



**DIAGNÓSTICO Y GESTIÓN AMBIENTAL DE EMBALSES
EN EL ÁMBITO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL EBRO**

EMBALSE DE RIBARROJA

LIMNOS

1996

EMBALSE DE RIBARROJA**1) CARACTERÍSTICAS GENERALES**

Nombre:	Ribarroja
Pki - Pkf:	12.760-15.710
Código cauces:	
Cuenca:	Ebro
CH:	Ebro
Provincia:	Tarragona
Propietario:	E.N.H.E.R.
Año de terminación:	1969

2) USOS Y TIPO DE PRESA

Usos:	Hidroeléctrico/Abastecimiento/Riegos
Actividades:	Navegación/Navegación a motor/Baños/Pesca
Interés Natural:	Aves acuáticas

Comentarios:

- El embalse de Ribarroja se encuentra inmediatamente aguas abajo del embalse de Mequinenza, en el tramo bajo del río Ebro. Recibe además las aguas del Segre, que desemboca en su cola y las del Matarraña que llega al embalse cerca de la presa. Es propiedad de E.N.H.E.R. y su principal uso es la producción eléctrica así como el suministro de agua al embalse de Flix que refrigera la central nuclear de Ascó. También abastece de agua potable y riego al municipio de Ribarroja.
- En el embalse se practica la navegación y existen algunas instalaciones de club náutico. Respecto a la pesca, el embalse está catalogado de régimen especial y es escenario deportivo de pesca (según la orden de 17 de enero de 1996. DGA). También cuenta con un vedado de pesca entre la cola en la que entra el Segre y La Val de la Tejería.

- El embalse presenta interés natural debido a aves acuáticas. En concreto, el tramo entre la confluencia de los ríos Segre y Cinca, y la cola del embalse, están incluidos en la lista de zonas húmedas de importancia internacional de la DGA.

Tipo de presa:	Gravedad planta recta	
Cota tomas (m s.n.m.):	Aliviadero:	59,5
	Desagües de fondo:	43,3
	Toma hidroeléctrica:	41,4
	Desagües adicionales:	40,0
Torre de tomas:	No	
Escala de peces:	No	

Comentarios:

- El embalse presenta los siguientes órganos de maniobra: aliviadero en coronación en la margen izquierda, dos desagües de fondo (cota eje: 43,3) en el cuerpo central de la presa, cuatro tomas hidroeléctricas (cota 41,4), desagües adicionales en el estribo derecho (cota 40,0).
- El agua de las tomas hidroeléctricas se turbinan en la central situada a pie de presa. Ésta tiene 4 grupos de producción cuyo caudal de turbinación es de 225 m³/s. El agua turbinada se restituye al río a pie de presa.
- Los desagües de fondo no se usan en la gestión ordinaria del embalse, si bien se someten a una prueba anual de funcionamiento.

3) MORFOMETRÍA-HIDROLOGÍA

Volumen (hm³):	210
Superficie (ha):	2.152
Cota (m s.n.m.):	70
Profundidad máxima (m):	34
Profundidad media (m):	9,7
Profundidad termoclina (m):	5-10
Desarrollo de volumen:	0,85

Volumen epilimnion (hm³):	46-88
Volumen hipolimnion (hm³):	49-118
Relación E/H:	0,7-0,9
Fluctuación de nivel:	Poca
Tiempo de residencia (meses):	<1

Comentarios:

- La cota máxima de embalse autorizada es de 70 m (cota máxima posible es 73 m). La cota mínima es de 40 m que corresponde al nivel mínimo del embalse de Flix, situado aguas abajo.
- La termoclina se supone localizada entre 5 y 10 m, dadas las características del embalse. En el muestreo de agosto de 1996, no se apreció gradiente térmico en la columna de agua. Las tomas hidroeléctricas se encuentran en la zona del hipolimnion por lo que existe riesgo de turbinar aguas anóxicas.
- Los volúmenes del epilimnion e hipolimnion se han estimado para la reserva máxima, media y mínima del embalse en agosto (periodo 1969-1990). Hay que indicar que este embalse mantiene un volumen embalsado alto todo el año. En estas condiciones la relación E/H es <1 lo que reduce el riesgo de aparición de aguas anóxicas.
- El riesgo de erosión de las laderas (y de enturbiamiento del agua) por disminución del nivel del agua se considera bajo. El embalse es muy encajado y además el nivel del agua fluctúa muy poco.
- El tiempo de residencia es muy bajo (inferior a 1 mes) lo que favorece la eutrofia.

4) HIDROQUÍMICA

Embalse

Conductividad (µS/cm):	758-987
Calcio (mg/L):	85

Fosfato (mg/L):	0,032
Nitrato (mg/L):	4,71
Amonio (mg/L):	0,05-0,2

Comentarios:

- El agua del embalse presenta una mineralización y una concentración de calcio elevadas, lo cual reduce el riesgo de eutrofia. Las concentraciones de nutrimento son asimismo elevadas.

Tributario principal

Conductividad (µS/cm):	550-2400
Calcio (mg/L):	90-193
Fosfato (mg/L):	0-0,48
Nitrato (mg/L):	0,25-6
Amonio (mg/L):	0,01-4,7

Comentarios:

- El tributario principal es el río Ebro aguas abajo de la presa de Mequinenza, por lo que los datos físico-químicos pertenecen a este embalse (en el estudio de Synconsult la cola de Ribarroja presenta el siguiente rango de los nutrimentos: Fosfato: 0,06-0,14 mg/L, nitrato: 1,2-4,6 mg/L, amonio: 0,04-1,81).

5) ESTADO TRÓFICO

Nivel trófico:	Mesotrófico
Hipolimnion:	Anóxico
Blooms algales:	No

Comentarios:

- El embalse se califica de mesotrófico - eutrófico en base a la aplicación del modelo de Vollenweider (1976) y para la concentración de fósforo registrada en el embalse en el muestreo de 1996. Sin embargo la carga de fósforo y nitrógeno

que recibe el embalse es elevada especialmente la que recibe de Mequinzenza, y del río Segre.

- En el muestreo realizado en agosto de 1996, la concentración de clorofila (2,4 mg/m³) es propia de aguas mesotróficas si bien la profundidad del disco de Secchi (2,96 m) correspondería a aguas eutróficas. Sin embargo la transparencia del agua está influida, además del plancton, por la carga de sólidos inorgánicos y por fenómenos de dispersión de la luz que se dan en aguas carbonatadas.
- Las capas profundas del hipolimnion se encontraron anóxicas en el muestreo de agosto de 1996 a partir de la cota 44, por lo que se turbinaba agua anóxica en la cola del embalse de Flix.
- La elevada renovación del agua limita, en parte, la proliferación del plancton.

6) PECES

Densidad: Media

Especies:

Cyprinus carpio (carpa común)
Barbus graellsii (barbo de Graells)
Chondrostoma toxostoma (madrilla)
Micropterus salmoides (black-bass)
Ictalurus melas (pez gato)
Blenius fluviatilis (fraile)
Silurus glanis (siluro)
Gambusia holbrooki (gambusia)
Scardinius erythrophthalmus (gardí)
Carasius auratus (carpín)
Esox lucius (lucio)
Leuciscus cephalus (bagra)

7) SEDIMENTOS

Nivel de aterramiento: Bajo

Materia orgánica: Alta

Producción de metano: Baja

Riesgo de contaminación: Bajo

Comentarios:

- El nivel de aterramiento se considera bajo. La pérdida de volumen del embalse desde su llenado es de 12,2 hm³, lo que supone un 5,5% de la capacidad inicial (según Avendaño *et al.*, 1996).
- El sedimento es limoso y la materia orgánica aparece parcialmente oxidada.

8) TRAMO FLUVIAL BAJO LA PRESA

Anchura del cauce (m):	-
Pendiente (%):	-
Caudal de compensación (m³/s):	125
Estructura del lecho:	-
Objetivo de calidad:	OC-2
Usos:	Abastecimiento/Riego/Baño/Pesca

Fauna acuática

Índice biótico (B.M.W.P.):	-
Índice biótico (nivel de calidad):	-
Calificación del tramo según peces:	Ciprinícola

Especies de peces:

Cyprinus carpio (carpa común)
Barbus graellsii (barbo de Graells)
Chondrostoma toxostoma (madrilla)
Micropterus salmoides (black-bass)
Ictalurus melas (pez gato)
Blenius fluviatilis (fraile)
Silurus glanis (siluro)
Gambusia holbrooki (gambusia)
Scardinius erythrophthalmus (gardí)
Carasius auratus (carpín)
Esox lucius (lucio)

Leuciscus cephalus (cacho)

Ecosistema de ribera:

Se observa la presencia de carrizo en los márgenes.

Comentarios:

- El embalse de Ribarroja desemboca directamente en la cola del embalse de Flix y no existe ningún tramo fluvial de aguas corrientes bajo la presa. El caudal que se vierte en Flix es de al menos 125 m³/s para cubrir las necesidades de refrigeración de la Central Nuclear de Ascó y la concesión para la comunidad de regantes del Bajo Ebro. En el tramo existe un coto de pesca y el embalse es muy frecuentado para practicar la pesca del siluro. También se toma agua para el abastecimiento del municipio de Ribarroja.

9) RIESGOS AMBIENTALES

MORTANDAD DE PECES

1. Mortandad de peces en el tramo fluvial bajo la presa por turbinado o vertido de aguas anóxicas y tóxicas.

AFECCIONES A LOS PECES

1. Afecciones a los peces autóctonos del tramo fluvial aguas arriba del embalse por la migración de especies indeseables desde el embalse.
2. Afecciones a los peces autóctonos del tramo fluvial bajo la presa por la competencia con especies exóticas de peces introducidas en el embalse.
3. Afecciones a los peces del tramo fluvial bajo la presa por cambios de la calidad físico-química del agua.

AFECCIONES A OTRA FAUNA

Ninguna

AFECCIONES AL ECOSISTEMA DE RIBERA

Ninguna

RIESGOS HIDROLÓGICOS

Ninguno

AFECCIONES A LOS USOS DEL EMBALSE Y DEL TRAMO FLUVIAL

1. Afección al agua para abastecimiento del embalse o del tramo fluvial por tóxicos y malos sabores ocasionados por fenómenos de reducción en el hipolimnion.
2. Afección a la pesca por perturbaciones a los peces del embalse (ver afecciones a los peces).
3. Afección a la pesca por perturbaciones a los peces del tramo fluvial bajo la presa (ver afecciones a los peces).

RIESGOS PARA LA NAVEGACIÓN

1. Presencia de troncos y maderos a la deriva durante el deshielo o en época de lluvias.

COMENTARIOS A LOS RIESGOS AMBIENTALES

- El riesgo más importantes que existe en el embalse de Ribarroja es la turbinación o el vertido de aguas anóxicas y con tóxicos en la cola del embalse de Flix. Esto puede ser causa de mortandad de peces, si bien el riesgo está limitado por ser el vertido de agua anóxica en otro embalse, en el que los peces pueden encontrar refugios fácilmente.

- En este embalse se introdujo el siluro en 1974 y desde entonces su pesca constituye un punto de atracción turística; esta especie es especialmente abundante en la cola del embalse, en el tramo del río Segre. La introducción de esta especie puede haber influido negativamente sobre las especies autóctonas, aunque la creciente eutrofia del agua ha propiciado el desarrollo de las especies más tolerantes como la carpa, el pez gato y el siluro, mientras que han disminuido el black bass y la madrilla (según Sánchez, 1991).
- Existe riesgo para la navegación debido principalmente a la abundancia de troncos y restos vegetales en primavera.

ACTUACIONES (MEDIDAS CORRECTORAS, PROCEDIMIENTOS DE DESEMBALSE; ACTUACIONES EN SEQUÍA).

- Controlar la concentración de oxígeno disuelto, SH_2 y NH_4 en el agua del hipolimnion. Dejar de turbinar en las siguientes condiciones:
 - ⇒ si aparece SH_2 en el hipolimnion y el SH_2 no se oxida o desaparece totalmente en el primer kilómetro del embalse receptor.
- Implantar un plan de gestión de las aguas residuales que se vierten en los cauces tributarios del embalse.
- Evitar devolver al agua los peces capturados en los concursos de pesca. De esta manera se retira materia orgánica del embalse.
- Controlar y limpiar los troncos y objetos flotantes que aparecen en la época de deshielo.

PROCEDIMIENTOS DE SEGUIMIENTO

- Medir la concentración de oxígeno disuelto en el agua del hipolimnion a tres profundidades durante el periodo estival, especialmente en época de sequía.
- Si la concentración de oxígeno disuelto es menor de 1 mg/L, analizar también el SH_2 y el NH_4 .

- En caso de vertido de agua con SH_2 al embalse situado aguas abajo dimensionar la pluma de agua tóxica.

**CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS
DEL EMBALSE Y TRIBUTARIO PRINCIPAL**

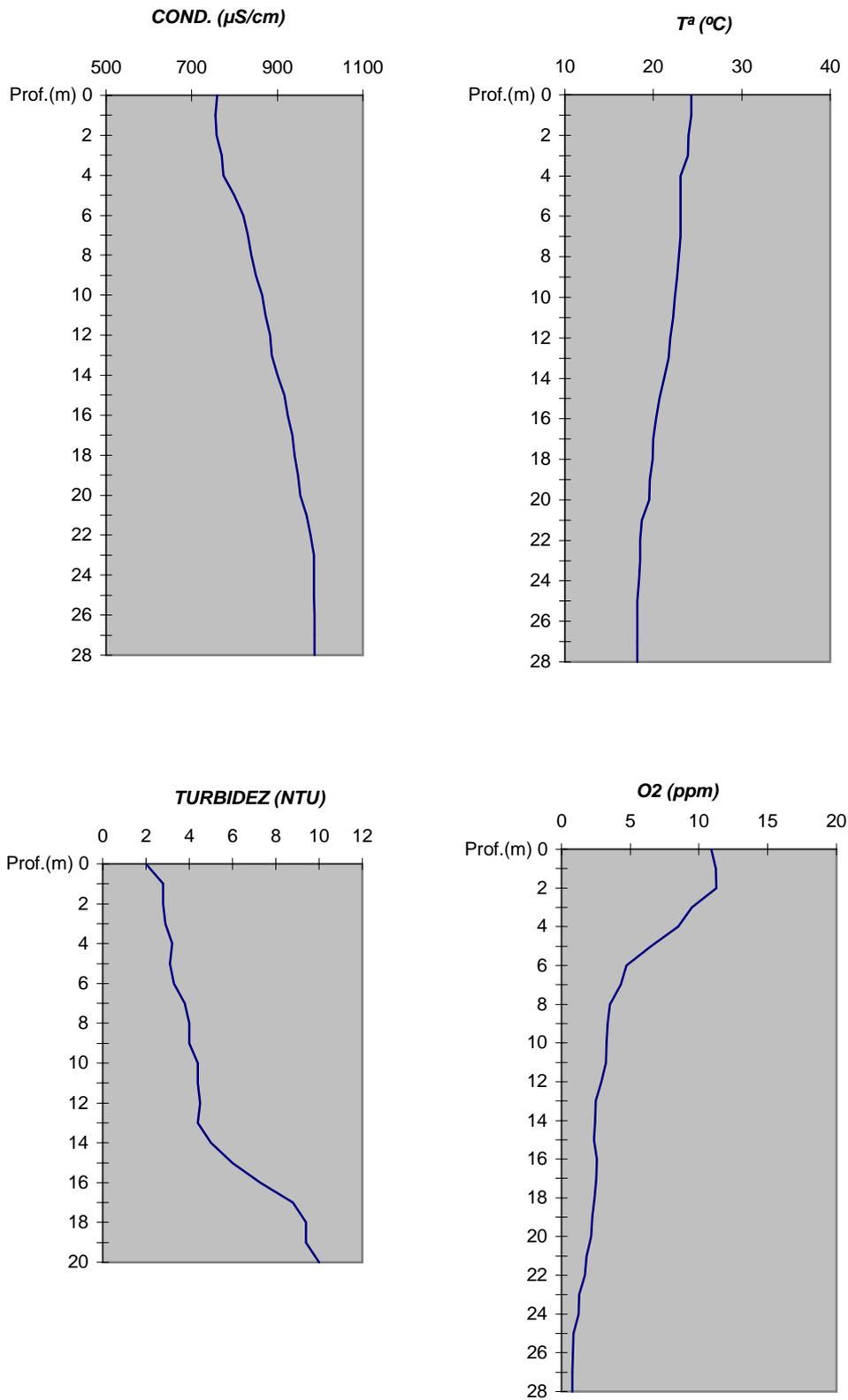
EMBALSE: **Ribarroja** **Fecha:** 26/8/96
Coordenadas UTM (presa): 31TBF850692

Conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$) :	853	NH ₄ superf. (mg/L) :	0,05
Ca (mg/L) :	85	NH ₄ fondo (mg/L) :	0,2
NO ₃ (mg/L) :	4,71	Clorofila (mg/m ³) :	2,4
PO ₄ (mg/L) :	0,032	Disco Secchi (m) :	2,96

Tributario principal:

Conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$) :	NO ₃ (mg/L) :
Ca (mg/L) :	NH ₄ (mg/L) :
	PO ₄ (mg/L) :

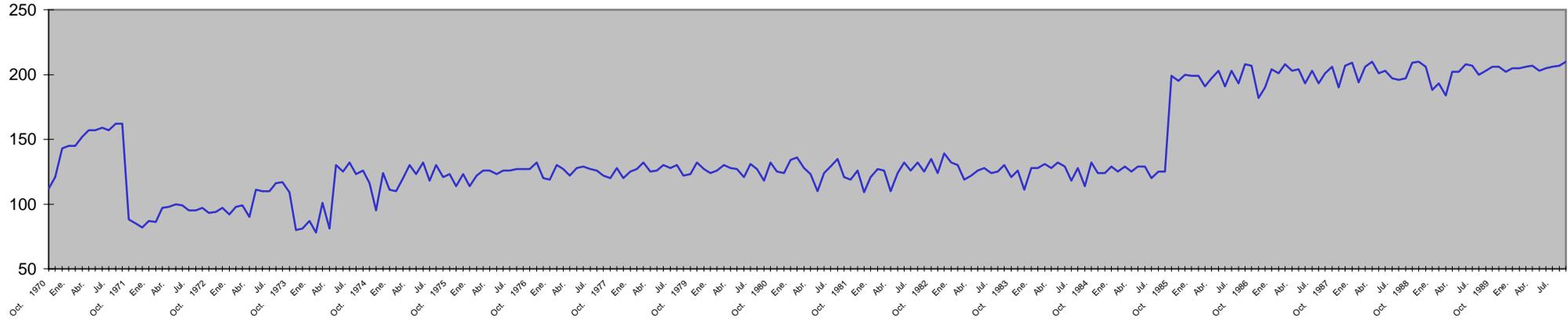
EMBALSE DE RIBARROJA



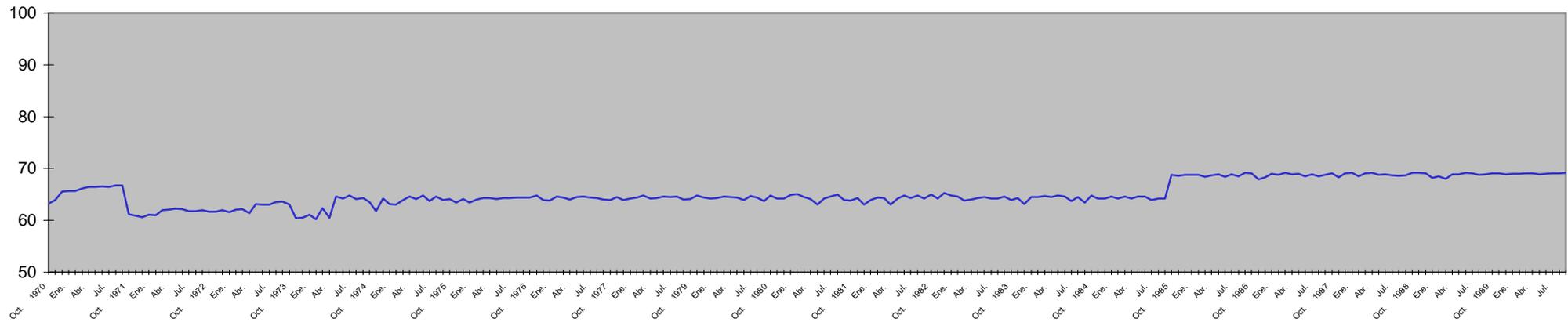
Perfiles de conductividad, temperatura, turbidez y oxígeno disuelto en el agua del embalse, el día 26 de agosto de 1996. Cota: 69,36.

EMBALSE DE RIBARROJA

VOLUMEN EMBALSADO (hm³)

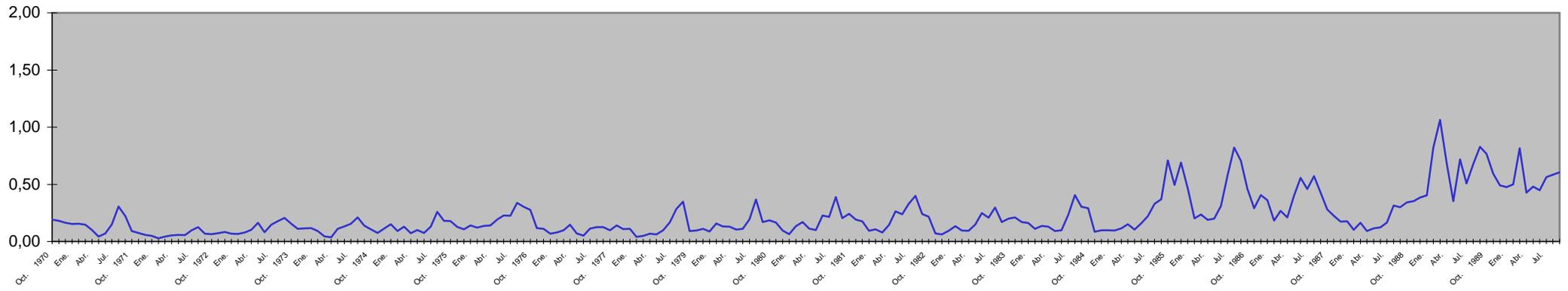


FLUCTUACIÓN DEL EMBALSE (m)

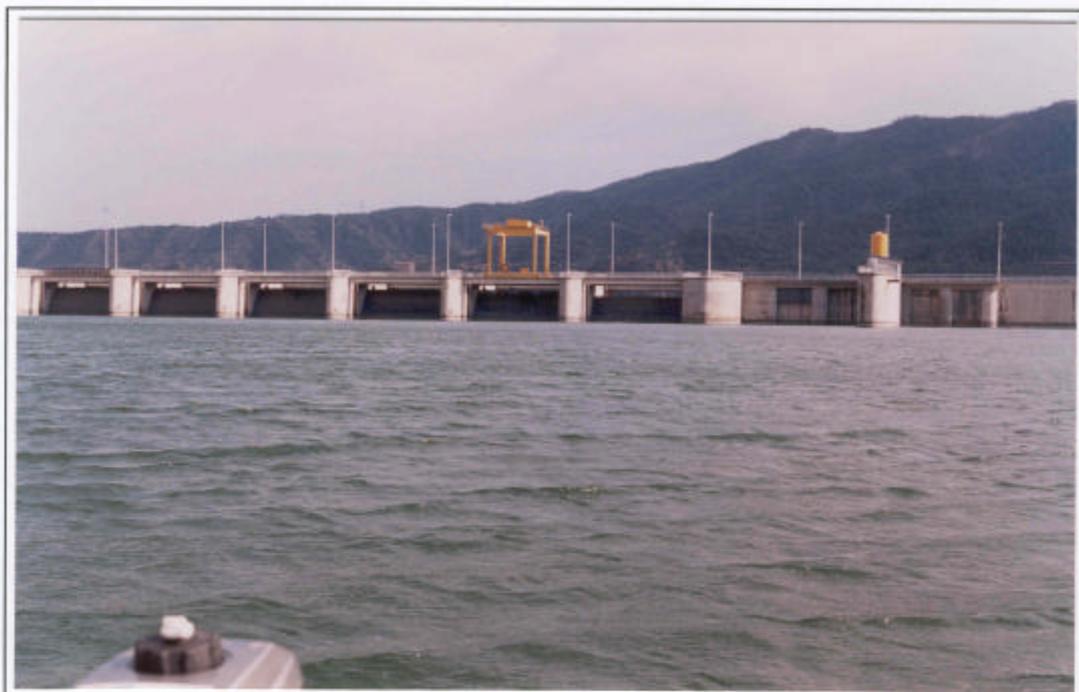


EMBALSE DE RIBARROJA

TIEMPO DE RESIDENCIA (meses)



EMBALSE DE RIBARROJA

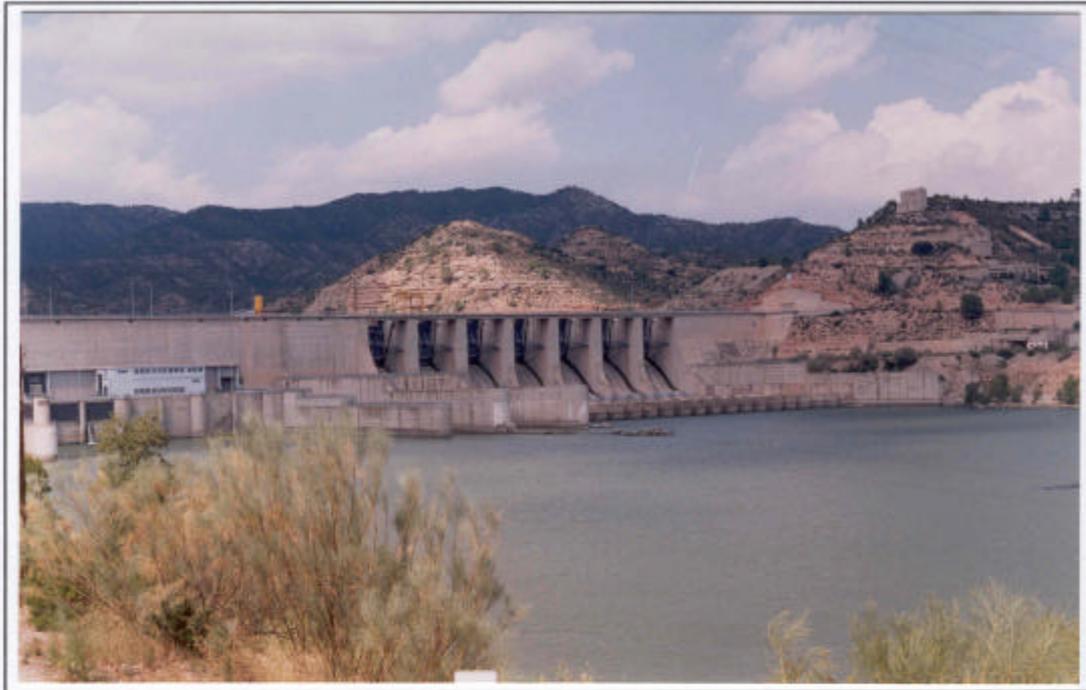


Presa de Ribarroja en septiembre de 1996.



Sedimento extraído del embalse de Ribarroja en las proximidades de la presa.

EMBALSE DE RIBARROJA



Río Ebro aguas abajo de la presa de Ribarroja.



Río Ebro en la cola del embalse de Flix, aguas abajo de la presa de Ribarroja.

ADICIONAL INFORME EMBALSE DE RIBARROJA 1996

Durante el año 2022 se han revisado los datos del embalse de Ribarroja recopilados durante el año 1996, 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:

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

Cálculo para biovolumen:

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

Cálculo para el Índice de Grupos Algales (IGA):

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

Cálculo para el porcentaje de cianobacterias:

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

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	Buena 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	Buena 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 <i>Tipos 1, 2 y 3</i>	> 0,908	0,907 – 0,607	0,606 – 0,303	< 0,303
Rango <i>Tipos 7, 8, 9, 10 y 11</i>	> 0,715	0,714 – 0,48	0,47 – 0,24	< 0,24
Rango <i>Tipo 12</i>	> 0,686	0,685 – 0,457	0,456 – 0,229	< 0,229
Rango <i>Tipo 13</i>	> 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 <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
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
COLOROFILA <i>a</i>	2,40	Oligotrófico
DISCO SECCHI	2,96	Mesotrófico
ESTADO TRÓFICO FINAL	2,50	OLIGOTRÓFICO

Atendiendo a los criterios seleccionados, la concentración de clorofila *a* ha clasificado el embalse como oligotrófico y la transparencia como mesotrófico. Combinando todos los indicadores, el estado trófico final para el embalse de Ribarroja ha resultado ser **OLIGOTRÓFICO**.

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 ($\mu\text{g/L}$)	2,40	1,00	1,00	Bueno o superior
INDICADOR BIOLÓGICO				2		BUENO O SUPERIOR	
Indicador	Elementos	Indicador	Valor			PE	
Fisicoquímico	Transparencia	Disco de Secchi (m)	2,96			Moderado	
INDICADOR FISICOQUÍMICO				3		MODERADO	
POTENCIAL ECOLÓGICO				MODERADO			
ESTADO FINAL				INFERIOR A BUENO			

De acuerdo con los resultados obtenidos, el Estado Final del embalse de Ribarroja para el año 1996 es de nivel 3, **INFERIOR A BUENO**.