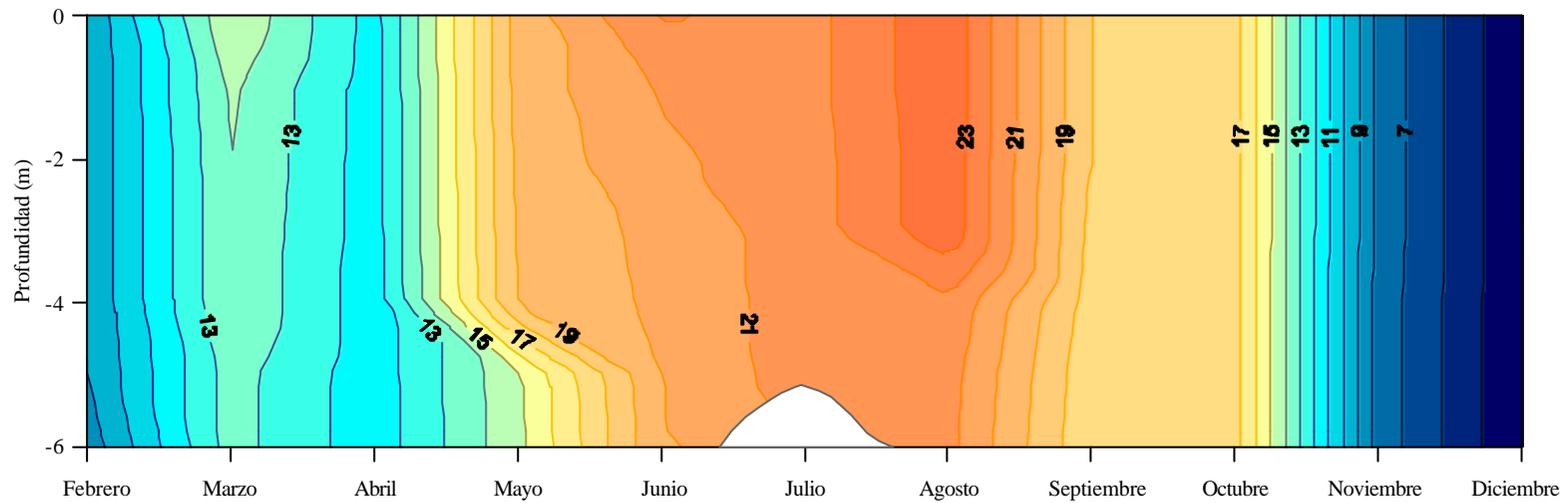


Figura 6.- Evolución espacio-temporal de la temperatura (°C) en la estación de muestreo EA-2 a lo largo del año 2001.

### DISCO DE SECCHI Y CLOROFILA

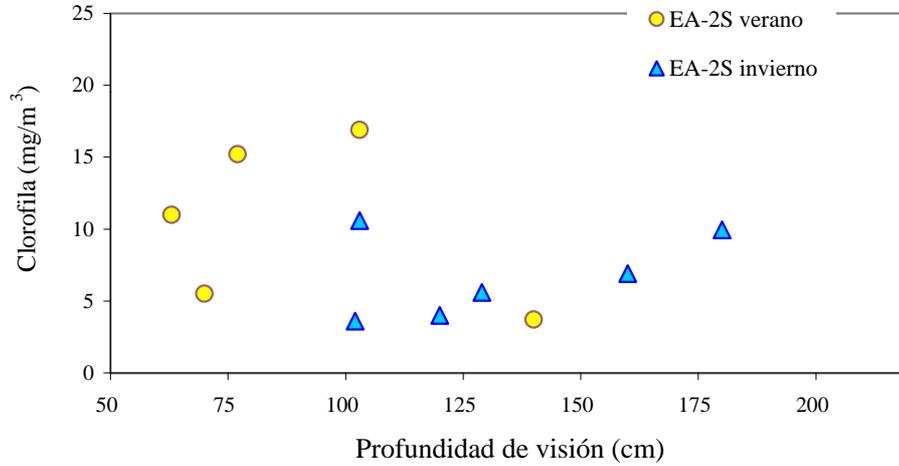


Figura 7.-  
Relación entre la concentración de clorofila y la transparencia del agua (profundidad de visión del disco de Secchi) en el embalse de La Estanca en 2001.

### TURBIDEZ Y CLOROFILA

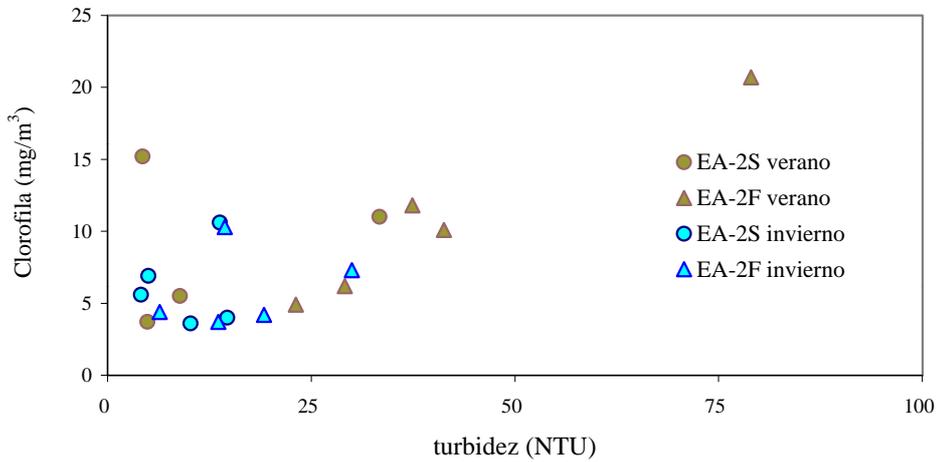


Figura 8.-  
Relación entre la concentración de clorofila y la turbidez del agua (NTU) en el embalse de La Estanca en 2001

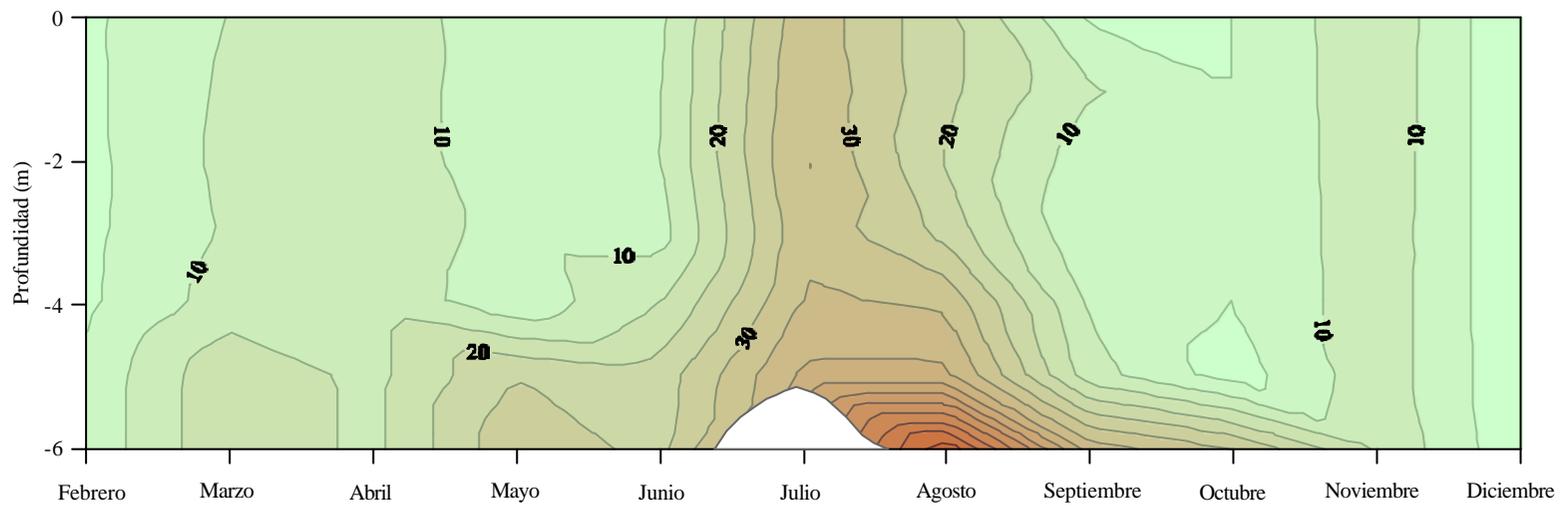


Figura 9.- Evolución espacio-temporal de la turbidez (NTU) en la estación de muestreo EA-2 a lo largo del año 2001.

### CONDUCTIVIDAD

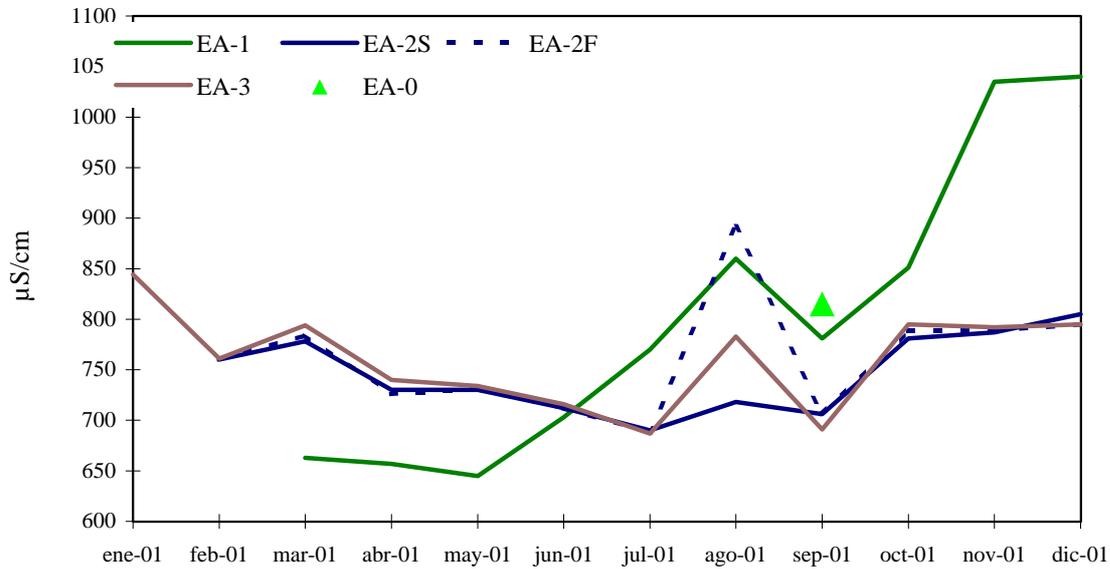


Figura 10.-  
Evolución de la conductividad en el año 2001 en las estaciones de muestreo indicadas.

### CONDUCTIVIDAD Y CAUDAL

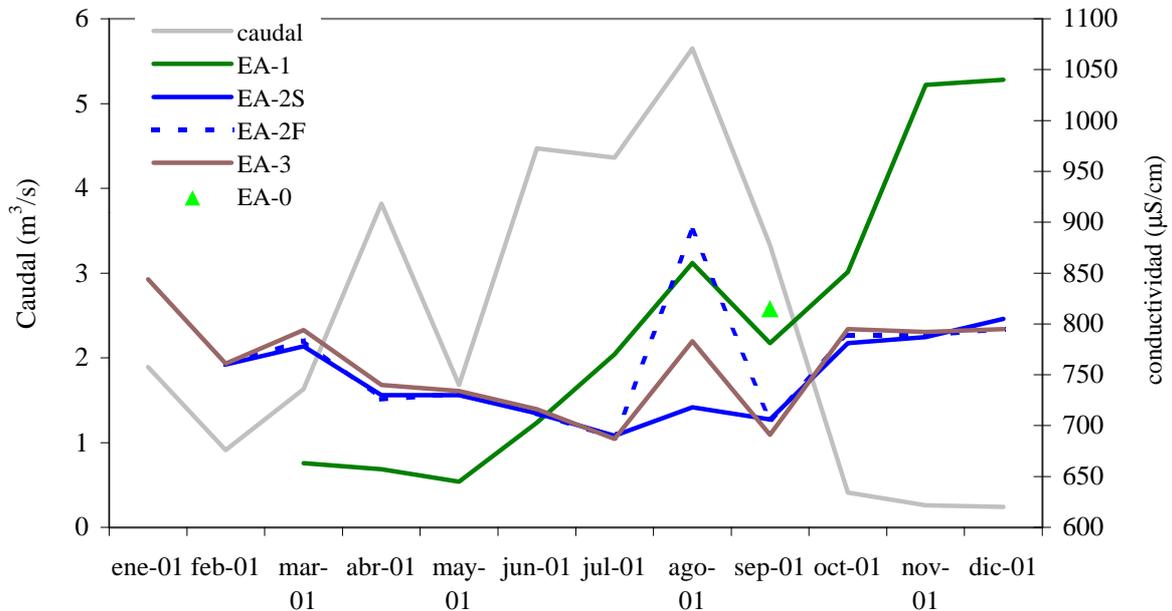


Figura 11.-  
Evolución de la conductividad en relación al caudal medio mensual en el embalse de La Estanca durante el año 2001.

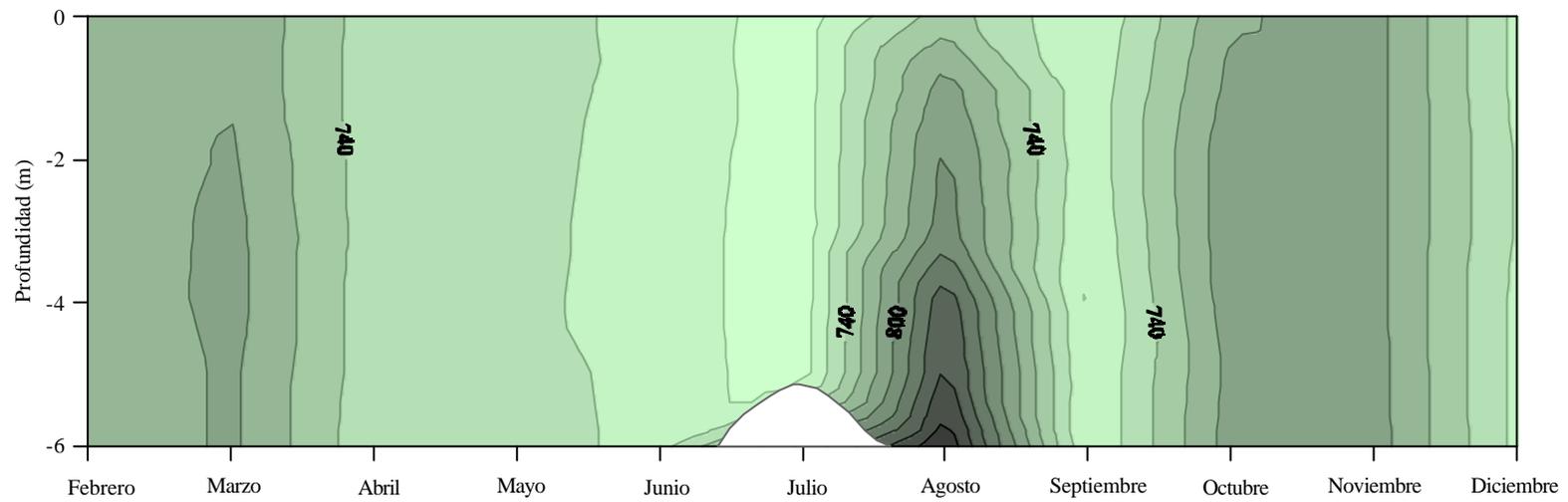


Figura 12.- Evolución espacio-temporal de la conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) en la estación de muestreo EA-2 a lo largo del año 2001.

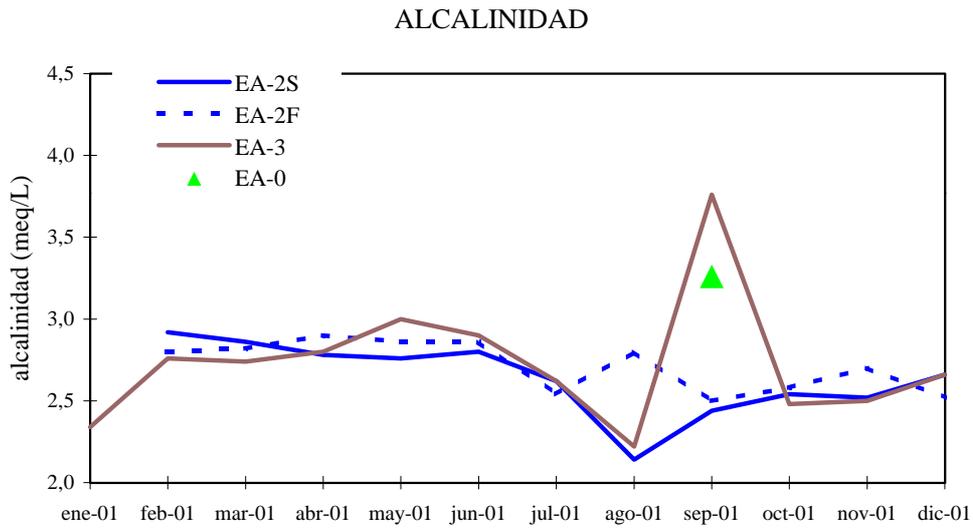


Figura 13.-  
Evolución de la alcalinidad en las estaciones de muestreo indicadas en el año 2001.

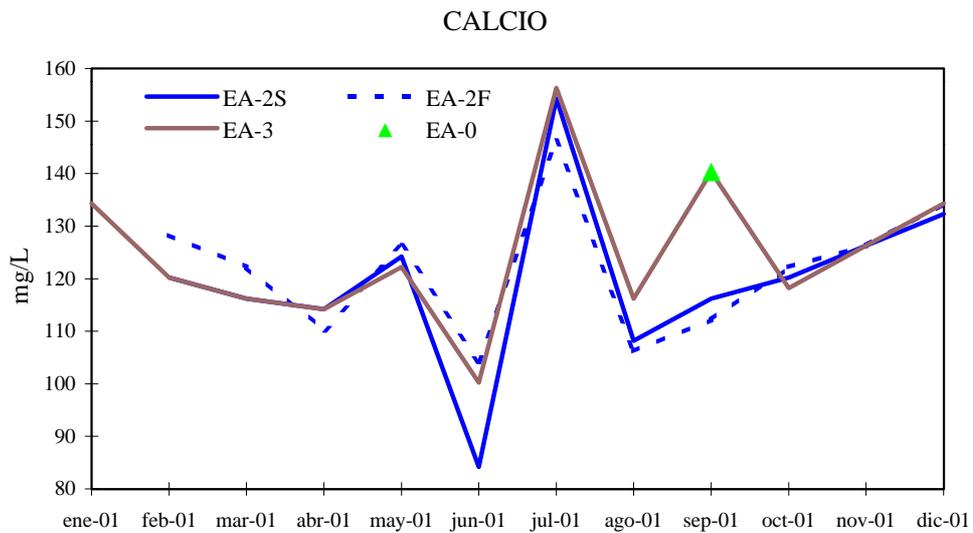


Figura 14.-  
Evolución de la concentración de calcio (mg/L) en las estaciones de muestreo indicadas. Datos de 2001.



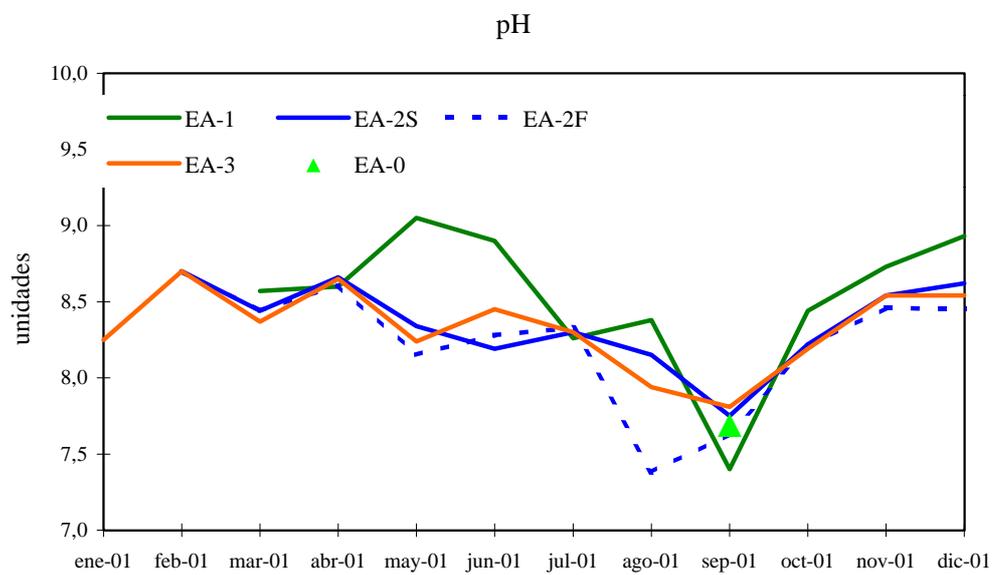


Figura 17.-  
Evolución de la concentración de pH (unidades) en las estaciones de muestreo indicadas en el año 2001.

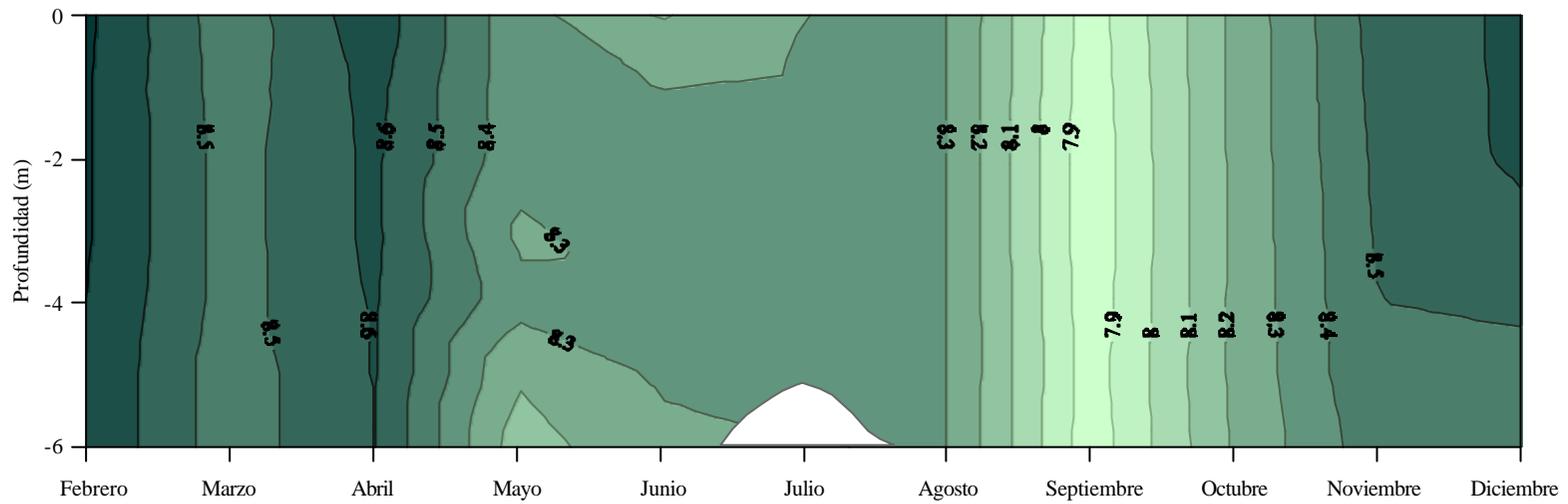


Figura 18.- Evolución espacio-temporal del pH (U.D.) en la estación de muestreo EA-2 a lo largo del año 2001.

### OXÍGENO DISUELTO

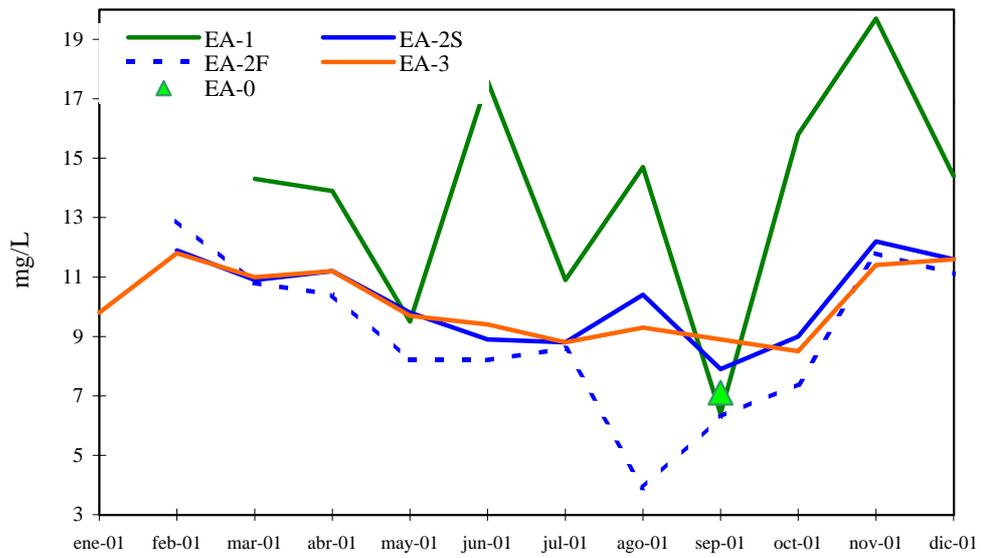


Figura 19.-  
Evolución de la concentración de oxígeno disuelto (mg/L) en las estaciones de muestreo indicadas. Datos de 2001.

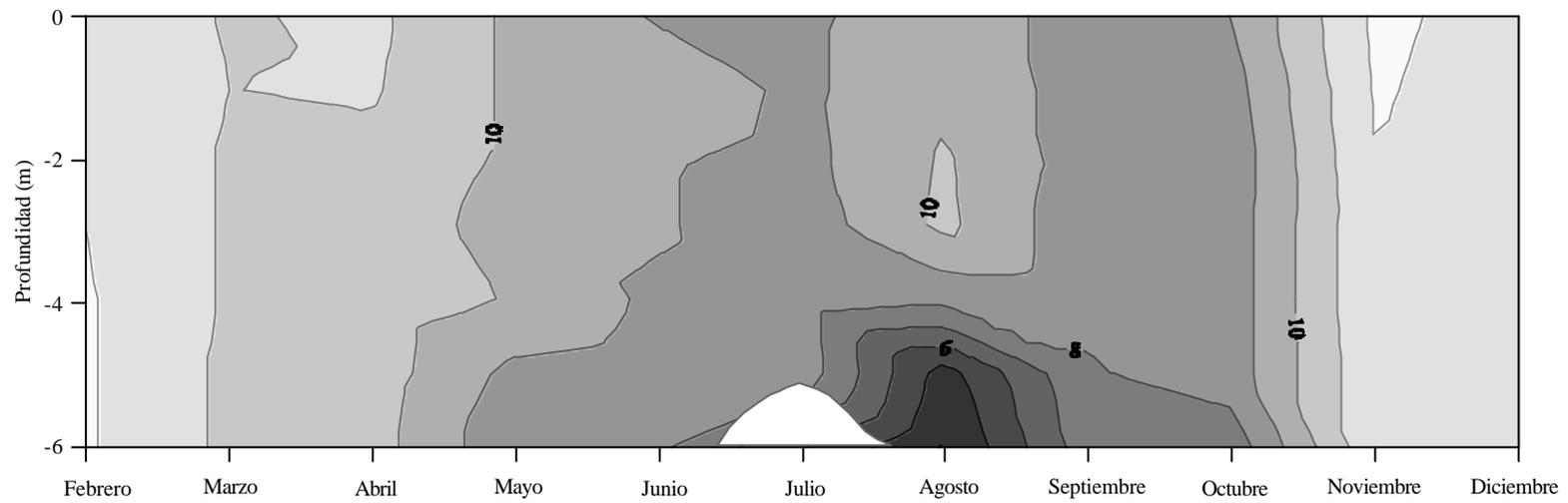


Figura 20.- Evolución espacio-temporal del oxígeno disuelto (mg/L) en la estación de muestreo EA-2 a lo largo del año 2001.

### FÓSFORO DISUELTO

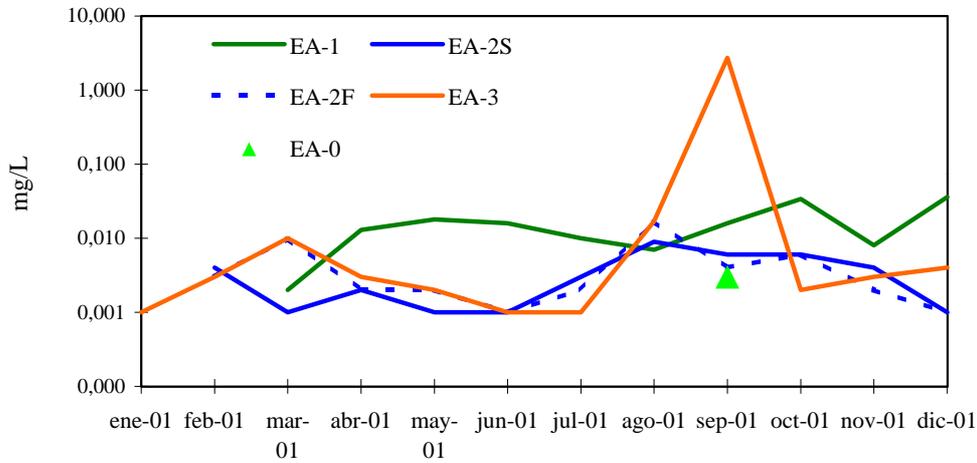


Figura 21.- Evolución de la concentración de fósforo disuelto (mg/L) en las estaciones de muestreo indicadas. Datos de 2001.

### FÓSFORO DISUELTO Y CAUDAL

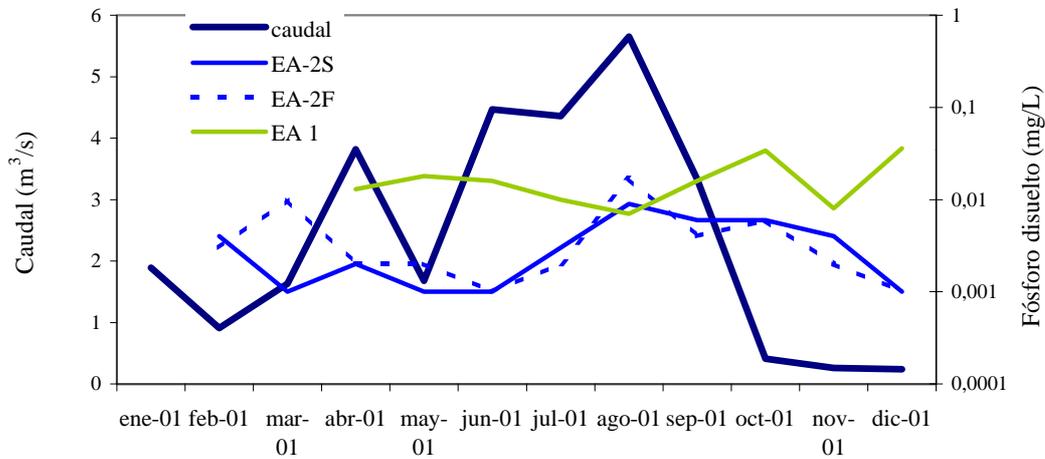


Figura 22.- Evolución de la concentración de fósforo disuelto en las estaciones de muestreo en relación al caudal medio mensual en el embalse de La Estanca durante el año 2001.

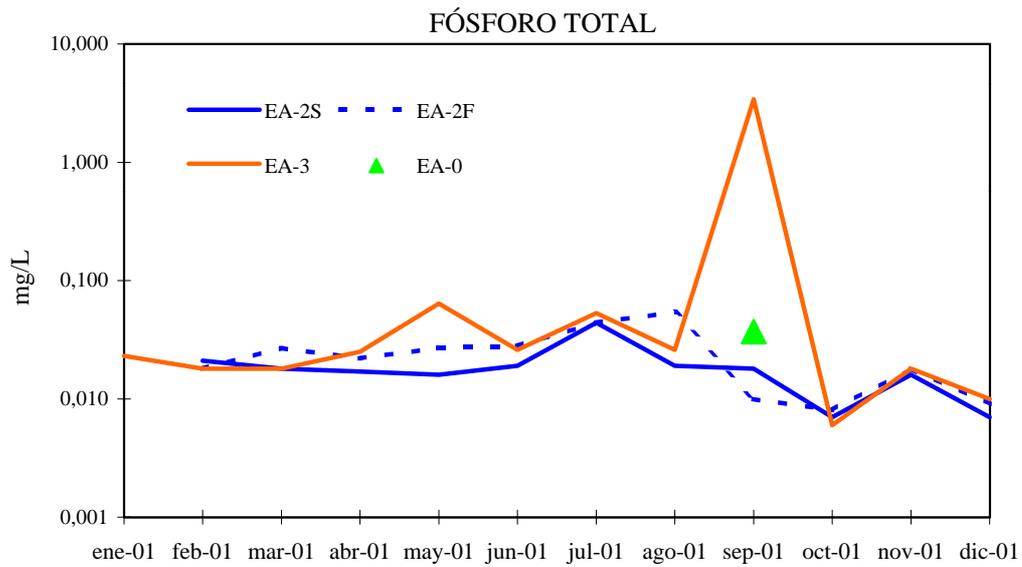


Figura 23.-  
Evolución de la concentración de fósforo total (mg/L) en las estaciones de muestreo indicadas. Datos de 2001.

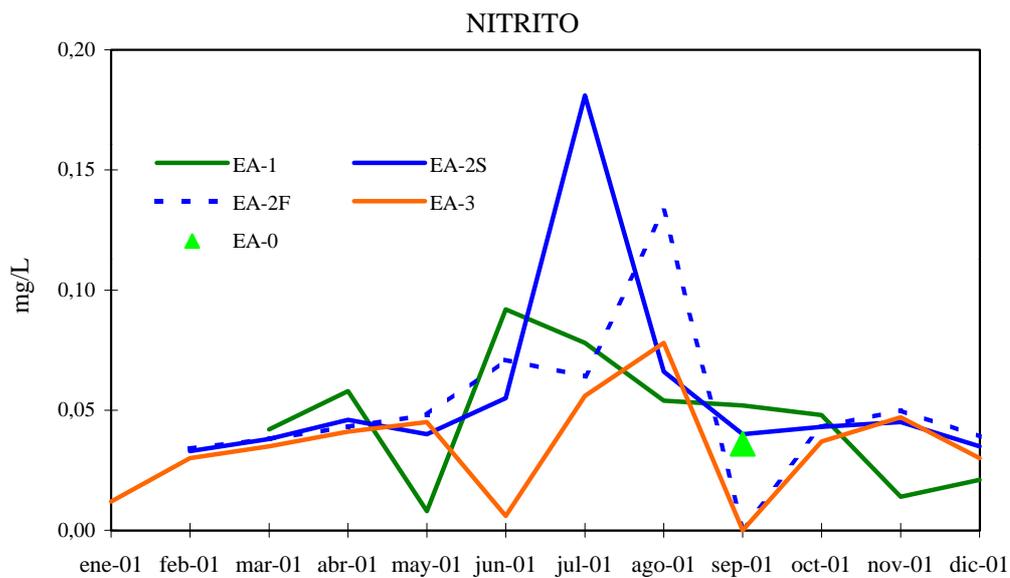


Figura 24.-  
Evolución de la concentración de nitrito (mg/L) en las estaciones de muestreo indicadas. Datos de 2001.

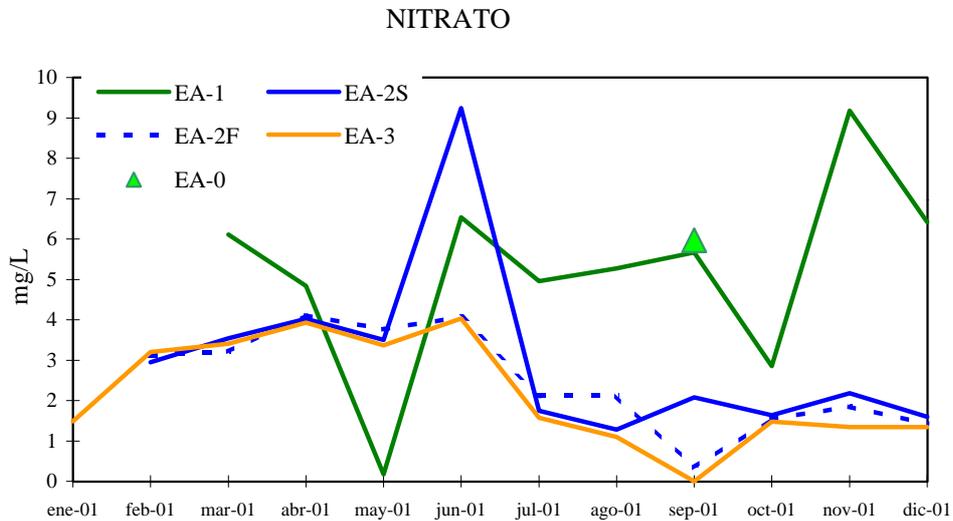


Figura 25  
Evolución de la concentración de nitrato (mg/L) en las estaciones de muestreo indicadas. Datos de 2001.

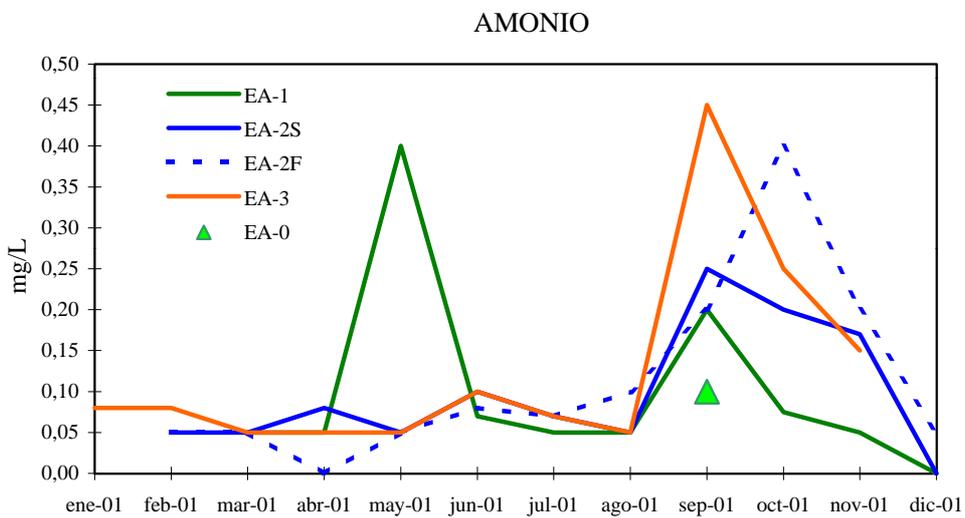


Figura 26.-  
Evolución de la concentración de amonio en las estaciones de muestreo indicadas. Datos de 2001

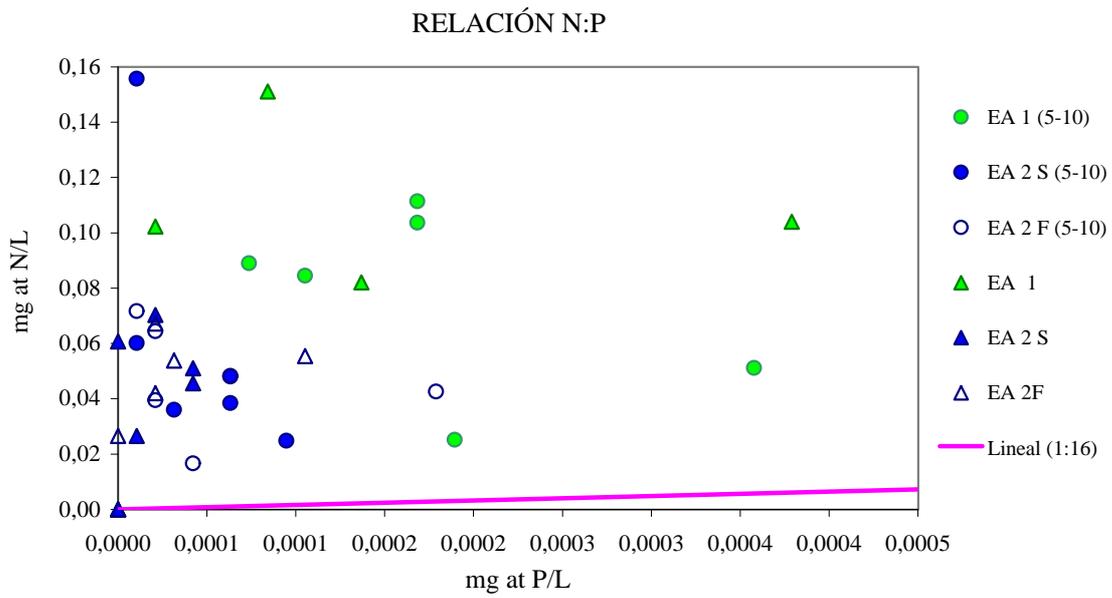


Figura 27.-  
Relación atómica entre N y P en los puntos de muestreo indicados y en épocas diferentes (5-10 = entre mayo y septiembre)

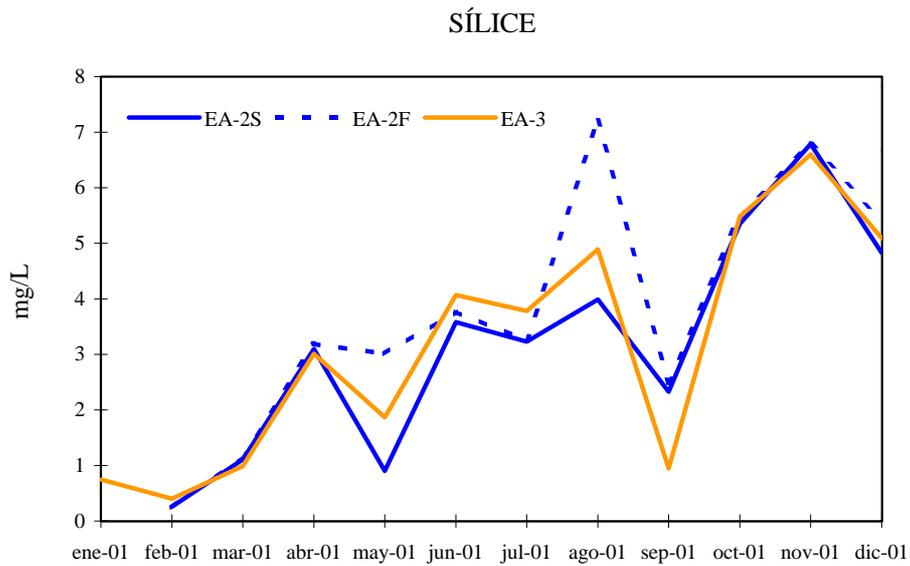


Figura 28.-  
Evolución de la concentración de sílice (mg/L) en las estaciones de muestreo indicadas. Datos de 2001

### TASA DE RENOVACIÓN Y CLOROFILA

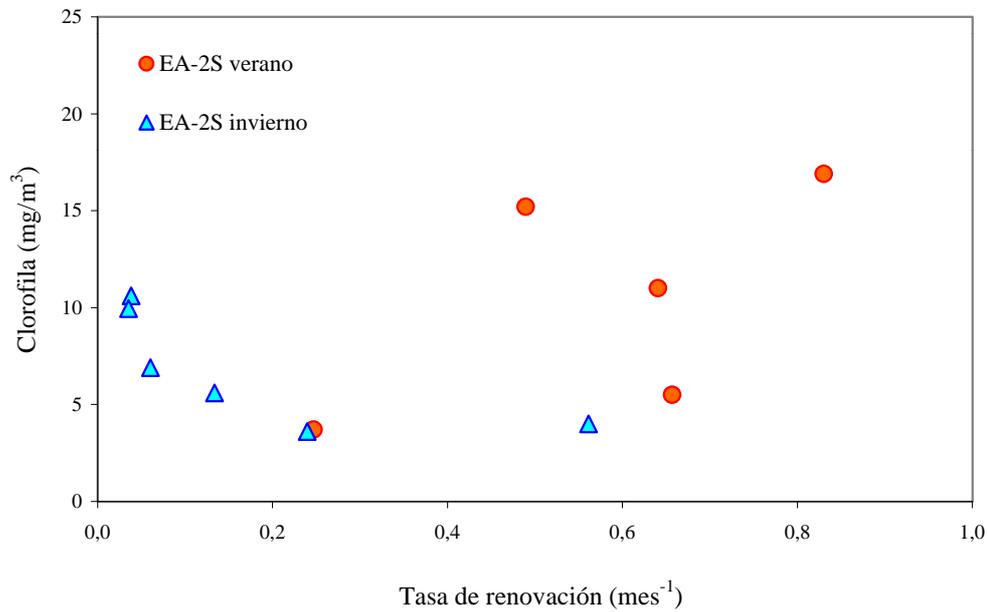


Figura 29.-  
Relación entre la concentración de clorofila y la tasa de renovación en el embalse de La Estanca en 2001.

### FITOPLANCTON

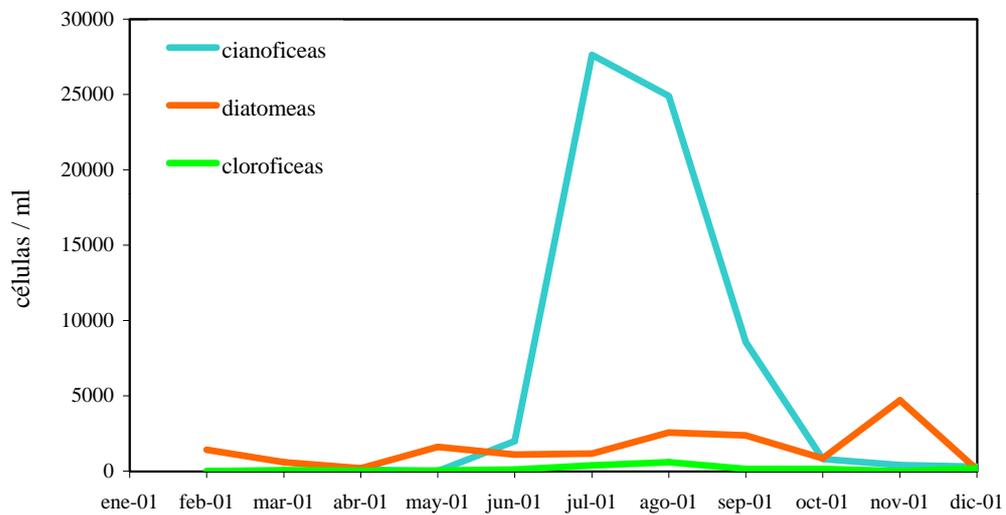


Figura 30.-  
Evolución de los principales grupos de fitoplancton en el punto de muestreo EA-2. Datos de 2001.

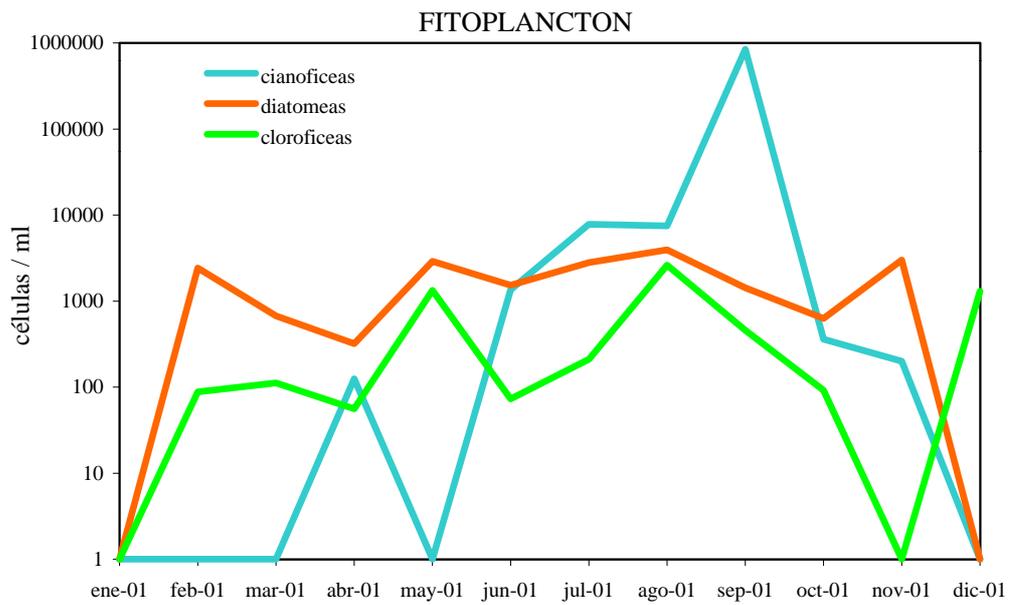


Figura 31  
Evolución de los principales grupos de fitoplancton en el punto de muestreo EA-3 (Canal de Valmuel) Datos de 2001

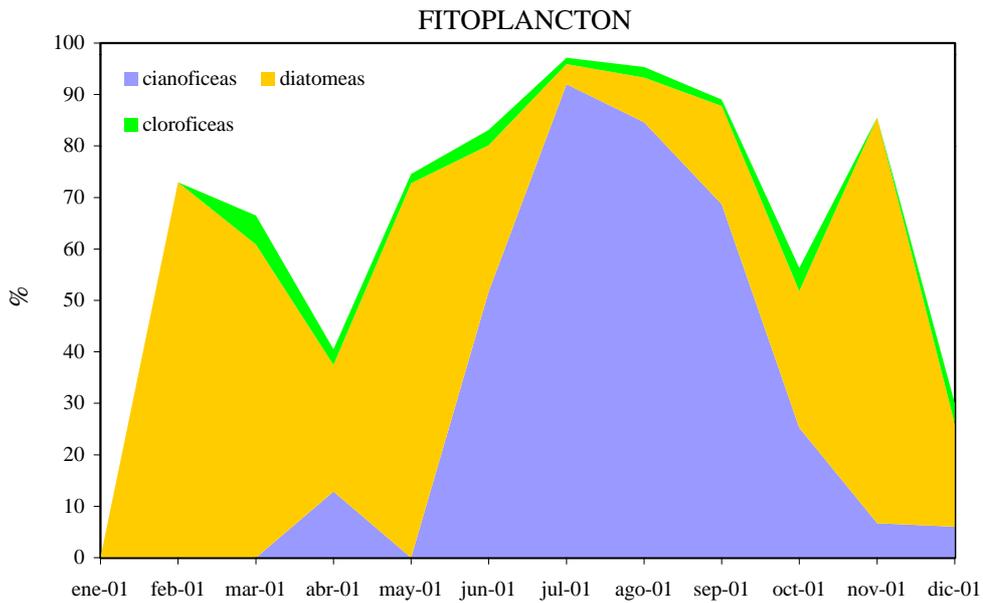


Figura 32.-  
Evolución de los principales grupos de fitoplancton en el punto de muestreo EA-2. Datos de 2001.

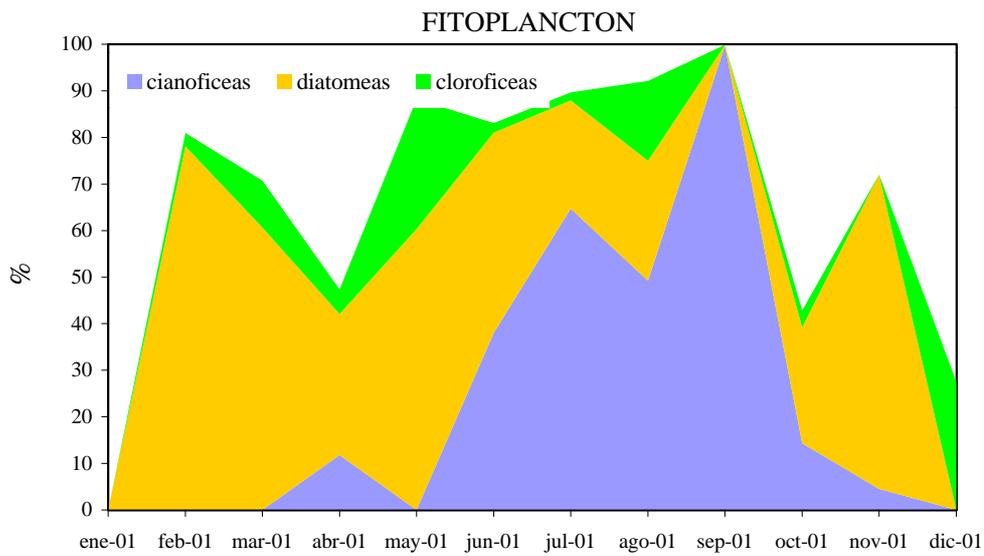


Figura 33.-  
Evolución de los principales grupos de fitoplancton en el punto de muestreo EA-3.  
Datos de 2001.

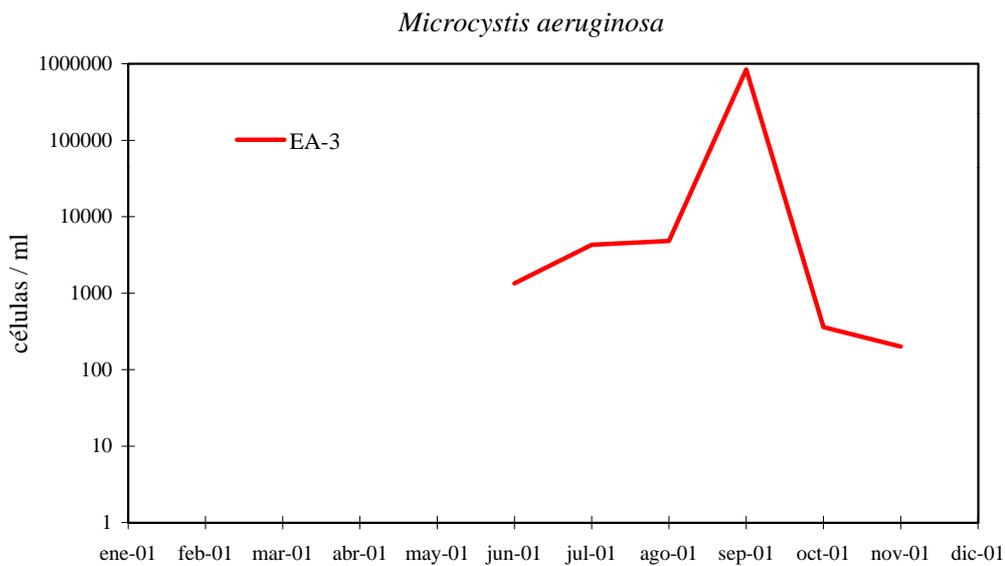


Figura 34.-  
Evolución de las poblaciones de *Microcystis aeruginosa* (cél/ml) en el canal de Valmuel. Datos de 2001.

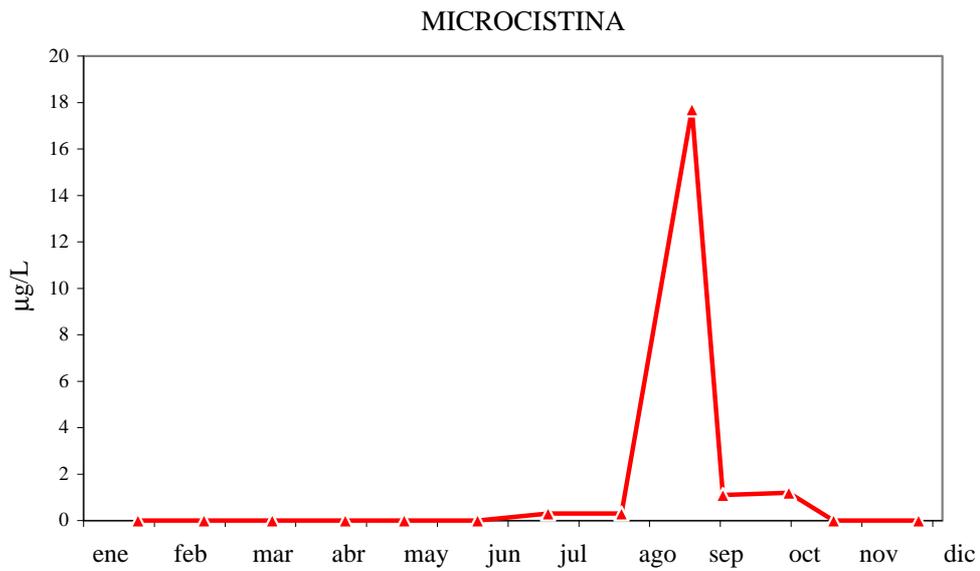


Figura 35.-  
Evolución de la concentración de microcistina ( $\mu\text{g/L}$ ) en el canal de Valmuel. Datos de 2001.

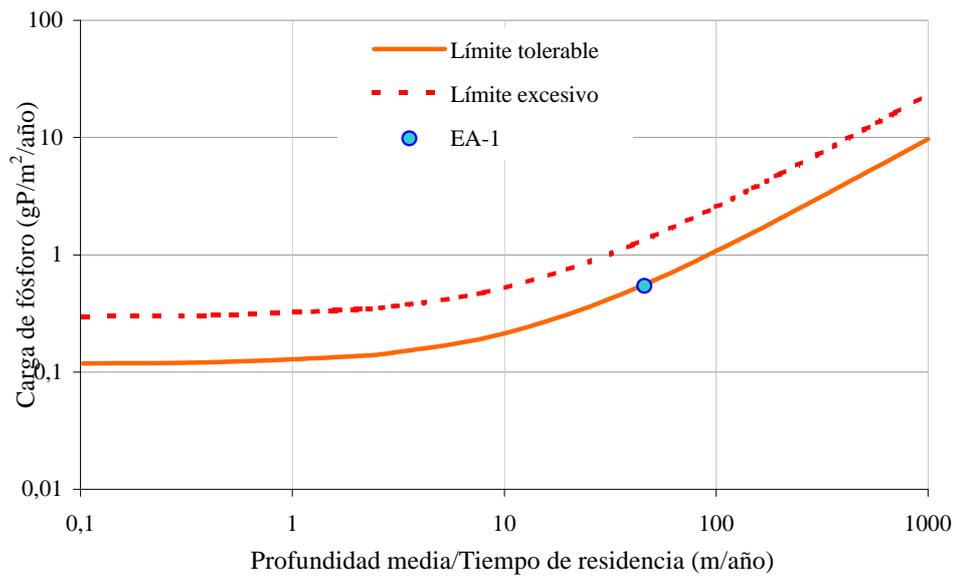


Figura 36.-  
Estado trófico de La Estanca de Alcañiz según el índice de Vollenweider

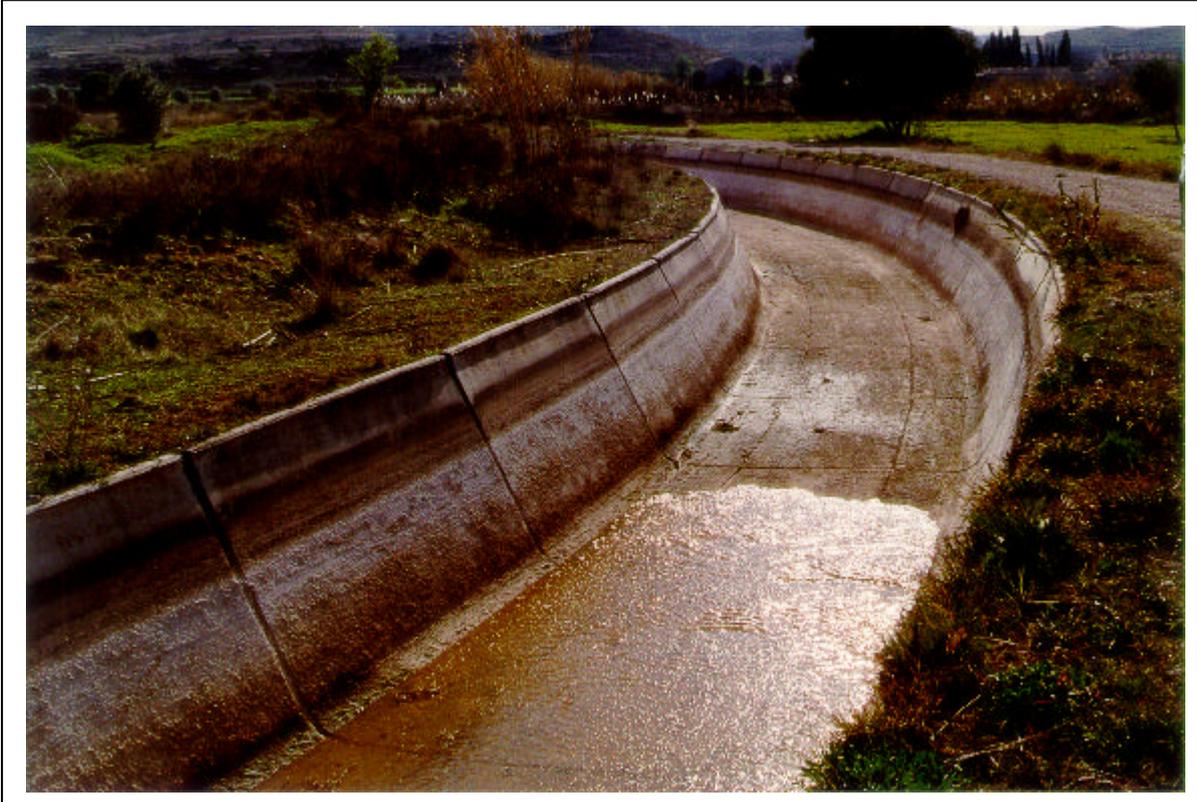
## **FOTOGRAFÍAS**

---



**Foto 1.-** Vista de la presa de La Estanca, desde el punto de muestreo EA 2 (febrero de 2001)

**Foto 2.-** Aspecto de La Estanca, con la presa al fondo, en un día excepcionalmente calmado (marzo 2002)



**Foto 3.-** Aspecto del Canal Alimentador, antes de llegar a La Estanca; suele estar seco durante los meses de invierno (febrero de 2001)

**Foto 4.-**Entrada del Canal Alimentador a La Estanca, en el punto de muestreo EA 1 (marzo de 2001)



**Foto 5.-** El Canal de Valmuel constituye el principal desembalse de La Estanca (febrero de 2001)

**Foto 6.-** Punto de muestreo EA 3, en el Canal de Valmuel (marzo de 2001)



**Foto 7.-** Aspecto del agua en el Canal de Valmuel, EA 3, en septiembre de 2001, cuando se detectó la máxima concentración de microcistina

**Foto 8.-** Aspecto del agua tras el bloom de *Microcystis* (septiembre de 2001)



**Foto 9.-** Cuando cesan las condiciones que favorecen el crecimiento de *M. aeruginosa*, el viento arrastra con facilidad las acumulaciones de células muertas hacia las orillas, donde se producen malos olores (octubre de 2001)

**Foto 10.-** Aspecto característico del agua tras un episodio de *bloom* (octubre de 2001)