



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

**EMBALSE DE SOTONERA**

**LIMNOS**

**1996**

**EMBALSE DE SOTONERA****1) CARACTERÍSTICAS GENERALES**

<b>Nombre:</b>	Sotonera
<b>Pki - Pkf:</b>	7.868-7.870
<b>Código cauces:</b>	
<b>Cuenca:</b>	Sotón
<b>CH:</b>	Ebro
<b>Provincia:</b>	Huesca
<b>Propietario:</b>	Estado
<b>Año de terminación:</b>	1963

**2) USOS Y TIPO DE PRESA**

<b>Usos:</b>	Riegos/Abastecimiento/Hidroeléctrico
<b>Actividades:</b>	Navegación/Navegación a motor/Baños/Pesca Club náutico
<b>Interés Natural:</b>	Aves acuáticas/Otras especies

**Comentarios:**

- El embalse de la Sotonera recoge las aguas de los ríos Astón y Sotón, de la alberca de Alboré y principalmente del canal de río Gállego que, procedente del embalse de Ardisa, aporta el 86% del agua que entra en el embalse (según datos de Synconsult). El uso principal son los riego a partir del canal de Monegros cuyo origen es la presa de Sotonera. También se abastecen del canal numerosos municipios de la zona (Alcalá de Gurrea, Almudévar, etc.).
- El embalse es muy frecuentado para la práctica de la navegación, baños y pesca y existe un camping y polideportivo (Tormos) en el margen derecho con embarcadero. La navegación a motor se puede practicar aunque con restricciones.
- Es zona de interés por su fauna (aves acuáticas, galápagos, moluscos bivalvos). Respecto a las aves acuáticas el embalse y la zona la alberca de Alboré están

catalogadas de importancia internacional en el catalogo de la SEO (1987), mientras que el propio embalse se clasifica de importancia nacional por la DGA.

<b>Tipo de presa:</b>	Tierra	
<b>Cota tomas (m s.n.m.):</b>	Toma superior:	408,5
	Toma intermedia:	400,0
	Toma inferior:	393,2
<b>Torre de tomas:</b>	No	
<b>Escala de peces:</b>	No	

### Comentarios:

- La presa está constituida por tres cuerpos independientes y carece de aliviadero y de desagüe de fondo. Existen tres tomas: superior (408,5), media (400) e inferior (393,2); por ellas que se vierte el agua para los riegos y son el origen del canal de Monegros (caudal nominal máximo de 90 m<sup>3</sup>/s). La toma inferior conecta con una central hidroeléctrica situada a pie de presa que es propiedad de Riegos del Alto de Aragón; ésta tiene una capacidad de turbinación de 25 m<sup>3</sup>/s y, en general, turbina sólo el agua de riego (excepto en casos de alta disponibilidad hídrica).

### 3) MORFOMETRÍA-HIDROLOGÍA

<b>Volumen (hm<sup>3</sup>):</b>	189
<b>Superficie (ha):</b>	1.840
<b>Cota (m s.n.m.):</b>	417,5
<b>Profundidad máxima (m):</b>	30
<b>Profundidad media (m):</b>	10
<b>Profundidad termoclina (m):</b>	10
<b>Desarrollo de volumen:</b>	1
<b>Volumen epilimnion (hm<sup>3</sup>):</b>	86-123
<b>Volumen hipolimnion (hm<sup>3</sup>):</b>	25-55
<b>Relación E/H:</b>	2-3
<b>Fluctuación de nivel:</b>	Media
<b>Tiempo de residencia (meses):</b>	>5

## Comentarios:

- En este embalse no se observa una termoclina bien marcada debido a su escasa profundidad (prof. media de 10 m) y a la acción del viento que actúa sobre una gran superficie. Sin embargo, en algunos periodos de verano, y en la zona más profunda del embalse, se crea un cierto gradiente térmico, cuyo punto de máxima inflexión se sitúa alrededor de los 10 m de profundidad (según los datos consultados). Esta termoclina es, sin embargo, bastante débil por lo que el riesgo de anoxia es bajo.
- Los volúmenes del epilimnion e hipolimnion (cuando éstos se establecen) se han estimado para las reservas máxima (178,7 hm<sup>3</sup>) y media (111,6 hm<sup>3</sup>) en agosto (datos entre 1959 y 1990). Para las reservas mínimas registradas (5,4 y 22 hm<sup>3</sup>) el hipolimnion apenas existe por lo que la relación E/H es siempre >1.
- El riesgo de erosión de las laderas (y de enturbiamiento del agua) por disminución del nivel del agua es moderado-alto. El nivel del agua se mantiene relativamente estable en invierno y desciende hasta más de 10 m en verano. En estos periodos de bajo nivel, el riesgo de erosión de las laderas es elevado. En la visita efectuada en agosto de 1996 se observó el agua bastante turbia tanto en el embalse como en el canal del Gállego; esto se cree motivado por los arrastres del río Gállego procedentes de la avenida de Biescas (que tuvo lugar una semana antes).
- El tiempo de residencia del agua es en general elevado, mayor de 5 meses en invierno y entre 1 y 2 meses o entre 2 y 5 meses en la época de riegos; esto incrementa el riesgo de eutrofia.

## 4) HIDROQUÍMICA

### Embalse

<b>Conductividad (µS/cm):</b>	300-578
<b>Calcio (mg/L):</b>	21-98
<b>Fosfato (mg/L):</b>	0,002-0,12

<b>Nitrato (mg/L):</b>	0,25-11
<b>Amonio (mg/L):</b>	0-0,13

### **Comentarios:**

- El agua del embalse es moderadamente mineralizada y presenta un contenido de nutrientes moderado-alto, especialmente de nitrógeno. La concentración de calcio es moderada.

### **Tributario principal**

<b>Conductividad (µS/cm):</b>	283-464
<b>Calcio (mg/L):</b>	36-40
<b>Fosfato (mg/L):</b>	0-0,03
<b>Nitrato (mg/L):</b>	0-1,9
<b>Amonio (mg/L):</b>	0,02-0,08

### **Comentarios:**

- Se ha considerado como tributario principal el canal del río Gállego (por aportar más del 80% del agua que entra en el embalse). El agua es mineralizada y presenta un contenido de nutrientes moderado.
- Las cargas de fósforo y nitrógeno que alcanzan al embalse por el canal del Gállego (tributario principal) y río Sotón son del orden de 3,4 y 0,1 tm/año de fósforo y 148 y 0,1 tm/año de nitrógeno, respectivamente (datos estimados por Synconsult para 1990). Las cargas indicadas se consideran moderadas en el contexto de los embalse de la cuenca del Ebro.

## **5) ESTADO TRÓFICO**

<b>Nivel trófico:</b>	Mesotrófico
<b>Hipolimnion:</b>	Con oxígeno
<b>Blooms algales:</b>	-

## Comentarios:

- El embalse se clasifica como mesotrófico por Synconsult en base a diferentes índices tróficos. Morgui *et al.* (1990) lo califican de oligo-mesotrófico. En la aplicación del modelo de Vollenweider (1976) la carga de fósforo que recibe el embalse no sobrepasa los valores considerados como peligrosos. Las cargas de fósforo y nitrógeno que alcanzan el embalse son del orden de 6 y 184 tm/año (datos de Synconsult para 1990).
- En el muestreo realizado en agosto de 1996, la concentración de clorofila es reducida (1,8 mg/m<sup>3</sup>), y propia de aguas oligotróficas, según la clasificación de OCDE (1980). La profundidad de visión del disco de Secchi es baja (0,66 m) pero está influida por la turbidez debida a sólidos inorgánicos, la cual fue importante en el muestreo. Además el embalse cuenta con una extensión importante de zonas someras, en las que el efecto combinado del viento y del oleaje provoca la resuspensión de los sedimentos y enturbia el agua.
- El hipolimnion se presenta oxigenado; la concentración mínima de oxígeno disuelto es de 3 mg/L en los datos consultados (Morgui *et al.*, 1990, Synconsult, 1989-91, Limnos 1996).
- El embalse presenta una biomasa de fitoplancton moderada, limitada en parte por la turbidez inorgánica del agua.

## 6) PECES

**Densidad:**

Media

**Especies:**

*Barbus graellsii* (barbo de Graells)

*Cyprinus carpio* (carpa común)

*Esox lucius* (lucio)

*Stizostedion lucioperca* (luciooperca)

*Micropterus salmoides* (black bass)

*Anguilla anguilla* (anguila)

## 7) SEDIMENTOS

<b>Nivel de aterramiento:</b>	Bajo
<b>Materia orgánica:</b>	Baja
<b>Producción de metano:</b>	Baja
<b>Riesgo de contaminación:</b>	Bajo

### Comentarios:

- El nivel de aterramiento es bajo. El embalse ha perdido 7,28 hm<sup>3</sup> de volumen desde su llenado, lo que supone un 3,86% de la capacidad inicial (Avendaño *et al.*, 1996).
- El sedimento es limo-arcilloso y no presenta mucha materia orgánica. El riesgo de contaminación del sedimento es bajo puesto que no existe actividad industrial en la cuenca.

## 8) TRAMO FLUVIAL BAJO LA PRESA

<b>Anchura del cauce (m):</b>	5
<b>Pendiente (%):</b>	0,7
<b>Caudal de compensación (m<sup>3</sup>/s):</b>	-
<b>Estructura del lecho:</b>	Tabla
<b>Objetivo de calidad:</b>	OC-2
<b>Usos:</b>	Pesca
<b>Fauna acuática</b>	
<b>Índice biótico (B.M.W.P.):</b>	49
<b>Índice biótico (nivel de calidad):</b>	3
<b>Calificación del tramo según peces:</b>	Ciprinícola
<b>Especies de peces:</b>	

*Barbus graellsii* (barbo de Graells)  
*Barbus haasi* (barbo culirrojo)  
*Chondrostoma toxostoma* (madrilla)  
*Gobio gobio* (gobio)

*Rutilus arcasii* (rutilo)

*Esox lucius* (lucio)

## **Ecosistema de ribera:**

Carrizal.

## **Comentarios:**

- Bajo la presa el río Sotón mantiene un caudal bajo (unos 100 L/s en el muestreo) procedente de las acequias que en él desembocan. Aunque por la presa no se suelta caudal, el tramo nunca está seco. El río es, básicamente, una tabla pero también existen pozas en las que se pescan ejemplares (lucios) de buen tamaño (según los vecinos del lugar). La escasa variación del caudal hace que la vegetación (carrizo) sea abundante y esto es considerado negativo por la gente de los alrededores.
- La calidad biológica, según el índice B.M.W.P., es baja y propia de aguas contaminadas. En este caso se trata de un proceso de eutrofización del tramo fluvial (crecimiento de algas filamentosas) favorecido por el escaso caudal y aportaciones de nutrientes por la escorrentía. Esto produce una disminución del número de taxones del zoobentos, aunque algunos grupos son muy abundantes (crustáceos del género *Echinogammarus* y moluscos de la especie *Potamopyrgus jenkinsi*) en las masas de las algas filamentosas. La abundancia de alimento favorece a la comunidad de peces.

## **9) RIESGOS AMBIENTALES**

### **MORTANDAD DE PECES**

Ninguna

### **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. En sequía.

## **AFECCIONES A OTRA FAUNA**

1. Afecciones a las aves acuáticas del embalse por pérdida de hábitats.

## **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 por enturbiamiento del agua del mismo.
2. Afección a la pesca por perturbaciones a los peces del tramo fluvial bajo la presa (ver afecciones a los peces).
3. Afección a la pesca por perturbaciones a los peces del embalse (ver afecciones a los peces).

## **RIESGOS PARA LA NAVEGACIÓN**

Ninguno.

## **COMENTARIOS A LOS RIESGOS AMBIENTALES**

- El embalse no presenta riesgos ambientales de importancia ya que está alimentado por agua del canal del Gállego que procede del embalse de Ardisa, el cual acumula la mayor parte de los sólidos que arrastra el río; sólo en caso de avenidas de una cierta importancia se puede producir un incremento de la turbidez del agua y una posible afección a la calidad del agua del abastecimiento.

Sin embargo, el agua puede enturbiarse en el propio embalse como consecuencia de la acción del viento y oleaje sobre las zonas someras (resuspensión de sedimentos); esto limita además la producción primaria.

- En el río la presencia de un caudal bajo favorece la eutrofización del tramo y disminuye la calidad biológica del mismo (limita el desarrollo de las comunidades biológicas y especialmente de los peces).

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

- Controlar los vertidos directos de aguas residuales que se producen en la cuenca del propio embalse; regular las actividades recreativas en las riberas y agua del embalse para preservar y mejorar el estado trófico y el valor ecológico del embalse.
- Estudiar la posibilidad de fijar un caudal de compensación en el río para aumentar la potencialidad biológica del mismo.

## **PROCEDIMIENTOS DE SEGUIMIENTO**

No se proponen.

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

**EMBALSE:** **Sotonera** **Fecha:** 15/8/96  
**Coordenadas UTM (presa):** 30TXM936649

---

Conductividad ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) :	370	NH <sub>4</sub> superf. (mg/L) :	0,05
Ca (mg/L) :	-	NH <sub>4</sub> fondo (mg/L) :	0,05
NO <sub>3</sub> (mg/L) :	-	Clorofila (mg/m <sup>3</sup> ) :	1,8
PO <sub>4</sub> (mg/L) :	-	Disco Secchi (m) :	0,66

---

---

**Tributario principal:** **Canal entrada**

---

Conductividad ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) :	331	NO <sub>3</sub> (mg/L) :	1,37
Ca (mg/L) :	35,7	NH <sub>4</sub> (mg/L) :	0,05
		PO <sub>4</sub> (mg/L) :	0,029

---

---

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

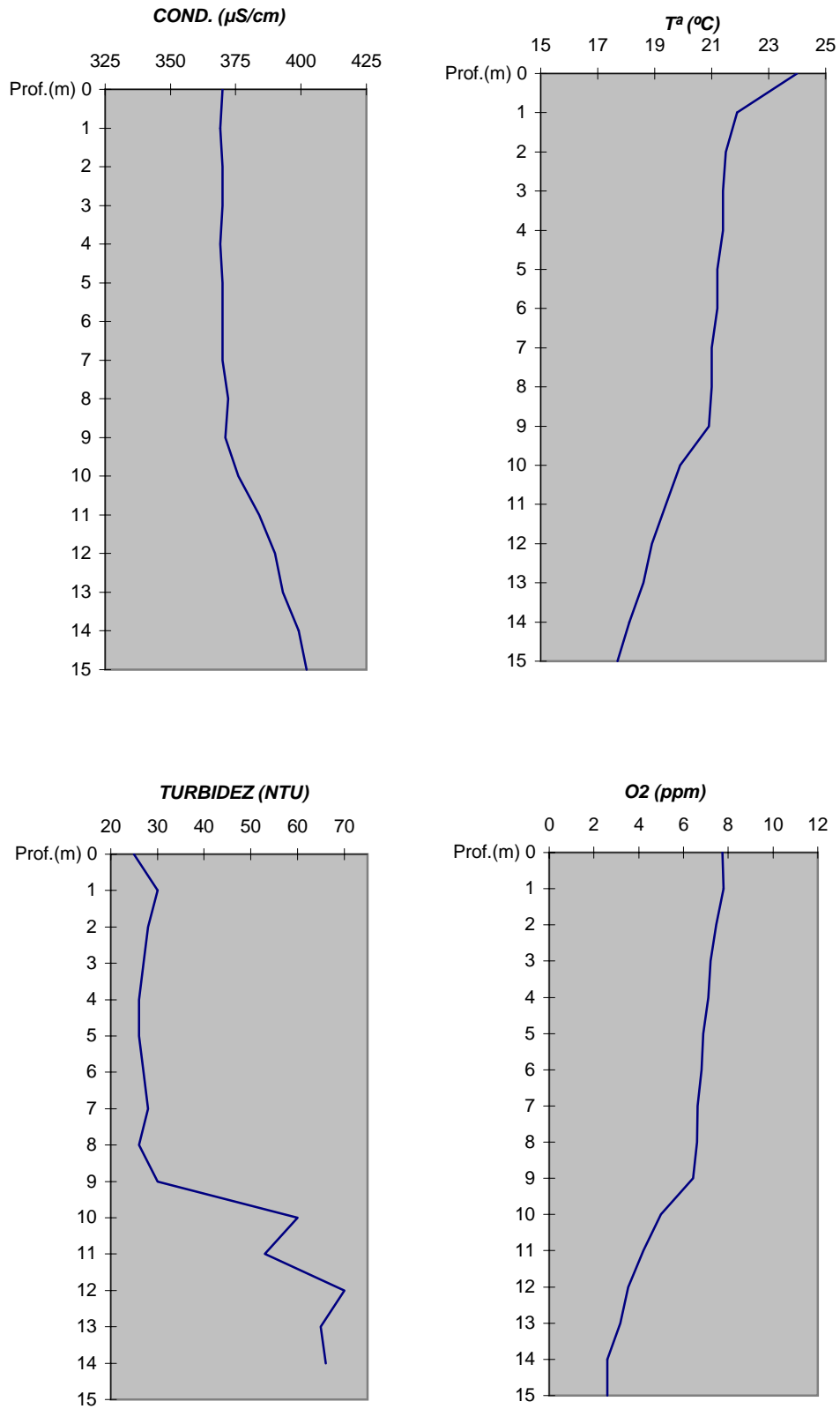
TRAMO FLUVIAL: Sotón  
 EMBALSE AGUAS ARRIBA DEL TRAMO: Sotonera

FECHA: 15/08/96

B.M.W.P.			
<b>ARÁCNIDOS</b>		<b>EFEMERÓPTEROS</b>	
<i>Hidracarina</i>	4 <input type="checkbox"/>	<i>Siphonuridae</i>	10 <input type="checkbox"/>
		<i>Heptageniidae</i>	10 <input type="checkbox"/>
<b>COLEÓPTEROS</b>		<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 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 checked="" type="checkbox"/>
<i>Haliplidae</i>	4 <input type="checkbox"/>		
<i>Curculionidae</i>	4 <input type="checkbox"/>	<b>HETERÓPTEROS</b>	
<i>Chrysomelidae</i>	4 <input type="checkbox"/>	<i>Mesovellidae</i>	3 <input type="checkbox"/>
<i>Helodidae</i>	3 <input 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"/>
<b>CRUSTÁCEOS</b>		<i>Corixidae</i>	3 <input type="checkbox"/>
<i>Astacidae</i>	8 <input type="checkbox"/>		
<i>Corophiidae</i>	6 <input type="checkbox"/>	<b>HIRUDÍNEOS</b>	
<i>Gammaridae</i>	6 <input checked="" type="checkbox"/>	<i>Piscicolidae</i>	4 <input type="checkbox"/>
<i>Asellidae</i>	3 <input type="checkbox"/>	<i>Glossiphoniidae</i>	3 <input type="checkbox"/>
<i>Ostracoda</i>	3 <input type="checkbox"/>	<i>Hirudidae</i>	3 <input type="checkbox"/>
		<i>Erpobdellidae</i>	3 <input checked="" type="checkbox"/>
<b>DÍPTEROS</b>			
<i>Athericidae</i>	10 <input type="checkbox"/>	<b>MEGALÓPTEROS</b>	
<i>Blephariceridae</i>	10 <input type="checkbox"/>	<i>Sialidae</i>	4 <input type="checkbox"/>
<i>Tipulidae</i>	5 <input type="checkbox"/>		
<i>Simuliidae</i>	5 <input checked="" type="checkbox"/>	<b>MOLUSCOS</b>	
<i>Tabanidae</i>	4 <input type="checkbox"/>	<i>Neritidae</i>	6 <input type="checkbox"/>
<i>Stratiomyidae</i>	4 <input type="checkbox"/>	<i>Viviparidae</i>	6 <input type="checkbox"/>
<i>Empididae</i>	4 <input type="checkbox"/>	<i>Ancylidae</i>	6 <input type="checkbox"/>
<i>Dolichopodidae</i>	4 <input type="checkbox"/>	<i>Unionidae</i>	6 <input type="checkbox"/>
<i>Dixidae</i>	4 <input type="checkbox"/>	<i>Valvatidae</i>	3 <input type="checkbox"/>
<i>Ceratopogonidae</i>	4 <input type="checkbox"/>	<i>Hydrobiidae</i>	3 <input checked="" type="checkbox"/>
<i>Anthomyiidae</i>	4 <input type="checkbox"/>	<i>Lymnaeidae</i>	3 <input type="checkbox"/>
<i>Limoniidae</i>	4 <input type="checkbox"/>	<i>Physidae</i>	3 <input type="checkbox"/>
<i>Psychodidae</i>	4 <input type="checkbox"/>	<i>Planorbidae</i>	3 <input type="checkbox"/>
<i>Chironomidae</i>	2 <input type="checkbox"/>	<i>Bithyniidae</i>	3 <input type="checkbox"/>
<i>Culicidae</i>	2 <input type="checkbox"/>	<i>Bythinellidae</i>	3 <input type="checkbox"/>
<i>Muscidae</i>	2 <input type="checkbox"/>	<i>Sphaeridae</i>	3 <input type="checkbox"/>
<i>Thaumaleidae</i>	2 <input type="checkbox"/>		
<i>Ephydriidae</i>	2 <input type="checkbox"/>	<b>TURBELARIOS</b>	
		<i>Planariidae</i>	5 <input type="checkbox"/>
		<i>Dugesidae</i>	5 <input type="checkbox"/>
		<i>Dendrocoelidae</i>	5 <input type="checkbox"/>
		<b>ODONATOS</b>	
		<i>Aphelocheiridae</i>	10 <input type="checkbox"/>
		<i>Lestidae</i>	8 <input type="checkbox"/>
		<i>Calopterygidae</i>	8 <input type="checkbox"/>
		<i>Gomphidae</i>	8 <input type="checkbox"/>
		<i>Cordulegasteridae</i>	8 <input type="checkbox"/>
		<i>Aeshnidae</i>	8 <input type="checkbox"/>
		<i>Corduliidae</i>	8 <input type="checkbox"/>
		<i>Libellulidae</i>	8 <input type="checkbox"/>
		<i>Platycnemididae</i>	6 <input type="checkbox"/>
		<i>Coenagriidae</i>	6 <input type="checkbox"/>
		<b>OLIGOQUETOS</b>	
		Todos	1 <input checked="" type="checkbox"/>
		<b>PLECÓPTEROS</b>	
		<i>Taeniopterygidae</i>	10 <input type="checkbox"/>
		<i>Leuctridae</i>	10 <input type="checkbox"/>
		<i>Capniidae</i>	10 <input type="checkbox"/>
		<i>Perlodidae</i>	10 <input type="checkbox"/>
		<i>Perlidae</i>	10 <input type="checkbox"/>
		<i>Chloroperlidae</i>	10 <input type="checkbox"/>
		<i>Nemouridae</i>	7 <input type="checkbox"/>
		<b>TRICÓPTEROS</b>	
		<i>Phryganeidae</i>	10 <input type="checkbox"/>
		<i>Molannidae</i>	10 <input type="checkbox"/>
		<i>Beraeidae</i>	10 <input type="checkbox"/>
		<i>Odontoceridae</i>	10 <input type="checkbox"/>
		<i>Leptoceridae</i>	10 <input type="checkbox"/>
		<i>Goeridae</i>	10 <input type="checkbox"/>
		<i>Lepidostomatidae</i>	10 <input type="checkbox"/>
		<i>Brachycentridae</i>	10 <input type="checkbox"/>
		<i>Sericostomatidae</i>	10 <input type="checkbox"/>
		<i>Psychomyiidae</i>	8 <input type="checkbox"/>
		<i>Philopotamidae</i>	8 <input type="checkbox"/>
		<i>Glossosomatidae</i>	8 <input type="checkbox"/>
		<i>Rhyacophilidae</i>	7 <input type="checkbox"/>
		<i>Polycentropodidae</i>	7 <input type="checkbox"/>
		<i>Limnephilidae</i>	7 <input checked="" type="checkbox"/>
		<i>Hydroptilidae</i>	6 <input checked="" type="checkbox"/>
		<i>Hydropsychidae</i>	5 <input checked="" type="checkbox"/>

PUNTUACIÓN DEL ÍNDICE BMWP: 49		
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

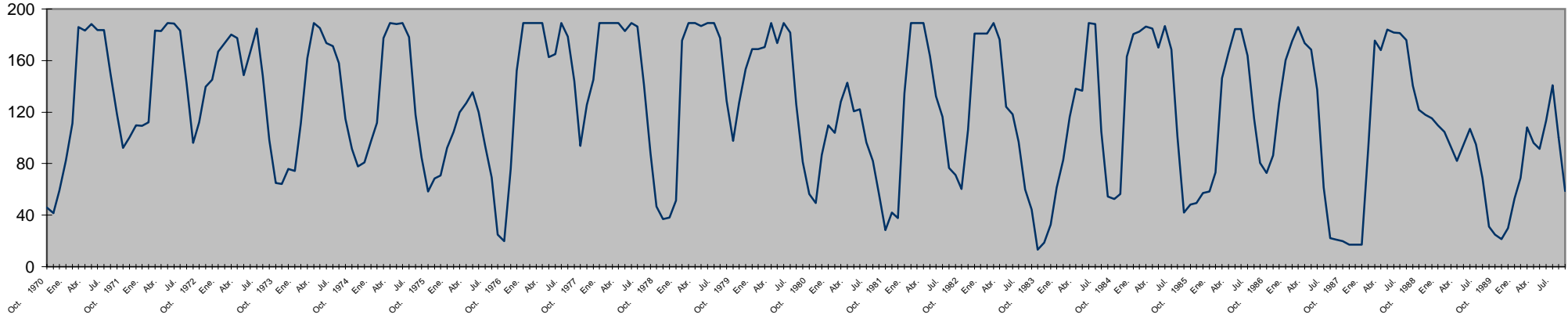
## EMBALSE DE SOTONERA



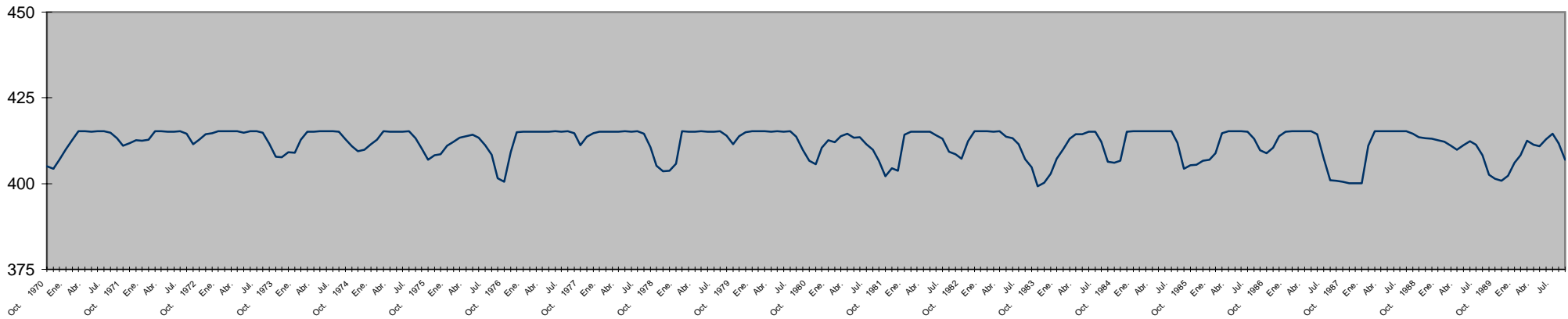
Perfiles de conductividad, temperatura, turbidez y oxígeno disuelto en el agua del embalse, el día 15 de agosto de 1996. Cota: 410,67.

# EMBALSE DE SOTONERA

## VOLUMEN EMBALSADO (hm<sup>3</sup>)

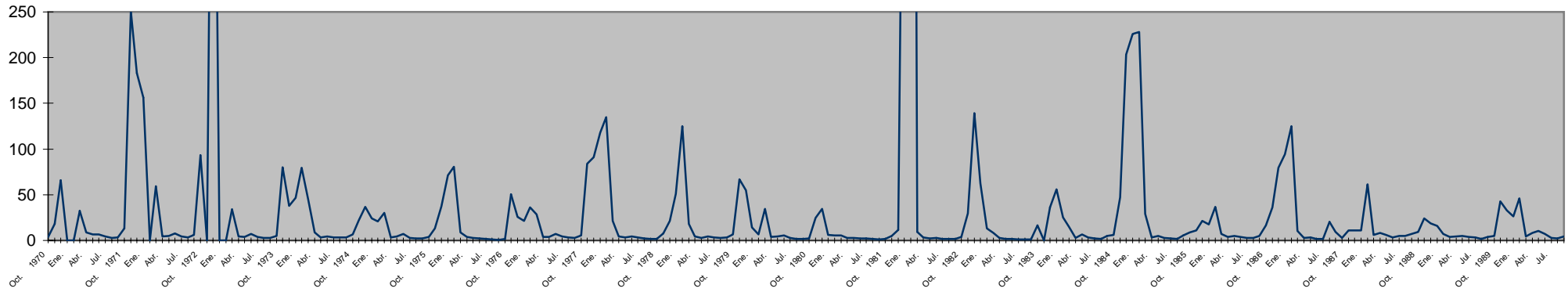


## FLUCTUACIÓN DEL EMBALSE (m)



# EMBALSE DE SOTONERA

## TIEMPO DE RESIDENCIA (meses)



EMBALSE DE LA SOTONERA



Embalse de La Sotonera. Vista desde el club náutico.



Presa de La Sotonera.



EMBALSE DE LA SOTONERA



Río Sotón, a unos 4 km aguas abajo de la presa.



Sedimento extraído del embalse de La Sotonera, en las proximidades de la presa, en agosto de 1996.

## ADICIONAL INFORME EMBALSE DE LA SOTONERA 1996

Durante el año 2022 se han revisado los datos del embalse de La Sotonera 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 ( $\text{n}^\circ$  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 ( $\mu\text{g}$ )	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>	<b>Criptófitos</b>	<i>Cia</i>	<b>Cianobacterias</b>
<i>Cc</i>	<b>Crisófitos coloniales</b>	<i>D</i>	<b>Dinoflageladas</b>
<i>Dc</i>	<b>Diatomeas coloniales</b>	<i>Cnc</i>	<b>Crisófitos no coloniales</b>
<i>Chc</i>	<b>Clorococales coloniales</b>	<i>Chnc</i>	<b>Clorococales no coloniales</b>
<i>Vc</i>	<b>Volvocales coloniales</b>	<i>Dnc</i>	<b>Diatomeas no coloniales</b>

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 <sub>CIA</sub>	Biovolumen de cianobacterias totales
	BVOL <sub>CHR</sub>	Biovolumen de Chroococcales
	BVOL <sub>MIC</sub>	Biovolumen de <i>Microcystis</i>
	BVOL <sub>WOR</sub>	Biovolumen de <i>Woronichinia</i>
	BVOL <sub>TOT</sub>	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<sub>trans</sub>). 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 <sup>3</sup>	2,00	0,211	0,14	0,07
			Biovolumen mm <sup>3</sup> /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 <sup>3</sup>	2,60	0,433	0,287	0,143
			Biovolumen mm <sup>3</sup> /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 <sup>3</sup>	2,60	0,433	0,287	0,143
			Biovolumen mm <sup>3</sup> /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 <sup>3</sup>	2,60	0,433	0,287	0,143
			Biovolumen mm <sup>3</sup> /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 <sup>3</sup>	2,60	0,433	0,287	0,143
			Biovolumen mm <sup>3</sup> /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 <sup>3</sup>	2,40	0,195	0,13	0,065
			Biovolumen mm <sup>3</sup> /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 <sup>3</sup>	2,10	0,304	0,203	0,101
			Biovolumen mm <sup>3</sup> /L	0,43	0,261	0,174	0,087
		Composición	Índice de Catalán (IGA)	1,10	0,979	0,653	0,326
			Porcentaje de cianobacterias	0,00	0,931	0,621	0,31

## 2.1.2. INDICADORES DE CALIDAD FISICOQUÍMICOS

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

### 1) Transparencia

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

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

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

### 2) Condiciones de oxigenación

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

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

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

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

### 3) Concentración de nutrientes

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

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

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

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

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

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

### 4) Sustancias preferentes y contaminantes específicos de cuenca

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

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

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

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

**Tabla A16.** Combinación de los indicadores.

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

## 2.2. ESTADO QUÍMICO

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

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

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

## 2.3. ESTADO

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

**Tabla A18.** Determinación del estado.

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

## DIAGNÓSTICO DEL ESTADO TRÓFICO DEL EMBALSE DE LA SOTONERA

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
<b>VALOR PROMEDIO</b>	<b>&lt; 1,8</b>	<b>1,8 – 2,6</b>	<b>2,6 – 3,4</b>	<b>3,4 – 4,2</b>	<b>&gt; 4,2</b>

En la tabla A20 se incluye el estado trófico indicado por cada uno de los parámetros, así como la catalogación de la masa de agua según la valoración de este estado trófico final para cada campaña de muestreo.

**Tabla A20.** Diagnóstico del estado trófico del embalse de La Sotonera.

INDICADOR	VALOR	ESTADO TRÓFICO
CLOROFILA <i>a</i>	1,80	Oligotrófico
DISCO SECCHI	0,66	Hipereutrófico
<b>ESTADO TRÓFICO FINAL</b>	<b>3,50</b>	<b>EUTRÓFICO</b>

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

## DIAGNÓSTICO DEL ESTADO FINAL DEL EMBALSE DE LA SOTONERA

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 <sup>3</sup> /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	
			<b>Bueno o superior</b>	<b>Moderado</b>	<b>Deficiente</b>	<b>Malo</b>	
<b>INDICADOR BIOLÓGICO</b>			<b>&gt; 0,6</b>	<b>0,4-0,6</b>	<b>0,2-0,4</b>	<b>&lt; 0,2</b>	
			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 <sub>2</sub> hipolimnética (mg O <sub>2</sub> /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
			<b>Muy bueno</b>	<b>Bueno</b>	<b>Moderado</b>		
<b>INDICADOR FISICOQUÍMICO</b>			<b>&lt; 1,6</b>	<b>1,6 – 2,4</b>	<b>&gt; 2,4</b>		



La combinación de los dos indicadores, fisicoquímico y biológico, para la obtención del potencial ecológico normativo sigue el esquema de decisiones indicado en la tabla A22.

**Tabla A22.** Combinación de los indicadores.

Indicador Biológico	Indicador Fisicoquímico	Potencial Ecológico (PE)
Bueno o superior	Muy bueno	Bueno o superior
Bueno o superior	Bueno	Bueno o superior
Bueno o superior	Moderado	Moderado
Moderado	Indistinto	Moderado
Deficiente		Deficiente
Malo		Malo

En la tabla A23 se incluye el potencial indicado por cada uno de los parámetros, así como la catalogación de la masa de agua según el potencial ecológico, tras pasar el filtro del indicador fisicoquímico.

**Tabla A23.** Diagnóstico del potencial ecológico del embalse de La Sotonera.

Indicador	Elementos	Parámetro	Indicador	Valor	RCE	RCET	PE
Biológico	Fitoplancton	Biomasa	Clorofila a (µg/L)	1,80	1,44	1,31	Bueno o superior
<b>INDICADOR BIOLÓGICO</b>				<b>2</b>			<b>BUENO O SUPERIOR</b>
Indicador	Elementos	Indicador	Valor			PE	
Fisicoquímico	Transparencia	Disco de Secchi (m)	0,66			Moderado	
<b>INDICADOR FISICOQUÍMICO</b>				<b>3</b>			<b>MODERADO</b>
<b>POTENCIAL ECOLÓGICO</b>				<b>MODERADO</b>			
<b>ESTADO FINAL</b>				<b>INFERIOR A BUENO</b>			

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