

ESTUDIO LIMNOLÓGICO DE LA COLA DE MENDIXUR (EMBALSE DE ULLIVARRI-GANBOA, ÁLAVA) COMO TRAMPA DE NUTRIENTES

Limnological study of Mendixur bay (Ullivarri-Ganboa reservoir, Álava, Northern Spain) as nutrient trap



**Miguel Alvarez Cobelas¹
Santos Cirujano Bracamonte²**

¹Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC), Serrano 115 dpdo., 28006 Madrid

²Real Jardín Botánico de Madrid (CSIC), Pza. Murillo 2, 28014 Madrid

Limnolberia, nº 7

Grupo de Investigación del Agua

2015

ISBN: 978-84-606-6232-7

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	5
HIPÓTESIS DE TRABAJO.....	6
LUGAR DE MUESTREO.....	7
LAS ESPECIES PRINCIPALES DE MACRÓFITOS ACUÁTICOS EN LA COLA DE MENDIXUR.....	10
MATERIAL Y MÉTODOS.....	12
RESULTADOS.....	19
Cargas de entradas por el canal del Alegría.....	19
Los nutrientes en el agua.....	20
La sedimentación.....	22
Los nutrientes en los sedimentos.....	23
La biología de las principales plantas acuáticas en Mendixur: cobertura, biomasa, concentración de nutrientes y factores ambientales.....	24
Síntesis.....	26
CONCLUSIONES.....	28
SUMMARY.....	30
RECOMENDACIONES.....	31
AGRADECIMIENTOS.....	33
BIBLIOGRAFÍA.....	34
FIGURAS.....	36
Anexo I: Físico-química del agua.....	70
Anexo II: Tasas de sedimentación.....	78

INTRODUCCIÓN

El embalse de Ullivarri-Ganboa data de 1956. Desde entonces su uso ha sido polivalente: recreo, captación de agua potable, regulación de caudales, refugio de avifauna, etc. Dentro de tales usos, en 1992 se contempló el cierre de la cola de Mendixur mediante un dique que funcionara aumentando el tiempo de retención del agua en esa zona, con el efecto indirecto de permitir la cría prolongada de aves acuáticas, de modo que se favoreciera la creación de una zona húmeda permanente de elevado interés biológico. Dicho dique se acabó de construir en el año 2001.

Otro de los posibles efectos del dique era que actuara como pre-embalse respecto al cuerpo principal del embalse. Este efecto resultaba especialmente interesante desde el punto de vista ambiental porque podría paliar los efectos de las entradas de aguas contaminadas en un embalse dedicado, entre otras cosas, a abastecimiento de agua de Vitoria y el gran Bilbao. La entrada puntual de contaminantes estaba bien definida desde los años '80, pues tenía lugar por el canal de derivación del río Alegría, que desaguaba caudales variables al embalse de Ullivarri-Ganboa ($18,5 \text{ Hm}^3 \text{ año}^{-1}$ en promedio; Comisión Técnica para la Protección de los embalses del Sistema Zadorra, 1997).

El Servicio de Medio Natural y Paisaje de la Dirección General de Medio Ambiente de la Diputación Foral de Álava nos encargó la realización de un estudio sobre la cola de Mendixur donde se evaluara el comportamiento de la misma como zona de retención de nutrientes y su posible efecto sobre la calidad del agua en el cuerpo principal del embalse. Este aspecto no había sido contemplado aún con detalle en los estudios precedentes realizados en la zona (Anbiotek, 1994; Limnos, 1995).

HIPÓTESIS DE TRABAJO

Este estudio comprobará o refutará la siguiente hipótesis: *La cola de Mendixur, represada por el dique de Urizar, funciona como trampa de nutrientes respecto al cuerpo principal del embalse Ullibarri-Ganboa.* Esta hipótesis se comprobará estudiando la sedimentación en ambas zonas, es decir, antes y después del dique de Urizar en un gradiente que discurre desde la entrada del canal del Alegría hasta pasada la isla de Orain, ya en pleno embalse (Figura 1). La retención de nutrientes tiene lugar mediante sedimentación e inmovilización en el fondo de la cubeta, pero hay otros factores que influyen sobre ella. La presencia de grandes coberturas de macrófitos acuáticos sumergidos y, en menor medida, emergentes (véase más abajo) actúa de dos maneras: limita la resuspensión del material sedimentado y usa los nutrientes para su crecimiento. El primer efecto contribuye a la inmovilización de los nutrientes en la cubeta. El segundo sólo retarda la incorporación de los mismos al sedimento, pues el crecimiento de las comunidades vegetales tiene lugar a expensas de nutrientes disueltos en el agua y en el medio intersticial, nutrientes que pueden volver al sedimento, en parte, cuando esa vegetación se descomponga al final de su periodo de crecimiento vegetativo.

El estudio que aquí se plantea resulta especialmente interesante por cuanto implica a varios hábitats, comunidades biológicas y procesos en la cola de Mendixur (Figura 2). Los hábitats son el medio fluvial del canal del río Alegría, el medio pelágico y el medio bentónico de la cola. Las comunidades biológicas son las plantas acuáticas de la cola y, en menor medida, el fitoplancton. Los procesos son la sedimentación, la ingestión de nutrientes y la descomposición de los macrófitos.

LUGAR DE ESTUDIO

La zona de este trabajo abarca desde la porción terminal del canal de derivación del río Alegría hasta el cuerpo principal del embalse de Ullivarri-Ganboa a unos 200 m al norte de la isla de Orain, lugar situado a casi un km de la entrada del caudal principal al embalse, el del río Zadorra.

Así pues el estudio se ha llevado a cabo en dos zonas bien delimitadas: la cola de Mendixur y la porción más meridional del embalse de Ullivarri-Ganboa. Sus características morfométricas y limnológicas se refieren en la tabla I.

	COLA DE MENDIXUR/ <i>Mendixur bay</i>	CUERPO PRINCIPAL/ <i>Main water body of the reservoir</i>
Extensión de la cuenca (km ²)/ <i>Catchment area</i>	7,1	264
Superficie inundada máxima (km ²)/ <i>Maximum surface area</i>	1,36	15,59
Volumen embalsado máximo (Hm ³)/ <i>Maximum volume</i>	3,63	142,77
Profundidad máxima (m)/ <i>Maximum depth</i>	7,00	30,00
Profundidad media (m)/ <i>Average depth</i>	2,67	9,15
Longitud máxima (km)/ <i>Maximum length</i>	2,3	11,0
Tiempo de retención (años)/ <i>Water renewal time (years)</i>	0,16	0,46
Carga promedio de nitrógeno (g N m ⁻² año ⁻¹)/ <i>Average nitrogen load (g N m⁻² year⁻¹)</i>	132,57	45,93
Carga promedio de fósforo (g P m ⁻² año ⁻¹) / <i>Average phosphorus load (g P m⁻² year⁻¹)</i>	5,55	1,90
Concentración promedio de nitrógeno total (mg N/L) / <i>Average total nitrogen</i>	7,50	1,86

<i>concentration</i>		
Concentración promedio de fósforo total ($\mu\text{g P/L}$)/ <i>Average total phosphorus concentration</i>	26	64
Concentración promedio de clorofila "a" ($\mu\text{g/L}$)/ <i>Average chlorophyll-a concentration</i>	51	2,5

Tabla I. Características morfométricas y limnológicas de la cola de Mendixur y del cuerpo principal del embalse de Ullivarri-Ganboa. Fuentes: Comisión Técnica para la Protección de los embalses del sistema Zadorra (1997) y cálculos y determinaciones propios. La concentración promedio de clorofila "a" se refiere sólo al lóbulo de la cola situado a la entrada del canal del Alegría, mientras que la concentración de fósforo se ha ponderado para toda la cola de Mendixur. *Morphometric and limnological features of Mendixur bay and the main water body of the Ullivarri-Ganboa reservoir (Alava, Northern Spain). Source: Comisión Técnica para la Protección de los embalses del sistema Zadorra (1997) and authors' estimations. Average chlorophyll-a only pertains to the área of the bay close to Alegría channel, whereas that of total phosphorus has been calculated for the whole bay.*

El aporte principal de caudales y contaminantes a la cola de Mendixur tiene lugar por el canal de derivación del río Alegría. Dicha cola presenta un aspecto muy lobulado y, desde abril-mayo a octubre-noviembre, se coloniza por grandes biomasas de macrófitos acuáticos (véase más abajo). La cola es el hábitat de gran número de especies de aves acuáticas, pero su aporte de sustancias al ecosistema de Mendixur es despreciable en comparación con las que proceden del canal del Alegría (Limnos, 1995). Los macrófitos también se desarrollan en el cuerpo principal del embalse, al menos hasta la altura de la isla de Orain.

Antes de terminar esta somera descripción de la zona, conviene precisar que –además del dique de Urizar– existe otro dique quizá más permeable entre el lóbulo de Mendixur y el lóbulo de Urizar que también puede actuar en la retención de nutrientes.

En general, todo el embalse está muy poco protegido del viento. Por este motivo, la mezcla vertical del agua es intensa durante la mayor parte del año en muchas zonas del embalse, en especial las más someras como las que nos ocupan aquí.

LAS ESPECIES PRINCIPALES DE MACRÓFITOS ACUÁTICOS EN LA COLA DE MENDIXUR

Son tres: *Ceratophyllum demersum*, *Polygonum amphibium* y *Potamogeton lucens*.

Ceratophyllum demersum L. (1753).- Planta (Figura 3) perteneciente a la Familia de las *Ceratophyllaceae*, es de color verde oscuro, con hojas algo rígidas, bifurcadas 1-2 veces y segmentos con tendencia al dimorfismo estacional, generalmente filiformes en verano y linear-aplanados en los meses fríos, siendo con frecuencia denticulados o dentado-espinulosos. El aquenio mide 4-5 mm y es de color pardo-negruzco, liso y con una espina terminal de la longitud de aquél y dos espinas basales arqueadas y de tamaño muy variable. La planta carece de raíces y se puede anclar al fondo mediante hojas de anclaje. Durante el otoño, desarrolla formas de hibernación típicas que son primordios modificados los cuales constan de un eje principal corto y muchas hojas verde-oscuras ricas en almidón. La planta capta directamente del agua los nutrientes que necesita para su crecimiento.

Se presenta en aguas permanentes, estancadas o de curso muy lento, en las zonas bajas; no tolera la desecación. En este embalse se presenta normalmente desde marzo a noviembre y también se presenta hasta la isla de Orain.

Polygonum amphibium L. (1753).- Planta (Figura 4) perteneciente a la Familia *Polygonaceae*, es perenne, herbácea y con un rizoma que forma raíces. Los tallos pueden alcanzar hasta 200 cm y son fistulosos, postrados o erectos, pero poco ramificados. Las hojas son oblongas o lanceoladas, pecioladas, generalmente flotantes; la lámina alcanza 12(16)x4(4,5) cm y es subobtusada, más o menos atenuada bruscamente en la base, a veces acorazonada, glabra, más o menos lustrosa y denticulado-ciliada, con un peciolo de 1-4(7) cm. Ócreas de casi 15(30) mm, glabras o más o menos pelosas, con fimbrias

prolongadas. Las inflorescencias son de 20-60x5-15 mm, espiciformes, cilíndricas, solitarias o en grupos de 2(3), sobre pedúnculos erectos, de hasta 8,5 cm. El perianto alcanza 4(5) mm y es de cinco piezas rosadas. Los estambres son exertos y los estilos, dos, soldados. Aquenios lenticulares o subglobosos, de (2)3 mm, con un pico bien diferenciado, negruzcos y brillantes. Los nutrientes para su crecimiento los toma del agua intersticial del sedimento.

Vive en aguas estancadas, orillas de acequias y arroyos, cauces fluviales y, a veces, sobre suelos arenosos o temporalmente inundados. En el embalse de Ullivarri se presenta de marzo a noviembre.

Potamogeton lucens L. (1753).- Se trata de una planta (Figura 5) perenne, rizomatosa, perteneciente a la Familia *Potamogetonaceae*. Los rizomas son blanquecinos, de 1-3 mm de diámetro, con manchas pardas o rojizas y entrenudos de hasta 70 cm. Los tallos son poco ramificados, de 0,6-3 mm de diámetro, con entrenudos de hasta 190 mm, generalmente de color amarillento. Las hojas son oblanceoladas hasta elípticas, atenuadas, obtusas y mucronadas o subagudas y cuspidadas, finamente denticuladas cuando jóvenes, con 11-13 nervios, membranosas, sumergidas y estipuladas, de (43)50-240x6-70 mm. Los peciolo son muy cortos por lo general, a veces de hasta 20 mm, del mismo color que las hojas. Las estípulas son de 15-50x1,5-7 mm, lanceoladas, obtusas, herbáceas, persistentes, verdosas o pardas, con los márgenes más claros. Los pedúnculos, erectos, de 30-300x2-8 mm, son de mayor grosor e igual color que el tallo. Los aquenios son obovoides, asimétricos, elípticos en sección transversal y de (2,8)3,3-4,1x(2,0)2,5-3,1 mm; su cara ventral es sigmoide o ligeramente convexa; la dorsal, marcadamente convexa, con un quilla central y otras dos laterales menos marcadas; pico de 0,3-1,0 central o subcentral. La ingestión de nutrientes la realiza a partir del agua intersticial del sedimento.

Se presenta en ríos y lagunas profundas, de aguas lentas y poco mineralizadas. En el embalse de Ullivarri aparece de marzo a noviembre.

MATERIAL Y MÉTODOS

Los estudios de campo se han prolongado desde febrero de 2001 a enero de 2002. A lo largo del gradiente canal del Alegría-isla de Orain se establecieron ocho estaciones de muestreo mensual, la primera situada en el canal antes de su entrada a la cola de Mendixur y las demás a intervalos aproximados de unos 200 m (Figura 6 y tabla II). Los datos del canal del Alegría sirvieron para evaluar las cargas puntuales de entrada de contaminantes a la cola de Mendixur. La reducción del nivel del agua no siempre permitió el acceso a la estación más próxima a la desembocadura del canal del Alegría (estación 7).

ESTACIÓN/ <i>Site</i>	COORDENADA X	COORDENADA Y
1: aguas abiertas/ <i>the main water body of the reservoir</i>	536685	4749941
2: Isla de Orain/ <i>Orain island</i>	536886	4749898
3: después del dique/ <i>Beyond the dam between Mendixur bay and the main water body</i>	536966	4749557
4: Lóbulo de Urizar/ <i>Urizar bay</i>	536940	4749278
5: Lóbulo de Mendixur/ <i>Mendixur bay</i>	537152	4748912
6: Lóbulo Intermedio/ <i>Middle bay</i>	537086	4748567
7: Lóbulo del Alegría/ <i>Alegría bay</i>	537033	4748140
8: Canal del Alegría/ <i>Alegría channel</i>	537005	4747789

Tabla II. Posición de las estaciones de muestreo de agua y sedimentos en coordenadas UTM, medidas con un GPS de la marca MCR modelo SP12-X. *Location of sampling sites in UTM coordinates, as measured by a MCR SP12-X global position system apparatus.*

La toma de muestras de agua se realizó mediante una botella oceanográfica van Dorn en el punto central de máxima profundidad de cada estación de muestreo. Se tomaron muestras a distintas profundidades, de las cuales se mezclaron alícuotas inmediatamente después para formar una muestra integrada a toda la columna de agua en cada punto y muestreo. Simultáneamente con los muestreos, se midieron la profundidad de desaparición del disco de Secchi (estaciones 2 y 7), la temperatura y el oxígeno disuelto (oxímetro YSI-57), la conductividad y el pH (electrodos CRISON) en todas las estaciones de muestreo.

Las cargas puntuales de entrada por el canal del Alegría se evaluaron estimando los caudales mediante un correntímetro de campo y aforando el canal en cada momento de muestreo. Luego se extrapolaron a datos diarios y mensuales usando el método de Meybeck (1979).

Las muestras de agua se conservaron en frío hasta su análisis en el laboratorio, análisis que comenzaron inmediatamente a su recepción. Sobre las muestras se midieron carbono total y orgánico, nitrógeno inorgánico disuelto (amonio, nitrito, nitrato) y nitrógeno total, fósforo inorgánico disuelto y fósforo total y clorofila "a" del fitoplancton. Los métodos seguidos se refieren en la tabla III.

VARIABLE	MÉTODO ANALÍTICO/Method
Carbono total/Total carbon	Analizador CHN/CHN analyzer
Carbono orgánico/Organic carbon	Analizador CHN tras quemado en horno a 550 °C/CHN analyzer after burning in an oven at 550 °C
Nitrato/Nitrate	Espectrofotometría (Bachman & Canfield, 1992)/Spectrophotometry
Nitrito/Nitrite	Espectrofotometría (APHA, 1992)/Spectrophotometry
Amonio/Ammonia	Espectrofotometría (APHA, 1992)/Spectrophotometry
Nitrógeno total/Total nitrogen	Espectrofotometría (Bachman & Canfield, 1992)/Spectrophotometry
Ortofosfatos/SRP	Espectrofotometría (APHA, 1992)/Spectrophotometry
Fósforo total/Total phosphorus	Espectrofotometría (APHA, 1992)/Spectrophotometry
Clorofila "a"/Chlorophyll "a"	Fluorometría (Lorenzen, 1966)/Fluorometry

Tabla III. Métodos analíticos empleados en el análisis del agua. *Analytical methods of water analyses.*

El estudio de los sedimentos se llevó a cabo usando el método de las trampas de sedimento (Bloesch, 1996). Por duplicado y pendientes de una boya, se situaron cerca del fondo de cada punto de muestreo trampas de sedimento rellenas de agua destilada que se recogían en el siguiente muestreo. Las trampas eran de 30 cm de altura y 3 cm de diámetro. Una vez en el laboratorio, las dos trampas de cada punto se homogeneizaban y sobre la muestra compuesta se realizaba el análisis de nutrientes, siguiendo los mismos métodos de la tabla III. En algunas ocasiones, no pudo analizarse el contenido las trampas, bien por imposibilidad de acceso (estación 7), bien porque el viento había arrastrado la boya de la que pendían hasta la orilla y se llenaban con sedimento del fondo de ésta (estaciones situadas en el cuerpo principal del embalse).

También se tomaron muestras de sedimento en todos los puntos de muestreo mediante una draga van Veen, con objeto de realizar análisis de los materiales inmovilizados en él. Los análisis de carbono y nitrógeno se llevaron a cabo mediante un analizador elemental CHN Perkin-Elmer 2400, mientras que los de fósforo lo fueron por digestión con los ácidos perclórico y nítrico y análisis por

espectrometría óptica de emisión (aparato Perkin-Elmer, modelo Optima 4300 DV).

Durante el verano de 2001, cuando la vegetación acuática estaba más desarrollada, se llevó a cabo una cartografía de la misma mediante recorridos en barca por toda la zona de estudio y prospección de la presencia de la vegetación en celdas de 20x20 m. La cobertura de la vegetación en cada zona se ha estimado por planimetría, usando el programa ARC-VIEW 3.2. Por triplicado, al azar y siguiendo los métodos de Westlake (1969), se tomaron muestras de la vegetación dominante en cuadrados de 1 m², con objeto de conocer su biomasa por unidad de superficie. Esta biomasa se llevó al laboratorio y allí fue desecada hasta peso constante en estufa a 70 °C.

Usando la cartografía de Álava de la Diputación Foral, estimamos las superficies de los distintos lóbulos de la zona de estudio, así como la extensión de las zonas de cultivo que rodean a cada uno. La estimación de la contaminación difusa se ha realizado, una vez conocidas éstas últimas, suponiendo que los coeficientes de exportación de nitrógeno y fósforo desde los campos de labor hacia el agua ascienden a 30 kg Ha⁻¹ y 3 kg Ha⁻¹, respectivamente. Estos coeficientes pueden considerarse conservadores dentro de la amplia gama de coeficientes existente (Johnes et al., 1996).

A fin de no complicar en exceso el escrito, hemos limitado los cálculos estadísticos al mínimo. Únicamente hemos realizado algunas correlaciones convencionales entre variables y hemos comparado las distribuciones estadísticas de las variables usando el "test" no paramétrico de Mann-Whitney, que permite operar sin tener en cuenta la distribución estadística subyacente a los datos, es decir, permite obviar el problema de que las distribuciones estadísticas de los datos sean "gaussianas" o no. De hecho, la variabilidad de los datos dentro de casi cualquier variable de las analizadas es muy grande, lo cual excluye *a priori* la existencia de variables "gaussianas" brutas en este estudio. Los cálculos estadísticos se realizaron mediante el paquete STATGRAPHICS 4.0.

La síntesis del estudio se ha llevado a cabo usando el método de los balances de carga de materiales (nitrógeno y fósforo) por compartimentos, considerando cada lóbulo estudiado (Alegría, Intermedio, Mendixur, Urizar y embalse más allá del dique de Urizar) como un compartimento. Hemos supuesto que una entrada de materiales era la procedente del canal del Alegría, pero (como se verá más adelante) otra entrada de importancia es la contaminación difusa procedente de los campos de cultivo de los alrededores del embalse. Las salidas se deberían a la sedimentación y al transporte hacia el cuerpo principal del embalse. Hemos dado todas las cifras en toneladas por año para el conjunto de cada zona de estudio, es decir, la sedimentación no se ofrece en este apartado por unidad de superficie, sino que se ha multiplicado por el área del lóbulo de la zona donde se midió, con objeto de poder comparar los distintos compartimentos, cuyos balances de materiales dependen, lógicamente, de su superficie. Por lo tanto, el balance de las cargas de nutrientes para nitrógeno y fósforo por separado vendría dado por la fórmula

$$C_C + C_O = C_S + C_M + C_A$$

Donde C_C sería la carga anual que entra por el canal del Alegría, C_S sería la carga depositada en el fondo de cada lóbulo por sedimentación, C_M sería la carga almacenada en los macrófitos sumergidos y C_O serían otras cargas de nutrientes que entrarán a los lóbulos por otra vía diferente del canal del Alegría y que se calculan por diferencia, ya que conocemos los otros componentes de la ecuación.

Las cargas de entrada de nutrientes por el canal del Alegría vendrían dadas por la fórmula siguiente, calculada para cada sustancia (carbono, nitrógeno o fósforo) por separado

$$C_C = \sum [\text{Nut}]_c * \text{Caudal}_i$$

Donde $[\text{Nut}]_c$ es la concentración promedio (mg/L) del nutriente en cuestión que entra mensualmente por el canal del Alegría y Caudal_i es el caudal del mes (m^3/mes).

También hemos cuantificado qué carga de materiales albergan los macrófitos acuáticos, multiplicando la concentración de nutrientes por su biomasa por unidad de superficie y por la superficie que ocupan en cada lóbulo. Estas cifras no pueden ser consideradas estrictamente como una salida de materiales, sino un simple retraso en esa salida, pues los materiales que alberga una planta determinada -una vez descompuesta- regresan al agua y, parte de ellos, sedimentan. De todos modos, estas cifras deben considerarse sólo como tentativas porque es probable que la biomasa total de *Ceratophyllum* por unidad de superficie en las zonas más profundas de los lóbulos estudiados fuera más alta de lo estimado, ya que esta planta tiende a ocupar todo el espesor de la columna vertical de agua cuando crece, especialmente en los meses de junio y julio; por lo tanto, la cantidad real de biomasa de esta planta podría ser mayor de la estimada por nosotros mediante muestreos de la misma en zonas menos profundas y más accesibles. La ecuación para la carga de cada nutriente que alberga la biomasa total de macrófitos sería, entonces, la siguiente

$$C_M = \sum [\text{Nut}]_i * B_i$$

Donde $[\text{Nut}]_i$ es la concentración de cada nutriente en cuestión (mg/kg peso seco) en la planta i y B_i es la biomasa total (kg) de la planta i en cada lóbulo considerado. Como el desarrollo de la biomasa y la acumulación nutrientes en las plantas tiene lugar durante el periodo vegetativo de un año, las cifras de las cargas calculadas mediante la ecuación anterior pueden calcularse en toneladas por año.

Por último, las concentraciones de materiales en el agua se han integrado a todo el año y al volumen de cada lóbulo, multiplicando su concentración mensual por el tiempo de retención (=0,16, tabla I) y por el volumen de agua que en cada momento tenía cada lóbulo estudiado. La ecuación sería, por tanto,

$$C_A = \sum [\text{Nut}]_i * V_i * 0,16$$

Donde $[\text{Nut}]_i$ es la concentración promedio de cada nutriente en cuestión en cada lóbulo y mes (mg/L) y V_i es el volumen mensual de agua que hay en cada lóbulo.

RESULTADOS

Los resultados de los análisis químicos se presentan en el anexo.

Cargas de entrada por el canal del Alegría

Siendo importantes, las del año de estudio (febrero 2001-enero 2002) han resultado mucho menores que las medidas en años anteriores, pues ascienden a 922, 70 y 0,65 toneladas por año de carbono, nitrógeno y fósforo, respectivamente. El estudio de Limnos (1995) refiere unas cargas de fósforo que oscilan entre 2,62 y 9,46 Tm año⁻¹. El trabajo de la Comisión Técnica para la Protección de los embalses del sistema Zadorra (1997) presenta unas cargas promedio para el periodo 1984-1995 que ascienden a 180 y 7,5 Tm año⁻¹ de nitrógeno y fósforo. La disparidad pudiera deberse a la entrada de caudales inferiores (8,40 Hm³ año⁻¹) a los promedio (18,5 Hm³ año⁻¹) durante nuestro año de estudio, pues las concentraciones han continuado siendo muy parecidas a las del periodo 1984-1995 ya citado.

En general, siguen una pauta estacional, es decir, con máximos en primavera y mínimos en verano, cuando se seca el cauce, para volver a incrementarse en otoño (Figura 7). Las cargas de carbono y nitrógeno están muy correlacionadas estadísticamente entre sí (coeficiente de correlación de Pearson, $R = 0,94$, $p < 0,05$), lo cual no ocurre con el fósforo ($R = 0,29$, $p > 0,05$). Este hecho podría indicar que las aportaciones por el Alegría son de origen más agrícola que urbano. La relación promedio nitrógeno:fósforo en esta zona asciende a 46, con lo cual si las plantas usan el agua del canal del Alegría para crecer, probablemente sufrirán una limitación nutritiva por el fósforo.

Los nutrientes en el agua

Las concentraciones de carbono total oscilaron entre 18 y 180 mg L⁻¹. En general, en las estaciones de la cola de Mendixur parece haber una pauta estacional con concentraciones menores en verano. Sin embargo, esa tendencia no se observa en el cuerpo principal del embalse (Figura 8).

En cuanto al nitrógeno, su rango se encontró entre 2 y 17 mg L⁻¹, sin una pauta estacional clara en ninguna de las estaciones de muestreo (Figura 9).

El fósforo total varía entre 3 y 1350 µg L⁻¹, presentando las concentraciones mayores en la desembocadura del canal del Alegría. En ésta, los máximos tienen lugar en verano (Figura 10). Sin embargo, en el resto de las zonas de estudio es en la época estival cuando se presentan las concentraciones menores; es probable que esta disminución estival del fósforo en el agua se deba a su ingestión por las plantas, especialmente *Ceratophyllum*, que presenta las mayores biomásas (véase más abajo). No hemos observado anoxia en la columna de agua de las zonas estudiadas que favorezca la liberación del fósforo almacenado en los sedimentos.

Las concentraciones observadas son, ya lo hemos señalado, muy variables. Individualmente consideradas, unas -las más bajas- pueden ser indicativas de condiciones oligotróficas, mientras que las superiores determinarían condiciones hipertróficas. En general, podemos decir que el lóbulo del Alegría es francamente hipertrófico, pero a medida que nos alejamos de él aparecen condiciones mesotróficas, si seguimos la clasificación de la OCDE (1982).

Como señalan otros estudios (Limnos, 1995; Synconsult, 1992), la limitación de la producción primaria en el embalse de Ullivarri parece deberse al fósforo, pues los cocientes nitrógeno:fósforo son muy elevados (>>16) en todas las muestras analizadas. Nosotros hemos comprobado lo mismo (Figura 11), pero hay algunos aspectos de la relación que merecen comentario. Así, hay una serie de zonas de muestreo -canal del Alegría y lóbulos adyacentes- que presentan unos cocientes inferiores a 100. Sin embargo, a partir de la estación

del lóbulo de Mendixur y en dirección al cuerpo principal del embalse, dichos cocientes superan la cifra de 200 en promedio. Teniendo en cuenta que hay desarrollo de la vegetación subacuática en toda la cola, que los aportes de nutrientes por la avifauna son despreciables (Limnos, 1995) y que no hay otras entradas focales de agua, lo más verosímil es que ese aumento relativo del nitrógeno se deba a la fertilización del embalse por contaminación difusa de los fertilizantes procedentes de los campos vecinos que, además, fueron arados desde octubre a enero, lo cual aumenta la erosión por escorrentía y el aporte de nitrógeno y fósforo al embalse.

En la Figura 12 hemos representado juntas las distribuciones de las concentraciones de nutrientes en cada zona de estudio mediante diagramas de cajitas y bigotes, que permiten visualizar mejor las relaciones entre dichas estaciones de muestreo consecutivas. Para todos los nutrientes hay una tendencia decreciente de concentraciones desde el canal del Alegría hasta el cuerpo principal del embalse. Pero debe señalarse también que un análisis estadístico no paramétrico ("test" de la U de Mann-Whitney) de comparación de distribuciones de nutrientes entre estaciones consecutivas sólo ha producido diferencias estadísticamente significativas entre las estaciones 7 y 8 (canal y lóbulo del Alegría) para carbono, nitrógeno y fósforo y entre las estaciones 5 y 6 (lóbulos de Mendixur e Intermedio) para el fósforo. Es decir, la separación más nítida entre estaciones se produce entre la desembocadura del Alegría y el primer lóbulo de la cola de Mendixur. O, dicho de otro modo, la concentración de nutrientes a lo largo del eje de Mendixur disminuye muy lentamente en la mayor parte del mismo, habiendo la única caída brusca cuando el canal fluvial se estanca, el agua pierde su energía cinética y se produce una sedimentación rápida de los materiales que entran por el Alegría.

Ya hemos visto que esa tendencia es gradual en la mayor parte del eje. No obstante, si comparamos las concentraciones de nutrientes (Figura 13) tomando la cola de Mendixur como un todo (estaciones 4-7) con las estaciones del embalse como un todo (estaciones 1-3), observaremos que las diferencias en el nitrógeno ($p = 0,0009$) y el fósforo ($p = 0,0004$) son estadísticamente significativas cuando ejecutamos un test no paramétrico de Mann-Whitney. Lo

cual quiere decir que el cuerpo principal del embalse presenta menores concentraciones de nitrógeno y fósforo que la cola de Mendixur y actuaría, por tanto, como trampa de nutrientes.

La sedimentación

Las tasas de sedimentación son muy variables para todos los nutrientes. En el caso del carbono, varían entre 2 y 140 g C m⁻² día⁻¹ (Figura 14). En las estaciones del embalse los máximos de sedimentación se dan en otoño-invierno, coincidiendo con la mezcla térmica del embalse; las estaciones de la cola de Mendixur presentan más irregularidad estacional. Estas pautas también pueden observarse en el caso de nitrógeno y fósforo. El primero oscila entre 80 y 290 g N m⁻² día⁻¹ (Figura 15), mientras que la sedimentación del fósforo es todavía más variable (0,04-420 g P m⁻² día⁻¹ ; Figura 16). Con esas enormes variabilidades, se cubre prácticamente todo el espectro de variabilidad de tasas de sedimentación observado en distintos lagos, embalses y humedales (Sánchez Carrillo et al., 2001; Wodka et al., 1985).

Si representamos las distribuciones totales de la sedimentación de cada nutriente en todas las estaciones de muestreo (Figura 17), no se aprecia una tendencia espacial clara. La estación del lóbulo del Alegría es la más variable para carbono y fósforo. En el caso del nitrógeno, la variabilidad es bastante grande en casi todos los puntos de muestreo. No hay diferencias estadísticamente significativas entre estaciones consecutivas en el caso del nitrógeno ("test" de Mann-Whitney; p>0,05). Para el carbono, esas diferencias sólo existen entre las estaciones 3 y 4 (después del dique de Urizar y lóbulo de Urizar) y 5 y 6 (lóbulos de Mendixur e Intermedio). Y en el caso del fósforo, las diferencias tienen lugar entre las estaciones 5 y 6 (lóbulos de Mendixur e Intermedio) y 6 y 7 (lóbulos Intermedio y del Alegría). Dicho de otro modo, no hay gradiente brusco de sedimentación del nitrógeno; el carbono lo tiene dentro de la cola de Mendixur, pero no cerca de la entrada del Alegría, cosa que sí le ocurre al fósforo.

Un diagrama de cajitas y bigotes para discriminar la cola de Mendixur respecto al cuerpo principal del embalse en lo que respecta a la sedimentación no ha dado resultados estadísticamente significativos ("test" de Mann-Whitney), aunque sí se aprecie mucha mayor variabilidad en la sedimentación en la cola (Figura 18). Es decir, no puede asegurarse que haya más sedimentación en una zona que en otra. De todos modos, es probable que -de haberse podido muestrear durante todo el año en el lóbulo del Alegría- hubiéramos podido aseverar estadísticamente que la sedimentación en ella es muy superior a la presente en el resto de las estaciones de muestreo. Eso no pudo hacerse porque dicho lóbulo quedó prácticamente seco y con un acceso muy problemático de agosto en adelante.

Los nutrientes en los sedimentos

El apartado precedente consideró el proceso de sedimentación. Los materiales sedimentados pueden volver al agua por diversos mecanismos físicos, químicos o biológicos. Sin embargo, parte del material sedimentado forma complejos estables en el fondo de las cubetas y queda inmovilizado allí. La compactación gradual por su propio peso va expulsando el agua intersticial y el sedimento se adensa acumulando unas cantidades crecientes de nutrientes cuyas capas superiores, en determinadas condiciones, pueden regresar al agua contribuyendo a la eutrofización del ecosistema. Nosotros hemos realizado análisis de carbono, nitrógeno y fósforo en los sedimentos del eje del Alegría. La tendencia en la cola de Mendixur es el aumento de la concentración a medida que nos acercamos a la desembocadura del canal (Figura 19). Sin embargo, en la zona del cuerpo principal del embalse no se observa un gradiente claro de carbono y sí uno de nitrógeno y fósforo aumentando hacia el viaducto de Azua. La concentración de carbono inmovilizado en el sedimento oscila entre 2,1 y 4 g kg⁻¹ de peso seco; la de nitrógeno, entre 1,6 y 3,2 g kg⁻¹; la de fósforo va de 300 a 950 mg kg⁻¹. Estas cifras no tan altas como cabría esperar por las grandes entradas de nutrientes por el Alegría, quizá porque el escaso tiempo de retención de esta cola (véase la tabla I) no permita la compactación de los materiales y haya un arrastre frecuente de materiales

recientemente sedimentados en dirección al cuerpo principal del embalse. De hecho, las mayores tasas de sedimentación (véase el apartado anterior) tienen lugar a comienzos del invierno, cuando los caudales de entrada crecen, la vegetación sumergida que contribuía a la inmovilización del sedimento ha desaparecido y los sedimentos se resuspenden con mayor facilidad.

La biología de las principales plantas acuáticas en Mendixur: cobertura, biomasa, concentración de nutrientes y factores ambientales

Las prospecciones de los macrófitos acuáticos dominantes han dado como resultado que la especie dominante en todo el espacio considerado ha sido *Ceratophyllum demersum*, la cual se halla presente en casi toda la zona de estudio (Figura 20). Esta planta aparece en todas las zonas con agua, por muy contaminadas que estén. Sólo en las zonas más protegidas, menos profundas y más limpias se ve sustituida por una comunidad en la que dominan *Potamogeton lucens* y *Polygonum amphibium*. Estas dos plantas suelen aparecer entremezcladas, mientras que *Ceratophyllum* se presenta en solitario.

Dentro de la cola de Mendixur, *Ceratophyllum* cubre una extensión aproximada de 57 Ha, mientras que *Potamogeton* recubre unas dos Ha y *Polygonum* se halla presente en unas 9 Ha. Fuera del dique, en el cuerpo principal del embalse la cobertura de *Ceratophyllum* sigue siendo abrumadora, al menos, hasta la isla de Orain. En la zona de Orain, *Ceratophyllum* no llega nunca a la superficie, es decir, no ocupa toda la columna de agua. Sin embargo, en los lóbulos estudiados, con más nutrientes y más protegidos del oleaje y del viento, esta planta llega a ocupar todo el espesor de la columna de agua.

En cuanto a la biomasa, *Ceratophyllum* alcanza en promedio el medio kilo por metro cuadrado, mientras que *Polygonum* no llega a la mitad de esa cifra y *Potamogeton* sólo alcanza los 60 g m⁻² de peso seco (Figura 21). Estas biomásas de las tres especies se hallan dentro de los rangos referidos en la bibliografía (Ozimek et al., 1976; Vymazal, 1995).

Polygonum es la planta que más carbono y nitrógeno concentra, seguida de *Ceratophyllum* y *Potamogeton*. En la acumulación de fósforo son todas muy parecidas (Figura 22). *Ceratophyllum* en otros lagos del mundo suele acumular más nitrógeno y fósforo (Best, 1977; Gerloff y Kromholz, 1966); en Mendixur quizá no lo necesite, pues dispone de la entrada casi continua desde el canal del Alegría. *Polygonum* presenta cifras de contenido en nitrógeno similares a las que tiene en otros ambientes del mundo, pero no ocurre lo mismo con el fósforo, pues en Mendixur son menores (Vymazal, 1995). *Potamogeton lucens* muestra en este ecosistema menores valores de contenido en nitrógeno (Vymazal, 1995).

La transparencia del agua en toda la zona de estudio osciló desde los 0,15 m en el lóbulo del Alegría hasta los cuatro metros en las aguas libres del embalse. Estas cifras significan, *grosso modo*, que la luz alcanza hasta algo más del doble de esas profundidades. Ello significa que las plantas acuáticas no ven limitado su crecimiento por la luz, pues en esta cola hay una relación directa entre profundidad de cada zona concreta y penetración de la luz, es decir, cuando se reduce la transparencia (como es el caso del lóbulo del Alegría), el fondo donde se van a situar los macrófitos también está más cerca. El fitoplancton, que sólo es abundante en el lóbulo del Alegría (con unas concentraciones de clorofila "a" que oscilan entre 0,5 y 141 $\mu\text{g L}^{-1}$), no extingue la luz en una proporción suficiente como para afectar al crecimiento de *Ceratophyllum*.

Desde el punto de vista de los nutrientes, las elevadas concentraciones presentes en el lóbulo del Alegría no parecen perjudicar a *Ceratophyllum*. No es hasta el lóbulo de Mendixur, donde la concentraciones ya son mucho menores y donde se aprecia el desarrollo de *Polygonum* en las aguas más calmadas de la orilla, pues el oleaje debido al viento que experimentan las zonas más expuestas impide o limita el crecimiento de *Polygonum* y *Potamogeton*, que son plantas con raíces, y sin embargo no perjudica a *Ceratophyllum*, que no las tiene.

Síntesis

Como se desprende de las páginas anteriores, en este estudio hemos intentado seguirle la pista a las sustancias principales que el canal del Alegría vierte a la cola de Mendixur. En las transformaciones de esas sustancias (carbono, nitrógeno y fósforo) intervienen los movimientos del agua, la sedimentación y los seres vivos, especialmente las plantas acuáticas. Siguiendo el modelo de la figura 2, hemos representado esa distribución de sustancias en los distintos lóbulos del eje de Mendixur y dentro de cada compartimento funcional principal (agua, material en sedimentación, macrófitos).

Las Figuras 23-24 representan ese reparto para el nitrógeno y el fósforo, al que se le ha añadido una estimación de la contaminación difusa debida a la agricultura que rodea el embalse. Si realizamos un balance de materiales para el nitrógeno, considerando como entradas al sistema las puntuales del canal del Alegría (C_C , véase el Apartado de Material y Métodos, página 11) y la contaminación difusa (C_O) y como salidas la sedimentación (C_S) y la concentración en las aguas de cada lóbulo (C_A) -excluimos la acumulación en plantas porque, como ya hemos señalado, cuando éstas se descompongan al final del verano sus componentes pasarán al agua y al sedimento, con lo cual sólo tiene lugar un retardo en el proceso- el balance anual sólo nos da una diferencia de tres toneladas de nitrógeno que pudieran ser aportadas por el Zadorra. Es decir, los flujos de nitrógeno en la zona de estudio parecen razonablemente bien explicados por el sencillo modelo propuesto.

Con el fósforo (Figura 24) se ha realizado la misma operación de balance, pero aquí el resultado no es tan satisfactorio porque queda por explicar de dónde proceden 30 toneladas que salen del sistema, fundamentalmente por sedimentación. Dicho de otro modo, nuestros análisis de las cargas aportadas por el canal del Alegría ofrecen resultados inferiores a los resultantes de analizar el fósforo en agua, vegetación y sedimentos de la cola de Mendixur. Ignoramos a qué puede deberse esta discrepancia, pues los datos de caudales

del canal, aportados por AMVISA, no difieren sustancialmente de los estimados por nosotros y los datos de fósforo total, medidos por el Gobierno Vasco en la estación del río Alegría en Matauko (estación ZAL-150), son cifras muy inferiores a las concentraciones que medimos en el canal, a la entrada de la cola Mendixur. La estimación de los aportes difusos procedentes de los campos de cultivo cercanos tampoco reduce la discrepancia. Finalmente, la posible entrada de fósforo desde el Zadorra hacia la cola de Mendixur no es probable porque, de ser así, también aumentaría el nitrógeno y ya hemos visto que el balance de éste sí es razonable, descartando que haya entradas significativas de nitrógeno en Mendixur desde la cola del Zadorra. Como explicación probable, se nos ocurre que nuestra cuantificación del fósforo a la entrada del canal del Alegría sea incompleta: la reconocida variabilidad semanal en el uso de detergentes (colada realizada en un día de la semana determinado, lavado de platos a horas concretas del día, etc.) hacen posible que hubiéramos subestimado la cantidad de fósforo. Es decir, a fin de evaluar esa variabilidad habría que haber muestreado mucho más frecuentemente durante todas las semanas del mes.

CONCLUSIONES

1ª) Durante el año estudiado ha entrado menos agua por el canal del Alegría a la cola de Mendixur, siendo -por tanto- menores las cargas de contaminantes que en años anteriores.

2ª) La retención de nutrientes en la cola de Mendixur se produce de modo muy gradual, estando las principales zonas de retención en el lóbulo del Alegría y el lóbulo Intermedio anterior al gran lóbulo de Mendixur. Por ello, puede deducirse que esta zona más somera es donde se acumulan los nutrientes, con el consiguiente beneficio para la calidad del agua embalsada en el cuerpo principal.

3ª) La concentración de nutrientes en el cuerpo principal del embalse es inferior a la existente en la cola de Mendixur. Dicha cola funciona como trampa de nutrientes.

4ª) La sedimentación de materiales es el principal proceso de eliminación de nutrientes en la cola de Mendixur. Sin embargo, esa sedimentación no difiere estadísticamente cuando se compara la existente en dicha cola con la presente en el cuerpo principal del embalse.

5ª) *Ceratophyllum demersum* es el macrófito principal presente en toda la zona de estudio. Su captación de nutrientes es la más importante en las comunidades biológicas de la zona. Sin embargo, la cantidad de nutrientes que alberga es inferior a las pérdidas de nutrientes por el proceso de sedimentación. Esos nutrientes que almacena regresan al agua, y parte de ellos sedimenta, una vez acabado el periodo de crecimiento de la planta.

6ª) El desarrollo del plancton y la transparencia del agua no parecen perjudicar al crecimiento de las plantas acuáticas sumergidas.

7ª) Los balances de nitrógeno y fósforo realizados ponen de relieve la importancia de la contaminación difusa, de origen probablemente agrícola, para las cargas de nutrientes en la cola de Mendixur y el embalse de Ullivarri.

SUMMARY

1st) A monthly study was carried out for a year (February 2001-January 2002) to ascertain the role of the Mendixur bay as nutrient trap before the entrance of polluted waters into the main water body of Ullivarri-Ganboa drinking water reservoir.

2nd) Nutrient loadings transported by Alegría channel to Mendixur bay were lower than those in previous years.

3rd) Nutrient retention in Mendixur bay displays a gradient, the main areas of retention being those of Alegría bay and the middle bay before the main Mendixur bay. These are very shallow areas that prevent the entrance of nutrients to the deeper areas of the reservoir.

4th) This is also supported by the fact that nutrient concentration in the main water body of the reservoir is lower than that of Mendixur bay, which therefore acts as nutrient trap.

5th) Sedimentation is the main process that diminishes water column nutrients. However, sedimentation in Mendixur bay and the main water body of the reservoir does not differ.

6th) *Ceratophyllum demersum* is the main submerged macrophyte living throughout the study site, hence its nutrient uptake is the most important for all biological communities. However, sedimentation is more important than nutrient contents in this plant, which returns nutrients back to water when decomposing.

7th) Plankton growth and water transparency do not appear to impair submerged plant growth.

8th) Nitrogen and phosphorus budgets suggest that non-point source pollution of agricultural origin is an important fraction of overall nutrient loadings to Mendixur bay and Ullivarri-Ganboa reservoir.

RECOMENDACIONES

1ª) Deben reducirse los aportes de contaminantes por el canal del Alegría. Aunque las concentraciones de nutrientes que recibe la cola de Mendixur están por debajo de las que indica la legislación para zonas sensibles, afectan de manera continuada a un área muy pequeña durante todo el año.

2ª) En caso de que lo anterior no pueda llevarse a cabo, sería necesaria una estación de tratamiento "verde", mediante macrófitos acuáticos emergentes, antes de que el agua del canal del Alegría alcanzara la cola de Mendixur, de modo que la carga de nutrientes se redujera.

3ª) Dragar y limpiar el lóbulo del Alegría en la cola de Mendixur. Ese dragado podría hacerse en la época de aguas bajas, que coincide con los mínimos de avifauna en el paraje y cuando la cría ya ha terminado.

4ª) Aunque la carga de nutrientes que acumulan los macrófitos acuáticos en la cola es pequeña en relación con la sedimentación de los mismos, una medida complementaria para mejorar la calidad del agua sería extraer esos macrófitos de la cola de Mendixur y de las zonas del cuerpo principal del embalse al final del ciclo vegetativo anual (finales del verano), impidiendo que se descompusiesen y se agregasen al almacén de nutrientes del ecosistema. Dado que *Ceratophyllum demersum* es la planta más extendida y la que acumula mayores biomásas por unidad de superficie, la retirada de plantas podría limitarse a ella sola, lo cual favorece la operación porque se halla flotando y carece de raíces que la unan al sedimento.

5ª) La contaminación difusa es un problema en toda la cuenca del embalse de Ullivarri. En muchas zonas del perímetro sur del embalse, incluyendo la cola de Mendixur, la agricultura intensiva alcanza prácticamente la cota máxima de embalsado. Es preciso proteger ese perímetro mediante una pantalla vegetal que palíe la contaminación difusa que sufren el embalse y la cola. Para ello, se recomienda regenerar o recomponer la vegetación arbustiva y arbórea y

proteger la vegetación emergente (carrizales) de las vaguadas y ensenadas próximas al embalse.

6ª) La regeneración de la vegetación autóctona deberá contemplar tanto la restauración de los bosquetes asociados a los suelos encharcados, constituidos por diversas especies de sauces, como –cuando sea posible- la recuperación del bosque autóctono en las zonas más alejadas del agua.

7ª) El Gobierno Vasco, encargado de evaluar la calidad del río Alegría, debería modificar la situación de la estación de muestreo ZAL-150 (Matauko) y situarla antes de la derivación del canal del Alegría, con objeto de disponer de datos sobre la calidad de los aportes a la cola de Mendixur. Además, dada la probable gran variabilidad de los aportes de fósforo total y la necesidad de estimar las cargas contaminantes con mayor precisión, las determinaciones de aquel parámetro debieran ser muy frecuentes, teniendo en cuenta las actividades humanas generadoras de fósforo (coladas, lavado de platos, etc.).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es un encargo de la Sección de Medio Natural y Paisaje de la Diputación Foral de Álava. No hubiera podido hacerse sin la ayuda de sus técnicos y, en especial, de la Jefa del Servicio, Elena Gómez Chico. AMVISA nos proporcionó datos de caudales diarios en el canal del Alegría. Finalmente, el Gobierno Vasco, a través de la Viceconsejería de Medio Ambiente, nos facilitó los datos de calidad de las aguas del río Alegría (estación ZAL-150) más próximas a la derivación hacia la cola de Mendixur. Para todos ellos va nuestro agradecimiento más sentido. Los muestreos y análisis fueron realizados, en parte, por Palmira Riobos, Miriam Moreno, Leopoldo Medina y Angel Rubio.

BIBLIOGRAFÍA

Alvarez Cobelas, M., Velasco, J.L. & Rubio, A. 1993. Settling seston in a hypertrophic lake. *Archiv für Hydrobiologie* 127: 327-343.

ANBIOTEK, 1994. *Informe sobre las posibles afecciones medioambientales asociadas a la construcción de un dique en la cola del embalse de Ullibarri-Ganboa (cola de Mendixur) para la restauración medioambiental y habilitación de zonas húmedas*. Informe para el Consorcio de aguas, abastecimiento y Saneamiento. Bilbao.

APHA, 1992. *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. 17ª edición del Standard Methods. Editorial Díaz de Santos. Madrid.

Bachman, R.W. & Canfield, D.E. 1992. Use of an alternative method for monitoring total nitrogen. *Hydrobiologia* 323: 1-8.

Best, E.P.H. 1977. Seasonal changes in mineral and organic components of *Ceratophyllum demersum* and *Elodea canadensis*. *Aquatic Botany* 3: 337-348.

Bloesch, J. 1996. Towards a new generation of sediment traps and a better measurement/understanding of settling particle flux in lakes and oceans: a hydrodynamical protocol. *Aquatic Sciences* 58: 283-296.

Comisión Técnica para la protección de los embalses del sistema Zadorra, 1997. Gobierno Vasco, Confederación Hidrográfica del Ebro, Diputación Foral de Álava, Aguas Municipales de Vitoria, Consorcio de Aguas del Gran Bilbao.

Gerloff, G.C. & Krombholz, P.H. 1966. Tissue analysis as a measure of nutrient availability for the growth of angiosperm aquatic plants. *Limnology and Oceanography* 11: 529-537.

Johnes, P., Moss, B. & Phillips, G. 1996. The determination of total nitrogen and total phosphorus concentrations in freshwaters from land use, stock headage and population data: testing of a model for use in conservation and water quality management. *Freshwater Biology* 36: 451-473.

LIMNOS, 1995. *Previsión de la calidad limnológica de las zonas húmedas proyectadas en las colas del embalse de Ullibarri-Gamboa*. Informe para la Diputación Foral de Álava. Barcelona.

Lorenzen, C.J. 1966. A method for the continuous measurement of *in vivo* chlorophyll concentration. *Deep Sea Research* 13: 223-227.

Meybeck, M. 1979: Concentrations des eaux fluviales en éléments majeurs et apports en solution aux océans. *Revue de Géologie Dynamique et de Géographie Physique* 21: 215-246.

OECD, 1982. *Eutrophication: methods of assessment and control*. Paris

Ozimek, T., Prejs, A. & Prejs, K. 1976. Biomass and distribution of underground parts of *Potamogeton perfoliatus* L. and *P. lucens* L. in Mikolajskie lake, Poland. *Aquatic Botany* 2: 309-316.

Sánchez Carrillo, S., Alvarez Cobelas, M. & Angeler, D.A. 2001. Sedimentation in the semi-arid freshwater wetland Las Tablas de Daimiel (Spain). *Wetlands* 21: 112-124.

SYNCONSULT, 1992. *Estado actual y tendencias de la calidad y grado de eutrofización en los embalses de la cuenca del Ebro, 1989-1991. Embalse de Ullívarri*. Informe para el MOPT, Confederación Hidrográfica del Ebro.

Vymazal, J. 1995. *Algae and element cycling in wetlands*. Lewis Publishers. Boca Ratón, Florida.

Westlake, D. 1969. Macrophytes. In: *A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments* (R.A. Vollenweider, ed.), 25-33. Blackwell Scientific Publications. Oxford.

Wodka, M.C., Effler, S.W. & Driscoll, C.T. 1985. Phosphorus deposition from the epilimnion of Onondaga lake. *Limnology and Oceanography* 30: 833-843.

Figura 1. Situación del embalse de Ullivarri-Ganboa y de la zona de estudio. *Location of Ullivarri-Ganboa reservoir (Northern Spain, Basque country) and the study site.*

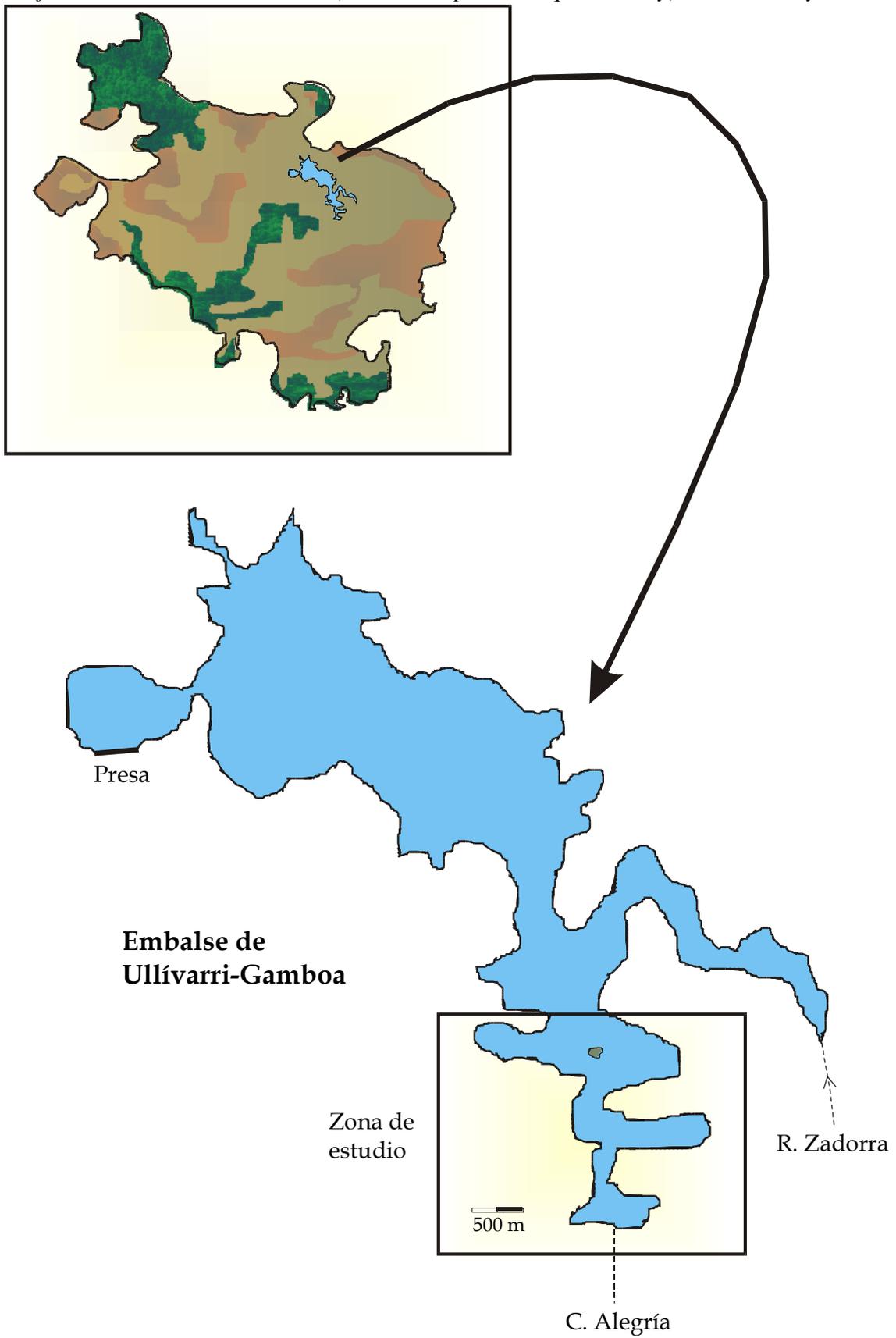


Figura 2. Principales procesos ecológicos asociados a los nutrientes en la cola de Mendixur. El grosor de las flechas es proporcional a la importancia del proceso. Los cuadrados indican los materiales; las elipses, las comunidades biológicas; los octágonos, los procesos ecológicos. El dique está compuesto de materiales margo-arcillosos y, de ahí, que su permeabilidad esté reducida. La comunidad fitoplanctónica no se ha representado porque se sitúa por toda la zona, si bien su concentración suele ser mayor en las zonas de mayor cantidad de nutrientes. *Main ecological processes related with nutrients in the Mendixur bay. The width of arrows is proportionate to the importance of the process. Squares indicate materials, ellipses are biological communities and the octagons are the ecological processes. The dam that isolates Mendixur bay from the main water body is made up by loam-clayish materials and hence its permeability is low. Phytoplankton community is not shown because it spreads throughout the bay and the main water body.*

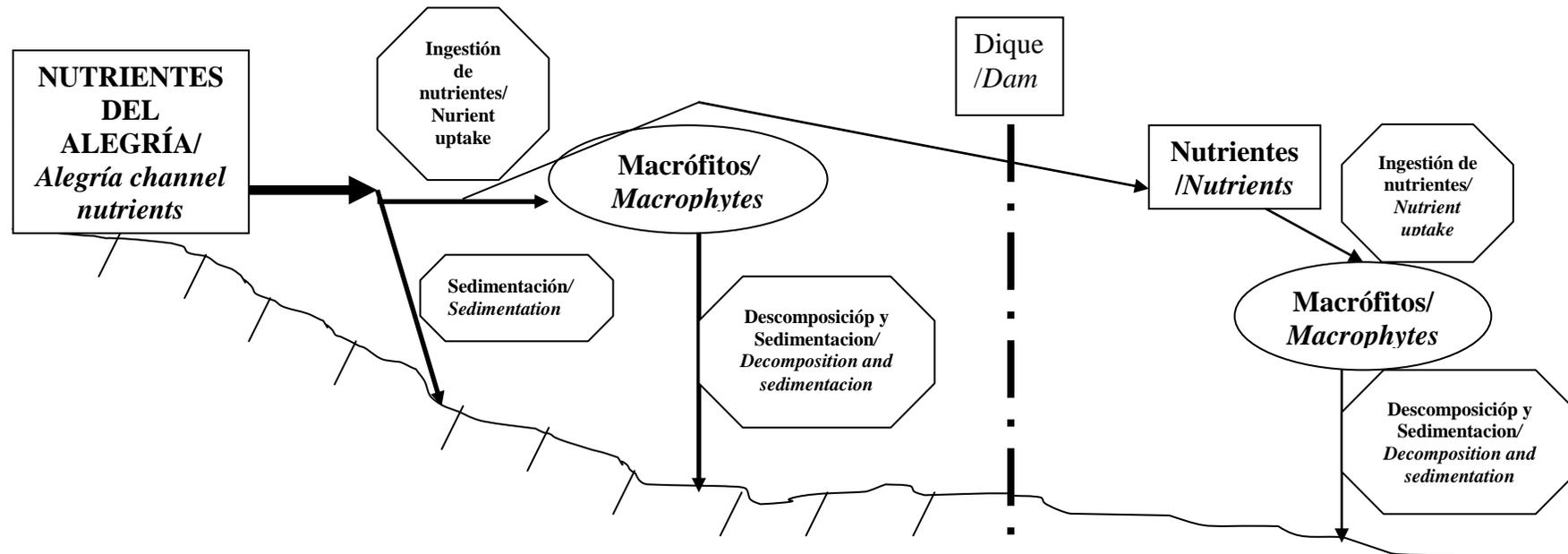


Figura 3. Situación de las estaciones de muestreo de este estudio. *Location of sampling sites.*



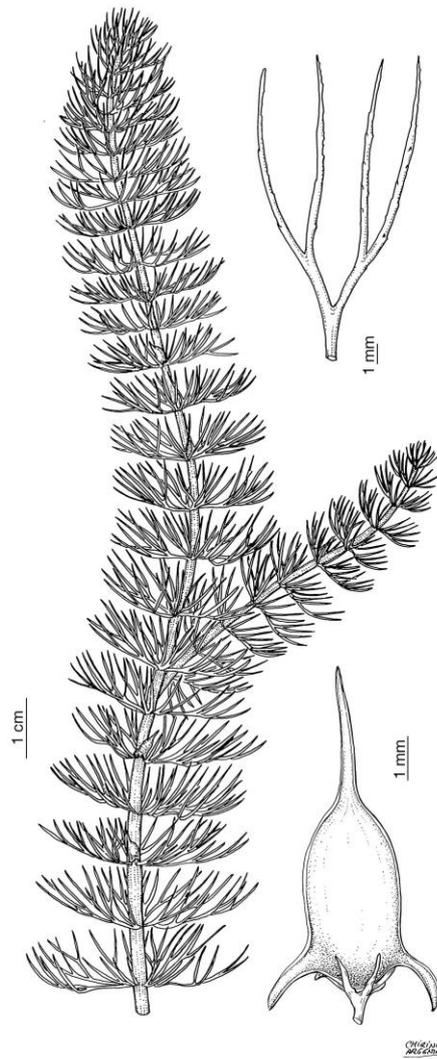


Figura 4. *Ceratophyllum demersum*

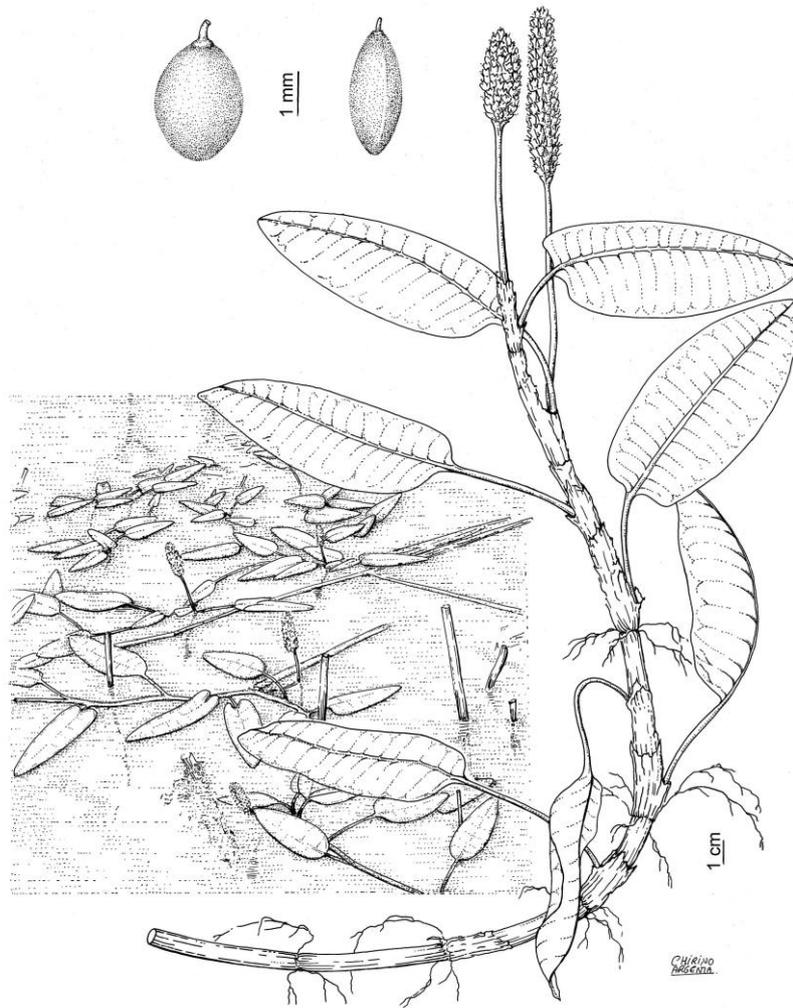


Figura 5. *Polygonum amphibium*

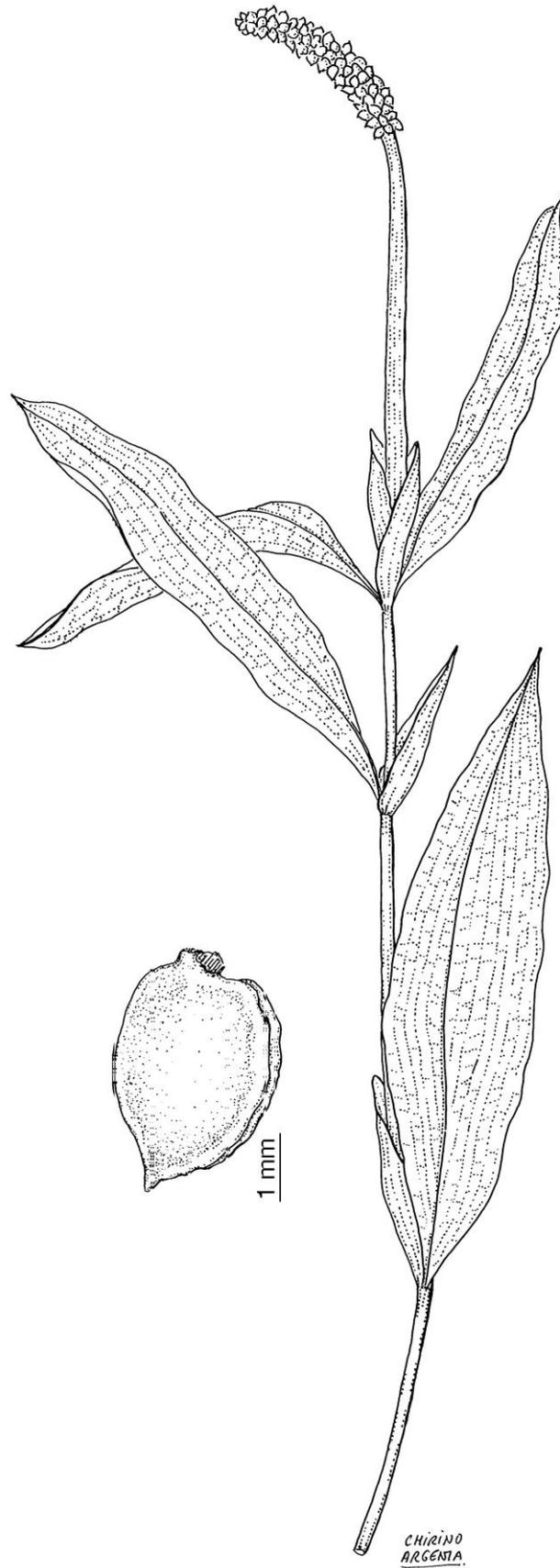


Figura 6. *Potamogeton lucens*

Figura 7. Cargas mensuales de entrada por el canal del Alegría a la cola de Mendixur (febrero de 2001-enero 2002). *Monthly nutrient loading through Alegría channel to Mendixur bay (February 2001-January 2002). Carbon – upper panel, nitrogen – middle panel, phosphorus – lower panel.*

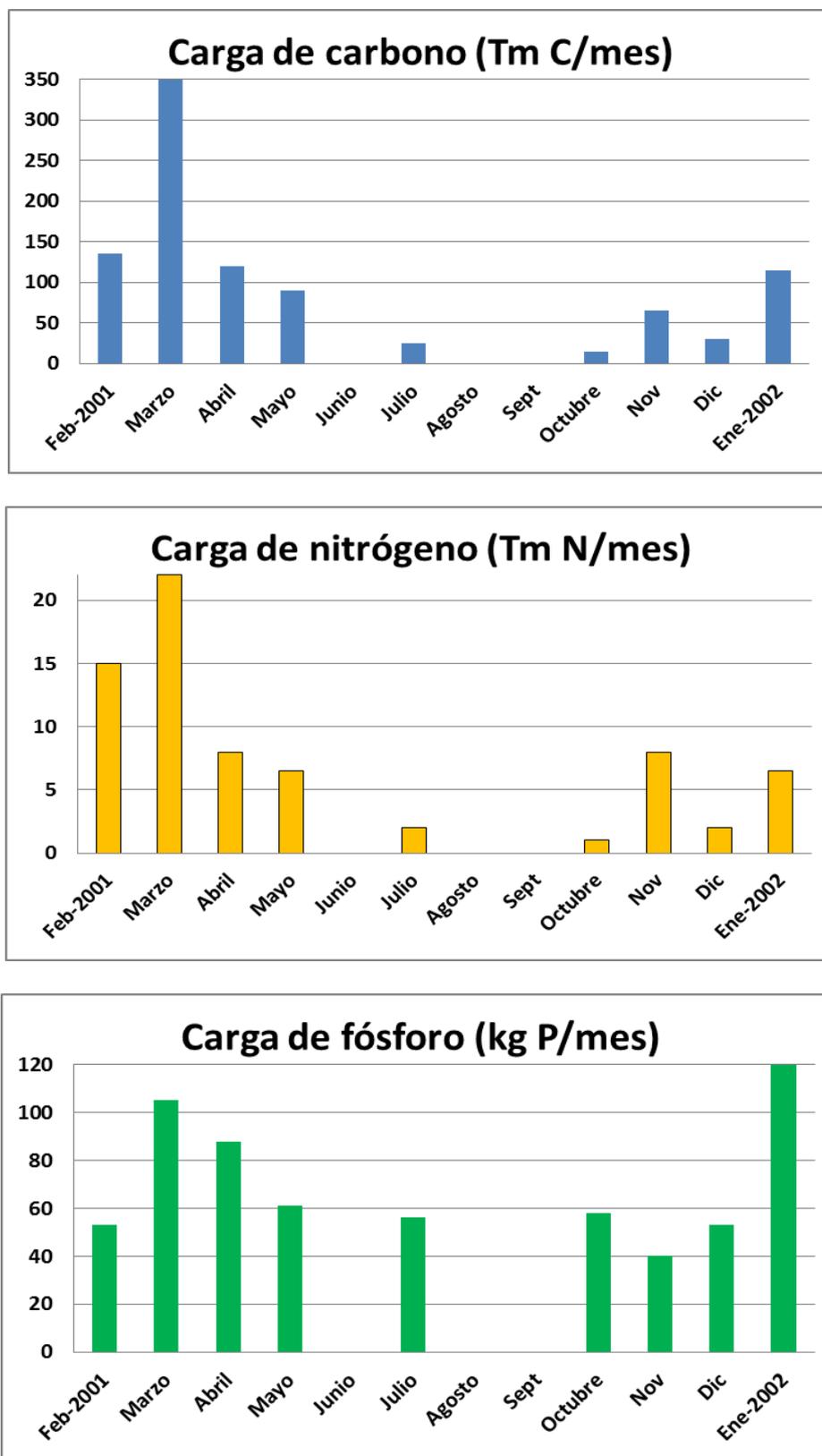


Figura 8. Evolución temporal del carbono total (mg C/L) en el agua del gradiente del Alegría dentro de la cola de Mendixur y la parte principal del embalse. Véase la Fig. 3 para ubicar las estaciones. La estación nº 7 estuvo seca desde Octubre-2001 a Enero-2002. *Total carbon concentration (mg C/L) in the Alegría channel (site 8) and the water column of Mendixur bay (sites 4-7) and the main water body of the Ullivarri-Ganboa reservoir (sites 1-3) from February 2001 to January 2002. See Fig 3 for locations. Sampling site nr 7 was dry from October 2001 onwards.*

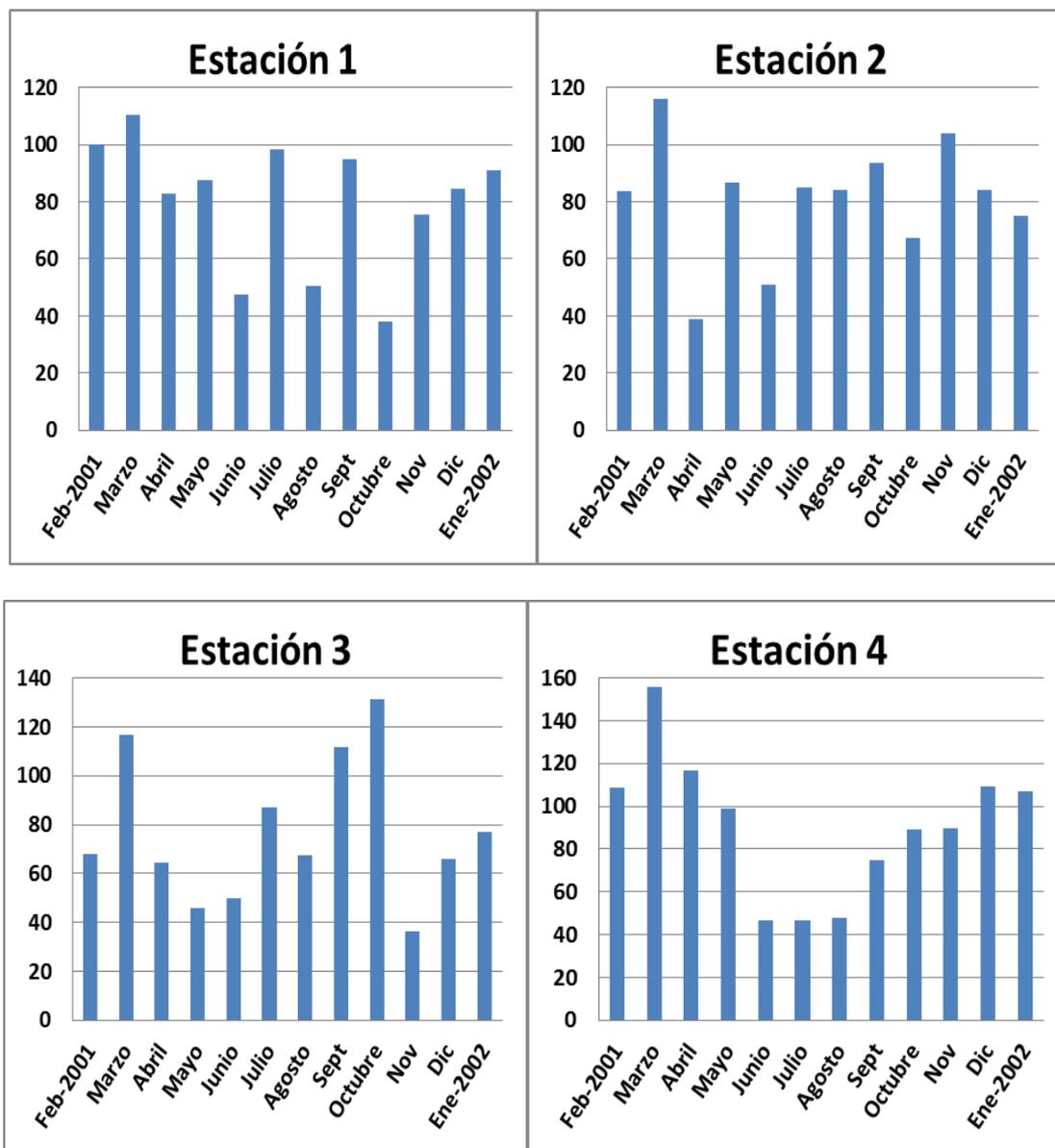


Figura 8 (continuación). *To be continued.*

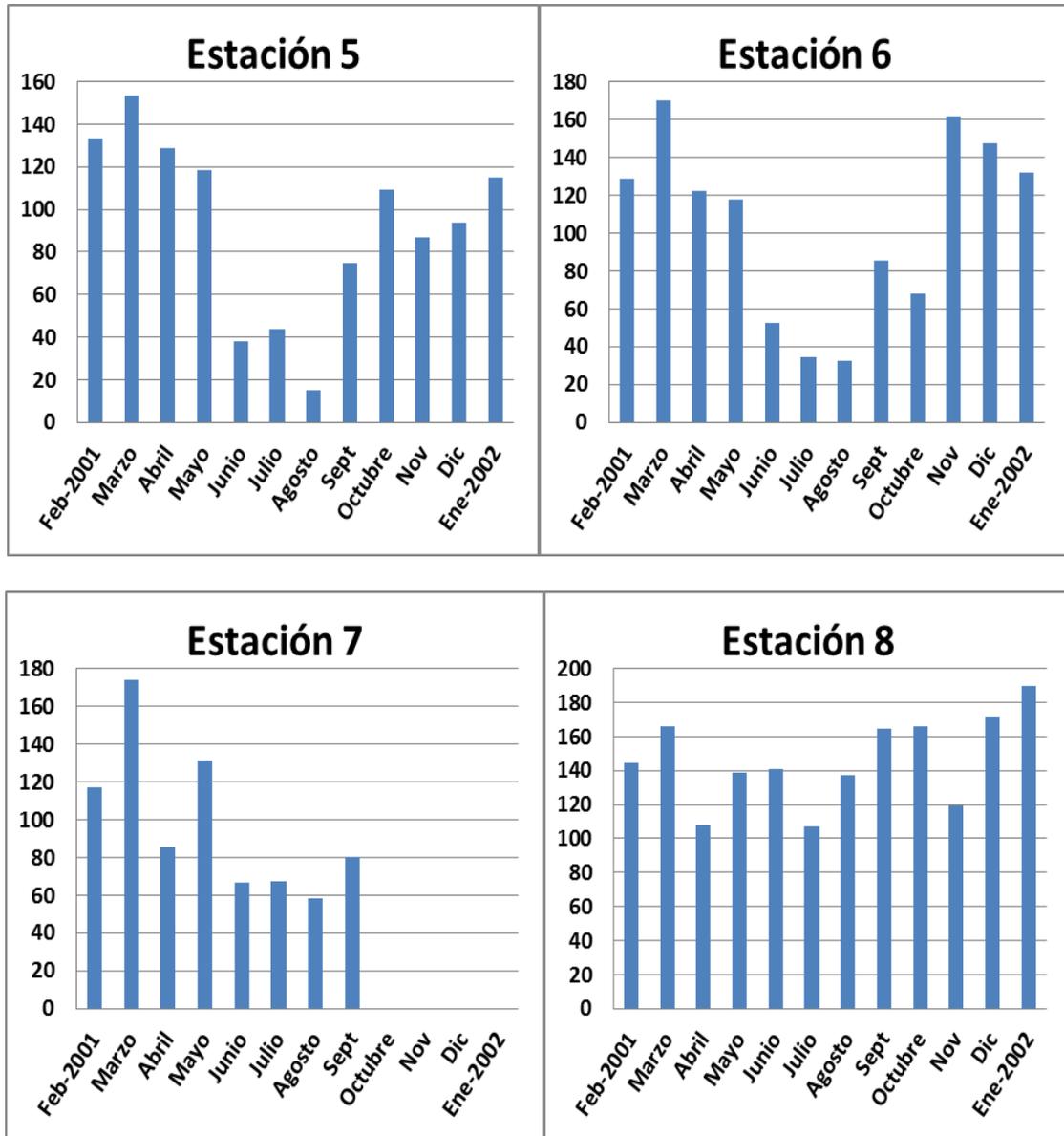


Figura 9. Evolución temporal del nitrógeno total (mg N/L) en el agua del gradiente del Alegría dentro de la cola de Mendixur y la parte principal del embalse. Véase la Fig. 3 para ubicar las estaciones. La estación nº 7 estuvo seca desde Octubre-2001 a Enero-2002. *Total nitrogen concentration (mg C/L) in the Alegría channel (site 8) and the water column of Mendixur bay (sites 4-7) and the main water body of the Ullivarri-Ganboa reservoir (sites 1-3) from February 2001 to January 2002. See Fig 3 for locations. Sampling site nr 7 was dry from October 2001 onwards.*

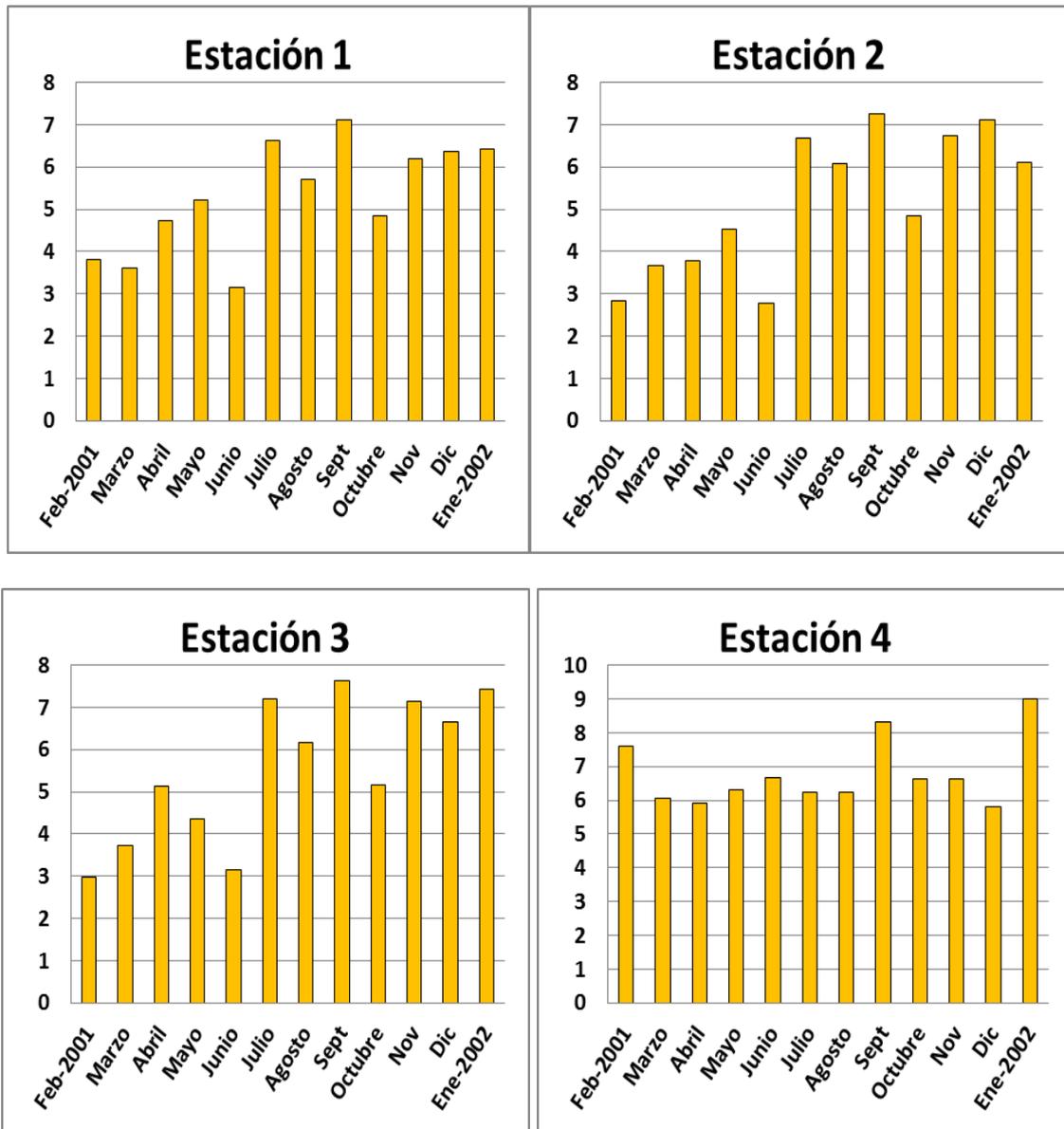


Figura 9 (continuación). *To be continued.*

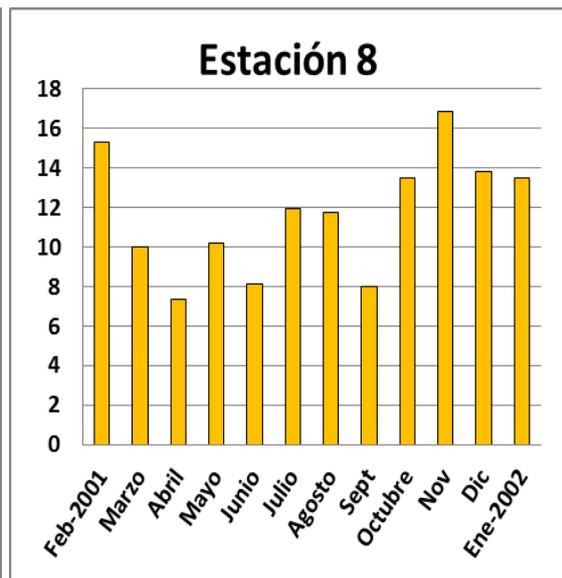
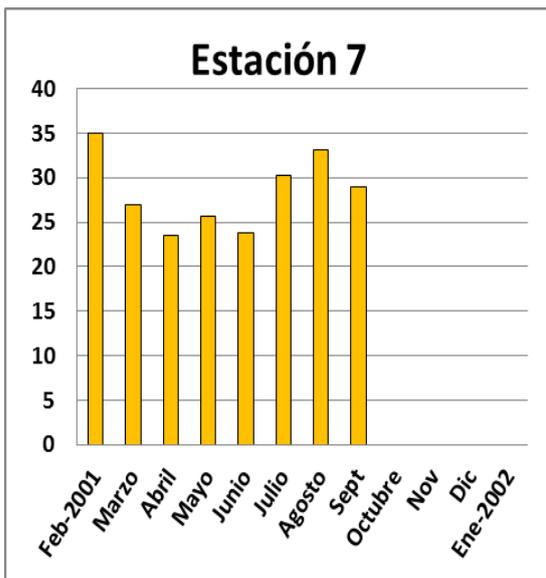
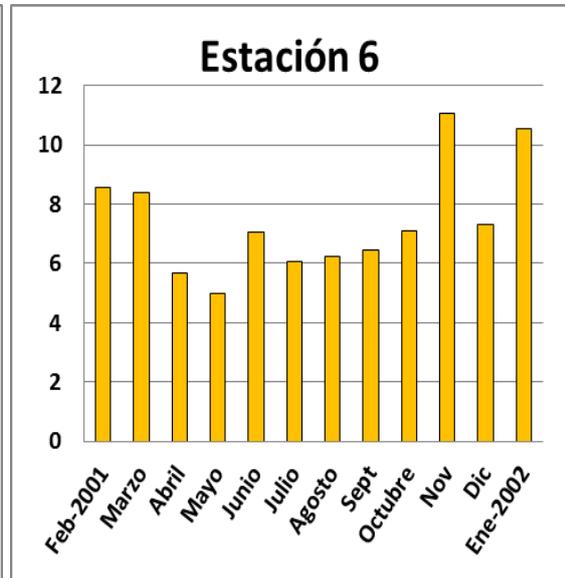
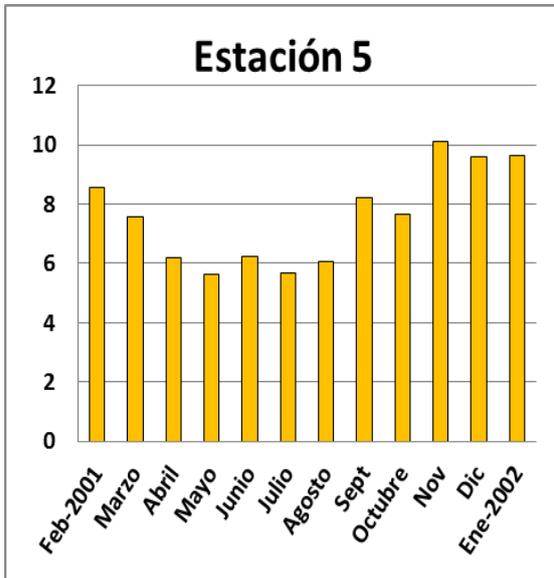


Figura 10. Evolución temporal del fósforo total (mg P/L) en el agua del gradiente del Alegría dentro de la cola de Mendixur y la parte principal del embalse. Véase la Fig. 3 para ubicar las estaciones. Nótese el cambio en las escalas de ordenadas. La estación nº 7 estuvo seca desde Octubre-2001 a Enero-2002. *Total phosphorus concentration (mg P/L) in the Alegría channel (site 8) and the water column of Mendixur bay (sites 4-7) and the main water body of the Ullivarri-Ganboa reservoir (sites 1-3) from February 2001 to January 2002. See Fig 3 for locations. Notice changes in the ordinate axis. Sampling site nr 7 was dry from October 2001 onwards.*

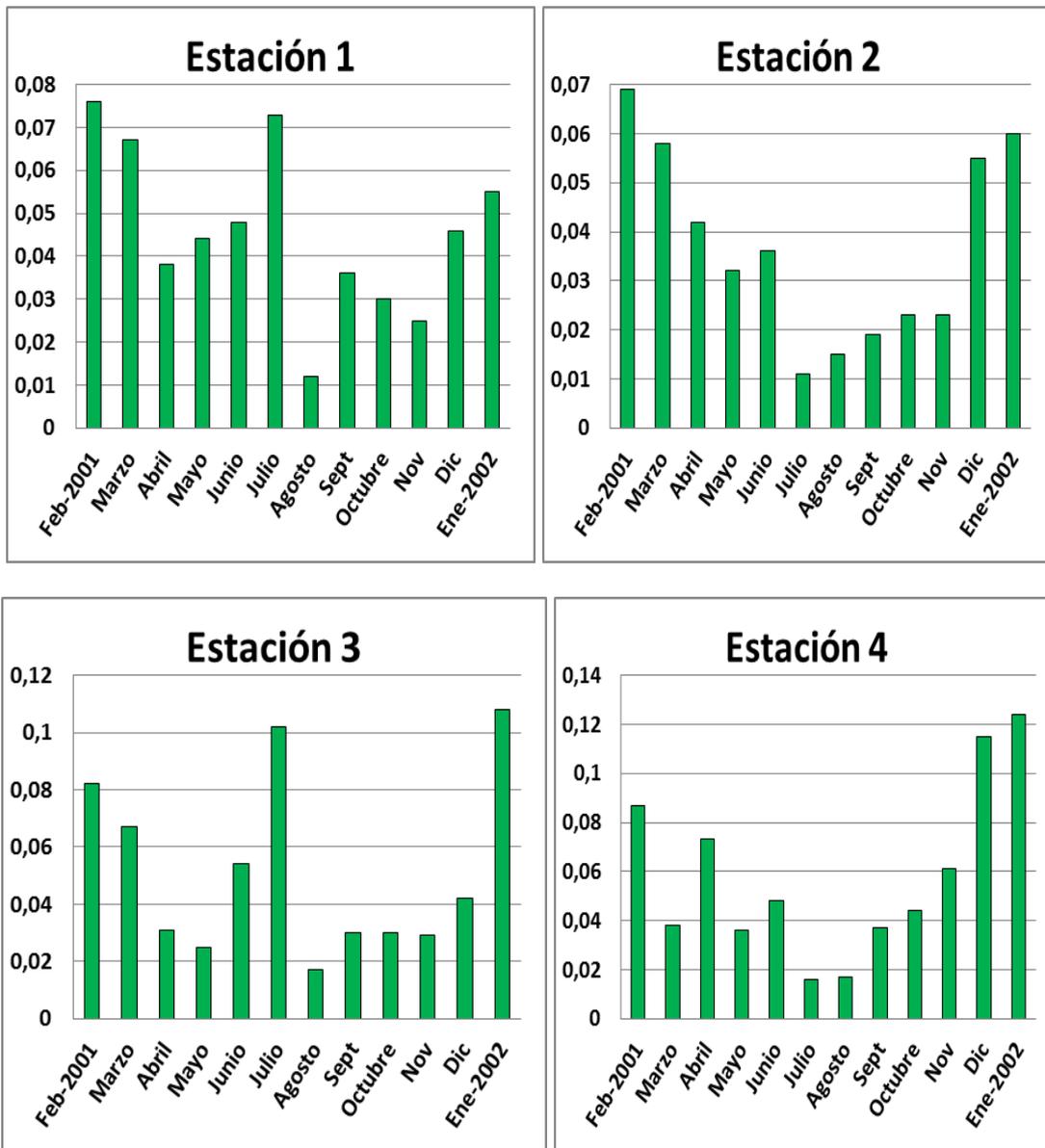


Figura 10 (continuación). *To be continued.*

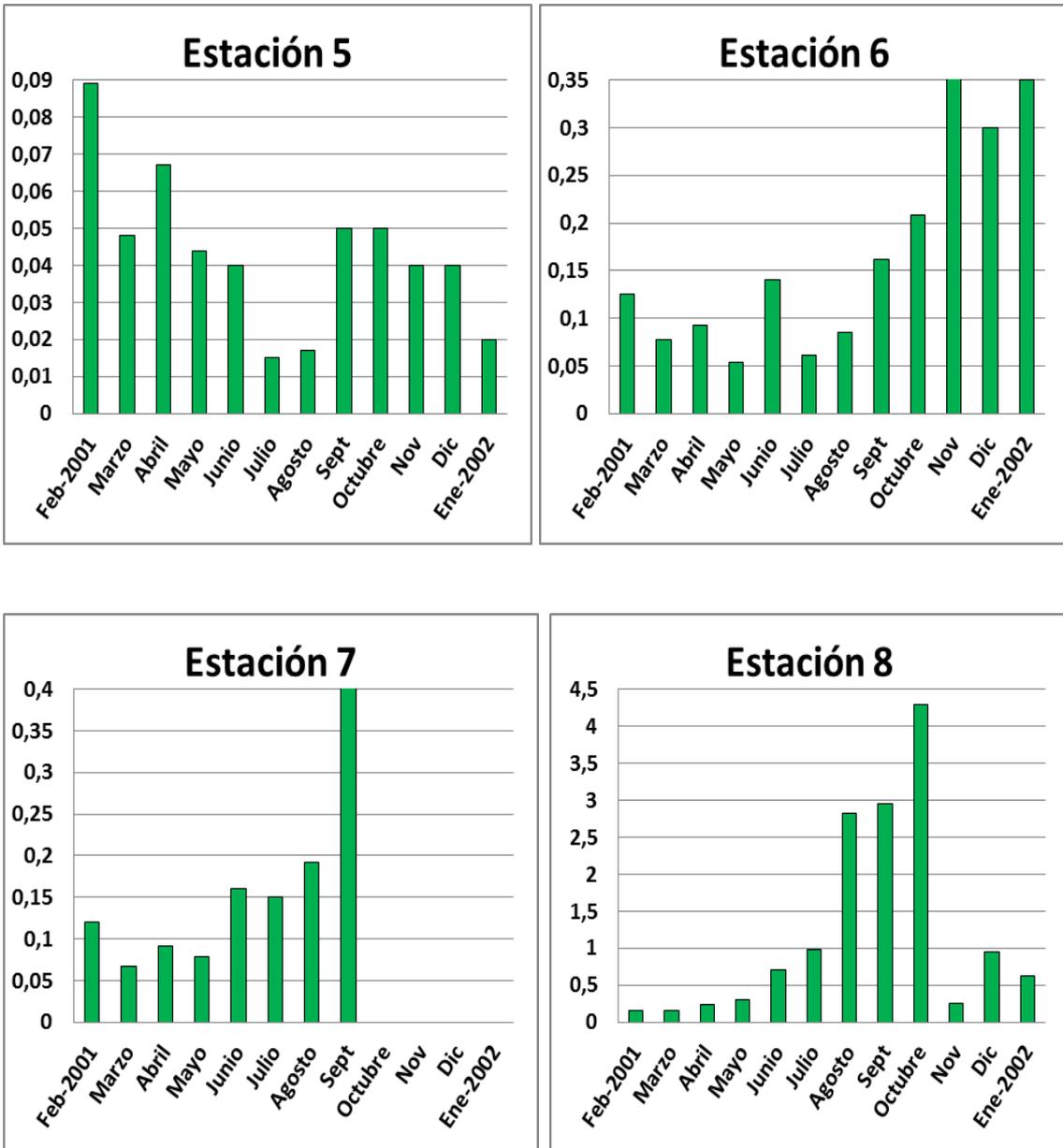


Figura 11. Cociente promedio nitrógeno:fósforo en el agua de las estaciones de muestreo del gradiente de Mendixur. La estación 8 corresponde al canal del Alegría. *Average nitrogen:phosphorus ratio in the stations of the study. See Fig. 3 for site location, station nr 8 being that of Alegría channel.*

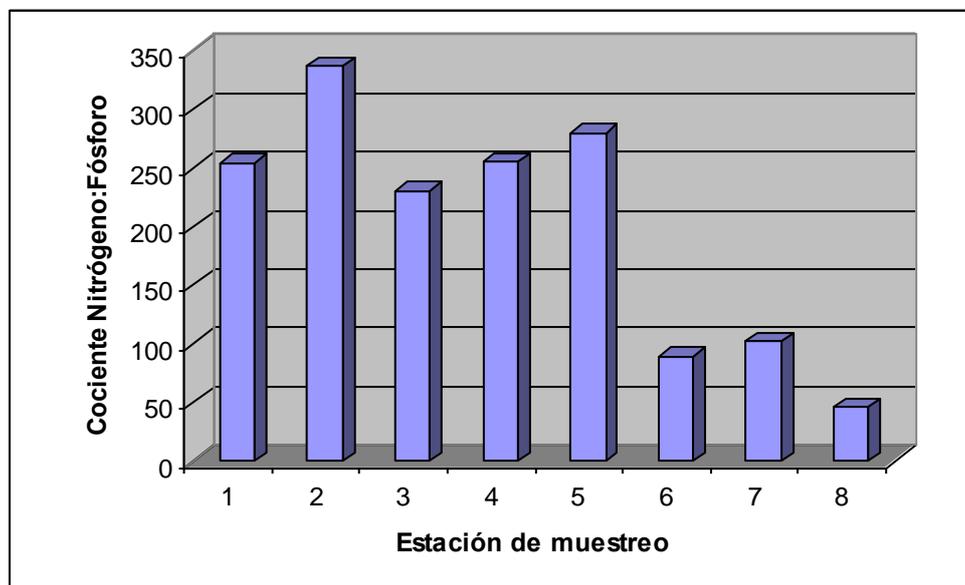


Figura 12. Diagrama de cajitas y bigotes de las concentraciones de carbono, nitrógeno y fósforo totales en el agua del gradiente de estudio, siendo E-1 la estación más septentrional del embalse y E-8 el canal del Alegría. En un diagrama de cajitas y bigotes, el pequeño cuadrado interno de cada cajita es la mediana de cada distribución, es decir, el valor que separa el conjunto de las densidades de cada año en dos partes iguales; el rectángulo recoge el cuartil 25-75% y las barritas superiores e inferiores en forma de "T" se extienden hasta abarcar el rango total de las observaciones. *Box-whisker plots of total carbon (upper panel), total nitrogen (middle panel) and total phosphorus (lower panel) concentrations in the sampling sites throughout the study. See Fig. 3 for site location. The small square is the median, the large rectangle is the 25-75% quartil and the whisker is the range for each variable in each sampling site.*

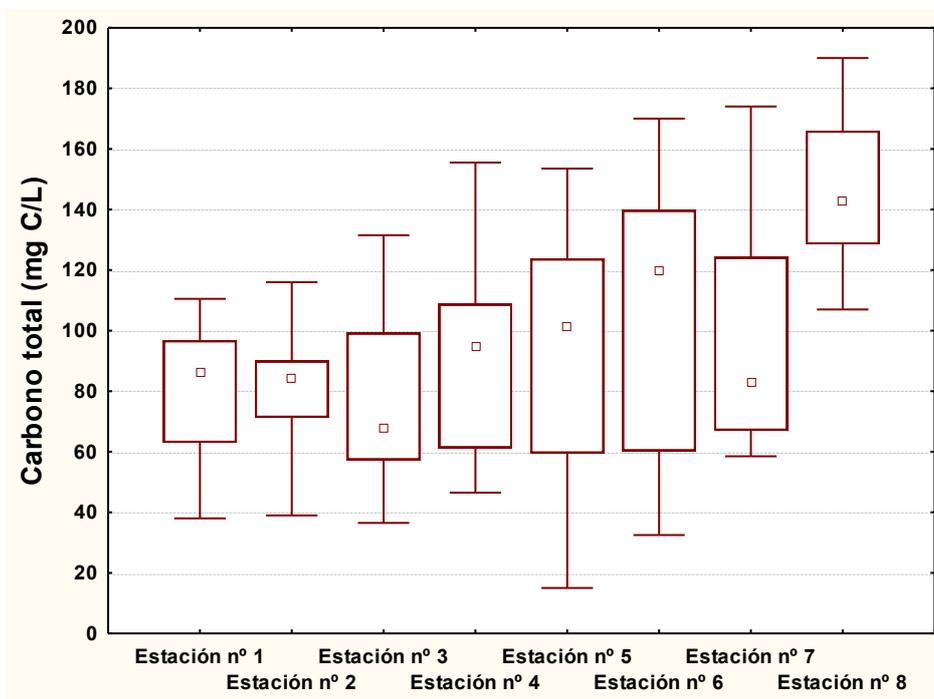


Figura 12 (continuación). *To be continued.*

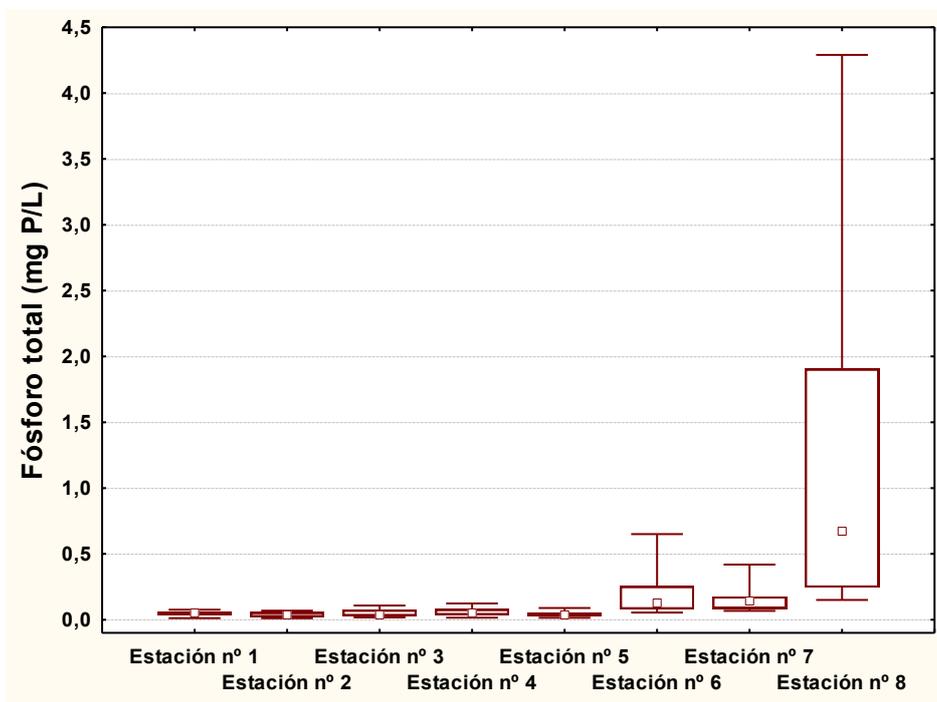
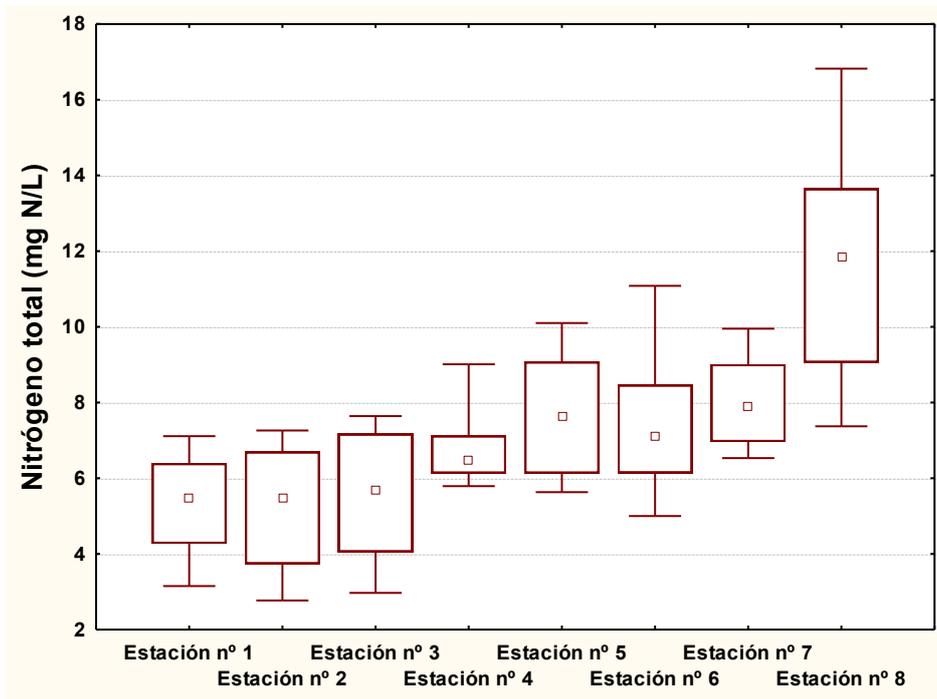
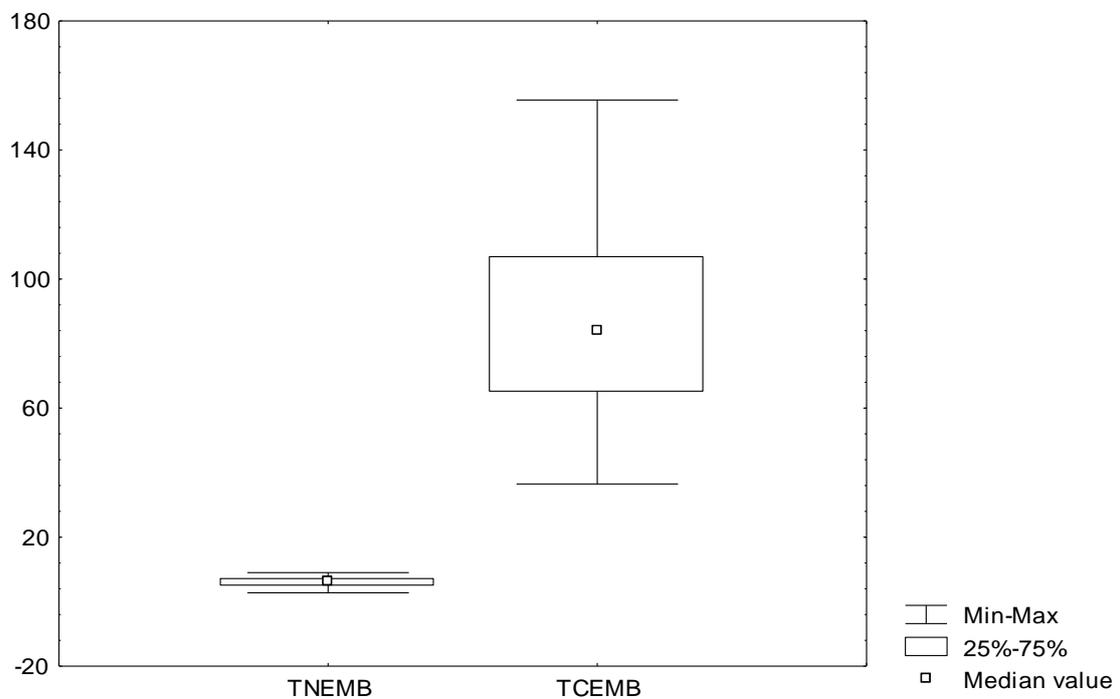
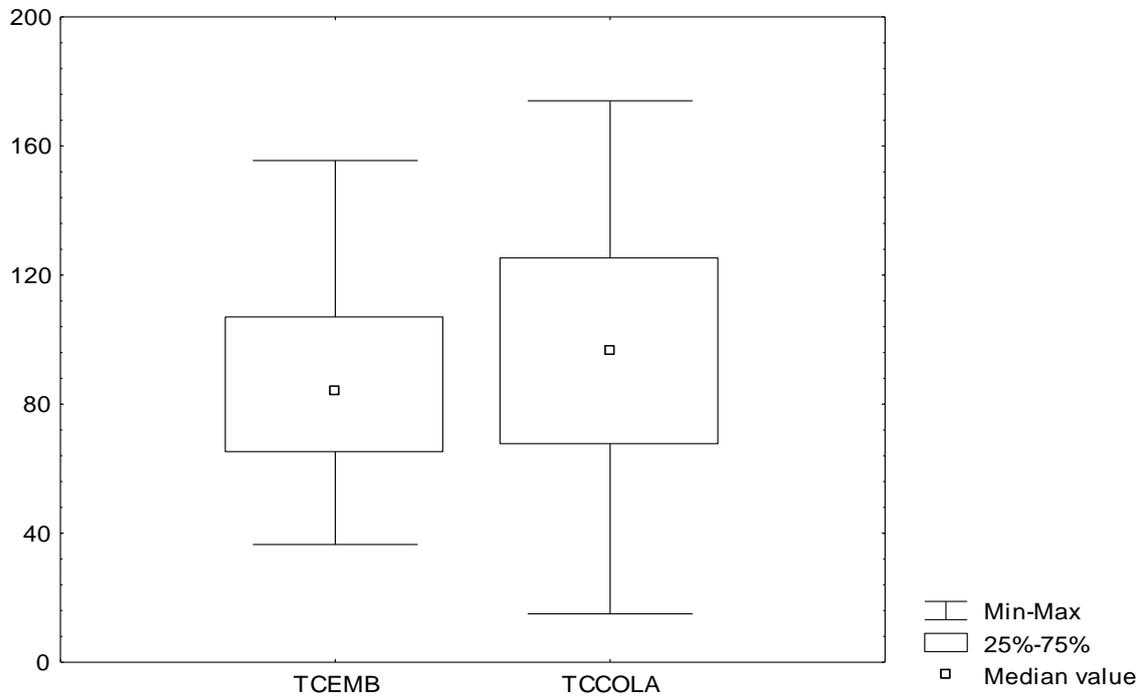


Figura 13. Diagrama de cajitas y bigotes para todos los datos de carbono, nitrógeno y fósforo en el cuerpo principal del embalse y en la cola de Mendixur. *Box-whisker plots of total carbon, total nitrogen and total phosphorus in the Mendixur bay (TCCOLA) and the main body of the Ullivarri-Ganboa reservoir (TCEMB).*



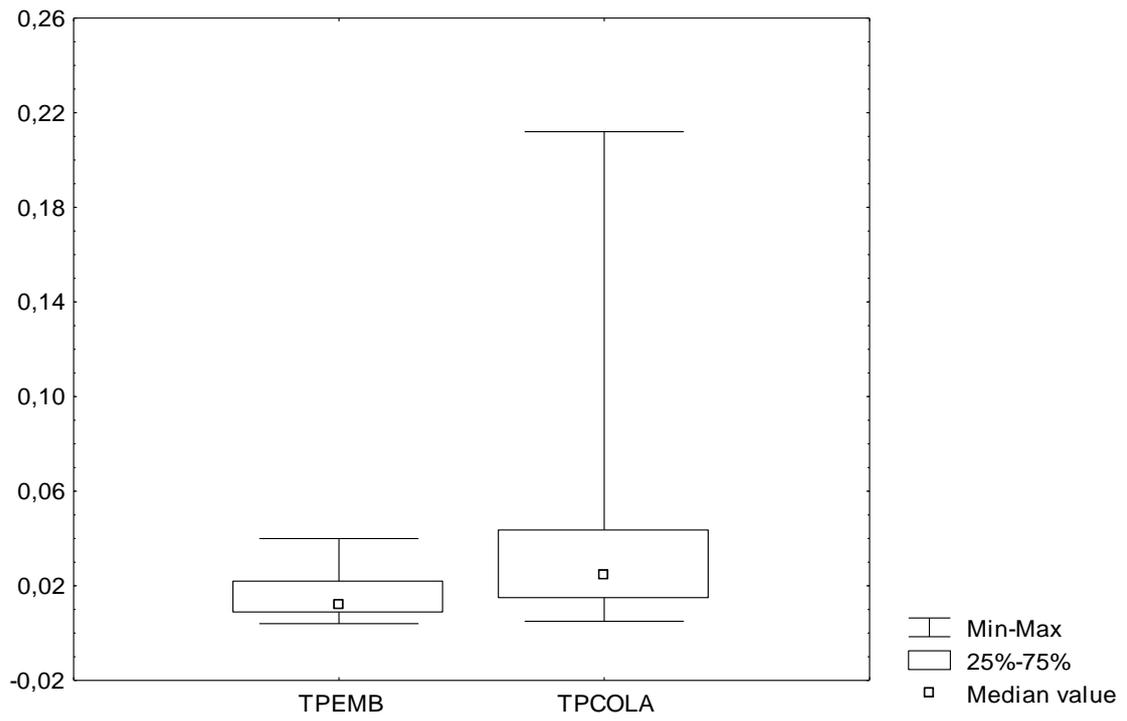


Figura 14. Tasas de sedimentación del carbono ($\text{kg C m}^{-2} \text{ día}^{-1}$) en el gradiente de Mendixur. Nótese el cambio en las escalas entre las figuras de las diferentes estaciones de muestreo. *Settling carbon rates ($\text{kg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) in the study site from March 2001 to January 2002. See Fig 3 for site locations. Notice changes in ordinate scales.*

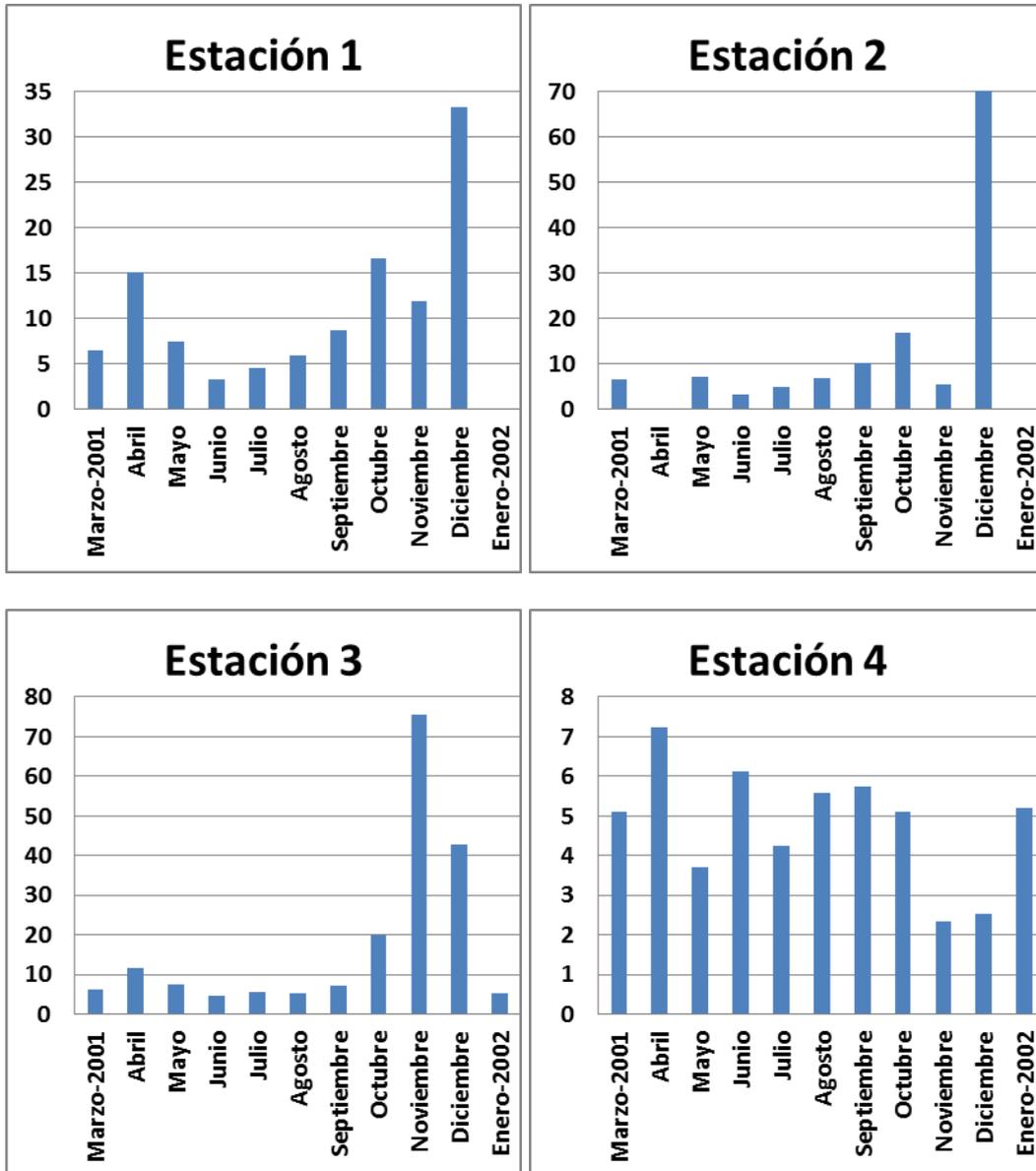


Figura 14 (continuación). *To be continued.*

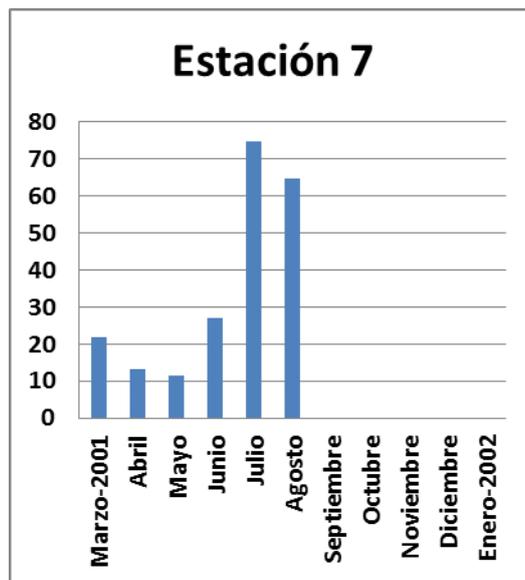
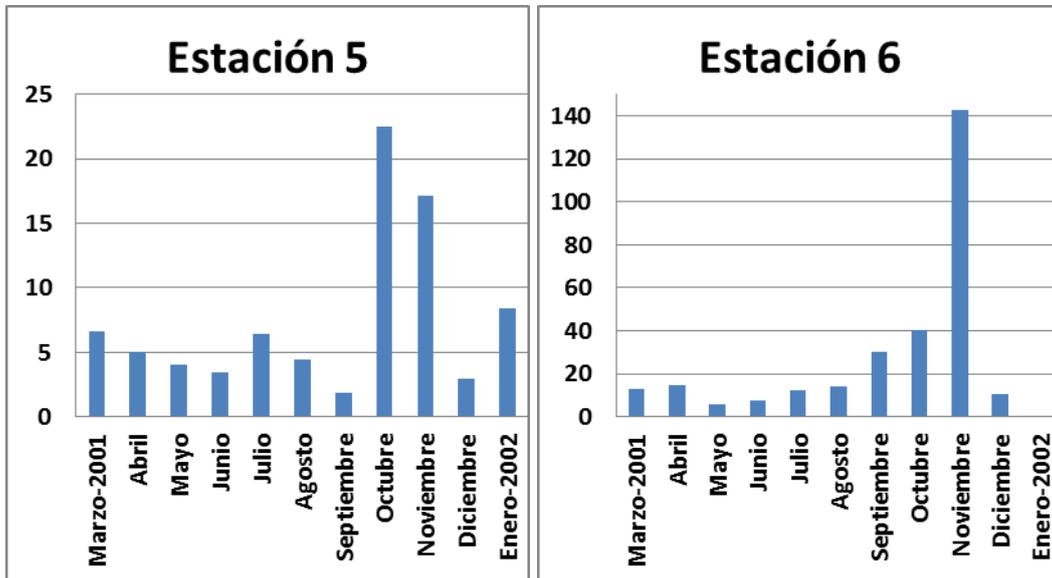


Figura 15. Tasas de sedimentación del nitrógeno ($\text{g N m}^{-2} \text{ día}^{-1}$) en el gradiente de Mendixur. *Settling nitrogen rates ($\text{g N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) in the study site from March 2001 to January 2002. See Fig 3 for site locations.*

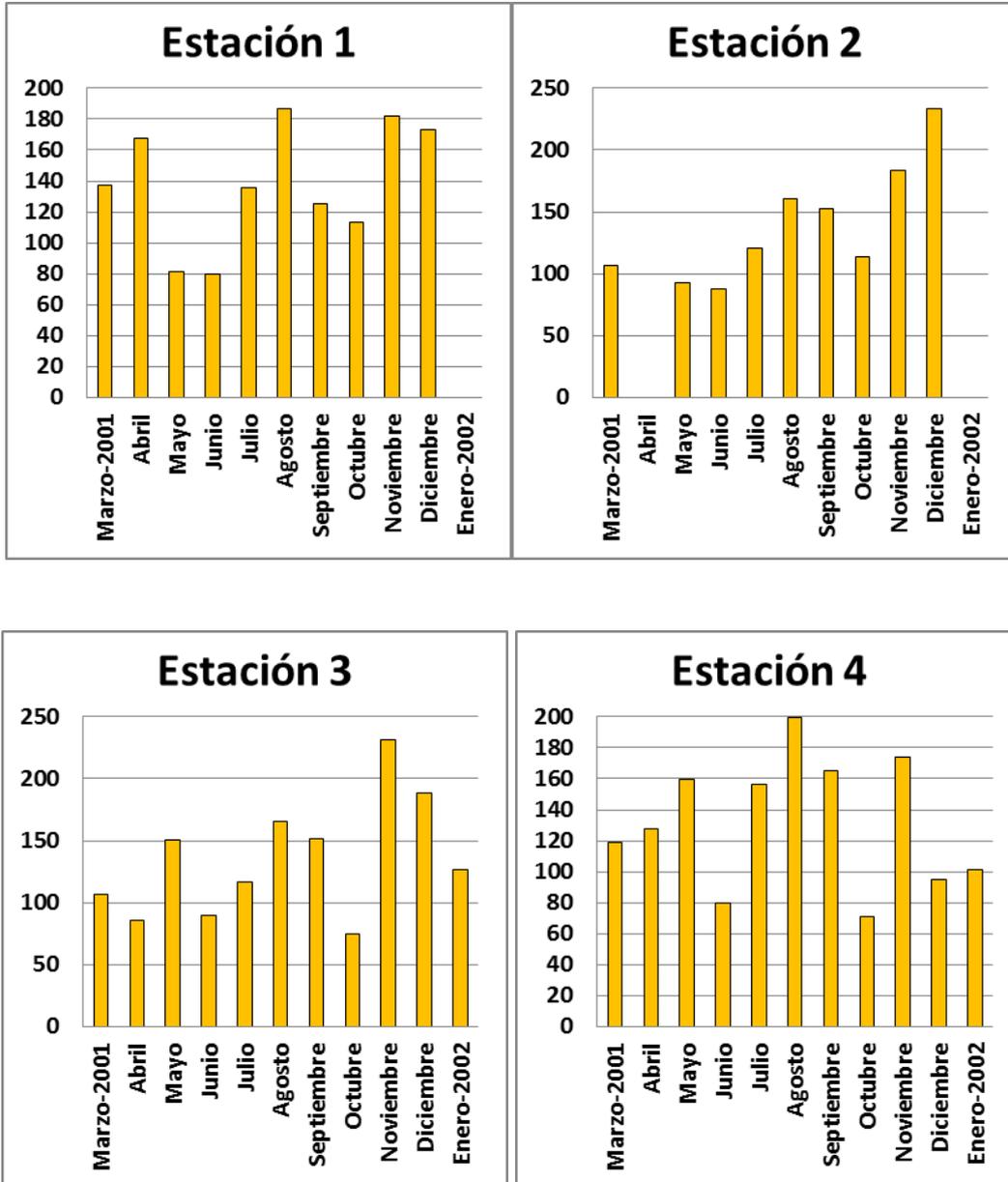


Figura 15 (continuación). *To be continued.*

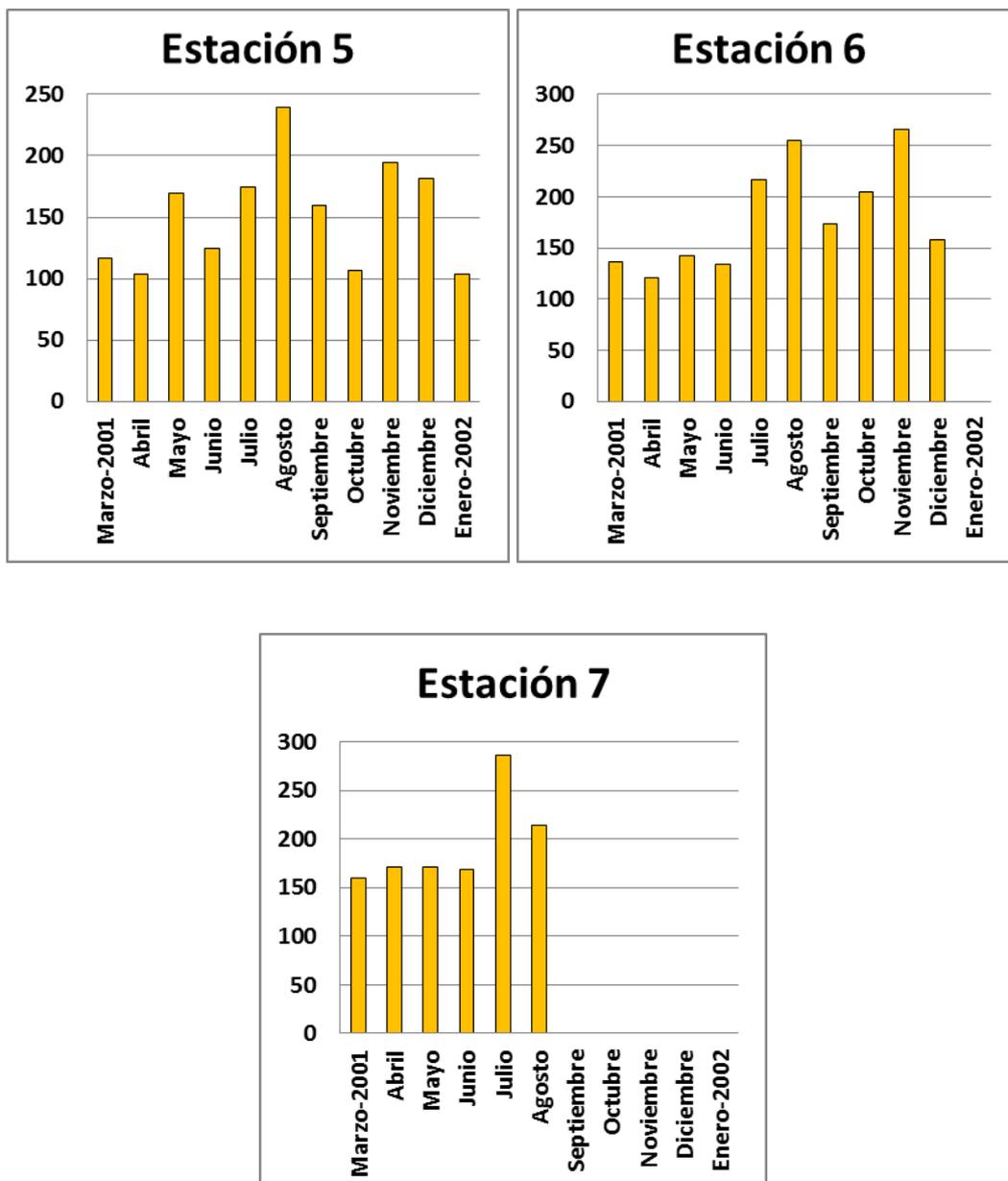


Figura 16. Tasas de sedimentación del fósforo ($\text{g P m}^{-2} \text{ día}^{-1}$) en el gradiente de Mendixur. Nótese los cambios en la escala de ordenadas entre las gráficas de las distintas estaciones. *Settling phosphorus rates ($\text{g P m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) in the study site from March 2001 to January 2002. See Fig 3 for site locations. Notice ordinate scale changes in different plots.*

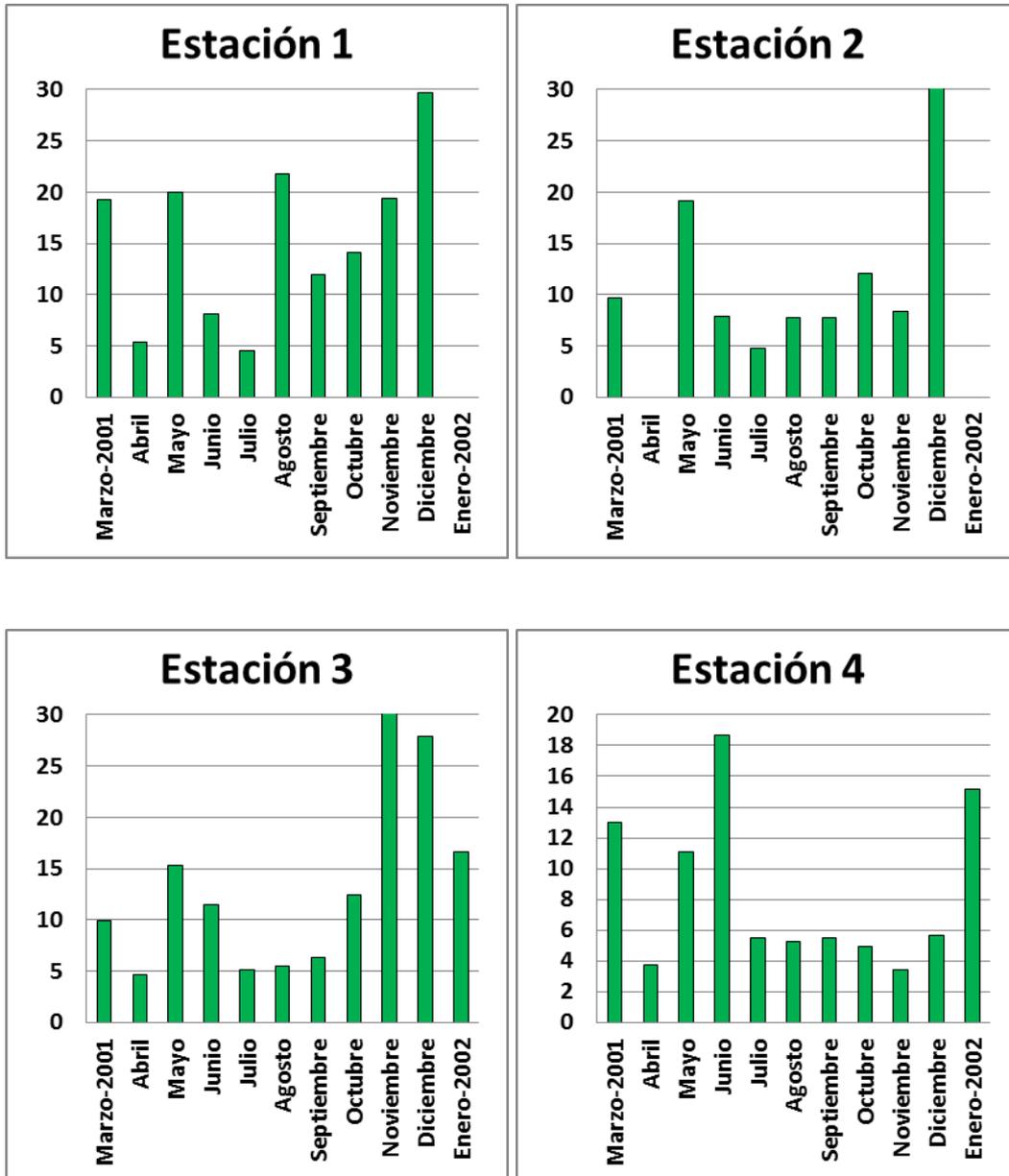


Figura 16 (continuación). *To be continued.*

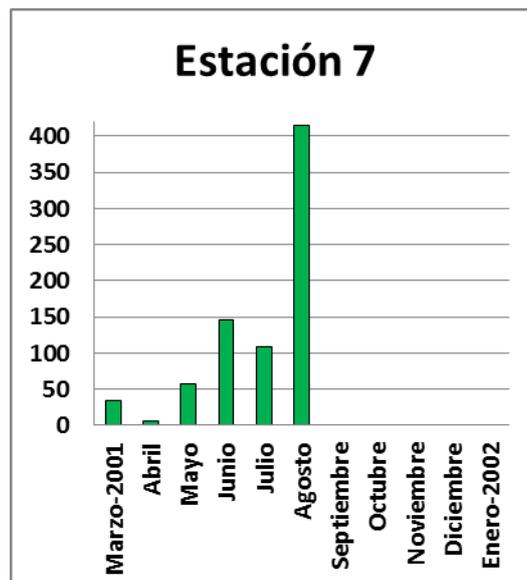
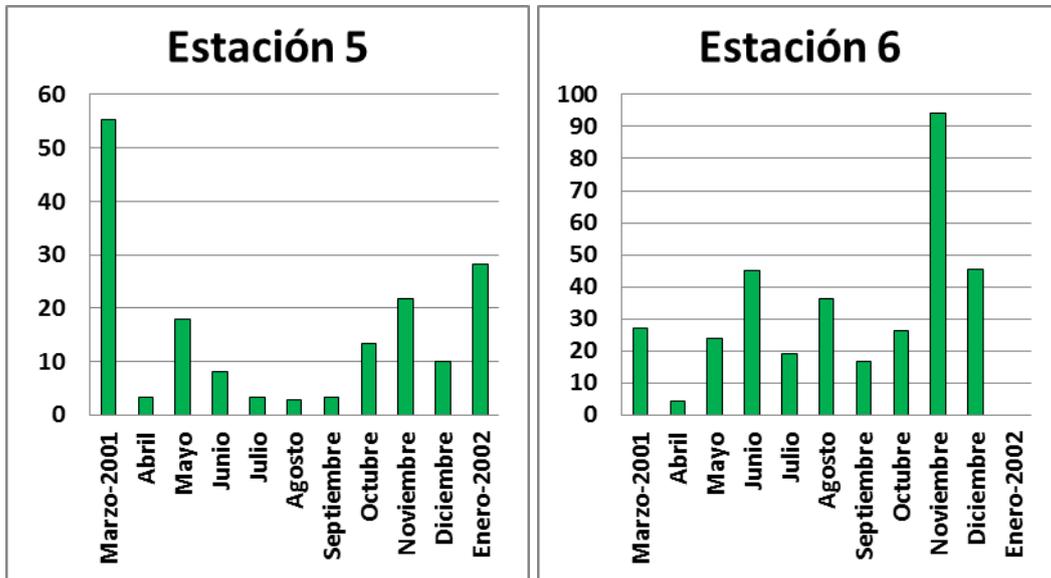


Figura 17. Diagrama de cajitas y bigotes de las tasas de sedimentación de carbono, nitrógeno y fósforo totales en el agua del gradiente de estudio, siendo E-1 la estación más septentrional del embalse y E-8 el canal del Alegría. *Box-whisker plots of carbon (upper panel), nitrogen (middle panel) and phosphorus (lower panel) settling rates. See Fig. 3 for site location.*

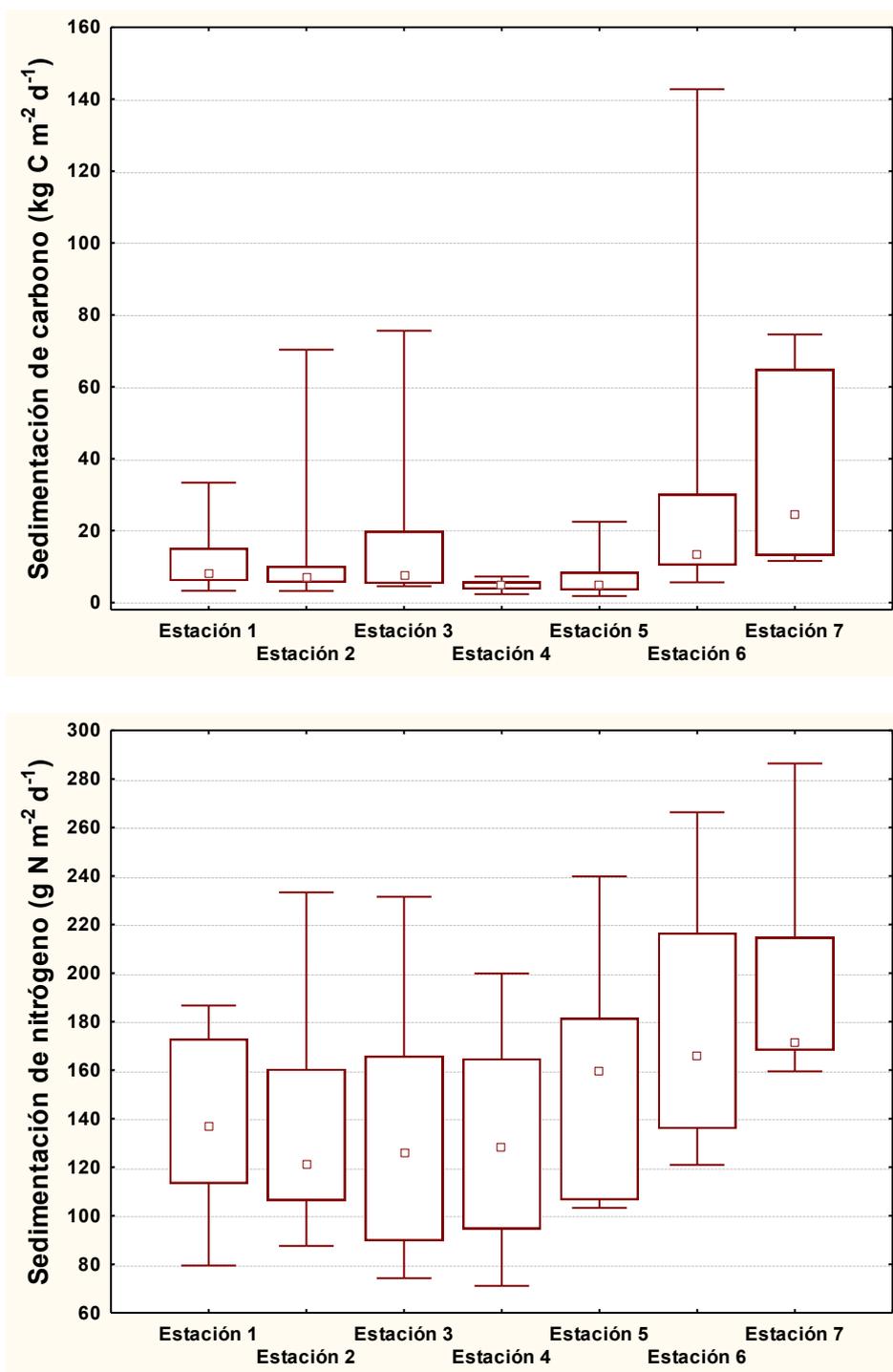


Figura 17 (continuación). *To be continued.*

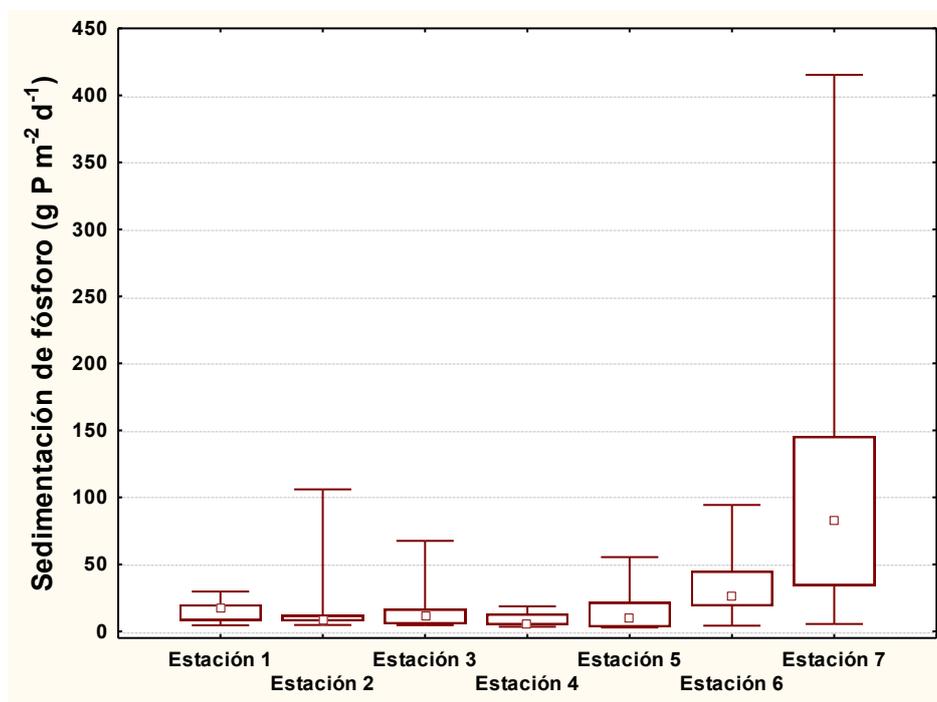
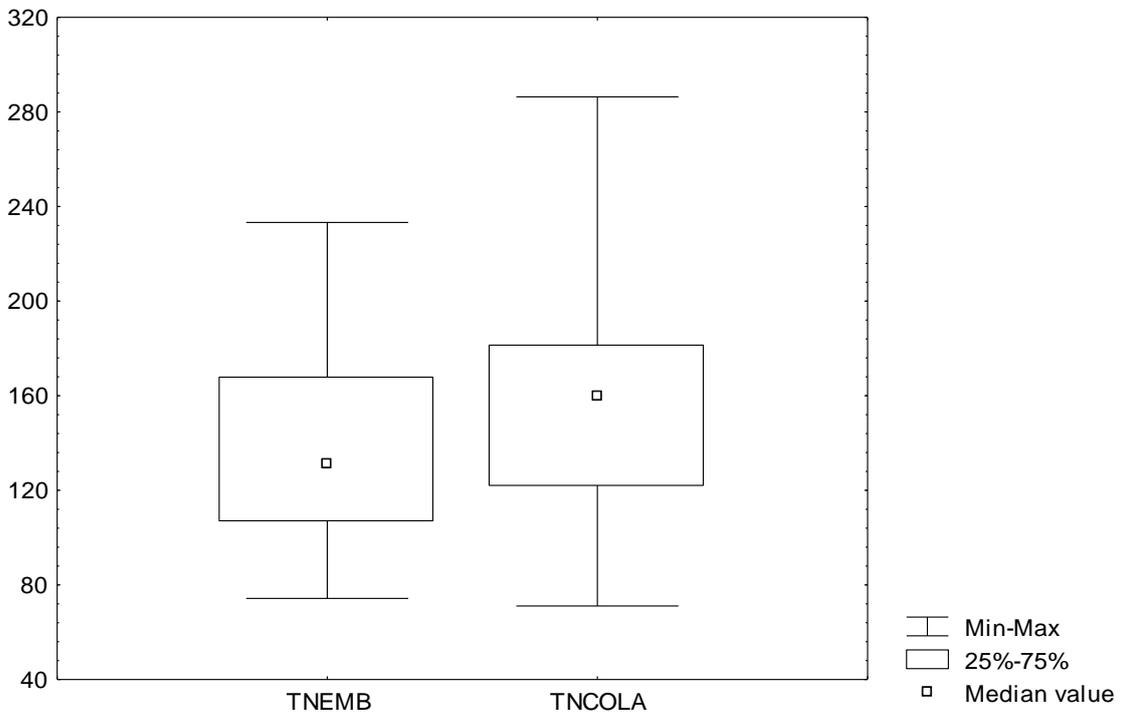
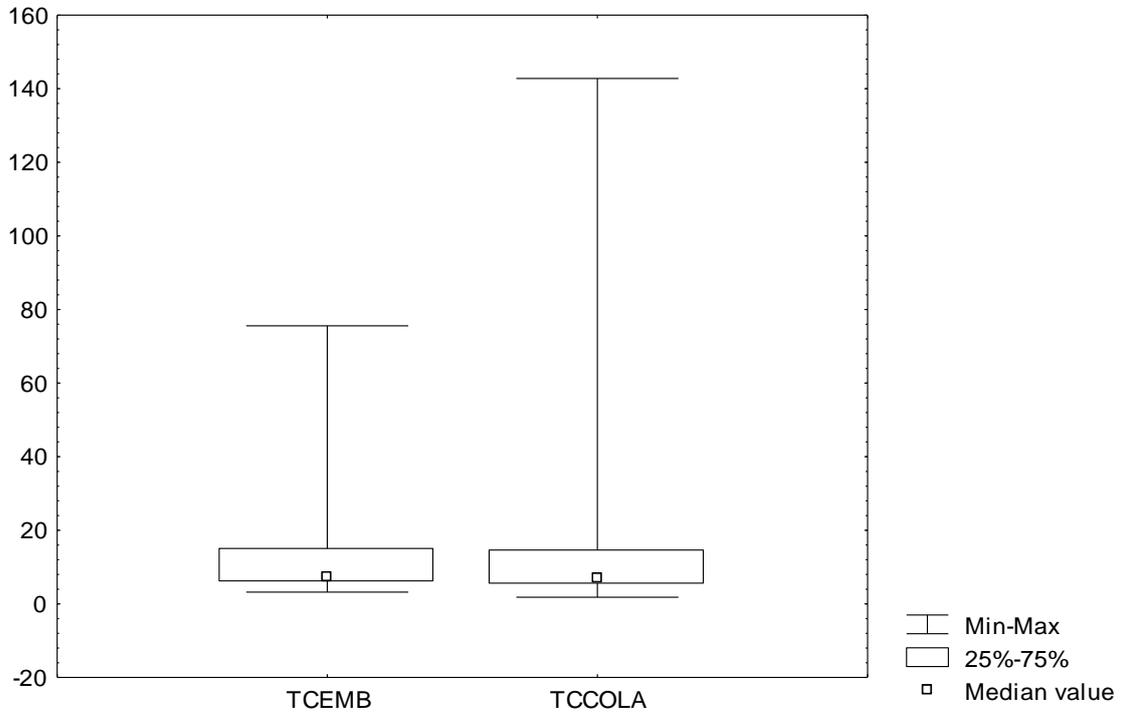


Figura 18. Diagrama de cajitas y bigotes para todos los datos de sedimentación de carbono, nitrógeno y fósforo en el cuerpo principal del embalse y en la cola de Mendixur. *Box-whisker plots of carbon, nitrogen and phosphorus sedimentation in the Mendixur bay (TCCOLA) and the main body of the Ullivarri-Ganboa reservoir (TCEMB).*



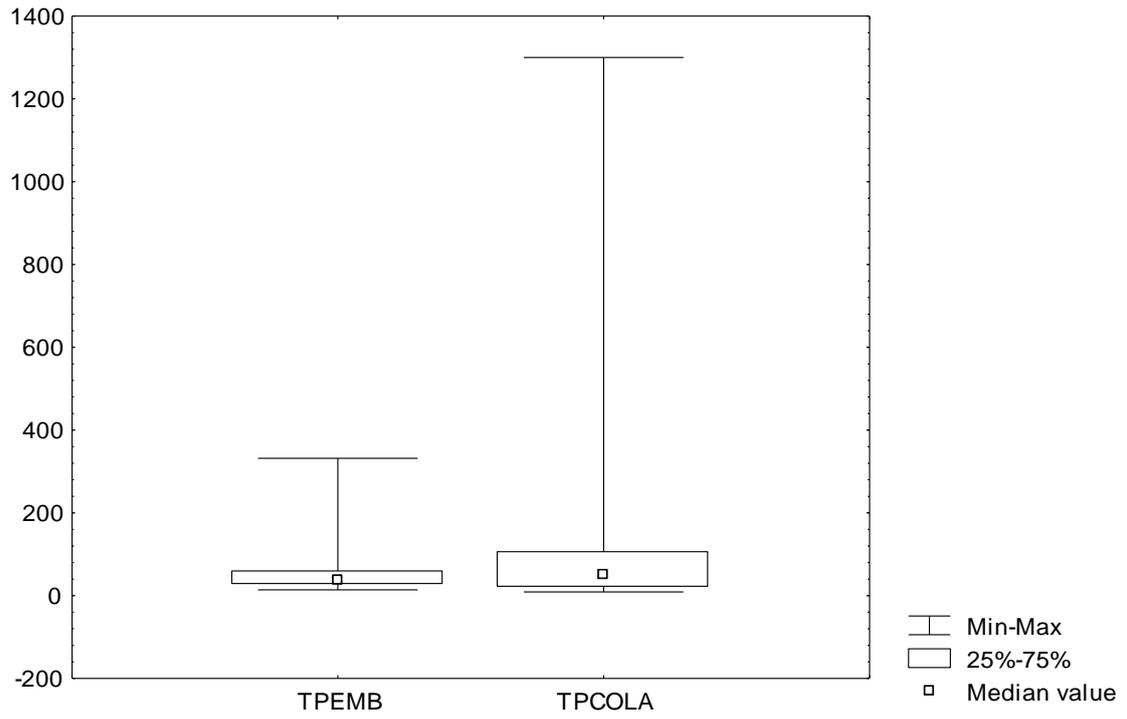


Figura 19. Carbono, nitrógeno y fósforo en los sedimentos del gradiente de Mendixur. Muestras tomadas en el verano de 2001. *Carbon, nitrogen and phosphorus in sediments of the study site. See Fig 3 for locations. Sampling was undertaken in Summer 2001.*

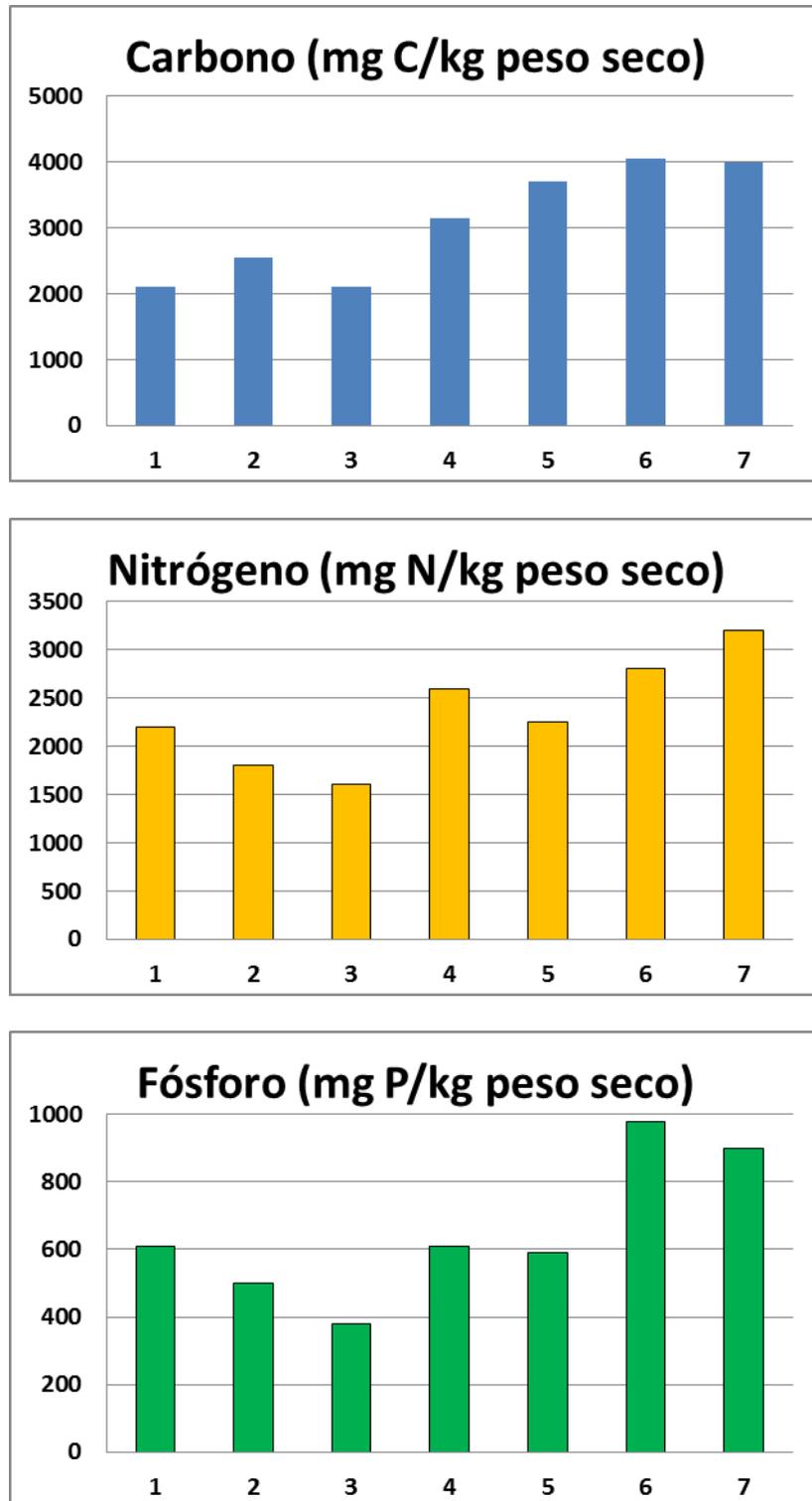
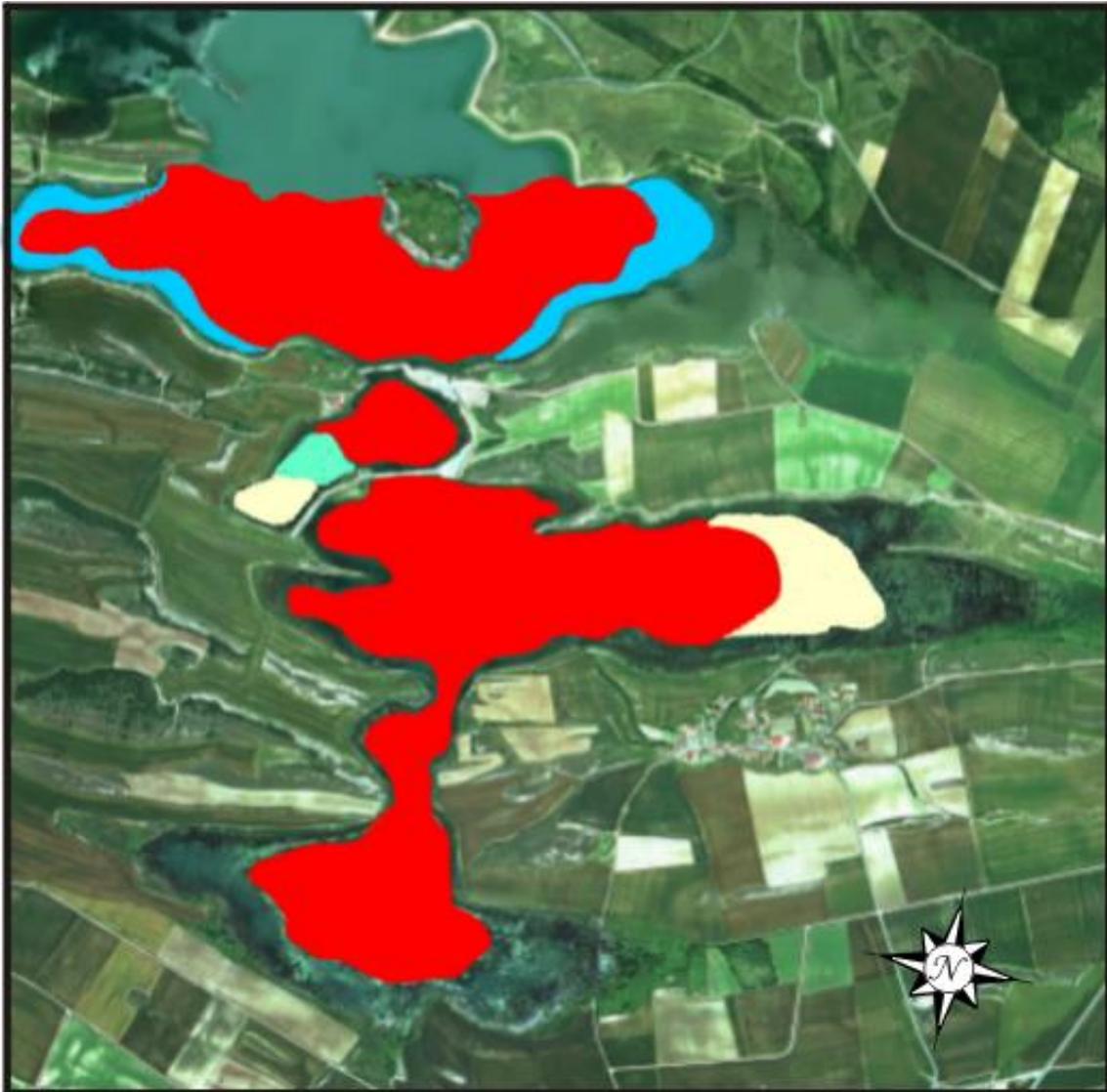


Figura 20. Cobertura de las principales especies de macrófitos en el gradiente Mendixur-Orain. *Plant cover of the main submerged plants in the study site.*



- Ceratophyllum*
- Polygonum*
- Potamogeton*
- Polygonum & Potamogeton*

Figura 21. Biomasa promedio de las principales especies de macrófitos acuáticos en Mendixur. *Average biomass (g DW m⁻²) of the main aquatic macrophytes in Mendixur bay.*

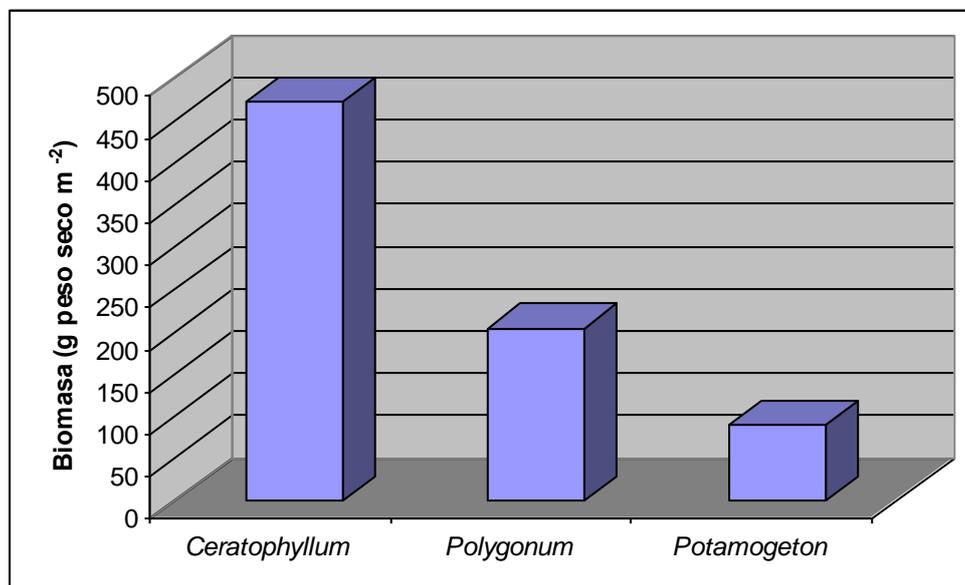


Figura 22. Carbono, nitrógeno y fósforo en los tejidos de las principales especies de macrófitos de Mendixur. Muestras tomadas en el verano de 2001. *Carbon, nitrogen and phosphorus in tissues of the main species of submerged plants living in Mendixur bay. Sampling was undertaken in Summer 2001.*

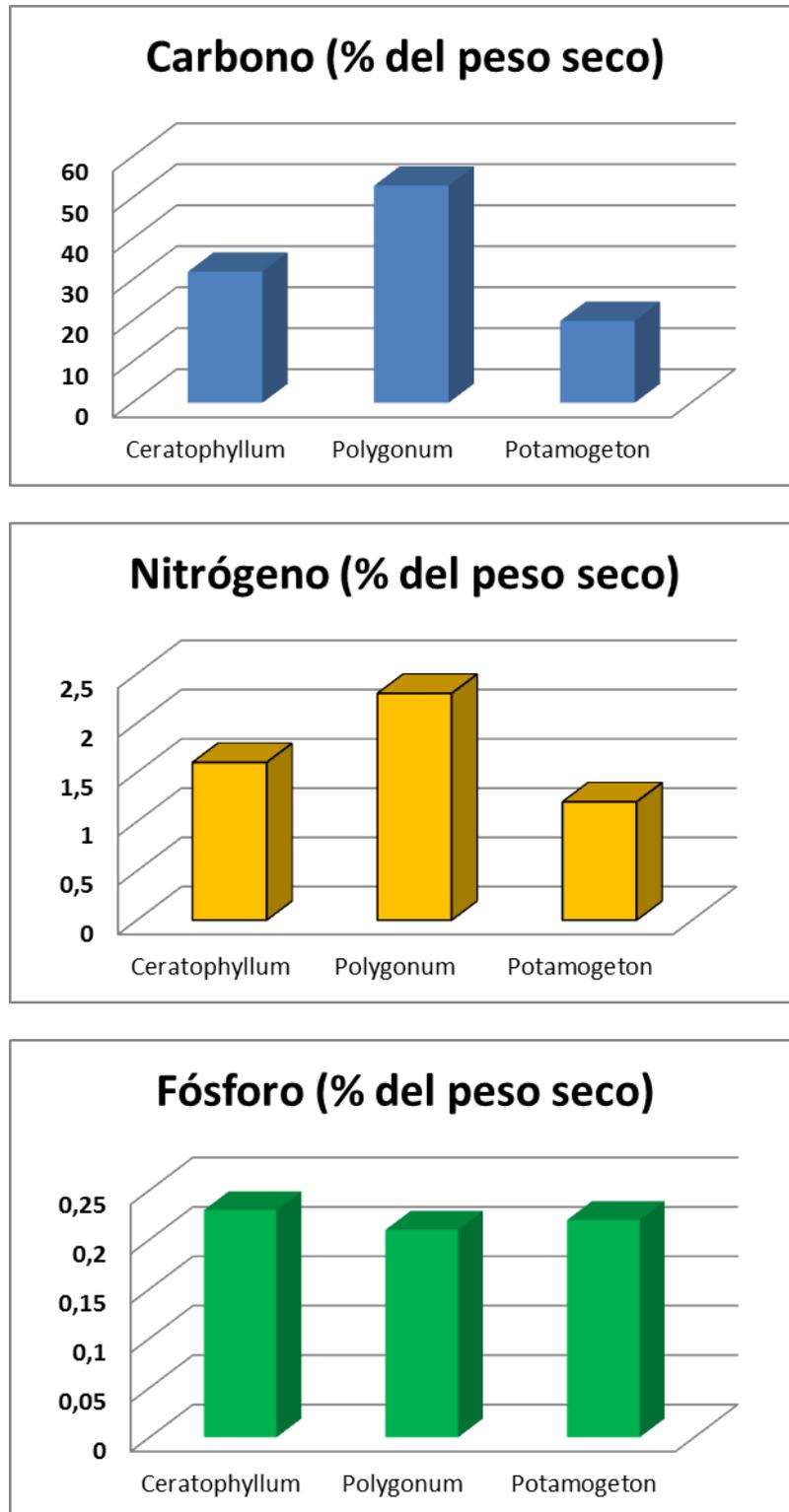


Figura 23. El nitrógeno en cada una de las zonas de estudio para el periodo febrero de 2001 a enero de 2002. Todos los datos numéricos, en toneladas año⁻¹. L.: lóbullo. *Nitrogen (tons N y⁻¹) in each area of study from February 2001 to January 2002.*

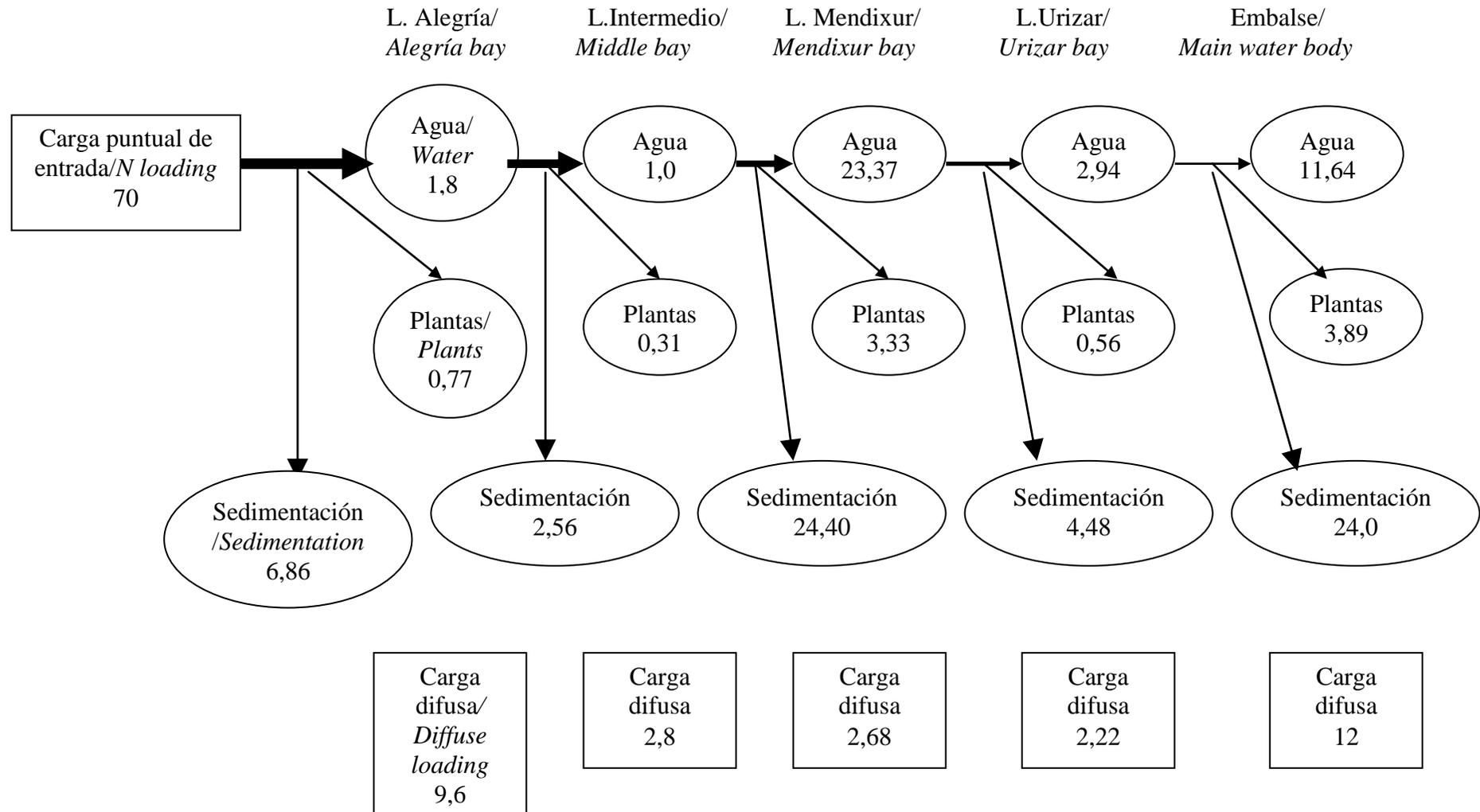
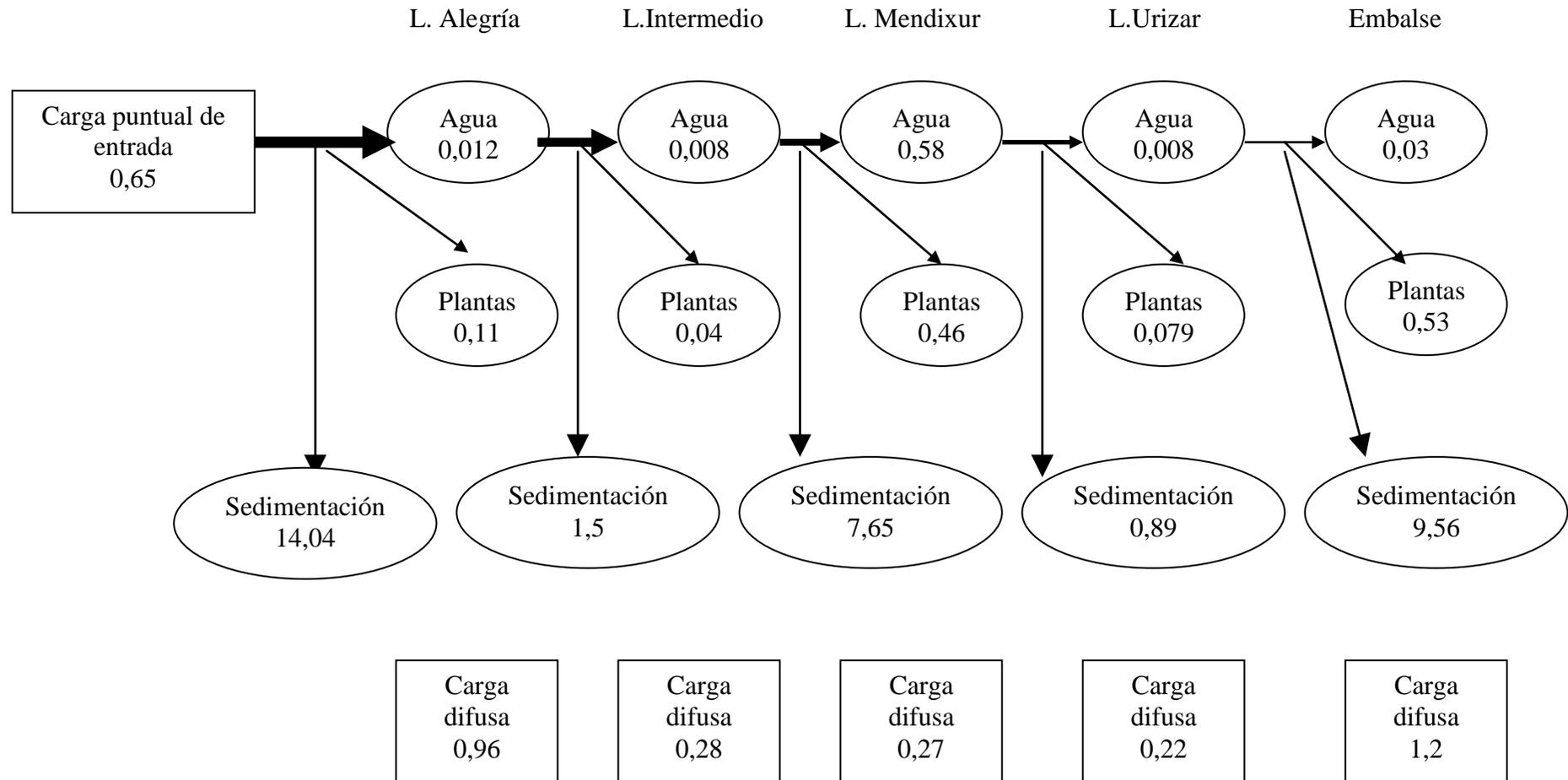


Figura 24. El fósforo en cada una de las zonas de estudio para el periodo febrero de 2001 a enero de 2002. Todos los datos numéricos, en toneladas año⁻¹. L.: lóbulo. *Phosphorus (tons P y⁻¹) in each area of study from February 2001 to January 2002.*



Anexo I: Físico-química del agua/*Physico-chemical data of water samples*

Véase la figura 3 para la localización de las estaciones de muestreo; la estación nº 1 se sitúa en el cuerpo principal del embalse y la nº 8, próxima a la entrada del río
Alegría/See Fig 3 for site location

Estación nº 1	Febrero-2001	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero-2002
<i>Hora/hour</i>	13:00	13:00	13:05	14:40	10:15	15:00	13:00	15:20	14:00	13:40	13:00	13:20
Conductividad (microS/cm)/ <i>Conductivity</i>	355	349	355	378	381	323	278	246	367	388	290	300
pH	7,44	7,63	7,59	7,38	7,66	7,99	8,12	8,62	8,05	7,88	7,6	7,82
Materia orgánica (mg/L)/ <i>Organic matter</i>	200	221	166	175	95	197	101	190	76	151	169	182
Materia mineral (mg/L)/ <i>Mineral matter</i>	60	33	55	103	136	50	46	108	189	121	130	74
Sólidos en suspensión (mg/L)/ <i>Suspended matter</i>	78	56	188	12	116	28	88	68	28	28	64	36
Nitritos (mg/L)/ <i>Nitrite</i>	0,01	0,008	0,045	0,045	0,049	0,096	0,037	0,031	0,021	0,031	0,032	0,041
Nitratos (mg/L)/ <i>Nitrate</i>	15,22	14,9	9,29	9,29	7,89	18,87	22,61	24,41	19,67	20,23	22,99	18,37
Amonio (mg/L)/ <i>Ammonia</i>	0,005	0,002	<0,005	0,104	0,01	<0,005	<0,005	0,039	0,205	0,111	0,049	0,076
Nitrógeno total (mg N/L)/ <i>Total nitrogen</i>	3,82	3,62	4,72	5,21	3,15	6,63	5,72	7,11	4,85	6,2	6,37	6,42
Ortofosfatos (mg/L)/ <i>SRP</i>	0,005	<0,005	0,01	0,005	0,006	0,014	0,004	0,005	0,028	0,014	0,017	0,02
Fósforo total (mg P/L)/ <i>Total phosphorus</i>	0,076	0,067	0,038	0,044	0,048	0,073	0,012	0,036	0,03	0,025	0,046	0,055

Estación nº 2	Febrero-2001	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero-2002
Hora	17:00	13:10	13:15	14:45	10:25	15:15	13:15	15:30	14:10	13:50	13:05	14:00
Temperatura (°C)	7,4	8,9	12,8	16,6	21,1	21,7	21,2	18,1	14,9	7,5	4	6,6
Conductividad (microS/cm)	431	388	354	340	381	320	280	241	325	332	289	270
pH	8,5	7,5	7,56	7,5	7,66	7,98	8,21	8,66	7,86	7,89	6,9	7,32
Oxígeno disuelto (mg/L)	8,4	8,2	7	7,3	10,7	11,2	10,5	11,1	13,2	13,3	>20	12,3
Materia orgánica (mg/L)	167	232	78	173	102	170	168	187	135	208	168	150
Materia mineral (mg/L)	53	63	54	84	94	89	46	98	174	44	119	105
Sólidos en suspensión (mg/L)	8	40	128	20	72	34	92	56	40	60	44	58
Nitritos (mg/L)	0,059	0,008	0,042	0,039	0,045	0,048	0,038	0,029	0,024	0,035	0,044	0,036
Nitratos (mg/L)	8,8	12,8	8,12	9,76	6,02	19,57	19,83	24,04	20,23	21,05	21,7	18,3
Amonio (mg/L)	<0,005	0,12	0	0,29	0,01	<0,005	<0,005	0,027	0,109	0,002	0,18	0,08
Nitrógeno total (mg N/L)	2,84	3,68	3,79	4,52	2,77	6,67	6,07	7,26	4,85	6,73	7,12	6,12
Ortofosfatos (mg/L)	0,01	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,009	0,007	0,003	0,02	0,012	0,017	0,024
Fósforo total (mg P/L)	0,069	0,058	0,042	0,032	0,036	0,011	0,015	0,019	0,023	0,023	0,055	0,06
Clorofila "a" (microgr/L)	9,9	11,1	6,1	7	9,6	13,2	17,2	0,3	2,2	5,8	4,6	5,4

Estación nº 3	Febrero-2001	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero-2002
Hora	14:00	13:25	13:30	15:00	11:00	15:30	13:30	15:40	14:20	14:05	13:15	12:30
Conductividad (microS/cm)	437	385	351	339	670	318	279	240	324	332	292	364
pH	8,4	7,66	7,52	7,56	7,74	8,01	8,27	8,53	7,92	7,89	7,14	6,34
Materia orgánica (mg/L)	136	233	129	92	100	174	135	223	263	73	132	154
Materia mineral (mg/L)	102	49	50	192	120	66	72	61	98	76	45	95
Sólidos en suspensión (mg/L)	16	36	156	24	56	28	86	152	76	20	28	24
Nitritos (mg/L)	0,049	0,008	0,045	0,042	0,042	0,042	0,036	0,029	0,024	0,032	0,036	0,029
Nitratos (mg/L)	9,56	15,84	15,13	15,6	8,82	20,51	22,08	24,01	20,98	21,68	23,1	29,6
Amonio (mg/L)	<0,005	0,063	<0,005	0,097	0,019	<0,005	<0,005	0,032	0,079	0,034	0,28	0,36
Nitrógeno total (mg N/L)	2,97	3,73	5,14	4,37	3,15	7,19	6,18	7,64	5,16	7,15	6,65	7,43
Ortofosfatos (mg/L)	0,01	<0,005	0,01	<0,005	<0,005	0,003	0,002	0,003	0,021	0,02	0,024	0,01
Fósforo total (mg P/L)	0,082	0,067	0,031	0,025	0,054	0,102	0,017	0,03	0,03	0,029	0,042	0,108

Estación nº 4	Febrero-2001	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero-2002
Hora	18:35	14:00	14:00	15:15	11:15	16:00	13:40	16:00	14:35	14:20	13:40	13:15
Conductividad (microS/cm)	614	568	492	414	665	268	234	271	364	418	452	549
pH	8,3	8	7,53	7,33	7,98	9,04	8,98	8,51	8,46	7,68	7,08	6,28
Materia orgánica (mg/L)	217	311	233	198	93	93	96	149	178	180	218	214
Materia mineral (mg/L)	165	87	71	115	91	94	68	136	139	103	130	212
Sólidos en suspensión (mg/L)	20	20	164	8	44	22	62	40	52	24	28	44
Nitritos (mg/L)	0,069	0,012	0,072	0,086	0,039	0,024	0,002	0,003	0,006	0,056	0,067	0,074
Nitratos (mg/L)	27,04	22,38	24,72	23,31	21,56	20,04	20,98	23,92	19,11	19,11	19,97	23,94
Amonio (mg/L)	<0,005	0,065	<0,005	0,053	0,004	<0,005	<0,005	0,04	0,006	0,07	0,15	0,29
Nitrógeno total (mg N/L)	7,6	6,04	5,9	6,32	6,65	6,22	6,23	8,33	6,62	6,62	5,79	9,01
Ortofosfatos (mg/L)	0,006	<0,005	0,006	<0,005	<0,005	0,006	0,006	0,013	0,024	0,015	0,047	0,014
Fósforo total (mg P/L)	0,087	0,038	0,073	0,036	0,048	0,016	0,017	0,037	0,044	0,061	0,115	0,124

Estación nº 5	Febrero-2001	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero-2002
Hora	17:30	18:15	17:30	16:30	12:40	17:10	14:45	17:15	16:00	15:30	14:30	14:00
Conductividad (microS/cm)	621	569	552	422	265	262	228	274	367	440	458	556
pH	8,2	8,02	7,89	7,6	8,52	9,12	9,88	8,27	8,31	7,94	7,28	6,64
Materia orgánica (mg/L)	267	307	258	237	76	88	30	150	218	174	188	230
Materia mineral (mg/L)	107	111	44	59	144	67	161	117	81	104	182	146
Sólidos en suspensión (mg/L)	16	8	96	8	44	32	24	94	64	28	188	64
Nitritos (mg/L)	0,062	0,015	0,069	0,096	0,066	0,007	0,004	0,004	0,008	0,116	0,061	0,11
Nitratos (mg/L)	32,36	22,78	20,98	20,98	21,72	21,677	19,34	24,48	21,94	30,32	25,42	24,51
Amonio (mg/L)	<0,005	0,1	<0,005	0,048	0,014	<0,005	0,039	0,008	0,008	0,09	0,24	0,24
Nitrógeno total (mg N/L)	8,56	7,59	6,21	5,63	6,22	5,68	6,05	8,2	7,65	10,1	9,59	9,62
Ortofosfatos (mg/L)	0,006	0,02	0,008	<0,005	<0,005	0,013	0,015	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04
Fósforo total (mg P/L)	0,089	0,048	0,067	0,044	0,04	0,015	0,017	0,05	0,05	0,04	0,04	0,02

Estación nº 6	Febrero-2001	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero-2002
Hora	11:30	18:00	17:15	16:15	12:25	16:50	14:30	16:55	15:35	15:00	14:15	13:40
Conductividad (microS/cm)	641	579	488	434	276	303	268	269	420	722	508	645
pH	7,8	8,06	7,83	7,5	8,4	8,69	9,07	8,57	8,2	7,73	7,48	7,37
Materia orgánica (mg/L)	257	340	244	235	105	69	65	171	136	323	295	264
Materia mineral (mg/L)	155	64	75	78	46	109	171	116	215	157	170	192
Sólidos en suspensión (mg/L)	56	112	212	36	84	76	96	64	260	152	112	84
Nitritos (mg/L)	0,096	0,015	0,116	0,13	0,096	0,012	0,005	0,004	0,13	0,561	0,1	0,2
Nitratos (mg/L)	33,5	22,15	22,85	18,67	21,72	23,54	25,65	23,64	22,7	34,3	24,9	31,12
Amonio (mg/L)	<0,005	0,146	<0,005	0,142	0,197	<0,005	<0,005	0,2	0,23	0,403	0,1	0,29
Nitrógeno total (mg N/L)	8,56	8,37	5,68	5	7,07	6,04	6,23	6,47	7,11	11,08	7,31	10,54
Ortofosfatos (mg/L)	0,01	<0,005	0,003	<0,005	0,036	0,032	0,014	0,038	0,04	0,47	0,1	0,1
Fósforo total (mg P/L)	0,125	0,077	0,092	0,054	0,14	0,061	0,085	0,162	0,208	0,65	0,3	0,35

Estación nº 7	Febrero-2001	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero-2002
Hora	17:00	17:45	17:00	16:00	12:00	16:30	14:20	16:40	seco	seco	seco	seco
Temperatura (°C)	8,7	10,9	12,9	18,5	20,6	21,4	20,7	14,9				
Conductividad (microS/cm)	646	591	488	443	324	346	279	275				
pH	8,1	7,93	7,8	7,43	8,3	8,27	9,2	8,8				
Oxígeno disuelto (mg/L)	7,1	8,4	8,8	6,8	12,3	9,7	11,2	13,4				
Materia orgánica (mg/L)	234	348	171	263	133	135	117	160				
Materia mineral (mg/L)	162	49	140	44	7	88	65	191				
Sólidos en suspensión (mg/L)	68	32	44	28	44	116	148	628				
Nitritos (mg/L)	0,099	0,02	0,156	0,17	0,089	0,022	0,013	0,006				
Nitratos (mg/L)	35,02	26,96	23,55	25,65	23,73	30,32	33,13	28,95				
Amonio (mg/L)	<0,005	0,142	<0,005	0,14	0,14	<0,005	<0,005	0,08				
Nitrógeno total (mg N/L)	9,13	8,89	6,61	6,53	7,31	7,79	9,95	7,96				
Ortofosfatos (mg/L)	0,006	<0,005	0,004	<0,005	0,036	0,114	0,104	0,126				
Fósforo total (mg P/L)	0,12	0,067	0,091	0,079	0,16	0,151	0,192	0,419				
Clorofila "a" (microgr/L)	83,2	32	12,8	9,6	8,8	121,3	141,6	0,48				

Estación nº 8	Febrero-2001	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero-2002
Hora	12:00	19:15	18:10	17:45	14:00	18:10	16:45	17:15	16:30	15:55	15:20	14:35
Conductividad (microS/cm)	723	626	530	477	463	470	545	529	598	642	626	715
pH	8,2	8,23	7,89	7,99	8,06	9,15	8,26	8,68	8,06	8,03	7,1	7,47
Materia orgánica (mg/L)	289	332	215	277	282	214	275	329	332	239	343	380
Materia mineral (mg/L)	164	109	61	63	45	118	153	198	124	186	254	158
Sólidos en suspensión (mg/L)	12	12	40	32	288	52	136	60	56	36	16	80
Nitritos (mg/L)	0,069	0,012	0,18	0,49	0,18	0,11	0,57	0,073	0,46	0,41	0,1	0,21
Nitratos (mg/L)	43,19	29,11	27,75	40,37	32,31	42,01	35,86	31,31	32,19	46,12	46,4	47,41
Amonio (mg/L)	<0,005	0,105	<0,005	0,034	0,268	<0,005	2,93	0,72	1,31	0,35	0,09	1,28
Nitrógeno total (mg N/L)	15,28	10,01	7,37	10,17	8,1	11,96	11,77	8	13,51	16,82	13,79	13,49
Ortofosfatos (mg/L)	0,123	0,07	0,14	0,13	0,07	0,34	2,22	2,59	2,72	0,14	0,87	0,44
Fósforo total (mg P/L)	0,15	0,16	0,24	0,3	0,7	0,98	2,83	2,95	4,29	0,25	0,949	0,63

ANEXO II: Tasas de sedimentación/*Settling rates*

Véase la figura 3 para la ubicación de cada estación. "Despl." significa que el viento movió las boyas de las que colgaban las trampas de sedimento, desplazándolas hacia la orilla, por lo cual se descartó el muestreo correspondiente/*See Fig 3 for sampling sites. "Despl." means discarded data because of long trap displacements due to wind*

Estación n° 1	Marzo-2001	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero-2002
Carbono total (kg C/m2/dia)/ <i>Total carbon</i>	6,46	15,12	7,49	3,26	4,61	6,01	8,67	16,58	11,85	33,36	
Materia orgánica (kg/m2/dia)/ <i>Organic matter</i>	12,93	30,24	14,98	6,52	9,22	12,01	17,34	33,17	23,69	66,73	Despl.
Materia mineral (kg/m2/dia)/ <i>Mineral matter</i>	3,25	4,62	3,18	1,11	2,30	1,82	6,21	0,86	4,36	55,11	
Amonio (g/m2/dia)/ <i>Ammonia</i>	54,61	7,58	2,97	0,33	0,14	0,71	33,10	73,22	3,34	34,96	
Nitrato (g/m2/dia)/ <i>Nitrate</i>	332,66	366,69	181,53	251,97	218,32	956,16	428,97	265,16	358,67	422,93	
Nitrógeno total (g N/m2/dia)/ <i>Total nitrogen</i>	137,38	167,80	81,32	79,51	135,80	186,65	124,83	113,25	181,97	172,93	
Ortofosfato (g/m2/dia)/ <i>SRP</i>	1,07	0,39	0,16	0,79	0,23	0,67	1,38	3,55	2,63	27,44	
Fósforo total (g P/m2/dia)/ <i>Total phosphorus</i>	19,21	5,34	20,04	8,07	4,49	21,74	12,01	14,14	19,42	29,73	

Estación nº 2	Marzo-2001	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero-2002
Carbono total (kg C/m2/dia)	6,57		7,15	3,21	4,85	6,93	10,11	16,94	5,60	70,32	
Materia orgánica (kg/m2/dia)	13,13	Despl.	14,29	6,42	9,70	13,86	20,22	33,88	11,20	140,65	Despl.
Materia mineral (kg/m2/dia)	3,96		3,04	1,10	2,42	4,07	4,29	5,14	6,25	11,61	
Amonio (g/m2/dia)	6,83		2,98	0,32	0,15	1,94	3,57	13,65	4,11	10,27	
Nitrato (g/m2/dia)	330,36		347,05	270,48	299,64	465,88	432,59	269,58	348,21	520,31	
Nitrógeno total (g N/m2/dia)	106,27		92,46	87,58	120,96	160,54	152,76	113,33	183,21	233,26	
Ortofosfato (g/m2/dia)	0,63		0,15	0,81	0,30	1,41	0,34	2,31	10,89	1,56	
Fósforo total (g P/m2/dia)	9,73		19,12	7,94	4,73	7,74	7,71	12,02	8,39	105,97	

Estación nº 3	Marzo-2001	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero-2002
Carbono total (kg C/m2/dia)	6,35	11,82	7,45	4,54	5,64	5,28	7,33	19,85	75,58	42,80	5,17
Materia orgánica (kg/m2/dia)	12,69	23,64	14,90	9,08	11,27	10,56	14,66	39,69	151,17	85,61	10,33
Materia mineral (kg/m2/dia)	3,83	4,67	2,11	0,87	2,44	2,13	3,00	5,92	13,05	13,07	5,21
Amonio (g/m2/dia)	3,27	21,33	10,95	0,33	0,00	4,32	17,76	9,58	9,52	14,93	26,81
Nitrato (g/m2/dia)	355,39	355,05	592,38	305,57	326,36	467,45	437,41	277,78	604,76	421,72	380,00
Nitrógeno total (g N/m2/dia)	106,60	85,14	150,40	89,67	116,21	165,90	151,55	74,31	231,43	188,29	126,25
Ortofosfato (g/m2/dia)	0,73	0,44	0,16	0,79	0,12	0,69	0,40	1,81	3,10	10,89	1,03
Fósforo total (g P/m2/dia)	9,86	4,62	15,36	11,42	5,18	5,52	6,28	12,38	67,55	27,89	16,68

Estación nº 4	Marzo-2001	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero-2002
Carbono total (kg C/m2/dia)	5,12	7,22	3,71	6,13	4,24	5,58	5,74	5,12	2,34	2,53	5,19
Materia orgánica (kg/m2/dia)	10,24	14,44	7,41	12,26	8,48	11,15	11,49	10,24	4,68	5,06	10,38
Materia mineral (kg/m2/dia)	3,20	4,50	2,45	1,74	2,18	4,71	6,99	1,54	2,55	2,64	2,47
Amonio (g/m2/dia)	7,73	19,43	18,11	3,23	10,88	0,70	9,10	5,14	12,32	19,53	20,03
Nitrato (g/m2/dia)	340,05	399,62	546,15	306,29	334,28	635,30	435,37	267,64	401,25	380,36	398,98
Nitrógeno total (g N/m2/dia)	118,91	128,00	159,52	79,84	156,18	199,88	164,80	71,11	173,57	94,53	100,88
Ortofosfato (g/m2/dia)	1,41	0,95	3,59	0,81	2,53	0,70	0,45	1,94	0,89	1,56	0,29
Fósforo total (g P/m2/dia)	13,02	3,77	11,07	18,71	5,48	5,27	5,47	4,93	3,42	5,63	15,18

Estación nº 5	Marzo-2001	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero-2002
Carbono total (kg C/m2/dia)	6,63	5,06	4,04	3,44	6,42	4,47	1,82	22,47	17,18	2,96	8,43
Materia orgánica (kg/m2/dia)	13,27	10,11	8,08	6,89	12,83	8,95	3,64	44,94	34,36	5,92	16,87
Materia mineral (kg/m2/dia)	5,24	4,29	2,63	0,61	3,46	5,50	2,77	2,13	6,36	3,88	2,31
Amonio (g/m2/dia)	6,46	28,72	55,32	1,64	29,51	32,14	0,53	6,94	10,53	3,51	19,05
Nitrato (g/m2/dia)	347,96	375,93	375,97	305,57	331,15	750,18	401,11	302,08	758,72	571,19	367,72
Nitrógeno total (g N/m2/dia)	116,33	103,28	170,00	124,26	174,81	239,82	160,01	106,53	194,13	181,44	103,97
Ortofosfato (g/m2/dia)	4,08	2,16	0,16	0,82	0,75	0,71	0,37	1,39	0,73	0,35	0,40
Fósforo total (g P/m2/dia)	55,42	3,39	17,93	8,07	3,19	2,91	3,25	13,36	21,70	9,93	28,31

Estación nº 6	Marzo-2001	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero-2002
Carbono total (kg C/m2/dia)	12,9	14,57	5,62	7,72	12,29	14,07	30,15	40,22	142,79	10,37	
Materia orgánica (kg/m2/dia)	25,79	29,14	11,25	15,44	24,59	28,13	60,29	80,44	285,58	20,74	Despl.
Materia mineral (kg/m2/dia)	6,32	5,08	2,05	4,74	4,13	10,18	13,31	29,26	47,26	6,15	
Amonio (g/m2/dia)	6,48	14,60	25,19	16,56	10,70	102,34	5,28	36,67	9,72	11,19	
Nitrato (g/m2/dia)	400,04	372,80	505,90	315,08	336,07	745,75	458,45	395,28	889,09	503,11	
Nitrógeno total (g N/m2/dia)	135,85	121,00	142,32	133,77	216,57	255,11	173,62	204,17	266,27	157,81	
Ortofosfato (g/m2/dia)	0,70	1,40	10,51	2,21	0,73	0,50	0,86	1,53	1,19	2,30	
Fósforo total (g P/m2/dia)	27,01	4,22	23,99	45,04	18,93	36,12	16,80	26,40	94,33	45,43	

Estación nº 7	Marzo-2001	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero-2002
Carbono total (kg C/m2/dia)	21,8	13,11	11,59	26,95	74,58	64,84	Zona sin agua/No water site	Zona sin agua	Zona sin agua	Zona sin agua	Zona sin agua
Materia orgánica (kg/m2/dia)	43,59	26,23	23,18	53,90	149,15	129,69					
Materia mineral (kg/m2/dia)	7,72	4,51	3,54	9,88	17,16	125,00					
Amonio (g/m2/dia)	8,58	67,74	205,56	57,29	54,23	263,84					
Nitrato (g/m2/dia)	432,77	451,35	388,93	411,02	1207,84	2054,02					
Nitrógeno total (g N/m2/dia)	159,49	171,29	171,52	168,14	286,36	214,76					
Ortofosfato (g/m2/dia)	1,93	2,13	2,34	2,64	1,25	3,57					
Fósforo total (g P/m2/dia)	34,12	5,50	57,41	145,56	107,92	415,34					

