



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

EMBALSE DE CANELLES

LIMNOS

1996

EMBALSE DE CANELLES**1) CARACTERÍSTICAS GENERALES**

Nombre:	Canelles
Pki - Pkf:	4.000-5.800
Código cauces:	
Cuenca:	Noguera-Ribagorzana/Segre
CH:	Ebro
Provincia:	Huesca/Lérida
Propietario:	ENHER
Año de terminación:	1960

2) USOS Y TIPO DE PRESA

Usos:	Hidroeléctrico/Riegos/Abastecimiento
Actividades:	Navegación/Navegación a motor /Baños /Pesca (coto deportivo)
Interés Natural:	Espacio protegido/Otras especies

Comentarios:

- El embalse, propiedad de E.N.H.E.R., recoge las aguas del río Noguera-Ribagorzana en su tramo medio y las del río Guart. El agua del río Noguera procede en su mayoría del embalse de Escales, a partir del cual circula entubada y por un canal que desagua en la Central Puente de Montañana situada a unos 2,5 km aguas arriba de la cola de Canelles. El uso principal del embalse es la producción de energía eléctrica, que se realiza en una central subterránea existente a pie de presa.
- En el embalse está permitida la navegación y los baños aunque la práctica de estas actividades está limitada por la falta de zonas accesibles. En relación con la pesca, el embalse está calificado como coto deportivo de pesca según la Orden de 17 de enero de 1996 de la DGA.

- El embalse está ubicado en un área prepirenaica en la que se encuentra un área de interés natural, el desfiladero de Mont-rebey, situada en la cola del embalse. Este área es reserva natural parcial para la protección de la nutria (*Lutra lutra*).

Tipo de presa:	Bóveda-cúpula	
Cota tomas (m s.n.m.):	Aliviadero:	497,85
	Aliviadero de medio fondo:	466,0
	Toma hidroeléctrica:	450
	Desagüe de fondo:	400
Torre de tomas:	No existe	
Escala de peces:	No existe	

Comentarios:

- En la gestión normal del embalse, el agua se vierte por la toma hidroeléctrica situada en la margen izquierda y se conduce por una tubería forzada hasta la central situada a pie de presa. Ésta tiene una potencia de 107.000 KW y el caudal de turbinación es del orden de unos 45 m³/s diarios. El agua turbinada se restituye al río a unos 400 m de la presa.
- Los desagües de fondo se maniobran periódicamente, si bien no se usan en la gestión ordinaria del embalse.

3) MORFOMETRÍA-HIDROLOGÍA

Volumen (hm³):	687,5
Superficie (ha):	1.569
Cota (m s.n.m.):	506,2
Profundidad máxima (m):	137
Profundidad media (m):	43
Profundidad termoclina (m):	6-25
Desarrollo de volumen:	0,94
Volumen epilimnion (hm³):	12-74
Volumen hipolimnion (hm³):	36-443
Relación E/H:	0,16-0,33

Fluctuación de nivel:	Medio
Tiempo de residencia (meses):	2-5

Comentarios:

- Este embalse es muy profundo (más de 100 m) y la termoclina se encuentra entre 6 - 7 m y 25 m. El agua del río circula por el fondo por la menor temperatura del agua procedente de la cuenca alta. La toma hidroeléctrica se encuentra en el hipolimnion lo que supone un riesgo de turbinar aguas anóxicas y con tóxicos en caso de que éstas se produzcan.
- Los volúmenes de epilimnion e hipolimnion se han calculado para la reserva máxima (517 hm³), media (162 hm³) y mínima (48,3 hm³) (exceptuando cuando se vació) registradas en agosto (datos entre 1966 y 1990) y considerando la termoclina localizada a 6 m de la superficie. La relación E/H es menor que 1 en todos los casos, lo cual disminuye la probabilidad de aparición de anoxia en el hipolimnion.
- El embalse presenta un riesgo de erosión de las laderas del embalse (y de enturbiamiento del agua) bajo, de acuerdo con la morfometría del embalse ($Dv < 1$) y la fluctuación del nivel del agua que se califica de moderada. La variación del nivel del agua en el periodo considerado (1966 y 1990) es alta hasta 1984 y baja desde 1984 a 1990. El embalse (zona de la presa) sufrió obras de impermeabilización y la construcción de un aliviadero de medio fondo en la primera mitad del periodo considerado, y esto motivó la oscilación de la lámina de agua; el embalse se vació totalmente en 1984-85. Posteriormente a ese año, el nivel del agua es menos fluctuante.
- El tiempo de residencia varía bastante, en la serie temporal considerada, por las incidencias ya comentadas (obras en la presa, vaciado). A partir de 1985-85 el tiempo de residencia se estabiliza en un rango entre 2 y 5 meses lo que supone una renovación moderada del agua, lo que incrementa el riesgo de eutrofia.

4) HIDROQUÍMICA

Embalse

Conductividad ($\mu\text{S/cm}$):	210-600
Calcio (mg/L):	44-72
Fosfato (mg/L):	0-0,05
Nitrato (mg/L):	0-2,5
Amonio (mg/L):	0,01-0,08

Comentarios:

- El agua del embalse presenta una mineralización moderada caracterizada por el alto contenido en calcio (esto limita la eutrofia del embalse). Las concentraciones de nutrientes son bajas.

Tributario principal

Conductividad ($\mu\text{S/cm}$):	170-580
Calcio (mg/L):	44-48
Fosfato (mg/L):	0-0,02
Nitrato (mg/L):	0-2,9
Amonio (mg/L):	0,02-0,17

Comentarios:

- El agua del tributario principal (río Noguera-Ribagorzana) presenta un rango de la mineralización variable, según el caudal. La mineralización del agua se corresponde con las características geológicas de los materiales de la cuenca en la que dominan calizas y margas. Las concentraciones de nutrientes son moderadas.
- Las cargas de fósforo y nitrógeno que lleva este río se estimaron en 75 y 598 tm en 1990 (datos de Synconsult). Estos valores son bastante elevados en el contexto de los embalses de la cuenca del Ebro. Proviene, fundamentalmente,

de la actividad ganadera existente en la cuenca de los ríos Noguera-Ribagorzana y Guart.

5) ESTADO TRÓFICO

Nivel trófico:	Mesotrófico
Hipolimnion:	Anóxico
Blooms algales:	No

Comentarios:

- El embalse se clasifica como mesotrófico por Synconsult (1989-91), como resultado de la aplicación de numerosos índices tróficos. Además, la carga de fósforo que alcanza el embalse rebasa los límites críticos establecidos por Vollenweider (1976). En el muestreo de julio de 1996, que corresponde a un año húmedo, el embalse presenta características oligotróficas según la concentración de clorofila ($1,5 \text{ mg/m}^3$) y la transparencia del agua (DS de 7,75 m) según los criterios de la OCDE (1983). La concentración de fosfato en el agua del tributario es muy baja ($0,005 \text{ mg/m}^3$).

La carga total de fósforo (tributarios + escorrentía) que llega al embalse se estimó en 86 tm en 1990 de las que 75 proceden del río N.Ribagorzana; en el caso del nitrógeno la carga estimada fue de 970 tm de las que 598 son del río. A pesar de que las cargas de nutrientes son bastante altas, el nivel trófico del embalse se mantiene en niveles aceptables, probablemente debido al secuestro del fósforo por parte del calcio.

- En condiciones hidrológicas normales el hipolimnion se presenta oxigenado durante todo el verano, y la concentración de oxígeno mínima es de unos 3 mg/L en la serie consultada (Synconsult, 1989-91; Limnos 1996). Sin embargo, en el otoño de 1989 y 1990, se registró anoxia en las capas profundas, con el embalse muy vacío.
- El embalse es poco productivo y no se producen proliferaciones de algas.

6) PECES

Densidad: Media

Especies:

Cyprinus carpio (carpa)

Barbus graellsii (barbo de Graells)

Chondrostoma toxostoma (madrilla)

Salmo trutta (trucha común)

Micropterus salmoides (black-bass)

Esox lucius (lucio)

Scardinius erythrophthalmus (gardí)

Alburnus alburnus (alburno)

7) SEDIMENTOS

Nivel de aterramiento: Bajo

Materia orgánica: Baja

Producción de metano: Baja

Riesgo de contaminación: Bajo

Comentarios:

- El embalse no está muy aterrado ya que el agua que le llega viene prácticamente entubada desde la parte alta de la cuenca (embalse de Escalles). Además, la erosión en la propia cuenca del embalse es escasa.

8) TRAMO FLUVIAL BAJO LA PRESA

Anchura del cauce (m): 4-8

Pendiente (%): -

Caudal de compensación (m³/s): No

Estructura del lecho: Balsas/Tablas

Objetivo de calidad: OC-2

Usos: Abastecimiento/Pesca/Riego

Fauna acuática

Índice biótico (B.M.W.P.): 49

Índice biótico (nivel de calidad): 3
Calificación del tramo según peces: Transición
Especies de peces:

Salmo trutta (trucha común)
Barbus graellsii (barbo de Graells)
Chondrostoma toxostoma (madrilla)
Esox lucius (lucio)
Scardinius erythrophthalmus (gardí)
Alburnus alburnus (alburno)
Gobio gobio (gobio)

Ecosistema de ribera:

Presencia de bosque de ribera

Comentarios:

- El tramo fluvial bajo la presa de Canelles se limita a un tramo muy corto de aproximadamente 1,5 km antes de alcanzar la cola de Santa Ana, cuando éste no está lleno. Está sometido a fluctuaciones diarias del caudal, lo que motiva que la población de peces sea escasa; los ejemplares se protegen en las balsas existentes cuando se deja de turbinar.
- La calidad biológica según el índice biótico B.M.W.P. es baja. En un muestreo puntual realizado en junio de 1992 (Limnos) se obtuvo un valor de 49 que corresponde a aguas contaminadas; aunque en este caso responde a la alteración hidrológica del tramo.
- El tramo desemboca en la cola del embalse de Santa Ana cuyas aguas se utilizan para el abastecimiento de agua potable a Lérida, además de para riego y producción hidroeléctrica.

9) RIESGOS AMBIENTALES

MORTANDAD DE PECES

Ninguna

AFECCIONES A LOS PECES

1. Afecciones a los peces del embalse por pérdida de hábitat (reducción del alimento) debido a oscilaciones del nivel del agua. En sequía.

AFECCIONES A OTRA FAUNA

1. Afecciones a la población de nutria del tramo fluvial aguas arriba del embalse por fluctuación del nivel del agua. En sequía.
2. Afecciones a la población de nutria del tramo fluvial bajo la presa por fluctuaciones del caudal.
3. Afecciones a la población de nutrias de la zona por el efecto barrera de la presa.
4. Afecciones a la población de nutrias de la zona por presencia de pescadores.

AFECCIONES AL ECOSISTEMA DE RIBERA

Ninguna

RIESGOS HIDROLÓGICOS

Ninguno

AFECCIONES A LOS USOS DEL AGUA EN EL EMBALSE Y EN EL TRAMO FLUVIAL

1. Afección al agua para abastecimiento del tramo fluvial bajo la presa por vertido de aguas turbias del embalse. En sequía.

2. Afección a la pesca por perturbaciones a los peces del embalse (ver afecciones a los peces). En sequía.
3. Afección a la pesca por perturbaciones a los peces del tramo fluvial bajo la presa (ver afecciones a los peces).

RIESGOS PARA LA NAVEGACIÓN

Ninguno.

COMENTARIOS A LOS RIESGOS AMBIENTALES

- Los riesgos más importantes afectan al mismo embalse, y se relacionan con la posible fluctuación del agua, especialmente en periodos de sequía. La cola del embalse con nivel bajo no alcanza el desfiladero de Mont-rebey, afectando a esa zona que tiene un gran valor como hábitat para la nutria. La disminución de volumen limita asimismo las comunidades acuáticas (especialmente los peces) y la pesca.
- Los riesgos que afectan al tramo fluvial bajo la presa se relacionan con la fluctuación diaria del caudal lo cual limita a las comunidades biológicas. Sin embargo dado que el tramo es corto, esto no se considera de importancia.
- Los riesgos que afectan al embalse de Santa Ana localizado aguas abajo de la presa se refieren a un posible vertido de agua turbia en caso de abrirse los desagües de fondo o de producirse un vaciado importante del embalse. El enturbiamiento del agua de suministro a Lérida se produjo en 1972 durante el vaciado del embalse combinado con un episodio de lluvias torrenciales. Los impactos derivados del posible vaciado del embalse de Canelles se analizaron en un E.I.A. (Limnos, 1992). De aquellos, uno de los principales riesgos identificados fue el enturbiamiento del agua de suministro a Lérida.
- La presencia de agua anóxica (y con tóxicos) en el agua profunda de Canelles sólo afectaría a la cola de Santa Ana en caso de vertidos de fondo con el embalse muy bajo, pero difícilmente produciría la disminución de la calidad del agua de abastecimiento.

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

- Antes de realizar un vertido de fondo controlar las concentraciones de oxígeno, NH_4 y SH_2 en el agua de fondo (agua turbinada) en verano y otoño, en periodos de sequía.
- No verter por los desagües de fondo en periodos de sequía durante el verano y otoño, sí se detecta anoxia en el fondo y sí no se garantiza el suficiente caudal de dilución.
- Controlar el nivel trófico del embalse, mediante medidas de gestión de las aguas residuales ganaderas, en los municipios situados a lo largo de los ríos Noguera Ribagorzana y Guart.

PROCEDIMIENTOS DE SEGUIMIENTO

- Analizar la concentración de oxígeno disuelto en el agua de fondo antes de realizar un vertido de fondo.
- Si la concentración de oxígeno es inferior a 1 mg/L, analizar las concentraciones de NH_4 y SH_2 .

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

EMBALSE: **Canelles** **Fecha:** 30/7/96
Coordenadas UTM (presa): 31TCG022503

Conductividad (µs/cm) :	339	NH ₄ superf. (mg/L) :	-
Ca (mg/L) :	-	NH ₄ fondo (mg/L) :	-
NO ₃ (mg/L) :	-	Clorofila (mg/m ³) :	1,5
PO ₄ (mg/L) :	-	Disco Secchi (m) :	7,75

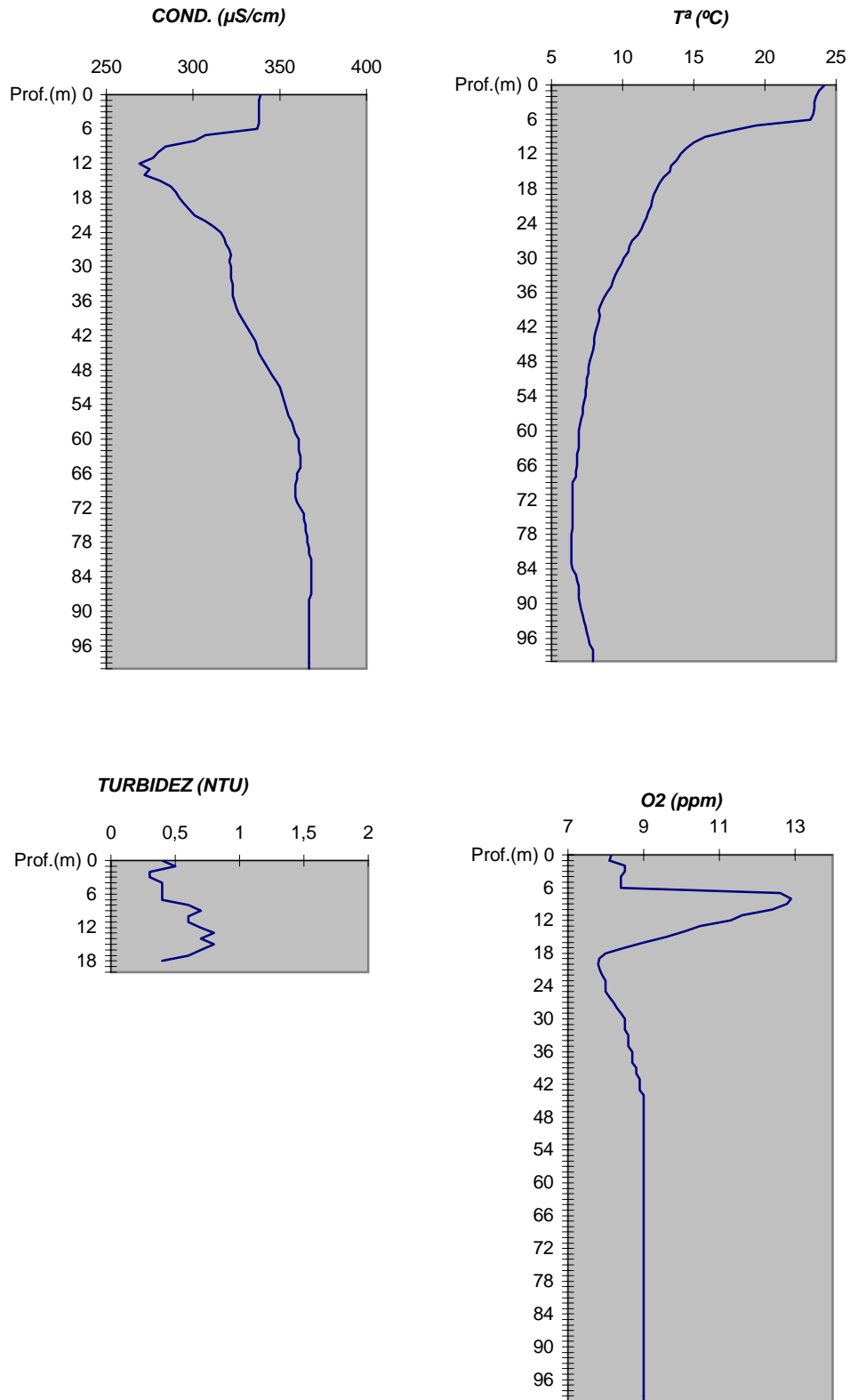
Tributario principal: 1 **Noguera Ribagorzana** (aguas abajo del embalse de Canelles)

Conductividad (µs/cm) :	333	NO ₃ (mg/L) :	1,11
Ca (mg/L) :	44,1	NH ₄ (mg/L) :	-
		PO ₄ (mg/L) :	0,005

Tributario principal: 2 **Noguera Ribagorzana** (aguas arriba del embalse de Sopeira)

Conductividad (µs/cm) :	234	NO ₃ (mg/L) :	0,36
Ca (mg/L) :	36,9	NH ₄ (mg/L) :	-
		PO ₄ (mg/L) :	0,033

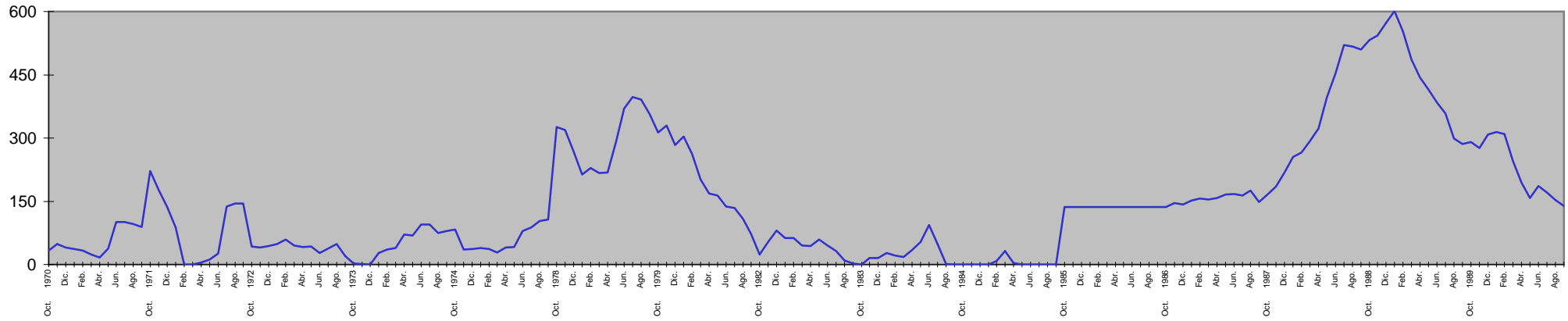
EMBALSE DE CANELLES



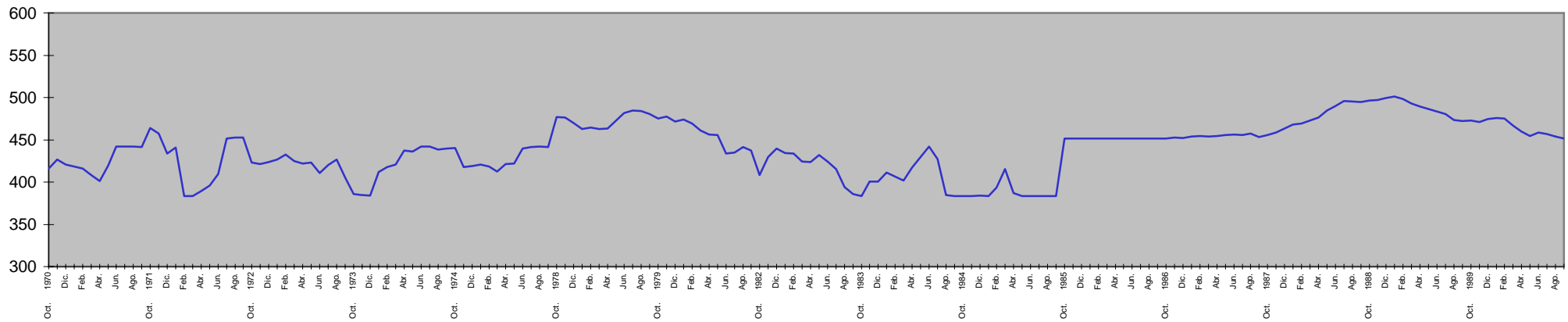
Perfiles de conductividad, temperatura, turbidez y oxígeno disuelto en el agua del embalse, el día 30 de julio de 1996. Cota: 504,91.

EMBALSE DE CANELLES

VOLUMEN EMBALSADO (hm3)

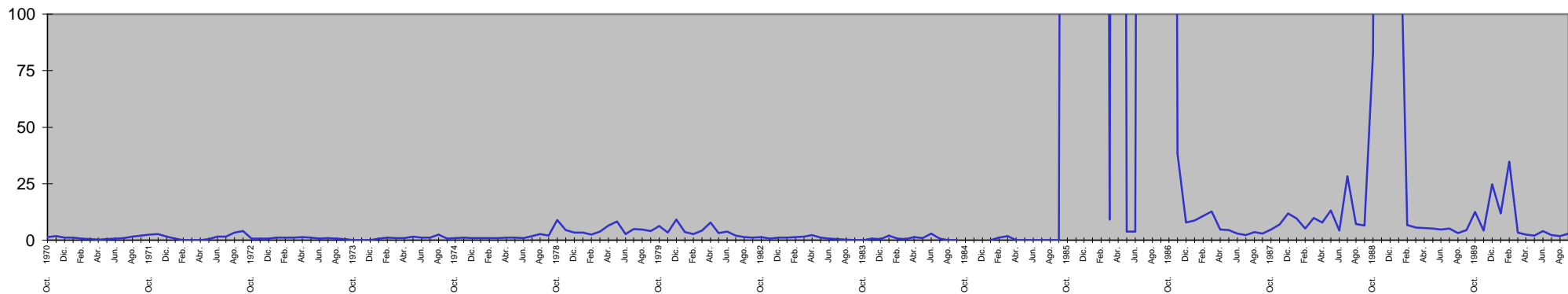


FLUCTUACIÓN DEL EMBALSE (m)



EMBALSE DE CANELLES

TIEMPO DE RESIDENCIA (meses)





EMBALSE DE CANELLES



Vista panorámica del embalse de Canelles desde la presa.

Limnos

CE016529 / CHE

Diciembre, 1996

EMBALSE DE CANELLES



Desagüe de fondo de la presa de Canelles.



Río Noguera Ribagorzana, aguas abajo de la presa de Canelles y antes del embalse de Santa Ana.

ADICIONAL INFORME EMBALSE DE CANELLES 1996

Durante el año 2022 se han revisado los datos del embalse de Canelles 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 CANELLES

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 Canelles.

INDICADOR	VALOR	ESTADO TRÓFICO
CLOROFILA <i>a</i>	1,50	Oligotrófico
DISCO SECCHI	7,75	Ultraoligotrófico
ESTADO TRÓFICO FINAL	1,50	ULTRAOLIGOTRÓFICO

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

DIAGNÓSTICO DEL ESTADO FINAL DEL EMBALSE DE CANELLES

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 Canelles.

Indicador	Elementos	Parámetro	Indicador	Valor	RCE	RCET	PE
Biológico	Fitoplancton	Biomasa	Clorofila a ($\mu\text{g/L}$)	1,50	1,73	1,51	Bueno o superior
INDICADOR BIOLÓGICO				2		BUENO O SUPERIOR	
Indicador	Elementos	Indicador	Valor			PE	
Fisicoquímico	Transparencia	Disco de Secchi (m)	7,73			Muy Bueno	
INDICADOR FISICOQUÍMICO				1		MUY BUENO	
POTENCIAL ECOLÓGICO				BUENO O SUPERIOR			
ESTADO FINAL				BUENO			

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