
Diciembre de 2003

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

EMBALSE DE MEQUINENZA

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	8
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 Mequinenza 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 Mequinenza regula el tramo bajo del río Ebro. La presa, terminada en 1.966, se sitúa en la localidad de Mequinenza, provincia de Zaragoza. Además, recibe aportaciones de los ríos Guadalupe y Martín, así como las de distintos arroyos de menor entidad.

Se trata de un embalse de grandes dimensiones, sinuoso y con numerosos y marcados meandros. También presenta gran cantidad de ensenadas, normalmente de pequeño tamaño, formadas por los arroyos y barranqueras que confluyen en él.

Las aguas del embalse se destinan principalmente a la producción hidroeléctrica, también abastece de agua potable a la población de Mequinenza. Dentro de los usos recreativos que se dan en el embalse destaca la pesca, que conlleva un acusado uso de embarcaciones a motor.

La cuenca vertiente al embalse de Mequinenza tiene una superficie total de 5.548.100 ha, de las cuales el 85% pertenecen al río Ebro (tributario principal). La cuenca de escorrentía directa ocupa una superficie de 235.530 ha (4,2% respecto al total)

El embalse tiene una extensión de 7.540 ha en su máximo nivel normal y una capacidad total de 1.530 hm³. Tiene una profundidad media de 20 m, mientras que la profundidad máxima es de 62 m. En fechas próximas a la realización del muestreo (4/9/2003) el embalse se encontraba al 64% de su capacidad total. En el *cuadro I* 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)	5.548.100
Superficie de la cuenca parcial (ha)	5.548.100
Superficie de la subcuenca de escorrentía (ha)	235.530
Superficie del embalse (ha)	7.540
Longitud máxima del embalse (km)	100
Capacidad total (hm ³)	1.530
Profundidad máxima (m)	60
Profundidad media (m)	20
Perímetro en máximo nivel (km)	225
Cota máximo nivel embalsado (msnm)	121
Cota(s) de la toma(s) de agua principal(es) (msnm)	106,5; 87; 75,2; 60

El día de la realización de los trabajos de campo no se aprecia estratificación térmica, rondando la capa fótica los 7 metros de espesor en las proximidades de la presa.

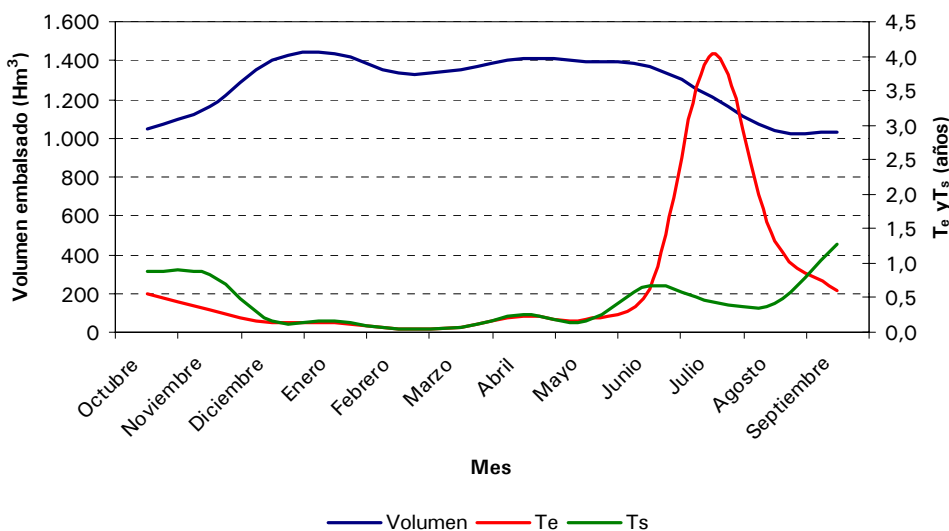
En el *cuadro II* se presentan las medias mensuales de la explotación hidráulica correspondiente al año hidrológico 2002-2003.

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

BALANCE HIDRÁULICO MENSUAL					
Periodo 2002-2003	Volumen Hm ³	Salidas totales Hm ³	Entradas Totales Hm ³	Ts años	Te años
Octubre	1049,00	101,40	159,80	0,88	0,56
Noviembre	1164,25	116,20	298,30	0,82	0,32
Diciembre	1404,20	731,00	907,80	0,16	0,13
Enero	1438,50	791,10	815,00	0,15	0,15
Febrero	1339,00	2115,20	2020,20	0,05	0,05
Marzo	1355,60	1701,50	1700,20	0,07	0,07
Abril	1409,25	443,50	525,40	0,26	0,22
Mayo	1392,75	747,70	648,10	0,16	0,18
Junio	1369,60	165,00	177,90	0,68	0,63
Julio	1216,25	236,00	25,60	0,44	4,04
Agosto	1040,50	211,80	67,20	0,42	1,32
Septiembre	1029,00	65,70	141,60	1,29	0,60
Total anual	1.267,33	7426,10	7487,10	0,17	0,17

El tiempo de residencia del agua es bajo, en torno a 2 meses. El mínimo se obtiene en el mes de febrero (0,05 años) y el máximo en julio (4,04 años), en ambos casos atendiendo a los caudales de entrada.

Figura 1: Volumen embalsado y tiempo de retención del agua



3. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

En el embalse se han establecido cuatro estaciones de muestreo para cubrir la heterogeneidad espacial de la masa de agua: una ubicada en las inmediaciones de la presa (E1), dos en posiciones intermedias del embalse (E2 y E3) y , por último, la cuarta estación (E4) situada en la cola del embalse frente a la localidad de Chiprana (*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 04/9/2003 se presentan en el Anexo I. Del comportamiento observado se desprenden las siguientes apreciaciones:

- La temperatura del agua es moderada, oscilando entre los 25°C en superficie y los 16°C en fondo. No se ha detectado estratificación térmica en las estaciones muestreadas, aunque en la estación de presa (E1) se han observado dos leves gradientes térmicos a 8 y 28 metros de profundidad (0,34°C/m y 0,54°C/m, respectivamente), lo que parece indicar el reciente inicio del proceso de desestratificación térmica del embalse.
- El pH del agua es ligeramente básico en todo el embalse, registrándose el máximo valor en la estación E1 (8,62 ud), medida que se mantiene constante dentro de la capa fótica (6,7 m de espesor). El mínimo (7,79 ud) se registra en los estratos más profundos de ésta misma estación.
- La transparencia es, junto al O₂, un parámetro muy variable en el embalse. La diferencia de los valores del disco de Secchi, entre la posición de cabecera y cola, es de 3,7 m; es decir se pasa de un máximo en el de 3,95 a un mínimo en E4 de 0,24. Si sólo se considerasen las mediciones de E1 y E2 la media del disco de Secchi se situaría en 2,95; si se evalúan las 4 estaciones esta media desciende

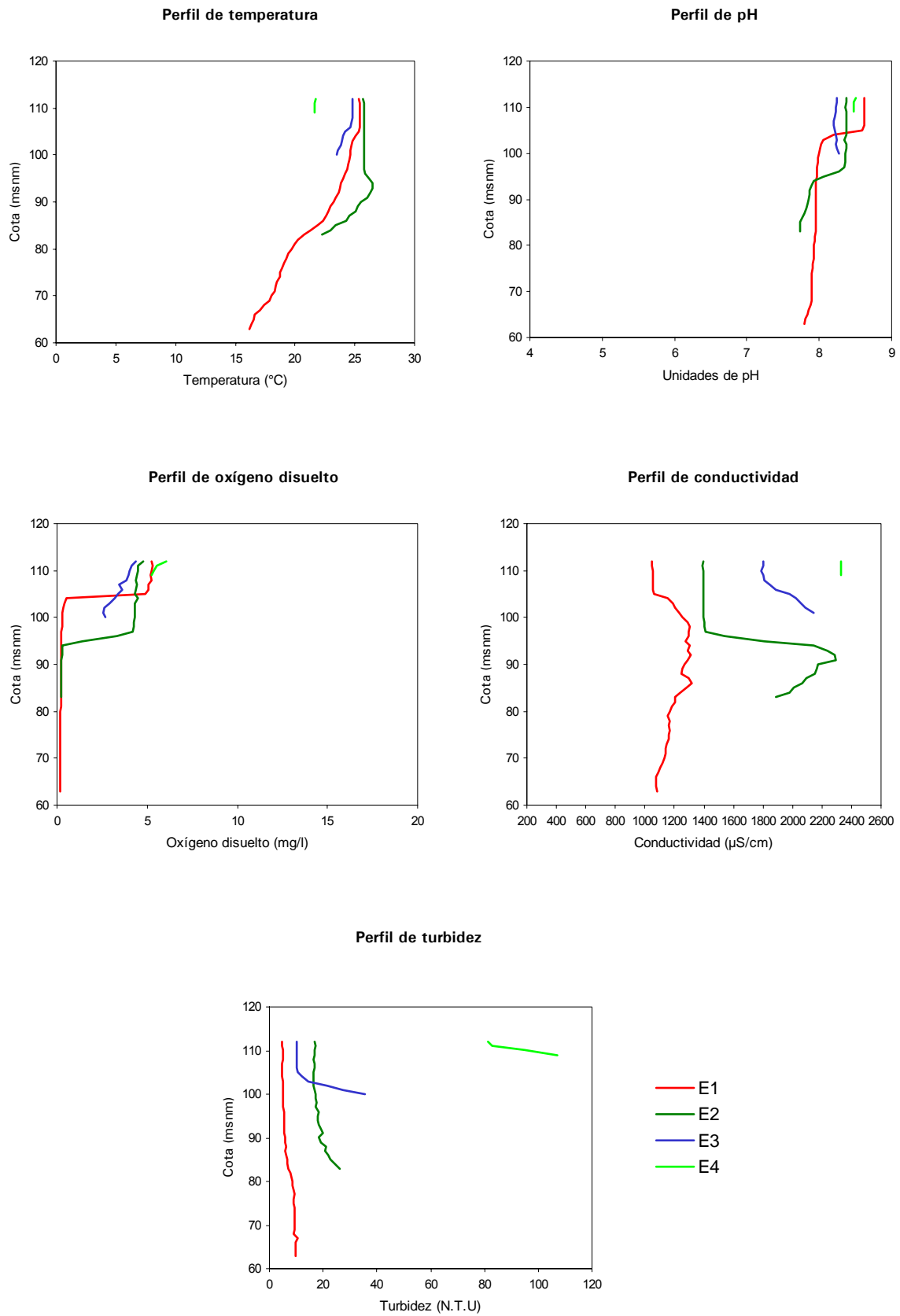


Figura 2: Localización de las estaciones de muestreo en el embalse de Mequinenza

hasta 1,9 m, siendo este último valor el que se ha empleado para el diagnóstico del grado trófico.

- La turbidez, moderada en las inmediaciones de la presa, aumenta ostensiblemente en dirección a la cola, presentando la estación E4 valores superficiales en torno a 80 N.T.U. Los registros obtenidos en la estación de cola, tanto para la transparencia como para la turbidez, se encuentran altamente condicionados por los aportes de carácter inorgánico que, a causa de las lluvias previas a la realización del muestreo, arrastraba el tributario principal.
- Al igual que para la transparencia, el oxígeno se comporta de forma variable en el embalse. Así las zonas más profundas –E1 y E2- presentan un claro déficit de oxígeno en la mayor parte del perfil; mientras que las posiciones de cola, más somera, mantienen concentraciones de O₂ moderadas (en torno al 50% de saturación), pero constantes en toda la columna de agua.
- La conductividad de las aguas es alta. Oscila entre los 1.051 y 2.330 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y disminuye ostensiblemente en sentido cola-presa. Exceptuando la estación de cola, todas las estaciones presentan quimioclinas, mucho más acusadas en la zona intermedia del embalse (E3 y E4) que en las inmediaciones de la presa (E1).

Figura 3: Perfiles físico-químicos del embalse



4.2. Hidroquímica del embalse

- Las concentraciones de nutrientes son altas y se encuentran dentro de los rangos conocidos para el embalse. Los máximos de fósforo total y fosfatos se obtienen en la muestra de fondo, 0,41 y 0,39 mg P/l, respectivamente. La concentración media de nitrógeno inorgánico total (NIT) es alta, 0,702 mg/l N. Entre las distintas formas que los componen, predominan los nitratos ($\text{NO}_3/\text{NIT} = 54,6\%$), siendo las proporciones de amonio ($\text{NH}_4/\text{NIT} = 44,4\%$) altas. Cabe destacar que la concentración superficial de nitritos (0,141 NO_2/l) supera el umbral establecido para vida piscícola de tipo ciprinícolas ($\leq 0,03$ mg NO_2/l).
- La concentración de manganeso en fondo (0,198 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 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 1,1 y 20 mg O_2/l para la DBO_5 y DQO.
- Las aguas embalsadas son altamente mineralizadas y la concentración de calcio (98 mg Ca/l) se sitúa en rangos conocidos para el embalse.

Cuadro III: *Resultados químicos*

EMBALSE:	MEQUINENZA	CÓDIGO:	ME	
CAMPAÑA:	1	FECHA:	04/09/2003	
COTA MÁXIMA:	121	NIVEL:	112	
CÓDIGO DEL PUNTO DE MUESTREO				
PARÁMETRO	UNIDAD	E1S	E1M	E1F
PROFUNDIDAD	m	0-5	26	51
COTA	msnm	121-116	86	61
SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	mg/l	< 2,4		
ALCALINIDAD TOTAL	mg CO ₃ Ca/l	123,9		
DBO ₅	mg O ₂ /l	1,1		
DQO	mg O ₂ /l	20,0		
FÓSFORO TOTAL	mg P/l	0,010	0,010	0,410
FOSFATOS	mg PO ₄ ³ /l	0,030	0,032	1,209
FOSFATOS	mg P/l	0,010	0,010	0,395
NITRÓGENO KJELDAHL	mg N/l	0,95	0,67	2,12
AMONIO TOTAL	mg NH ₄ /l	0,09	0,13	2,49
AMONIO TOTAL	mg N/l	0,07	0,10	1,94
NITRÓGENO ORGÁNICO	mg N/l	0,88	0,56	0,18
NITRATOS	mg NO ₃ /l	0,17	4,97	6,35
NITRATOS	mg N/l	0,04	1,12	1,43
NITRITOS	mg NO ₂ /l	0,141	0,013	0,004
NITRITOS	mg N/l	0,043	0,004	0,001
N INORGÁNICO	mg N/l	0,15	1,23	3,37
CALCIO	mg Ca/l	98,0		
MAGNESIO DISUELTO	mg Mg/l	23,9		
SODIO	mg Na/l	86,2		
POTASIO	mg K/l	4,1		
CLORUROS	mg Cl/l	127,7		
SULFATOS	mg SO ₄ ⁻² /l	281,6		
HIERRO DISUELTO	mg Fe/l			0,15
MANGANESO DISUELTO	mg Mn/l			0,20
COBRE DISUELTO	mg Cu/l			<0,024
ZINC DISUELTO	mg Zn/l			<0,018
SÍLICE	mg SiO ₂ /l	7,18		
CLOROFILA a	µg/l	2,5		

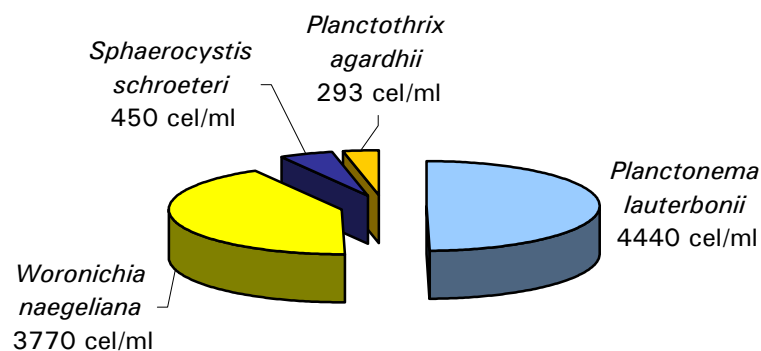
4.3. Concentración de pigmentos fotosintetizadores y productores primarios

El análisis cuantitativo de la muestra recogida en Mequinenza, ha dado como resultado la identificación de un total de 23 especies, distribuidas entre los siguientes grupos taxonómicos:

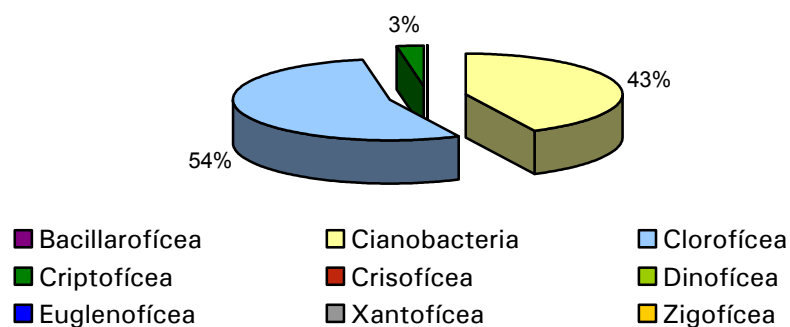
- ◆ 2 bacilarofíceas
- ◆ 9 clorofíceas
- ◆ 3 zigofíceas
- ◆ 4 cianobacterias
- ◆ 1 dinofíceas
- ◆ 4 criptofíceas

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.



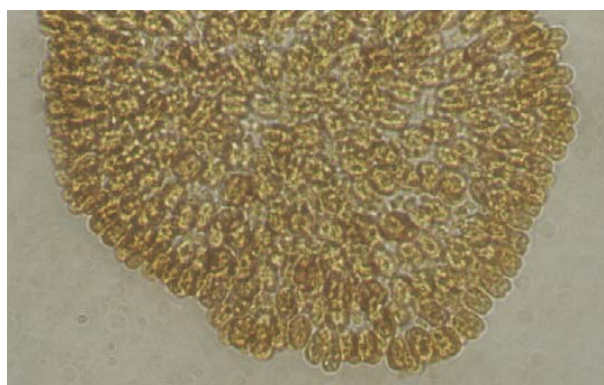
Al final del período estival se registra en el embalse de Mequinenza una densidad fitoplanctónica elevada -9.655 cel/ml- y la población se distribuye principalmente entre las cianobacterias y las clorofíceas. La especie que predomina es la clorofícea *Planctonema lauterbonii*, seguida de la cianobacteria *Woronichia naegeliana*. Dentro de estos grupos también son abundantes la clorofícea *Sphaerocystis schroeteri* y la cianobacteria *Planctothrix agardhii*. La dominancia de dos especies sobre el resto desequilibra la distribución de densidades y determina el bajo valor obtenido para el índice de diversidad de especies Shannon-Weaver -1,88 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 Mequinenza es la presencia de algunas especies propias del período estival y otras asociadas al otoño. Así, *Woronichia naegeliana* es frecuente en embalses y lagos mesotróficos templados a finales del verano o principios del otoño y la especie dominante, *Planctonema lauterbonii*, es una especie estival que prefiere aguas mesotróficas transparentes. Ambas especies marcan el tránsito verano-otoño. El grado trófico medio indicado por las citadas especies es corroborado por otra clorofícea abundante como es *Sphaerocystis Schroeteri*.

La densidad algal no se corresponde con la medida de biomasa en forma de clorofila *a* -<3 µg/l-. Aunque esta desviación en los datos puede estar afectada por otros factores, es probable que tenga relación con el reducido tamaño celular, y por tanto escaso contenido pigmentario, de las dos especies dominantes.



Woronichia naegeliana

Cuadro IV: Resultados biológicos

EMBALSE:	MEQUINENZA	CÓDIGO:	ME1
CAMPAÑA:	1	FECHA:	04/09/2003
COTAMAX:	121	D. SECCHI:	3,95
NIVEL:	112	C.FÓTICA:	6,72
PARÁMETRO	UNIDAD	CÓDIGO DEL PUNTO DE MUESTREO	
		E1S	
PROFUNDIDAD	m	0,5-8	
COTA	msnm	120,5-113	
CLOROFILA a	µg/l	< 3	
Individuos totales	n° cel/ml	9.655	
Diversidad (H)	Bits	1,88	
Clase BACILLARIOFICEA	n° cel/ml	3	
Grupo CIANOBACTERIA	n° cel/ml	4.131	
Clase CLOROFICEA	n° cel/ml	5.252	
Clase CRIFTOFICEA	n° cel/ml	262	
Clase CRISOFICEA	n° cel/ml	0	
Clase DINOICEA	n° cel/ml	1	
Clase EUGLENOFICEA	n° cel/ml	0	
Clase XANTOFICEA	n° cel/ml	0	
Clase ZIGOFICEA	n° cel/ml	6	
ESPECIES	TAXÓN	n° cel/ml	
<i>Cyclotella sp.</i>	Bacillariofícea	2	
<i>Nitzschia palea</i>	Bacillariofícea	1	
<i>Aphanocapsa incerta</i>	Cianobacteria	67	
<i>Chroococcus turgidus</i>	Cianobacteria	1	
<i>Planktothrix agardhii</i>	Cianobacteria	293	
<i>Woronichia naegeliana</i>	Cianobacteria	3.770	
<i>Ankistrodesmus acicularis</i>	Clorofícea	5	
<i>Ankistrodesmus mucicola</i>	Clorofícea	21	
<i>Chodatella quadriseta</i>	Clorofícea	12	
<i>Coelastrum reticulatum</i>	Clorofícea	14	
<i>Crucigenia quadrata</i>	Clorofícea	40	
<i>Oocystis lacustris</i>	Clorofícea	268	
<i>Pediastrum clathratum</i>	Clorofícea	2	
<i>Planctonema lauterbonii</i>	Clorofícea	4.440	
<i>Sphaerocystis Schroeteri</i>	Clorofícea	450	
<i>Cryptomonas erosa</i>	Criptofícea	9	
<i>Cryptomonas marssonii</i>	Criptofícea	19	
<i>Cryptomonas ovata</i>	Criptofícea	124	
<i>Rhodomonas minuta</i>	Criptofícea	110	
<i>Ceratium hirundinella</i>	Dinofícea	1	
<i>Cosmarium formosulum</i>	Zigofícea	3	
<i>Closterium acutum</i>	Zigofícea	1	
<i>Staurastrum bibrachiatum</i>	Zigofícea	2	

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 Mequinenza, como **mesotrófico con tendencia a la eutrofia**.

El máximo rango (hipereutrofia) se obtiene con el parámetro causal básico (PT) y la transparencia. No obstante, estos valores deben ser tomados con reservas ya que, en el primer caso, la concentración media de fósforo total se ve incrementada por el alto valor detectado en fondo (0,41 mg P/l) y, en el segundo, la transparencia es muy baja, como se ha especificado con anterioridad sólo en las estaciones de cola (E4 = 0,24 m; E3 = 1,4) y afectada por las lluvias acaecidas antes de la realización del muestreo.

Por el contrario un parámetro de respuesta básico como la clorofila a cataloga las aguas desde ultra a oligotróficas.

En este sentido se considera que el embalse, aún a falta de la valoración química y biológica en E3, E2 y E1, se organiza espacialmente en dos zonas de calidad distinta:

- Zona de cola, influida por los aportes del Ebro y Guadalupe, más somera, mejor oxigenada y probablemente muy productiva (**EUTRÓFICA**).
- La zona intermedia y presa, más profunda, con déficit de oxígeno desde posiciones próximas a la superficie, pero con buenos registros en transparencia y biomasa algal. (**MESOTRÓFICA**).

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

Índice	Definición criterio	Rango	Septiembre 2.003	
			Valor	Grado Trófico
EPA (1976)	<i>PT (ug/l); media anual</i>	< 10-MESO-20 >	143	EUTRÓFICO
EPA (Weber, 1976)	<i>Nº células algales/ml</i>	< 2000-MESO-15000 >	9.655	MESOTRÓFICO
EPA (Weber, 1976)	<i>Clorofila (ug/l); máx. fót.</i>	< 3-MESO-20 >	2,5	OLIGOTRÓFICO
Lee, Jones & Rast (1978)	<i>Clorofila (ug/l); media anual</i>	< 2,1- 3 - 6,7 -10 >	2,5	OLIGO-MESOT.
Lee, Jones & Rast (1978)	<i>PT (ug/l); media anual</i>	< 8- 12 - 28 -40 >	143	EUTRÓFICO
Lee, Jones & Rast (1978)	<i>SDT (m); media anual</i>	< 1,8- 2,4 - 3,8 -4,6 >	1,9	MESO-EUTRÓF.
Margalef (1983)	<i>Nº células algales/ml</i>	5000 (lím. eut.avan.-mod.)	9.655	E. AVANZADA
Margalef (1983)	<i>Clorofila (ug/l); anual fót.</i>	5 (lím. eut.avan.-mod.)	2,5	E. MODERADA
Margalef (1983)	<i>PT (ug/l); media anual</i>	15 (lím. eut.avan.-mod.)	143	E. AVANZADA
Margalef (1983)	<i>NO₃-N (ug/l); media anual</i>	140 (lím. eut.avan.-mod.)	865	E. AVANZADA
Margalef (1983)	<i>SDT (m); media anual</i>	3 (lím. eut.avan.-mod.)	1,9	E. AVANZADA
OCDE (1980)	<i>Clorofila (ug/l); anual fót.</i>	< 1; < 2.5;2.5-8;8-25; > 25	2,5	OLIGOTRÓFICO
OCDE (1980)	<i>Clorofila (ug/l); máx. anual</i>	< 2.5; < 8;8-25;25-75; > 75	2,5	ULTRAOLIGO.
OCDE (1980)	<i>PT (ug/l); media anual</i>	Uol.< 4-10-35-100 > Heu.	143	HIPEREUT.
OCDE (1980)	<i>SDT (m); media anual</i>	> 12; > 6;;6-3;3-1.5; < 1.5	1,9	EUTRÓFICO
OCDE (1980)	<i>SDT (m); mínimo anual</i>	> 6; > 3;3-1.5;1.5-0.7; < 0.7	0,2	HIPEREUT.
TSI (Carlson, 1974): DST	$TSI = 10(6 - \log_2(DST))$	Uol.< 20-40-60-80 > Heu.	51	MESOTRÓFICO
TSI (Carlson, 1974): CLA	$10(6 - \log_2 7,7(1/Cl a^{0,68}))$	Uol.< 20-40-60-80 > Heu.	39	OLIGOTRÓFICO
TSI (Carlson, 1974): PT	$TSI = 10(6 - \log_2(54,9/PT))$	Uol.< 20-40-60-80 > Heu.	74	EUTRÓFICO

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)	9.655		5000-15.000		
Biomasa algal, Cla a (µg/l); anual capa fótica	2,458	< 2,5			
Biomasa algal, Cla a (µg/l); máx anual	2,458	< 8			
Cianofíceas tóxicas; máx anual (cel/ml)	293	< 10 ⁴			
Indicadores físico-químicos					
Transparencia (SDT; media anual en m)	1,9			3-1,5	
Transparencia (SDT; mínimo anual en m)	0,24				< 0,7
Condiciones de oxigenación en hipolimnion (mg/l)	0,19				< 2
Concentración de PT: media anual (µg/l)	143				> 100
Indicadores hidromorfológicos					
Variación de volumen (%)	83%		95-80		

En definitiva, el potencial ecológico del embalse de Mequinenza se establece como **ACEPTABLE**. Tanto los indicadores biológicos como los hidromorfológicos sitúan al embalse en un rango más favorable (ÓPTIMO-BUENO), pero los indicadores físico-químicos alertan de un potencial ecológico inferior. Respecto a éstos últimos, cabe citar que la concentración media de fósforo total está sobrestimada por el alto valor detectado en la muestra de fondo, y que el bajo valor de transparencia es debido a las lluvias previas a la realización de los trabajos de campo. Sin embargo, el indicador de las condiciones de oxigenación identifica claramente un hipolimnion con escasa concentración de oxígeno.

En la valoración definitiva, se ha mantenido el planteamiento expuesto en el diagnóstico del grado trófico y basado en que existen 2 masas de agua de calidad distinta que hace variar la clasificación desde la clase ÓPTIMO hasta la de DEFICIENTE/MALO, según adquieran peso en los indicadores los valores de posiciones cercanas a la presa o los correspondientes a la zona de cola.

ANEXO I: RESULTADOS FÍSICO QUÍMICOS

EMBALSE:	MEQUINENZA (ME)	CAMPAÑA:	1
COT. MAX:	121	NIVEL:	112
Estación:	E1	Profundidad:	53
Fecha:	04/09/2003	Hora:	12:45
Disco Secchi (m):	3,95	Capa fótica (m):	6,7

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	112	25,38	8,62	5,27	64,22	1.051	220	673	4,7
1	111	25,40	8,62	5,32	64,86	1.051	219	673	4,8
2	110	25,40	8,62	5,23	63,76	1.052	218	673	4,9
3	109	25,39	8,62	5,18	63,15	1.052	217	673	4,9
4	108	25,40	8,62	5,22	63,65	1.052	217	673	4,9
5	107	25,39	8,62	5,08	61,93	1.052	217	673	4,8
6	106	25,39	8,62	5,05	61,57	1.053	216	673	4,8
7	105	25,38	8,59	4,91	59,85	1.065	216	682	4,8
8	104	25,04	8,20	0,51	6,18	1.153	216	738	4,8
9	103	24,83	8,05	0,39	4,71	1.191	215	763	4,9
10	102	24,72	8,02	0,34	4,10	1.202	215	769	5,0
11	101	24,66	8,01	0,31	3,73	1.230	214	787	5,1
12	100	24,65	7,99	0,30	3,61	1.255	285	804	5,2
13	99	24,58	7,98	0,28	3,37	1.291	285	827	5,2
14	98	24,48	7,98	0,28	3,36	1.305	285	835	5,2
15	97	24,35	7,97	0,26	3,11	1.297	283	830	5,2
16	96	24,15	7,97	0,25	2,98	1.295	282	830	5,3
17	95	24,00	7,97	0,25	2,97	1.275	281	816	5,3
18	94	23,87	7,96	0,26	3,09	1.306	279	836	5,5
19	93	23,71	7,96	0,25	2,96	1.289	276	825	5,6
20	92	23,66	7,96	0,24	2,84	1.314	273	841	5,6
21	91	23,40	7,96	0,23	2,71	1.289	271	824	5,6
22	90	23,20	7,96	0,23	2,70	1.268	267	811	5,7
23	89	22,99	7,95	0,23	2,68	1.253	265	802	5,9
24	88	22,75	7,95	0,23	2,67	1.249	261	800	6,1
25	87	22,61	7,95	0,22	2,55	1.297	258	830	6,0
26	86	22,34	7,95	0,22	2,54	1.319	256	895	6,3
27	85	21,87	7,96	0,23	2,63	1.284	254	822	6,5
28	84	21,31	7,95	0,22	2,49	1.240	253	793	6,8
29	83	20,77	7,95	0,22	2,46	1.206	252	772	7,1
30	82	20,26	7,94	0,21	2,33	1.205	251	771	7,9
31	81	19,93	7,94	0,21	2,31	1.183	250	755	8,2
32	80	19,71	7,93	0,20	2,19	1.170	249	748	8,5
33	79	19,42	7,93	0,20	2,18	1.151	248	737	8,6
34	78	19,23	7,92	0,20	2,17	1.168	247	747	8,8
35	77	19,06	7,92	0,20	2,16	1.160	245	742	9,3
36	76	18,89	7,91	0,20	2,15	1.165	244	745	9,0
37	75	18,78	7,91	0,20	2,15	1.162	242	743	9,1
38	74	18,72	7,90	0,19	2,04	1.160	240	742	9,2
39	73	18,48	7,90	0,19	2,03	1.147	237	734	9,2
40	72	18,36	7,90	0,20	2,13	1.140	235	730	9,2
41	71	18,28	7,90	0,19	2,02	1.139	233	729	9,3
42	70	18,04	7,90	0,19	2,01	1.130	231	723	9,4
43	69	17,85	7,89	0,19	2,00	1.120	230	716	9,3
44	68	17,39	7,89	0,20	2,09	1.101	113	704	9,1
45	67	17,05	7,88	0,20	2,08	1.087	-6	696	10,4
46	66	16,60	7,85	0,20	2,06	1.076	-68	688	9,9
47	65	16,54	7,83	0,19	1,95	1.075	-109	688	9,7
48	64	16,34	7,81	0,19	1,94	1.078	-131	690	9,6
49	63	16,23	7,79	0,19	1,94	1.085	-144	695	9,6

EMBALSE: MEQUINENZA (ME) **CAMPAÑA:** 1
COT. MAX: 121 **NIVEL:** 112

Estación: E2 Profundidad: 29
 Fecha: 04/09/2003 Hora: 17:10
 Disco Secchi (m): 1,95 Capa fótica (m): 3,3

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	112	25,72	8,37	4,78	58,69	1.393	220	892	17,0
1	111	25,75	8,37	4,48	55,04	1.392	219	891	17,2
2	110	25,75	8,36	4,47	54,92	1.394	219	892	17,0
3	109	25,76	8,37	4,43	54,44	1.393	218	891	16,7
4	108	25,76	8,37	4,39	53,95	1.394	217	892	16,6
5	107	25,76	8,37	4,42	54,32	1.394	217	892	16,7
6	106	25,76	8,37	4,36	53,58	1.394	217	892	16,7
7	105	25,76	8,37	4,34	53,34	1.394	216	892	16,6
8	104	25,76	8,37	4,49	55,18	1.394	216	892	16,6
9	103	25,76	8,34	4,33	53,22	1.394	216	892	16,5
10	102	25,76	8,37	4,31	52,97	1.395	215	893	16,6
11	101	25,76	8,37	4,34	53,34	1.394	215	894	16,8
12	100	25,77	8,36	4,29	52,74	1.399	214	896	17,1
13	99	25,78	8,36	4,28	52,63	1.405	214	898	17,3
14	98	25,78	8,36	4,26	52,39	1.405	214	899	17,5
15	97	25,78	8,35	4,20	51,65	1.412	213	904	17,1
16	96	25,88	8,27	3,33	41,05	1.536	214	980	18,3
17	95	26,22	8,06	1,42	17,63	1.806	216	1.160	17,9
18	94	26,51	7,93	0,32	4,00	2.147	205	1.370	18,0
19	93	26,47	7,90	0,27	3,37	2.239	191	1.430	18,3
20	92	26,27	7,87	0,27	3,36	2.288	169	1.460	19,1
21	91	26,08	7,86	0,26	3,23	2.293	145	1.470	19,8
22	90	25,51	7,85	0,26	3,19	2.175	121	1.390	18,2
23	89	25,24	7,84	0,25	3,05	2.169	-53	1.390	19,3
24	88	25,05	7,82	0,24	2,92	2.150	-96	1.370	21,2
25	87	24,52	7,79	0,24	2,89	2.093	-124	1.340	20,9
26	86	24,25	7,77	0,24	2,88	2.066	-142	1.320	21,8
27	85	23,40	7,74	0,24	2,83	2.012	-157	1.290	22,5
28	84	22,96	7,73	0,22	2,57	1.979	-182	1.270	24,4
29	83	22,22	7,73	0,21	2,42	1.888	-196	1.210	26,0

EMBALSE: MEQUINENZA (ME) **CAMPAÑA:** 1
COT. MAX: 121 **NIVEL:** 112

Estación: E3 Profundidad: 12,5
 Fecha: 05/09/2003 Hora: 10:20
 Disco Secchi (m): 1,4 Capa fótica (m): 2,4

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	112	24,85	8,25	4,37	52,88	1.800	215	1.150	10,1
1	111	24,84	8,24	4,16	50,33	1.800	215	1.150	10,0
2	110	24,83	8,23	4,02	48,63	1.790	215	1.150	10,0
3	109	24,83	8,23	3,97	48,03	1.800	215	1.150	10,0
4	108	24,82	8,22	3,83	46,33	1.808	215	1.160	10,1
5	107	24,73	8,20	3,43	41,43	1.843	215	1.190	10,2
6	106	24,60	8,20	3,61	43,51	1.887	215	1.210	10,3
7	105	24,16	8,21	3,36	40,18	1.980	215	1.270	10,6
8	104	24,03	8,23	3,19	38,06	2.021	215	1.300	12,1
9	103	23,91	8,24	2,91	34,65	2.062	215	1.320	14,6
10	102	23,84	8,23	2,60	30,92	2.085	215	1.330	21,5
11	101	23,59	8,24	2,59	30,67	2.145	214	1.370	27,2
12	100	23,50	8,27	2,68	31,68	2.160	213	1.380	35,4

EMBALSE: MEQUINENZA (ME) **CAMPAÑA:** 1
COT. MAX: 121 **NIVEL:** 112

Estación: E4 Profundidad: 18,5
 Fecha: 28/08/2003 Hora: 15:25
 Disco Secchi (m): 0,24 Capa fótica (m): 0,4

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	112	21,71	8,51	6,07	69,36	2.327	206	2.327	81,4
1	111	21,68	8,48	5,53	63,16	2.328	206	2.328	83,0
2	110	21,68	8,47	5,34	60,99	2.330	206	2.330	95,0
3	109	21,67	8,47	5,23	59,72	2.328	206	2.328	107,0

REPORTAJE FOTOGRÁFICO



Presa de Mequinenza



Panorámica desde la estación E3



Vista desde la estación E4, al fondo Chiprana



Dique de contención en el término municipal de Caspe

ADICIONAL INFORME EMBALSE DE MEQUINENZA 2003

Durante el año 2022 se han revisado los datos del embalse de Mequenza 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
<i>RCEtrans</i>	> 0,6	0,4-0,6	0,2-0,4	<0,2
Valoración de cada clase	2	3	4	5

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

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

2.1.2. INDICADORES DE CALIDAD FÍSICOQUÍMICOS

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

1) Transparencia

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

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

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

2) Condiciones de oxigenación

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

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

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

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

3) Concentración de nutrientes

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

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

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

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

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

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

4) Sustancias preferentes y contaminantes específicos de cuenca

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

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

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

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

Tabla A16. Combinación de los indicadores.

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

2.2. ESTADO QUÍMICO

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

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

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

2.3. ESTADO

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

Tabla A18. Determinación del estado.

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

DIAGNÓSTICO DEL ESTADO TRÓFICO DEL EMBALSE DE MEQUINENZA

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 Mequinenza.

INDICADOR	VALOR	ESTADO TRÓFICO
CONCENTRACIÓN P TOTAL	10,00	Oligotrófico
DISCO SECCHI	3,95	Oligotrófico
COLOROFILA <i>a</i>	2,50	Oligotrófico
DENSIDAD ALGAL	9655	Mesotrófico
ESTADO TRÓFICO FINAL	2,25	OLIGOTRÓFICO

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

DIAGNÓSTICO DEL ESTADO FINAL DEL EMBALSE DE MEQUINENZA

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 Mequinenza.

Indicador	Elementos	Parámetro	Indicador	Valor	RCE	RCET	PE
Biológico	Fitoplancton	Biomasa	Clorofila a ($\mu\text{g/L}$)	2,50	0,96	0,97	Bueno o superior
INDICADOR BIOLÓGICO				2			BUENO O SUPERIOR
Indicador	Elementos	Indicador	Valor	PE			
Fisicoquímico	Transparencia	Disco de Secchi (m)	3,95	Bueno			
	Oxigenación	O ₂ hipolimnética (mg O ₂ /L)	5,20	Moderado			
	Nutrientes	Concentración de PT ($\mu\text{g P/L}$)	10,00	Bueno			
INDICADOR FISICOQUÍMICO				3			MODERADO
POTENCIAL ECOLÓGICO				MODERADO			
ESTADO FINAL				INFERIOR A BUENO			

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