
Diciembre de 2003

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

EMBALSE DE CALANDA

ÍNDICE

	<u>Página</u>
1. INTRODUCCIÓN	1
2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EMBALSE Y DE LA CUENCA VERTIENTE	1
2.1. Características morfométricas e hidrológicas	1
3. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS	4
4. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL	4
4.1. Características físico-químicas de las aguas	4
4.2. Hidroquímica del embalse	7
4.3. Concentración de pigmentos fotosintetizadores y productores primarios	9
4.3.1. Calidad bioindicadora	10
5. DIAGNÓSTICO DEL GRADO TRÓFICO	12
6. DEFINICIÓN DEL POTENCIAL ECOLÓGICO	13
 ANEXO I: RESULTADOS FÍSICO QUÍMICOS	
REPORTAJE FOTOGRÁFICO	

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento recoge los resultados de los trabajos realizados en el embalse de Calanda 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 Calanda, cuya presa fue terminada en 1982, se sitúa en la localidad de del mismo nombre, en la provincia de Teruel. Regula las aguas de los ríos Bergantes y Guadalupe, así como las de barranqueras de carácter intermitente.

Se trata de un embalse de moderadas dimensiones, alargado y sinuoso, que en las inmediaciones de la presa presenta una amplia ensenada.

Las aguas del embalse se destinan principalmente al riego y la producción hidroeléctrica, así mismo, a través del canal alimentador de la Estanca de Alcañiz, se abastecen las poblaciones de Castellserás, Alcañiz y Calanda. Dentro de los usos recreativos destaca la pesca, ya que sus aguas están declaradas como trucheras en régimen especial y el embalse es coto deportivo de pesca. Además, se deriva agua para la central térmica de Andorra a través de una tubería subterránea.

La cuenca vertiente al embalse de Calanda tiene una superficie total de 274.000 ha, de los cuales, 43.330 ha pertenecen a su cuenca de escorrentía parcial. Aguas arriba del embalse se encuentran los embalses de Santolea y La Balma. El primero, instalado en el cauce del río Guadalupe, tiene una superficie de cuenca de 125.000 ha; y el segundo, con una superficie de 105.670 ha, regula las aguas del río Bergantes.

El embalse tiene una extensión de 312 ha en su máximo nivel normal y una capacidad total de 54,32 hm³, volumen que se corresponde con su capacidad útil. Tiene una profundidad media de 17,4 m, mientras que la profundidad máxima es de 53 m. En fechas próximas al muestreo el embalse se encontraba al 61 % de su capacidad total. En el *cuadro 1* se presentan las características morfométricas del embalse y de las subcuencas.

Cuadro I: Características morfométricas del embalse y subcuencas

Superficie de la cuenca total (ha)	274.000
Superficie de la cuenca parcial (ha)	43.330
Superficie de la subcuenca de escorrentía (ha)	6.909
Superficie del embalse (ha)	312
Longitud máxima del embalse (km)	10
Capacidad total (hm ³)	54,32
Capacidad útil (hm ³)	54,32
Profundidad máxima (m)	53
Profundidad media (m)	17,4
Perímetro en máximo nivel (km)	28
Cota máximo nivel embalsado (msnm)	440
Cota(s) de la toma(s) de agua principal(es) (msnm)	434,65;405,5;389,5

El día de la realización de los trabajos de campo no se detecta estratificación térmica, aunque se aprecia un débil gradiente térmico (0,69 °C/m) a 9 m de profundidad.

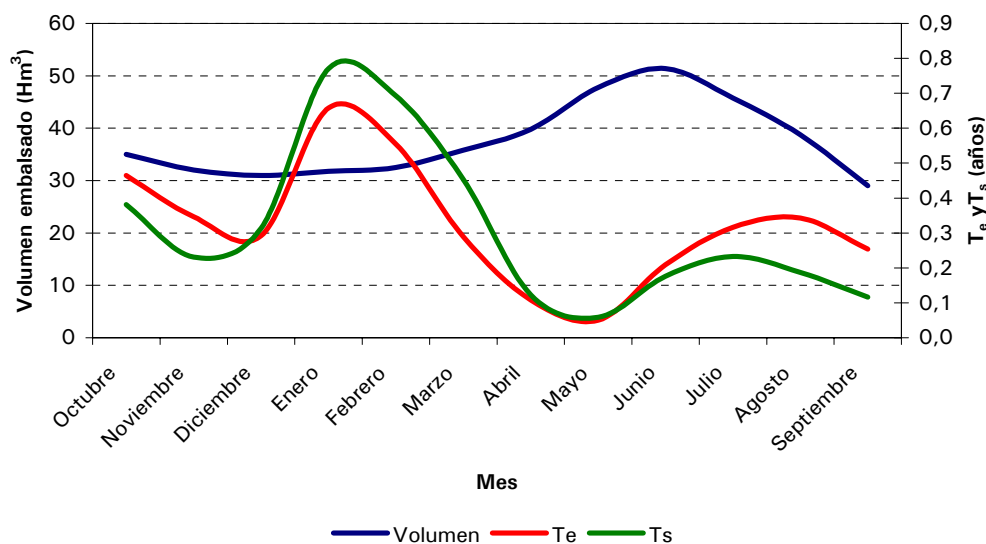
En el *cuadro II* se presentan las medias mensuales de la explotación hidráulica correspondiente al año hidrológico 2002-2003.

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

BALANCE HIDRÁULICO MENSUAL					
Periodo	Volumen	Salidas totales	Entradas Totales	Ts	Te
2002-2003	Hm³	Hm³	Hm³	años	años
Octubre	35,00	7,80	6,40	0,38	0,46
Noviembre	32,00	11,40	7,60	0,23	0,35
Diciembre	31,00	8,40	9,00	0,31	0,29
Enero	31,75	3,50	4,10	0,77	0,66
Febrero	32,50	3,60	4,50	0,69	0,55
Marzo	35,80	6,70	10,50	0,45	0,29
Abril	39,75	26,60	30,20	0,12	0,11
Mayo	47,75	69,30	80,70	0,06	0,05
Junio	51,40	24,00	20,20	0,18	0,21
Julio	45,75	16,70	12,30	0,23	0,32
Agosto	38,75	17,60	9,60	0,19	0,34
Septiembre	29,00	20,50	9,40	0,12	0,25
Total anual	37,54	216,10	204,50	0,17	0,18

El tiempo de residencia anual del agua es bajo, en torno a 2 meses. Los mínimos se obtienen en el mes de mayo –del orden de 22 días-; y los máximos en los meses invernales –enero y febrero-, situándose en este caso la tasa de renovación en torno a los 8 meses.

Figura 1: Volumen embalsado y tiempo de retención del agua



3. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

En el embalse se han fijado tres estaciones de muestreo para cubrir la heterogeneidad espacial de la masa de agua: una ubicada en las inmediaciones de la presa (**E1**), otra en la zona intermedia del embalse, aproximadamente a 2 km de presa (**E2**), y por último, una tercera (**E3**) ubicada en la cola del embalse (*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 03/9/2003 se presentan en el Anexo I. Del comportamiento observado se desprenden las siguientes apreciaciones:

- La temperatura del agua es moderada, oscilando entre los 23,5°C en superficie y los 16,4°C en fondo. El embalse no presenta estratificación térmica en la estación de presa (**E1**), aunque se aprecian dos ligeros gradientes térmicos -0,69 °C/m y 0,75 °C/m- a 9 y 27 metros de profundidad. El resto de estaciones mantienen la

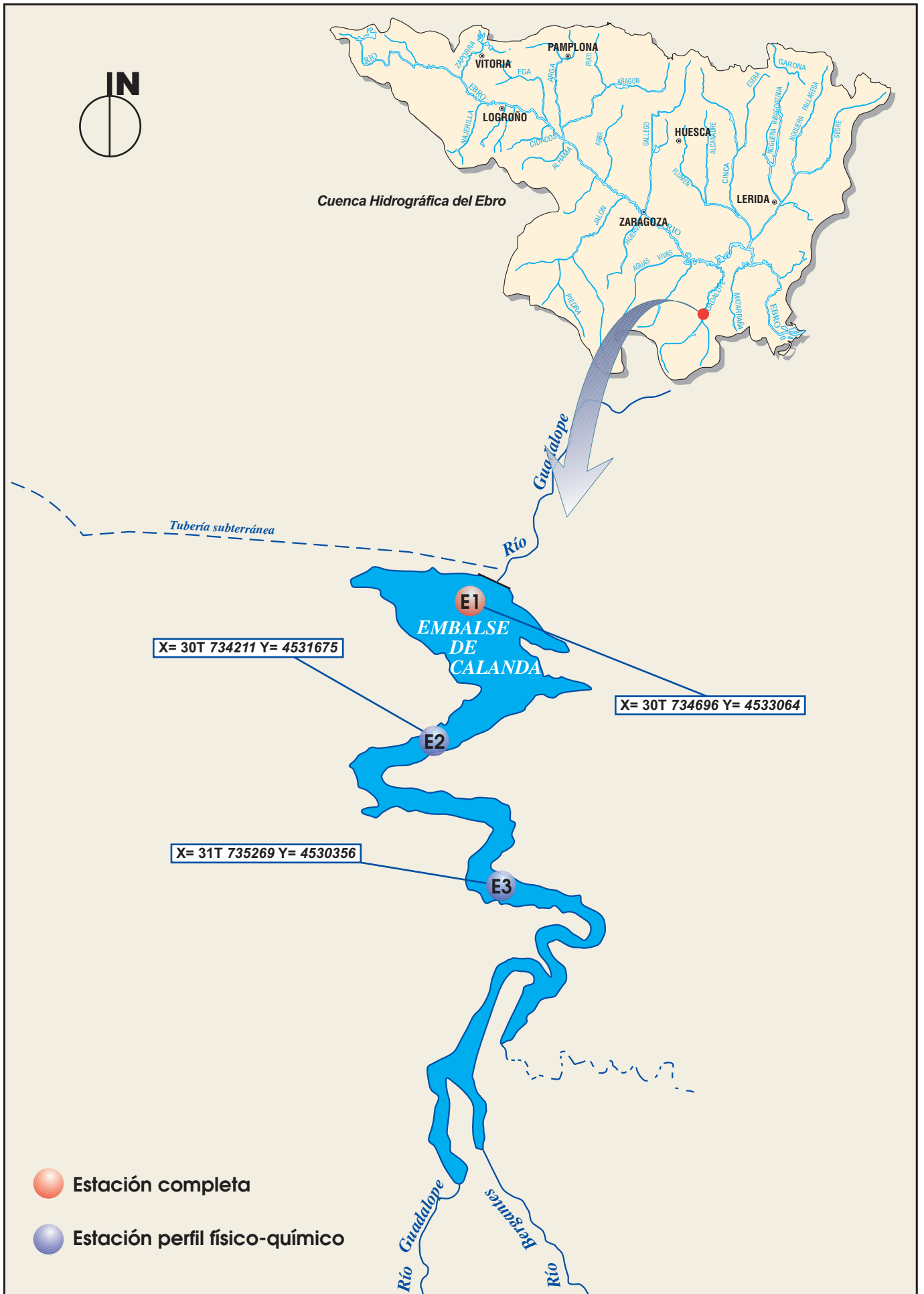


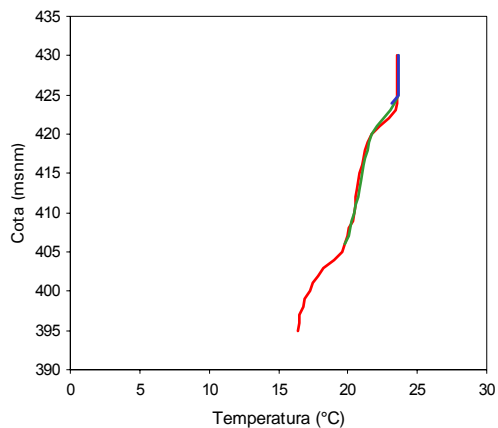
Figura 2: Localización de las estaciones de muestreo en el embalse de Calanda

misma pauta, lo que sugiere el inicio de la desestratificación térmica del embalse.

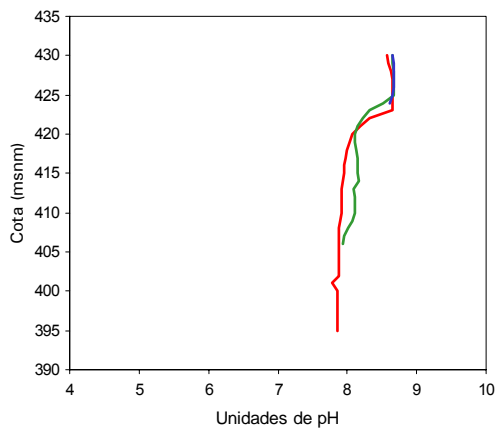
- El pH del agua es ligeramente básico en todo el embalse, registrándose el máximo valor en la estación E2 (8,67 ud) a 5 m de profundidad. El mínimo (7,85 ud) se registra en los estratos más profundos de la estación E1.
- La transparencia del agua es moderada, alcanzando los 2,19 m en la estación E1, lo que supone una profundidad de la capa fótica en torno a los 4 metros. La lectura de disco de Secchi disminuye progresivamente hacia la cola del embalse, registrándose el mínimo en la estación de cola con un valor de 0,84 m. Por su parte, la turbidez, también en rangos moderados, presenta sus valores más altos en la estación de cola, con un registro superficial de 10,7 N.T.U.
- Las condiciones de oxigenación en la estación más profunda (E1) son en términos generales deficitarias, ya que prácticamente la mitad de la columna de agua (46%), se encuentra en condiciones anóxicas ($< 1 \text{ mg/l O}_2$). No obstante, esta situación mejora considerablemente en el sentido cabecera-cola. La estación intermedia (E2) presenta dichas condiciones tan sólo en los 2 últimos metros de profundidad y la estación de cola (E3) muestra un registro prácticamente constante para toda la columna de agua, que se sitúa en torno a $6 \text{ mg O}_2/\text{l}$.
- La conductividad de las aguas es moderada-alta y oscila entre los 533, mínimo registrado en superficie, y $656 \mu\text{S}/\text{cm}$, máximo registrado a media profundidad. Los valores se encuentran dentro de los habituales en este ámbito.

Figura 3: Perfiles físico-químicos del embalse

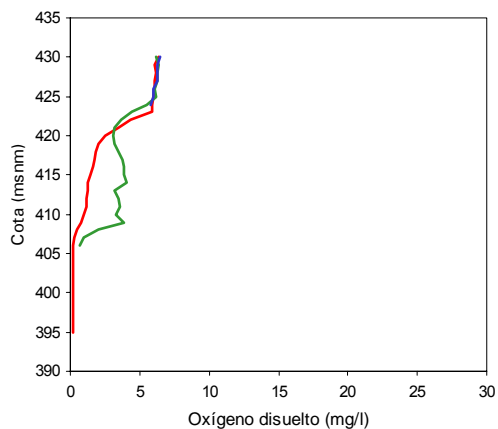
Perfil de temperatura



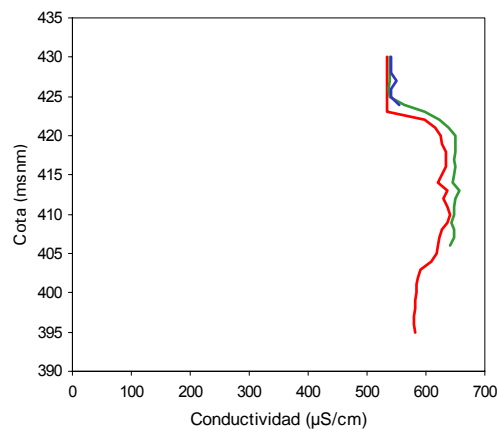
Perfil de pH



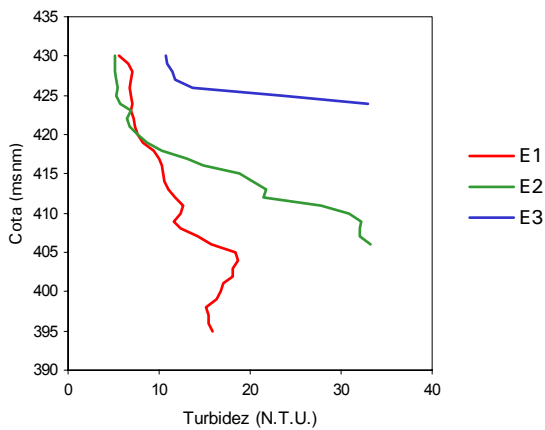
Perfil de oxígeno disuelto



Perfil de conductividad



Perfil de turbidez



4.2. Hidroquímica del embalse

- Las concentraciones de nutrientes son bajas y se encuentran dentro de los rangos conocidos para el embalse. Los niveles de fósforo total y fosfatos se sitúan entre los 0,005 y 0,017 mg P/l, respectivamente. En cuanto al NIT se refiere, la especie química mayoritaria son los nitratos que alcanzan el 86,96% del total.
- La concentración de manganeso en fondo (0,104 mg Mn/l) rebasa la calidad del agua para producción de agua potable tipo A1, mientras que el resto de metales evaluados (cobre, hierro y zinc disuelto) se encuentran por debajo de sus correspondientes umbrales para los requerimientos de calidad A1.
- El contenido de materia orgánica obtenido en superficie es bajo, con unos valores de 1 y 12,1 mg O₂/l para la DBO₅ y DQO, respectivamente.
- Las aguas embalsadas son moderadamente mineralizadas y con alta concentración de calcio (81,2 mg Ca/l).

Cuadro III: *Resultados químicos*

EMBALSE:	CALANDA	CÓDIGO:	CA1	
CAMPAÑA:	1	FECHA:	03/09/2003	
COTA MÁXIMA:	440	NIVEL:	430	
CÓDIGO DEL PUNTO DE MUESTREO				
PARÁMETRO	UNIDAD	E1S	E1M	E2F
PROFUNDIDAD	m	0-4	17	34
COTA	msnm	440-436	413	396
SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	mg/l	3,8		
ALCALINIDAD TOTAL	mg CO ₃ Ca/l	130,3		
DBO ₅	mg O ₂ /l	1,1		
DQO	mg O ₂ /l	12,1		
FÓSFORO TOTAL	mg P/l	0,013	0,010	0,017
FOSFATOS	mg PO ₄ ³ /l	0,016	0,017	0,022
FOSFATOS	mg P/l	0,005	0,006	0,007
NITRÓGENO KJELDAHL	mg N/l	1,01	0,96	1,38
AMONIO TOTAL	mg NH ₄ /l	0,03	0,05	0,21
AMONIO TOTAL	mg N/l	0,02	0,04	0,17
NITRÓGENO ORGÁNICO	mg N/l	0,99	0,92	1,21
NITRATOS	mg NO ₃ /l	3,80	5,22	2,73
NITRATOS	mg N/l	0,86	1,18	0,62
NITRITOS	mg NO ₂ /l	0,034	0,026	0,212
NITRITOS	mg N/l	0,010	0,008	0,065
N INORGÁNICO	mg N/l	0,89	1,23	0,85
CALCIO	mg Ca/l	81,2		
MAGNESIO DISUELTO	mg Mg/l	19,3		
SODIO	mg Na/l	4,2		
POTASIO	mg K/l	2,5		
CLORUROS	mg Cl/l	9,3		
SULFATOS	mg SO ₄ ⁻² /l	114,1		
HIERRO DISUELTO	mg Fe/l			0,130
MANGANESO DISUELTO	mg Mn/l			0,104
COBRE DISUELTO	mg Cu/l			<0,024
ZINC DISUELTO	mg Zn/l			<0,018
SÍLICE	mg SiO ₂ /l	1,87		
CLOROFILA a	µg/l	14,0		

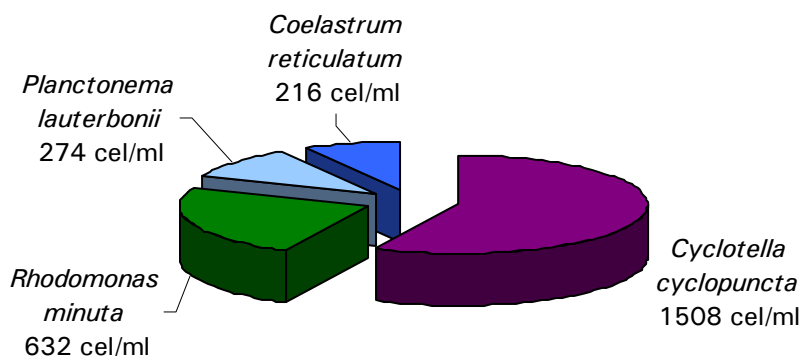
4.3. Concentración de pigmentos fotosintetizadores y productores primarios

El análisis cuantitativo de la muestra recogida en Calanda, ha dado como resultado la identificación de un total de 22 especies, distribuidas entre los siguientes grupos taxonómicos:

- ◆ 6 bacilarofíceas
- ◆ 7 clorofíceas
- ◆ 2 cianobacterias
- ◆ 2 dinofíceas
- ◆ 4 criptofíceas
- ◆ 1 crisofíceas

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

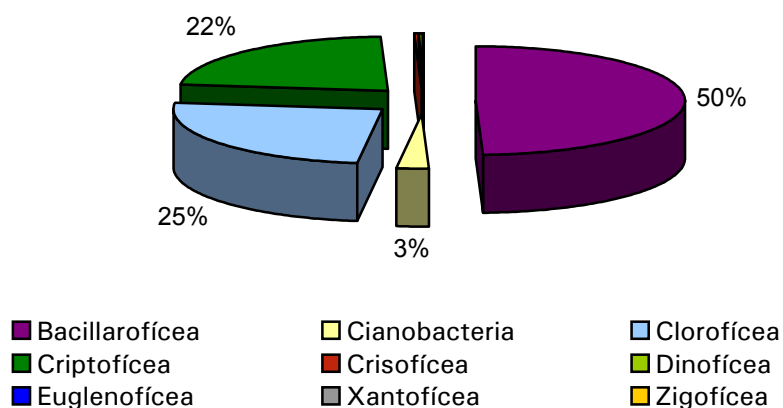
Figura 4: Distribución de densidad (cel/ml) entre las especies más representativas.



En el embalse de Calanda se registra una densidad fitoplanctónica de 3.136 cel/ml y la mitad de la población pertenece a las diatomeas entre las que destaca como dominante *Cyclotella cyclopuncta*. El resto de la población se encuentra distribuida entre las criptofíceas, con *Rhodomonas minuta* como principal especie acompañante, y las clorofíceas, siendo una de las especies más abundantes *Coelastrum reticulatum*.

La equilibrada distribución de densidades entre las especies identificadas determina que se alcance un valor moderado del índice de diversidad de especies Shannon-Weaver -2,45 bits-.

Figura 5: Distribución de la comunidad algal por clases taxonómicas



4.3.1. Calidad bioindicadora

La principal característica de la comunidad fitoplanctónica en el embalse de Calanda es la asociación típica de masas de agua mezclada y temperaturas moderadamente frías que representan *Cyclotella cyclopuncta* y *Rhodomonas minuta*. Ambas especies son frecuentes en medios mesotróficos templados. La clorofícea más abundante es *Planctonema lauterbonii*, también especie asociada a ambientes mesotróficos. La calidad bioindicadora descrita, la densidad algal y la biomasa cuantificada como clorofila *a* -13,98 µg/l- corroboran el grado mesotrófico del embalse.



Coelastrum reticulatum

Cuadro IV: *Resultados biológicos*

EMBALSE:	CALANDA	CÓDIGO:	CA
CAMPAÑA:	1	FECHA:	03/09/2003
COTAMAX:	440	D. SECCHI:	2,19
NIVEL:	430	C.FÓTICA:	3,72
PARÁMETRO	UNIDAD	CÓDIGO DEL PUNTO DE MUESTREO	
		EIS	
PROFUNDIDAD	m	0,5-4	
COTA	msnm	439,5-437	
CLOROFILA a	µg/l	13,98	
Individuos totales	n° cel/ml	3.136	
Diversidad (H)	Bits	2,45	
Clase BACILLARIOFICEA	n° cel/ml	1.548	
Grupo CIANOBACTERIA	n° cel/ml	84	
Clase CLOROFICEA	n° cel/ml	783	
Clase CRIPTOFICEA	n° cel/ml	704	
Clase CRISOFICEA	n° cel/ml	4	
Clase DINOFICEA	n° cel/ml	13	
Clase EUGLENOFICEA	n° cel/ml	0	
Clase XANTOFICEA	n° cel/ml	0	
Clase ZIGOFICEA	n° cel/ml	0	
ESPECIES	TAXÓN	n° cel/ml	
<i>Amphora sp.</i>	Bacillariofícea	2	
<i>Cyclotella cyclopuncta</i>	Bacillariofícea	1.508	
<i>Fragilaria crotonensis</i>	Bacillariofícea	33	
<i>Navicula sp.</i>	Bacillariofícea	2	
<i>Nitzschia acicularis</i>	Bacillariofícea	2	
<i>Nitzschia palea</i>	Bacillariofícea	1	
<i>Aphanizomenon sp.</i>	Cianobacteria	11	
<i>Synechocystis sp.</i>	Cianobacteria	73	
<i>Ankistrodesmus mucicola</i>	Clorofícea	11	
<i>Coelastrum reticulatum</i>	Clorofícea	216	
<i>Crucigenia quadrata</i>	Clorofícea	10	
<i>Oocystis sp.</i>	Clorofícea	142	
<i>Planctonema lauterbonii</i>	Clorofícea	274	
<i>Scenedesmus sp.</i>	Clorofícea	4	
<i>Sphaerocystis schroeteri</i>	Clorofícea	126	
<i>Cryptomonas erosa</i>	Criptofícea	38	
<i>Cryptomonas marssonii</i>	Criptofícea	30	
<i>Cryptomonas ovata</i>	Criptofícea	4	
<i>Rhodomonas minuta</i>	Criptofícea	632	
<i>Dinobryon divergens</i>	Crisofícea	4	
<i>Ceratium hirundinella</i>	Dinofícea	2	
<i>Peridiniopsis sp.</i>	Dinofícea	11	

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 Calanda, como **mesotrófico**.

Prácticamente la totalidad de los índices contrastados sitúan al embalse en niveles de mesotrofia. Tan sólo si se tiene en cuenta la transparencia -parámetro de respuesta atendiendo al criterio de la OCDE - la catalogación se situaría en rango de eutrofia.

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

Índice	Definición criterio	Rango	Septiembre 2003	
			Valor	Grado Trófico
EPA (1976)	<i>PT (ug/l); media anual</i>	< 10-MESO-20 >	15	MESOTRÓFICO
EPA (Weber, 1976)	<i>N° células algales/ml</i>	< 2000-MESO-15000 >	3.136	MESOTRÓFICO
EPA (Weber, 1976)	<i>Clorofila (ug/l); máx. fót.</i>	< 3-MESO-20 >	14,0	MESOTRÓFICO
Lee, Jones & Rast (1978)	<i>Clorofila (ug/l); media anual</i>	< 2,1- 3 - 6,7 -10 >	14,0	EUTRÓFICO
Lee, Jones & Rast (1978)	<i>PT (ug/l); media anual</i>	< 8- 12 - 28 -40 >	15	MESOTRÓFICO
Lee, Jones & Rast (1978)	<i>SDT (m); media anual</i>	< 1,8- 2,4 - 3,8 -4,6 >	1,7	EUTRÓFICO
Margalef (1983)	<i>N° células algales/ml</i>	5000 (lím. eut.avan.-mod.)	3.136	E. MODERADA
Margalef (1983)	<i>Clorofila (ug/l); anual fót.</i>	5 (lím. eut.avan.-mod.)	14,0	E. AVANZADA
Margalef (1983)	<i>PT (ug/l); media anual</i>	15 (lím. eut.avan.-mod.)	15	E. MODERADA
Margalef (1983)	<i>NO₃-N (ug/l); media anual</i>	140 (lím. eut.avan.-mod.)	884	E. AVANZADA
Margalef (1983)	<i>SDT (m); media anual</i>	3 (lím. eut.avan.-mod.)	1,7	E. AVANZADA
OCDE (1980)	<i>Clorofila (ug/l); anual fót.</i>	< 1; < 2.5; 2.5-8; 8-25; > 25	14,0	EUTRÓFICO
OCDE (1980)	<i>Clorofila (ug/l); máx. anual</i>	< 2.5; < 8; 8-25; 25-75; > 75	14,0	MESOTRÓFICO
OCDE (1980)	<i>PT (ug/l); media anual</i>	Uol. < 4-10-35-100 > Heu.	15	MESOTRÓFICO
OCDE (1980)	<i>SDT (m); media anual</i>	> 12; > 6;; 6-3; 3-1.5; < 1.5	1,7	EUTRÓFICO
OCDE (1980)	<i>SDT (m); mínimo anual</i>	> 6; > 3; 3-1.5; 1.5-0.7; < 0.7	0,8	EUTRÓFICO
TSI (Carlson, 1974): DST	<i>TSI= 10(6-log₂(DST))</i>	Uol. < 20-40-60-80 > Heu.	52	MESOTRÓFICO
TSI (Carlson, 1974): CLA	<i>10(6-log₂ 7,7(1/Cl^a^0,68))</i>	Uol. < 20-40-60-80 > Heu.	56	MESOTRÓFICO
TSI (Carlson, 1974): PT	<i>TSI= 10(6-log₂(54,9/PT))</i>	Uol. < 20-40-60-80 > Heu.	41	MESOTRÓFICO

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.

Indicadores biológicos
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)
Indicadores físico-químicos
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 ($\mu\text{g/l}$)
Indicadores hidromorfológicos
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 ⁴	10 ⁴ -10 ⁵	10 ⁵ - 10 ⁶	> 10 ⁶
Indicadores físico-químicos					
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
Indicadores hidromorfológicos					
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)	3.136	< 5000			
Biomasa algal, Cla a (µg/l); anual capa fótica	14,0			8-25	
Biomasa algal, Cla a (µg/l); máx anual	14,0		8-25		
Cianofíceas tóxicas; máx anual (cel/ml)	11	< 10 ⁴			
Indicadores físico-químicos					
Transparencia (SDT; media anual en m)	1,7			3-1,5	
Transparencia (SDT; mínimo anual en m)	0,8			1,5-0,7	
Condiciones de oxigenación en hipolimnion (mg/l)	0,8				< 2
Concentración de PT: media anual (µg/l)	15		10-35		
Indicadores hidromorfológicos					
Variación de volumen (%)	69%			80-60	

En definitiva, el potencial ecológico del embalse de Calanda se establece como **ACEPTABLE**. Según la concentración de nutrientes presentes en el embalse la catalogación debería ser más favorable (BUENO), pero la baja concentración de oxígeno en el hipolimnion, la baja transparencia y las variaciones de la lámina de agua indican que el sistema se encuentra en una situación más desfavorable.

ANEXO I: RESULTADOS FÍSICO QUÍMICOS

EMBALSE: CALANDA (CA) **CAMPAÑA:** 1
COT. MAX: 440 **NIVEL:** 430

Estación: E1 Profundidad: 26
 Fecha: 03/09/2003 Hora: 10:30
 Disco Secchi (m): 2,19 Capa fótica (m): 3,7

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	430	23,49	8,57	6,35	73,79	533	270	341	5,6
1	429	23,49	8,60	6,11	71,01	533	269	341	6,6
2	428	23,49	8,63	6,17	71,71	533	268	341	7,0
3	427	23,49	8,64	6,05	70,32	533	268	341	6,9
4	426	23,49	8,64	6,05	70,32	533	267	341	6,8
5	425	23,49	8,65	5,98	69,51	533	267	341	6,9
6	424	23,49	8,65	5,91	68,70	534	268	341	7,0
7	423	23,48	8,64	5,86	68,10	535	269	342	6,9
8	422	23,00	8,32	4,31	49,65	597	274	382	7,2
9	421	22,31	8,19	3,47	39,46	616	277	395	7,3
10	420	21,66	8,08	2,49	27,96	625	280	401	7,7
11	419	21,45	8,03	2,07	23,15	627	281	401	8,3
12	418	21,25	7,99	1,80	20,06	634	282	402	9,4
13	417	21,11	7,97	1,72	19,11	635	283	406	10,0
14	416	21,02	7,96	1,62	17,97	635	284	407	10,3
15	415	20,86	7,95	1,41	15,59	627	284	402	10,5
16	414	20,73	7,93	1,25	13,79	620	285	397	10,6
17	413	20,69	7,92	1,23	13,56	637	285	407	11,1
18	412	20,57	7,92	1,17	12,87	629	286	403	11,8
19	411	20,51	7,91	1,11	12,19	636	286	408	12,7
20	410	20,46	7,91	0,99	10,86	641	286	410	12,4
21	409	20,31	7,90	0,76	8,32	636	287	407	11,6
22	408	20,08	7,88	0,48	5,23	628	287	402	12,4
23	407	19,92	7,87	0,28	3,04	622	287	398	14,3
24	406	19,77	7,87	0,23	2,49	620	286	397	15,7
25	405	19,57	7,87	0,23	2,48	618	284	395	18,4
26	404	19,02	7,87	0,23	2,45	608	275	389	18,7
27	403	18,27	7,87	0,23	2,42	592	264	379	18,1
28	402	17,86	7,87	0,22	2,29	587	249	377	18,1
29	401	17,45	7,78	0,22	2,27	585	232	374	17,1
30	400	17,24	7,86	0,21	2,16	584	226	374	16,7
31	399	16,89	7,86	0,20	2,04	582	224	372	16,3
32	398	16,77	7,86	0,20	2,04	581	223	372	15,2
33	397	16,53	7,85	0,19	1,93	580	223	371	15,5
34	396	16,45	7,85	0,19	1,92	580	222	371	15,5
35	395	16,38	7,85	0,19	1,92	581	222	372	15,9

EMBALSE: CALANDA (CA) **CAMPAÑA:** 1
COT. MAX: 440 **NIVEL:** 430

Estación: E2 Profundidad: 24
 Fecha: 03/09/2003 Hora: 11:45
 Disco Secchi (m): 2,11 Capa fótica (m): 3,6

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	430	23,60	8,65	6,18	71,97	538	243	344	5,2
1	429	23,64	8,65	6,36	74,12	538	243	344	5,2
2	428	23,64	8,66	6,24	72,73	538	243	344	5,2
3	427	23,64	8,66	6,28	73,20	538	243	344	5,3
4	426	23,64	8,66	6,08	70,87	537	244	344	5,4
5	425	23,64	8,67	6,15	71,69	538	244	344	5,3
6	424	23,37	8,51	5,46	63,33	564	246	361	5,7
7	423	23,07	8,33	4,40	50,75	598	250	383	6,9
8	422	22,59	8,22	3,63	41,50	622	253	398	6,4
9	421	22,12	8,14	3,22	36,48	639	255	409	6,8
10	420	21,74	8,10	3,07	34,53	651	256	417	7,7
11	419	21,50	8,11	3,23	36,16	651	256	417	8,7
12	418	21,38	8,12	3,45	38,54	651	257	417	10,3
13	417	21,25	8,14	3,77	42,01	647	257	414	13,1
14	416	21,15	8,14	3,88	43,15	649	257	415	14,8
15	415	21,04	8,15	3,82	42,39	648	258	414	18,8
16	414	20,92	8,16	4,02	44,51	645	258	412	20,3
17	413	20,86	8,09	3,16	34,95	656	260	420	21,7
18	412	20,75	8,10	3,43	37,86	649	260	415	21,5
19	411	20,58	8,11	3,60	39,60	647	261	414	27,8
20	410	20,42	8,10	3,30	36,19	647	261	414	30,9
21	409	20,25	8,08	3,90	42,62	644	262	412	32,2
22	408	20,14	8,02	2,02	22,03	647	263	414	32,0
23	407	20,07	7,95	0,93	10,13	647	264	414	32,0
24	406	19,81	7,93	0,64	6,93	642	261	411	33,2

EMBALSE: CALANDA (CA) **CAMPAÑA:** 1
COT. MAX: 440 **NIVEL:** 430

Estación: E3 Profundidad: 6,25
 Fecha: 03/09/2003 Hora: 11:25
 Disco Secchi (m): 0,82 Capa fótica (m): 1,4

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	430	23,68	8,64	6,44	75,11	541	245	346	10,7
1	429	23,68	8,66	6,28	73,25	541	245	346	10,9
2	428	23,67	8,66	6,23	72,65	541	245	346	11,4
3	427	23,65	8,67	6,27	73,10	549	245	345	11,7
4	426	23,64	8,66	5,97	69,59	541	245	346	13,7
5	425	23,59	8,65	5,95	69,29	540	245	346	23,7
6	424	23,13	8,61	5,81	67,08	554	246	353	33,0

REPORTAJE FOTOGRÁFICO



Panorámica del embalse desde el punto de acceso al embalse (margen izquierda)



Vista de la presa desde la estación E1



Vista del embalse desde la estación E2, en la que puede apreciarse el descenso de la lámina de agua



Vista del embalse desde la estación E3



Impulsión de agua hacia la central térmica de Andorra



Salida del embalse

ADICIONAL INFORME EMBALSE DE CALANDA 2003

Durante el año 2022 se han revisado los datos del embalse de Calanda 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 (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	Bueno o superior	Moderado	Deficiente	Malo
Rango <i>Tipos 1, 2 y 3</i>	> 0,211	0,210 – 0,14	0,13 – 0,07	< 0,07
Rango <i>Tipos 7, 8, 9, 10 y 11</i>	> 0,433	0,432 – 0,287	0,286 – 0,143	< 0,143
Rango <i>Tipo 12</i>	> 0,195	0,194 – 0,13	0,12 – 0,065	< 0,065
Rango <i>Tipo 13</i>	> 0,304	0,303 – 0,203	0,202 – 0,101	< 0,101
Valoración de cada clase	2	3	4	5

2) Biovolumen algal

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

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

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

3) Índice de grupos algales (IGA)

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

El índice *IGA* se expresa:

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

Siendo,

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

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

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

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

4) Porcentaje de cianobacterias

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

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

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

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

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

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

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

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

Tipos 1, 2 y 3

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

Tipos 7, 8, 9, 10 y 11

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

Tipos 6 y 12

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

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

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

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

Tipo 13

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

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

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

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

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

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

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

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

Clase de potencial ecológico	Bueno o superior	Moderado	Deficiente	Malo
RCEtrans	> 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 físicoquímicos 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 CALANDA

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 Calanda.

INDICADOR	VALOR	ESTADO TRÓFICO
CONCENTRACIÓN P TOTAL	13,00	Mesotrófico
DISCO SECCHI	2,19	Mesotrófico
COLOROFILA <i>a</i>	14,00	Eutrófico
DENSIDAD ALGAL	3136	Mesotrófico
ESTADO TRÓFICO FINAL	3,25	MESOTRÓFICO

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

DIAGNÓSTICO DEL ESTADO FINAL DEL EMBALSE DE CALANDA

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 Calanda.

Indicador	Elementos	Parámetro	Indicador	Valor	RCE	RCET	PE
Biológico	Fitoplancton	Biomasa	Clorofila a (µg/L)	14,00	0,19	0,26	Deficiente
INDICADOR BIOLÓGICO				4			DEFICIENTE
Indicador	Elementos	Indicador	Valor			PE	
Fisicoquímico	Transparencia	Disco de Secchi (m)	2,19			Moderado	
	Oxigenación	O ₂ hipolimnética (mg O ₂ /L)	6,00			Moderado	
	Nutrientes	Concentración de PT (µg P/L)	13,00			Moderado	
INDICADOR FISICOQUÍMICO				3			MODERADO
POTENCIAL ECOLÓGICO				DEFICIENTE			
ESTADO FINAL				INFERIOR A BUENO			

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