
Diciembre de 2003

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

EMBALSE DE CASPE

ÍNDICE

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

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento recoge los resultados de los trabajos realizados en el embalse de Caspe 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 Caspe, cuya presa fue terminada en 1.988, se sitúa en la localidad de Caspe, en la provincia de Zaragoza. Regula principalmente las aguas del río Guadalupe, aunque también las de otros arroyos de menor entidad y carácter intermitente, como son: Val de la Estremera, Val Comuna, Val de Jerique, Val de Fardachos y Val de las Arribas, por margen derecha y Val Blanca, Val de Prior, Val de Sedante y Val de Faltreñas, por margen izquierda.

Se trata de un embalse de moderadas dimensiones que, sin grandes variaciones morfológicas en el eje longitudinal, presenta una amplia ensenada por margen izquierda en las proximidades de la presa.

Las aguas del embalse se destinan principalmente al riego y al abastecimiento, siendo el principal usuario la comunidad de Regantes del Civán. Debido al alejamiento del embalse de las vías de comunicación más frecuentadas, las actividades recreativas se ven limitadas, siendo la pesca la única actividad destacable.

La cuenca vertiente al embalse de Caspe tiene una superficie total de 370.500 ha, de las cuales 27.400 ha corresponden a la cuenca vertiente del embalse de Calanda.

El embalse tiene una extensión de 638 ha en su máximo nivel normal, una capacidad total de 81,62 hm³, volumen que se corresponde con su capacidad útil. Tiene una profundidad media de 12,7 m, mientras que la profundidad máxima es de 46 m. En el momento del muestreo (3/9/2003) el embalse se encontraba unos 3 metros por debajo de la cota máxima. En el *cuadro 1* se presentan las características morfométricas del embalse y de las subcuencas.

Cuadro 1: Características morfométricas del embalse y subcuencas

Superficie de la cuenca total (ha)	370.500
Superficie de la cuenca parcial (ha)	96.500
Superficie de la subcuenca de escorrentía (ha)	11.970
Superficie del embalse (ha)	638
Longitud máxima del embalse (km)	13
Capacidad total (hm ³)	81,62
Capacidad útil (hm ³)	81,62
Profundidad máxima (m)	46
Profundidad media (m)	12,7
Perímetro en máximo nivel (km)	40
Cota máximo nivel embalsado (msnm)	230
Cota(s) de la toma(s) de agua principal(es) (msnm)	222,5; 197; 186,9

El día de la realización de los trabajos de campo se detecta una leve termoclina entre los 8 y 13 m de profundidad, por su parte la capa fónica ronda los 6 metros de espesor.

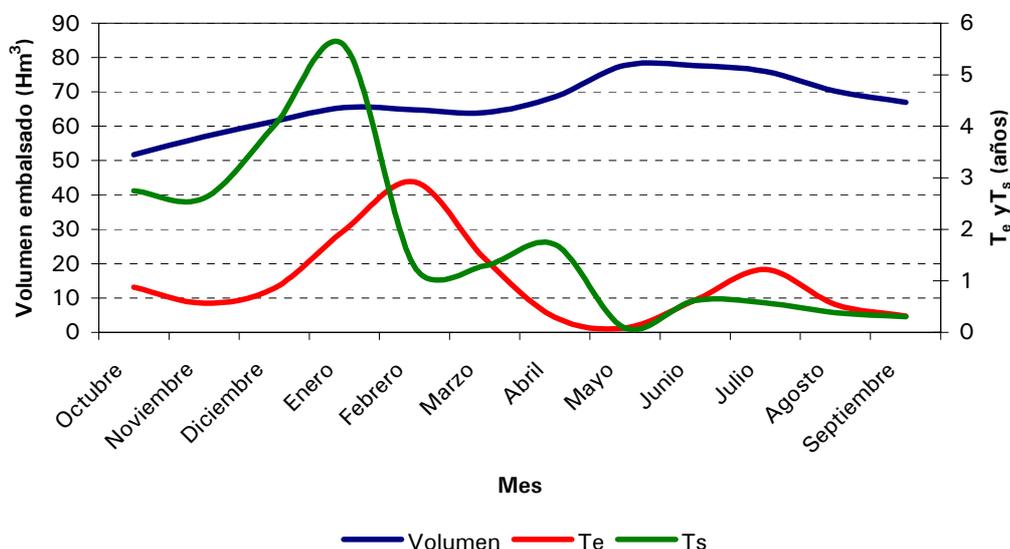
En el *cuadro II* se presentan las medias mensuales de la explotación hidráulica correspondiente al año hidrológico 2002-2003.

Cuadro II: Parámetros hidráulicos mensuales

BALANCE HIDRÁULICO MENSUAL					
Periodo	Volumen	Salidas totales	Entradas Totales	Ts	Te
2002-2003	Hm³	Hm³	Hm³	años	años
Octubre	51,75	1,60	5,00	2,75	0,88
Noviembre	57,00	1,80	8,30	2,60	0,56
Diciembre	61,40	1,30	6,10	4,01	0,85
Enero	65,50	1,00	2,80	5,56	1,99
Febrero	64,75	3,90	1,70	1,27	2,92
Marzo	64,00	4,20	3,80	1,29	1,43
Abril	68,50	3,30	19,10	1,71	0,29
Mayo	77,75	76,80	76,40	0,09	0,09
Junio	77,60	10,30	10,20	0,62	0,63
Julio	76,00	11,30	5,30	0,57	1,22
Agosto	70,25	15,70	11,10	0,38	0,54
Septiembre	67,00	18,00	17,40	0,31	0,32
Total anual	66,79	149,20	167,20	0,45	0,40

El tiempo de residencia del agua es moderado, en torno a 5 meses. El mínimo se obtiene en el mes de mayo (0,09 años) y el máximo en enero (5,56 años), en ambos casos considerando los caudales detraídos.

Figura 1: Volumen embalsado y tiempo de retención del agua



3. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

En el embalse se han fijado tres estaciones de muestreo para cubrir la heterogeneidad espacial de la masa de agua: una ubicada en las inmediaciones de la presa (E1), otra en la zona intermedia del embalse, a unos 4 km de presa (E2) y, por último, la tercera estación (E3) ubicada en la cola del embalse (*ver Figura 2*).

4. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

4.1. Características físico-químicas de las aguas

Los resultados físico-químicos de la campaña de muestreo realizada el día 3/09/2003 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 18°C en fondo. La columna de agua no presenta una termoclina bien definida, no obstante, entre 9 y 13 metros de profundidad, se aprecia un leve gradiente térmico. Ésta situación es típica del finales del estío e indica el inicio de la desestratificación térmica del embalse.

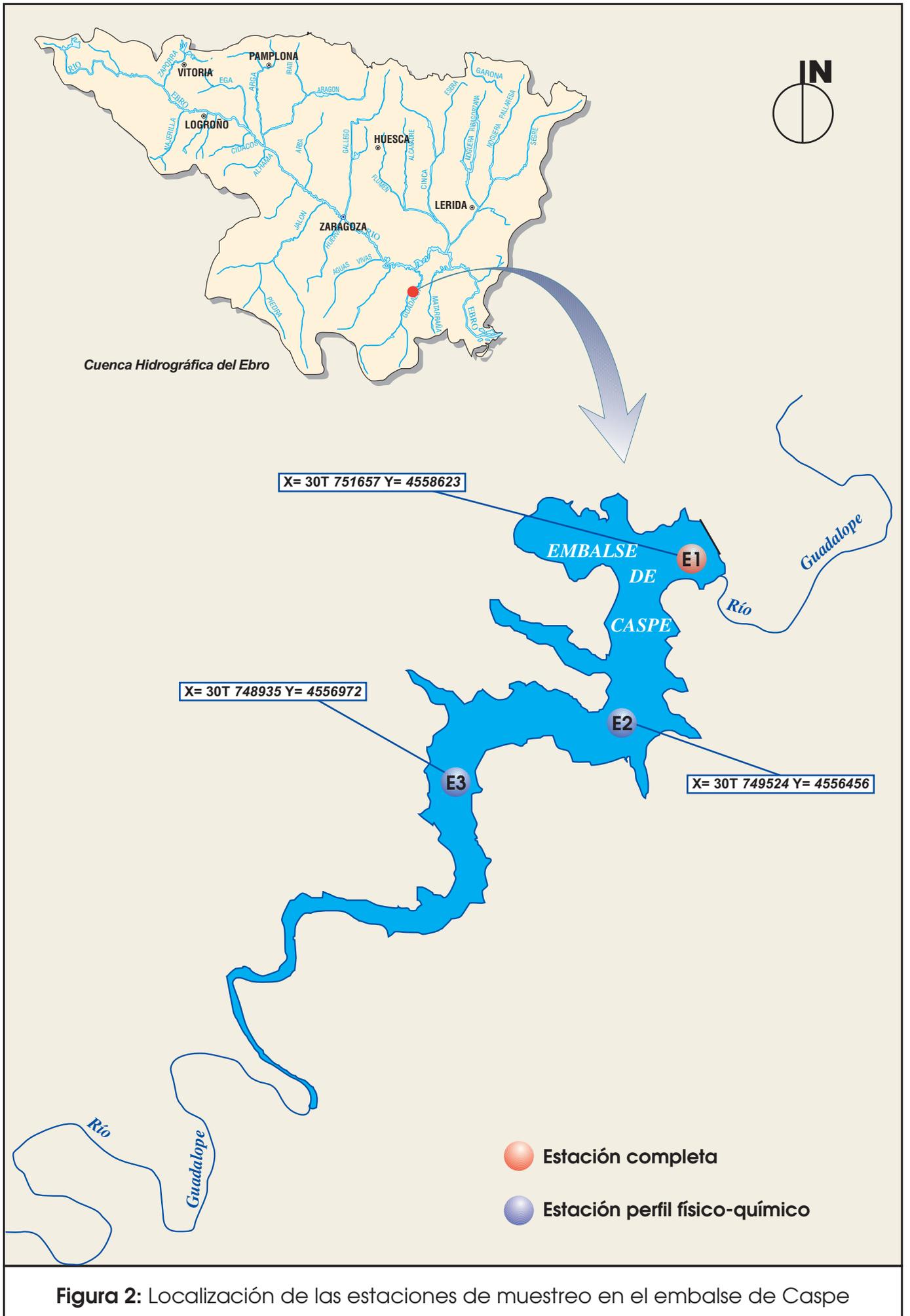
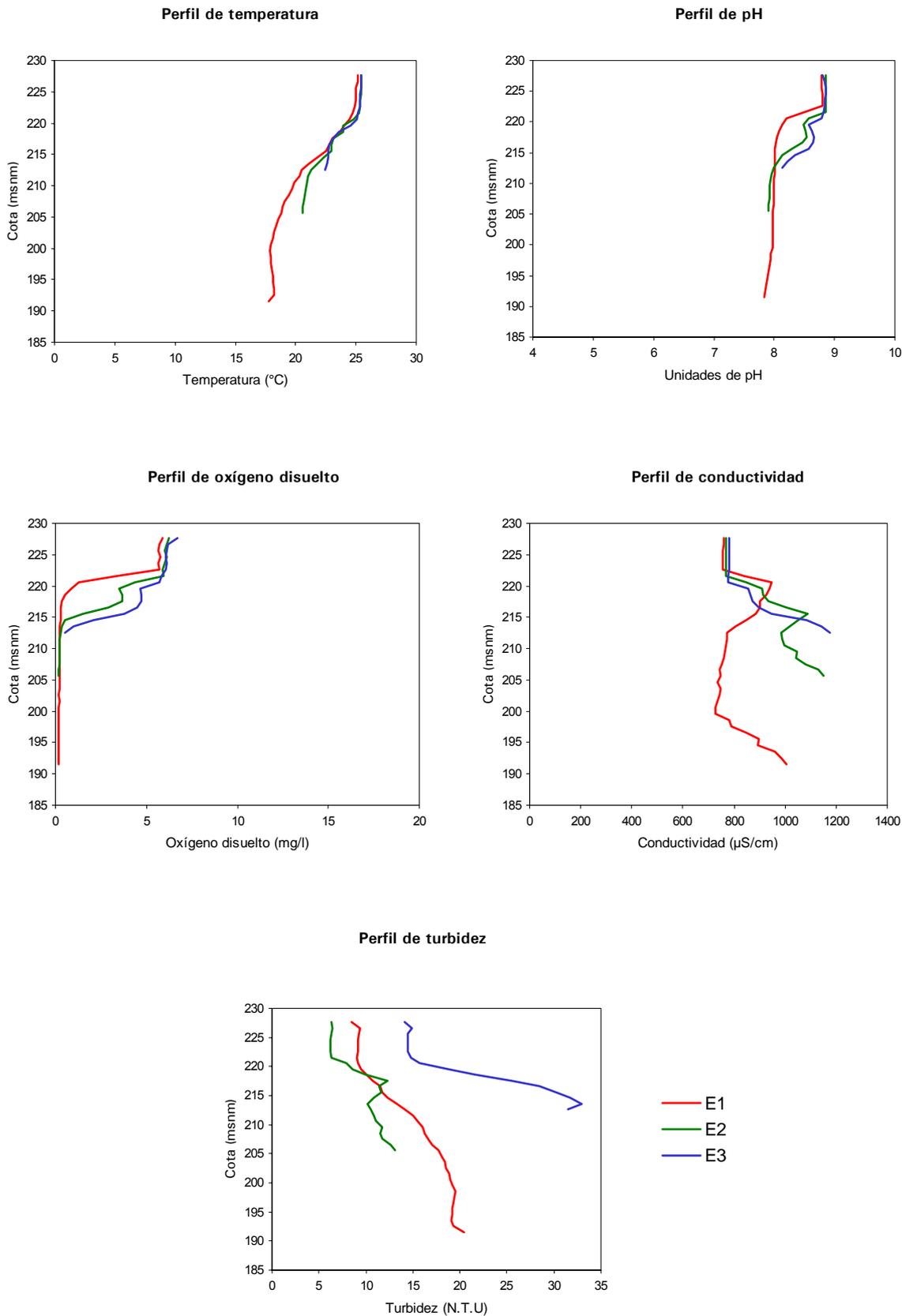


Figura 2: Localización de las estaciones de muestreo en el embalse de Caspe

- El pH del agua es ligeramente básico en todo el embalse, registrándose el máximo valor en la estación E2 (8,86 ud) a 3 metros de profundidad. El mínimo (7,84 ud) se registra en los estratos más profundos de la estación E1.
- La transparencia del agua es moderada, alcanzando los 3,5 m en la estación E1, lo que supone una profundidad de la capa fótica de 5,9 m. La lectura de disco de Secchi disminuye progresivamente hacia la cola del embalse, registrándose el mínimo en la estación de cola (E3) con un valor de 1,9 m. La turbidez es moderada y aumenta ostensiblemente hacia la cola del embalse. Los registros obtenidos, ligeramente altos para los rangos conocidos en el embalse, se encuentran condicionados por las lluvias acaecidas en la zona antes de la realización del muestreo.
- Se han detectado condiciones anóxicas en todas las estaciones de muestreo, disminuyendo el grosor de la capa anóxica a medida que se avanza en dirección a la cola de embalse. Es en la estación -E3- representativa de esta zona donde tan sólo en los dos últimos metros presentan registros menores a 1 mg O₂/l.
- La conductividad de las aguas es alta y oscila entre los 728 -mínimo- y 1.176 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 nutrientes son de moderados a bajos, siguiendo la tónica general de este embalse. Los máximos de fósforo se obtienen en la muestra de fondo, con unos valores de 0,018 y 0,014 mg P/l para el fósforo total y los ortofosfatos, respectivamente. Entre los compuestos nitrogenados destacan las concentraciones de nitratos, con un máximo a media profundidad de 0,69 mg N/l. Es el componente principal del nitrógeno inorgánico, representando el 79,5% del total. Por su parte, las concentraciones de nitritos, registradas en superficie y fondo, superan ligeramente el umbral establecido para vida piscícola de tipo ciprinícolas ($\leq 0,03$ mg NO_2/l).
- Las concentraciones de metales evaluados en fondo (hierro, manganeso, cobre, 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 1,2 y 16,2 mg O_2/l para la DBO_5 y DQO.
- Las aguas embalsadas presentan una alta mineralización y una elevada concentración de calcio (105,4 mg Ca/l).

Cuadro III: *Resultados químicos*

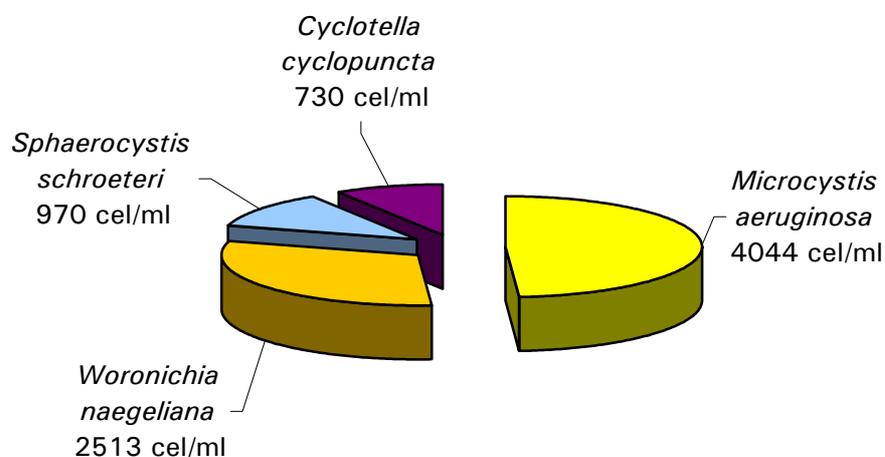
EMBALSE:	CASPE	CÓDIGO:	CP1	
CAMPAÑA:	1	FECHA:	03/09/2003	
COTA MÁXIMA:	230	NIVEL:	228	
CÓDIGO DEL PUNTO DE MUESTREO				
PARÁMETRO	UNIDAD	E1S	E1M	E1F
PROFUNDIDAD	m	0-7	18	35
COTA	msnm	228-221	210	193
SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	mg/l	< 2,4		
ALCALINIDAD TOTAL	mg CO ₃ Ca/l	120,5		
DBO ₅	mg O ₂ /l	1,2		
DQO	mg O ₂ /l	16,2		
FÓSFORO TOTAL	mg P/l	0,009	0,018	0,018
FOSFATOS	mg PO ₄ ³ /l	0,015	0,014	0,042
FOSFATOS	mg P/l	0,005	0,005	0,014
NITRÓGENO KJELDAHL	mg N/l	1,23	0,95	1,14
AMONIO TOTAL	mg NH ₄ /l	0,06	0,16	0,27
AMONIO TOTAL	mg N/l	0,05	0,12	0,21
NITRÓGENO ORGÁNICO	mg N/l	1,18	0,82	0,93
NITRATOS	mg NO ₃ /l	2,53	3,06	1,90
NITRATOS	mg N/l	0,57	0,69	0,43
NITRITOS	mg NO ₂ /l	0,149	0,092	0,238
NITRITOS	mg N/l	0,045	0,028	0,072
N INORGÁNICO	mg N/l	0,66	0,84	0,71
CALCIO	mg Ca/l	105,4		
MAGNESIO DISUELTO	mg Mg/l	30,5		
SODIO	mg Na/l	16,2		
POTASIO	mg K/l	4,2		
CLORUROS	mg Cl/l	21,0		
SULFATOS	mg SO ₄ ⁻² /l	94,3		
HIERRO DISUELTO	mg Fe/l			0,070
MANGANESO DISUELTO	mg Mn/l			0,047
COBRE DISUELTO	mg Cu/l			<0,024
ZINC DISUELTO	mg Zn/l			<0,018
SÍLICE	mg SiO ₂ /l	1,92		
CLOROFILA a	µg/l	13,2		

4.3. Concentración de pigmentos fotosintetizadores y productores primarios

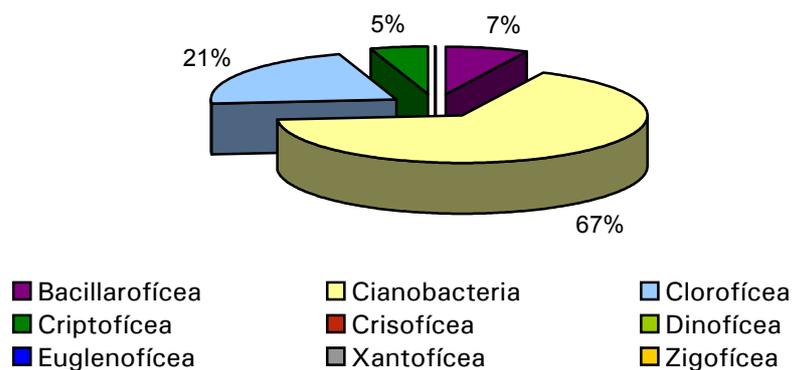
El análisis cuantitativo de la muestra recogida en Caspe ha dado como resultado la identificación de un total de 29 especies, distribuidas entre los siguientes grupos taxonómicos:

- ◆ 3 bacilarofíceas
- ◆ 11 clorofíceas
- ◆ 2 zigofíceas
- ◆ 2 cianobacterias
- ◆ 6 dinofíceas
- ◆ 1 euglenoficea
- ◆ 4 criptofíceas

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

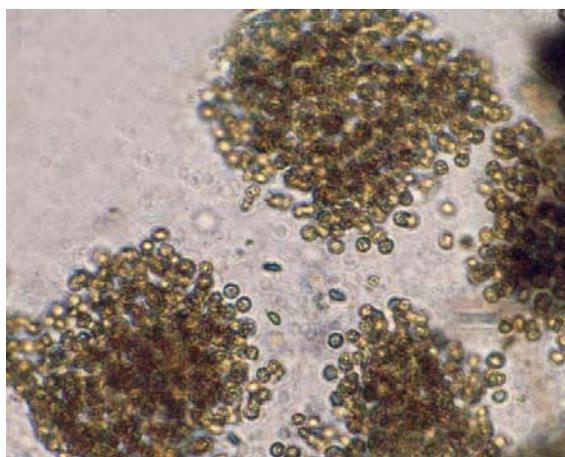


El embalse de Caspe presenta una densidad fitoplanctónica elevada al término de la época estival –10.050 cel/ml-. La mayoría de la población pertenece a las cianobacterias, siendo *Microcystis aeruginosa* claramente dominante. La principal especie acompañante es otra cianobacteria chroococcal *Woronichia naegeliana*. El siguiente grupo en abundancia son las clorofíceas, entre las que destaca *Sphaerocystis schroeteri*. La ausencia de grandes diferencias en la distribución de densidades determina el elevado valor del índice de diversidad de especies Shannon-Weaver estimado –2,60 bits-.

Figura 5: Distribución de la comunidad algal por clases taxonómicas

4.3.1. Calidad bioindicadora

Durante el final del estío el embalse de Caspe presenta una comunidad fitoplanctónica caracterizada por la fuerte dominancia de las cianobacterias chroococcales *Microcystis aeruginosa* y *Woronichia naegeliana*. Estas especies tienen una serie de características que las hacen más competitiva en medios con baja disponibilidad de nutrientes aunque no posean células especializadas en capturar nitrógeno atmosférico. La primera especie es característica de medios eutróficos en momentos de escasez de nutrientes y la segunda caracteriza medios mesotróficos templados al término del período estival. El resto de especies que forman la asociación algal estudiada son indicadoras de aguas mesotróficas como *Sphaerocystis schroeteri* o la diatomea *Cyclotella cyclopuncta*. La biomasa cuantificada como clorofila *a* -13,16 µg/l- tiene una buena correlación con la densidad algal -10.050 cel/ml-.



Microcystis aeruginosa

Cuadro IV: Resultados biológicos

EMBALSE:	CASPE	CÓDIGO:	CP
CAMPAÑA:	1	FECHA:	03/09/2003
COTAMAX:	230	D. SECCHI:	3,48
NIVEL:	228	C.FÓTICA:	5,92
PARÁMETRO	UNIDAD	CÓDIGO DEL PUNTO DE MUESTREO EIS	
PROFUNDIDAD	m	0,5-7	
COTA	msnm	228-221	
CLOROFILA a	µg/l	13,16	
Individuos totales	n° cel/ml	10.050	
Diversidad (H)	Bits	2,60	
Clase BACILLARIOFICEA	n° cel/ml	735	
Grupo CIANOBACTERIA	n° cel/ml	6.667	
Clase CLOROFICEA	n° cel/ml	2.156	
Clase CRIPTOFICEA	n° cel/ml	480	
Clase CRISOFICEA	n° cel/ml	0	
Clase DINOFICEA	n° cel/ml	6	
Clase EUGLENOFICEA	n° cel/ml	1	
Clase XANTOFICEA	n° cel/ml	0	
Clase ZIGOFICEA	n° cel/ml	5	
ESPECIES	TAXÓN	n° cel/ml	
<i>Cyclotella cyclopuncta</i>	Bacillariofícea	730	
<i>Nitzschia acicularis</i>	Bacillariofícea	2	
<i>Nitzschia palea</i>	Bacillariofícea	3	
<i>Anabaena sp.</i>	Cianobacteria	19	
<i>Aphanizomenon gracile</i>	Cianobacteria	9	
<i>Chroococcus turgidus</i>	Cianobacteria	16	
<i>Merismopedia elegans</i>	Cianobacteria	66	
<i>Microcystis aeruginosa</i>	Cianobacteria	4.044	
<i>Woronichia naegeliana</i>	Cianobacteria	2.513	
<i>Ankistrodesmus acicularis</i>	Clorofícea	12	
<i>Closterium acutum</i>	Zigofícea	3	
<i>Coelastrum microporum</i>	Clorofícea	9	
<i>Coelastrum reticulatum</i>	Clorofícea	56	
<i>Crucigenia quadrata</i>	Clorofícea	42	
<i>Crucigeniella crucifera</i>	Clorofícea	14	
<i>Kirchneriella obesa</i>	Clorofícea	28	
<i>Oocystis sp.</i>	Clorofícea	498	
<i>Pediastrum clathratum</i>	Clorofícea	9	
<i>Planctonema lauterbonii</i>	Clorofícea	516	
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	Clorofícea	2	
<i>Sphaerocystis Schroeteri</i>	Clorofícea	970	
<i>Cryptomonas erosa</i>	Criptofícea	55	
<i>Cryptomonas marssonii</i>	Criptofícea	57	
<i>Cryptomonas ovata</i>	Criptofícea	56	
<i>Rhodomonas minuta</i>	Criptofícea	312	
<i>Ceratium hirundinella</i>	Dinofícea	1	
<i>Peridinium inconspicuum</i>	Dinofícea	5	
<i>Staurastrum sp.</i>	Zigofícea	2	
<i>Euglena sp.</i>	Euglenofícea	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 Caspe, como **mesotrófico**.

Prácticamente la totalidad de los índices contrastados sitúan al embalse en niveles de mesotrofia, a excepción de la transparencia y la clorofila que, cuando evalúan medias anuales, situarían las aguas en rango de eutrófia.

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

Índice	Definición criterio	Rango	Septiembre 2003	
			Valor	Grado Trófico
EPA (1976)	<i>PT (ug/l); media anual</i>	< 10-MESO-20 >	15	MESOTRÓFICO
EPA (Weber, 1976)	<i>N° células algales/ml</i>	< 2000-MESO-15000 >	10.050	MESOTRÓFICO
EPA (Weber, 1976)	<i>Clorofila (ug/l); máx. fót.</i>	< 3-MESO-20 >	13,2	MESOTRÓFICO
Lee, Jones & Rast (1978)	<i>Clorofila (ug/l); media anual</i>	< 2,1- 3 - 6,7 -10 >	13,2	EUTRÓFICO
Lee, Jones & Rast (1978)	<i>PT (ug/l); media anual</i>	< 8- 12 - 28 -40 >	15	MESOTRÓFICO
Lee, Jones & Rast (1978)	<i>SDT (m); media anual</i>	< 1,8- 2,4 - 3,8 -4,6 >	2,8	MESOTRÓFICO
Margalef (1983)	<i>N° células algales/ml</i>	5000 (lím. eut.avan.-mod.)	10.050	E. AVANZADA
Margalef (1983)	<i>Clorofila (ug/l); anual fót.</i>	5 (lím. eut.avan.-mod.)	13,2	E. AVANZADA
Margalef (1983)	<i>PT (ug/l); media anual</i>	15 (lím. eut.avan.-mod.)	15	E. AVANZADA
Margalef (1983)	<i>NO₃-N (ug/l); media anual</i>	140 (lím. eut.avan.-mod.)	564	E. AVANZADA
Margalef (1983)	<i>SDT (m); media anual</i>	3 (lím. eut.avan.-mod.)	2,8	E. AVANZADA
OCDE (1980)	<i>Clorofila (ug/l); anual fót.</i>	< 1; < 2.5;2.5-8;8-25; > 25	13,2	EUTRÓFICO
OCDE (1980)	<i>Clorofila (ug/l); máx. anual</i>	< 2.5; < 8;8-25;25-75; > 75	13,2	MESOTRÓFICO
OCDE (1980)	<i>PT (ug/l); media anual</i>	Uol. < 4-10-35-100 > Heu.	15	MESOTRÓFICO
OCDE (1980)	<i>SDT (m); media anual</i>	> 12; > 6; > 6-3;3-1.5; < 1.5	2,8	EUTRÓFICO
OCDE (1980)	<i>SDT (m); mínimo anual</i>	> 6; > 3;3-1.5;1.5-0.7; < 0.7	1,9	MESOTRÓFICO
TSI (Carlson, 1974): DST	<i>TSI= 10(6-log2(DST))</i>	Uol. < 20-40-60-80 > Heu.	45	MESOTRÓFICO
TSI (Carlson, 1974): CLA	<i>10(6-log2 7,7(1/Cl^a^0,68))</i>	Uol. < 20-40-60-80 > Heu.	56	MESOTRÓFICO
TSI (Carlson, 1974): PT	<i>TSI= 10(6-log2(54,9/PT))</i>	Uol. < 20-40-60-80 > Heu.	41	MESOTRÓFICO

6. DEFINICIÓN DEL POTENCIAL ECOLÓGICO

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

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

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

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

Las distintas fases seguidas en la categorización se sintetizan en los *cuadros VI y VII*. En el primero se presentan los umbrales de referencias empleados para la valoración de los distintos elementos considerados; para en el segundo plasmar, mediante un código de colores, la categoría en la que se encuadra un determinado indicador.

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

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

Cuadro VII: Potencial ecológico del embalse según los distintos indicadores

Indicadores biológicos	Valor	CLASES DEL POTENCIAL ECOLÓGICO			
		Óptimo	Bueno	Aceptable	Deficiente/malo
Densidad algal, media anual (cel/ml)	10.050		5000-15.000		
Biomasa algal, Cla a (µg/l); anual capa fótica	13,2			8-25	
Biomasa algal, Cla a (µg/l); máx anual	13,2		8-25		
Cianofíceas tóxicas; máx anual (cel/ml)	4.053	< 10 ⁴			
Indicadores físico-químicos					
Transparencia (SDT; media anual en m)	2,8			3-1,5	
Transparencia (SDT; mínimo anual en m)	1,9		3-1,5		
Condiciones de oxigenación en hipolimnion (mg/l)*	0,21				<2
Concentración de PT: media anual (µg/l)	15		10-35		
Indicadores hidromorfológicos					
Variación de volumen (%)	81%		95-80		

*Valor medio en E1 a partir de 13 m de profundidad

En definitiva, el potencial ecológico del embalse de Caspe se establece como **BUENO**, ya que prácticamente la totalidad de los indicadores (biológicos, físico-químicos e hidromorfológicos) lo sitúan en éste rango. Por su parte, los índices que lo definen como (ACEPTABLE) se encuentran muy próximos al límite de la categoría de BUENO. No obstante, es destacable la escasa oxigenación que ha manifestado la columna de agua en su zona más profunda, situación que se ha interpretado como una consecuencia del proceso de mezcla. Este proceso en las zonas intermedias y de cola del embalse se han observado más avanzado y, en consecuencia, mejores y más homogéneas condiciones de oxigenación.

ANEXO I: RESULTADOS FÍSICO QUÍMICOS

EMBALSE: CASPE (CP) **CAMPAÑA:** 1
COT. MAX: 230 **NIVEL:** 228

Estación: E1 Profundidad: 36,25
 Fecha: 03/09/2003 Hora: 15:25
 Disco Secchi (m): 3,48 Capa fótica (m): 5,9

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	228	25,18	8,79	5,89	71,17	759	272	486	8,5
1	227	25,16	8,78	5,73	69,21	759	270	486	9,4
2	226	25,02	8,79	5,67	68,31	758	269	485	9,3
3	225	24,98	8,80	5,80	69,83	757	268	484	9,2
4	224	24,96	8,81	5,66	68,12	757	268	484	9,2
5	223	24,94	8,81	5,71	68,70	756	268	484	9,1
6	222	24,68	8,50	3,41	40,85	840	272	536	9,0
7	221	24,42	8,20	1,27	15,15	946	278	607	9,1
8	220	24,02	8,13	0,90	10,65	939	280	604	9,5
9	219	23,67	8,09	0,50	5,88	927	280	593	10,0
10	218	23,08	8,05	0,33	3,84	900	281	575	10,7
11	217	22,80	8,03	0,30	3,47	903	281	578	11,5
12	216	22,49	8,02	0,28	3,22	884	281	566	11,7
13	215	21,80	8,01	0,27	3,06	847	281	554	12,3
14	214	21,10	8,01	0,26	2,91	806	280	517	13,3
15	213	20,50	8,01	0,25	2,77	774	280	495	14,1
16	212	20,29	8,01	0,24	2,64	771	279	493	15,0
17	211	19,92	8,00	0,24	2,62	770	278	493	15,5
18	210	19,72	7,99	0,23	2,51	766	277	490	16,0
19	209	19,46	7,99	0,23	2,49	760	276	485	16,3
20	208	19,11	7,99	0,22	2,37	753	275	483	16,6
21	207	18,93	7,99	0,22	2,36	745	273	477	17,1
22	206	18,79	7,98	0,21	2,25	746	272	477	17,7
23	205	18,55	7,98	0,21	2,23	737	271	471	18,1
24	204	18,41	7,98	0,21	2,23	747	270	478	18,4
25	203	18,21	7,98	0,20	2,11	742	269	475	18,5
26	202	18,11	7,97	0,21	2,21	735	267	470	18,9
27	201	17,93	7,97	0,20	2,10	728	266	466	19,0
28	200	17,85	7,97	0,20	2,10	729	266	471	19,2
29	199	17,96	7,95	0,20	2,10	781	265	500	19,5
30	198	17,91	7,94	0,19	2,00	790	263	506	19,4
31	197	18,02	7,92	0,20	2,11	847	260	543	19,3
32	196	18,13	7,90	0,20	2,11	896	265	571	19,2
33	195	18,10	7,89	0,19	2,00	894	248	572	19,2
34	194	18,23	7,87	0,20	2,12	959	238	611	19,1
35	193	18,21	7,85	0,20	2,12	986	220	632	19,3
36	192	17,75	7,84	0,20	2,10	1.005	191	643	20,4

EMBALSE: CASPE (CP) **CAMPAÑA:** 1
COT. MAX: 230 **NIVEL:** 228

Estación: E2 Profundidad: 22,9
 Fecha: 03/09/2003 Hora: 16:45
 Disco Secchi (m): 2,98 Capa fótica (m): 5,1

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	228	25,40	8,85	6,23	75,58	767	219	491	6,3
1	227	25,40	8,85	6,13	74,37	767	219	491	6,4
2	226	25,40	8,85	5,99	72,68	767	219	491	6,3
3	225	25,39	8,86	6,12	74,24	767	220	491	6,2
4	224	25,36	8,85	6,03	73,11	767	220	491	6,2
5	223	25,31	8,85	5,89	71,35	768	221	491	6,2
6	222	25,25	8,85	5,96	72,12	768	222	491	6,3
7	221	24,84	8,57	4,40	52,86	849	227	540	7,9
8	220	23,96	8,49	3,52	41,62	910	230	581	8,6
9	219	23,93	8,52	3,68	43,48	914	230	585	9,9
10	218	23,12	8,54	3,68	42,83	934	231	606	12,3
11	217	22,96	8,47	2,91	33,78	1.007	232	644	11,4
12	216	22,97	8,30	1,51	17,54	1.087	235	696	11,6
13	215	22,32	8,14	0,52	5,96	1.049	238	670	10,8
14	214	21,84	8,06	0,33	3,75	1.018	238	652	10,2
15	213	21,32	8,00	0,27	3,04	983	237	639	10,5
16	212	21,03	7,96	0,25	2,80	989	237	632	10,8
17	211	20,91	7,95	0,23	2,57	999	234	639	11,1
18	210	20,87	7,93	0,22	2,45	1.045	230	670	11,7
19	209	20,72	7,93	0,22	2,45	1.044	227	668	11,5
20	208	20,66	7,92	0,21	2,33	1.081	221	694	11,7
21	207	20,60	7,91	0,20	2,22	1.130	213	723	12,6
22	206	20,55	7,91	0,20	2,22	1.149	203	737	13,1

EMBALSE: CASPE (CP) **CAMPAÑA:** 1
COT. MAX: 230 **NIVEL:** 228

Estación: E3 Profundidad: 15
 Fecha: 03/09/2003 Hora: 16:20
 Disco Secchi (m): 1,92 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	228	25,40	8,80	6,70	81,29	780	227	499	14,1
1	227	25,41	8,84	6,18	75,00	779	226	499	14,9
2	226	25,40	8,85	6,12	74,26	780	226	499	14,5
3	225	25,37	8,85	6,06	73,49	780	227	499	14,5
4	224	25,34	8,84	6,12	74,18	781	227	500	14,4
5	223	25,30	8,84	6,06	73,40	781	228	500	14,4
6	222	25,17	8,82	5,84	70,57	778	229	498	14,8
7	221	25,06	8,79	5,71	68,86	778	230	498	15,7
8	220	24,52	8,57	4,69	56,02	856	233	541	18,9
9	219	23,57	8,63	4,71	55,27	866	234	554	21,6
10	218	23,18	8,66	4,72	54,99	873	234	559	25,5
11	217	22,78	8,64	4,50	52,03	896	235	574	28,5
12	216	22,69	8,57	3,81	43,99	947	237	607	30,3
13	215	22,73	8,35	2,08	24,05	1.085	240	696	31,7
14	214	22,61	8,23	0,98	11,31	1.144	243	737	33,0
15	213	22,40	8,14	0,54	6,21	1.176	244	752	31,5

REPORTAJE FOTOGRÁFICO



Panorámica del embalse desde la presa. Torre de toma de agua



Vista desde la estación E2



Suelta de agua del embalse a causa de las tormentas acaecidas durante la noche anterior



Panorámica del embalse desde el punto de acceso

ADICIONAL INFORME EMBALSE DE CASPE 2003

Durante el año 2022 se han revisado los datos del embalse de Caspe 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	Buena o superior	Moderado	Deficiente	Malo
Rango <i>Tipos 1, 2 y 3</i>	> 0,974	0,973 – 0,649	0,648 – 0,325	< 0,325
Rango <i>Tipos 7, 8, 9, 10 y 11</i>	> 0,982	0,981 – 0,655	0,654 – 0,327	< 0,327
Rango <i>Tipo 12</i>	> 0,929	0,928 – 0,619	0,618 – 0,31	< 0,31
Rango <i>Tipo 13</i>	> 0,979	0,978 – 0,653	0,652 – 0,326	< 0,326
Valoración de cada clase	2	3	4	5

4) Porcentaje de cianobacterias

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

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

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

Donde:	BVOL _{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 FISICOQUÍMICOS

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

1) Transparencia

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

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

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

2) Condiciones de oxigenación

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

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

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

Clase de potencial ecológico	Muy Bueno	Bueno	Moderado
Concentración hipolimnética (mg/L O 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 CASPE

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 Caspe.

INDICADOR	VALOR	ESTADO TRÓFICO
CONCENTRACIÓN P TOTAL	9,00	Oligotrófico
DISCO SECCHI	3,48	Oligotrófico
CLOROFILA <i>a</i>	13,20	Eutrófico
DENSIDAD ALGAL	10050	Eutrófico
ESTADO TRÓFICO FINAL	3,00	MESOTRÓFICO

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 eutrófico y la densidad algal como eutrófico. Combinando todos los indicadores, el estado trófico final para el embalse de Caspe ha resultado ser **MESOTRÓFICO**.

DIAGNÓSTICO DEL ESTADO FINAL DEL EMBALSE DE CASPE

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 Caspe.

Indicador	Elementos	Parámetro	Indicador	Valor	RCE	RCET	PE
Biológico	Fitoplancton	Biomasa	Clorofila a (µg/L)	13,20	0,18	0,56	Moderado
INDICADOR BIOLÓGICO				3			MODERADO
Indicador	Elementos	Indicador	Valor			PE	
Fisicoquímico	Transparencia	Disco de Secchi (m)	3,48			Bueno	
	Oxigenación	O ₂ hipolimnética (mg O ₂ /L)	5,60			Moderado	
	Nutrientes	Concentración de PT (µg P/L)	9,00			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 Caspe para el año 2003 es de nivel 3, **INFERIOR A BUENO**.