



INFORME:

INFORME DE RESULTADOS PARA EL EMBALSE DE ARGOS: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

1.

REVISADO POR: CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL SEGURA



MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL SEGURA, O.A.

Informe embalse de Argos

Foto de portada: Embalse del Argos 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 DE ARGOS

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: Abril 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 de Argos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	.....	1
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 ARGOS	.....	8
4.1. RESUMEN DE RESULTADOS EN EL EMBALSE DE ARGOS	.....	8
4.1. CARACTERIZACIÓN TAXONÓMICA DURANTE EL PERIODO 2022-2024	.....	11
4.2. COMPARATIVA DE LAS ABUNDANCIAS DE LAS ESPECIES DE CIANOFÍCEAS MÁS IMPORTANTES DURANTE LOS PERIODOS 2006, 2019-2021 Y 2022-2024	.....	12
4.3. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD BIOLÓGICA	.....	14
4.4. RELACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS	.....	16
5. CONCLUSIONES	.....	19
6. BIBLIOGRAFIA	.....	20

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla resumen de muestreos en el punto de control del embalse de Argos	.....	7
Tabla 2. Valores de referencia para establecer las distintas fases	.....	8
Tabla 3. Valores de los principales parámetros obtenidos en el embalse muestreado	.....	10
Tabla 4. Abundancias de las especies de cianofíceas más importantes durante los periodos 2006, 2019-2021 y 2022-2024	.....	12
Tabla 5. Elementos de calidad para el tipo de embalse E-T10	.....	14
Tabla 6. Resultados de los elementos de calidad biológica en el embalse del Argos	.....	15
Tabla 7. Valores de las variables físico-químicas en el embalse de Argos	.....	17

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Porcentajes de abundancia según el grupo algal identificado en el embalse del Argos (2022-2024).....	11
Figura 2. Porcentajes de abundancia de los taxones identificados en el Argos	11
Figura 3 . Abundancias de las especies de cianofíceas más importantes durante los periodos 2006-2024	14
Figura 4. Resultados del análisis db RDA en el embalse de Argos donde podemos observar las fechas de muestreo asociados cada uno a un 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 Bloom.

Se analizarán, 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 (EAR1) de coordenadas UTM X: 610690/ Y: 4225512. 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, no se han recibido avisos del personal encargado de la vigilancia del embalse del Argos, aunque ha habido hasta un total de 9 análisis de microcistinas en este periodo 2022-2024, debido a la elevada abundancia de cianobacterias detectadas en los análisis biológicos.

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

FECHA MUESTREO	HORA	FISICO-QUIMICA	FITOPLANCTON	CLOROFILA-A	MICROCISTINA	AVISO GUARDA	INFORMACIÓN ADICIONAL
06/06/2022	15:40:00	Si	Si	Si	No	No	No hay incidencias
05/07/2022	13:40:00	Si	Si	Si	No	No	Se realizó Análisis molecular para la detección de genes relacionados con cianotoxinas
02/08/2022	10:10:00	Si	Si	Si	No	No	No hay incidencias
07/09/2022	09:15:00	Si	Si	Si	Si	No	Se detectó una elevada abundancia de microalgas, entre otros de cianobacterias, por lo que se midieron las microcistinas, el resultado fue negativo
11/10/2022	12:10:00	Si	Si	Si	No	No	Sin incidencias
24/11/2022	11:30:00	Si	Si	Si	No	No	Sin incidencias
12/12/2022	12:15:00	Si	Si	Si	No	No	Sin incidencias
13/06/2023	16:30:00	Si	Si	Si	No	No	Sin incidencias
11/07/2023	13:20:00	Si	Si	Si	No	No	Se detectó una abundancia muy elevada de <i>M.tenuissima</i> , por lo que se decidió tomar otra muestra con microcistinas
28/07/2023	11:30:00	Si	Si	Si	Si	No	Resultado negativo de microcistinas
04/08/2023	10:45:00	Si	Si	Si	Si	No	Bloom de <i>Merimopedia</i>
07/08/2023	17:08:00	Si	Si	Si	Si	No	Bloom de <i>Merimopedia</i>
16/08/2023	10:10:00	Si	Si	Si	Si	No	Bloom de <i>Merimopedia</i>
31/08/2023	10:35:00	Si	Si	Si	Si	No	Fin bloom de <i>Merimopedia</i> (<100.000 cel/ml) y presencia de casi 10.000 cel/ml de <i>Microcystis</i>
12/09/2023	12:15:00	Si	Si	Si	Si	No	Sin incidencias
19/10/2023	13:05:00	Si	Si	Si	Si	No	Sin incidencias
14/11/2023	13:05:00	Si	Si	Si	Si	No	Sin incidencias

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 ARGOS

4.1. Resumen de resultados en el embalse de Argos

Como se puede observar en la Tabla 3, durante el periodo comprendido entre el 2022 y el 2024, se han tomado 17 muestras en el embalse de Argos. En este periodo ha habido hasta 9 análisis de microcistinas debido a un posible bloom de cianobacterias. Los resultados de microcistinas no han sido positivos, además, cuando se ha detectado un bloom no siempre ha correspondido con cianobacterias, si no a clorofíceas que no presentan toxicidad. 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, se ha alcanzado, en unas siete ocasiones una abundancia celular de cianobacterias superior a las 100.000 cél/ml, sobre todo en los meses de verano entre junio y septiembre tanto del 2022 como del 2023. Sin embargo, han sido seis las fases de alerta 5, ya que en el muestreo del 6 de junio de 2022, la especie de cianobacteria es *Cyanogranis ferrugínea* no produce toxinas y por tanto, no se considera activar ninguna de las fases. La especie de cianobacterias más frecuente en estos blooms ha sido *Merismopedia tenuissima*. La abundancia relativa en este embalse de cianobacterias es muy elevada en relación con otros grupos algales



(Tabla 3), de hecho, de los 17 muestreos realizados en 14, las cianobacterias tienen un porcentaje superior al 30% respecto al total y fueron identificadas en todos los muestreos.

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

FECHA DE MUESTREO	CÓDIGO FECHA	ABUND. TOTAL (cel/ml)	ABUND. CIANO (cel/ml)	BIOVOLUMEN CIANOFICEAS (mm3/l)	DOMINANCIA RELATIVA (%)	TAXÓN PRINCIPAL CIANOBACTERIA	TAXÓN POTENCIALMENTE TÓXICO ESPAÑA	MICROCISTINAS TOTAL (µg/l)	MICROCISTINA-LR (µg/l)	CLOROFILA A (µg/l)	Nt (mg/l)	Pt (mg/l)	DS (m)	SITUACIÓN	MUESTREO
06/06/2022	Ju-22	386.079,87	344.231,68	0,18	89,16	<i>Cyanogranis ferruginea</i>	No	-	-	7,8	3	<0,05	1,1	1	MENSUAL
05/07/2022	Jl-22	62.441	20.739,00	0,03	33,21	<i>Aphanocapsa</i>	Si	-	-	4	2,5	<0,05	1,3	4	MENSUAL
02/08/2022	Ag-22	434.686,48	294.330,19	0,9695	67,71	<i>Merismopedia tenuissima</i>	Si	-	-	4,9	1,9	<0,05	0,8	5	MENSUAL
07/09/2022	Sp-22	225.997,00	108.552,00	0,69	13,52	<i>Merismopedia tenuissima</i>	Si	<1	<0,25	9,4	3,7	<0,05	0,5	5	QUINCENAL
11/10/2022	Ot-22	9.139,57	6.346,22	0,0069	69,4	<i>Merismopedia tenuissima</i>	Si	-	-	4	1,9	<0,05	2,5	3	MENSUAL
24/11/2022	No-22	3.983,20	2.493,15	0,4155	62,5	<i>Aphanocapsa holsatica</i>	Si	-	-	3	2,2	<0,05	1	3	MENSUAL
12/12/2022	Di-22	7.257,46	5.871,89	0,0078	80,9	<i>Aphanocapsa holsatica</i>	Si	-	-	4,3	3	<0,05	1,8	3	MENSUAL
13/06/2023	Ju-23	98.245,51	56.133,16	0,0561	44,43	<i>Aphanothece</i>	Si	-	-	7,1	2,2	<0,05	1,3	4	MENSUAL
11/07/2023	Jl1-23	565.310,00	510.360,00	0,46	90,28	<i>Aphanocapsa holsatica</i>	Si	-	-	8,8	2,8	<0,05	0,5	5	MENSUAL
28/07/2023	Jl2-23	682.091,80	532.527,95	0,43	78	<i>Merismopedia tenuissima</i>	Si	<0,20	<0,05	12	1,6	<0,05	0,8	5	SEMANAL
04/08/2023	Ag1-23	284.609,78	232.633,95	0,196	81,7	<i>Merismopedia tenuissima</i>	Si	<0,20	<0,05	12	0,97	<0,05	0,8	5	SEMANAL
07/08/2023	Ag2-23	302.026,85	229.925,21	0,3987	74,7	<i>Merismopedia tenuissima</i>	Si	<0,24	<0,05	9	1,4	<0,05	0,6	5	SEMANAL
16/08/2023	Ag3-23	115.693,51	52.304,44	0,3312	45,92	<i>Merismopedia tenuissima</i>	Si	<0,20	<0,05	6,3	1,4	<0,05	0,9	4	QUINCENAL
31/08/2023	Ag4-23	55.025,56	23.608,79	0,432	43	<i>Microcystis flos-aquae</i>	Si	<0,20	<0,05	3,8	1,1	<0,05	1,4	4	QUINCENAL
12/09/2023	Sp-23	83.751	24.930	0,26	29,77	<i>Merismopedia tenuissima</i>	Si	<0,2	<0,05	7,1	0,9	<0,05	1	4	MENSUAL
19/10/2023	Ot-23	59.903,83	44.252,05	0,0447	73,9	<i>Cyanocatena planctonica</i>	No	<0,2	<0,05	<2,0	1,2	<0,05	0,6	1	MENSUAL
14/11/2023	No-23	5.020,92	4.114,52	0,0168	58,62	<i>Aphanocapsa</i>	Si	<0,2	<0,05	2,5	1,9	<0,05	1,7	3	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

En este periodo de dos años se han identificado 90 taxones de microalgas de 13 grupos algales distintos (Figura 1). Las cianofíceas son el grupo dominante con más de un 60% de abundancia. Las clorofíceas son el otro grupo más importante en este embalse; el resto de los grupos algales, como las criptofíceas o las diatomeas, son muy escasos, pues no alcanzan ni siquiera el 5% de abundancia del total.

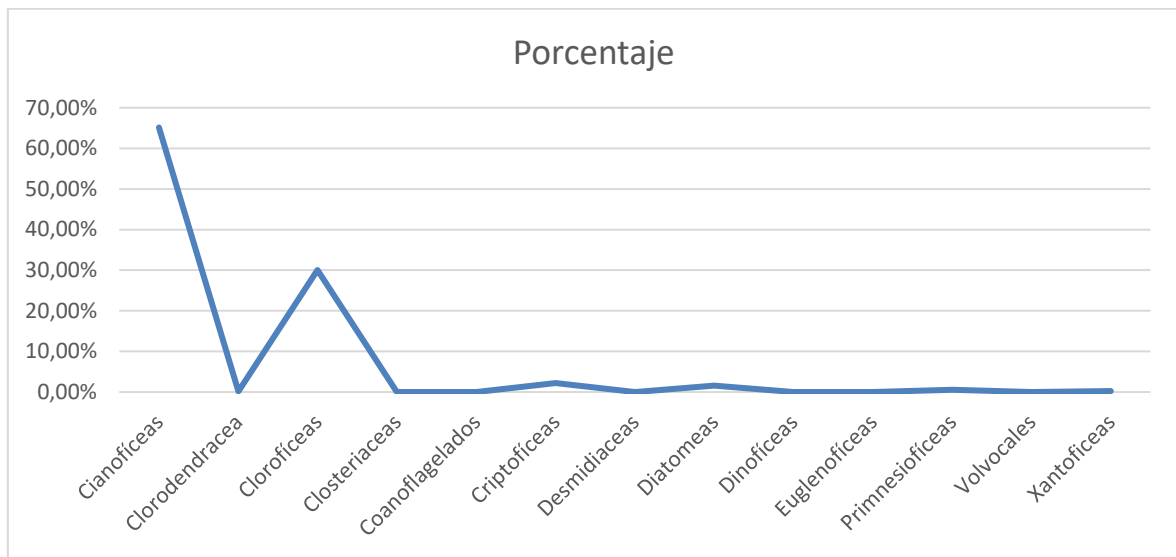


Figura 1. Porcentajes de abundancia según el grupo algal identificado en el embalse del Argos (2022-2024)



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

Los picos en abundancia corresponderían sobre todo con *Binuclearia lauterborni* (clorofícea) y *Merismopedia tenuissima*, (Figura 2) y con menor importancia tendríamos a especies del género *Aphanocapsa*. Las especies pertenecientes a los géneros *Merimopedia* pueden desarrollar toxinas como las microcistinas. Aunque según la bibliografía (Cirés & Quesada del Corral 2011) son especies que no suelen desarrollar toxinas en España, sin embargo, en estos dos años hemos realizado un seguimiento de sus poblaciones, en especial si sobrepasaba las 100.000 cel/ml y detectar un posible desarrollo de microcistinas ante abundancias celulares muy elevadas.

Las especies del género *Microcystis*, son más propicias a desarrollar toxinas, como podemos ver en la Tabla 3 solamente en agosto del 2023 fue identificado como la cianobacteria más importante respecto al total, sin embargo, después de analizar las microcistinas, este dio negativo.

La especie *Binuclearia lauterbornii* es una microalga del grupo de las clorofíceas. Esta especie en particular 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 podido influir 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) según se indica en la tabla 2 para las cianobacterias, así como las abundancias máximas de las cianobacterias identificadas en un total de 43 muestreos.

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

Fecha	Taxón de ciano más abundante	Abundancia
Ju-06	<i>Limnothrix</i>	2.457,00
Ab-08	<i>Oscillatoria limnetica</i>	129.566,10
Ot-08	<i>Oscillatoria limnetica</i>	53.446,49
Jl-09	<i>Aphanocapsa incerta</i>	10.441,48
Sp-09	<i>Merismopedia punctata</i>	69.655,42
Sp-11	<i>Microcystis</i>	2.785,45

Fecha	Taxón de ciano más abundante	Abundancia
Jl-12	<i>Merismopedia tenuissima</i>	597.054,13
Sp-12	<i>Aphanocapsa</i>	98.559,84
Jl-13	<i>Merismopedia tenuissima</i>	121.707,20
Sp-13	<i>Merismopedia tenuissima</i>	57.041,63
Jl-14	<i>Aphanizomenon</i>	11.977,49
Sp-14	<i>Aphanocapsa</i>	130.105,50
Jl-15	<i>Aphanocapsa</i>	15.684,81
Sp-15	<i>Merismopedia tenuissima</i>	106.813,55
Jl-17	<i>Aphanocapsa incerta</i>	493.791,88
Sp-17	<i>Merismopedia tenuissima</i>	63.091,39
Jl-18	<i>Microcystis flos-aquae</i>	1.856,62
Sp-18	<i>Merismopedia tenuissima</i>	2.582,17
Jl-19	<i>Aphanocapsa holsatica</i>	2.528,58
Ot-19	<i>Merismopedia tenuissima</i>	62,07
Jl-20	<i>Merismopedia tenuissima</i>	2.801,60
Sp-20	<i>Merismopedia tenuissima</i>	1.110,11
Ot-20	<i>Microcystis</i>	1.649,74
No-20	<i>Merismopedia tenuissima</i>	533,64
Jl-21	<i>Merismopedia tenuissima</i>	122.603,30
Sp-21	<i>Merismopedia tenuissima</i>	12.902,64
Ju-22	<i>Cyanogranis ferruginea</i>	343.627,06
Jl-22	<i>Merismopedia tenuissima</i>	13.639
Ag-22	<i>Merismopedia tenuissima</i>	163.248,05
Sp-22	<i>Merismopedia tenuissima</i>	30.551
Ot-22	<i>Merismopedia tenuissima</i>	4.061,58
No-22	<i>Aphanocapsa holsatica</i>	2.493,15
Di-22	<i>Aphanocapsa holsatica</i>	3.046,19
Ju-23	<i>Aphanothece</i>	43.659,13
Jl1-23	<i>Merismopedia tenuissima</i>	112.901
Jl2-23	<i>Merismopedia tenuissima</i>	468.478,20
Ag1-23	<i>Merismopedia tenuissima</i>	196.852,82
Ag2-23	<i>Merismopedia tenuissima</i>	199.110,28
Ag3-23	<i>Merismopedia tenuissima</i>	25.033,31
Ag4-23	<i>Microcystis flos-aquae</i>	9.508,53
Sp-23	<i>Merismopedia tenuissima</i>	8.058
Ot-23	<i>Cyanocatena planctonica</i>	41.248,06
No-23	<i>Aphanocapsa</i>	1.171,21

La presencia y la abundancia de las especies de los géneros *Merismopedia* y *Microcystis* han sido las más representativas, siendo las dominantes en 26 de los 43 registros, es decir tanto en este estudio como en el resto de los muestreos desde el año 2006. Sin embargo, como podemos observar más fácilmente en la tabla 4 así como en la figura 3, los valores de mayor abundancia, con más de 100.000 cel/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 cel/ml.

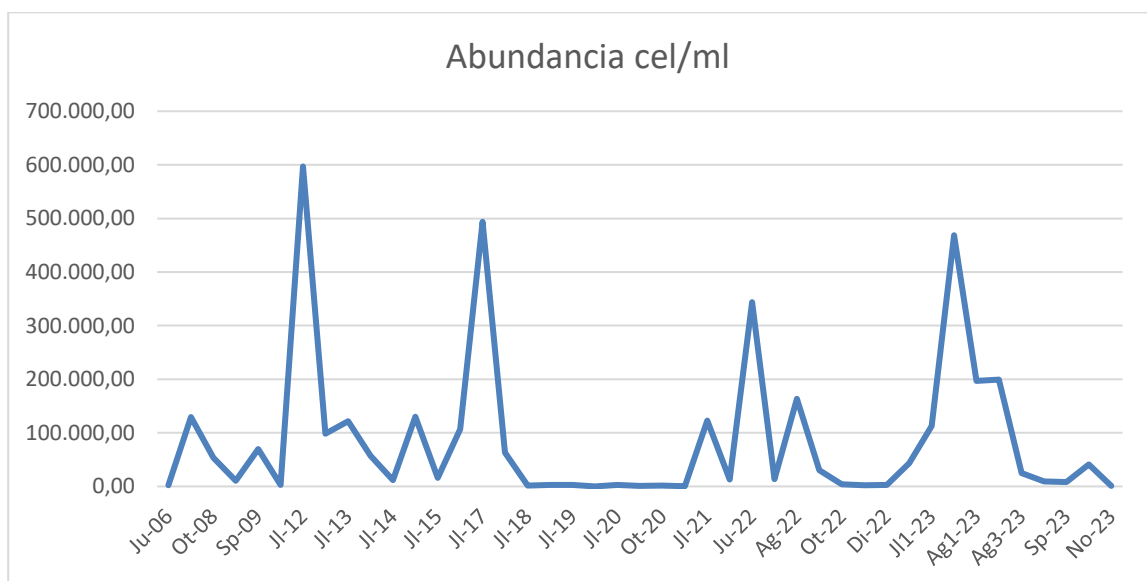


Figura 3 . Abundancias de las especies de cianofíceas más importantes durante los periodos 2006-2024

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 Argos, tal y como se puede ver en la tabla 5. El embalse del Argos 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 Argos

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
06/06/2022	0	Muy bueno	6,76	Malo	7,8	Moderado	4,17	Bueno	Bueno
05/07/2022	0	Muy bueno	10,11	Malo	4,0	Muy bueno	1,12	Bueno	Bueno
02/08/2022	7,24	Muy bueno	5,59	Deficiente	4,9	Muy bueno	4,91	Bueno	Bueno
07/09/2022	8,80	Muy bueno	6,93	Malo	9,4	Deficiente	22,72	Moderado	Moderado
11/10/2022	0	Muy bueno	0,21	Muy bueno	4	Bueno	0	Muy bueno	Muy Bueno
24/11/2022	0	Muy bueno	0,41	Muy bueno	3	Muy bueno	85,6	Moderado	Muy Bueno
12/12/2022	0	Muy bueno	0,77	Muy bueno	4,3	Bueno	19,2	Moderado	Muy Bueno
13/06/2023	0	Muy bueno	6,73	Malo	7,1	Moderado	102,1	Moderado	Moderado
12/07/2023	0	Muy bueno	5,48	Deficiente	8,8	Moderado	2,34	Muy bueno	Bueno
28/07/2023	0	Muy bueno	9,8	Malo	12	Deficiente	0	Muy bueno	Bueno
04/08/2023	4,8	Muy bueno	4,64	Deficiente	12	Deficiente	0	Muy bueno	Bueno
07/08/2023	0	Muy bueno	3,27	Deficiente	9,0	Moderado	0	Muy bueno	Bueno
16/08/2023	6,67	Muy bueno	4,2	Deficiente	6,3	Moderado	0	Muy bueno	Bueno
31/08/2023	18,9	Bueno	2,19	Moderado	3,8	Bueno	0	Muy bueno	Bueno
12/09/2023	5,79	Muy bueno	4,28	Deficiente	7,1	Moderado	1,89	Muy bueno	Bueno
19/10/2023	1,03	Muy bueno	1,73	Bueno	<2	Muy bueno	0	Muy bueno	Muy Bueno
14/11/2023	8,63	Muy bueno	0,15	Muy bueno	2,5	Muy bueno	84,25	Moderado	Muy Bueno

Como se puede observar en la tabla 6, es en el porcentaje de cianobacterias donde se presentan los mejores valores como elemento de calidad. A pesar de tener valores de abundancia de cianobacterias elevados, estos son de grupos considerados dentro de la fórmula para calcular el porcentaje como taxones que no son tóxicos, por lo que no se ve penalizado a pesar de las elevadas abundancias registradas por ejemplo en julio de 2023.

El biovolumen como podemos observar en la tabla 5, presenta los valores máximos durante los meses de verano de junio a septiembre y disminuyen los meses de octubre, noviembre y diciembre. Esto se correlaciona también con la clorofila-a. Sin embargo, las clases de calidad son diferentes para los valores del IGA y esto es debido a que este índice considera una serie de grupos algales que si no se identifican el valor del IGA tenemos un resultado sobreestimado.

La especie de alga verde como *Binuclearia lauterbornii* es una de las que más biovolumen aporta ya que, aunque se han obtenido abundancias más elevadas de cianobacterias, se trataban en

general de taxones de pequeño tamaño, como *Merismopedia tenuissima* o las especies del género *Aphanocapsa*, por lo tanto, aportan poco biovolumen.

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 (Tabla 6).

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 de Argos

Fecha	Código Fecha	NH ₄ ⁺ mg/l	COD mg/l	Clr-a mg/m3	Cl mg/l	Cond (micrS/cm)	DBO ₅ (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)
6-6-22	Ju-22	0,13	0,5	7,8	110	1297	3,1	16	<0,05	11	3	0,14	0,01	111	8,71	8,15	6,9	425	25,0	1,1
5-7-22	Jl-22	0,25	9,8	4	111	1361	3	<15	<0,05	9,3	0,16	0,16	<0,2	84,3	6,4	7,4	4,9	471	27,3	1,3
2-8-22	Ag-22	0,057	5,5	4,9	122	1517	4,8	19	<0,05	8,3	0,1	0,096	<0,3	109	8,39	7,91	9,5	462	28,6	0,8
7-9-22	Sp-22	0,27	7	9,4	125	1476	2,4	17	<0,05	6,3	0,16	0,16	<0,2	90,1	7,34	8,04	13,4	510	24,4	0,5
11-10-22	Ot-22	0,11	11	4	140	1429	3	17	<0,05	7,1	0,35	0,35	<0,04	85,7	7,51	8,31	3,9	491	21,6	2,5
24-11-22	No-22	0,2	6	3	122	1545	2,5	<15	<0,05	8,6	0,28	0,28	<0,04	78,1	7,64	8,02	5,3	474	16,2	1
12-12-22	Di-22	0,18	4,1	4,3	124	1534	<2	<15	<0,05	8,3	0,19	0,19	<0,04	86,6	8,82	8,29	4,7	516	14,2	1,8
13-6-23	Ju-23	<0,05	4,3	7,1	119	1411	2,5	28	<0,05	7,9	0,11	0,11	<0,04	150	12,6	8,32	8	390	23,6	1,3
12-7-23	Jl1-23	0,14	3,9	8,8	ND	1246	2,5	22	<0,05	5,8	0,11	0,11	<0,04	95,2	6,86	7,59	6,9	ND	28,5	0,5
28-7-23	Jl2-23	0,11	11	4	140	1429	3	17	<0,05	4,9	0,09	1,6	<0,04	116	85,7	8,31	3,9	491	21,6	2,5
4-8-23	Ag2-23	0,069	7,1	9	114	1328	<2	21	<0,05	4,3	0,09	0,091	<0,04	104	7,52	8,11	9,8	439	29,3	0,6
7-8-23	Ag1-23	<0,05	6,1	12	124	1259	<2	22	<0,05	4,1	0,08	0,079	<0,04	111	6,77	8,05	11,2	473	28	0,8
16-8-23	Ag3-23	0,085	6,8	6,3	127	1748	<2	23	<0,05	2,9	0,09	0,089	<0,04	105	8,05	8,14	11	492	28,6	0,9
31-8-23	Ag4-23	<0,05	5,5	3,8	122	1184	<2	16	<0,05	0,15	0,01	0,01	<0,04	93,3	7,38	7,68	3,4	500	25,5	1,4
12-9-23	Sp-23	0,09	<2	7,1	134	1427	<2	17	<0,05	2,6	0,09	0,094	<0,04	101	7,78	8,04	9	484	26,3	1
19-10-23	Ot-23	0,21	<2	<2	136	1527	<2	<15	<0,05	3,4	0,19	0,19	<0,05	91,9	6,01	7,83	12,6	500	22,8	0,6
14-11-23	No-23	0,26	<2	2,5	134	ND	<2	<15	<0,05	2,6	0,19	0,19	<0,04	113	6,72	8,22	5,1	537	16,2	1,7

Tabla 7. Valores de las variables físico-químicas en el embalse de Argos

Gracias al software utilizado PRIMER 6 & PERMANOVA, se pueden conocer 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 podemos observar en la figura 4, existen 2 variables ambientales que son las más representativas, es decir tienen un eje de mayor longitud: Temperatura (T) y Carbono orgánico disuelto (COD). El análisis multivariante llevado a cabo, es el db-RDA que es un tipo de ordenación canónica donde se busca asociar dos matrices: una ambiental y otra biológica, el objetivo es poder encontrar algún tipo de relación entre ambas matrices.

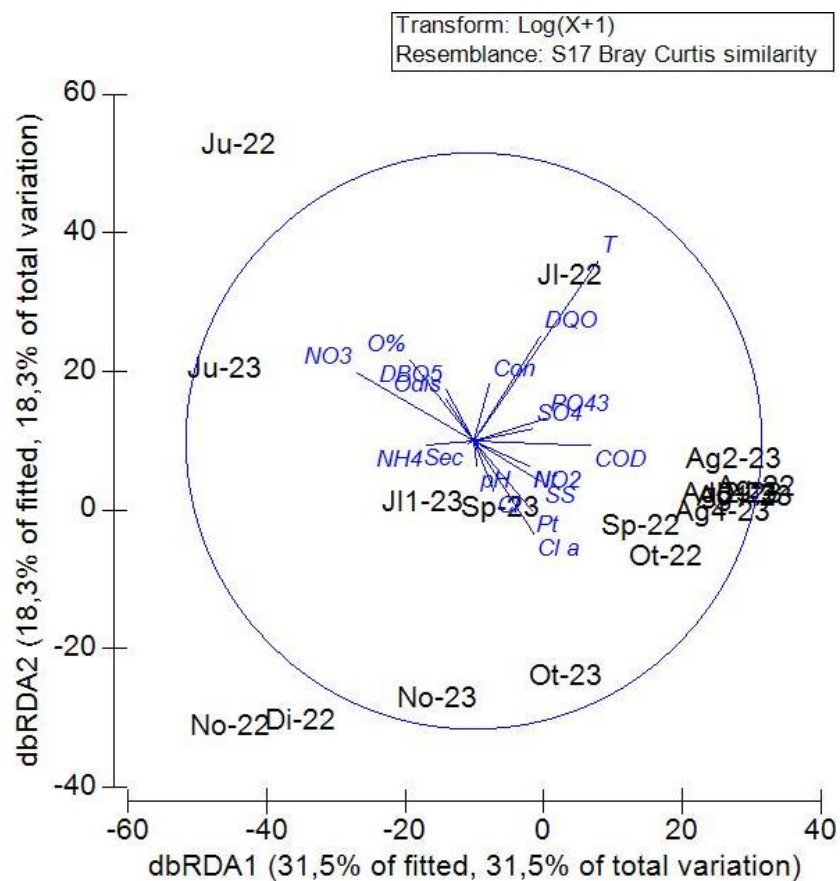


Figura 4. Resultados del análisis db RDA en el embalse de Argos donde podemos observar las fechas de muestreo asociados cada uno a un inventario de fitoplancton y las variables ambientales que más influyen en estas comunidades.

Como hemos comentado en la caracterización taxonómica, los taxones dominantes, según sus valores de abundancia y frecuencia de aparición, son *Binuclearia* y *Merimopedia*.

Si observamos la nube de puntos, las fechas que coinciden con la época estival en especial meses de julio y agosto, se encuentran fuertemente influenciados por estos dos parámetros que más arriba comentamos, es decir, Temperatura (T) y Carbono orgánico disuelto (COD). En estas fechas de verano, tenemos picos de cianos con *Merismopedia* así como de la clorofícea *B.lauterbornii*. Ambos parecen según estos resultados verse influenciados especialmente por las elevadas temperaturas, pues sus poblaciones disminuyen claramente en los meses más fríos de octubre, noviembre o diciembre, de hecho, las dominantes son otros grupos de los géneros *Aphanocapsa* y *Cyanocatena*.

5. CONCLUSIONES

Durante los años 2022-2024 se han detectado algunos Blooms de clorofíceas y de cianobacterias en el embalse del Argos. La gran mayoría de los blooms de cianobacterias, han sido de especies que presentan baja probabilidad de toxicidad como las especies de los géneros *Merismopedia* o *Aphanocapsa*. La tendencia se mantiene de forma similar que los datos históricos que tenemos desde el año 2006 en cuanto a las especies dominantes.

Por lo tanto, tenemos que las especies más abundantes de este embalse según nuestros resultados se encuentran influidos por las elevadas temperaturas y materia orgánica.

Aunque necesitamos más datos, parece que se confirma, como aparece en algunos trabajos (Nöges y Virret, 2001), una mayor frecuencia y abundancia de la especie *B.lauterbornii* (clorofícea) caracterizada por desarrollarse en ambientes cada vez más cálidos. De hecho, los años 2022 y 2023 se han caracterizado por sus elevadas temperaturas, por lo que podría ser una especie indicadora de cambio climático.

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
- Nöges, P. & Viirret, M. 2001. Environmental conditions and the development of Planktonema lauterbornii Schmidle in phytoplankton of Karhijärvi, a lake in SW Finland. Boreal Env. Res. 6: 181–190. ISSN 1239-6095
- WHO (World Health Organization), 2003. Guidelines for Safe Recreational Water Environments—Volume 1: Coastal and Fresh Waters. World Health Organization, Geneva.