

---

Diciembre de 2003

---

---

## SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS EN EMBALSES DE ZONAS SENSIBLES

---

*EMBALSE DE EBRO*

---

**ÍNDICE**

	<u>Página</u>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EMBALSE Y DE LA CUENCA VERTIENTE</b>	<b>1</b>
2.1. Características morfométricas e hidrológicas	1
<b>3. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS</b>	<b>4</b>
<b>4. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL</b>	<b>4</b>
4.1. Características físico-químicas de las aguas	4
4.2. Hidroquímica del embalse	6
4.3. Concentración de pigmentos fotosintetizadores y productores primarios	8
4.3.1. Calidad bioindicadora	9
<b>5. DIAGNÓSTICO DEL GRADO TRÓFICO</b>	<b>11</b>
<b>6. DEFINICIÓN DEL POTENCIAL ECOLÓGICO</b>	<b>12</b>
<b>ANEXO I: RESULTADOS FÍSICO QUÍMICOS</b>	
<b>REPORTAJE FOTOGRÁFICO</b>	

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente documento recoge los resultados de los trabajos realizados en el embalse de Ebro y la interpretación de los mismos, con una disposición temática similar para los 12 casos tratados, a efectos de proporcionar una referencia fija que facilite la consulta y explotación de la información contenida en ellos.

Los datos analíticos se integran en su apartado correspondiente y se presenta un texto conciso que permita una ágil y rápida consulta del documento. Al final del documento se presentan los datos físico-químicos (Anexo I), así como un reportaje fotográfico que refleja el estado del embalse en el momento del muestreo.

En apartados sucesivos se comentan los siguientes aspectos:

- Resultados del estudio en el embalse (FASE DE CARACTERIZACIÓN) de todos los aspectos tratados (hidráulicos, físico-químicos y biológicos), que culminan en el diagnóstico del grado trófico.
- Aproximación a la definición del "*Potencial Ecológico*", tras la aplicación de indicadores biológicos, físico-químicos e hidromorfológicos propuestos en la Directiva Marco de Aguas.

## 2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EMBALSE Y DE LA CUENCA VERTIENTE

### 2.1. Características morfométricas e hidrológicas

El embalse de Ebro, cuya presa fue terminada en 1.945, se sitúa en la localidad de Arroyo, pedanía del término municipal de Las Rozas (Cantabria). Regula, principalmente, las aguas del río Ebro, aunque también las de otros ríos y arroyos de menor entidad, entre los que destacan los ríos Virga y Nava, por margen izquierda y el río Población y el arroyo Lanchares, por margen izquierda. Cabe mencionar que el río Ebro, antes de su ingreso al embalse tan sólo recibe aportaciones, de cierta magnitud, del río Híjar.

---

Se trata de un embalse de amplias dimensiones, que se caracteriza por presentar una amplia extensión de agua en dirección este de la presa, que anega terrenos de la provincia de Burgos. Otra característica reseñable del embalse es la escasa profundidad que presenta.

Las aguas del embalse se destinan principalmente al riego, previo suministro de éstas a los canales de Lodosa, Imperial y Tauste. También se destinan a la producción hidroeléctrica mediante una central instalada a pie de presa. A su vez, en el embalse se realizan actividades recreativas (pesca y navegación principalmente).

La cuenca vertiente al embalse de Ebro tiene una superficie total de 46.600 ha, de las cuales 17.827 ha corresponden a la cuenca de escorrentía directa.

El embalse tiene una extensión de 6.253 ha en su máximo nivel normal, una capacidad total de 540 hm<sup>3</sup>. Tiene una profundidad media de 8,6 m, mientras que la profundidad máxima alcanza los 24 m. En fechas próximas al muestreo el embalse se encontraba al 37% de su capacidad total. En el *cuadro 1* se presentan las características morfométricas del embalse y de las subcuencas.

**Cuadro 1: Características morfométricas del embalse y subcuencas**

Superficie de la cuenca total (ha)	46.600
Superficie de la cuenca parcial (ha)	46.600
Superficie de la subcuenca de escorrentía (ha)	17.827
Superficie del embalse (ha)	6.253
Longitud máxima del embalse (km)	21
Capacidad total (hm <sup>3</sup> )	540
Capacidad útil (hm <sup>3</sup> )	540
Profundidad máxima (m)	24
Profundidad media (m)	8,6
Perímetro en máximo nivel (km)	120
Cota máximo nivel embalsado (msnm)	838
Cota(s) de la toma(s) de agua principal(es) (msnm)	836,6; 831; 826; 822,5; 821; 819,5

El día de la realización de los trabajos de campo se aprecia una moderada termoclina situada a 5 m de profundidad. Por su parte la capa fótica ronda los 3 metros de espesor.

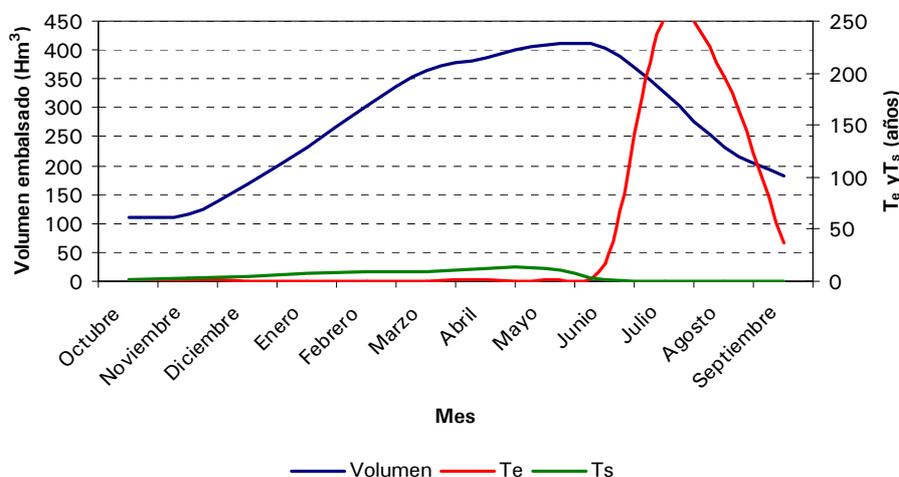
En el *cuadro II* se presentan las medias mensuales de la explotación hidráulica correspondiente al año hidrológico 2002-2003.

**Cuadro II: Parámetros hidráulicos mensuales. Año hidrológico 2002-2003**

BALANCE HIDRÁULICO MENSUAL					
Periodo 2002-2003	Volumen Hm <sup>3</sup>	Salidas totales Hm <sup>3</sup>	Entradas totales Hm <sup>3</sup>	Ts años	Te años
Octubre	109,50	6,30	10,10	1,48	0,92
Noviembre	116,25	2,80	11,90	3,41	0,80
Diciembre	168,00	3,20	91,10	4,46	0,16
Enero	231,25	2,60	40,60	7,55	0,48
Febrero	303,25	2,60	80,90	8,95	0,29
Marzo	363,40	3,20	51,10	9,65	0,60
Abril	386,50	2,70	26,70	11,77	1,19
Mayo	408,50	2,80	18,90	12,39	1,84
Junio	404,20	31,70	1,90	1,05	17,49
Julio	326,25	93,80	0,00	0,30	∞
Agosto	230,75	90,60	0,10	0,22	195,98
Septiembre	182,00	20,30	0,40	0,74	37,40
<b>Total anual</b>	<b>269,15</b>	<b>262,60</b>	<b>333,70</b>	<b>1,02</b>	<b>0,81</b>

El tiempo de residencia del agua es alto, entre 9 meses y un año. En ambos casos y considerando las entradas, el mínimo se obtiene en el mes de enero (0,16 años) y el máximo, de carácter esporádico, en el mes de julio (en torno a los 196 años).

**Figura 1: Volumen embalsado y tiempo de retención del agua**



### 3. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

En el embalse se han establecido dos estaciones de muestreo para cubrir la heterogeneidad espacial de la masa de agua: una ubicada en las inmediaciones de la presa (E1) y otra en el brazo formado por el río Ebro (E2) (*ver Figura 2*).

### 4. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

#### 4.1. Características físico-químicas de las aguas

Los resultados físico-químicos de la campaña de muestreo realizada el día 25/8/2003 se presentan en el Anexo I. Del comportamiento observado se desprenden las siguientes apreciaciones:

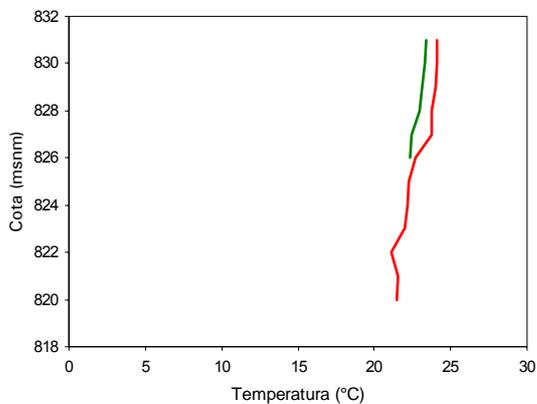
- La temperatura del agua es moderada-alta, oscilando entre los 24°C en superficie y los 21,4°C en fondo. Aunque no existe un marcado gradiente térmico entre la temperatura de fondo y la superficial, a 5 metros de profundidad se detecta una leve termoclina. La estación E2 se encuentra totalmente mezclada.
- El pH del agua es ligeramente básico en todo el embalse, registrándose el máximo valor en la estación E2 (9,42 ud) a 2 metros de profundidad. El mínimo (7,51 ud) se registra en los estratos más profundos de la estación E1.
- La transparencia del agua es baja, alcanzando 1,5 m en la estación E1, lo que supone una profundidad de la capa fótica aproximada de 3 m. Valores que se corresponden con la alta turbidez que presenta el embalse, que oscilan entre los 12 NTU -mínimo superficial en E1- y los 36 N.T.U -máximo profundo en E2-.
- Las condiciones de oxigenación de la columna de agua son aceptables, encontrándose toda la columna de agua bien oxigenada. El registro mínimo (3,5 mg O<sub>2</sub>/l) se obtiene en la estación E1, en el último metro de profundidad. En términos generales, las buenas condiciones de oxigenación del embalse se asocian con las condiciones morfológicas del embalse –escaso calado, y a que la mayor parte de la masa de agua se encuentra expuesta a la acción del viento durante todo el año.
- La conductividad de las aguas es moderada y oscila entre los 212 -mínimo- y 251  $\mu$ S/cm –máximo-. Los valores se encuentran dentro de los valores históricos de este ámbito.



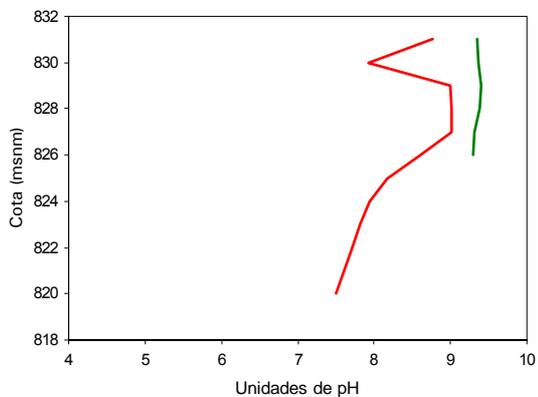
Figura 2: Localización de las estaciones de muestreo en el embalse del Ebro

**Figura 3: Perfiles físico-químicos del embalse**

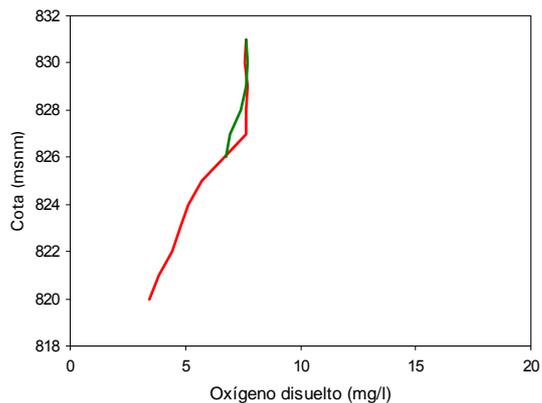
**Perfil de temperatura**



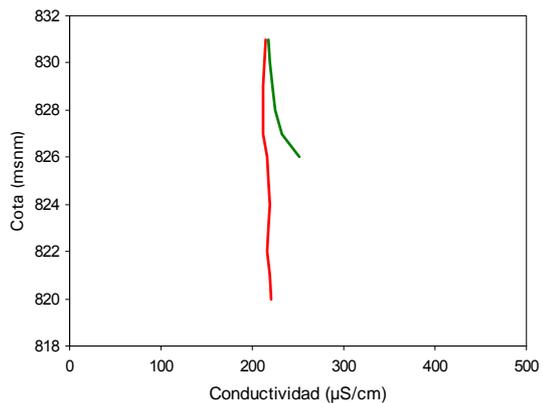
**Perfil de pH**



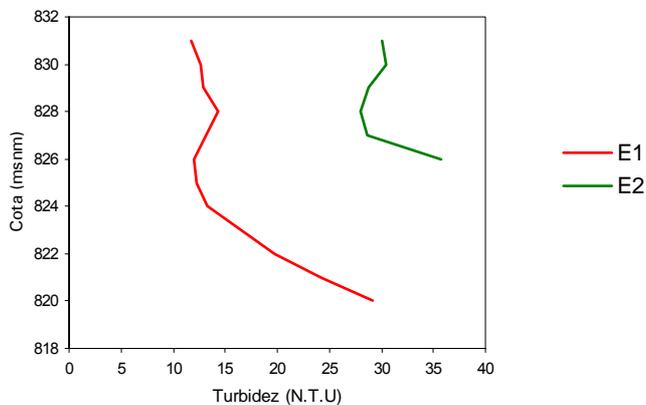
**Perfil de oxígeno disuelto**



**Perfil de conductividad**



**Perfil de turbidez**



#### 4.2. Hidroquímica del embalse

- Las concentraciones de nutrientes son altas y se encuentran dentro de los rangos conocidos para el embalse. El máximo de fósforo total, 0,05 mg P/l, se obtiene a media profundidad (5 m), mientras que el de fosfatos se registra en el fondo (0,014 mg P/l). De los compuestos nitrogenados destacan las concentraciones de nitritos que superan el umbral establecido para vida piscícola de tipo ciprinícolas ( $\leq 0,03$  mg NO<sub>2</sub>/l). Por otra parte, el amonio total es el componente predominante del nitrógeno inorgánico (48%), mientras que la proporción de nitritos (13%) es elevada.
- Las concentraciones de hierro y manganeso disueltos en fondo (0,036 mg Fe/l y 0,07 mg Mn/l) rebasan ligeramente la calidad del agua para producción de agua potable tipo A1, mientras que el resto de metales evaluados (cobre y zinc disueltos) se encuentran por debajo de sus correspondientes umbrales para los requerimientos de calidad A1.
- El contenido de materia orgánica obtenido en superficie es moderado, con unos valores de 3 y 20 mg O<sub>2</sub>/l para la DBO<sub>5</sub> y DQO.
- Las aguas embalsadas son moderadamente mineralizadas y la concentración de calcio (34,4 mg Ca/l) se sitúa en el rango habitual en el embalse.

Cuadro III: *Resultados químicos*

<i>EMBALSE:</i>	EBRO	<i>CÓDIGO:</i>	EB	
<i>CAMPAÑA:</i>	1	<i>FECHA:</i>	25/08/2003	
<i>COTA MÁXIMA:</i>	831	<i>NIVEL:</i>	827	
<i>CÓDIGO DEL PUNTO DE MUESTREO</i>				
<i>PARÁMETRO</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>E1S</i>	<i>E1M</i>	<i>E1F</i>
PROFUNDIDAD	m	0-3	5	10
COTA	msnm	831-828	822	817
SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	mg/l	6,7		
ALCALINIDAD TOTAL	mg CO <sub>3</sub> Ca/l	64,7		
DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /l	3,0		
DQO	mg O <sub>2</sub> /l	20,0		
FÓSFORO TOTAL	mg P/l	0,040	0,050	0,016
FOSFATOS	mg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /l	0,031	0,031	0,042
FOSFATOS	mg P/l	0,010	0,010	0,014
NITRÓGENO KJELDAHL	mg N/l	0,89	1,08	0,82
AMONIO TOTAL	mg NH <sub>4</sub> /l	0,03	0,03	0,16
AMONIO TOTAL	mg N/l	0,02	0,02	0,13
NITRÓGENO ORGÁNICO	mg N/l	0,87	1,06	0,70
NITRATOS	mg NO <sub>3</sub> /l	0,10	0,25	0,27
NITRATOS	mg N/l	0,02	0,06	0,06
NITRITOS	mg NO <sub>2</sub> /l	0,054	0,038	0,065
NITRITOS	mg N/l	0,016	0,012	0,020
N INORGÁNICO	mg N/l	0,06	0,09	0,21
CALCIO	mg Ca/l	34,4		
MAGNESIO DISUELTO	mg Mg/l	4,3		
SODIO	mg Na/l	5,9		
POTASIO	mg K/l	1,9		
CLORUROS	mg Cl/l	9,4		
SULFATOS	mg SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> /l	16,6		
HIERRO DISUELTO	mg Fe/l			0,36
MANGANESO DISUELTO	mg Mn/l			0,07
COBRE DISUELTO	mg Cu/l			<0,024
ZINC DISUELTO	mg Zn/l			<0,018
SÍLICE	mg SiO <sub>2</sub> /l	0,6		
CLOROFILA a	µg/l	20,4		

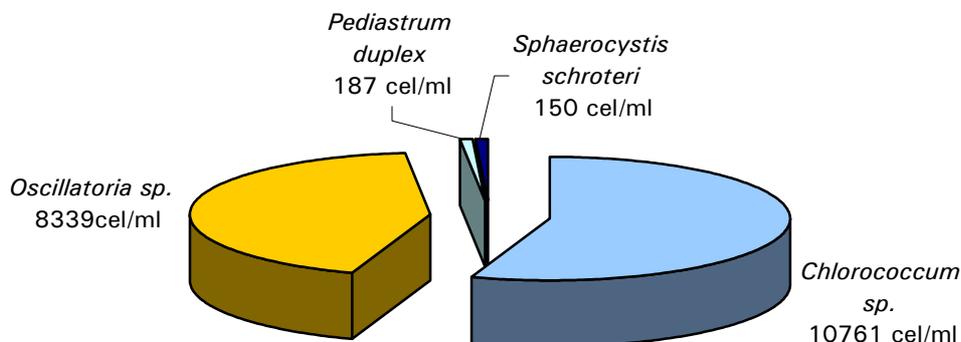
### 4.3. Concentración de pigmentos fotosintetizadores y productores primarios

El análisis cuantitativo de la muestra recogida en Ebro, ha dado como resultado la identificación de un total de 25 especies, distribuidas entre los siguientes grupos taxonómicos:

- ◆ 3 bacilarofíceas
- ◆ 12 clorofíceas
- ◆ 3 cianobacterias
- ◆ 3 dinofíceas
- ◆ 2 euglenofíceas
- ◆ 2 criptofíceas

En el gráfico siguiente se presenta la densidad poblacional de las especies más representativas:

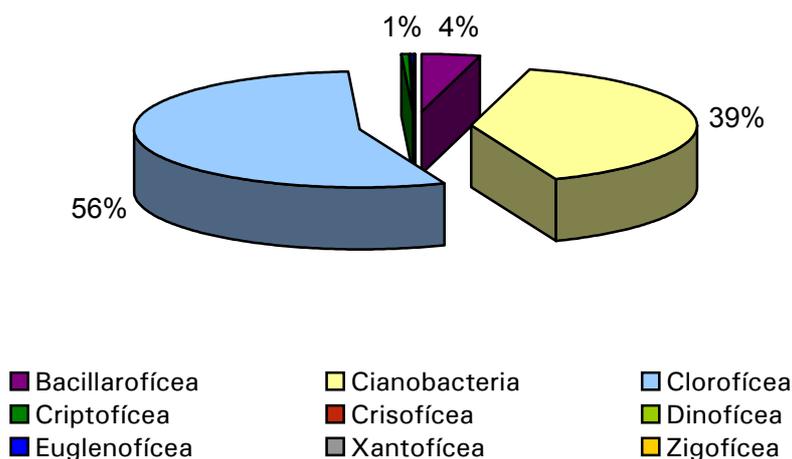
**Figura 4:** Distribución de densidad (cel/ml) entre las especies más representativas.



En el embalse de Ebro se registra una densidad fitoplanctónica muy elevada –21.130 cel/ml-. Los dos grupos dominantes que representan el 95% de la población son las clorofíceas y las cianobacterias. Dentro de las clorofíceas la especie de pequeño tamaño (de 5 a 10  $\mu\text{m}$ ) *Chlorococcum sp.* domina la comunidad algal. La cianobacteria *Oscillatoria sp.* presenta también una elevada densidad que la establece como principal especie acompañante. El resto de las especies identificadas tienen una reducida

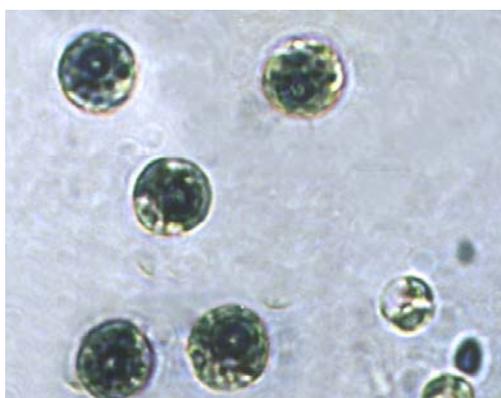
densidad relativa, si bien habría que destacar la presencia de la clorofícea *Pediastrum duplex* por su valor indicador de eutrofia. La fuerte dominancia de *Chlorococcum sp.* contribuye a un reducido valor del índice de diversidad de especies Shannon-Weaver – 1,65 bits-.

**Figura 5: Distribución de la comunidad algal por clases taxonómicas**



#### 4.3.1. Calidad bioindicadora

La asociación fitoplanctónica del embalse de Ebro se caracteriza por la clorofícea *Chlorococcum sp.* y la cianobacteria *Oscillatoria sp.*; la primera especie es considerada por Reynolds como nanoplancton eutrófico y la segunda es común en medios eutróficos a finales del estío. Atendiendo a la información reportada por los parámetros biológicos -elevada densidad (21.130 cel/ml) y altos valores de clorofila *a* (20,4 µg/l)- el diagnóstico para la calidad del agua correspondería a un medio de carácter eutrófico.



*Chlorococcum sp.*

Cuadro IV: *Resultados biológicos*

<b>EMBALSE:</b>	<b>EBRO</b>	<b>CÓDIGO:</b>	<b>EB</b>
<b>CAMPAÑA:</b>	<b>1</b>	<b>FECHA:</b>	<b>25/08/2003</b>
<b>COTAMAX:</b>	<b>838</b>	<b>D. SECCHI:</b>	<b>1,50</b>
<b>NIVEL:</b>	<b>831</b>	<b>C.FÓTICA:</b>	<b>2,55</b>
<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CÓDIGO DEL PUNTO DE MUESTREO</b>	
		<b>E1S</b>	
<b>PROFUNDIDAD</b>	<b>m</b>	<b>0,5-3</b>	
<b>COTA</b>	<b>msnm</b>	<b>837,5-828</b>	
<b>CLOROFILA a</b>	<b>µg/l</b>	<b>20,40</b>	
Individuos totales	n° cel/ml	21.130	
Diversidad (H)	Bits	1,65	
Clase BACILLARIOFICEA	n° cel/ml	908	
Grupo CIANOBACTERIA	n° cel/ml	8.345	
Clase CLOROFICEA	n° cel/ml	11.718	
Clase CRIFTOFICEA	n° cel/ml	112	
Clase CRISOFICEA	n° cel/ml	0	
Clase DINOVICEA	n° cel/ml	14	
Clase EUGLENOVICEA	n° cel/ml	33	
Clase XANTOFICEA	n° cel/ml	0	
Clase ZIGOFICEA	n° cel/ml	0	
<b>ESPECIES</b>	<b>TAXÓN</b>	<b>n° cel/ml</b>	
<i>Aulacoseira italica</i>	Bacillariofícea	94	
<i>Cyclotella sp.</i>	Bacillariofícea	811	
<i>Nitzschia acicularis</i>	Bacillariofícea	3	
<i>Anabaena sp.</i>	Cianobacteria	5	
<i>Aphanizomenon gracile</i>	Cianobacteria	1	
<i>Oscillatoria sp.</i>	Cianobacteria	8.339	
<i>Ankistrodesmus mucicola</i>	Clorofícea	12	
<i>Chlamydomonas sp.</i>	Clorofícea	96	
<i>Chlorococcum sp.</i>	Clorofícea	10.761	
<i>Coelastrum microporum</i>	Clorofícea	36	
<i>Crucigeniella crucifera</i>	Clorofícea	37	
<i>Oocystis lacustris</i>	Clorofícea	140	
<i>Oocystis sp.</i>	Clorofícea	170	
<i>Pediastrum boryanum</i>	Clorofícea	19	
<i>Pediastrum duplex</i>	Clorofícea	187	
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	Clorofícea	94	
<i>Sphaerocystis Schroeteri</i>	Clorofícea	150	
<i>Tetraedron minimum</i>	Clorofícea	16	
<i>Cryptomonas erosa</i>	Criptofícea	7	
<i>Cryptomonas sp.</i>	Criptofícea	5	
<i>Rhodomonas minuta</i>	Criptofícea	100	
<i>Gymnodinium sp.</i>	Dinofícea	1	
<i>Peridinium sp.</i>	Dinofícea	13	
<i>Strombomonas verrucosa</i>	Euglenofícea	2	
<i>Trachelomonas sp.</i>	Euglenofícea	31	

## 5. DIAGNÓSTICO DEL GRADO TRÓFICO

En función de la variedad de índices que se plasma en el *cuadro V*, se puede catalogar al embalse de Ebro, como **eutrófico**.

Atendiendo a criterios de la OCDE el parámetro causal básico (PT) y el de respuesta (clorofila *a*) se encuentran en altas concentraciones y determinan al embalse como eutrófico. Situación reforzada por el alto número de células algales (21.130 cel/ml) determinadas en el embalse. Por otro lado, el máximo rango, hipereutrofia, se obtiene con la transparencia (considerada como media anual), no obstante éste parámetro sobreestima el grado trófico del embalse, ya que la baja transparencia se debe, en gran medida, a sólidos inorgánicos en suspensión.

**Cuadro V: Catalogación del grado trófico del embalse según los diferentes índices**

Índice	Definición criterio	Rango	Agosto 2.003	
			Valor	Grado Trófico
EPA (1976)	<i>PT (ug/l); media anual</i>	< 10-MESO-20 >	35	<b>EUTRÓFICO</b>
EPA (Weber, 1976)	<i>Nº células algales/ml</i>	< 2000-MESO-15000 >	21.130	<b>EUTRÓFICO</b>
EPA (Weber, 1976)	<i>Clorofila (ug/l); máx. fót.</i>	< 3-MESO-20 >	20,4	<b>EUTRÓFICO</b>
Lee, Jones & Rast (1978)	<i>Clorofila (ug/l); media anual</i>	< 2,1- 3 - 6,7 -10 >	20,4	<b>EUTRÓFICO</b>
Lee, Jones & Rast (1978)	<i>PT (ug/l); media anual</i>	< 8- 12 - 28 -40 >	35	<b>MESO-EUTRÓF.</b>
Lee, Jones & Rast (1978)	<i>SDT (m); media anual</i>	< 1,8- 2,4 - 3,8 -4,6 >	1,1	<b>EUTRÓFICO</b>
Margalef (1983)	<i>Nº células algales/ml</i>	5000 (lím. eut.avan.-mod.)	21.130	<b>E. AVANZADA</b>
Margalef (1983)	<i>Clorofila (ug/l); anual fót.</i>	5 (lím. eut.avan.-mod.)	20,4	<b>E. AVANZADA</b>
Margalef (1983)	<i>PT (ug/l); media anual</i>	15 (lím. eut.avan.-mod.)	35	<b>E. AVANZADA</b>
Margalef (1983)	<i>NO<sub>3</sub>-N (ug/l); media anual</i>	140 (lím. eut.avan.-mod.)	46	<b>E. MODERADA</b>
Margalef (1983)	<i>SDT (m); media anual</i>	3 (lím. eut.avan.-mod.)	1,1	<b>E. AVANZADA</b>
OCDE (1980)	<i>Clorofila (ug/l); anual fót.</i>	< 1; < 2.5; 2.5-8; 8-25; > 25	20,4	<b>EUTRÓFICO</b>
OCDE (1980)	<i>Clorofila (ug/l); máx. anual</i>	< 2.5; < 8; 8-25; 25-75; > 75	20,4	<b>MESOTRÓFICO</b>
OCDE (1980)	<i>PT (ug/l); media anual</i>	Uol. < 4-10-35-100 > Heu.	35	<b>EUTRÓFICO</b>
OCDE (1980)	<i>SDT (m); media anual</i>	> 12; > 6;; 6-3; 3-1.5; < 1.5	1,1	<b>HIPEREUT.</b>
OCDE (1980)	<i>SDT (m); mínimo anual</i>	> 6; > 3; 3-1.5; 1.5-0.7; < 0.7	0,8	<b>EUTRÓFICO</b>
TSI (Carlson, 1974): DST	<i>TSI = 10(6-log<sub>2</sub>(DST))</i>	Uol. < 20-40-60-80 > Heu.	58	<b>MESOTRÓFICO</b>
TSI (Carlson, 1974): CLA	<i>10(6-log<sub>2</sub> 7,7(1/Cl<sup>a</sup>^0,68))</i>	Uol. < 20-40-60-80 > Heu.	60	<b>EUTRÓFICO</b>
TSI (Carlson, 1974): PT	<i>TSI = 10(6-log<sub>2</sub>(54,9/PT))</i>	Uol. < 20-40-60-80 > Heu.	54	<b>MESOTRÓFICO</b>

## 6. DEFINICIÓN DEL POTENCIAL ECOLÓGICO

Se ha establecido la clasificación del potencial ecológico teniendo en cuenta los indicadores biológicos, físico-químicos e hidromorfológicos incluidos en el Anexo V de la Directiva Marco. Sobre el total de elementos propuestos -ver justificación en la Memoria del Estudio-, se han utilizado los que se presentan en la siguiente tabla.

<b>Indicadores biológicos</b>
Densidad algal, media anual (cel/ml)
Biomasa algal, Cla a ( $\mu\text{g/l}$ ); anual capa fótica
Biomasa algal, Cla a ( $\mu\text{g/l}$ ); máx anual
Cianofíceas tóxicas; máx anual (cel/ml)
<b>Indicadores físico-químicos</b>
Transparencia (SDT; media anual en m)
Transparencia (SDT; mínimo anual en m)
Condiciones de oxigenación en el hipolimnion (mg/l)
Concentración de PT: media anual ( $\mu\text{g/l}$ )
<b>Indicadores hidromorfológicos</b>
Variación de volumen (%)

Atendiendo a estos indicadores, el potencial ecológico definido expresa de forma integrada la diferencia existente entre los valores de los indicadores biológicos, hidromorfológicos y físico-químicos evaluados, frente a los valores que, para estos mismos indicadores, se han establecido en las condiciones de referencia.

La asignación global del potencial ecológico se ha realizado teniendo en cuenta la **categoría más baja** (Anexo V de la DMA) obtenida para los distintos grupos de indicadores, con la salvedad de aquellas situaciones en las que matizaciones justificadas permiten decantarse hacia una categoría de mayor calidad.

Las distintas fases seguidas en la categorización se sintetizan en los *cuadros VI y VII*. En el primero se presentan los umbrales de referencias empleados para la valoración de

los distintos elementos considerados; para en el segundo plasmar, mediante un código de colores, la categoría en la que se encuadra un determinado indicador.

**Cuadro VI: Condiciones de referencia empleados en la asignación del potencial ecológico**

Indicadores biológicos	Referencia	CLASES DEL POTENCIAL ECOLÓGICO			
		Óptimo	Bueno	Aceptable	Deficiente /Malo
Densidad algal, media anual (cel/ml)	EPA ,1976 Margalef,1983	< 5000	5000-15.000	> 15.000	> 15.000
Biomasa algal, Cla a (µg/l); anual capa fótica	OCDE, 1982	< 2,5	2,5-8	8-25	> 25
Biomasa algal, Cla a (µg/l); máx anual	OCDE, 1982	< 8	8-25	25-75	> 75
Cianofíceas tóxicas; máx anual (cel/ml)	OMS/WHO	< 10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup> -10 <sup>5</sup>	10 <sup>5</sup> - 10 <sup>6</sup>	> 10 <sup>6</sup>
<b>Indicadores físico-químicos</b>					
Transparencia (SDT; media anual en m)	OCDE, 1982	> 6	6-3	3-1,5	< 1,5
Transparencia (SDT; mínimo anual en m)	OCDE, 1982	> 3	3-1,5	1,5-0,7	< 0,7
Condiciones de oxigenación en hipolimnion (mg/l)	JRC, 1992	> 6	6-4	4-2	< 2
Concentración de PT: media anual (µg/l)	OCDE, 1982	< 10	10-35	35-100	> 100
<b>Indicadores hidromorfológicos</b>					
Variación de volumen (%)	WRC, 1996	> 95	95-80	80-60	< 60

**Cuadro VII: Potencial ecológico del embalse según los distintos indicadores**

Indicadores biológicos	Valor	CLASES DEL POTENCIAL ECOLÓGICO			
		Óptimo	Bueno	Aceptable	Deficiente/malo
Densidad algal, media anual (cel/ml)	21.130			> 15.000	
Biomasa algal, Cla a (µg/l); anual capa fótica	20,4			8-25	
Biomasa algal, Cla a (µg/l); máx anual	20,4		8-25		
Cianofíceas tóxicas; máx anual (cel/ml)	6	< 10 <sup>4</sup>			
<b>Indicadores físico-químicos</b>					
Transparencia (SDT; media anual en m)	1,1				< 1,5
Transparencia (SDT; mínimo anual en m)	0,75			1,5-0,7	
Condiciones de oxigenación en hipolimnion (mg/l)	4,57		6-4		
Concentración de PT: media anual (µg/l)	35			35-100	
<b>Indicadores hidromorfológicos</b>					
Variación de volumen (%)	50%				< 60

En definitiva, el potencial ecológico del embalse de Ebro se establece como **ACEPTABLE**, principalmente por los niveles de nutrientes detectados y la alta densidad algal que ha presentado el embalse. Se ha descartado la valoración obtenida con la transparencia por encontrarse altamente condicionada por los sólidos inorgánicos, que se resuspenden del fondo por la acción del viento, fenómeno meteorológico prácticamente constante durante todo el año. Por otro lado, los indicadores hidromorfológicos ponen de manifiesto las elevadas fluctuaciones de nivel a las que se encuentra sometido al sistema, mucho más acusadas en el periodo estival (julio, agosto y septiembre).

**ANEXO I: RESULTADOS FÍSICO QUÍMICOS**

**EMBALSE:** EBRO (EB) **CAMPAÑA:** 1  
**COT. MAX:** 838 **NIVEL:** 831

Estación: E1 Profundidad: 11  
 Fecha: 25/08/2003 Hora: 16:30  
 Disco Secchi (m): 1,5 Capa fótica (m): 2,6

Prof. m.	Cota msnm	Temp °C	pH unid	OD mg/l	OD % sat.	Cond. µS/cm	Redox mV	T.D.S. mg/l	Turbidez N.T.U.
0	831	24,10	8,76	7,64	88,50	215	210	137	11,8
1	830	24,14	7,93	7,60	88,11	213	205	136	12,7
2	829	24,02	9,00	7,68	88,84	212	204	136	12,9
3	828	23,78	9,01	7,66	88,21	212	204	136	14,3
4	827	23,77	9,01	7,63	87,85	212	204	136	13,1
5	826	22,68	8,61	6,68	75,35	216	210	138	12,0
6	825	22,30	8,17	5,70	63,83	217	216	139	12,3
7	824	22,16	7,94	5,16	57,63	219	220	140	13,3
8	823	22,00	7,82	4,78	53,23	218	223	140	16,5
9	822	21,13	7,71	4,46	48,83	216	225	138	19,8
10	821	21,57	7,61	3,85	42,52	219	227	140	24,3
11	820	21,45	7,51	3,46	38,13	220	229	141	29,2

**EMBALSE:** EBRO **CAMPAÑA:** 1  
**COT. MAX:** 838 **NIVEL:** 831

Estación: E2 Profundidad: 41,4  
 Fecha: 25/08/2003 Hora: 17:30  
 Disco Secchi (m): 0,75 Capa fótica (m): 1,3

Prof. m.	Cota msnm	Temp °C	pH unid	OD mg/l	OD % sat.	Cond. µS/cm	Redox mV	T.D.S. mg/l	Turbidez N.T.U.
0	831	23,36	9,35	7,62	87,06	217	207	139	30,0
1	830	23,31	9,36	7,67	87,55	219	206	140	30,4
2	829	23,18	9,41	7,63	86,88	222	206	142	28,8
3	828	22,98	9,39	7,42	84,17	225	206	144	28,0
4	827	22,44	9,32	6,95	78,04	232	207	149	28,6
5	826	22,37	9,29	6,76	75,81	251	208	159	35,8

**REPORTAJE FOTOGRÁFICO**



*Panorámica del embalse desde el punto de acceso utilizado*



*Detalle de las espumas orgánicas que se forman en el embalse por efecto del oleaje.*

## ADICIONAL INFORME EMBALSE DEL EBRO 2003

Durante el año 2022 se han revisado los datos del embalse del Ebro recopilados durante el año 2003, 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 ( $\text{n}^\circ$  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 ( $\mu\text{g}$ )	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	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>	<b>Criptófitos</b>	<i>Cia</i>	<b>Cianobacterias</b>
<i>Cc</i>	<b>Crisófitos coloniales</b>	<i>D</i>	<b>Dinoflageladas</b>
<i>Dc</i>	<b>Diatomeas coloniales</b>	<i>Cnc</i>	<b>Crisófitos no coloniales</b>
<i>Chc</i>	<b>Clorococales coloniales</b>	<i>Chnc</i>	<b>Clorococales no coloniales</b>
<i>Vc</i>	<b>Volvocales coloniales</b>	<i>Dnc</i>	<b>Diatomeas no coloniales</b>

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 <i>Tipos 1, 2 y 3</i>	> 0,974	0,973 – 0,649	0,648 – 0,325	< 0,325
Rango <i>Tipos 7, 8, 9, 10 y 11</i>	> 0,982	0,981 – 0,655	0,654 – 0,327	< 0,327
Rango <i>Tipo 12</i>	> 0,929	0,928 – 0,619	0,618 – 0,31	< 0,31
Rango <i>Tipo 13</i>	> 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 <sub>CIA</sub>	Biovolumen de cianobacterias totales
	BVOL <sub>CHR</sub>	Biovolumen de Chroococcales
	BVOL <sub>MIC</sub>	Biovolumen de <i>Microcystis</i>
	BVOL <sub>WOR</sub>	Biovolumen de <i>Woronichinia</i>
	BVOL <sub>TOT</sub>	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<sub>trans</sub>). 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 <sup>3</sup>	2,00	0,211	0,14	0,07
			Biovolumen mm <sup>3</sup> /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 <sup>3</sup>	2,60	0,433	0,287	0,143
			Biovolumen mm <sup>3</sup> /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 <sup>3</sup>	2,60	0,433	0,287	0,143
			Biovolumen mm <sup>3</sup> /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 <sup>3</sup>	2,60	0,433	0,287	0,143
			Biovolumen mm <sup>3</sup> /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 <sup>3</sup>	2,60	0,433	0,287	0,143
			Biovolumen mm <sup>3</sup> /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 <sup>3</sup>	2,40	0,195	0,13	0,065
			Biovolumen mm <sup>3</sup> /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 <sup>3</sup>	2,10	0,304	0,203	0,101
			Biovolumen mm <sup>3</sup> /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 FISICOQUÍMICOS

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 <sub>2</sub> )	> 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 DEL EBRO

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
<b>VALOR PROMEDIO</b>	<b>&lt; 1,8</b>	<b>1,8 – 2,6</b>	<b>2,6 – 3,4</b>	<b>3,4 – 4,2</b>	<b>&gt; 4,2</b>

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 del Ebro.

INDICADOR	VALOR	ESTADO TRÓFICO
CONCENTRACIÓN P TOTAL	40,00	Eutrófico
DISCO SECCHI	1,50	Eutrófico
COLOROFILA a	20,40	Eutrófico
DENSIDAD ALGAL	21030	Eutrófico
<b>ESTADO TRÓFICO FINAL</b>	<b>4,00</b>	<b>EUTRÓFICO</b>

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 eutrófico y la densidad algal como eutrófico. Combinando todos los indicadores, el estado trófico final para el embalse del Ebro ha resultado ser **EUTRÓFICO**.

## DIAGNÓSTICO DEL ESTADO FINAL DEL EMBALSE DEL EBRO

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 <sup>3</sup> /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	
			<b>Bueno o superior</b>	<b>Moderado</b>	<b>Deficiente</b>	<b>Malo</b>	
<b>INDICADOR BIOLÓGICO</b>			<b>&gt; 0,6</b>	<b>0,4 - 0,6</b>	<b>0,2 - 0,4</b>	<b>&lt; 0,2</b>	
			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 <sub>2</sub> hipolimnética (mg O <sub>2</sub> /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
			<b>Muy bueno</b>	<b>Bueno</b>	<b>Moderado</b>		
<b>INDICADOR FISICOQUÍMICO</b>			<b>&lt; 1,6</b>	<b>1,6 – 2,4</b>	<b>&gt; 2,4</b>		

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 del Ebro.

Indicador	Elementos	Parámetro	Indicador	Valor	RCE	RCET	PE
Biológico	Fitoplancton	Biomasa	Clorofila a (µg/L)	20,40	0,13	0,18	Deficiente
<b>INDICADOR BIOLÓGICO</b>				<b>4</b>			<b>DEFICIENTE</b>
Indicador	Elementos	Indicador	Valor			PE	
Fisicoquímico	Transparencia	Disco de Secchi (m)	1,5			Moderado	
	Oxigenación	O <sub>2</sub> hipolimnética (mg O <sub>2</sub> /L)	7,50			Bueno	
	Nutrientes	Concentración de PT (µg P/L)	40,00			Moderado	
<b>INDICADOR FISICOQUÍMICO</b>				<b>3</b>			<b>MODERADO</b>
<b>POTENCIAL ECOLÓGICO</b>				<b>DEFICIENTE</b>			
<b>ESTADO FINAL</b>				<b>INFERIOR A BUENO</b>			

De acuerdo con los resultados obtenidos, el Estado Final del embalse del Ebro para el año 2003 es de nivel 3, **INFERIOR A BUENO**.