



INFORME:

INFORME DE RESULTADOS PARA EL EMBALSE DEL JUDIO:2022-2024

TÍTULO DEL PROYECTO:

Seguimiento del estado de los embalses de la Demarcación Hidrográfica del Segura para la detección de episodios de bloom de cianobacterias

ELABORADO POR: EUROFINS-CAVENDISH

REVISADO POR: CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL SEGURA



MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL SEGURA, O.A.

Informe embalse del Judío

Foto de portada: Embalse del Judío desde la presa



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL SEGURA, O.A.

DATOS DE LA PUBLICACIÓN

Seguimiento del Estado de los embalses de la Demarcación Hidrográfica del Segura para la detección de episodios de bloom de cianobacterias

Objeto del informe: INFORME DE RESULTADOS PARA EL ESTUDIO DE BLOOMS DE CIANOBACTERIAS: EN EL EMBALSE DEL JUDÍO

Dirección y Confederación Hidrográfica del Segura

Coordinación de los trabajos: Avda. Acisclo Díaz 5A, 30005 Murcia



Empresa actuante: EUROFINS CAVENDISH



Ctra. Bailen-Motril, Parcela 102-B "Edificio de Cristal 2" Pol. Juncaril. C.P. 18210 PELIGROS (Granada) Bailen-Motril, Parcela 102-B "Edificio de Cristal 2" Pol. Juncaril. C.P. 18210 PELIGROS (Granada)

Dirección y Coordinación del estudio: Silvia Gómez Rojas
Área de Calidad de Aguas

EQUIPO DE TRABAJO:

DELEGADO DEL CONSULTOR: Luis Archilla Castillo

DIRECCIÓN Y COORDINACIÓN: David Fernández Moreno

Fecha de edición: Febrero 2024

Cita del informe: Confederación Hidrográfica del Segura. 2024. Seguimiento del Estado de los embalses de la Demarcación Hidrográfica del Segura para la detección de episodios de bloom de cianobacterias. Informe de resultados para el estudio de blooms de cianobacterias: en el embalse del Judío.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	6
2. PUNTOS DE CONTROL Y PARÁMETROS ANALIZADOS	6
3. DIAGNÓSTICO DE CALIDAD	7
4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS EN EL EMBALSE DEL JUDÍO.....	8
4.1. RESUMEN DE RESULTADOS EN EL EMBALSE DEL JUDÍO	8
4.1. CARACTERIZACIÓN TAXONÓMICA DURANTE EL PERIODO 2022-2024	10
4.2. COMPARATIVA DE LAS ABUNDANCIAS DE LAS ESPECIES DE CIANOFÍCEAS MÁS IMPORTANTES DURANTE LOS PERIODOS 2006,2019-2021 Y 2022-2024.....	11
4.3. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD BIOLÓGICA.....	13
4.4. RELACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS	15
5. CONCLUSIONES	19
6. BIBLIOGRAFIA.....	20

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla resumen de muestreos en el punto de control del embalse del Judío.....	7
Tabla 2. Valores de referencia para establecer las distintas fases.....	8
Tabla 3. Valores de los principales parámetros obtenidos en el embalse del judío.....	9
Tabla 4. Abundancias de las especies de cianofíceas más importantes durante los periodos 2006, 2019-2021 y 2022-2024.....	11
Tabla 5. Elementos de calidad para el tipo de embalse E-T10.....	13
Tabla 6. Resultados de los elementos de calidad biológica en el embalse del Judío.....	14
Tabla 7. Valores de los parámetros tomados en el embalse del Judío	17

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Porcentajes de abundancia según los grupos algales identificados en el embalse del Judío (2022-2024).....	10
Figura 2. Porcentajes de abundancia de los taxones identificados en el embalse del Judío.....	10
Figura 3. Abundancias de las especies de cianofíceas más importantes durante los periodos 2006, 2019-2021 y 2022-2024.	13
Figura 4. Resultados del análisis db RDA en el embalse del Judío donde podemos observar las fechas de muestreo asociados cada inventario de fitoplancton y las variables ambientales que más influyen en estas comunidades.....	18

1. INTRODUCCIÓN

Tal y como indica el Pliego de Prescripciones Técnicas (PPT), mensualmente se ha ido entregando un informe de valoración de resultados de cada embalse muestreado. En este informe, se profundizará en la evaluación de los resultados generados entre los años 2022 a 2024 y, además, lo compararemos con estudios previos ya reflejados en el informe de revisión histórica. Según el formato de informe que se ha estado entregando para cada muestreo durante estos dos años de estudio, añadiremos varios apartados con el fin de conocer mejor cual ha sido la dinámica en el desarrollo de las microalgas en especial cuando la proliferación algal ha derivado en blooms.

Se analizará, no solamente cuales han sido los grupos y las especies más características de este embalse, si no que se tratarán de identificar las posibles variables ambientales que han favorecido a las especies mayoritarias que aparecen en este embalse.

2. PUNTOS DE CONTROL Y PARÁMETROS ANALIZADOS

Se muestra en la tabla 1 el único punto de control (EJU1) de coordenadas UTM X: 637119/ Y: 4238178. El tipo de muestreo siempre ha sido mediante embarcación e integrada, ya que para detectar los Blooms de forma idónea, se ha de tomar una muestra de la columna de agua para que el dato de abundancia sea lo más realista posible.

Como se puede observar en la tabla 1, se han recibido 4 avisos del personal encargado de la vigilancia del embalse del Judío y ha habido hasta un total de 10 análisis de microcistinas en este periodo 2022-2024.

Tabla 1. Tabla resumen de muestreos en el punto de control del embalse del Judío

FECHA MUESTREO	HORA	FISICO-QUIMICA	FITOPLANCTON	CLOROFILA-A	MICROCISTINA	AVISO GUARDA	INFORMACIÓN ADICIONAL
03/02/2022	11:54:00	Si	Si	Si	Si	No	Abundancia de <i>Aphanothece</i> y <i>Merismopedia</i> superando las 100.000 cél/ml entre las dos
06/06/2022	17:30:00	Si	Si	No	No	No	Coloración verde oscuro
20/06/2022	11:35:00	Si	Si	Si	Si	Si	Ha disminuido la abundancia de <i>Merimopedia</i> aunque aún se encuentra por encima de las 50.000 cél/ml
29/06/2022	11:25:00	Si	Si	Si	Si	Si	Fin de fase 5
05/07/2022	15:30:00	Si	Si	Si	No	No	Análisis molecular
02/08/2022	12:50:00	Si	Si	Si	No	No	Sin incidencias
22/08/2022	10:30:00	Si	Si	Si	Si	No	No se detectó cianobacterias. El Bloom se debía a una proliferación de algas verdes
06/09/2022	17:15:00	Si	Si	Si	No	No	Sin incidencias
11/10/2022	10:30:00	Si	Si	Si	No	No	Sin incidencias
27/10/2022	11:00:00	Si	Si	Si	No	No	Al realizar el estudio de la comunidad de fitoplancton se comprobó que no existía bloom de cianobacterias. La mayoría son algas verdes
24/11/2022	10:00:00	Si	Si	Si	No	No	Sin incidencias
12/12/2023	11:35:00	Si	Si	Si	No	No	Sin incidencias
15/02/2023	11:45:00	Si	Si	Si	No	Si	Se comprobó que era una proliferación de algas verdes
06/03/2023	14:45:00	Si	No	Si	No	No	Sin incidencias
12/06/2023	13:40:00	Si	Si	Si	No	No	Sin incidencias
11/07/2023	17:35:00	Si	Si	Si	No	No	Sin incidencias
08/08/2023	12:26:00	Si	Si	Si	No	No	Sin incidencias
12/09/2023	16:25:00	Si	Si	Si	Si	No	Análisis de microcistinas negativo
29/09/2023	11:05:00	Si	Si	Si	Si	Si	Aviso del guarda, se comprobó que no existía bloom de cinaobacterias
19/10/2023	12:10:00	Si	Si	Si	Si	No	Sin incidencias
30/10/2023	10:45:00	Si	Si	Si	Si	No	Presencia de <i>Microcystis</i> sin desarrollar bloom
14/11/2023	12:10:00	Si	Si	Si	Si	No	Presencia de <i>Microcystis</i> sin desarrollar bloom
21/12/2023	11:35:00	Si	Si	Si	Si	No	Presencia de <i>Microcystis</i> sin desarrollar bloom
16/01/2024	11:54:00	Si	Si	Si	No	No	Presencia de <i>Microcystis</i> sin desarrollar bloom
20/02/2024	11:54:00	Si	Si	Si	Si	No	Disminución prácticamente testimonial en la abundancia de <i>Microcystis</i>

3. DIAGNÓSTICO DE CALIDAD

Para este trabajo se han establecido distintos rangos de calidad atendiendo a determinadas variables como, por ejemplo, la abundancia celular, el fósforo total o las microcistinas (Tabla 2), según los trabajos de Funari *et al.* 2017 y Pilotto *et al.* 1997. Estas condiciones no se cumplen muchas veces al mismo tiempo. Sin embargo, siempre que se detecta de forma general una abundancia superior a las 100.000 cél/ml, se establecerá la fase 5 de alerta para proceder a un seguimiento más exhaustivo. Los valores de clorofila-a son los obtenidos por la OMS (WHO 2013), donde establecen tres tipos de fases.

Tabla 2. Valores de referencia para establecer las distintas fases

Fases	Abundancia cél/ml	PT ($\mu\text{g/l}$)	DS (m)	Microcistinas ($\mu\text{g/l}$)	Chl-a* ($\mu\text{g/l}$)
1		<20	≥ 1	-	
2	<2.000	>20	≥ 1	-	
3	2000-20.000	>20	≥ 1	-	
4	≥ 20.000	>20	<1	<20	>10
5	>100.000	>20	<1	>20	50

En estos informes se verán casos en los que, a pesar de alcanzar las 100.000 cél/ml, la concentración de clorofila-a es inferior a la que corresponde, según lo establecido en la tabla 2. Esto le puede suceder también al biovolumen celular. Es decir, células pequeñas, aunque esté presentes en gran cantidad, pueden tener poca concentración de clorofila-a o de biovolumen debido a su pequeño tamaño. Es por esto por lo que resulta difícil establecer un patrón fijo entre las variables implicadas en el desarrollo de las cianobacterias. De ahí la importancia de este seguimiento durante periodos de tiempo prolongados.

4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS EN EL EMBALSE DEL JUDÍO

4.1. Resumen de resultados en el embalse del Judío

Como se puede observar en la tabla 3, durante el periodo comprendido entre el 2022 y el 2024, se han tomado 25 muestras en el embalse del Judío. En todos los muestreos se han analizado como mínimo la fisicoquímica del agua, la identificación, conteo y cálculo del biovolumen del fitoplancton, así como la clorofila-a.

En este periodo de estudio 2022-2024, ha sido en tres ocasiones en las que se ha activado la fase 5, debido a que la abundancia celular de cianobacterias ha sido superior a las 100.000 cél/ml, concretamente en febrero, el primer muestreo de junio y septiembre de 2022.

Si observamos la tabla 3, no encontramos ninguna diferencia en parámetros como el Nt y el Pt, de este primer muestreo de junio, respecto al resto de muestras que se tomaron posteriormente.

Al menos en 13 muestreos, la abundancia celular se encontraba <20.000 cél/ml y en otros 11 >20.000 cél/ml, lo que indica que las cianobacterias se encuentran muy presentes en este embalse. De hecho, de los 25 muestreos realizados, en 16 las cianobacterias tienen un porcentaje de abundancia relativa superior al 30% respecto al total y, solo en un muestreo, no fue identificada ninguna.

Tabla 3. Valores de los principales parámetros obtenidos en el embalse del Judío

FECHA DE MUESTREO	ABUND. TOTAL (cel/ml)	ABUND. CIANO (cel/ml)	BIOVOL CIANO (mm3/l)	DOMINANCIA RELATIVA	TAXÓN PRINCIPAL CIANO BACTERIA	TOXICIDAD POTENCIAL	MICROCISTINAS TOTAL (µg/l)	MICROCISTINA-LR (µg/l)	CLOROFILA A (µg/l)	NT(mg/l)	PT (mg/l)	DS (m)	SITUACIÓN	MUESTREO
03/02/2022	176.803,00	140.976,00	0,37	79,74	<i>Aphanothece minutissima</i>	Posible	<0,2	0,18	21	30	<0,05	0,25	5	PUNTUAL
06/06/2022	410.153,87	378.622,52	0,29	92,31	<i>Merismopedia tenuissima</i>	SI	-	-	3,3	28	<0,05	0,60	5	SEMANAL
20/06/2022	71.434,93	69.097,99	0,05	96,73	<i>Merismopedia tenuissima</i>	SI	<0,2	<0,25	<2,0	34	6,8	1,50	4	SEMANAL
29/06/2022	7.109	5.933	0,01	64,69	<i>Merismopedia tenuissima</i>	SI	<0,25	<0,25	<2,0	36	0,14	0,90	3	QUINCENAL
05/07/2022	1.803	572	0	31,73	<i>Merismopedia tenuissima</i>	Si	-	-	<2,0	30	<0,05	1,50	1	MENSUAL
02/08/2022	8.353,07	0	0	0	-	-	-	-	<2,0	36	<0,05	0,80	1	MENSUAL
22/08/2022	36.142	10.766,95	0,0182	29,7	<i>Aphanocapsa</i>	Si	<1	<0,25	<2,0	47	<0,05	0,50	3	MENSUAL
06/09/2022	249.270	139.111	0,34	35,19	<i>Aphanocapsa</i>	Si	-	-	3,1	22	<0,05	0,70	5	MENSUAL
11/10/2022	87.109,00	47.317,41	0,0151	54,3	<i>Planktolyngbya limnetica</i>	NO	-	-	3,2	35	<0,05	1,00	4	MENSUAL
27/10/2022	60.495,22	48.942,04	0,0293	80,9	<i>Planktolyngbya limnetica</i>	NO	-	-	5,8	40	<0,05	1,30	4	MENSUAL
24/11/2022	40.865,60	19.491,53	1,2	29,5	<i>Planktolyngbya limnetica</i>	NO	-	-	6,6	30	<0,05	1,10	3	MENSUAL
12/12/2022	19.857,07	5.870,85	0,0164	62,47	<i>Merismopedia tenuissima</i>	NO	-	-	5,2	36	<0,05	2,20	3	MENSUAL
15/02/2023	36.671	23.386	0,0261	63,7	<i>Merismopedia sp.</i>	Si	-	-	9,5	32	<0,05	1,50	4	MENSUAL
06/03/2023	-	-	-	-	-	-	-	-	7,6	38	<0,05	2,90		
12/06/2023	4.513	1.120	0	25	<i>Aphanocapsa</i>	Si	-	-	<2,0	44	<0,05	2,40	2	MENSUAL
12/07/2023	473,00	75,00	0,00	15,78	<i>Pseudanabaena biceps</i>	Si	-	-	<2,0	32	<0,05	1,00	1	MENSUAL
08/08/2023	2.950	606	0,39	21	<i>Aphanocapsa</i>	SI	-	-	<2,0	30	<0,05	1,00	1	MENSUAL
12/09/2023	68.660,00	2.409,00	0,07	3,51	<i>Microcystis</i>	Si	<0.2	<0.05	4,0	31	<0,05	0,60	3	MENSUAL
29/09/2023	58.308	6.637	0	11	<i>Pseudanabaena limnetica</i>	Si	<0.2	<0.05	7,8	26	<0,05	1,00	3	MENSUAL
19/10/2023	44.248,38	9.225,23	0,67	20,80	<i>Microcystis flos-aquae</i>	Si	0,50	0,18	<2,0	29	<0,05	0,80	3	QUINCENAL
30/10/2023	13.661	9.606	1	70	<i>Microcystis aeruginosa</i>	Si	0,40	0,18	2,9	38	<0,05	2,50	3	QUINCENAL
14/11/2023	1.707,67	365	0,13	0,00	<i>Planktolyngbya limnetica</i>	Si	1,90	0,60	7,0	35	<0,05	1,90	1	MENSUAL
21/12/2023	10.996,77	10.286	0,66	95	<i>Microcystis</i>	Si	<0.2	<0.05	<2,0	31	<0,05	1,30	3	MENSUAL
16/01/2024	6.136,00	3.725,00	0,24	60,70	<i>Microcystis cf.aeruginosa</i>	Si	-	-	<2,0	30	<0,05	2,66	3	MENSUAL
20/02/2024	772,15	15,94	0,00	2,00	<i>Microcystis aeruginosa</i>	Si	0,20	<0,05	<2,0	31	<0,05	1,60	1	MENSUAL

Nota: en rojo los que superan el valor de la alerta para la fase 5 según tabla 2

4.1. Caracterización taxonómica durante el periodo 2022-2024

Como podemos ver en la figura 1, sobre todo las cianofíceas, pero también las clorofíceas, son los grupos más importantes en este embalse; el resto de los grupos algales, como las criptofíceas o dinofíceas, son bajos.

En este periodo de dos años se han identificado 91 taxones de microalgas de 12 grupos algales distintos (Figura 1). De estos, como se comenta más arriba, los grupos de cianofíceas y clorofíceas son las dominantes.

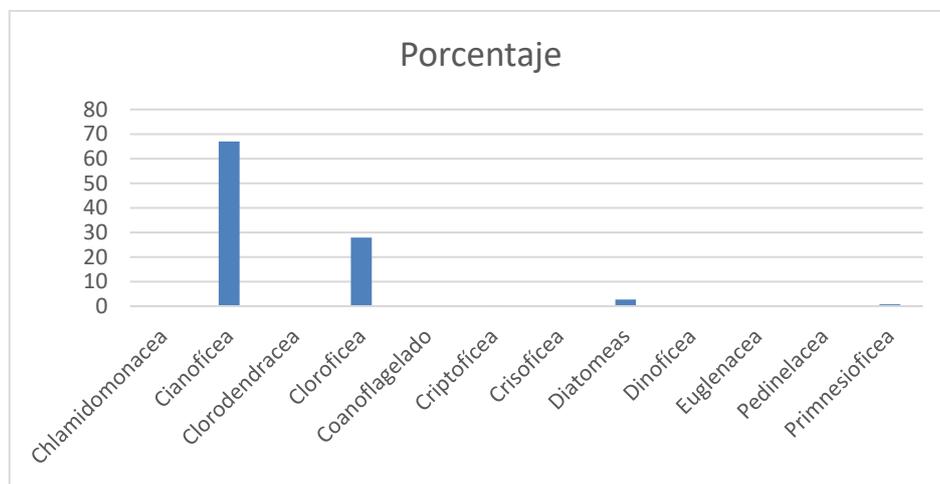


Figura 1. Porcentajes de abundancia según los grupos algales identificados en el embalse del Judío (2022-2024)

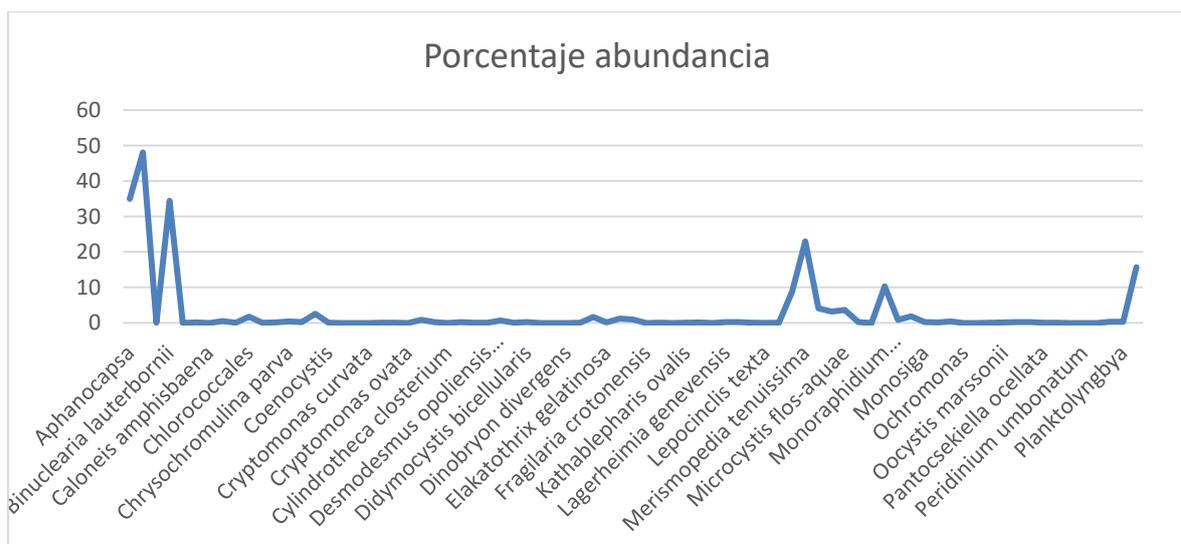


Figura 2. Porcentajes de abundancia de los taxones identificados en el embalse del Judío

Los picos en abundancia corresponderían sobre todo con *Binuclearia lauterborni*, *Merismopedia tenuissima* (Figura 2) y especies del género *Microcystis*. Con menor importancia, estaría *Planktolytnbya limnetica* o *Aphanocapsa*. Las especies pertenecientes a los géneros *Merismopedia* y, en especial, *Microcystis* pueden desarrollar toxinas como las microcistinas. Según la bibliografía (Cirés & Quesada del Corral 2011) son especies que no suelen desarrollar toxinas en España; sin embargo, en estos dos años se ha realizado un seguimiento de sus poblaciones, en especial si sobrepasaba las 100.000 cél/ml, para vigilar un posible desarrollo de microcistinas ante abundancias celulares muy elevadas.

Por otro lado, aparecen las especies del género *Microcystis*, más propicias a desarrollar toxinas, como se observa en la tabla 3 en los muestreos de octubre de 2023. Sin embargo, la abundancia celular de las especies de este género registrada ha sido poco más de 10.000 cél/ml, por lo que en ninguna ocasión se han registrado blooms.

La especie *Binuclearia lauterbornii* es una clorofícea, y esta especie no desarrolla toxina alguna, aunque si pueden crecer hasta desarrollar blooms en determinadas condiciones ambientales. Por lo tanto, en este embalse existe una tendencia **al predominio de clorofíceas y cianofíceas**.

A continuación, se estudiarán cuáles son las variables que más han influido en la distribución de las comunidades fitoplanctónicas.

4.2. Comparativa de las abundancias de las especies de cianofíceas más importantes durante los periodos 2006,2019-2021 y 2022-2024

Este estudio se complementa con los ya realizados en años anteriores, es decir, desde 2006 hasta la actualidad, aunque no de forma continua. En la siguiente tabla, se presenta una escala de colores asignada a la clasificación de alerta que hace la Organización Mundial de la Salud (OMS) para las cianobacterias, así como las abundancias máximas de las cianobacterias identificadas en un total de 33 muestreos.

Tabla 4. Abundancias de las especies de cianofíceas más importantes durante los periodos 2006, 2019-2021 y 2022-2024.

Fecha	Taxón	Abundancia
Ju-06	<i>Anabaena aphanizomenoides</i>	216
Ot-19	<i>Merismopedia tenuissima</i>	4.317,09
Ju-20	<i>Merismopedia tenuissima</i>	1.867,73
Sp-20	<i>Microcystis</i>	6.629,81
Ot-20	<i>Merismopedia punctata</i>	45.826,16

Fecha	Taxón	Abundancia
No-20	<i>Microcystis</i>	11.779,48
Di-20	<i>Aphanizomenon aphanizomenoides</i>	462,55
Ma-21	<i>Merismopedia tenuissima</i>	104.689,40
Jl-21	<i>Merismopedia</i>	26.765,94
Sp-21	<i>Planktolyngbya</i>	60.289,13
Di-21	<i>Merismopedia tenuissima</i>	3.436,00
Fe-22	<i>Aphanothece minutissima</i>	56.732,00
Ju1-22	<i>Merismopedia tenuissima</i>	251.019,10
Ju2-22	<i>Merismopedia tenuissima</i>	63.350,09
Ju3-22	<i>Merismopedia tenuissima</i>	4.598,32
Jl-22	<i>Merismopedia tenuissima</i>	443,00
Ag1-22	-	0,00
Ag2-22	<i>Aphanocapsa</i>	9.346,31
Sp-22	<i>Aphanocapsa</i>	87.718,00
Ot1-22	<i>Planktolyngbya limnetica</i>	39.346,56
Ot2-22	<i>Planktolyngbya limnetica</i>	30.106,47
No-22	<i>Planktolyngbya limnetica</i>	14.520,15
Di-22	<i>Merismopedia tenuissima</i>	5.229,29
Fe-23	<i>Merismopedia sp.</i>	22.007,62
Ju-23	<i>Aphanocapsa</i>	783,85
Jl-23	<i>Pseudanabaena biceps</i>	75,00
Ag-23	<i>Aphanocapsa</i>	547,92
Sp1-23	<i>Microcystis</i>	1.087,00
Sp2-23	<i>Pseudanabaena limnetica</i>	6.637,62
Ot1-23	<i>Microcystis flos-aquae</i>	9.225,23
Ot2-23	<i>Microcystis aeruginosa</i>	8.126,95
No-23	-	0,00
Di-23	<i>Microcystis</i>	10.285,67
En-24	<i>Microcystis cf.aeruginosa</i>	3.725,35
Fe-24	<i>Microcystis aeruginosa</i>	15,94

La presencia y la abundancia de las especies de los géneros *Merismopedia* y *Microcystis* han sido las más representativas, siendo las dominantes en 21 de los 35 registros. Sin embargo, como se puede observar más fácilmente en la tabla 4, así como en la figura 3, los valores de mayor abundancia, con más de 100.000 cél/ml, se deben a *Merismopedia*, mientras que *Microcystis* que es el taxón con mayor potencial para producir cianotoxinas, siempre se ha mantenido por debajo de las 10.000 cél/ml.

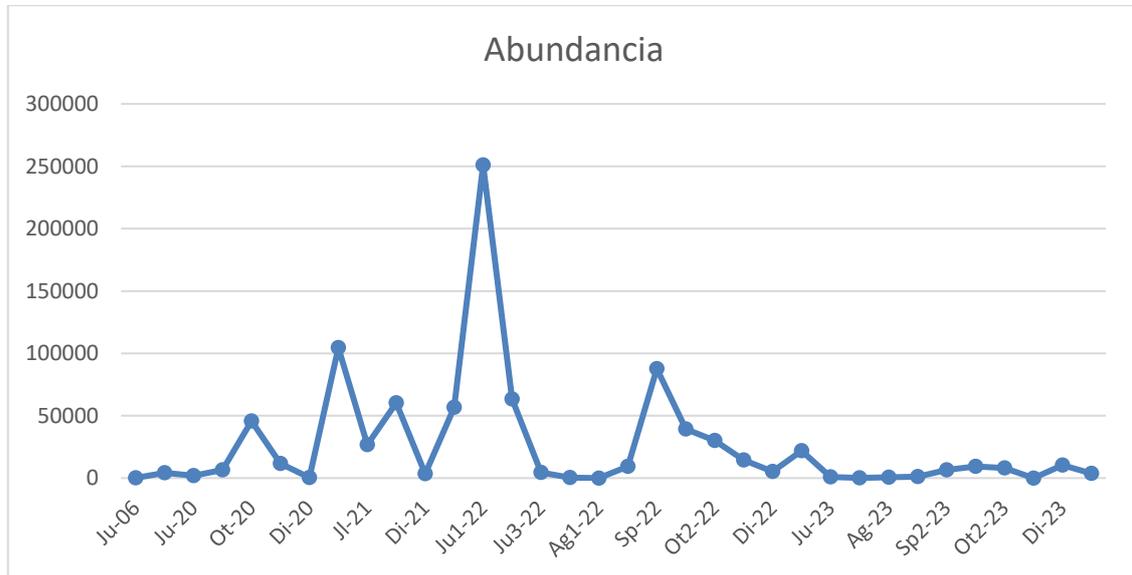


Figura 3. Abundancias de las especies de cianofíceas más importantes durante los periodos 2006, 2019-2021 y 2022-2024.

4.3. Evaluación de la calidad biológica

A continuación, se considerarán los elementos de calidad biológica, teniendo en cuenta los criterios mínimos exigidos en el RD 817/2015, para el tipo de embalse, como es el Judío, tal y como se puede comprobar en la Tabla 5. El embalse del Judío corresponde con una tipología E-T10 (Monomítico, calcáreo de zonas no húmedas, pertenecientes a ríos de cabecera y tramos altos).

Tabla 5. Elementos de calidad para el tipo de embalse E-T10

TIPOS EMBALSES	INDICADOR	UNIDADES	CONDICIÓN DE REFERENCIA	LÍMITES DE CAMBIO DE CLASE DE ESTADO		
				Bueno o superior / Moderado	Moderado / Deficiente	Deficiente/ malo
E-T10	IGA	-	0,61	0,982	0,655	0,327
	%cianobacterias	%	0,00	0,715	0,48	0,24
	Clorofila a	mg/m ³ -	2,60	0,433	0,287	0,143
	Biovolumen	mm ³ /L	0,76	0,362	0,24	0,12

A continuación, en la tabla 6 se pueden ver los distintos indicadores de calidad según la fecha de muestreo.

Tabla 6. Resultados de los elementos de calidad biológica en el embalse del Judío

FECHA DE MUESTREO	% cianobacterias	Estado. % cianobacterias	Biovolumen (mm ³ /l)	Estado. Biovolumen	Clorofila a (µg/l)	Estado. Clorofila a	IGA	Estado. IGA	Máximo potencial ecológico
03/02/2022	0	Muy bueno	10,9	Malo	21	Malo	0,35	Muy bueno	Moderado
06/06/2022	0	Muy bueno	0,82	Muy bueno	3,3	Muy bueno	2,9	Muy bueno	Muy Bueno
20/06/2022	0	Muy bueno	0,21	Muy bueno	2,6	Muy bueno	2,7	Muy bueno	Muy Bueno
29/06/2022	0	Muy bueno	0,09	Muy bueno	1	Muy bueno	1,3	Muy bueno	Muy Bueno
05/07/2022	0	Muy bueno	0,21	Muy bueno	1	Muy bueno	6,4	Bueno	Muy Bueno
02/08/2022	0	Muy bueno	1	Muy bueno	1	Muy bueno	4,8	Bueno	Muy Bueno
22/08/2022	0	Muy bueno	2,17	Moderado	1	Muy bueno	7,2	Bueno	Muy Bueno
06/09/2022	2,8	Muy bueno	7,27	Malo	3,1	Muy bueno	12,7	Moderado	Bueno
11/10/2022	1,65	Muy bueno	2,3	Moderado	3,2	Muy bueno	0	Muy bueno	Muy Bueno
27/10/2022	1,97	Muy bueno	1,5	Bueno	5,8	Bueno	0	Muy bueno	Muy Bueno
24/11/2022	1,16	Muy bueno	1,2	Bueno	6,6	Moderado	0	Muy bueno	Muy Bueno
12/12/2022	0	Muy bueno	0,7	Muy bueno	5,2	Bueno	1,2	Muy bueno	Muy Bueno
15/02/2023	2,2	Muy bueno	2,3	Moderado	9,5	Deficiente	0	Muy bueno	Bueno
12/06/2023	0	Muy bueno	0,7	Muy bueno	1	Muy bueno	0,09	Muy bueno	Muy Bueno
12/07/2023	2,31	Muy bueno	0,05	Muy bueno	1	Muy bueno	4,3	Bueno	Muy Bueno
08/08/2023	0,77	Muy bueno	0,25	Muy bueno	1	Muy bueno	2,1	Muy bueno	Muy Bueno
12/09/2023	2,3	Muy bueno	3,15	Moderado	4	Bueno	7,7	Moderado	Bueno
29/09/2023	3,9	Muy bueno	2,67	Moderado	7,8	Moderado	0	Muy bueno	Bueno
19/10/2023	57,4	Deficiente	1,1	Muy bueno	1	Muy bueno	0,1	Muy bueno	Bueno
30/10/2023	89,7	Malo	0,7	Muy bueno	2,9	Muy bueno	66,6	Moderado	Bueno
14/11/2023	0,25	Muy bueno	0,13	Muy bueno	7	Moderado	0,1	Muy bueno	Muy Bueno
21/12/2023	96	Malo	0,69	Muy bueno	1	Muy bueno	201,1	Deficiente	Moderado
16/01/2024	82	Malo	0,29	Muy bueno	1	Muy bueno	76	Moderado	Bueno
20/02/2024	2,08	Muy Bueno	0,04	Muy Bueno	1	Muy Bueno	2,13	Muy Bueno	Muy Bueno

Como se puede observar en la tabla anterior, es en el porcentaje de cianobacterias donde aparecen los estados más restrictivos, pues hay 3 malos y 1 deficiente. La dominancia de las cianobacterias durante estos muestreos, en especial debido a la presencia de especies del género *Microcystis* penaliza el estado ecológico de este parámetro más que si la especie dominante pertenece al género *Merismopedia* pues como sucede en el mes de junio de 2022 ya que según se encuentra conformada la fórmula para el cálculo, esta especie como otras del grupo de las Chroococales no se encuentran incluidas debido a su menor conocimiento en la formación de toxinas. El biovolumen también refleja la proliferación abundante de algas microscópicas como, por ejemplo, en el muestreo de septiembre de 2022 y 2023, donde las clorofíceas alcanzan más de 3 mm³/L, con *Binuclearia lauterbornii* como especie que más biovolumen aporta. Esto es debido a que, aunque en otros

muestreos se ha obtenido una abundancia muy elevada de cianobacterias, se trataban de taxones de pequeño tamaño, como *Merismopedia tenuissima* o las especies del género *Aphanocapsa*.

4.4. Relación entre los resultados físico-químicos y biológicos

Para establecer como se relacionan las variables físico-químicas analizadas con las comunidades de fitoplancton de todos los muestreos en los años 2022-2024, se ha propuesto realizar un análisis estadístico de tipo multivariante.

Se han analizado un total de 19 variables fisicoquímicas como: NH_4 , COD (Carbono orgánico disuelto), Clorofila-a, Cloruros, Conductividad, DBO_5 , DQO, Fósforo total (P_t), Nitratos (NO_3), Nitrógeno total (N_t), Nitritos (NO_2^-), Fosfatos (PO_4^{3-}), $\text{O}_2\%$, O_2 , pH, Sólidos en suspensión (SS), Sulfatos (SO_4^2), Temperatura y profundidad del disco de Secchi.

Para este análisis se han creado dos matrices, uno con los datos de abundancia de los taxones identificados en 25 muestras y otra matriz con los resultados de las variables fisicoquímicas.

Antes de iniciar cualquier análisis, se realizó un pretratamiento de los datos en el que se transformaron las matrices. Los datos de la matriz biológica se transformaron según el $\log(x+1)$ con el fin de expandir las abundancias poco elevadas de algunas especies y de comprimir aquellas con una elevada abundancia. De esta forma, conseguimos reducir la desviación estándar que en este tipo de datos suele ser elevada.

Por otro lado, la matriz de las variables ambientales se transformó con una "raíz a la cuarta", con ello conseguimos que se parta de valores equivalentes para realizar los análisis en lugar de tener valores con distintas unidades.



Informe embalse del Judío

Fecha	Código Fecha	NH ₄ mg/l	COD mg/l	Cl ⁻ a mg/m ³	Cl ⁻ mg/l	Cond (micrS/cm)	DBO5 (mg/l)	DQO (mg/l)	Pt (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	Nt (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)	PO ₄ ³⁻ (mg/l)	O ₂ %	O ₂ (mg/l)	pH	SS	SO ₄ ²⁻ mg(l)	T (°C)	Secchi (m)
3-2-22	Fe-22	0,09	4,5	21	1855	7938	<5,0	<15	<0,05	133,9	30	0,34	0,087	111,7	12	8,6	51	2920	9,1	0,25
6-6-22	Ju1-22	<0,05	5,4	3,3	1441	7590	2,2	30	<0,05	155	28	0,36	<0,04	103	8,32	8,38	22,8	2116	24,7	0,6
20-6-22	Ju2-22	0,071	2,9	<2	1684	9931	<2	25	6,8	150	34	0,47	<0,04	88,3	6,74	7,82	22,8	2637	26,4	1,5
29-6-22	Ju3-22	0,11	15	<2	1696	7800	<2	24	0,14	164	36	0,55	0,43	81,9	5,17	8,35	12	251	26,6	0,9
5-7-22	Jl-22	0,11	12	<2	1799	7540	2,2	23	<0,05	140,3	30	0,63	<0,04	98,2	7,4	8	13,2	2645	27,7	1,5
2-8-22	Ag1-22	0,086	8	<2	1823	8996	3,1	24	<0,05	184	47	0,76	0,06	94,4	7,08	8,15	12,2	2247	28,8	0,8
22-8-22	Ag2-22	0,12	8,2	<2	1512	8690	<2	27	<0,05	186	47	0,76	<0,2	96,2	5,78	8,27	12,1	2181	29,2	0,5
6-9-22	Sp-22	0,15	10	3,1	1807	8900	3,1	27	<0,05	129,5	22	0,79	<0,2	103	7,88	8,31	16,2	2431	27,7	0,7
11-10-22	Ot1-22	0,08	9,6	3,2	1705	7912	<2	28	<0,05	ND	35	0,64	<0,04	95,5	8,16	8,11	9,8	2479	21,7	1
27-10-22	Ot2-22	<0,05	7,5	5,8	1751	7700	<2	25	<0,05	132,2	40	0,01	0,065	95,5	8,33	8,33	10	2212	21,5	1,3
24-11-22	No-22	<0,05	7,9	6,6	3413	8215	<2	20	<0,05	123	30	0,39	<0,04	95,6	9,26	8,13	7,6	9317	16,3	1,1
12-12-22	Di-22	<0,05	11	5,2	834	7846	4	27	<0,05	117	36	0,33	<0,04	100	10,1	8,31	5,9	1151	13,4	2,2
15-2-23	Fe-23	<0,05	13	9,5	1970	6350	3,3	29	<0,05	164,4	32	0,19	<0,04	108	9,37	8,55	8,2	3093	9,7	1,5
6-3-23	Ma-23	0,073	<2,0	7,6	1888	7937	2,5	36	0,05	158,06	38	0,021	<0,04	112,5	12	8,34	10,4	2698	11,2	2,9
12-6-23	Ju-23	<0,05	11	<2	1681	8030	2	26	<0,05	110	44	0,54	<0,04	95,2	7,36	8,11	1	2319	26,1	2,4
12-7-23	Jl-23	0,11	8,4	<2	1350	7330	2,1	33	<0,05	115	32	0,7	<0,04	104	7,56	8,14	5,9	2036	29,9	1
8-8-23	Ag-23	<0,05	16	<2	1597	6998	<2	33	<0,05	112	30	0,67	<0,04	101	7,57	8,3	6,9	2417	29	1
12-9-23	Sp1-23	0,078	4,4	7,8	1515	7620	<2	29	<0,05	116	31	0,77	<0,04	104	7,75	8,4	8,5	2078	28,3	0,6
29-9-23	Sp2-23	<0,05	8,5	7,8	1692	8305	<2	32	<0,05	119	26	0,89	<0,04	102	8,35	8,16	5,3	2337	24	1
19-10-23	Ot1-23	0,21	6,6	<2	1739	8199	<2	27	<0,05	112	29	0,02	<0,04	104	7	8,27	7,8	2441	22,8	0,8
30-10-23	Ot2-23	<0,05	5,3	2,9	1785	8017	<2	26	<0,05	118	38	0,68	0,025	97,6	8,78	8,22	8,8	2523	19,1	2,5
14-11-23	No-23	<0,05	<2,0	7	ND	6106	<2	28	<0,05	61	31	0,55	<0,04	102	9,67	8,44	6	ND	16,6	1,9
21-12-23	Di-23	<0,05	8,8	<2	2315	7673	<2	22	<0,05	119,4	31,35	0,4	<0,04	97,7	10,5	8,2	14,3	3092	10,3	1,3

16-1-24	En-24	<0,05	9	<2	4745	7690	<2	25	<0,05	142	30	0,31	<0,04	103	11	8,4	3	6945	12	2,66
20-2-24	Fe-24	<0,05	8	<2	1772	6830	<2	17	<0,05	142	31	0,36	<0,04	101	10	8,1	5	2945	12,6	1,6

Tabla 7. Valores de los parámetros tomados en el embalse del Judío

Gracias al software utilizado PRIMER 6 & PERMANOVA, se puede establecer cuáles son las variables ambientales, entre las 19 en total, que más influyen en la distribución de los taxones de las comunidades de fitoplancton. Tal y como se puede observar en la figura 4, son 2 variables ambientales las más representativas (en círculo rojo), según el conjunto de datos: Sólidos en suspensión (SS) y Temperatura (T). El análisis multivariante llevado a cabo, es el db-RDA que es un tipo de ordenación canónica en el que busca asociar dos matrices: una ambiental y otra biológica. El objetivo es poder encontrar algún tipo de relación entre dichas variables ambientales y la biológica.

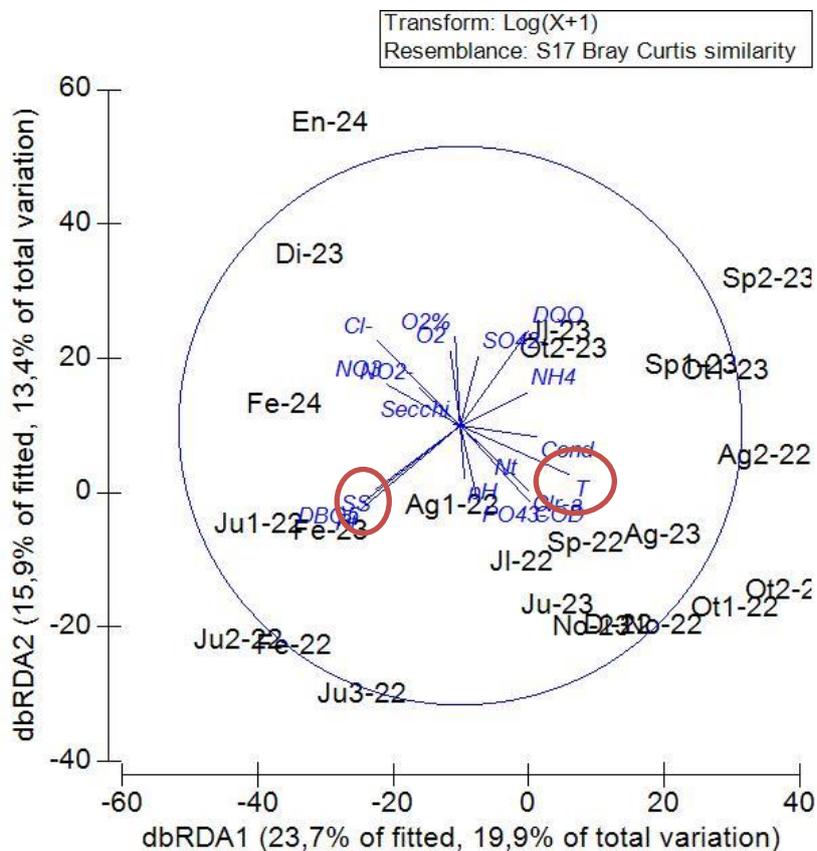


Figura 4. Resultados del análisis db RDA en el embalse del Judío donde podemos observar las fechas de muestreo asociados cada inventario de fitoplancton y las variables ambientales que más influyen en estas comunidades.

Tal y como se ha comentado en la caracterización taxonómica, los taxones más destacables, según sus valores de abundancia y frecuencia de aparición, son *Binuclearia*, *Merismopedia* y *Microcystis*.

En la nube de puntos, se observa en la parte de arriba las muestras que se tomaron, sobre todo, en el año 2022, y en especial los muestreos de junio (Ju1, Ju2, Ju3). En estos muestreos se identificaron abundancias elevadas, sobre todo, de *Merismopedia tenuissima* donde, según la figura 4, parece estar relacionado con una elevada concentración de sólidos en suspensión, lo que podría

deberse a un mayor aporte de agua y sólidos del exterior del embalse, o por la acción del viento que provocara una mayor cantidad de sólidos en suspensión en el medio. Si se observa la tabla 7, se aprecia que los nitratos, en estos meses, son ligeramente mayores respecto a otros muestreos dentro de los dos años de este seguimiento. Por tanto, aparecen más nitratos y menos nitritos en relación con otros muestreos.

Según la figura 4, en los meses de julio y agosto de 2023, se detectan dos de las mayores abundancias de *Binuclearia latuerbornii*, aunque también en los meses cuyos códigos corresponden con Ag2-22, Sp-22, Ot1-22 entre otros. Es un alga clorofícea que forma pequeñas cadenas y que, cuando ha desarrollado algún bloom, el agua ha tomado un color verde intenso. Si se observa la posición en la nube de puntos de estos muestreos, se puede ver la relación sobre todo con elevadas temperaturas.

Por último, las poblaciones de *Microcystis* se han empezado a desarrollar, sobre todo, durante los últimos meses de 2023 e inicios de 2024. Por lo que se puede observar en la figura 3, coinciden con muestreos donde la temperatura es menor, la concentración de nitritos también es baja si lo comparamos con *B.lauterbornii* y las profundidades del disco de Secchi son unas de las más altas de estos dos años de seguimiento.

5. CONCLUSIONES

Durante los años 2022-2024 se han detectado algunos Blooms de clorofíceas y de cianobacterias en el embalse del Judío. Sin embargo, en la gran mayoría de los blooms de cianobacterias, han sido de especies que presentan una baja toxicidad. En los últimos meses de este seguimiento se ha detectado una constante presencia de *Microcystis*, que, si bien no ha trascendido, de momento, en abundancias elevadas, cabe la posibilidad de que suceda en algún momento en este embalse. Esto ya se indicaba en el informe histórico inicial de este proyecto, donde se hizo un análisis de los resultados obtenidos en los años 2006, 2019-2021. En esta revisión no se apreciaba ninguna relación entre los fosfatos y fósforo total y la abundancia de cianobacterias, a pesar de ser los nutrientes más limitantes para el crecimiento de las algas.

Los resultados en los análisis estadísticos dan una idea inicial de los motivos por los que se desarrollan blooms (de cualquier grupo algal) en este embalse. Es importante continuar tomando muestras y analizando las variables biológicas y físico químicas de este embalse, para poder conocer mejor las dinámicas ambientales que afectan al desarrollo de estas microalgas, en concreto de las cianobacterias.

6. BIBLIOGRAFIA

- AKTAN, YELDA and AYKULU, GÜLER (2003) "A Study on the Occurrence of Merismopedia Meyen (Cyanobacteria) Populations on the Littoral Sediments of İzmit Bay (Turkey)," Turkish Journal of Botany: Vol. 27: No. 4, Article 4. Available at: <https://journals.tubitak.gov.tr/botany/vol27/iss4/4>
- CIRÉS GOMEZ, S. y QUESADA DEL CORRAL, A., 2011. Catálogo de cianobacterias planctónicas potencialmente tóxicas de las aguas continentales españolas. S.l.: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. ISBN 9788449110726.
- Funari E, Manganelli M, Buratti FM, Testai E. 2017. Cyanobacteria blooms in water: Italian guidelines to assess and manage the risk associated to bathing and recreational activities. Sci Total Environ.
- Keliri, E., Paraskeva, C., Sofokleous, A. et al. Occurrence of a single-species cyanobacterial bloom in a lake in Cyprus: monitoring and treatment with hydrogen peroxide-releasing granules. Environ Sci Eur 33, 31 (2021). <https://doi.org/10.1186/s12302-021-00471-5>.
- Pilotto, L.S., Douglas, R.M., Burch, M.D., Cameron, S., Beers, M., Rouch, G.J., Robinson, P., Kirk, M., Cowie, C.T., Hardiman, S., Moore, C., Attewell, R.G., 1997. Health effects of exposure to cyanobacteria (blue-green algae) during recreational water-related activities. Aust. N. Z. J. Public Health 21, 562–566.
- Mulvenna, V., Orr, P.T., 2012. Australia: Guidelines, legislation and management frameworks. In: Chorus, I. (Ed.), Current approaches to Cyanotoxin risk assessment, risk management and regulations in different countries. Federal Environment Agency (Umweltbundesamt). Dessau-Roßlau, Germany:pp. 21–28
- WHO (World Health Organization), 2003. Guidelines for Safe Recreational Water Environments— Volume 1: Coastal and Fresh Waters. World Health Organization, Geneva.