



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

EMBALSE DE YESA

LIMNOS

1996

EMBALSE DE YESA**1) CARACTERÍSTICAS GENERALES**

Nombre:	Yesa
Pki - Pkf:	10.470-11.970
Código cauces:	
Cuenca:	Aragón
CH:	Ebro
Provincia:	Navarra
Propietario:	Estado
Año de terminación:	1960

2) USOS Y TIPO DE PRESA

Usos:	Riegos/Hidroeléctrico/Abastecimientos
Actividades:	Navegación/Navegación a motor/Baños/Pesca Club náutico
Interés Natural:	Otras especies

Comentarios:

- El embalse de Yesa recoge las aguas del tramo medio-alto del río Aragón y del río Escá. El uso principal son los riegos por el canal de Bardenas, que suministra agua a las zonas de Las Bardenas (Navarra) y de Cinco Villas (Zaragoza). Algunos municipios (Ejea, Tauste, etc.) toman agua para abastecimiento del canal. De forma esporádica se suministra agua al Canal Imperial de Aragón. Se realiza aprovechamiento hidroeléctrico en una pequeña central situada a pie de presa (caudal de turbinación de 1,5 m³/s) propiedad de la C.H.E., así como en dos centrales localizadas en el tramo fluvial bajo la presa, aguas arriba y aguas abajo de la confluencia con el río Irati que pertenecen a Fuerzas Eléctricas de Navarra. El caudal de turbinación de estas centrales es de 8 y 15 m³/s respectivamente, y toman el agua del río.
- El embalse es muy frecuentado para la práctica de la navegación, baños y pesca, y existen dos campings dotados de embarcadero. Respecto a la pesca, el embalse

está catalogado de régimen especial. Aguas arriba del embalse existe la nutria, por lo que no se puede descartar que ésta se encuentre, de forma ocasional, también aguas abajo.

Tipo de presa:	Gravedad de planta recta	
Cota tomas (m s.n.m.):	Aliviadero:	482,61
	Toma de riegos:	453,35
	Desagües intermedios:	448,40
	Toma hidroeléctrica:	448,40
	Desagües de fondo:	428,0
Torre de tomas:	No	
Escala de peces:	No	

Comentarios:

- La toma para riegos constituye la vía preferente de evacuación de agua del embalse. Está situada en el margen izquierdo (cota 453,35) y tiene una capacidad de desagüe de 90 m³/s. Los tres conductos de la toma desembocan en un cuenco amortiguador que sirve para la regulación de los caudales que se derivan por el canal de Bardenas. Éste tiene una capacidad máxima de 60 m³/s, por lo que el caudal excedente se deriva por el río para cumplimentar las concesiones existentes desde la presa a la confluencia con el río Irati y el caudal ecológico. Además se utiliza un caudal continuo de 1,5 m³/s de la toma del canal para la producción de energía eléctrica en una central situada al pie de presa.
- Los desagües de fondo se maniobran periódicamente aunque no se usan en la gestión ordinaria del embalse.

3) MORFOMETRÍA-HIDROLOGÍA

Volumen (hm³):	446,9
Superficie (ha):	1900
Cota (m s.n.m.):	488,61
Profundidad máxima (m):	60,7
Profundidad media (m):	23,5

Profundidad termoclina (m):	10-23
Desarrollo de volumen:	1,1
Volumen epilimnion (hm³):	108-165
Volumen hipolimnion (hm³):	100-236
Relación E/H:	0,7-1
Fluctuación de nivel:	Mucha
Tiempo de residencia (meses):	2-5

Comentarios:

- La termoclina se encuentra aproximadamente entre 10 y 23 m. La toma de riego se encuentra en aguas hipolimnéticas (para los volúmenes máximo, medio y mínimo de agosto entre 1959-1990). Existe riesgo de verter agua anóxica en caso de que ésta se produzca.
- Los volúmenes del epilimnion e hipolimnion se han estimado para las reservas máxima (401,2 hm³), media (331,0 hm³) y mínima (208,1 hm³) (datos de agosto entre 1959 y 1990). La relación E/H es <1 para las reservas máxima y media y de 1 para la reserva mínima lo que atenúa el riesgo de anoxia hipolimnética.
- El riesgo de erosión de las laderas (y de enturbiamiento del agua) por disminución del nivel del agua es moderado-alto. La disminución de la cota es bastante importante y puede alcanzar más de 20 m. Si en estas condiciones se producen precipitaciones el agua se enturbia por arrastre de sólidos.
- El tiempo de residencia del agua es alto (entre 2 y 5 meses), lo cual supone un mayor riesgo de incremento de la eutrofia.

4) HIDROQUÍMICA

Embalse

Conductividad (µS/cm):	213-494
Calcio (mg/L):	18-57
Fosfato (mg/L):	0-0,15

Nitrato (mg/L):	0-2,6
Amonio (mg/L):	0-0,1

Comentarios:

- El agua del embalse es moderadamente mineralizada y la concentración de calcio es relativamente alta, lo que tiende a reducir la eutrofia. La concentración de nutrimentos es moderada.

Tributario principal

Conductividad (µS/cm):	214-309
Calcio (mg/L):	42-59
Fosfato (mg/L):	0,01-0,02
Nitrato (mg/L):	0-1,69
Amonio (mg/L):	0,01-0,4

Comentarios:

- Las aguas del río Aragón (tributario principal) son moderadamente mineralizadas y con una concentración medio-baja de nutrimentos.
- Las cargas de fósforo y nitrógeno que alcanzan al embalse por el tributario principal son del orden de 228 tm/año de fósforo y 1.335 tm/año de nitrógeno, (datos estimados por Synconsult para 1990).

5) ESTADO TRÓFICO

Nivel trófico:	Mesotrófico
Hipolimnion:	Anóxico
Blooms algales:	-

Comentarios:

- El embalse se clasifica como mesotrófico por Synconsult en base a la aplicación de diferentes índices tróficos. La carga de fósforo que recibe el embalse

sobrepasa el límite peligroso establecido por Vollenweider (1976) para los datos de 1990. Morgui *et al.* (1990) califican este embalse como oligo-mesotrófico.

- Las cargas de fósforo y nitrógeno que alcanzan el embalse son del orden de 272 y 1.905 tm/año respectivamente (datos de Synconsult para 1990). Estos valores se consideran altos dentro del contexto de los embalses de la cuenca del Ebro.
- En el muestreo realizado en agosto de 1996, la concentración de clorofila es baja (0,9 mg/m³) y propia de aguas oligotróficas, según la clasificación de OCDE (1980). La profundidad de visión del disco de Secchi (2,56 m) es propia de aguas eutróficas; sin embargo en este caso, no sólo depende del fitoplancton sino también de la carga de sólidos inorgánicos y de fenómenos de dispersión de la luz, que son importantes en las aguas bicarbonatadas.
- El hipolimnion se presenta generalmente oxigenado, según los datos consultados, con la excepción de septiembre de 1990 cuando se observó anoxia, a partir de la cota 450, y producción de SH₂. El embalse se encontraba 25 m por debajo de la cota máxima.
- El embalse presenta una biomasa de fitoplancton moderada-baja.

6) PECES

Densidad:

Media

Especies:

Salmo trutta (trucha)

Chondrostoma toxostoma (madrilla)

Barbus graellsii (barbo de Graells)

Barbus haasi (barbo culirrojo)

Cyprinus carpio (carpa común)

Esox lucius (lucio)

Micropterus salmoides (black bass)

7) SEDIMENTOS

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

Comentarios:

- El nivel de aterramiento se considera bajo. La pérdida de volumen respecto a la capacidad original es de 20,7 hm³, lo que supone un 4,4 % (según Avendaño *et al.*, 1996).
- El sedimento es limo-arcilloso y contiene poca materia orgánica.

8) TRAMO FLUVIAL BAJO LA PRESA

Anchura del cauce (m):	20
Pendiente (%):	-
Caudal de compensación (m³/s):	5
Estructura del lecho:	Balsa
Objetivo de calidad:	OC-2
Usos:	Hidroeléctrico/Pesca/Piscifactoría
Fauna acuática	
Índice biótico (B.M.W.P.):	39-63
Índice biótico (nivel de calidad):	2-3
Calificación del tramo según peces:	Ciprinícola
Especies de peces:	

Salmo trutta (trucha común)
Barbus graellsii (barbo de Graells)
Barbus haasi (barbo culirroyo)
Chondrostoma toxostoma (madrilla)
Leuciscus pyrenaicus (cacho)
Noemacheilus barbatulus (lobo de río)

Ecosistema de ribera:

Bosquetes de chopos (*Populus* sp.)

Comentarios:

- En el tramo fluvial bajo la presa la velocidad del agua es moderada y dominan las balsas. Se observa crecimiento abundante de algas filamentosas y de macrófitos sumergidos (*Potamogeton pectinatus*, briófitos). En la orilla hay carrizo (*Phragmites* sp.). El bosque de ribera está reducido a manchas de chopos.
- Los usos más importantes del tramo fluvial son la producción hidroeléctrica en las centrales situadas aguas arriba y abajo del río Irati y una piscifactoría bastante importante situada a unos 3-4 km aguas abajo. La pesca es bastante practicada y existe un coto de pesca intensiva en el que se pesca todo el año. El tramo es ciprinícola, y la presencia (y pesca) de truchas se debe a que se repuebla con esta especie.
- La calidad biológica, según el índice B.M.W.P., es moderada a baja (valores propios de aguas con signos de contaminación y contaminadas). Las especies representadas son de aguas de corriente moderada (moluscos como *Theodoxus fluviatilis*, *Lymnaea* sp., *Physella* sp., *Pisidium* sp.; crustáceos como *Echinogammarus* sp. etc). Esto se debe a que el caudal ecológico que se suelta (5 m³/s) no es suficiente para provocar una corriente importante. También existe aportación de nutrientes por la piscifactoría, lo cual favorece la eutrofia del río. La calidad biológica del río mejora tras la incorporación del río Irati, elevándose los valores del índice biótico (B.M.W.P.) hasta aquellos propios de aguas no contaminadas.

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 reducción o eliminación del caudal.
2. Afecciones a los peces del embalse por pérdida de hábitat (reducción del alimento) debido a oscilaciones del nivel del agua.
3. Afecciones a los peces del tramo fluvial bajo la presa por alteraciones del régimen térmico de las aguas.

AFECCIONES A OTRA FAUNA

1. Afecciones a la población de nutria del tramo fluvial bajo la presa por fluctuaciones del caudal.
2. Afecciones a las nutrias por disminución de la densidad de peces.

AFECCIONES AL ECOSISTEMA DE RIBERA

Ninguna.

RIESGOS HIDROLÓGICOS

Ninguno.

AFECCIONES A LOS USOS DEL EMBALSE Y DEL TRAMO FLUVIAL

1. Afección al agua para abastecimiento del embalse o del tramo fluvial por tóxicos y malos sabores ocasionados por fenómenos de reducción en el hipolimnion. En sequía.

2. 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.
3. Afección a la piscifactoría instalada en el tramo fluvial bajo la presa por incremento de la temperatura del agua.
4. Afección a la pesca por perturbaciones a los peces del embalse (ver afecciones a los peces).
5. Afección a la pesca por perturbaciones a los peces del tramo fluvial bajo la presa (ver afecciones a los peces).
6. Afección a la pesca en el tramo bajo la presa por eutrofización del río (crecimiento de algas filamentosas y macrófitos).

RIESGOS PARA LA NAVEGACIÓN

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

COMENTARIOS A LOS RIESGOS AMBIENTALES

- El efecto ambiental más importante, es la pérdida de calidad biológica que se produce en el tramo fluvial bajo la presa como consecuencia de la reducción del caudal. Esto produce la eutrofización del tramo (crecimiento de algas filamentosas) y por consiguiente la disminución del número de taxones del zoobentos, si bien la abundancia de algunos grupos es alta, lo cual favorece a la comunidad de peces. La existencia de aprovechamiento hidroeléctrico y de una piscifactoría son factores que también inciden negativamente en la calidad biológica del tramo.
- Los riesgos ambientales derivados del estado trófico del embalse se consideran poco importantes y sólo se producirían en caso de sequía y/o con volúmenes embalsados bajos. En este caso, podría producirse agua anóxica y con tóxicos (SH_2 y NH_4) cuyo vertido en el tramo fluvial podría provocar mortandad de peces y afección a las comunidades biológicas y a la piscifactoría.

- El agua que se vierte en el río es moderadamente fría por proceder del hipolimnion, lo que favorece la presencia de truchas de repoblación en el tramo, así como la actividad de la piscifactoría. En caso de sequía, y con volumen embalsado bajo es probable que el agua de vertido sea más caliente y esto puede afectar a las truchas.
- El riesgo para la navegación se considera bajo aunque existe la posibilidad de presencia de troncos a la deriva después de la época de lluvias.

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

- Control del estado trófico del embalse mediante planes de gestión de las aguas residuales en los municipios a lo largo del río Aragón (principalmente Jaca) y de la cuenca directa del embalse (campings).
- Ampliar el caudal ecológico (actualmente de 5 m³/s) para incrementar la corriente y rebajar la eutrofia del tramo.
- En sequía no desaguar de fondo sin asegurarse de que la concentración de oxígeno en el río sea superior a 4 mg/L; éste es el límite para aguas ciprinícolas que es como está calificado el tramo, sin embargo para proteger a las truchas (de repoblación en el tramo de pesca intensiva) se debería asegurar una concentración superior a 6 mg/L.

PROCEDIMIENTOS DE SEGUIMIENTO

- Analizar la concentración de oxígeno disuelto en el agua del hipolimnion durante el periodo estival, en época de sequía (o con volúmenes embalsados bajos).
- Si la concentración de oxígeno disuelto en el hipolimnion es inferior a 1 mg/L, entonces analizar también las concentraciones de SH₂ y NH₄.

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

EMBALSE: **Yesa** **Fecha:** 14/8/96
Coordenadas UTM (presa): 30TXN491199

Conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$) :	284	NH ₄ superf. (mg/L) :	0,05
Ca (mg/L) :	-	NH ₄ fondo (mg/L) :	0,1
NO ₃ (mg/L) :	-	Clorofila (mg/m ³) :	0,9
PO ₄ (mg/L) :	-	Disco Secchi (m) :	2,56

Tributario principal: **Aragón**

Conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$) :	298	NO ₃ (mg/L) :	1,56
Ca (mg/L) :	42,5	NH ₄ (mg/L) :	0,05
		PO ₄ (mg/L) :	0,012

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

TRAMO FLUVIAL:

Aragón

FECHA:

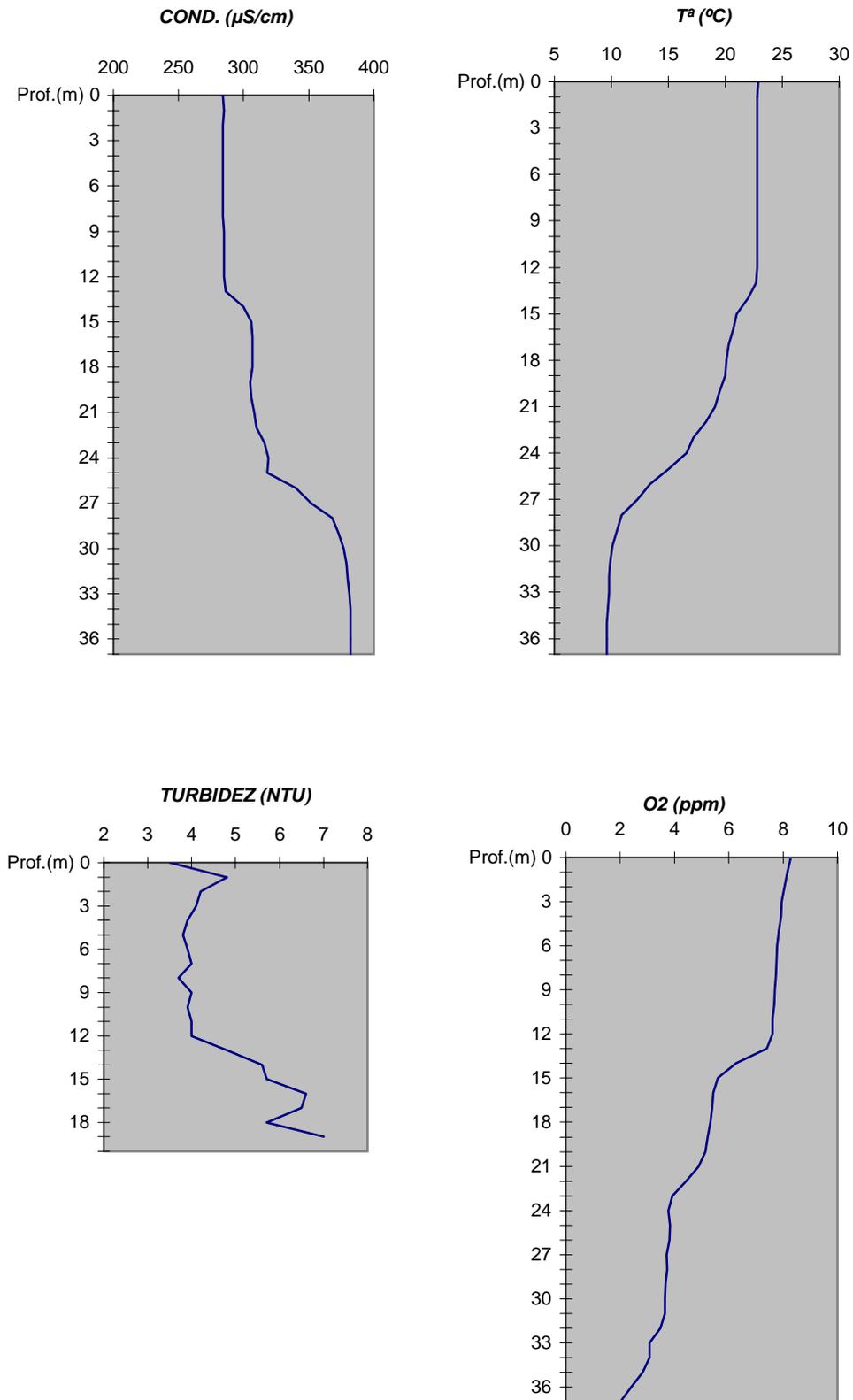
14/08/96

EMBALSE AGUAS ARRIBA DEL TRAMO: Yesa

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

PUNTUACIÓN DEL ÍNDICE BMWP: 63		
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

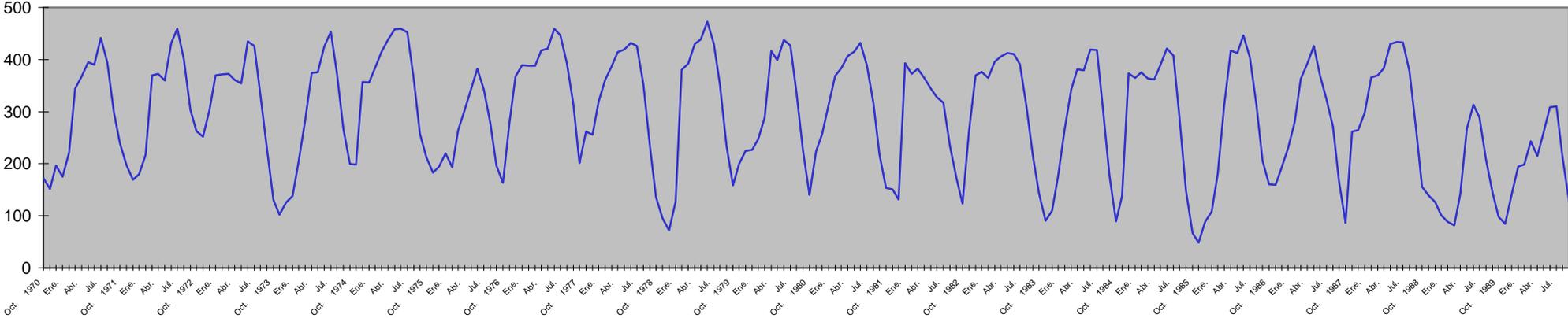
EMBALSE DE YESA



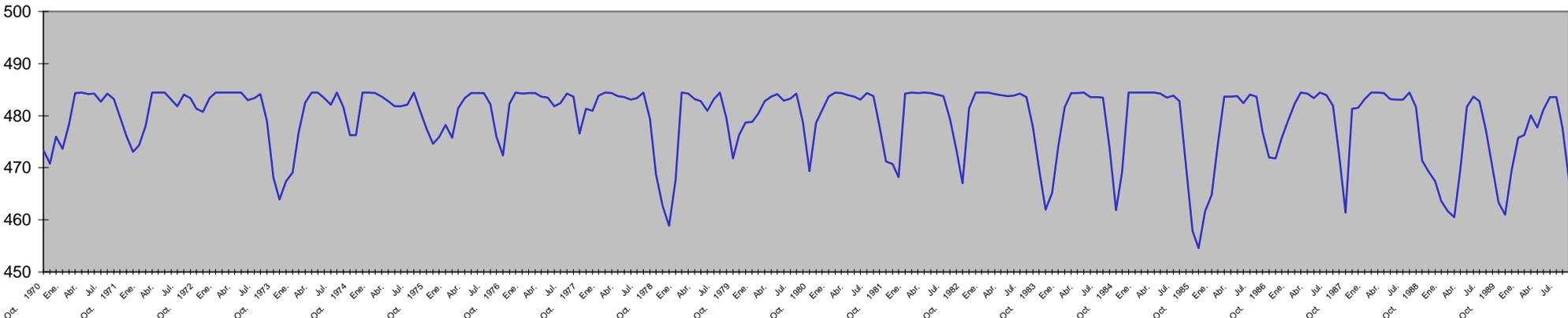
Perfiles de conductividad, temperatura, turbidez y oxígeno disuelto en el agua del embalse, el día 14 de agosto de 1996. Cota: 476,01.

EMBALSE DE YESA

VOLUMEN EMBALSADO (Hm3)

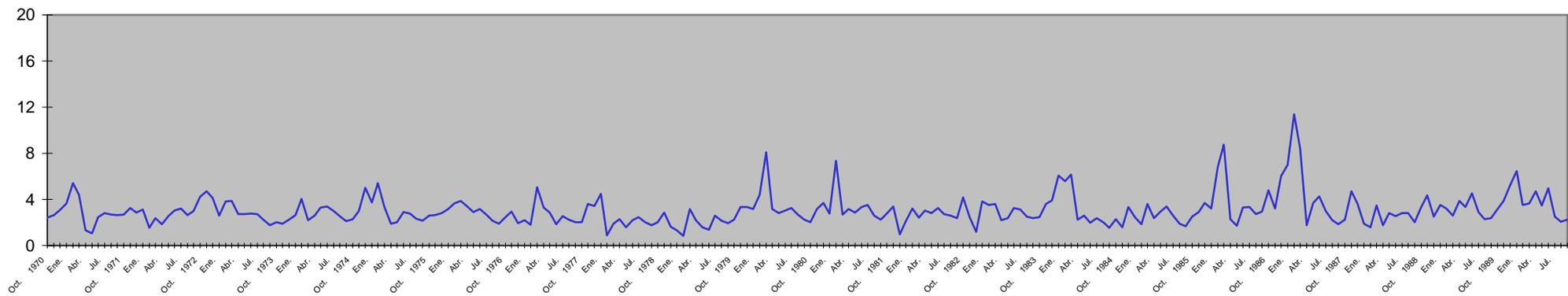


FLUCTUACIÓN DEL EMBALSE (m)



EMBALSE DE YESA

TIEMPO DE RESIDENCIA (meses)



EMBALSE DE YESA

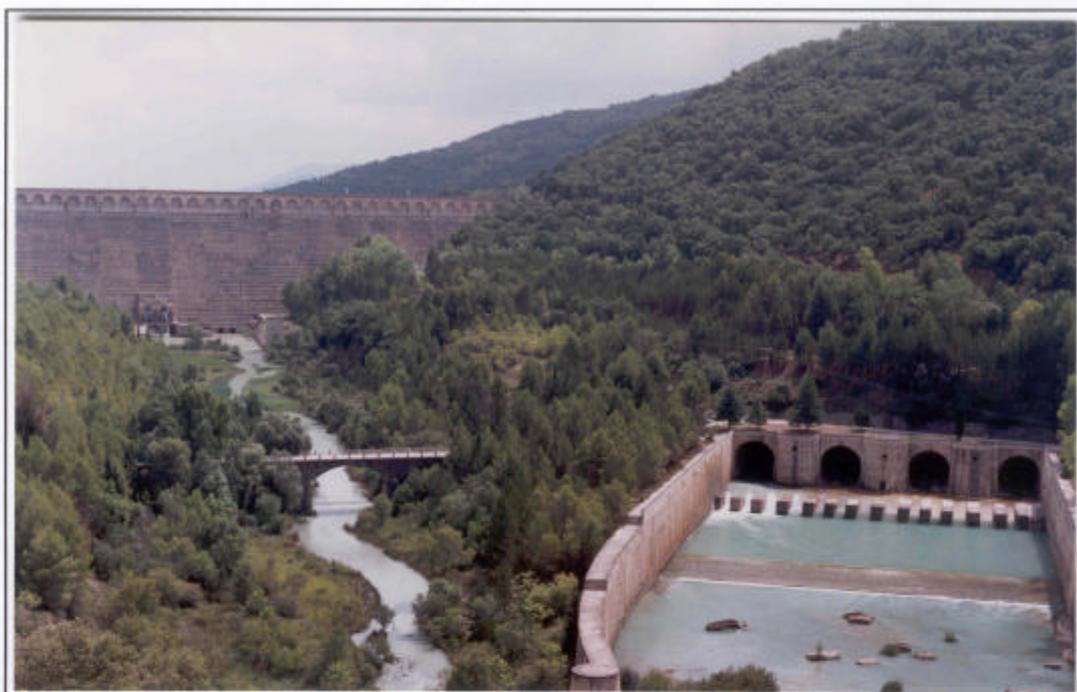


Embalse de Yesa en julio de 1996.

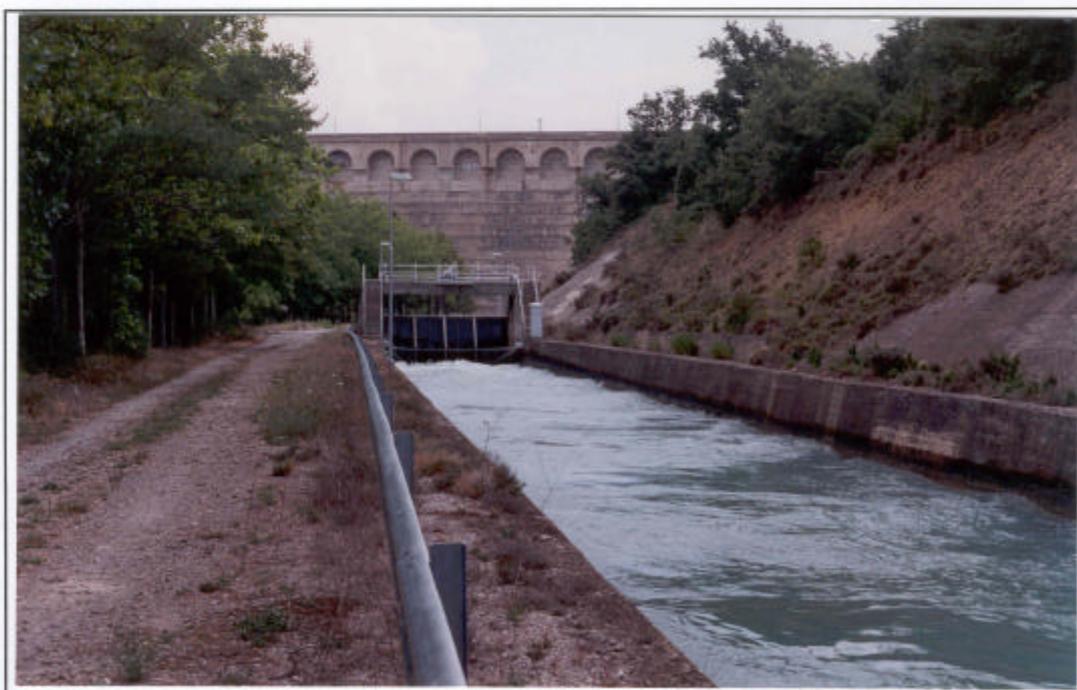


Sedimento extraído del embalse de Yesa en la zona de la presa, en julio de 1996.

EMBALSE DE YESA



Río Yesa aguas abajo de la presa. Caudal ecológico en el tramo bajo la presa (a la izquierda) y aportación por aliviadero (a la derecha).



Canal de riego que se deriva en la presa.

EMBALSE DE YESA



Río Aragón a unos 4 km aguas abajo de la presa de Yesa.



Detalle del recubrimiento de algas filamentosas y perifiton en el tramo del río Aragón, regulado por Yesa.

ADICIONAL INFORME EMBALSE DE YESA 1996

Durante el año 2022 se han revisado los datos del embalse de Yesa 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 <i>Tipos 1, 2 y 3</i>	> 0,908	0,907 – 0,607	0,606 – 0,303	< 0,303
Rango <i>Tipos 7, 8, 9, 10 y 11</i>	> 0,715	0,714 – 0,48	0,47 – 0,24	< 0,24
Rango <i>Tipo 12</i>	> 0,686	0,685 – 0,457	0,456 – 0,229	< 0,229
Rango <i>Tipo 13</i>	> 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

Adicional informe estado embalse de Yesa 1996

Demarcación Hidrográfica del Ebro

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 YESA

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 Yesa.

INDICADOR	VALOR	ESTADO TRÓFICO
COLOROFILA <i>a</i>	0,90	Ultraoligotrófico
DISCO SECCHI	2,56	Mesotrófico
ESTADO TRÓFICO FINAL	2,00	OLIGOTRÓFICO

Atendiendo a los criterios seleccionados, la concentración de clorofila *a* ha clasificado el embalse como ultraoligotrófico y la transparencia como mesotrófico. Combinando todos los indicadores, el estado trófico final para el embalse de Yesa ha resultado ser **OLIGOTRÓFICO**.

DIAGNÓSTICO DEL ESTADO FINAL DEL EMBALSE DE YESA

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 Yesa.

Indicador	Elementos	Parámetro	Indicador	Valor	RCE	RCET	PE
Biológico	Fitoplancton	Biomasa	Clorofila a ($\mu\text{g/L}$)	0,90	2,89	2,33	Bueno o superior
INDICADOR BIOLÓGICO				2		BUENO O SUPERIOR	
Indicador	Elementos	Indicador	Valor	PE			
Fisicoquímico	Transparencia	Disco de Secchi (m)	2,56	Moderado			
INDICADOR FISICOQUÍMICO			3	MODERADO			
POTENCIAL ECOLÓGICO			MODERADO				
ESTADO FINAL			INFERIOR A BUENO				

De acuerdo con los resultados obtenidos, el Estado Final del embalse de Yesa para el año 1996 es de nivel 3, **INFERIOR A BUENO**.