



MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE

CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL EBRO
COMISARÍA DE AGUAS

ASISTENCIA TÉCNICA PARA LA ACTUALIZACIÓN LIMNOLÓGICA DE EMBALSES

EMBALSE DE RIBARROJA

2002

URS

El embalse de Ribarroja (figura 7.-1) recoge las aportaciones del embalse de Mequinenza, y del río Segre; y también las del río Matarraña en su tramo final. Tiene una capacidad de 210 hm³ (en la cota 70). El muestreo se realizó el 28 de julio del 2002 y el embalse se encontró prácticamente lleno (en la cota 69,74; 202,88 hm³). Este embalse presenta una fluctuación de nivel escasa (figura 7.-2). Los resultados de los análisis realizados se presentan en las tablas 7.-1 (datos fisico-químicos del agua y sedimento) y tabla 7.-2 (fitoplancton) y en la figura 7.-3 (perfiles).

7.1. RESULTADOS DEL DIAGNÓSTICO LIMNOLÓGICO DE 2002

7.1.1. Agua

7.1.1.1 Temperatura

El embalse está estratificado si bien el gradiente térmico es débil (figura 7.-3). La diferencia de temperatura del agua entre la superficie y el fondo es de 3-4 °C (figura 7.-3). En la presa existe una termoclina poco marcada entre 18 y 21 m de profundidad. Las aguas aportadas al embalse presentan unas temperaturas de 19,5 °C (turbinados de Mequinenza) y 25 °C (Segre).

7.1.1.2 Transparencia

La transparencia del agua es baja. La profundidad de visión del disco de Secchi y la turbidez presentan los siguientes valores:

	RJ-1 Presa	RJ-2 Medio 1	RJ-3 Medio 2	RJ-4 Cola
Prof. Disco Secchi (m)	1,54	2,0	2,0	0,74
Turbidez (NTU) sup.	0,7	0,7	1-0,7	8,8
Turbidez (NTU) fondo	1,6-2,3	5,7-6,4	12-17	14-18

La profundidad del Disco de Secchi es de 1,5 a 2 m en todo el embalse, excepto en la cola (aguas abajo de la desembocadura del Segre) en la que es de 0,74 m. La escasa transparencia se debe principalmente al fitoplancton (la concentración de clorofila es muy elevada en la presa, 32 mg/m³). Los perfiles de la turbidez del agua muestran incrementos en la cola y en las aguas profundas (figura 7.-3).

7.1.1.3 Mineralización

La mineralización del agua es elevada. En el embalse la conductividad del agua es ligeramente superior a 1.000 µS/cm e uniforme en el perfil, excepto en la cola (figura 7.-3). Esto es porque en la cola se encuentran las aguas más frías y más mineralizadas de Mequinenza en el fondo (1.200-1.300 µS/cm) y las cálidas y menos mineralizadas del Segre en la superficie (>900 µS/cm).

La concentración de calcio (100-141 mg/L) y la alcalinidad (2,8-3,6 mg/L) son elevadas en el embalse y en los tributarios. El pH varía entre 8,4 (aguas más superficiales) y 7,5 (fondo).

7.1.1.4 Nutrientes

Las concentraciones de nutrientes en el embalse y en los tributarios son elevadas, y están de acuerdo con los rangos previos (Base de datos de la CHE, 1996):

	Embalse	Rango B.D. 1996	Tributario	Rango B.D. 1996
Nitrato (mg/L)	4,6-5,2	4,71	4,8	0,25 - 6
Nitrito (mg/L)	0,014-0,23	-	0,077	-
Amonio (mg/L)	0,1-0,42	0,05 - 0,2	0,4	0,01 - 4,7
Fósforo total (mg/L)	0,08-0,13	-	0,15	-
P-PO ₄ (mg/L)	0,02-0,03	0,032	0,15	<0,01 - 0,48

Las concentraciones de nitrato son elevadas, alrededor de 5 mg/L en el embalse. El río Segre también aporta nitrato al embalse (11 mg/L en el presente muestreo). El fósforo

total presenta concentraciones similares en ambos tributarios (0,15 mg/L en los turbinados de Mequinenza y 0,13 mg/L en el Segre).

7.1.1.5 Oxígeno disuelto y metales

El embalse está, en general, bien oxigenado; en la presa la concentración de oxígeno disminuye en el hipolimnion y se detecta anoxia (< 1 mg/L) en los últimos 5 m. Sin embargo, no se detectan concentraciones altas de NH_4 ni SH_2 . En la cola hay aguas poco oxigenadas en el fondo (a pesar de la escasa profundidad, 10 m), posiblemente procedentes de los turbinados de Mequinenza; estas aguas frías y con poco oxígeno circulan por el fondo del embalse sin llegar a mezclarse totalmente en el tramo. Además el río Segre aporta aguas turbias con una carga de sólidos en suspensión alta (tabla 7.-1) que contribuyen a mantener la oxigenación del agua de fondo baja.

Las concentraciones de hierro y manganeso son moderadas; el manganeso es relativamente elevado en el agua de fondo (0,22 mg/L) y superior el límite de calidad de las aguas prepotables tipo A-2 (0,1 mg/L).

7.1.2. Sedimento

En el muestreo la zona adyacente a la presa se encontró recubierta de ramas y restos vegetales, por lo que tras repetidos intentos fue imposible extraer muestra de los lodos.

7.1.3. Organismos

7.1.3.1 Fitoplancton y clorofila

La concentración de clorofila ($31,9$ mg/m³) es elevada y propia de aguas hipereutróficas. La medida efectuada coincide con una proliferación del fitoplancton (17.862 cél./ml) y en concreto de algas criptofíceas (*Rhodomonas minuta* y *Cryptomonas ovata*) (tabla 7.-2). El macrofitoplancton es muy escaso si bien se detecta la cianofícea *Microcystis* (causante potencial de proliferaciones densas que pueden provocar la pérdida de calidad del agua y malos olores).

7.1.3.2 Zoobentos

No se pudo obtener muestra del sedimento por encontrarse el fondo recubierto de ramas y restos vegetales.

7.1.4. Estado trófico

El estado trófico del embalse se define en función de los indicadores de OCDE y del índice del estado trófico de Carlson (TSI).

OCDE:

De acuerdo con los indicadores de la OCDE, el embalse es hipereutrófico para las condiciones del verano del 2002.

Categoría trófica	Fósforo total mg/L (media anual)	Clorofila, mg/L (media anual)	Clorofila, mg/L (máximo anual)	D. de Secchi, m (media anual)	D. de Secchi, m (mínimo anual)
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
Ribarroja (2002)	106¹	32²	-	1,5²	-

¹ Valor medio superficie y fondo

² Valores puntuales de agosto-2.002

ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO:

El índice de estado trófico de Carlson (TSI) estimado a partir de la profundidad del Disco de Secchi, la concentración de clorofila y la del fósforo total (media de la superficie y el fondo) para el dato puntual del muestreo corresponde a eutrofia (tabla 1 en el Apéndice).

Parámetros	Funciones del estado trófico por parámetros	Valor de los parámetros	Valor TSI
DS (m)	$TSI (DS) = 60 - 14,41 \cdot \ln DS$	1,5	54
Clorofila ($\mu g/L$)	$TSI (Clor.) = 9,81 \cdot \ln Clor. + 30,6$	31,9	65
P tot ($\mu g/L$)	$TSI (P tot) = 14,42 \cdot \ln P tot. + 4,15$	106	71
-	$Media TSI = (TSI (DS) + TSI (Clor.) + TSI (P tot))/3$	-	63

7.1.5. Diagnóstico del emisario

No existe tramo fluvial bajo la presa de Ribarroja ya que aguas abajo se encuentra la cola del embalse de Flix (fotos 3 y 4). En el tramo abundan los macrófitos sumergidos y se encuentra el mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*) a diferencia de 1996.

7.2. COMPARACIÓN DE RESULTADOS Y ANÁLISIS DE TENDENCIAS

7.2.1. Estado trófico

La comparación de los parámetros indicadores del estado trófico para el embalse de Ribarroja en los periodos estivales de 1996 y 2002 se muestra en el siguiente cuadro:

		1996	2002
Cota media verano	m	-	69,63
Clorofila	mg/m ³	2,4	31,9
Prof. Disco de Secchi	m	2,96	1,5
Índice de Carlson		-	63
Nº Células de Fitoplancton	cél./ml	-	17.862
Riesgo de blooms algales		No	Si
Fosfato ¹	mg/L	0,032	0,02-0,03
Fósforo total ¹	mg/L	-	0,08-0,13
Amonio fondo	mg/L	0,2	0,42
Anoxia hipolimnética		Si	Si
Zoobentos	Indiv./m ²	-	-
ESTADO TRÓFICO		Mesotrófico	Eutrófico

¹ En 1996 datos recopilados en la base de datos de diferentes años; en 2002 datos de superficie y fondo.

El embalse es eutrófico en el 2002, a diferencia de 1996 en el que era mesotrófico. El incremento puede estar influido por las condiciones puntuales del verano y por coincidir el muestreo con una proliferación de criptofíceas. En febrero del 2001, se midieron unas concentración de clorofila de 3,5 mg/m³ en la presa y de 4,6 mg/m³ en

la cola de Mequinenza (estos valores son propios de aguas mesotróficas); no obstante se detectaron concentraciones más elevadas en las colas del Segre (9,4 mg/m³) y del Matarraña (16,2 mg/m³).

El nivel de desoxigenación del hipolimnion en el 2002, se considera similar al de 1996.

7.2.2. Riesgos ambientales

- **Riesgo más importante:** Éste es el turbinado o vertido de fondo de agua anóxica y con tóxicos durante la estratificación estival del embalse. No obstante el riesgo de afección a los peces se considera reducido por producirse el vertido en la cola del embalse de Flix (existen más refugios para los peces los cuales pueden detectar y evitar la pluma de agua tóxica).
- **Recomendación:** En condiciones de sequía se recomienda determinar el alcance de la pluma de agua anóxica en la cola de Flix (medir la concentración de oxígeno, amonio y SH₂).

Investigar el posible incremento del nivel trófico del embalse y sus causas.

Tabla 7.-1

EMBALSE DE RIBARROJA

Agosto, 2002

RESULTADOS DEL ESTUDIO HIDROQUÍMICO

	Unidades	Embalse - presa		Tributario 1	Tributario 2	Emisario
		Superficie	Fondo	Ebro	Segre	Ebro
Profundidad	m	S	30	S	S	S
Temperatura	°C	24,5	21,1	19,5	25	22,45
Conductividad	µS/cm	1.027	1.168	1.421	858	1.107
Turbidez	ntu	0,7	1,6	0,5	54,2	2,0
Sólidos en suspensión	mg/L	3,8	6,2	0,4	35,8	-
pH	und.	8,38	7,5	7,55	8,27	7,67
Alcalinidad	meq/L	2,8	3,6	3,6	3,4	-
Calcio	mg/L	100,2	126,7	141,1	101,8	-
Nitrito	mg/L	0,235	0,014	0,077	0,105	-
Nitrato	mg/L	5,17	4,61	4,87	11,09	-
Amonio	mg/L	0,1	0,42	0,4	0,1	0,35
Fósforo total	mg/L	0,083	0,129	0,151	0,131	-
Fosfato disuelto (P-PO4)	mg/L	0,03	0,018	0,147	0,009	-
Oxígeno disuelto	mg/L	9,9	0,0	0,9	8,4	3,5
Sulfhídrico (SH ₂)	mg/L	-	<0,02	-	-	<0,02
Hierro	mg/L	0,02	0,13	-	0,01	-
Manganeso	mg/L	0,03	0,22	-	<0,03	-
Clorofila (superf.)	mg/m ³	31,9	-	-	-	-
Profundidad disco de Secchi	m	1,5	-	-	-	-

RESULTADOS DEL ESTUDIO DEL SEDIMENTO¹

		Presa
Carbono orgánico	mg/g C	-
Carbono inorgánico	mg/g Calizas	-
Nitrógeno Total	mg/g sed.P.S.	-
Fósforo Total	mg/g sed.P.S.	-

¹No se pudo extraer sedimento tras repetidos intentos debido a la presencia de ramas y restos leñosos.

Tabla 7.-2

FITOPLANCTON DEL EMBALSE DE RIBARROJA

Septiembre-02

INVENTARIO	Abundancia ¹
CIANOFÍCEAS	
<i>Microcystis aeruginosa</i>	+
CLOROFÍCEAS	
<i>Sphaerocystis schroeteri</i>	+
<i>Pediastrum duplex</i>	+
<i>P. chlathratum</i>	+
<i>Closterium aciculare</i>	+
PERIDINEALES	
<i>Peridinium sp.</i>	+

¹ 5=>61% 4=31-60% 3=11-30% 2=1-10% 1<1% +=presencia

RECUELTOS	Recuentos de células por mililitro ²	Porcentaje
CRIFTOFÍCEAS (%)		88,01
<i>Cryptomonas ovata</i>	6.726	
<i>Rhodomonas minuta</i>	8.994	
CRISOFÍCEAS (%)		2,02
Flagelados sp. pl.	360	
DIATOMEAS (%)		2,25
<i>Cyclotella cf. compta</i>	57	
<i>Melosira granulata</i>	3	
<i>Fragilaria crotonensis</i>	205	
<i>Tabellaria fenestrata</i>	46	
<i>Synedra sp.</i>	91	
CLOROFÍCEAS (%)		7,47
<i>Chlamydomonas sp.</i>	388	
<i>Ankistrodesmus sp. pl.</i>	34	
<i>Coelastrum sp.</i>	912	
DINOFÍCEAS %		0,26
<i>Peridinium sp.</i>	46	
TOTAL	17.862	100

²Concentrado de 50 ml

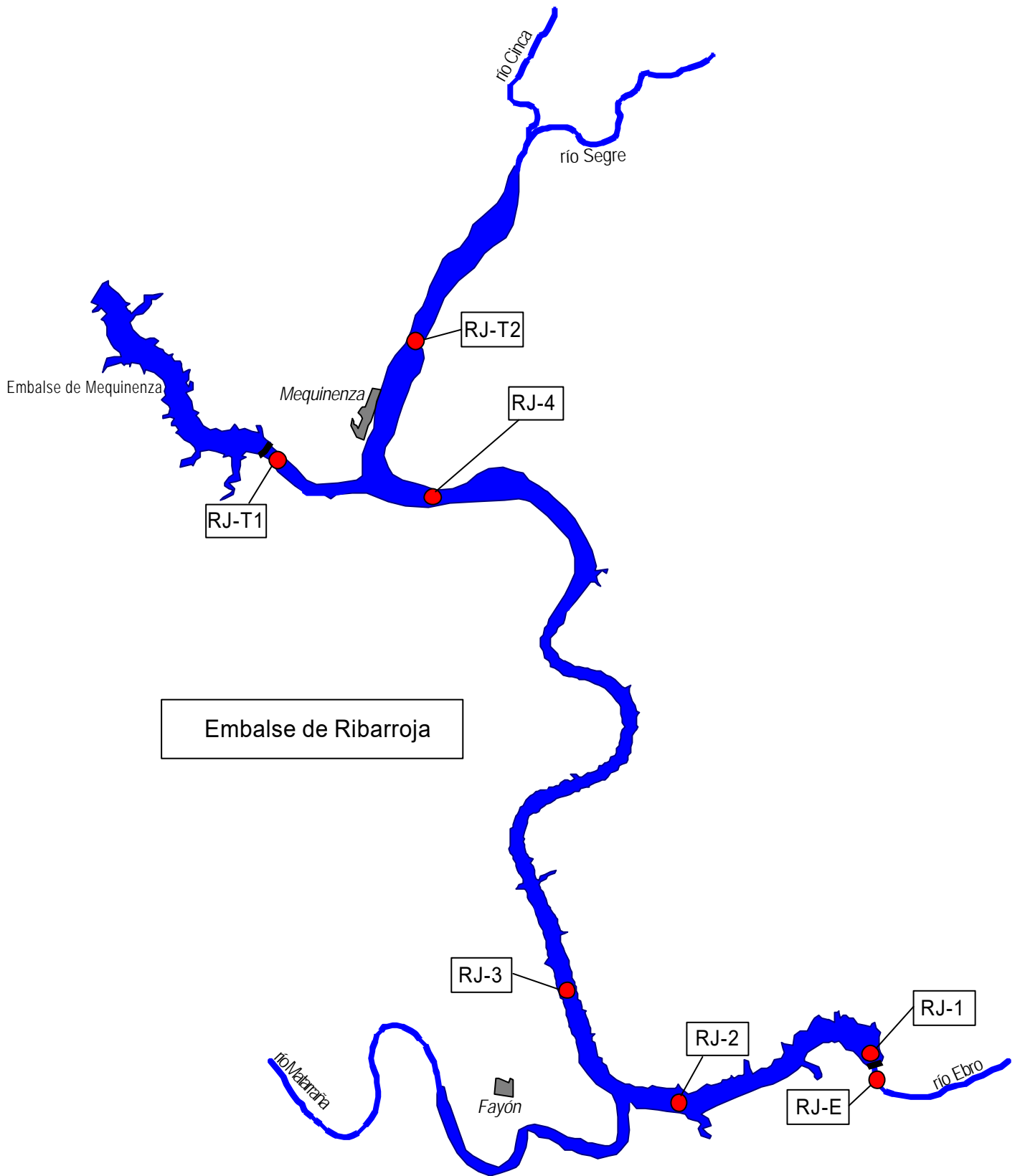
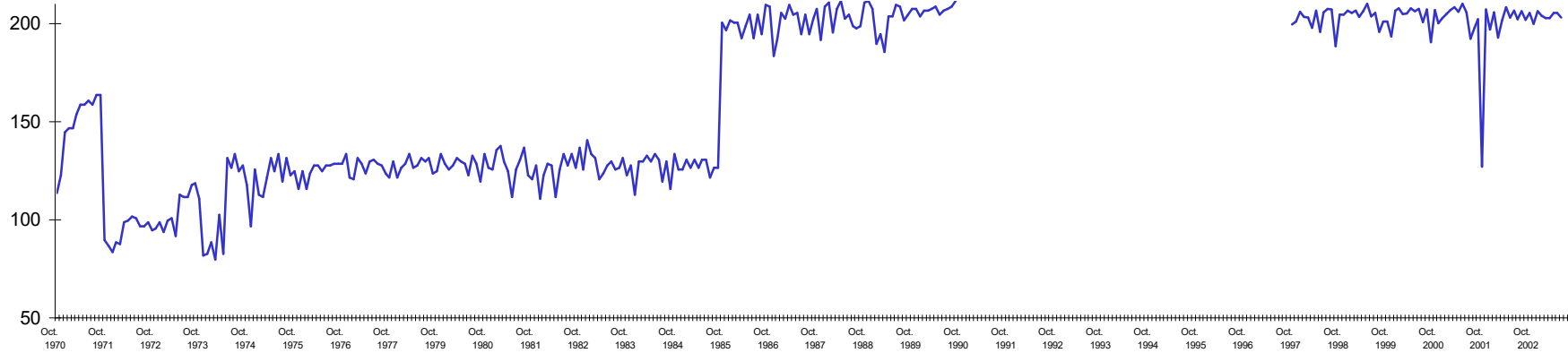


Figura 7.-1. Localización de los puntos de muestreo en el embalse de Ribarroja, en el verano de 2002.

EMBALSE DE RIBARROJA

VOLUMEN EMBALSADO (hm³)



FLUCTUACIÓN DEL EMBALSE (m)

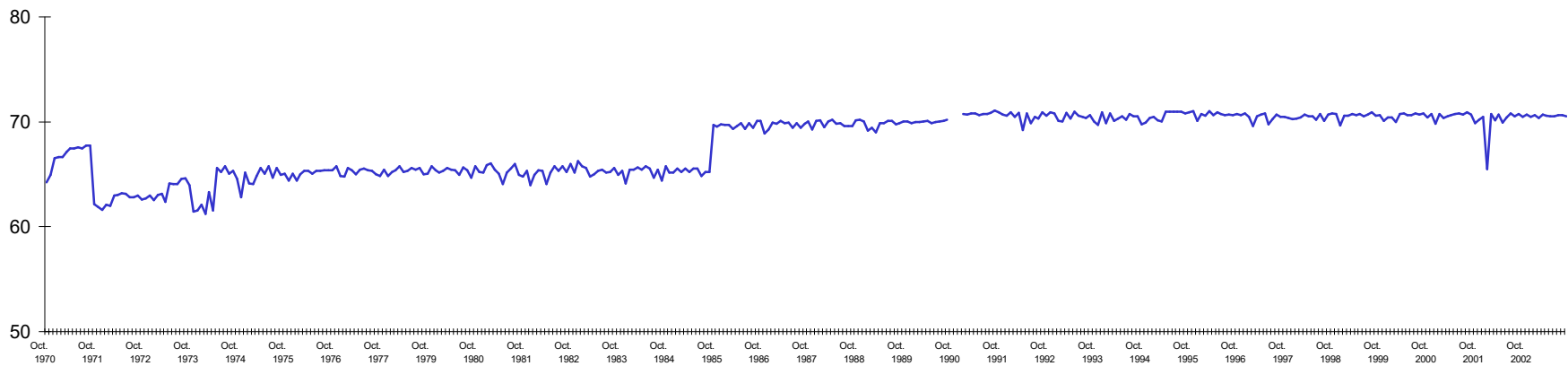


Figura 7.-2

Variación de los parámetros hidrológicos en los años indicados. No se dispone de datos entre 1990 y 1996 para el volumen embalsado.

EMBALSE DE RIBARROJA

TIEMPO DE RESIDENCIA (meses)

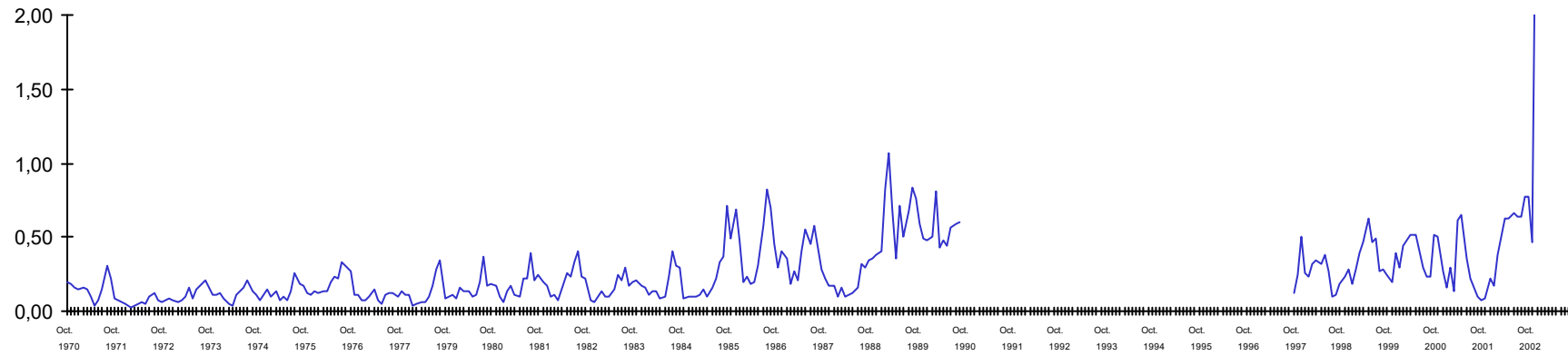


Figura 7.-2 Continuación.

EMBALSE DE RIBARROJA

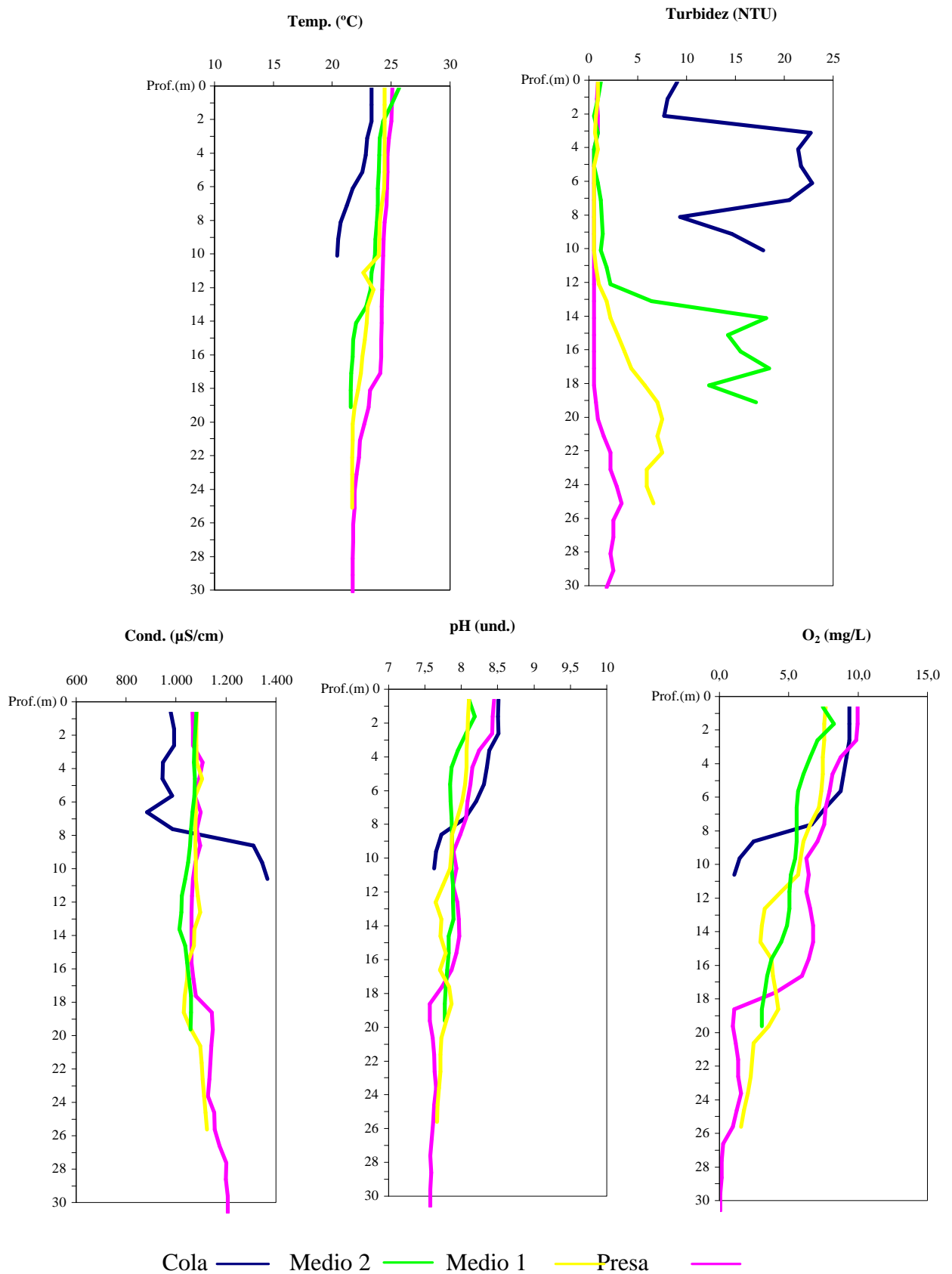


Figura 7.-3

Perfiles de temperatura, turbidez, conductividad, pH y oxígeno disuelto en el agua del embalse, el día 28 de agosto del 2002.

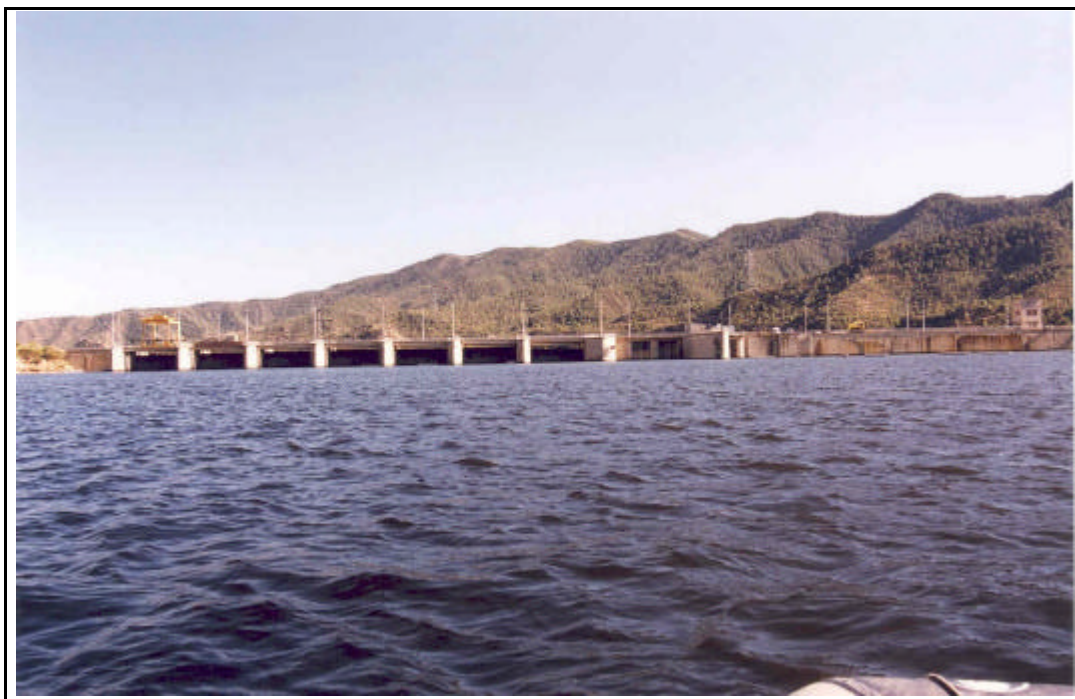


Foto 1. Presa de Ribarroja (28-08-2002).



Foto 2. Vista del embalse en las inmediaciones de la presa.



Fotos 3 y 4. Cola del embalse de Flix receptora de los caudales vertidos y turbinados en la presa de Ribarroja.

ADICIONAL INFORME EMBALSE DE RIBARROJA 2002

Durante el año 2022 se han revisado los datos del embalse de Ribarroja recopilados durante el año 2002, en aplicación del Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental, a partir de la trasposición de la Directiva Marco del Agua (DMA).

La metodología utilizada ha consistido en obtener del informe de dicho año los datos necesarios para estimar de nuevo el estado trófico y el potencial ecológico y, recalcular el valor correspondiente en cada variable y en el estado final del embalse, utilizando las métricas publicadas en 2015, lo que permite comparar el estado de los embalses en un ciclo interanual de forma homogénea.

En cada apartado considerado se indica la referencia del apartado del informe original al que se refiere este trabajo adicional.

1. ESTADO TRÓFICO

Para evaluar el grado de eutrofización o estado trófico de una masa de agua se aplican e interpretan una serie de indicadores de amplia aceptación. En cada caso, se ha tenido en cuenta el valor de cada indicador en función de las características limnológicas básicas de los embalses. Así, se han podido interpretar las posibles incoherencias entre los diversos índices y parámetros y establecer la catalogación trófica final en función de aquellos que, en cada caso, responden a la eutrofización de las aguas.

Dentro del presente estudio se han considerado los siguientes índices y parámetros:

a) Concentración de nutrientes. Fósforo total (PT)

La concentración de fósforo total en el epilimnion del embalse es un parámetro decisivo en la eutrofización ya que suele ser el factor limitante en el crecimiento y reproducción de las poblaciones algales o producción primaria. De entre los índices conocidos, se ha adoptado en el presente estudio, el utilizado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) resumido en la tabla A1, ya que es

el que mejor refleja el grado trófico real en los casos estudiados y además es el de más amplio uso a nivel mundial y en particular en la Unión Europea (UE), España y la propia Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE). Desde 1984 se demostró que los criterios de la OCDE, que relacionan la carga de nutrientes con las respuestas de eutrofización, eran válidos para los embalses españoles.

Tabla A1. Niveles de calidad según la concentración de fósforo total.

Estado Trófico	Ultraoligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Hipereutrófico
Concentración PT ($\mu\text{g P/L}$)	0-4	4-10	10-35	35-100	>100

b) Fitoplancton (Clorofila a, densidad algal)

A diferencia del anterior, el fitoplancton es un indicador de respuesta trófica y, por lo tanto, integra todas las variables causales, de modo que está influido por otros condicionantes ambientales además de estarlo por los niveles de nutrientes. Se utilizan dos parámetros como estimadores de la biomasa algal en los índices: concentración de clorofila a en la zona fótica ($\mu\text{g/L}$) y densidad celular (n° células/ml).

Al contar en este estudio mayoritariamente con sólo una campaña de muestreo, y por tanto no contar con una serie temporal que nos permitiera la detección del máximo anual, se utilizaron las clases de calidad relativas a la media anual (tabla A2). La utilización de los límites de calidad relativos a la media anual de clorofila se basó en el hecho de que los muestreos fueron realizados durante la estación de verano. Según la bibliografía limnológica general, el verano coincidiría con un descenso de la producción primaria motivado por el agotamiento de nutrientes tras el pico de producción típico de finales de primavera. Por ello, la utilización de los límites o rangos relativos al máximo anual resultaría inadecuada.

Para la densidad celular, basamos nuestros límites de estado trófico en la escala logarítmica basada en los estudios limnológicos de Margalef, ya utilizada para incluir más clases de estado trófico en otros estudios (tabla A2). Estos resultados se ajustaban de forma más aproximada a los obtenidos mediante otras métricas estándar de la OCDE como las de P total o clorofila. En el presente estudio, los índices elegidos son los siguientes:

Tabla A2. Niveles de calidad según la clorofila *a* y la densidad algal del fitoplancton.

Estado Trófico	Ultraoligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Hipereutrófico
Clorofila <i>a</i> (µg/L)	0-1	1-2,5	2,5-8	8,0-25	>25
Densidad (cél./ml)	<100	100-1000	1000-10000	10000-100000	>100000

c) Transparencia de la columna de agua. Disco de Secchi (DS)

Por su parte, la transparencia, medida como profundidad de visibilidad del disco de Secchi (media y mínimo anual en m), está también íntimamente relacionada con la biomasa algal, aunque más indirectamente, ya que otros factores como la turbidez debida a sólidos en suspensión, o los fenómenos de dispersión de la luz que se producen en aguas carbonatadas, afectan a esta variable.

Se utilizaron las clases de calidad relativas al mínimo anual de transparencia según criterios OCDE. Se utilizaron en este caso los rangos relativos al mínimo anual (tabla A3) debido a varios factores: por un lado, la transparencia en embalses es generalmente menor que en lagos; por otro lado, en verano se producen resuspensiones de sedimentos como consecuencia de los desembalses para regadío, y por último, la mayoría de los embalses muestreados son de aguas carbonatadas, con lo que la profundidad de Secchi subestimaría también la transparencia.

Tabla A3. Niveles de calidad según la transparencia.

Estado Trófico	Ultraoligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Hipereutrófico
Disco Secchi (m)	>6	6-3	3-1,5	1,5-0,7	<0,7

Catalogación trófica final

Se han considerado la totalidad de los índices expuestos, que se especifican en la tabla A4, estableciéndose el estado trófico global de los embalses estudiados según la metodología descrita a continuación, utilizando el valor promedio de los dos muestreos en su caso.

Tabla A4. Resumen de los parámetros indicadores de estado trófico.

Parámetros Estado Trófico	Ultraoligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Hipereutrófico
Concentración PT (μg)	0-4	4-10	10-35	35-100	>100
Disco de Secchi (m)	>6	6-3	3-1,5	1,5-0,7	<0,7
Clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g/L}$)	0-1	1-2,5	2,5-8	8,0-25	>25
Densidad algal (cél./ml)	<100	100-1000	1000-10000	10000-100000	>100000

Sobre la base de esta propuesta, en la tabla A5 se incluye la catalogación de las diferentes masas de agua por parámetro. Así, para cada uno de los embalses, se asignó un valor numérico (de 1 a 5) según cada clase de estado trófico.

Tabla A5. Valor numérico asignado a cada clase de estado trófico.

ESTADO TRÓFICO	VALORACIÓN
Ultraoligotrófico	1
Oligotrófico	2
Mesotrófico	3
Eutrófico	4
Hipereutrófico	5

La valoración del estado trófico global final se calculó mediante la *media* de los valores anteriores, re-escalada a cinco rangos de estado trófico (es decir, el intervalo 1-5, de 4 unidades, dividido en 5 rangos de 0,8 unidades de amplitud).

2. ESTADO DE LA MASA DE AGUA

El **estado** de una masa de agua es el grado de alteración que presenta respecto a sus condiciones naturales, y viene determinado por el *peor valor* de su estado ecológico y químico.

- El *estado ecológico* es una expresión de la calidad de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos asociados a las aguas superficiales en relación con las condiciones de referencia (es decir, en ausencia de alteraciones). En el caso de los embalses se denomina *potencial ecológico* en lugar de estado ecológico. Se determina a partir de indicadores de calidad (biológicos y fisicoquímicos).

- El estado químico de las aguas es una expresión de la calidad de las aguas superficiales que refleja el grado de cumplimiento de las normas de calidad ambiental de las sustancias prioritarias y otros contaminantes.

2.1. POTENCIAL ECOLÓGICO

2.1.1. INDICADORES DE CALIDAD BIOLÓGICOS: FITOPLANCTON

Como consecuencia de la aprobación de la IPH (Instrucción de Planificación Hidrológica, Orden ARM/2656/2008), se ha realizado una aproximación al potencial ecológico para el elemento de calidad fitoplancton denominada *propuesta normativa*. En ella se establecen las condiciones de máximo potencial para los siguientes parámetros: clorofila a, biovolumen, Índice de Grupos Algales (IGA) y porcentaje de cianobacterias, en función de la tipología del embalse.

Se debe seguir el procedimiento descrito en el Protocolo MFIT-2013 Versión 2 para el cálculo del RCE de cada uno de los cuatro parámetros:

- Cálculo de Ratio de Calidad Ecológico (RCE)

Cálculo para clorofila a:

$$RCE = [(1/Chla \text{ Observado}) / (1/Chla \text{ Máximo Potencial Ecológico})]$$

Cálculo para biovolumen:

$$RCE = [(1/biovolumen \text{ Observado}) / (1/ biovolumen \text{ Máximo Potencial Ecológico})]$$

Cálculo para el Índice de Grupos Algales (IGA):

$$RCE = [(400-IGA \text{ Observado}) / (400- IGA \text{ Máximo Potencial Ecológico})]$$

Cálculo para el porcentaje de cianobacterias:

$$RCE = [(100 - \% \text{ cianobacterias Observado}) / (100 - \% \text{ cianobacterias Máximo Potencial Ecológico})]$$

1) Concentración de clorofila a

Del conjunto de pigmentos fotosintetizadores de las microalgas de agua dulce, la clorofila a se emplea como un indicador básico de biomasa fitoplanctónica. Todos los grupos de microalgas contienen clorofila a como pigmento principal, pudiendo llegar a

representar entre el 1 y el 2 % del peso seco total. La clasificación del potencial ecológico de acuerdo con la concentración de clorofila *a* se indica en la tabla A6.

Tabla A6. Clases de potencial ecológico según el RCE de la concentración de clorofila *a*.

Clase de potencial ecológico	Bueno o superior	Moderado	Deficiente	Malo
Rango <i>Tipos 1, 2 y 3</i>	> 0,211	0,210 – 0,14	0,13 – 0,07	< 0,07
Rango <i>Tipos 7, 8, 9, 10 y 11</i>	> 0,433	0,432 – 0,287	0,286 – 0,143	< 0,143
Rango <i>Tipo 12</i>	> 0,195	0,194 – 0,13	0,12 – 0,065	< 0,065
Rango <i>Tipo 13</i>	> 0,304	0,303 – 0,203	0,202 – 0,101	< 0,101
Valoración de cada clase	2	3	4	5

2) Biovolumen algal

El biovolumen es una medida mucho más precisa de la biomasa algal, por tener en cuenta el tamaño o volumen celular de cada especie, además del número de células. La clasificación del potencial ecológico de acuerdo al biovolumen de fitoplancton se indica en la tabla A7.

Tabla A7. Clases de potencial ecológico según el RCE del biovolumen algal del fitoplancton.

Clase de potencial ecológico	Bueno o superior	Moderado	Deficiente	Malo
Rango <i>Tipos 1, 2 y 3</i>	> 0,189	0,188 – 0,126	0,125 – 0,063	< 0,063
Rango <i>Tipos 7, 8, 9, 10 y 11</i>	> 0,362	0,361 – 0,24	0,23 – 0,12	< 0,12
Rango <i>Tipo 12</i>	> 0,175	0,174 – 0,117	0,116 – 0,058	< 0,058
Rango <i>Tipo 13</i>	> 0,261	0,260 – 0,174	0,173 – 0,087	< 0,087
Valoración de cada clase	2	3	4	5

3) Índice de grupos algales (IGA)

Se ha aplicado un índice basado en el biovolumen relativo de diferentes grupos algales del fitoplancton, denominado *IGA*, y que viene siendo utilizado por CHE desde 2010.

El índice *IGA* se expresa:

$$Iga = \frac{1 + 0.1 * Cr + Cc + 2 * (Dc + Chc) + 3 * Vc + 4 * Cia}{1 + 2 * (D + Cnc) + Chnc + Dnc}$$

Siendo,

<i>Cr</i>	Criptófitos	<i>Cia</i>	Cianobacterias
<i>Cc</i>	Crisófitos coloniales	<i>D</i>	Dinoflageladas
<i>Dc</i>	Diatomeas coloniales	<i>Cnc</i>	Crisófitos no coloniales
<i>Chc</i>	Clorococales coloniales	<i>Chnc</i>	Clorococales no coloniales
<i>Vc</i>	Volvocales coloniales	<i>Dnc</i>	Diatomeas no coloniales

En cuanto al IGA, se han considerado los rangos de calidad establecidos en la tabla A8.

Tabla A8. Clases de potencial ecológico según el RCE del Índice de Grupos Algales (IGA).

Clase de potencial ecológico	Bueno o superior	Moderado	Deficiente	Malo
Rango Tipos 1, 2 y 3	> 0,974	0,973 – 0,649	0,648 – 0,325	< 0,325
Rango Tipos 7, 8, 9, 10 y 11	> 0,982	0,981 – 0,655	0,654 – 0,327	< 0,327
Rango Tipo 12	> 0,929	0,928 – 0,619	0,618 – 0,31	< 0,31
Rango Tipo 13	> 0,979	0,978 – 0,653	0,652 – 0,326	< 0,326
Valoración de cada clase	2	3	4	5

4) Porcentaje de cianobacterias

El aumento de la densidad relativa de cianobacterias se ha relacionado en numerosas ocasiones con procesos de eutrofización.

Para el cálculo del porcentaje de cianobacterias se ha utilizado el procedimiento descrito en el Protocolo de análisis y cálculo de métricas de fitoplancton en lagos y embalses Versión 2 (MAGRAMA, 2016). Se aplica para el cálculo la siguiente fórmula:

$$\%CIANO = \frac{BVOL_{CIA} - [BVOL_{CHR} - (BVOL_{MIC} + BVOL_{WOR})]}{BVOL_{TOT}}$$

Donde:	BVOL _{CIA}	Biovolumen de cianobacterias totales
	BVOL _{CHR}	Biovolumen de Chroococcales
	BVOL _{MIC}	Biovolumen de <i>Microcystis</i>
	BVOL _{WOR}	Biovolumen de <i>Woronichinia</i>
	BVOL _{TOT}	Biovolumen total de fitoplancton

Los valores de cambio de clases se establecen como se muestran en la tabla A9.

Tabla A9. Clases de potencial ecológico según el RCE del porcentaje de cianobacterias.

Clase de potencial ecológico	Bueno o superior	Moderado	Deficiente	Malo
Rango Tipos 1, 2 y 3	> 0,908	0,907 – 0,607	0,606 – 0,303	< 0,303
Rango Tipos 7, 8, 9, 10 y 11	> 0,715	0,714 – 0,48	0,47 – 0,24	< 0,24
Rango Tipo 12	> 0,686	0,685 – 0,457	0,456 – 0,229	< 0,229
Rango Tipo 13	> 0,931	0,930 – 0,621	0,620 – 0,31	< 0,31
Valoración de cada clase	2	3	4	5

Posteriormente, es necesario llevar a cabo la *transformación de los valores de RCE obtenidos* a una escala numérica equivalente para los cuatro indicadores (RCE_{trans}). Las ecuaciones varían en función del tipo de embalse.

Tipos 1, 2 y 3

Clorofila a	
RCE > 0,21	$RCE_{trans} = 0,5063 \times RCE + 0,4937$
RCE ≤ 0,21	$RCE_{trans} = 2,8571 \times RCE$
Biovolumen	
RCE > 0,19	$RCE_{trans} = 0,4938 \times RCE + 0,5062$
RCE ≤ 0,19	$RCE_{trans} = 3,1579 \times RCE$
% Cianobacterias	
RCE > 0,91	$RCE_{trans} = 4,4444 \times RCE - 3,4444$
RCE ≤ 0,91	$RCE_{trans} = 0,6593 \times RCE$
Índice de Grupos Algales (IGA)	
RCE > 0,9737	$RCE_{trans} = 15,234 \times RCE - 14,233$
RCE ≤ 0,9737	$RCE_{trans} = 0,6162 \times RCE$

Tipos 7, 8, 9, 10 y 11

Clorofila a	
RCE > 0,43	$RCE_{trans} = 0,7018 \times RCE + 0,2982$
RCE ≤ 0,43	$RCE_{trans} = 1,3953 \times RCE$
Biovolumen	
RCE > 0,36	$RCE_{trans} = 0,625 \times RCE + 0,375$
RCE ≤ 0,36	$RCE_{trans} = 1,6667 \times RCE$
% Cianobacterias	
RCE > 0,72	$RCE_{trans} = 1,4286 \times RCE - 0,4286$
RCE ≤ 0,72	$RCE_{trans} = 0,8333 \times RCE$
Índice de Grupos Algales (IGA)	
RCE > 0,9822	$RCE_{trans} = 22,533 \times RCE - 21,533$
RCE ≤ 0,9822	$RCE_{trans} = 0,6108 \times RCE$

Tipos 6 y 12

Clorofila a	
RCE > 0,195	$RCE_{trans} = 0,497x RCE + 0,503$
RCE ≤ 0,195	$RCE_{trans} = 3,075 x RCE$

Biovolumen	
RCE > 0,175	$RCE_{trans} = 0,4851 x RCE + 0,5149$
RCE ≤ 0,175	$RCE_{trans} = 3,419 x RCE$

% Cianobacterias	
RCE > 0,686	$RCE_{trans} = 1,2726x - 0,2726$
RCE ≤ 0,686	$RCE_{trans} = 0,875 x RCE$

Índice de Grupos Algales (IGA)	
RCE > 0,929	$RCE_{trans} = 5,6325x - 4,6325$
RCE ≤ 0,929	$RCE_{trans} = 0,6459 x RCE$

Tipo 13

Clorofila a	
RCE > 0,304	$RCE_{trans} = 0,575 x RCE + 0,425$
RCE ≤ 0,304	$RCE_{trans} = 1,9714 x RCE$

Biovolumen	
RCE > 0,261	$RCE_{trans} = 0,541x RCE + 0,459$
RCE ≤ 0,261	$RCE_{trans} = 2,3023 x RCE$

% Cianobacterias	
RCE > 0,931	$RCE_{trans} = 5,7971 x RCE - 4,7971$
RCE ≤ 0,931	$RCE_{trans} = 0,6445 x RCE$

Índice de Grupos Algales (IGA)	
RCE > 0,979	$RCE_{trans} = 18,995 x RCE - 17,995$
RCE ≤ 0,979	$RCE_{trans} = 0,6129 x RCE$

Para la combinación de los distintos indicadores representativos del elemento de calidad fitoplancton se hallará la *media* de los RCE transformados correspondientes a los parámetros “*abundancia-biomasa*” y “*composición*”. La combinación de los RCE transformados se llevará a cabo primero para los indicadores de clorofila y biovolumen, ambos representativos de la abundancia. La combinación se hará mediante las *medias* de los RCE transformados.

Posteriormente se llevará a cabo la combinación de los indicadores representativos de la composición: porcentaje de cianobacterias y el IGA. La combinación se hará mediante las *medias* de los RCE transformados. Finalmente, para la combinación de los indicadores de composición y abundancia-biomasa se hará la *media aritmética*.

El valor final de la combinación de los RCE transformados se clasificará de acuerdo a la siguiente escala de la tabla A10:

Tabla A10. Ratios de calidad según el índice de potencial ecológico normativo RCEtrans.

Clase de potencial ecológico	Bueno o superior	Moderado	Deficiente	Malo
<i>RCEtrans</i>	> 0,6	0,4-0,6	0,2-0,4	<0,2
Valoración de cada clase	2	3	4	5

Tabla A11. Valores de referencia propios del tipo (VR_t) y límites de cambio de clase de potencial ecológico (B^+/M , Bueno o superior-Moderado; M/D , Moderado-Deficiente; D/M , Deficiente-Malo) de los indicadores de los elementos de calidad de embalses (*RD 817/2015*). Se han incluido sólo los tipos de embalses presentes en el ESTUDIO.

Tipo	Elemento	Parámetro	Indicador	VR_t	B^+/M (RCE)	M/D (RCE)	D/M (RCE)
Tipo 1	Fitoplancton	Biomasa	Clorofila <i>a</i> mg/m ³	2,00	0,211	0,14	0,07
			Biovolumen mm ³ /L	0,36	0,189	0,126	0,063
		Composición	Índice de Catalán (IGA)	0,10	0,974	0,649	0,325
			Porcentaje de cianobacterias	0,00	0,908	0,607	0,303
Tipo 7	Fitoplancton	Biomasa	Clorofila <i>a</i> mg/m ³	2,60	0,433	0,287	0,143
			Biovolumen mm ³ /L	0,76	0,362	0,24	0,12
		Composición	Índice de Catalán (IGA)	0,61	0,982	0,655	0,327
			Porcentaje de cianobacterias	0,00	0,715	0,48	0,24
Tipo 9	Fitoplancton	Biomasa	Clorofila <i>a</i> mg/m ³	2,60	0,433	0,287	0,143
			Biovolumen mm ³ /L	0,76	0,362	0,24	0,12
		Composición	Índice de Catalán (IGA)	0,61	0,982	0,655	0,327
			Porcentaje de cianobacterias	0,00	0,715	0,48	0,24
Tipo 10	Fitoplancton	Biomasa	Clorofila <i>a</i> mg/m ³	2,60	0,433	0,287	0,143
			Biovolumen mm ³ /L	0,76	0,362	0,24	0,12
		Composición	Índice de Catalán (IGA)	0,61	0,982	0,655	0,327
			Porcentaje de cianobacterias	0,00	0,715	0,48	0,24
Tipo 11	Fitoplancton	Biomasa	Clorofila <i>a</i> mg/m ³	2,60	0,433	0,287	0,143
			Biovolumen mm ³ /L	0,76	0,362	0,24	0,12
		Composición	Índice de Catalán (IGA)	0,61	0,982	0,655	0,327
			Porcentaje de cianobacterias	0,00	0,715	0,48	0,24
Tipo 12	Fitoplancton	Biomasa	Clorofila <i>a</i> mg/m ³	2,40	0,195	0,13	0,065
			Biovolumen mm ³ /L	0,63	0,175	0,117	0,058
		Composición	Índice de Catalán (IGA)	1,50	0,929	0,619	0,31
			Porcentaje de cianobacterias	0,10	0,686	0,457	0,229
Tipo 13	Fitoplancton	Biomasa	Clorofila <i>a</i> mg/m ³	2,10	0,304	0,203	0,101
			Biovolumen mm ³ /L	0,43	0,261	0,174	0,087
		Composición	Índice de Catalán (IGA)	1,10	0,979	0,653	0,326
			Porcentaje de cianobacterias	0,00	0,931	0,621	0,31

2.1.2. INDICADORES DE CALIDAD FÍSICOQUÍMICOS

Todavía la normativa no ha desarrollado qué indicadores fisicoquímicos se emplean en embalses, pero por similitud con los que se recogen para lagos (Real Decreto 817/2015) se utilizan los siguientes:

1) Transparencia

La transparencia es un elemento válido para evaluar el grado trófico del embalse; tiene alta relación con la productividad biológica; y además tiene rangos establecidos fiables y de utilidad para el establecimiento de los límites de clase del potencial ecológico. Se ha evaluado a través de la profundidad de visión del disco de Secchi (DS), considerando su valor para la obtención de las distintas clases de potencial (tabla A12).

Tabla A12. Clases de potencial ecológico según la profundidad de visión del Disco de Secchi.

Clase de potencial ecológico	Muy Bueno	Bueno	Moderado
Disco de Secchi (DS, m)	> 6	6 - 3	< 3
Valoración de cada clase	1	2	3

2) Condiciones de oxigenación

Representa un parámetro secundario de la respuesta trófica que viene a indicar la capacidad del sistema para asimilar la materia orgánica autóctona, generada por el propio sistema a través de los productores primarios en la capa fótica, y la materia orgánica alóctona, es decir, aquella que procede de fuentes externas al sistema, como la procedente de focos de contaminación puntuales o difusos.

Se ha evaluado estimando la reserva media de oxígeno hipolimnético en el periodo de muestreo, correspondiente al periodo de estratificación. En el caso de embalses no estratificados se consideró la media de oxígeno en toda la columna de agua. Las clases consideradas han sido las correspondientes a la concentración de oxígeno en la columna de agua; parámetro vital para la vida piscícola. En la tabla A13 se resumen los límites establecidos.

Tabla A13. Clases de potencial ecológico según la concentración de oxígeno disuelto en el hipolimnion o en toda la columna de agua, cuando el embalse no está estratificado.

Clase de potencial ecológico	Muy Bueno	Bueno	Moderado
Concentración hipolimnética (mg/L O ₂)	> 8	8 - 6	< 6
Valoración de cada clase	1	2	3

3) Concentración de nutrientes

En este caso se ha seleccionado el fósforo total (PT), ya que su presencia a determinadas concentraciones en un embalse acarrea procesos de eutrofización, pues en la mayoría de los casos es el principal elemento limitante para el crecimiento de las algas.

Se ha empleado el resultado obtenido en la muestra integrada, considerando los criterios de la OCDE especificados en la tabla A14 (OCDE, 1982) adaptado a los intervalos de calidad del RD 817/2015.

Tabla A14. Clases de potencial ecológico según la concentración de fósforo total.

Clase de potencial ecológico	Muy Bueno	Bueno	Moderado
Concentración de PT ($\mu\text{g P/L}$)	0 - 4	4 -10	> 10
Valoración de cada clase	1	2	3

Si se toman varios datos anuales, se hace la *mediana* de los valores anuales.

Posteriormente se elige el *peor valor* de los tres indicadores (transparencia, condiciones de oxigenación y fósforo total).

4) Sustancias preferentes y contaminantes específicos de cuenca

Dentro de los indicadores fisicoquímicos también se tienen en cuenta las **sustancias preferentes y contaminantes específicos de cuenca**. El valor medio de los datos anuales se revisa para ver si *cumple o no con la Norma de Calidad Ambiental (NCA) del Anexo V del RD 817/2015*. Si *incumple* supone asignarle para los indicadores fisicoquímicos la categoría de *moderado*.

Tabla A15. Clases de potencial ecológico para sustancias preferentes y contaminantes específicos de cuenca.

Clase de potencial ecológico	Muy Bueno	Moderado
Sustancias preferentes y contaminantes específicos de cuenca	Cumple NCA	No cumple NCA
Valoración de cada clase	2	3

El potencial ecológico resulta del *peor valor* entre los indicadores biológicos y fisicoquímicos.

Tabla A16. Combinación de los indicadores.

Indicador Biológico	Indicador Físicoquímico	Potencial Ecológico
Bueno o superior	Muy bueno	Bueno o superior
Bueno o superior	Bueno	Bueno o superior
Bueno o superior	Moderado	Moderado
Moderado	Indistinto	Moderado
Deficiente		Deficiente
Malo		Malo

2.2. ESTADO QUÍMICO

El estado químico es “*no bueno*” cuando hay algún incumplimiento de la Norma de Calidad Ambiental, bien sea como media anual (NCA_MA), como máximo admisible (NCA_CMA) o en la biota (NCA_biota) para las **sustancias prioritarias y otros contaminantes**. Las NCA se recogen en el *Anexo IV del RD 817/2015*.

Tabla A17. Clases de estado químico para sustancias prioritarias y otros contaminantes.

Clase de estado químico	Bueno	No alcanza el buen estado
Sustancias prioritarias y otros contaminantes	Cumple NCA	No cumple NCA
Valoración de cada clase	2	3

2.3. ESTADO

El estado de la masa de agua es el *peor valor* entre su potencial ecológico y su estado químico.

Tabla A18. Determinación del estado.

Estado	Estado Químico	
Potencial Ecológico	Bueno	No alcanza el buen estado
Bueno o superior	Bueno	Inferior a bueno
Moderado	Inferior a bueno	
Deficiente		
Malo		

DIAGNÓSTICO DEL ESTADO TRÓFICO DEL EMBALSE DE RIBARROJA

Se han considerado los indicadores especificados en la tabla A19 para los valores medidos en el embalse, estableciéndose el estado trófico global del embalse según la metodología descrita.

Tabla A19. Parámetros indicadores y rangos de estado trófico.

Parámetros Estado Trófico	Ultraoligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Hipereutrófico
Concentración P ($\mu\text{g P /L}$)	0-4	4-10	10-35	35-100	>100
Disco de Secchi (m)	>6	6-3	3-1,5	1,5-0,7	<0,7
Clorofila a ($\mu\text{g/L}$)	0-1	1-2,5	2,5-8	8,0-25	>25
Densidad algal (cél./ml)	<100	100-1000	1000-10000	10000-100000	>100000
VALOR PROMEDIO	< 1,8	1,8 – 2,6	2,6 – 3,4	3,4 – 4,2	> 4,2

En la tabla A20 se incluye el estado trófico indicado por cada uno de los parámetros, así como la catalogación de la masa de agua según la valoración de este estado trófico final para cada campaña de muestreo.

Tabla A20. Diagnóstico del estado trófico del embalse de Ribarroja.

INDICADOR	VALOR	ESTADO TRÓFICO
CONCENTRACIÓN P TOTAL	83,00	Eutrófico
DISCO SECCHI	1,50	Eutrófico
COLOROFILA a	31,90	Hipertrófico
DENSIDAD ALGAL	17862	Eutrófico
ESTADO TRÓFICO FINAL	4,25	HIPERTRÓFICO

Atendiendo a los criterios seleccionados, la concentración de P total ha clasificado el embalse como eutrófico; la transparencia como eutrófico; la concentración de clorofila a como hipertrófico y la densidad algal como eutrófico. Combinando todos los indicadores, el estado trófico final para el embalse de Ribarroja ha resultado ser **HIPERTRÓFICO**.

DIAGNÓSTICO DEL ESTADO FINAL DEL EMBALSE DE RIBARROJA

En la mayoría de los casos en lugar del estado de la masa, sólo se puede establecer el potencial ecológico (además sin tener en cuenta la presencia de sustancias preferentes y contaminantes específicos de cuenca, para los indicadores fisicoquímicos). Tampoco se han estudiado las sustancias prioritarias y otros contaminantes que permitan determinar el estado químico, por eso se diagnostica la masa con el **potencial ecológico**.

Se han considerado los indicadores, los valores de referencia y los límites de clase B+/M (Bueno o superior/Moderado), M/D (Moderado/Deficiente) y D/M (Deficiente/Malo), así como sus ratios de calidad ecológica (RCE), especificados en las tablas A21 y A22.

Tabla A21. Parámetros, rangos del RCE y valores para la determinación del potencial ecológico normativo.

			RANGOS DEL RCE				
Indicador	Elementos	Parámetros	Bueno o superior	Moderado	Deficiente	Malo	
Biológico	Fitoplancton	Clorofila <i>a</i> (µg/L)	≥ 0,433	0,432 – 0,287	0,286 – 0,143	< 0,143	
		Biovolumen algal (mm ³ /L)	≥ 0,362	0,361 – 0,24	0,23 – 0,12	< 0,12	
		Índice de Catalán (IGA)	≥ 0,982	0,981 – 0,655	0,654 – 0,327	< 0,327	
		Porcentaje de cianobacterias	≥ 0,715	0,714 – 0,48	0,47 – 0,24	< 0,24	
			Bueno o superior	Moderado	Deficiente	Malo	
INDICADOR BIOLÓGICO			> 0,6	0,4 - 0,6	0,2 - 0,4	< 0,2	
			RANGOS DE VALORES				
Indicador	Elementos	Parámetros	Muy bueno	Bueno	Moderado	Deficiente	Malo
Fisicoquímico	Transparencia	Disco de Secchi (m)	> 6	3 - 6	1,5 - 3	0,7 - 1,5	< 0,7
	Oxigenación	O ₂ hipolimnética (mg O ₂ /L)	> 8	8 - 6	6 - 4	4 - 2	< 2
	Nutrientes	Concentración de PT (µg P/L)	0 - 4	4 - 10	10 - 35	35 - 100	> 100
			Muy bueno	Bueno	Moderado		
INDICADOR FISICOQUÍMICO			< 1,6	1,6 – 2,4	> 2,4		

La combinación de los dos indicadores, fisicoquímico y biológico, para la obtención del potencial ecológico normativo sigue el esquema de decisiones indicado en la tabla A22.

Tabla A22. Combinación de los indicadores.

Indicador Biológico	Indicador Fisicoquímico	Potencial Ecológico (PE)
Bueno o superior	Muy bueno	Bueno o superior
Bueno o superior	Bueno	Bueno o superior
Bueno o superior	Moderado	Moderado
Moderado	Indistinto	Moderado
Deficiente		Deficiente
Malo		Malo

En la tabla A23 se incluye el potencial indicado por cada uno de los parámetros, así como la catalogación de la masa de agua según el potencial ecológico, tras pasar el filtro del indicador fisicoquímico.

Tabla A23. Diagnóstico del potencial ecológico del embalse de Ribarroja.

Indicador	Elementos	Parámetro	Indicador	Valor	RCE	RCET	PE
Biológico	Fitoplancton	Biomasa	Clorofila a (µg/L)	31,90	0,08	0,23	Deficiente
INDICADOR BIOLÓGICO				4			DEFICIENTE
Indicador	Elementos	Indicador	Valor			PE	
Fisicoquímico	Transparencia	Disco de Secchi (m)	1,40			Moderado	
	Oxigenación	O ₂ hipolimnética (mg O ₂ /L)	9,00			Muy Bueno	
	Nutrientes	Concentración de PT (µg P/L)	83,00			Moderado	
INDICADOR FISICOQUÍMICO				3			MODERADO
POTENCIAL ECOLÓGICO				DEFICIENTE			
ESTADO FINAL				INFERIOR A BUENO			

De acuerdo con los resultados obtenidos, el Estado Final del embalse de Ribarroja para el año 2002 es de nivel 3, **INFERIOR A BUENO**.