
Diciembre de 2003

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

EMBALSE DE LA TRANQUERA

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	12

ANEXO I: RESULTADOS FÍSICO QUÍMICOS

REPORTAJE FOTOGRÁFICO

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento recoge los resultados de los trabajos realizados en el embalse de La Tranquera 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 La Tranquera, cuya presa fue terminada en 1957, se sitúa en el término municipal de Carenas, en la provincia de Zaragoza. Regula principalmente las aguas de los ríos Piedra y Mesa, aunque también las de algunos barrancos de carácter intermitente.

Se trata de un embalse de medianas dimensiones, que presenta dos brazos perfectamente definidos, ya que la presa se sitúa inmediatamente después de la confluencia del río Mesa con el Piedra.

Las aguas del embalse se destinan principalmente al riego y al abastecimiento. Las poblaciones abastecidas con las aguas del embalse son Calatayud y Carenas. En menor medida, sus aguas se destinan a la producción eléctrica y a los usos recreativos principalmente, navegación y pesca.

La cuenca vertiente al embalse de La Tranquera tiene una superficie total de 156.160 ha, de las cuales 77.320 ha corresponden a la cuenca vertiente del río Piedra y 61.480 ha al río Mesa.

El embalse tiene una extensión de 530 ha en su máximo nivel normal y una capacidad total de 84,17 hm³. Tiene una profundidad media de 15,8 m, mientras que la profundidad máxima es de 41 m. En fechas próximas al muestreo, el embalse se encontraba al 54% de su capacidad total, lo que representa un volumen embalsado de 43 hm³. 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)	156.160
Superficie de la cuenca parcial (ha)	156.160
Superficie de la subcuenca de escorrentía (ha)	16.470
Superficie del embalse (ha)	530
Longitud máxima del embalse (km)	6
Capacidad total (hm ³)	84,17
Capacidad útil (hm ³)	-
Profundidad máxima (m)	41
Profundidad media (m)	15,8
Perímetro en máximo nivel (km)	29
Cota máximo nivel embalsado (msnm)	685
Cota(s) de la toma(s) de agua principal(es) (msnm)	645,3;648,5;646,8

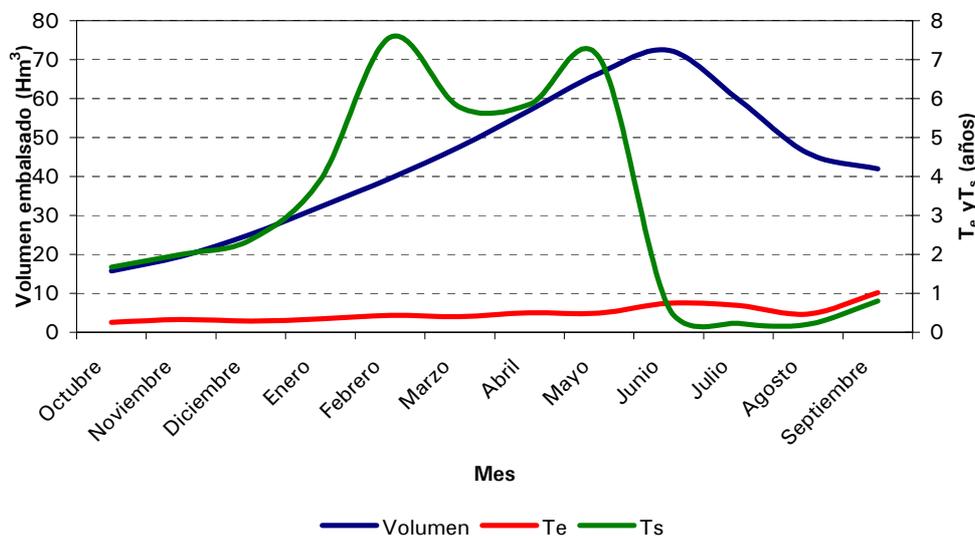
En el *cuadro II* se presentan las medias mensuales de la explotación hidráulica correspondiente al año hidrológico 2002-2003.

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	15,75	0,80	5,30	1,67	0,25
Noviembre	19,50	0,80	4,90	2,00	0,33
Diciembre	25,20	0,90	7,50	2,38	0,29
Enero	32,25	0,70	8,00	3,91	0,34
Febrero	39,50	0,40	7,00	7,58	0,43
Marzo	47,60	0,70	10,10	5,78	0,40
Abril	57,00	0,80	9,30	5,86	0,50
Mayo	66,50	0,80	11,40	7,06	0,50
Junio	72,40	9,60	8,00	0,62	0,74
Julio	59,75	22,30	7,40	0,23	0,69
Agosto	46,00	18,80	8,30	0,21	0,47
Septiembre	42,00	4,30	3,40	0,80	1,02
Total anual	43,62	60,90	90,60	0,72	0,48

El tiempo de residencia interanual del agua es moderado, entre 6 y 8 meses según se consideren las entradas o las salidas. El mínimo se obtiene en el mes de agosto (0,21 años) y el máximo en febrero (7,58 años), en ambos casos atendiendo a las entradas.

Figura 1: Volumen embalsado y tiempo de retención del agua



3. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

En el embalse se han fijado cinco estaciones de muestreo para cubrir la heterogeneidad espacial de la masa de agua: una ubicada en las inmediaciones de la presa (E1), dos en el brazo formado por el río Mesa (E4, zona intermedia y E5, cola) y dos más en el brazo formado por el Piedra (E2, zona intermedia y E3, cola) (*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 28/8/2003 se presentan en el Anexo I. Del comportamiento observado se desprenden las siguientes apreciaciones:

- El embalse no se encuentra estratificado. En la estación de presa (E1) la temperatura oscila entre los 24,86°C en superficie y los 17,68°C en fondo (7,18°C de diferencia). En términos generales, el embalse presenta una temperatura moderadamente alta.
- El pH del agua es ligeramente básico en todo el embalse, registrándose el máximo (8,92 ud) en las estaciones E1 y E2, a 2 y 5 metros de profundidad respectivamente. El mínimo (7,44 ud) se registra en los estratos más profundos de la estación E1.
- La transparencia del agua es moderada, alcanzando los 2,74 m en la estación E1, lo que supone una profundidad de la capa fótica de 4,7 m. La lectura de disco de Secchi disminuye progresivamente hacia las colas del embalse, registrándose el mínimo en la estación E5 (río Mesa) con un valor no muy inferior al obtenido en cabecera (2,42 m). La turbidez es baja y mantiene la misma pauta que la transparencia, sólo que en éste caso los máximos se registran en la cola formada por el río Piedra (estación E3).

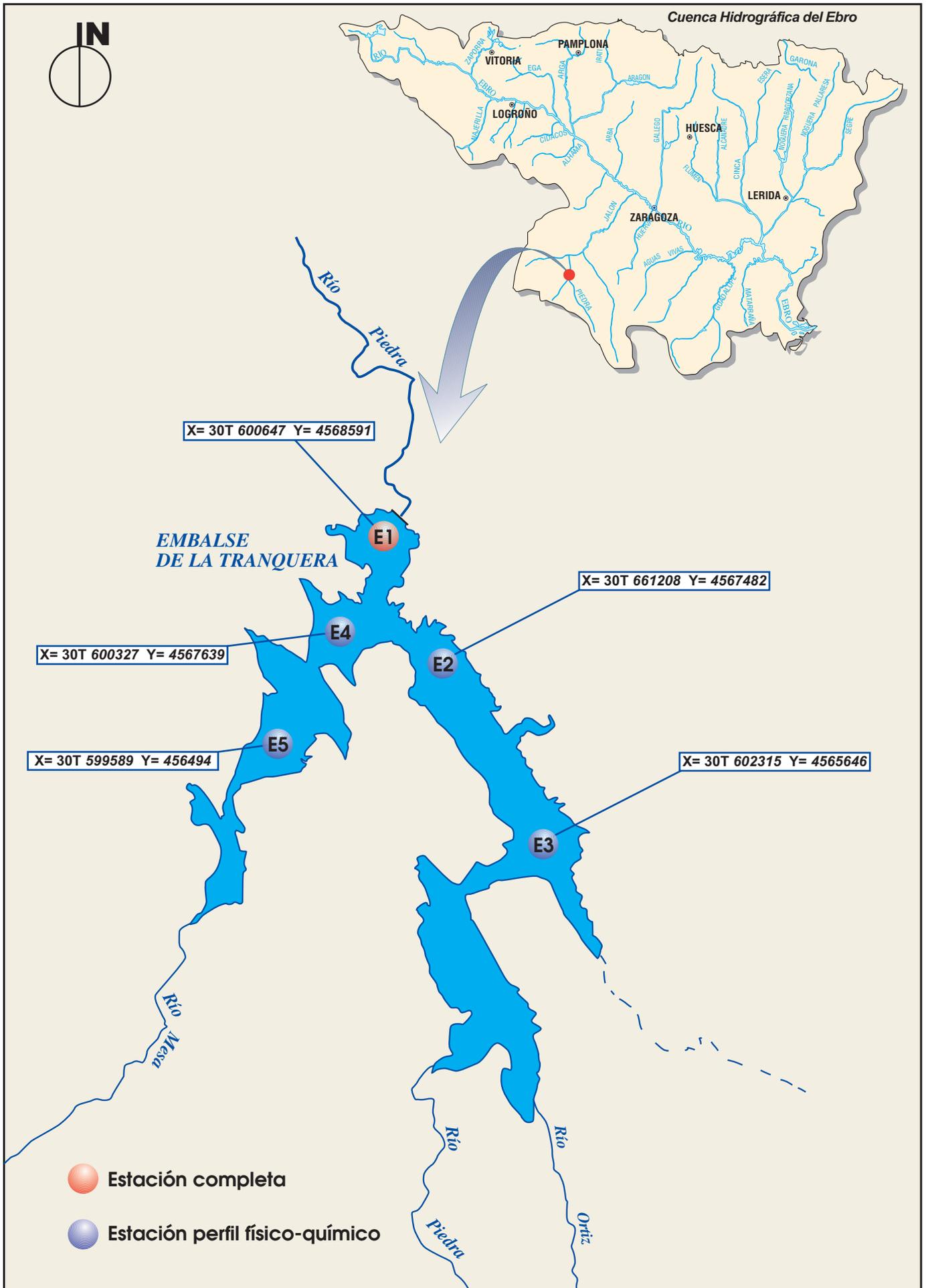
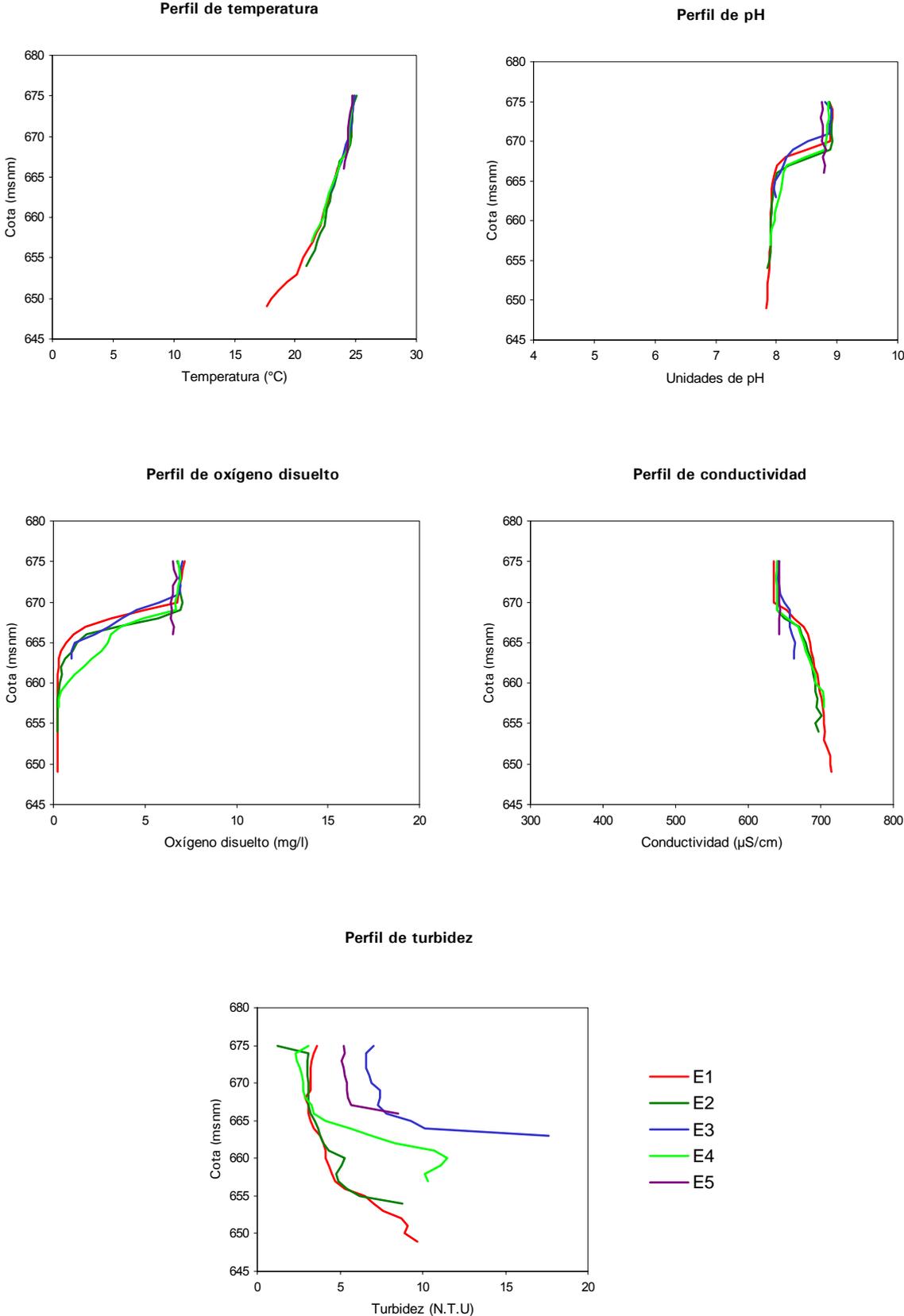


Figura 2: Localización de las estaciones de muestreo en el embalse de La Tranquera

- El perfil vertical de oxígeno realizado en la estación de presa refleja que el embalse no ha completado totalmente el proceso de desestratificación, ya que entre los 5 y 7 metros la concentración de oxígeno decae bruscamente y a partir de los 10 metros la concentración es inferior a 1 mg de O₂/l. Tal situación no se detecta en las estaciones de cola, obteniéndose perfiles O₂ más homogéneos. Por su parte, las estaciones intermedias también presentan condiciones anóxicas, pero a partir de posiciones más profundas. En términos generales, las condiciones de oxigenación del embalse se pueden considerar deficitarias, ya que gran parte de la columna de agua se encuentra en condiciones anóxicas.
- La conductividad de las aguas es alta y oscila entre los 635 -mínimo- y 715 μ S/cm –máximo-. Los valores se encuentran dentro de los valores históricos de este ámbito.

Figura 3: Perfiles físico-químicos del embalse



4.2. Hidroquímica del embalse

- Las concentraciones de los compuestos fosforados son moderadas y presentan los máximos en la muestra de fondo, con unos valores de 0,019 y 0,017 mg P/l para el fósforo total y los fosfatos. De los compuestos nitrogenados destacan las concentraciones de nitritos que superan el umbral establecido para vida piscícola de tipo ciprinícolas ($\leq 0,03$ mg NO_2/l), en las posiciones de medio fondo y fondo. Los nitratos se encuentran también en concentraciones altas y dentro de rangos habituales en el embalse.
- La concentración de manganeso en fondo (0,06 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 moderado, con unos valores de 3 y 16,16 mg O_2/l para la DBO_5 y DQO.
- Las aguas embalsadas son moderadamente mineralizadas y la concentración de calcio (71,8 mg Ca/l) es alta, factor que fomenta la precipitación de los fosfatos.

Cuadro III: *Resultados químicos*

EMBALSE:	LA TRANQUERA	CÓDIGO:	LT	
CAMPAÑA:	1	FECHA:	28/08/2003	
COTA MÁXIMA:	685	NIVEL:	675	
CÓDIGO DEL PUNTO DE MUESTREO				
PARÁMETRO	UNIDAD	E1S	E1M	E1F
PROFUNDIDAD	m	0-4	13	25
COTA	msnm	685-681	662	650
SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	mg/l	< 2,4		
ALCALINIDAD TOTAL	mg CO ₃ Ca/l	125,4		
DBO ₅	mg O ₂ /l	2,0		
DQO	mg O ₂ /l	16,16		
FÓSFORO TOTAL	mg P/l	0,010	0,010	0,019
FOSFATOS	mg PO ₄ ³ /l	0,018	0,040	0,051
FOSFATOS	mg P/l	0,006	0,013	0,017
NITRÓGENO KJELDAHL	mg N/l	1,04	0,88	1,10
AMONIO TOTAL	mg NH ₄ /l	0,59	0,05	0,06
AMONIO TOTAL	mg N/l	0,46	0,04	0,05
NITRÓGENO ORGÁNICO	mg N/l	0,58	0,84	1,05
NITRATOS	mg NO ₃ /l	6,84	7,74	4,31
NITRATOS	mg N/l	1,54	1,75	0,97
NITRITOS	mg NO ₂ /l	0,100	0,626	0,184
NITRITOS	mg N/l	0,030	0,191	0,056
N INORGÁNICO	mg N/l	2,04	1,98	1,08
CALCIO	mg Ca/l	71,8		
MAGNESIO DISUELTO	mg Mg/l	27,4		
SODIO	mg Na/l	32,9		
POTASIO	mg K/l	2,7		
CLORUROS	mg Cl/l	61,5		
SULFATOS	mg SO ₄ ⁻² /l	108,0		
HIERRO DISUELTO	mg Fe/l			0,22
MANGANESO DISUELTO	mg Mn/l			0,06
COBRE DISUELTO	mg Cu/l			<0,024
ZINC DISUELTO	mg Zn/l			<0,018
SÍLICE	mg SiO ₂ /l	1,58		
CLOROFILA a	µg/l	7,8		

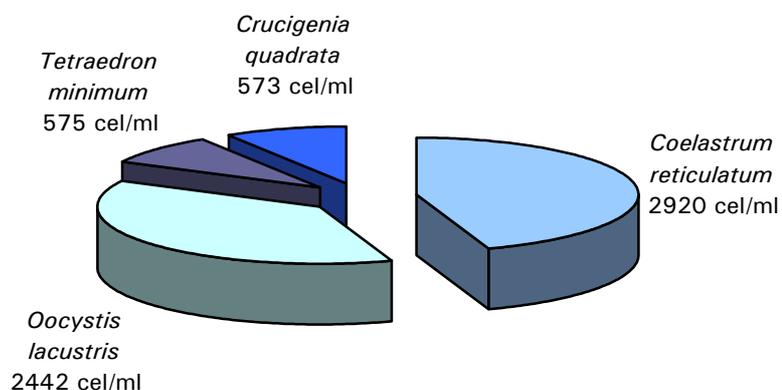
4.3. Concentración de pigmentos fotosintetizadores y productores primarios

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

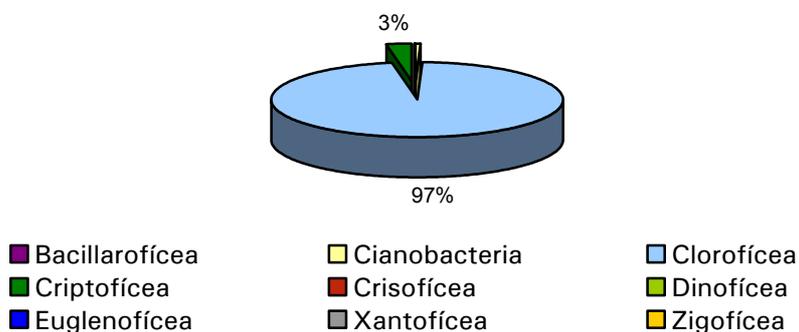
- ◆ 2 bacilarofíceas
- ◆ 12 clorofíceas
- ◆ 2 zigofíceas
- ◆ 3 cianobacterias
- ◆ 2 dinofíceas
- ◆ 2 criptofíceas

En el gráfico siguiente se puede apreciar la distribución de densidades de las especies más abundantes:

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



Se registra una densidad fitoplanctónica de 7.790 cel/ml y la comunidad se caracteriza casi exclusivamente por el grupo de las clorofíceas que representan el 97% de la población. Dentro de esta clase se distinguen por su abundancia *Coelastrum reticulatum* y *Oocystis lacustris* que alcanzan el 70% de la densidad total. El valor del índice de diversidad de especies Shannon-Weaver se sitúa en 2,49 bits.

Figura 5: Distribución de la comunidad algal por clases taxonómicas

4.3.1. Calidad bioindicadora

Durante el final del estío, el embalse de La Tranquera presenta una elevada densidad algal -7.790 cel/ml-. La característica más destacable de la comunidad fitoplanctónica es la fuerte dominancia del grupo de las clorofíceas, cuya abundancia relativa se eleva al 97%. Dentro de este grupo las especies más importantes cuantitativamente son típicamente estivales y de medios bien iluminados -*Coelastrum reticulatum*, *Tetraedron minimum*, *Crucigenia quadrata* y *Oocystis lacustris* -, las tres primeras especies están asociadas a ambientes ricos en nutrientes y la última es más común en medios mesotróficos.

En definitiva, la estructura de la comunidad algal se configura mediante especies típicamente estivales y con distribución preferente en aguas de carácter eutrófico.



Tetraedron minimum

Cuadro IV: Resultados biológicos

EMBALSE:	LA TRANQUERA	CÓDIGO:	LT
CAMPAÑA:	1	FECHA:	28/08/2003
COTAMAX:	685	D. SECCHI:	2,74
NIVEL:	675	C.FÓTICA:	4,66
PARÁMETRO	UNIDAD	CÓDIGO DEL PUNTO DE MUESTREO	
		E1S	
PROFUNDIDAD	m	0,5-5	
COTA	msnm	584,5-680	
CLOROFILA a	µg/l	7,80	
Individuos totales	n° cel/ml	7.790	
Diversidad (H)	Bits	2,49	
Clase BACILLARIOFICEA	n° cel/ml	3	
Grupo CIANOBACTERIA	n° cel/ml	35	
Clase CLOROFICEA	n° cel/ml	7.540	
Clase CRIPTOFICEA	n° cel/ml	205	
Clase CRISOFICEA	n° cel/ml	0	
Clase DINOVICEA	n° cel/ml	2	
Clase EUGLENOVICEA	n° cel/ml	0	
Clase XANTOFICEA	n° cel/ml	0	
Clase ZIGOFICEA	n° cel/ml	5	
ESPECIES	TAXÓN	n° cel/ml	
<i>Cyclotella sp.</i>	Bacillariofícea	2	
<i>Navicula cryptocephala</i>	Bacillariofícea	1	
<i>Anabaena sp.</i>	Cianobacteria	1	
<i>Aphanocapsa sp.</i>	Cianobacteria	5	
<i>Planktothrix sp.</i>	Cianobacteria	29	
<i>Ankistrodesmus mucicola</i>	Clorofícea	43	
<i>Chlamydomonas sp.</i>	Clorofícea	1	
<i>Chlorella sp.</i>	Clorofícea	212	
<i>Coelastrum microporum</i>	Clorofícea	349	
<i>Coelastrum reticulatum</i>	Clorofícea	2.922	
<i>Crucigenia quadrata</i>	Clorofícea	573	
<i>Oocystis lacustris</i>	Clorofícea	2.442	
<i>Pediastrum duplex</i>	Clorofícea	8	
<i>Scenedesmus acuminatus</i>	Clorofícea	4	
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	Clorofícea	311	
<i>Sphaerocystis Schroeteri</i>	Clorofícea	100	
<i>Tetraedron minimum</i>	Clorofícea	575	
<i>Cryptomonas erosa</i>	Criptofícea	130	
<i>Rhodomonas minuta</i>	Criptofícea	75	
<i>Ceratium hirundinella</i>	Dinofícea	1	
<i>Peridinium sp.</i>	Dinofícea	1	
<i>Closterium acutum</i>	Zigofícea	4	
<i>Staurastrum sp.</i>	Zigofícea	1	

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 La Tranquera como **mesotrófico**.

No obstante, existen indicios –transparencia, O₂ y composición algal- que vienen a indicar que existe un estrecho margen entre los niveles de mesotrofia y eutrofia.

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

Indice	Definición criterio	Rango	Agosto 2.003	
			Valor	Grado Trófico
EPA (1976)	<i>PT (ug/l); media anual</i>	< 10-MESO-20 >	13	MESOTRÓFICO
EPA (Weber, 1976)	<i>N° células algales/ml</i>	< 2000-MESO-15000 >	7.540	MESOTRÓFICO
EPA (Weber, 1976)	<i>Clorofila (ug/l); máx. fót.</i>	< 3-MESO-20 >	7,8	MESOTRÓFICO
Lee, Jones & Rast (1978)	<i>Clorofila (ug/l); media anual</i>	< 2,1- 3 - 6,7 -10 >	7,8	MESO-EUTRÓF.
Lee, Jones & Rast (1978)	<i>PT (ug/l); media anual</i>	< 8- 12 - 28 -40 >	13	MESOTRÓFICO
Lee, Jones & Rast (1978)	<i>SDT (m); media anual</i>	< 1,8- 2,4 - 3,8 -4,6 >	2,4	MESOTRÓFICO
Margalef (1983)	<i>N° células algales/ml</i>	5000 (lím. eut.avan.-mod.)	7.540	E. AVANZADA
Margalef (1983)	<i>Clorofila (ug/l); anual fót.</i>	5 (lím. eut.avan.-mod.)	7,8	E. AVANZADA
Margalef (1983)	<i>PT (ug/l); media anual</i>	15 (lím. eut.avan.-mod.)	13	E. MODERADA
Margalef (1983)	<i>NO₃-N (ug/l); media anual</i>	140 (lím. eut.avan.-mod.)	1.422	E. AVANZADA
Margalef (1983)	<i>SDT (m); media anual</i>	3 (lím. eut.avan.-mod.)	2,4	E. AVANZADA
OCDE (1980)	<i>Clorofila (ug/l); anual fót.</i>	< 1; < 2.5; 2.5-8; 8-25; > 25	7,8	MESOTRÓFICO
OCDE (1980)	<i>Clorofila (ug/l); máx. anual</i>	< 2.5; < 8; 8-25; 25-75; > 75	7,8	OLIGOTRÓFICO
OCDE (1980)	<i>PT (ug/l); media anual</i>	Uol. < 4-10-35-100 > Heu.	13	MESOTRÓFICO
OCDE (1980)	<i>SDT (m); media anual</i>	> 12; > 6; 6-3; 3-1.5; < 1.5	2,6	EUTRÓFICO
OCDE (1980)	<i>SDT (m); mínimo anual</i>	> 6; > 3; 3-1.5; 1.5-0.7; < 0.7	2,4	MESOTRÓFICO
TSI (Carlson, 1974): DST	<i>$TSI = 10(6 - \log_2(DST))$</i>	Uol. < 20-40-60-80 > Heu.	47	MESOTRÓFICO
TSI (Carlson, 1974): CLA	<i>$10(6 - \log_2 7,7(1/CLA^{0,68}))$</i>	Uol. < 20-40-60-80 > Heu.	51	MESOTRÓFICO
TSI (Carlson, 1974): PT	<i>$TSI = 10(6 - \log_2(54,9/PT))$</i>	Uol. < 20-40-60-80 > Heu.	39	OLIGOTRÓFICO

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)	7.540		5000-15.000		
Biomasa algal, Cla a (µg/l); anual capa fótica	7,8		2,5-8		
Biomasa algal, Cla a (µg/l); máx anual	7,8	< 8			
Cianofíceas tóxicas; máx anual (cel/ml)	30	< 10 ⁴			
Indicadores físico-químicos					
Transparencia (SDT; media anual en m)	2,6			3-1,5	
Transparencia (SDT; mínimo anual en m)	2,4		3-1,5		
Condiciones de oxigenación en hipolimnion (mg/l)*	0,75				< 2
Concentración de PT: media anual (µg/l)	13		10-35		
Indicadores hidromorfológicos					
Variación de volumen (%)	55%				< 60

*Media a partir de 5 m de profundidad (límite capa fótica).

En definitiva, el potencial ecológico del embalse de La Tranquera se establece como **BUENO** ya que la mayor parte de los indicadores biológicos y físico-químicos la sitúan en esta categoría. La transparencia media anual muy próxima al umbral de la categoría de BUENO y el comportamiento del O₂, afectado por el proceso de mezcla en la columna de agua, son los únicos parámetros que catalogarían a este sistema como ACEPTABLE.

ANEXO I: RESULTADOS FÍSICO QUÍMICOS

EMBALSE: LA TRANQUERA (LT) **CAMPAÑA:** 1
COT. MAX: 685 **NIVEL:** 675

Estación: E1 Profundidad: 26
 Fecha: 28/08/2003 Hora: 13:15
 Disco Secchi (m): 2,74 Capa fótica (m): 4,7

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	675	24,86	8,87	7,18	84,93	635	236	407	3,6
1	674	24,72	8,92	7,06	83,30	635	235	406	3,4
2	673	24,68	8,92	7,01	82,65	636	234	407	3,3
3	672	24,65	8,91	6,88	81,07	636	234	407	3,2
4	671	24,62	8,90	6,80	80,09	636	234	407	3,2
5	670	24,61	8,90	6,78	79,84	636	234	407	3,2
6	669	24,32	8,51	5,03	58,92	653	239	418	3,2
7	668	24,09	8,15	3,13	36,51	663	246	424	2,9
8	667	23,74	8,02	1,77	20,51	676	250	433	3,1
9	666	23,51	7,97	1,08	12,46	682	251	437	3,1
10	665	23,29	7,95	0,69	7,93	685	262	438	3,2
11	664	23,07	7,93	0,43	4,92	687	253	439	3,4
12	663	22,88	7,92	0,31	3,54	689	253	441	3,8
13	662	22,74	7,92	0,28	3,19	691	253	442	4,0
14	661	22,47	7,91	0,25	2,83	695	252	444	4,1
15	660	22,26	7,91	0,25	2,82	697	251	446	4,1
16	659	22,07	7,91	0,25	2,81	699	249	447	4,3
17	658	21,71	7,91	0,24	2,68	702	247	449	4,5
18	657	21,49	7,90	0,23	2,55	703	246	450	4,7
19	656	21,04	7,89	0,23	2,53	704	245	450	5,3
20	655	20,69	7,88	0,22	2,41	705	244	451	6,5
21	654	20,39	7,88	0,22	2,39	706	244	452	7,0
22	653	20,14	7,87	0,21	2,27	705	243	452	7,6
23	652	19,35	7,86	0,21	2,24	709	243	450	8,7
24	651	18,61	7,85	0,21	2,20	713	243	456	9,1
25	650	18,07	7,85	0,21	2,18	713	241	457	8,9
26	649	17,68	7,84	0,21	2,16	715	238	457	9,7

EMBALSE: LA TRANQUERA (LT) **CAMPAÑA:** 1
COT. MAX: 685 **NIVEL:** 675

Estación: E2 Profundidad: 21
 Fecha: 28/08/2003 Hora: 14:30
 Disco Secchi (m): 2,67 Capa fótica (m): 4,5

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	675	25,11	8,88	6,78	80,57	641	164	410	1,2
1	674	24,83	8,91	6,96	82,29	640	165	410	3,1
2	673	24,74	8,91	6,92	81,68	640	166	410	3,0
3	672	24,70	8,91	6,86	80,91	639	167	409	3,0
4	671	24,65	8,91	6,93	81,67	639	168	409	3,0
5	670	24,59	8,92	7,07	83,23	639	170	409	3,1
6	669	24,54	8,89	6,92	81,39	640	172	410	3,1
7	668	24,32	8,57	5,72	67,01	650	177	416	3,1
8	667	23,69	8,20	3,51	40,64	670	185	429	3,1
9	666	23,62	8,02	1,83	21,16	673	189	431	3,2
10	665	23,40	7,97	1,30	14,97	680	189	435	3,5
11	664	23,21	7,96	1,03	11,82	682	192	437	3,7
12	663	22,95	7,94	0,67	7,65	687	193	440	3,8
13	662	22,84	7,92	0,41	4,67	688	194	440	4,0
14	661	22,64	7,92	0,46	5,22	689	194	441	4,3
15	660	22,55	7,91	0,35	3,97	692	194	445	5,3
16	659	22,45	7,91	0,28	3,17	693	193	444	5,1
17	658	22,06	7,90	0,25	2,81	695	192	445	4,8
18	657	21,84	7,90	0,25	2,80	694	191	444	4,9
19	656	21,63	7,90	0,23	2,56	702	190	449	5,4
20	655	21,29	7,88	0,21	2,32	693	188	444	6,2
21	654	20,92	7,86	0,21	2,31	697	187	447	8,8

EMBALSE: LA TRANQUERA (LT) **CAMPAÑA:** 1
COT. MAX: 685 **NIVEL:** 675

Estación: E3 Profundidad: 12
 Fecha: 28/08/2003 Hora: 14:00
 Disco Secchi (m): 2,7 Capa fótica (m): 4,6

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	675	24,90	8,80	7,08	83,81	642	208	411	7,0
1	674	24,77	8,91	6,94	81,96	641	208	410	6,6
2	673	24,71	8,91	6,89	81,28	641	208	410	6,6
3	672	24,66	8,88	6,94	81,80	642	209	411	6,6
4	671	24,63	8,88	6,89	81,17	644	209	412	6,8
5	670	24,44	8,52	5,80	68,09	650	214	416	6,9
6	669	24,17	8,27	4,54	53,03	657	220	420	7,4
7	668	24,01	8,17	3,76	43,79	657	222	420	7,4
8	667	23,85	8,11	3,02	35,07	658	224	421	7,3
9	666	23,55	8,06	2,27	26,21	661	225	423	7,8
10	665	23,28	7,97	1,14	13,10	664	229	425	9,3
11	664	23,16	7,96	1,02	11,69	663	228	424	10,1
12	663	22,84	7,99	1,02	11,62	663	229	424	17,6

EMBALSE: LA TRANQUERA (LT) **CAMPAÑA:** 1
COT. MAX: 685 **NIVEL:** 675

Estación: E4 Profundidad: 18,5
 Fecha: 28/08/2003 Hora: 15:25
 Disco Secchi (m): 2,62 Capa fótica (m): 4,5

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	675	24,75	8,86	6,81	80,39	640	180	409	3,1
1	674	24,76	8,86	6,87	81,12	640	180	409	2,3
2	673	24,61	8,87	6,91	81,37	638	181	409	2,4
3	672	24,52	8,84	6,80	79,94	639	182	409	2,6
4	671	24,49	8,83	6,76	79,43	639	183	409	2,7
5	670	24,46	8,82	6,66	78,21	639	184	409	2,8
6	669	24,43	8,81	6,73	78,99	639	185	409	2,8
7	668	24,18	8,48	4,88	57,02	655	190	419	2,9
8	667	23,77	8,17	3,70	42,90	669	197	428	3,3
9	666	23,55	8,11	3,15	36,38	672	200	430	3,4
10	665	23,27	8,10	2,96	34,01	676	201	432	4,1
11	664	23,07	8,08	2,64	30,22	679	203	435	5,6
12	663	22,82	8,04	2,07	23,58	684	204	438	6,9
13	662	22,60	8,02	1,63	18,49	688	205	441	8,3
14	661	22,42	7,98	1,17	13,23	692	206	443	10,7
15	660	22,36	7,97	0,76	8,58	693	206	444	11,5
16	659	22,00	7,93	0,41	4,60	703	207	450	11,1
17	658	21,60	7,91	0,30	3,34	705	204	451	10,1
18	657	21,34	7,90	0,27	2,99	705	187	451	10,3

REPORTAJE FOTOGRÁFICO



Panorámica del embalse desde la presa



Vista desde la estación E3, cola formada por el río Piedra



Vista del embalse desde la estación E5, cola formada por el río Mesa



Salida del embalse

ADICIONAL INFORME EMBALSE DE LA TRANQUERA 2003

Durante el año 2022 se han revisado los datos del embalse de La Tranquera 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 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 LA TRANQUERA

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 La Tranquera.

INDICADOR	VALOR	ESTADO TRÓFICO
CONCENTRACIÓN P TOTAL	10,00	Oligotrófico
DISCO SECCHI	2,74	Mesotrófico
CLOROFILA <i>a</i>	7,80	Mesotrófico
DENSIDAD ALGAL	7790	Mesotrófico
ESTADO TRÓFICO FINAL	2,75	MESOTRÓFICO

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

DIAGNÓSTICO DEL ESTADO FINAL DEL EMBALSE DE LA TRANQUERA

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 La Tranquera.

Indicador	Elementos	Parámetro	Indicador	Valor	RCE	RCET	PE
Biológico	Fitoplancton	Biomasa	Clorofila a ($\mu\text{g/L}$)	7,80	0,33	0,47	Bueno o superior
INDICADOR BIOLÓGICO				2			BUENO O SUPERIOR
Indicador	Elementos	Indicador	Valor	PE			
Fisicoquímico	Transparencia	Disco de Secchi (m)	2,74	Moderado			
	Oxigenación	O ₂ hipolimnética (mg O ₂ /L)	6,90	Bueno			
	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 La Tranquera para el año 2003 es de nivel 3, **INFERIOR A BUENO**.