

ANEXO 1

**ESTUDIO DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS DE LA CUENCA Y
EMBALSE DE TALAVÁN. EXTREMADURA**

EVOLUCIÓN DE LA EUTROFIZACIÓN EN EL EMBALSE

Embalse de Talaván

Rev 0

Índice

1. Introducción.....	3
2. Estado actual del embalse.....	5
2.1. Morfología del embalse	5
2.2. Parámetros fisicoquímicos	6
2.3. Índice trófico.....	7
2.4. Presencia de cianobacterias	11
3. Resumen y conclusiones	16

1. Introducción

La eutrofización se puede definir como una fertilización excesiva de las aguas naturales desde el exterior, que desplaza temporalmente las condiciones de equilibrio del sistema aumentando su producción de materia orgánica. Esto provoca una alteración de las características del sistema, tanto en su composición biótica como en su sucesión ecológica, y una considerable pérdida de calidad del agua (Margalef et al., 1976¹).

El proceso de eutrofización conlleva un gradual aumento de la productividad general del ecosistema acuático, que con frecuencia provoca la disminución de su biodiversidad, un crecimiento excesivo de las plantas acuáticas, malos olores por falta de oxígeno, mortandad de peces y una pérdida general de la calidad del agua, y suele llevar asociada una progresiva dominancia de especies oportunistas, entre las que se incluyen las cianobacterias.

El exceso de fertilización, asociado a la eutrofización, puede provocar que las cianobacterias y las algas eucariotas del fitoplancton crezcan bruscamente bajo determinadas condiciones ambientales, aumentando su biomasa en valores significativos con respecto a la concentración original. Este fenómeno se conoce como floración (en inglés: bloom).

Las floraciones se desencadenan por diversos factores que actúan de forma combinada, pudiendo estar formadas por una o varias especies fitoplanctónicas. Estos fenómenos se pueden generar en periodos que van desde unas pocas horas a varios días y desaparecer en un plazo similar, aunque las hay pueden persistir durante periodos más largos como todo el verano o todo el año.

Hay registros de floraciones en lagos de Europa Central desde hace siglos y, además, pueden producirse en masas de agua continentales de todo el planeta. En los últimos años se ha incrementado su frecuencia e intensidad en todo el mundo a consecuencia de las actividades humanas y del cambio climático. (UNESCO, 2009²).

Las floraciones pueden estar compuestas por diferentes organismos fitoplanctónicos, aunque en el presente estudio nos vamos a centrar en las cianobacterias por su efecto sobre la calidad del agua y la salud humana.

Las cianobacterias constituyen el grupo de organismos más antiguos del planeta, siendo las responsables de generar la atmósfera oxidante que hoy conocemos, a través de la fotosíntesis oxigénica. A nivel fisiológico, comparten características con otras bacterias y con algas

¹ Margalef R., Planas A., Armengol J., Vidal A., Prat N., Guiset A., Tija J. y Estrada M. 1976 Limnología de los embalses españoles. Dirección Gral. De Obras Publicas Nº 123 Ministerio de obras Públicas, Madrid. <http://hdl.handle.net/10261/166602>

² UNESCO. 2009. Cianobacterias Planctónicas del Uruguay. Manual para la identificación y medidas de gestión. Sylvia Bonilla (editora). Documento Técnico PHI-LAC, Nº 16.

eucariotas, y presentan una gran tolerancia a condiciones extremas y una gran flexibilidad adaptativa. Se encuentran distribuidas por ecosistemas terrestres y acuáticos, colonizando las aguas de todo el mundo. Junto con las microalgas eucariotas, ocupan un lugar prominente en el plancton, contribuyendo significativamente a la producción primaria acuática.

De forma tradicional, las cianobacterias han sido consideradas algas, pero por su carácter procarionte actualmente se consideran bacterias. Por esta razón, se clasifican según dos sistemas taxonómicos diferentes: la clasificación botánica y la nomenclatura microbiológica.

Incluso su nombre ha sufrido numerosas variaciones en las últimas décadas, pasando de llamarse **Cianofíceas** (algas verdeazuladas) a llamarse **Cianobacterias** o la denominación recientemente propuesta de **Cianoprocariontes**. De acuerdo con la nomenclatura microbiológica, las cianobacterias pertenecen al Filo Cyanobacteria que se engloba en el Dominio Bacteria. Y según la organización tradicional, las cianobacterias se reparten en 5 órdenes: Stigonematales, Pleurocapsales, Chroococcales, Oscillatoriales y Nostocales.

Las cianobacterias son un grupo relativamente pequeño que, dependiendo de la taxonomía, varía entre unos cientos y pocos miles de especies. De esas, hay muchas que producen floraciones en aguas dulces, salobres y marinas. Los siguientes géneros de cianobacterias son los que han presentado floraciones con más frecuencia en aguas continentales a nivel mundial (León, 2002³).

<i>Anabaena</i>	<i>Gloeotrichia</i>	<i>Oscillatoria</i>
<i>Anabaenopsis</i>	<i>Gomphosphaeria</i>	<i>Phormidium</i>
<i>Aphanizomenon</i>	<i>Lyngbya</i>	<i>Planktothrix</i>
<i>Aphanocapsa</i> ,	<i>Microcystis</i>	<i>Pseudanabaena</i>
<i>Coelosphaerium</i>	<i>Nodularia</i>	<i>Synechocystis</i>
<i>Cylindrospermopsis</i>	<i>Nostoc</i>	<i>Synechococcus</i>

Atendiendo a su nivel de organización biológica, podemos clasificar los géneros de cianobacterias que forman floraciones de la siguiente forma:

- ✚ Unicelulares: organismos que no fijan nitrógeno atmosférico: *Microcystis*, *Gomphospheeria*.
- ✚ Filamentosas sin heterocistos (no fijan nitrógeno atmosférico): *Lyngbya*, *Oscillatoria*.
- ✚ Filamentosas con heterocistos (fijan nitrógeno atmosférico): *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Cylindrospermopsis*, *Nodularia*.

Un aspecto muy importante sobre las cianobacterias es la presencia de metabolitos secundarios en muchos de los taxones que pueden ser tóxicos para los otros organismos de los ecosistemas, incluidos los humanos. Estos metabolitos secundarios tóxicos se denominan

³ De León, L. (2002) Floraciones de cianobacterias en aguas continentales del Uruguay: causas y consecuencias. En: Perfil Ambiental del Uruguay 2002, Domínguez, A. y R. G. Prieto (eds.), Nordan-Comunidad, Montevideo, p.28-37.

genéricamente cianotoxinas y se clasifican por los efectos que producen en los animales. Así, entre las cianotoxinas más habituales se encuentran, por una parte, las hepatotoxinas, que afectan a las células del hígado, representadas fundamentalmente por las microcistinas y las nodularinas y, por otra, las neurotoxinas, que afectan a la transmisión del impulso nervioso y que son las saxitoxinas y las anatoxinas. Existen otros grupos de toxinas importantes como son las citotoxinas, fundamentalmente la cilindrospermopsina, y las dermatotoxinas entre las que se encuentra la aplisiatoxina.

Existe otra serie de compuestos que tienen toxicidad y que se encuentran en la mayoría de las cianobacterias: las endotoxinas (LPS), que forman parte de la pared de las cianobacterias y que presentan una toxicidad limitada, y el BMAA, que es un aminoácido que parece estar relacionado con enfermedades nerviosas y neurodegenerativas en vertebrados. (Cires y Quesada, 2011⁴).

A pesar de su importancia ecológica, las cianobacterias también suponen un riesgo para la calidad del agua y para la salud humana, sobre todo en embalses, donde pueden crecer masivamente y producir toxinas dañinas para el ser humano y los animales. Estas floraciones también afectan a la calidad del agua ya que le confieren color, sabor y olor, dificultando su potabilización y limitando sus usos recreativos.

En aquellos lugares en los que se producen floraciones ocasionalmente, los esfuerzos deben dirigirse a la protección del agua destinada al abastecimiento de la población, mediante la elaboración de planes de contingencia y su activación en caso de floración.

2. Estado actual del embalse

2.1. Morfología del embalse

El embalse de Talaván se localiza dentro del ámbito territorial de la cuenca hidrográfica del Tajo, entre los municipios de Hinojal y Talaván en la provincia de Cáceres y recoge el agua de la cuenca del Arroyo de Talaván, principalmente, y del Arroyo Marivicente. Su uso principal es para el abastecimiento de las poblaciones de Talaván, Hinojal y Santiago del Campo, que suman un total de 1497 habitantes (INE a 01/01/2019).

El volumen del embalse a la cota del Nivel Máximo Normal (NMN) es de 1,14 Hm³, siendo la superficie de la lámina de agua a esa cota de 41,17 ha. En base a estas dos variables podemos estimar la profundidad media del embalse como la relación entre el volumen y su área:

$$z = \frac{\text{Volumen}}{\text{Área}}$$

⁴ S. Cirés and A. Quesada. 2011. Catálogo de cianobacterias planctónicas potencialmente tóxicas de las aguas continentales españolas, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

Con este cálculo obtenemos que la profundidad media del embalse es de 2,8 m, mientras que su profundidad máxima alcanza los 6,6 m en la zona más cercana al muro de la presa.

En la siguiente imagen se puede apreciar su forma y extensión.



Figura 1. Morfología y extensión del embalse de Talaván.

2.2. Parámetros fisicoquímicos

En este apartado se tendrá en cuenta la información de la red de control y seguimiento de la calidad de la CHT y los resultados del seguimiento de la comunidad fitoplanctónica en el embalse de Talaván. Esta información ya fue analizada en el capítulo “Evolución de la Calidad de Aguas del Embalse de Talaván”.

El embalse de Talaván presenta habitualmente un pH dentro del rango de 7 – 8,5 Un. pH. Los máximos anuales se registran normalmente durante la campaña de verano, coincidiendo con el crecimiento de la población algal que incrementa el consumo de CO₂.

El histórico de datos de conductividad eléctrica refleja una baja mineralización con valores habituales que varían entre 100 y 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Los máximos anuales se registran normalmente en las campañas de septiembre-octubre. Las características iónicas muestran un agua con un grado de mineralización bajo, sin embargo, no se puede realizar una evaluación más profunda debido que no existen resultados de los cationes y aniones mayoritarios. Únicamente se tienen resultados de concentración de calcio durante las campañas completas de mayo y septiembre de 2001 de seguimiento de la comunidad fitoplanctónica, con valores de 8,3 y 10,5 mg/l, respectivamente. Las bajas concentraciones de cationes, principalmente de calcio,

pueden favorecer la disponibilidad del fósforo debido a que se reduce la posibilidad de creación de sales fosfatadas y facilita los procesos eutróficos en medios acuáticos.

Los registros de perfiles en profundidad de indicadores fisicoquímicos muestran que el punto de máxima profundidad ha oscilado entre 4,6 y 6,6 m. En ninguna de las campañas realizadas se ha registrado gradiente de temperatura que dé lugar a la estratificación del embalse. Los resultados de conductividad eléctrica y pH presentan valores muy constantes en la columna de agua en todas las campañas.

Los resultados de oxígeno manifiestan una buena oxigenación en superficie. En la primera campaña de los años 2017, 2018 y 2019 se registra un descenso brusco de oxígeno u oxiclina a partir de los 2 m de profundidad, aproximadamente, alcanzando situaciones de anoxia (valores inferiores a 2 mg/l O₂). En la segunda campaña de esos mismos años no se registra un descenso progresivo del oxígeno en profundidad. En las campañas de 2021 la situación es muy distinta. En ambas campañas se registran buenas condiciones de oxigenación y valores muy estables en toda la columna de agua. Se estima que puede ser debido al efecto de los difusores de aire instalados en fondo en varias filas frente al muro de presa. La poca profundidad que presenta el embalse y la presencia de estos difusores probablemente dificulte el periodo hidrodinámico de estratificación.

2.3. Índice trófico

El estado trófico es un concepto fundamental en la ordenación y clasificación de las masas de agua continental superficiales de tipo embalse, ya que expresa la relación existente entre el contenido en nutrientes y el desarrollo de los productores primarios propios de estos ecosistemas acuáticos (fitoplancton). Por tanto, representa una condición biológica causada por varios factores, entre los que destaca el aporte (natural o antrópico) de nitrógeno y fósforo (elementos definidos como “nutrientes limitantes” del crecimiento fitoplanctónico), de modo que el estado o nivel trófico es sinónimo del grado de fertilización de cada cuerpo de agua.

Se diferencian tres principales categorías de estado trófico: **oligotrófico** (pobre en nutrientes), **mesotrófico** (estado de fertilización intermedio) y **eutrófico** (rico en nutrientes). No obstante, también suelen emplearse categorías extremas, como **ultraoligotrófico** (fertilización mínima) o **hipereutrófico** (fertilización excesiva), además de otros términos que indican la tendencia trófica de las aguas (p.ej., oligo-mesotrofia) o distintos niveles dentro de un mismo grado trófico (p.ej., eutrofia moderada y eutrofia elevada).

El estado trófico de las aguas es evaluado a través de una serie de variables relacionadas directa (variables causales) o indirectamente (variables respuesta) con la carga de nutrientes que presentan. Entre estas variables indicadoras de nivel trófico destacan:

- 🌿 La **concentración de “nutrientes limitantes”** (nitrógeno y fósforo), normalmente representada por el parámetro fósforo total (variable causal).

- ❁ La **biomasa de fitoplancton**, estimada a través de los parámetros clorofila “a”, densidad algal total y biovolumen total (variables respuesta). Estos parámetros tienen la particularidad de integrar todas las variables causales, por lo que están influenciados tanto por la concentración de nutrientes como por otros condicionantes ambientales.
- ❁ La **transparencia de las aguas** (variable respuesta), medida mediante el Disco de Secchi.

Si bien existe una amplia variedad de sistemas de clasificación trófica, todos ellos establecen valores límite entre determinados niveles de estado trófico para las distintas variables causales y/o respuesta que tienen en cuenta. Estos límites hacen generalmente referencia a valores y rangos de valores medios anuales, aunque en ciertos casos también están expresados como valor máximo o mínimo anual y, en otros (sistemas de clasificación basados en el cálculo de un índice en el que intervienen variables causales y/o respuesta), son un rango de valores del índice en cuestión.

Las métricas seleccionadas para llevar a cabo el análisis del estado trófico y su evolución son las siguientes:

- ❁ **OCDE** (1982). Eutrophication of Waters. Monitoring, Assessment and Control
- ❁ Índice de Estado Trófico de **Carlson** (Carlson, R. E. (1977). A trophic state index for lakes. Limnol. Oceanogr. 22: 361-369).
- ❁ Evaluación del estado trófico basado en nuevo Real Decreto sobre protección de las aguas contra la contaminación difusa producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias, actualmente en fase de consulta pública.

Los resultados utilizados para analizar el estado trófico y su evolución en el embalse de Talaván proceden de las campañas de seguimiento de la comunidad fitoplanctónica, las únicas en las cuales se analizan todos los elementos necesarios. En la siguiente se exponen los datos registrados:

Año	Fecha	Profundidad (m)	Disco Secchi (m)	Pt (mg/l)	Cl a (µg/l)
2017	07/08/2017	5,90	0,32	< 0,1 (0,08)	58,92
2017	25/10/2017	5,30	0,27	< 0,1 (0,06)	14,03
2018	14/08/2018	6,20	0,79	< 0,1 (0,07)	45,91
2018	18/10/2018	5,60	0,70	< 0,1 (0,02)	27,97
2019	02/07/2019	5,40	0,54	< 0,1 (0,05)	49,99
2019	18/09/2019	4,60	0,23	< 0,1 (0,06)	109,89
2021	24/05/2021	6,60	0,28	0,07	2,70
2021	10/08/2021	6,18	0,20	0,11	
2021	08/09/2021	5,70	0,21	0,17	10,32

Tabla 1. Resultados de los indicadores utilizados para la evaluación del estado trófico.

En el caso de la concentración de fósforo total de campañas de los años 2017 a 2019 los resultados registrados han sido inferiores al límite de cuantificación analítico. En estos casos se ha utilizado como valor para la valoración del estado trófico el resultado del dato primario del análisis. Se trata de una aproximación, ya que, el método analítico no puede garantizar los resultados inferiores al límite de cuantificación.

El **índice de la OCDE** (1982) utiliza la media anual de fósforo total, la media anual de clorofila “a”, el valor máximo anual de clorofila “a” y la profundidad media anual de visión del disco de Secchi para la valoración del estado trófico. Los valores resultantes se comparan con los siguientes límites para obtener el diagnóstico final del estado trófico:

Estado trófico	Pt (µg/l)	Chl a media (mg/mm ³)	Chl a máximo (mg/mm ³)	D.Secchi media (m)
UltraOligotrófico	4	1	2,5	12
Oligotrófico	10	2,5	8	6
Mesotrófico	10-35	2,5-8	8-25	3-6
Eutrófico	35-100	8-25	25-75	1,5-3
Hipereutrófico	100	25	75	1,5

Tabla 2. Límites de los indicadores y estado trófico del índice de la OCDE (1982).

El resultado del diagnóstico con la aplicación del índice de la OCDE (1982) se muestra en la siguiente tabla, en la que aparece el estado trófico siguiendo la escala de colores de la tabla anterior y el dato resultante de cada indicador:

Año	Pt (µg/l)	Chl a media (mg/mm ³)	Chl a máximo (mg/mm ³)	D.Secchi media (m)
2017	70,00	36,48	58,92	0,30
2018	45,00	36,94	45,91	0,74
2019	55,00	79,94	109,89	0,39
2021	115,33	6,51	10,32	0,23

Tabla 3. Resultados y estado trófico según el índice de la OCDE (1982).

Otro de métodos utilizados para evaluar el estado trófico es el **índice de Carlson** (1974), que usa como variables los valores medios anuales de la profundidad de visión del disco de Secchi y de las de fósforo total y clorofila “a”. El valor de medida correspondiente a cada variable se transforma en un valor de índice TSI mediante una fórmula específica para cada una de ellas y posteriormente, se calcula el promedio simple de los tres valores TSI obtenidos. Los valores resultantes de TSI se comparan con los siguientes límites para obtener el diagnóstico final del estado trófico:

Estado trófico	TSI
UltraOligotrófico	<20
Oligotrófico	20-40
Mesotrófico	40-60

Eutrófico	60-80
Hipereutrófico	>80

Tabla 4. Límites del TSI medio y estado trófico del índice de Carlson (1974).

El resultado del diagnóstico con la aplicación del índice de Carlson (1974) se muestra en la siguiente tabla, en la que aparece el dato de TSI de cada indicador y el dato del TSI final. El estado trófico se representa siguiendo la escala de colores de la tabla anterior:

Año	TSI (D.Secchi)	TSI (Cl a)	TSI (Pt)	TSI media
2017	77,59	65,88	65,40	69,63
2018	64,27	66,01	59,03	63,10
2019	73,75	73,58	61,93	69,75
2021	81,18	48,98	72,60	67,59

Tabla 5. Resultados y estado trófico según el índice de Carlson (1974).

El borrador de **Real Decreto** sobre protección de las aguas contra la contaminación difusa producida por los **nitratos** procedentes de fuentes agrarias, actualmente en fase de consulta pública, tiene como uno de sus objetivos, establecer un marco común para la evaluación del estado trófico de las masas de agua.

Para ello, establece los valores umbral para clasificar una masa de agua continental como eutrófica.

VALORES UMBRAL PARA CLASIFICAR EL ESTADO TRÓFICO DE LAS MASAS DE AGUA CONTINENTALES			
Eutrofia	Fósforo total (media del período de control)	Clorofila a (media del período de control)	Clorofila a (máximo del período de control)
	> 0,035 mg P/L	> 8 µg/L	> 25 µg/L

Tabla 6. Límites de los indicadores para definir el estrado de eutrofia según el borrador de RD sobre protección de las aguas contra la contaminación difusa producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias.

A partir de los valores umbral expuestos en la tabla anterior, una masa de agua se clasificará en:

- **Eutrófica:** Cuando las medias obtenidas a partir de los datos del periodo de control de fósforo total y clorofila a son mayores a los umbrales recogidos en la tabla anterior.
- **En riesgo de eutrofización:** Cuando las medias obtenidas a partir de los datos del periodo de control son menores a los umbrales recogidos en la tabla anterior para el fósforo total y clorofila a, pero se constata que existen presiones significativas que puedan causar el aumento de nutrientes en la misma.
- **No eutrófica:** Cuando las medias obtenidas a partir de los datos del periodo de control sean menores a los umbrales recogidos en la tabla anterior y, además, no existan presiones significativas que puedan causar el aumento de nutrientes en la misma.

En la siguiente tabla se muestran los resultados de los distintos indicadores, la valoración del estado trófico individual resaltando con distintos colores en función de si supera el umbral de eutrofia (naranja) o no (verde) y el diagnóstico final del estado trófico:

Año	Pt (mg/l)	Chl a media (µg/l)	Chl a máximo (µg/l)	Estado Trófico RD Nitratos
2017	0,07	36,48	58,92	Eutrófico
2018	0,05	36,94	45,91	Eutrófico
2019	0,06	79,94	109,89	Eutrófico
2021	0,12	6,51	10,32	Eutrófico

Tabla 7. Resultados y estado trófico según el borrador de RD sobre protección de las aguas contra la contaminación difusa producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias.

En base a los métodos descritos y a los datos medios de los años 2017-2019 y 2021 se obtiene que, según el índice de la OCDE, todos los indicadores evaluados están dentro del rango de eutrofia o hipereutrofia, con la excepción de los indicadores de clorofila a de 2021 que registran niveles de mesotrofia. Aplicando tanto el índice de Carlson como los criterios del borrador del real decreto sobre protección de las aguas contra la contaminación difusa producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias, el embalse se clasifica eutrófico todos los años evaluados.

Se registra un descenso de la valoración de los indicadores de clorofila a en todos los índices en 2021. Como se comentó en el “Evolución de la Calidad de Aguas del Embalse de Talaván”, en las campañas de 2021 se registra una mejoría en los indicadores de biomasa (concentración de clorofila a y biovolumen), presumiblemente debido al efecto de dispersión que generan los difusores en el entorno de la zona de máxima profundidad del vaso central del embalse y al viento predominante durante los trabajos de campo.

2.4. Presencia de cianobacterias

En embalse de Talaván se dispone de datos de listados taxonómicos de abundancia (cel/ml) y biovolumen (mm³/ml) para el periodo 2017-2019 y 2021, recogidos en dos campañas por año incluidas en el seguimiento de la comunidad fitoplanctónica aplicando los criterios establecidos en el Protocolo de Muestreo de Fitoplancton en Lagos y Embalses (M-LE-FP-2013) del MITERD.

Los datos disponibles no permiten estudiar una posible estacionalidad de las floraciones de cianobacterias, ya que solamente hay dos muestreos por año entre los meses de mayo y octubre, dado que su objetivo es caracterizar el fitoplancton y evaluar el potencial ecológico.

A pesar de las limitaciones de los datos disponibles, se han analizado para caracterizar la presencia de cianobacterias. Como herramienta para la valoración de los resultados registrados se han aplicado los criterios establecidos para el biovolumen y la abundancia en la Guía de la OMS para Cianobacterias en agua destinada a la producción de agua de

consumo humano (Chorus & Bartram (1999)). Esta guía establece tres niveles de alerta y asigna a cada uno de ellos valores límite de biovolumen (mm^3/ml) y abundancia (cel/ml) de cianobacterias.

En la siguiente tabla se exponen los distintos niveles y sus respectivos valores límite:

Consumo humano	Biovolumen (mm^3/l)	Abundancia (cel/ml)
Nivel de Vigilancia	0,02	200
Nivel de Alerta I	0,2	2000
Nivel de Alerta II	10	100000

Tabla 8. Niveles de alerta y valores límite de los indicadores de la Guía de la OMS para Cianobacterias en agua destinada a la producción de agua de consumo humano (Chorus & Bartram (1999)).

A continuación, se presentan los datos de abundancia de los taxones de cianobacterias potencialmente tóxicos identificados en las diferentes campañas realizadas.

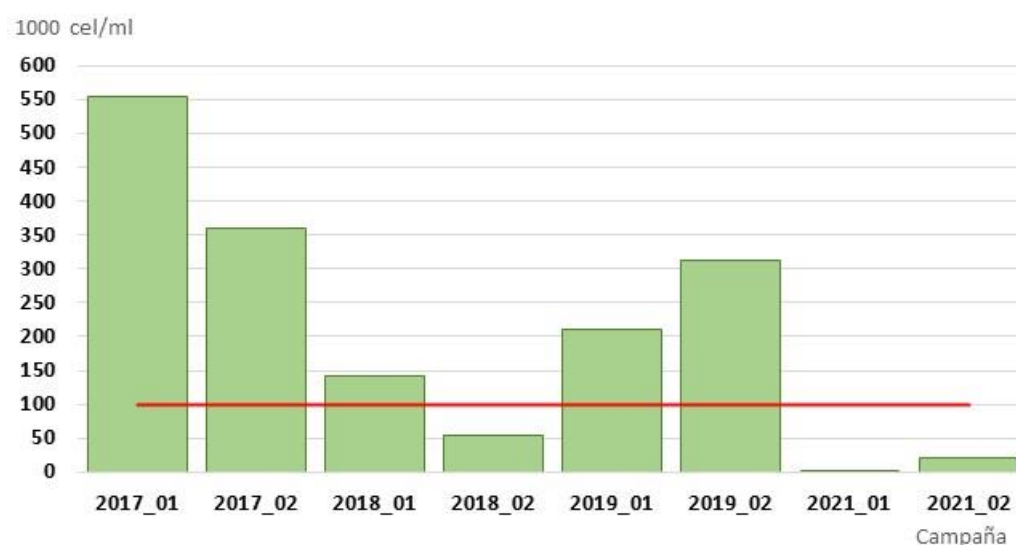


Figura 2. Abundancia de cianobacterias potencialmente tóxicas por campaña.

En la figura anterior la línea roja horizontal marca el límite de nivel de alerta II de la OMS. Como se puede observar en cinco de las ocho campañas se supera ampliamente ese umbral. A su vez, si bien se registran intensas variaciones de una campaña a otra, en todas las campañas se supera el umbral del nivel de alerta I.

A continuación, se exponen los datos de abundancia de los distintos taxones de cianobacterias potencialmente tóxicas identificadas en cada una de las campañas analizadas. Se han marcado en amarillo aquellos casos que sobrepasan el umbral del nivel de alerta I (2000 cel/ml) y en rojo los que sobrepasan el nivel de alerta II (100000 cel/ml).

Taxón	Campañas							
	2017 01	2017 02	2018 01	2018 02	2019 01	2019 02	2021 01	2021 02
<i>Aphanizomenon aphanizomenoides</i>				67				
<i>Aphanizomenon cf flos-aquae</i>						6377		
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>		139			27980		1199	21847
<i>Aphanizomenon yezoense</i>			631					
<i>Aphanocapsa delicatissima</i>			1739					
<i>Aphanocapsa incerta</i>			3477					
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>		50		340				
<i>Dolichospermum</i>			556					
<i>Dolichospermum crassum</i>	294					25		
<i>Dolichospermum flos-aquae</i>	6029		26		101663	142365		
<i>Merismopedia cf warmingiana</i>						31620		
<i>Merismopedia tenuissima</i>		548	4173	6391				
<i>Microcystis aeruginosa</i>					2198	40221		
<i>Microcystis flos-aquae</i>						460		
<i>Microcystis smithii</i>						4583		
<i>Microcystis sp</i>	169					5717		
<i>Microcystis wesenbergii</i>							1329	
<i>Planktothrix agardhii</i>				10880		12		
<i>Planktothrix isothrix</i>					14			
<i>Pseudanabaena minima</i>					132	1482		
<i>Pseudanabaena mucicola</i>						27		
<i>Raphidiopsis sp</i>	5587		3378	35951				
<i>Sphaerospermopsis aphanizomenoides</i>			97645					
<i>Sphaerospermopsis cf kisseleviara</i>	530736							
<i>Sphaerospermopsis reniformis</i>	10534							
<i>Synechococcus nidulans</i>					132			
<i>Synechocystis aquatilis</i>		14426		29				
<i>Woronichinia naegeliana</i>		345697	30919	571	78270	78709		
Total	553349	360860	142543	54228	210388	311598	2528	21847

Tabla 9. Relación de taxones de cianobacterias potencialmente tóxicas durante las distintas campañas y contraste de la abundancia con los niveles de alerta de la Guía de la OMS para Cianobacterias en agua destinada a la producción de agua de consumo humano (Chorus & Bartram (1999)).

Según los resultados registrados de biovolumen de cianobacterias potencialmente tóxicas, en todas las campañas se supera el umbral del nivel de alerta I. A diferencia de los resultados de abundancia, sólo en tres campañas se supera el nivel de alerta II. En la siguiente figura se puede observar cómo han evolucionado los resultados de biovolumen. La línea roja horizontal marca el límite de nivel de alerta II de la OMS.

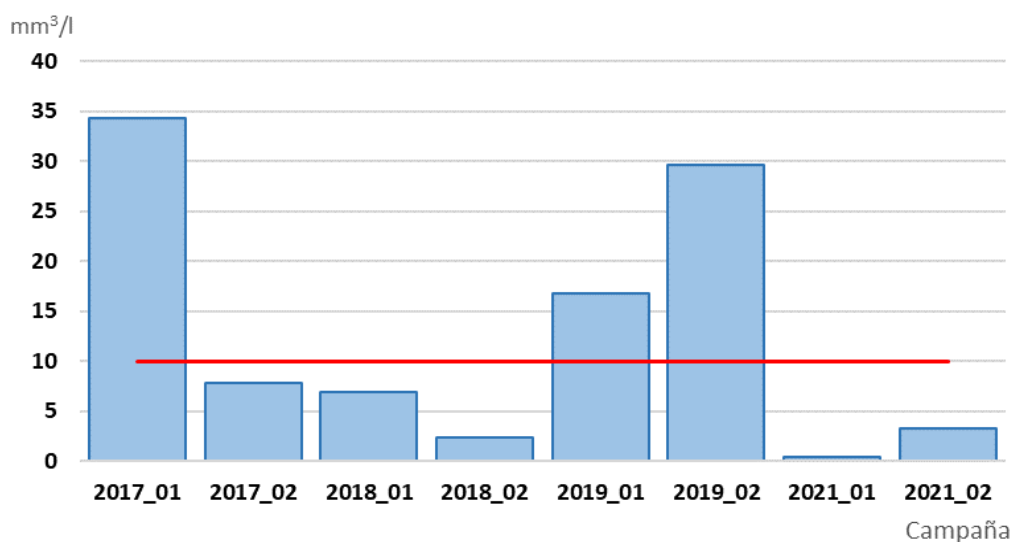


Figura 3. Biovolumen de cianobacterias potencialmente tóxicas por campaña.

A continuación, se exponen los datos de biovolumen de los distintos taxones de cianobacterias potencialmente tóxicas identificadas en cada una de las campañas analizadas. Se han marcado en amarillo aquellos casos que sobrepasan el umbral del nivel de alerta I (0,2 mm³/ml) y en rojo los que sobrepasan el nivel de alerta II (10 mm³/ml).

Taxón	Campañas							
	2017 01	2017 02	2018 01	2018 02	2019 01	2019 02	2021 01	2021 02
<i>Aphanizomenon aphanizomenoides</i>				0,004				
<i>Aphanizomenon cf flos-aquae</i>						0,37		
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>		0,02			2,44		0,17	3,22
<i>Aphanizomenon yezoense</i>			0,05					
<i>Aphanocapsa delicatissima</i>			0,001					
<i>Aphanocapsa incerta</i>			0,001					
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>		0,001		0,01				
<i>Dolichospermum</i>			0,02					
<i>Dolichospermum crassum</i>	0,02					0,02		
<i>Dolichospermum flos-aquae</i>	0,68		0,01		12,20	25,90		
<i>Merismopedia cf warmingiana</i>						0,02		
<i>Merismopedia tenuissima</i>			0,002	0,003				
<i>Microcystis aeruginosa</i>					0,05	0,88		
<i>Microcystis flos-aquae</i>						0,01		
<i>Microcystis smithii</i>						0,42		
<i>Microcystis sp</i>	0,00					0,13		
<i>Microcystis wesenbergii</i>							0,29	
<i>Planktothrix agardhii</i>				0,53		0,0005		
<i>Planktothrix isothrix</i>					0,001			
<i>Pseudanabaena minima</i>					0,0003	0,003		
<i>Pseudanabaena mucicola</i>						0,0001		
<i>Raphidiopsis sp</i>	0,12		0,17	1,78				

Taxón	Campañas							
	2017 01	2017 02	2018 01	2018 02	2019 01	2019 02	2021 01	2021 02
<i>Sphaerospermopsis aphanizomenoides</i>			6,14					
<i>Sphaerospermopsis cf kisseleviara</i>	32,54							
<i>Sphaerospermopsis reniformis</i>	0,99							
<i>Synechococcus nidulans</i>					0,001			
<i>Synechocystis aquatilis</i>		1,63		0,003				
<i>Woronichinia naegeliana</i>		6,12	0,55	0,01	2,06	1,95		
Total	34,36	7,77	6,93	2,35	16,74	29,71	0,46	3,22

Tabla 10. Relación de taxones de cianobacterias potencialmente tóxicas durante las distintas campañas y contraste del biovolumen con los niveles de alerta de la Guía de la OMS para Cianobacterias en agua destinada a la producción de agua de consumo humano (Chorus & Bartram (1999)).

En cuanto a las especies presentes en el embalse, evaluando la frecuencia de aparición, la abundancia y el biovolumen que han registrado, destacan *Woronichinia naegeliana*, *Dolichospermum flos-aquae*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Raphidiopsis* y *Microcystis aeruginosa*. También hay que destacar, tanto por la abundancia como por el biovolumen registrado, el bloom de *Sphaerospermopsis cf kisseleviara* de la campaña de agosto de 2017, aunque no se ha vuelto a detectar su presencia. En la siguiente tabla se resume la frecuencia de aparición, la abundancia y biovolumen acumulados de cada uno de los taxones de cianobacterias potencialmente tóxicas detectadas en el embalse de Talaván:

Taxón	Frecuencia	Abundancia (cel/ml)	Biovolumen (mm ³ /ml)
<i>Aphanizomenon aphanizomenoides</i>	1	67	0,004
<i>Aphanizomenon cf flos-aquae</i>	1	6377	0,37
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	4	51165	5,84
<i>Aphanizomenon yezoense</i>	1	631	0,05
<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	2	1739	0,001
<i>Aphanocapsa incerta</i>	1	3477	0,001
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	2	390	0,01
<i>Dolichospermum</i>	1	556	0,02
<i>Dolichospermum crassum</i>	2	319	0,04
<i>Dolichospermum flos-aquae</i>	4	250083	38,79
<i>Dolichospermum mendotae</i>	1		
<i>Merismopedia cf warmingiana</i>	1	31620	0,02
<i>Merismopedia tenuissima</i>	3	11112	0,01
<i>Microcystis aeruginosa</i>	3	42419	0,93
<i>Microcystis flos-aquae</i>	1	460	0,01
<i>Microcystis smithii</i>	1	4583	0,42
<i>Microcystis sp</i>	3	5886	0,13
<i>Microcystis wesenbergii</i>	1	1329	0,29
<i>Planktothrix agardhii</i>	2	10892	0,53
<i>Planktothrix isothrix</i>	1	14	0,001
<i>Pseudanabaena minima</i>	2	1614	0,003
<i>Pseudanabaena mucicola</i>	2	27	0,0001

Taxón	Frecuencia	Abundancia (cel/ml)	Biovolumen (mm ³ /ml)
Raphidiopsis	3	44916	2,07
<i>Sphaerospermopsis aphanizomenoides</i>	1	97645	6,14
<i>Sphaerospermopsis cf kisseleviara</i>	1	530736	32,54
<i>Sphaerospermopsis reniformis</i>	1	10534	0,99
<i>Synechococcus nidulans</i>	1	132	0,001
<i>Synechocystis aquatilis</i>	2	14455	1,64
Woronichinia naegeliana	5	534166	10,68

Tabla 11. Frecuencia de detección, abundancia y biovolumen total de los taxones de cianobacterias potencialmente tóxicas registradas en el embalse de Talaván.

3. Resumen y conclusiones

El embalse de Talaván es un embalse pequeñas dimensiones para el que, según los cálculos realizados, se ha estimado una profundidad media de 2,8 m, mientras que su profundidad máxima alcanza los 6,6 m en la zona más cercana al muro de la presa. Debido a la escasa profundidad del embalse las formas de resistencia de las cianobacterias pueden acumularse en los sedimentos del fondo en las épocas más desfavorables para su desarrollo, volviendo a la superficie con facilidad cuando estas mejoran.

Esta morfometría favorece que la masa de agua mantenga períodos de mezcla con mayor facilidad. En ninguna de las campañas realizadas se ha registrado gradiente de temperatura que dé lugar a la estratificación del embalse. Los resultados de conductividad eléctrica y pH presentan valores muy constantes en la columna de agua en todas las campañas. Se trata de dos campañas anuales entre 2017-2019 y 2021 y entre los meses de mayo a octubre. Esta circunstancia facilita la disponibilidad de nutrientes para la comunidad fitoplanctónica.

Una vez analizado el estado trófico de la masa de agua se obtiene que, según el índice de la OCDE (1982), todos los indicadores evaluados están dentro del rango de **eutrofia o hipereutrofia**, con la excepción de los indicadores de clorofila a de 2021 que registran niveles de mesotrofia. Aplicando tanto el índice de **Carlson** (1972) como los criterios del **borrador del real decreto** sobre protección de las aguas contra la contaminación difusa producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias, el embalse se clasifica **eutrófico** todos los años evaluados.

Se registra un descenso de la valoración de los indicadores de clorofila a en todos los índices en 2021. Como se comentó en el “Evolución de la Calidad de Aguas del Embalse de Talaván”, en las campañas de 2021 se registra una mejoría en los indicadores de biomasa (concentración de clorofila a y biovolumen), presumiblemente debido al efecto de dispersión que generan los difusores en el entorno de la zona de máxima profundidad del vaso central

del embalse y al viento predominante durante los trabajos de campo realizados en esas campañas que desplazaba el bloom hacía la cola Talaván, preferentemente.

Los datos disponibles no permiten estudiar una posible estacionalidad de las floraciones de cianobacterias, ya que, solamente hay dos muestreos por año entre los meses de mayo y octubre, dado que su objetivo es caracterizar el fitoplancton y evaluar el potencial ecológico.

Se han registrado fuertes oscilaciones de abundancia y biovolumen de cianobacterias potencialmente tóxicas entre las campañas ejecutadas. Tomando como referencia los criterios establecidos para el biovolumen y la abundancia en la **Guía de la OMS para Cianobacterias** en agua destinada a la producción de agua de consumo humano (Chorus & Bartram (1999)) en cinco de las ocho campañas evaluadas se supera el máximo nivel de alerta de abundancia (100000 cel/ml) y en tres campañas el de biovolumen (10 mm³/ml). No obstante, en **todas las campañas se supera el nivel de alerta I** para ambos indicadores.

La comunidad de cianobacterias presente en el embalse de Talaván está compuesta por 28 taxones potencialmente tóxicos, entre los que destacan, teniendo en cuenta la frecuencia de aparición, la abundancia y el biovolumen que han registrado, *Woronichinia naegeliana*, *Dolichospermum flos-aquae*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Raphidiopsis* y *Microcystis aeruginosa*. También hay que destacar, tanto por la abundancia como por el biovolumen registrado, el bloom de *Sphaerospermopsis cf kisseleviara* de la campaña de agosto de 2017, aunque no se ha vuelto a detectar su presencia.