



**DIAGNÓSTICO Y GESTIÓN AMBIENTAL DE EMBALSES
EN EL ÁMBITO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL EBRO**

EMBALSE DE BÚBAL

LIMNOS

1996

EMBALSE DE BÚBAL**1) CARACTERÍSTICAS GENERALES**

Nombre:	Búbal
Pki - Pkf:	1.085-1.000
Código cauces:	
Cuenca:	Gállego
CH:	Ebro
Provincia:	Huesca
Propietario:	Estado
Año de terminación:	1971

2) USOS Y TIPO DE PRESA

Usos:	Riegos/ Hidroeléctrico/Regulación
Actividades:	Navegación/Club náutico/ Pesca (Régimen especial truchas)
Interés Natural:	-

Comentarios:

- El aprovechamiento hidroeléctrico es a cargo de Energías de Aragón S.A.y éste se realiza en las centrales de Biescas I (6.750 K.V.A.) y Biescas II (77.500 K.V.A.). El agua del embalse se destina también a riegos para Biescas.
- La actividad náutica está limitada a la navegación a vela y a remo. La navegación a motor está prohibida en el embalse ya que sus aguas están clasificadas de protección especial por su interés piscícola o ecológico (Normas de navegación en ríos de montaña de la CHE).
- En relación con la pesca, el embalse está clasificado como de “aguas trucheras en régimen especial” (Orden de 17 de enero de 1996 de la DGA).
- Aunque el propio embalse no se encuentra en un espacio protegido, la cuenca del mismo (en su margen izquierda) pertenece a la reserva de la Biosfera Ordesa-

Viñamala. Además, en terrenos de su cuenca está solicitada la creación del Parque Natural de Anayet-Peña Telera (según Synconsult).

Tipo de presa:	Arco-gravedad	
Cota tomas (m s.n.m.):	Aliviadero:	1080
	Central hidroeléctrica	
	y de riegos:	1045
	Desagüe de fondo:	1035
	Desagüe de fondo:	1041
Torre de tomas:	No existe	
Escala de peces:	No existe	

Comentarios:

- El embalse de Búbal recoge las aguas del río Gállego y del río Caldarés; el último drena el área de Panticosa y entra en el embalse por la margen izquierda. También recibe, a través de un conducto subterráneo, el agua procedente de la Central eléctrica de Baños de Panticosa (situada en el tramo superior del río Caldarés).
- La toma hidroeléctrica se encuentra en la cota 1045, bastante profunda, por lo que se abastece de aguas hipolimnéticas. El agua se deriva por un túnel (entre 10-15 m³/s) hasta la central de Biescas II, donde se turbinada, y posteriormente se devuelve al río en Biescas.
- Los desagües de fondo se encuentran a cotas diferentes en la margen derecha (1035) e izquierda (1041). La mayor altura del desagüe de la margen izquierda se debe a la existencia de un cono de deyección que haría que se aterrara fácilmente en caso de estar más profundo. Estos desagües se utilizan en la gestión ordinaria del embalse para verter el caudal de compensación que es de 0,8 m³/s, alternándose su uso cada mes. En época de riegos, el caudal que baja por el río es mayor y además una parte del agua se turbinada en la central hidroeléctrica de Biescas I. El agua para esta central (unos 3 m³/s) se toma en el azud de Santa Elena situado unos 3 km aguas abajo de la presa y una vez turbinada, se devuelve al río aguas arriba de Biescas.

3) MORFOMETRÍA-HIDROLOGÍA

Volumen (hm³):	64
Superficie (ha):	234
Cota (m s.n.m.):	1085
Profundidad máxima (m):	75
Profundidad media (m):	27
Profundidad termoclina (m):	5-12
Desarrollo de volumen:	1,1
Volumen epilimnion (hm³):	7-12
Volumen hipolimnion (hm³):	16-48
Relación E/H:	0,26-0,44
Fluctuación de nivel:	Mucha
Tiempo de residencia (meses):	1-2

Comentarios:

- La termoclina se encuentra entre 5 y 12 m en verano (datos de junio y julio de 1990 y 1991; agosto de 1996). Al final de verano, la termoclina se encuentra entre 12 y 26 m (septiembre de 1990). La toma hidroeléctrica se abastece de agua del hipolimnion en los años en los que la reserva estival es relativamente alta. Sin embargo, cuando el embalse está bajo (volumen inferior a 6 hm³) la toma hidroeléctrica se sitúa en la termoclina o incluso en el epilimnion, con lo cual se limita el riesgo de turbinar aguas anóxicas y tóxicas (en caso de producirse).
- Los volúmenes de epilimnion y hipolimnion dependen de la disponibilidad hídrica en verano la cual es bastante variable en este embalse. Se ha tomado como volumen máximo el de 60,9 (agosto,1972-73) y como volumen mínimo el de 23,3 (agosto de 1979-80); sin embargo hay registros inferiores a este valor de hasta 4,7 hm³ (agosto de 1990-91). En el rango considerado como más frecuente, la toma hidroeléctrica se encuentra en aguas hipolimnéticas. La relación E/H es menor que 1, lo cual reduce la probabilidad de anoxia en el hipolimnion.
- La oscilación del embalse es muy importante y puede alcanzar 25 m. Sin embargo, al bajar el nivel la superficie expuesta es relativamente pequeña dado

que el perfil del embalse tiene forma de cono casi perfecto ($D_v = 1,1$) lo cual disminuye el riesgo de erosión de las laderas.

- El tiempo de residencia es corto, lo cual limita la eutrofia.

4) HIDROQUÍMICA

Embalse

Conductividad ($\mu\text{S/cm}$):	90-340
Calcio (mg/L):	42-73
Fosfato (mg/L):	0-0,02
Nitrato (mg/L):	0,5-3,9
Amonio (mg/L):	0,01-0,08

Comentarios:

- El agua del embalse de Búbal es poco mineralizada aunque presenta una concentración de calcio relativamente elevada, lo cual reduce el riesgo de eutrofia.
- El contenido en nutrimento es bajo, especialmente el fósforo. La concentración de nitrato es en ocasiones ligeramente alta producto de la actividad ganadera que tiene lugar en la cuenca.

Tributario principal

Conductividad ($\mu\text{S/cm}$):	125-320
Calcio (mg/L):	65
Fosfato (mg/L):	0-0,01
Nitrato (mg/L):	0-2,26
Amonio (mg/L):	0,01-0,02

Comentarios:

- El tributario principal es el río Gállego. El río Caldarés aporta un caudal menor ya que su cuenca sólo constituye el 20% de la total del embalse. El agua de este río presenta las siguientes características: Conductividad: 200 - 320 $\mu\text{S}/\text{cm}$; calcio: 67 mg/L; fosfato: 0,02-0,06 mg/L; nitrato: 0-2,1 mg/L; Amonio: 0,02-0,06 mg/L.
- La cargas de fósforo y nitrógeno se estiman en unas 4 tm/año en el río Gállego y de 7 a 9 tm/año en el Caldarés para el fósforo, y entre unas 219 tm/año en el río Gállego y de 29 a 109 tm/año en el río Caldarés para el nitrógeno.

5) ESTADO TRÓFICO

Nivel trófico:	Mesotrófico
Hipolimnion:	Anóxico
Blooms algales:	-

Comentarios:

- Synconsult (muestreo de 1990-91) califica a este embalse como mesotrófico. La carga total de fósforo y nitrógeno que alcanza el embalse (tributarios + escorrentía) es de 12 - 15 tm/año de fósforo y de 271 - 356 tm/año de nitrógeno. En la aplicación del modelo de Vollenweider se sobrepasa la carga de fósforo peligrosa.
- En el muestreo de 1996, que corresponde a un año húmedo, el embalse es oligotrófico de acuerdo con la baja concentración de clorofila ($0,6 \text{ mg}/\text{m}^3$) y mesotrófico según la transparencia del agua (disco de Secchi de 4,6 m).
- El hipolimnion muestra un descenso de la concentración de oxígeno en profundidad durante la estratificación. Si el volumen embalsado es bajo, se puede producir anoxia en el hipolimnion. En septiembre de 1990, con un volumen embalsado de $14,8 \text{ hm}^3$, se produjo una capa anóxica a partir de los 26 m (cota 1.031) de profundidad (datos de Synconsult), aunque no afectó a los turbinados ni a los vertidos de fondo, por encontrarse el agua anóxica por debajo de las

tomas. En agosto de 1996, con un volumen embalsado de 39,9 hm³, el perfil se presenta oxigenado y el valor mínimo es de 3,68 mg/L en la cota 1.031.

- La densidad del fitoplancton es baja.

6) PECES

Densidad:	Baja
Especies:	<i>Chondrostoma toxostoma</i> (madrilla) <i>Barbus haasi</i> (barbo culirrojo) <i>Salmo trutta</i> (trucha)

7) SEDIMENTOS

Nivel de aterramiento:	-
Materia orgánica:	Baja
Producción de metano:	Baja
Riesgo de contaminación:	Bajo

Comentarios:

- No se tienen datos fiables del grado de aterramiento del embalse. En la visita se observó como el viento en las orillas producía plumas de agua turbia. El agua que se vertía de fondo era muy turbia. Los lodos son limosos y muy móviles. Esto representa un riesgo general de enturbiamiento del agua en el embalse, así como en el tramo fluvial en caso de vertido de fondo.

8) TRAMO FLUVIAL BAJO LA PRESA

Anchura del cauce (m):	7 - 20
Pendiente (%):	2
Caudal de compensación (m³/s):	0,8
Estructura del lecho:	Rápidos/Tablas
Objetivo de calidad:	OC-1
Usos:	Riego/Piscifactoría/Deportivo-recreativo/Ecológico/Pesca

Fauna acuática

Índice biótico (B.M.W.P.): 114 - 167

Índice biótico (nivel de calidad): 1

Calificación del tramo según peces: Transición

Especies de peces:

Barbus haasi (barbo culirrojo)

Chondrostoma toxostoma (madrilla)

Salmo trutta (trucha común)

Phoxinus phoxinus (piscardo)

Ecosistema de ribera:

Existen bosquetes de ribera bastante densos constituidos por chopos (*Populus spp.*) y mimbreras (*Salix spp.*) con un estado de conservación medio.

Comentarios:

- El tramo fluvial aguas abajo de la presa posee una elevada corriente, lo que limita la abundancia del zoobentos. En el tramo de Biescas el río es más ancho y el caudal se divide en varios brazos, lo que produce una diversificación de los hábitats que favorece a los peces .
- El tramo posee un caudal de compensación de 0,8 m³/s. En verano se suelta agua adicional para riegos y para producción hidroeléctrica en la central de Biescas I (3 m³/s).
- La calidad biológica del tramo en Biescas según el B.M.W.P. es superior a 101, lo que corresponde a la clase de calidad 1 (aguas no contaminadas o no alteradas de modo sensible).
- A unos 12 km aguas abajo (en Oliván) se encuentra una piscifactoría. El uso del tramo como abastecimiento sólo se puede llevar a cabo en contadas ocasiones para Biescas.
- Todo el tramo está considerado truchero y existen zonas acotadas en régimen normal entre la presa de Búbal, el azud de Santa Elena y el tramo de Oliván.

9) RIESGOS AMBIENTALES

MORTANDAD DE PECES

1. Mortandad de peces en el tramo fluvial bajo la presa por turbinado o vertido de aguas anóxicas y tóxicas.(En sequía).

AFECCIONES A LOS PECES

1. Afecciones a los peces del tramo fluvial bajo la presa por alteraciones del régimen térmico de las aguas.
2. Afecciones a los peces del tramo fluvial bajo la presa por reducción de los frezaderos por la retención de gravas y arenas.
3. Afecciones a los peces del tramo fluvial bajo la presa por fluctuaciones bruscas del caudal.
4. Afecciones a los peces del embalse por pérdida de hábitat (reducción del alimento) debido a oscilaciones del nivel del agua.
5. Afecciones a los peces del tramo fluvial bajo la presa por efecto barrera a los desplazamientos aguas arriba y abajo (migraciones de salmónidos).

AFECCIONES A OTRA FAUNA

1. Afecciones a la fauna bentónica del tramo fluvial bajo la presa por fluctuaciones del nivel del agua.
2. Afecciones a la fauna bentónica del tramo fluvial bajo la presa por alteración del régimen térmico del agua.

AFECCIONES AL ECOSISTEMA DE RIBERA

Ninguna.

RIESGOS HIDROLÓGICOS

Ninguno.

AFECCIONES A LOS USOS DEL EMBALSE Y DEL TRAMO FLUVIAL

1. Afección a la pesca por perturbaciones a los peces del tramo fluvial bajo la presa (ver afecciones a los peces).
2. Afección a la pesca en el tramo bajo la presa por fluctuación del caudal.
3. Afección a la piscifactoría instalada en el tramo fluvial bajo la presa por la presencia de tóxicos derivados de los fenómenos de reducción del hipolimnion.(En sequía)

RIESGOS PARA LA NAVEGACIÓN

1. Presencia de troncos y maderos a la deriva durante el deshielo o en época de lluvias

COMENTARIOS A LOS RIESGOS AMBIENTALES

- Los riesgos más importantes son los que se relacionan con el posible vertido de aguas desoxigenadas en el tramo fluvial bajo la presa. Este riesgo es posible puesto que el caudal de compensación se vierte por fondo, con aguas del hipolimnion que pueden ser anóxicas en sequía. El vertido de aguas anóxicas puede afectar a los peces del tramo fluvial y a la pesca. La afección a la piscifactoría de Oliván es posible aunque poco probable, dado que ésta se encuentra a unos 12 km de la presa; esta distancia es suficiente para que el agua se oxigene y los posibles tóxicos se reduzcan considerablemente. En el embalse, la presencia de aguas anóxicas en el hipolimnion no supone una afección grave a los peces, los cuales se encuentran más afectados por las oscilaciones del nivel del agua (pérdida de hábitat).
- La desoxigenación del hipolimnion es posible, aunque no frecuente. Según los datos consultados, el embalse tiene vocación eutrófica, aunque atenuada por el

calcio y por un hipolimnion relativamente grande y con una reserva de oxígeno importante.

ACTUACIONES (MEDIDAS CORRECTORAS, PROCEDIMIENTOS DE DESEMBALSE; ACTUACIONES EN SEQUÍA).

- Control de la eutrofia: La tendencia eutrónica del embalse viene motivada principalmente por los aportes de nutrimento de origen ganadero y por las aguas residuales que se generan en los municipios de la cuenca (Panticosa, etc...). Para el segundo caso se deberían tomar medidas de gestión encaminadas a reducir la carga contaminante de las mencionadas aguas residuales.
- Actuaciones en sequía: Controlar la concentración de oxígeno disuelto, SH_2 y NH_4 en el agua del hipolimnion. No verter de fondo en las siguientes condiciones:
 - ⇒ si aparece SH_2
 - ⇒ si no se asegura la oxigenación del agua en el tramo fluvial bajo la presa (debe ser superior a 6 mg/L en aguas salmonícolas).
 - ⇒ si la concentración de NH_4 es mayor de 8 mg/L.

PROCEDIMIENTOS DE SEGUIMIENTO

- Medir la concentración de oxígeno en tres profundidades del hipolimnion (termoclina, media y fondo) durante la época de estratificación.
- Si la concentración de oxígeno es inferior a 1 mg/L, analizar también la concentración de SH_2 y de NH_4^+ .

**CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS
DEL EMBALSE Y TRIBUTARIO PRINCIPAL**

EMBALSE: **Búbal** **Fecha:** 13/8/96
Coordenadas UTM (presa): 30TN200291

Conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$) :	154	NH ₄ superf. (mg/L) :	0,05
Ca (mg/L) :	-	NH ₄ fondo (mg/L) :	0,05
NO ₃ (mg/L) :	-	Clorofila (mg/m ³) :	0,6
PO ₄ (mg/L) :	-	Disco Secchi (m) :	4,60

Tributario principal:

Conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$) :	NO ₃ (mg/L) :
Ca (mg/L) :	NH ₄ (mg/L) :
	PO ₄ (mg/L) :

ESTUDIO DE ÍNDICES BIÓTICOS EN RÍOS REGULADOS DE LA C.H.E.

TRAMO FLUVIAL:

Gállego

FECHA:

13/08/96

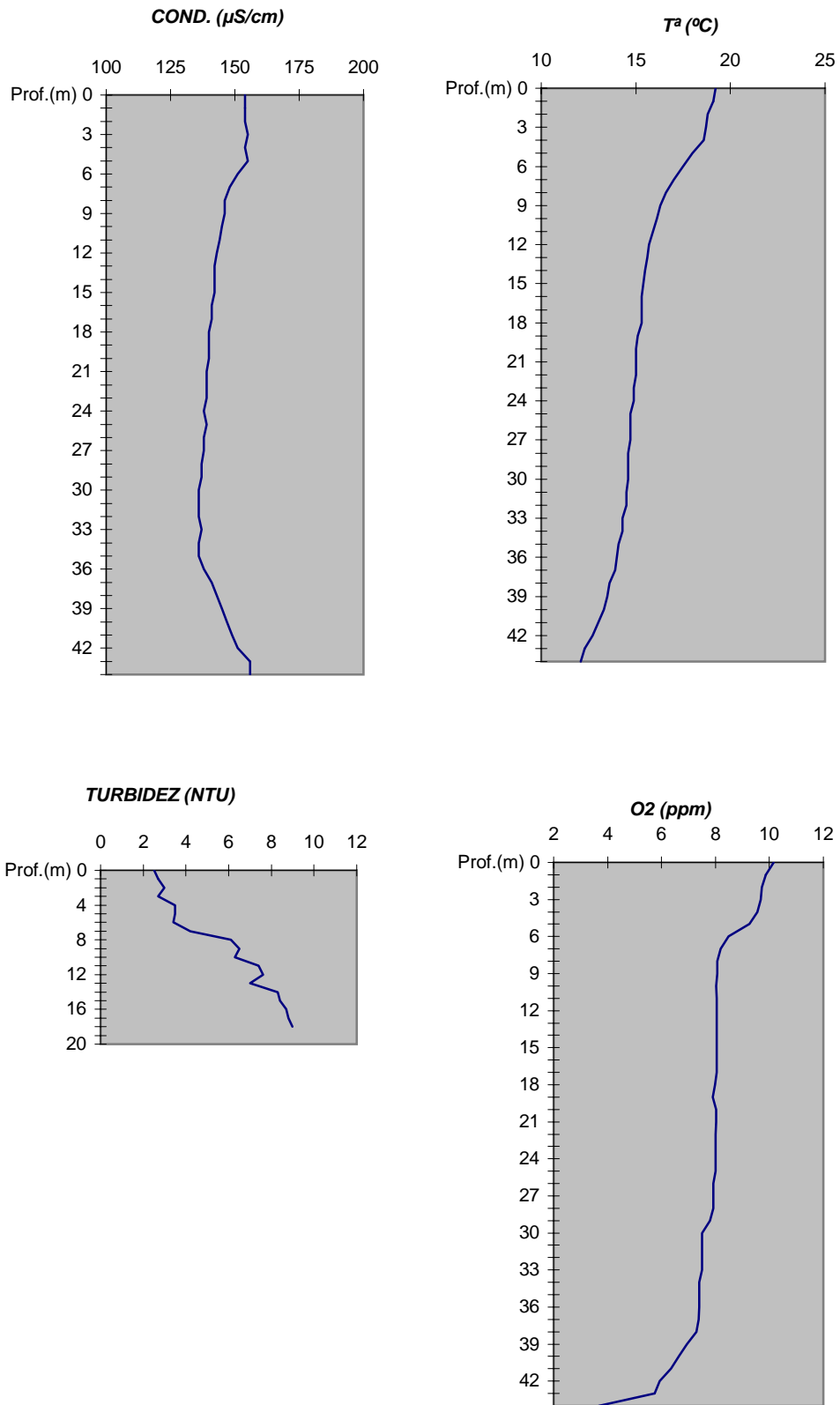
EMBALSE AGUAS ARRIBA DEL TRAMO:

Búbal

B.M.W.P.			
ARÁCNIDOS		EFEMERÓPTEROS	ODONATOS
<i>Hidracarina</i>	4 <input type="checkbox"/>	<i>Siphonuridae</i>	10 <input type="checkbox"/>
		<i>Heptageniidae</i>	10 <input checked="" type="checkbox"/>
COLEÓPTEROS		<i>Leptophlebiidae</i>	10 <input type="checkbox"/>
<i>Dryopidae</i>	5 <input checked="" type="checkbox"/>	<i>Potamanthidae</i>	10 <input type="checkbox"/>
<i>Elmidae</i>	5 <input checked="" type="checkbox"/>	<i>Ephemeridae</i>	10 <input type="checkbox"/>
<i>Helophoridae</i>	5 <input type="checkbox"/>	<i>Ephemerellidae</i>	7 <input type="checkbox"/>
<i>Hydrochidae</i>	5 <input type="checkbox"/>	<i>Oligoneuriidae</i>	5 <input type="checkbox"/>
<i>Hydraenidae</i>	5 <input type="checkbox"/>	<i>Baetidae</i>	4 <input checked="" type="checkbox"/>
<i>Clambidae</i>	5 <input type="checkbox"/>	<i>Caenidae</i>	4 <input type="checkbox"/>
<i>Haliplidae</i>	4 <input type="checkbox"/>		
<i>Curculionidae</i>	4 <input type="checkbox"/>	HETERÓPTEROS	
<i>Chrysomelidae</i>	4 <input type="checkbox"/>	<i>Mesovellidae</i>	3 <input type="checkbox"/>
<i>Helodidae</i>	3 <input checked="" type="checkbox"/>	<i>Hydrometridae</i>	3 <input type="checkbox"/>
<i>Hydrophilidae</i>	3 <input type="checkbox"/>	<i>Gerridae</i>	3 <input type="checkbox"/>
<i>Hygrobiidae</i>	3 <input type="checkbox"/>	<i>Nepidae</i>	3 <input type="checkbox"/>
<i>Dytiscidae</i>	3 <input type="checkbox"/>	<i>Naucoridae</i>	3 <input type="checkbox"/>
<i>Gyrinidae</i>	3 <input type="checkbox"/>	<i>Pleidae</i>	3 <input type="checkbox"/>
		<i>Notonectidae</i>	3 <input type="checkbox"/>
CRUSTÁCEOS		<i>Corixidae</i>	3 <input type="checkbox"/>
<i>Astacidae</i>	8 <input type="checkbox"/>	HIRUDÍNEOS	
<i>Corophiidae</i>	6 <input type="checkbox"/>	<i>Piscicolidae</i>	4 <input type="checkbox"/>
<i>Gammaridae</i>	6 <input type="checkbox"/>	<i>Glossiphoniidae</i>	3 <input type="checkbox"/>
<i>Asellidae</i>	3 <input type="checkbox"/>	<i>Hirudidae</i>	3 <input type="checkbox"/>
<i>Ostracoda</i>	3 <input checked="" type="checkbox"/>	<i>Erpobdellidae</i>	3 <input type="checkbox"/>
DÍPTEROS		MEGALÓPTEROS	
<i>Athericidae</i>	10 <input type="checkbox"/>	<i>Sialidae</i>	4 <input type="checkbox"/>
<i>Blephariceridae</i>	10 <input type="checkbox"/>		
<i>Tipulidae</i>	5 <input type="checkbox"/>	MOLUSCOS	
<i>Simuliidae</i>	5 <input checked="" type="checkbox"/>	<i>Neritidae</i>	6 <input type="checkbox"/>
<i>Tabanidae</i>	4 <input type="checkbox"/>	<i>Viviparidae</i>	6 <input type="checkbox"/>
<i>Stratiomyidae</i>	4 <input type="checkbox"/>	<i>Ancylidae</i>	6 <input type="checkbox"/>
<i>Empididae</i>	4 <input type="checkbox"/>	<i>Unionidae</i>	6 <input type="checkbox"/>
<i>Dolichopodidae</i>	4 <input type="checkbox"/>	<i>Valvatidae</i>	3 <input type="checkbox"/>
<i>Dixidae</i>	4 <input type="checkbox"/>	<i>Hydrobiidae</i>	3 <input type="checkbox"/>
<i>Ceratopogonidae</i>	4 <input type="checkbox"/>	<i>Lymnaeidae</i>	3 <input checked="" type="checkbox"/>
<i>Anthomyiidae</i>	4 <input type="checkbox"/>	<i>Physidae</i>	3 <input type="checkbox"/>
<i>Limoniidae</i>	4 <input type="checkbox"/>	<i>Planorbidae</i>	3 <input type="checkbox"/>
<i>Psychodidae</i>	4 <input type="checkbox"/>	<i>Bithyniidae</i>	3 <input type="checkbox"/>
<i>Chironomidae</i>	2 <input checked="" type="checkbox"/>	<i>Bythinellidae</i>	3 <input type="checkbox"/>
<i>Culicidae</i>	2 <input type="checkbox"/>	<i>Sphaeridae</i>	3 <input type="checkbox"/>
<i>Muscidae</i>	2 <input type="checkbox"/>		
<i>Thaumaleidae</i>	2 <input type="checkbox"/>	TURBELARIOS	
<i>Ephydriidae</i>	2 <input type="checkbox"/>	<i>Planariidae</i>	5 <input checked="" type="checkbox"/>
		<i>Dugesidae</i>	5 <input type="checkbox"/>
		<i>Dendrocoelidae</i>	5 <input type="checkbox"/>

PUNTUACIÓN DEL ÍNDICE BMWP: 110		
CLASE DE CALIDAD	PUNTUACIÓN BMWP	SIGNIFICADO
I'	> 150	Aguas muy limpias
I	101-120	Aguas no contaminadas o no alteradas de modo sensible
II	61-100	Son evidentes algunos efectos de contaminación
III	36-60	Aguas contaminadas
IV	16-35	Aguas muy contaminadas
V	>15	Aguas fuertemente contaminadas

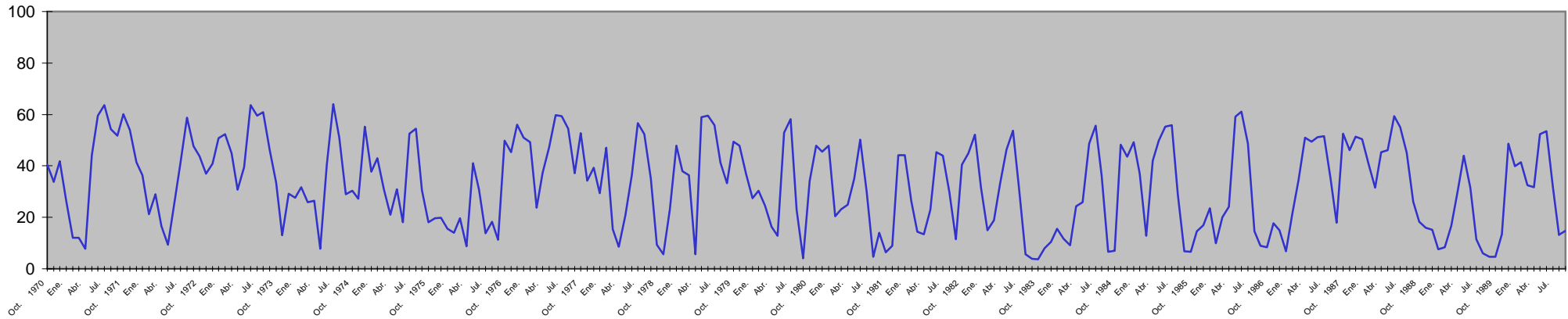
EMBALSE DE BÚBAL



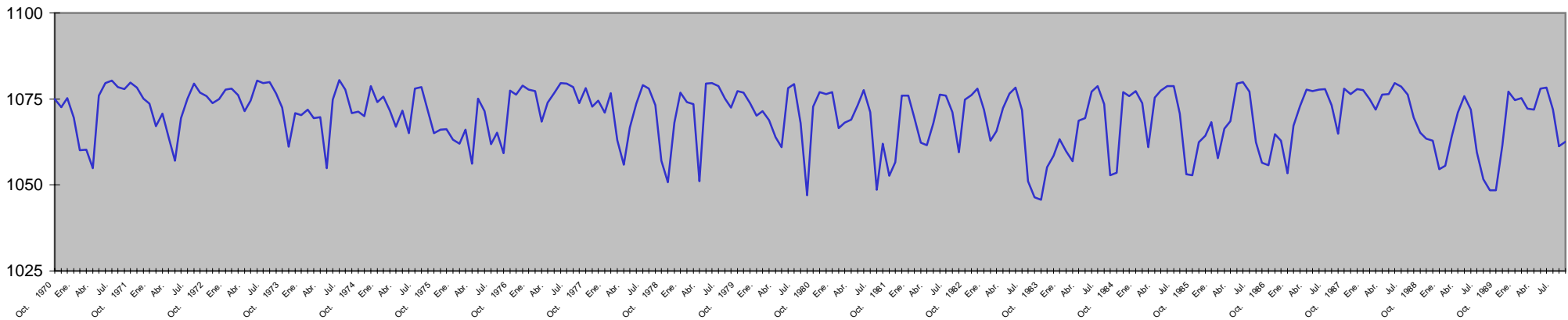
Perfiles de conductividad, temperatura, turbidez y oxígeno disuelto en el agua del embalse, el día 13 de agosto de 1996. Cota: 1075,61

EMBALSE DE BÚBAL

VOLUMEN EMBALSADO (hm³)

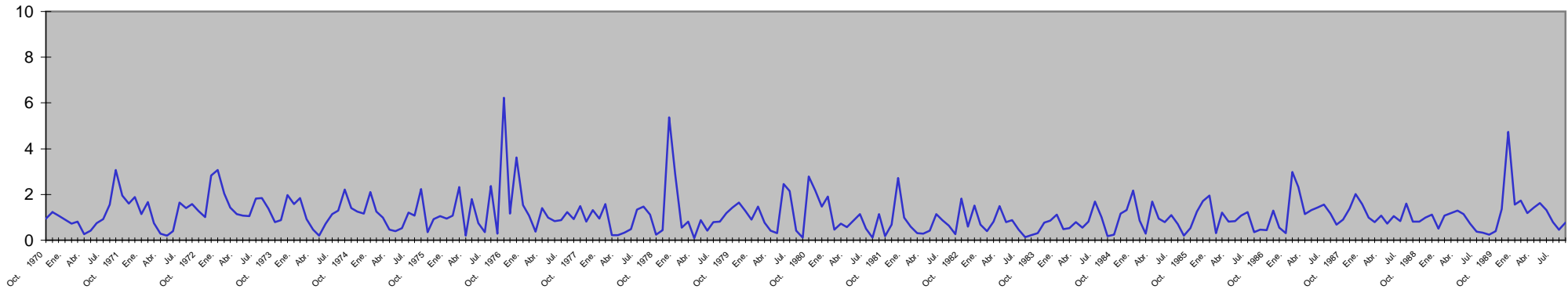


FLUCTUACIÓN DEL EMBALSE (m)



EMBALSE DE BÚBAL

TIEMPO DE RESIDENCIA (meses)



EMBALSE DE BÚBAL



Presa de Búbal el día 13 de agosto de 1996.



Sedimento extraído del fondo del embalse, en la zona de la presa.

EMBALSE DE BÚBAL



Desagüe de fondo y vertido del caudal ecológico en el río Gállego. Se aprecia la turbidez de las aguas.



Río Gállego inmediatamente aguas abajo de la presa de Búbal.

EMBALSE DE BÚBAL



Río Gállego a unos 3 km aguas abajo de la presa.



ADICIONAL INFORME EMBALSE DE BÚBAL 1996

Durante el año 2022 se han revisado los datos del embalse de Búbal recopilados durante el año 1996, en aplicación del Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental, a partir de la trasposición de la Directiva Marco del Agua (DMA).

La metodología utilizada ha consistido en obtener del informe de dicho año los datos necesarios para estimar de nuevo el estado trófico y el potencial ecológico y, recalcular el valor correspondiente en cada variable y en el estado final del embalse, utilizando las métricas publicadas en 2015, lo que permite comparar el estado de los embalses en un ciclo interanual de forma homogénea.

En cada apartado considerado se indica la referencia del apartado del informe original al que se refiere este trabajo adicional.

1. ESTADO TRÓFICO

Para evaluar el grado de eutrofización o estado trófico de una masa de agua se aplican e interpretan una serie de indicadores de amplia aceptación. En cada caso, se ha tenido en cuenta el valor de cada indicador en función de las características limnológicas básicas de los embalses. Así, se han podido interpretar las posibles incoherencias entre los diversos índices y parámetros y establecer la catalogación trófica final en función de aquellos que, en cada caso, responden a la eutrofización de las aguas.

Dentro del presente estudio se han considerado los siguientes índices y parámetros:

a) Concentración de nutrientes. Fósforo total (PT)

La concentración de fósforo total en el epilimnion del embalse es un parámetro decisivo en la eutrofización ya que suele ser el factor limitante en el crecimiento y reproducción de las poblaciones algales o producción primaria. De entre los índices conocidos, se ha adoptado en el presente estudio, el utilizado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) resumido en la tabla A1, ya que es

el que mejor refleja el grado trófico real en los casos estudiados y además es el de más amplio uso a nivel mundial y en particular en la Unión Europea (UE), España y la propia Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE). Desde 1984 se demostró que los criterios de la OCDE, que relacionan la carga de nutrientes con las respuestas de eutrofización, eran válidos para los embalses españoles.

Tabla A1. Niveles de calidad según la concentración de fósforo total.

Estado Trófico	Ultraoligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Hipereutrófico
Concentración PT ($\mu\text{g P/L}$)	0-4	4-10	10-35	35-100	>100

b) Fitoplancton (Clorofila *a*, densidad algal)

A diferencia del anterior, el fitoplancton es un indicador de respuesta trófica y, por lo tanto, integra todas las variables causales, de modo que está influido por otros condicionantes ambientales además de estarlo por los niveles de nutrientes. Se utilizan dos parámetros como estimadores de la biomasa algal en los índices: concentración de clorofila *a* en la zona fótica ($\mu\text{g/L}$) y densidad celular (n° células/ml).

Al contar en este estudio mayoritariamente con sólo una campaña de muestreo, y por tanto no contar con una serie temporal que nos permitiera la detección del máximo anual, se utilizaron las clases de calidad relativas a la media anual (tabla A2). La utilización de los límites de calidad relativos a la media anual de clorofila se basó en el hecho de que los muestreos fueron realizados durante la estación de verano. Según la bibliografía limnológica general, el verano coincidiría con un descenso de la producción primaria motivado por el agotamiento de nutrientes tras el pico de producción típico de finales de primavera. Por ello, la utilización de los límites o rangos relativos al máximo anual resultaría inadecuada.

Para la densidad celular, basamos nuestros límites de estado trófico en la escala logarítmica basada en los estudios limnológicos de Margalef, ya utilizada para incluir más clases de estado trófico en otros estudios (tabla A2). Estos resultados se ajustaban de forma más aproximada a los obtenidos mediante otras métricas estándar de la OCDE como las de P total o clorofila. En el presente estudio, los índices elegidos son los siguientes:

Tabla A2. Niveles de calidad según la clorofila *a* y la densidad algal del fitoplancton.

Estado Trófico	Ultraoligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Hipereutrófico
Clorofila <i>a</i> (µg/L)	0-1	1-2,5	2,5-8	8,0-25	>25
Densidad (cél./ml)	<100	100-1000	1000-10000	10000-100000	>100000

c) Transparencia de la columna de agua. Disco de Secchi (DS)

Por su parte, la transparencia, medida como profundidad de visibilidad del disco de Secchi (media y mínimo anual en m), está también íntimamente relacionada con la biomasa algal, aunque más indirectamente, ya que otros factores como la turbidez debida a sólidos en suspensión, o los fenómenos de dispersión de la luz que se producen en aguas carbonatadas, afectan a esta variable.

Se utilizaron las clases de calidad relativas al mínimo anual de transparencia según criterios OCDE. Se utilizaron en este caso los rangos relativos al mínimo anual (tabla A3) debido a varios factores: por un lado, la transparencia en embalses es generalmente menor que en lagos; por otro lado, en verano se producen resuspensiones de sedimentos como consecuencia de los desembalses para regadío, y por último, la mayoría de los embalses muestreados son de aguas carbonatadas, con lo que la profundidad de Secchi subestimaría también la transparencia.

Tabla A3. Niveles de calidad según la transparencia.

Estado Trófico	Ultraoligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Hipereutrófico
Disco Secchi (m)	>6	6-3	3-1,5	1,5-0,7	<0,7

Catalogación trófica final

Se han considerado la totalidad de los índices expuestos, que se especifican en la tabla A4, estableciéndose el estado trófico global de los embalses estudiados según la metodología descrita a continuación, utilizando el valor promedio de los dos muestreos en su caso.

Tabla A4. Resumen de los parámetros indicadores de estado trófico.

Parámetros Estado Trófico	Ultraoligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Hipereutrófico
Concentración PT (μg)	0-4	4-10	10-35	35-100	>100
Disco de Secchi (m)	>6	6-3	3-1,5	1,5-0,7	<0,7
Clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g/L}$)	0-1	1-2,5	2,5-8	8,0-25	>25
Densidad algal (cél./ml)	<100	100-1000	1000-10000	10000-100000	>100000

Sobre la base de esta propuesta, en la tabla A5 se incluye la catalogación de las diferentes masas de agua por parámetro. Así, para cada uno de los embalses, se asignó un valor numérico (de 1 a 5) según cada clase de estado trófico.

Tabla A5. Valor numérico asignado a cada clase de estado trófico.

ESTADO TRÓFICO	VALORACIÓN
Ultraoligotrófico	1
Oligotrófico	2
Mesotrófico	3
Eutrófico	4
Hipereutrófico	5

La valoración del estado trófico global final se calculó mediante la *media* de los valores anteriores, re-escalada a cinco rangos de estado trófico (es decir, el intervalo 1-5, de 4 unidades, dividido en 5 rangos de 0,8 unidades de amplitud).

2. ESTADO DE LA MASA DE AGUA

El **estado** de una masa de agua es el grado de alteración que presenta respecto a sus condiciones naturales, y viene determinado por el *peor valor* de su estado ecológico y químico.

- El estado ecológico es una expresión de la calidad de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos asociados a las aguas superficiales en relación con las condiciones de referencia (es decir, en ausencia de alteraciones). En el caso de los embalses se denomina *potencial ecológico* en lugar de estado ecológico. Se determina a partir de indicadores de calidad (biológicos y fisicoquímicos).

- El estado químico de las aguas es una expresión de la calidad de las aguas superficiales que refleja el grado de cumplimiento de las normas de calidad ambiental de las sustancias prioritarias y otros contaminantes.

2.1. POTENCIAL ECOLÓGICO

2.1.1. INDICADORES DE CALIDAD BIOLÓGICOS: FITOPLANCTON

Como consecuencia de la aprobación de la IPH (Instrucción de Planificación Hidrológica, Orden ARM/2656/2008), se ha realizado una aproximación al potencial ecológico para el elemento de calidad fitoplancton denominada *propuesta normativa*. En ella se establecen las condiciones de máximo potencial para los siguientes parámetros: clorofila a, biovolumen, Índice de Grupos Algales (IGA) y porcentaje de cianobacterias, en función de la tipología del embalse.

Se debe seguir el procedimiento descrito en el Protocolo MFIT-2013 Versión 2 para el cálculo del RCE de cada uno de los cuatro parámetros:

- Cálculo de Ratio de Calidad Ecológico (RCE)

Cálculo para clorofila a:

$$\text{RCE} = [(1/\text{Chla Observado}) / (1/\text{Chla Máximo Potencial Ecológico})]$$

Cálculo para biovolumen:

$$\text{RCE} = [(1/\text{biovolumen Observado}) / (1/\text{ biovolumen Máximo Potencial Ecológico})]$$

Cálculo para el Índice de Grupos Algales (IGA):

$$\text{RCE} = [(400\text{-IGA Observado}) / (400\text{- IGA Máximo Potencial Ecológico})]$$

Cálculo para el porcentaje de cianobacterias:

$$\text{RCE} = [(100 - \% \text{ cianobacterias Observado}) / (100 - \% \text{ cianobacterias Máximo Potencial Ecológico})]$$

1) Concentración de clorofila a

Del conjunto de pigmentos fotosintetizadores de las microalgas de agua dulce, la clorofila a se emplea como un indicador básico de biomasa fitoplanctónica. Todos los grupos de microalgas contienen clorofila a como pigmento principal, pudiendo llegar a

representar entre el 1 y el 2 % del peso seco total. La clasificación del potencial ecológico de acuerdo con la concentración de clorofila *a* se indica en la tabla A6.

Tabla A6. Clases de potencial ecológico según el RCE de la concentración de clorofila *a*.

Clase de potencial ecológico	Bueno o superior	Moderado	Deficiente	Malo
Rango <i>Tipos 1, 2 y 3</i>	> 0,211	0,210 – 0,14	0,13 – 0,07	< 0,07
Rango <i>Tipos 7, 8, 9, 10 y 11</i>	> 0,433	0,432 – 0,287	0,286 – 0,143	< 0,143
Rango <i>Tipo 12</i>	> 0,195	0,194 – 0,13	0,12 – 0,065	< 0,065
Rango <i>Tipo 13</i>	> 0,304	0,303 – 0,203	0,202 – 0,101	< 0,101
Valoración de cada clase	2	3	4	5

2) Biovolumen algal

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

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

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

3) Índice de grupos algales (IGA)

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

El índice *IGA* se expresa:

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

Siendo,

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

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

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

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

4) Porcentaje de cianobacterias

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

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

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

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

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

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

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

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

Tipos 1, 2 y 3

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

Tipos 7, 8, 9, 10 y 11

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

Tipos 6 y 12

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

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

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

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

Tipo 13

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

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

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

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

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

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

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

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

Clase de potencial ecológico	Bueno o superior	Moderado	Deficiente	Malo
<i>RCEtrans</i>	> 0,6	0,4-0,6	0,2-0,4	<0,2
Valoración de cada clase	2	3	4	5

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

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

2.1.2. INDICADORES DE CALIDAD FÍSICOQUÍMICOS

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

1) Transparencia

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

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

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

2) Condiciones de oxigenación

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

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

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

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

3) Concentración de nutrientes

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

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

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

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

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

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

4) Sustancias preferentes y contaminantes específicos de cuenca

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

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

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

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

Tabla A16. Combinación de los indicadores.

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

2.2. ESTADO QUÍMICO

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

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

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

2.3. ESTADO

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

Tabla A18. Determinación del estado.

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

DIAGNÓSTICO DEL ESTADO TRÓFICO DEL EMBALSE DE BÚBAL

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 Búbal.

INDICADOR	VALOR	ESTADO TRÓFICO
COLOROFILA <i>a</i>	0,60	Ultraoligotrófico
DISCO SECCHI	4,60	Oligotrófico
ESTADO TRÓFICO FINAL	1,50	ULTRAOLIGOTRÓFICO

Atendiendo a los criterios seleccionados, la concentración de clorofila *a* ha clasificado el embalse como Ultraoligotrófico y la transparencia como oligotrófico. Combinando todos los indicadores, el estado trófico final para el embalse de Búbal ha resultado ser **ULTRAOLIGOTRÓFICO**.

DIAGNÓSTICO DEL ESTADO FINAL DEL EMBALSE DE BÚBAL

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 a (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 Búbal.

Indicador	Elementos	Parámetro	Indicador	Valor	RCE	RCET	PE
Biológico	Fitoplancton	Biomasa	Clorofila a ($\mu\text{g/L}$)	0,60	4,33	3,34	Bueno o superior
INDICADOR BIOLÓGICO				2		BUENO O SUPERIOR	
Indicador	Elementos	Indicador	Valor	PE			
Fisicoquímico	Transparencia	Disco de Secchi (m)	4,60	Bueno			
INDICADOR FISICOQUÍMICO				2		BUENO	
POTENCIAL ECOLÓGICO				BUENO O SUPERIOR			
ESTADO FINAL				BUENO			

De acuerdo con los resultados obtenidos, el Estado Final del embalse de Búbal para el año 1996 es de nivel 2, **BUENO**.