

PROYECTO BELICH: SEGUIMIENTO, ESTUDIO Y MODELIZACIÓN DEL ESTADO DEL MAR MENOR

Instituto Español de Oceanografía (IEO-CSIC)



Fotografía: Juan M. Ruiz

Informe de actualización de resultados del programa de seguimiento del estado del Mar Menor (agosto 2023)

NOTA: Los datos presentados y su interpretación deben ponerse en el contexto de informes anteriores disponibles en la página web del IEO-CSIC (http://www.ieo.es/es_ES/web/ieo/mar-menor). Queda absolutamente prohibida la publicación de los datos contenidos en este informe sin el consentimiento previo de los autores y del IEO-CSIC.

Fuentes de Financiación:

- Proyecto DMMEM. IEO-CSIC.
- Proyecto BELICH, IEO-CSIC: Marco de Actuaciones de prioritarias para recuperar el Mar Menor. Sub-Actuación 8.1. Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico (MITERD).
- Proyecto THINKING AZUL. IEO-CSIC.

Equipo de trabajo IEO-CSIC:

Dirección y coordinación: Juan M. Ruiz Fernández, CO Murcia.

Eugenio Fraile Nuez, CO Canarias

Marijn Oosterbaan, CO Canarias (contratado DMMEM)

Patricia Pérez Tórtola, CO Murcia (contratada DMMEM)

Pedro Martínez Martínez, CO Murcia (contratado BELICH)

Rocío García Muñoz, CO Murcia

Jesús M. Mercado, CO Málaga

Isabel Ferrera, CO Málaga

Francisco Gómez Jakobsen, CO Málaga

Lidia Yebra, CO Málaga

Colaboradores externos:

José María Cecilia, Universidad Politécnica de Valencia e IP del WP2 del proyecto SMARTLAGOON.

Informe de actualización de resultados del programa de seguimiento del estado del Mar Menor (agosto 2023)

Este informe debe citarse de la siguiente forma:

IEO-CSIC (2023). Informe de actualización de resultados del programa de seguimiento del Mar Menor (AGOSTO de 2023). Proyecto BELICH: Monitorización, Estudio y Modelización del Mar Menor (MAPMM-MITECO). IEO-CSIC. http://www.ieo.es/es_ES/web/ieo/mar-menor.

Índice

Tabla de contenido

1. Antecedentes y objetivos	4
2. Resultados	6
2.1 Temperatura y olas de calor marinas	6
Muestreos <i>in situ</i>	6
Boya piloto SMLG	9
Campo de Temperatura superficial del Mar Menor - datos satelitales	10
2.2 Salinidad (Conductividad)	16
Muestreos <i>in situ</i>	16
2.3 Clorofila <i>a</i> y turbidez	18
Muestreos <i>in situ</i>	19
Sensores PAR permanentes.....	23
Boya piloto SMLG	24
Series temporales de clorofila <i>a</i> del Mar Menor (datos satelitales)	25
2.4 Oxígeno disuelto y pH	27
Muestreos <i>in situ</i>	27
2.5. Comunidades de plancton	32
3. Síntesis de resultados	35
4. Bibliografía	37
ANEXO I: Boya de monitorización SMARTLAGOON	38
ANEXO II: Calibraciones	39
ANEXO III: Perfiles CTD	50
Temperatura.....	50
Salinidad	55
Clorofila <i>a</i>	60
Turbidez	65
Concentración de Oxígeno	70
pH	75

1. Antecedentes y objetivos

El presente informe resume la información disponible para el conjunto de variables físico-químicas básicas medidas *in situ* necesarias para evaluar el estado general de la columna de agua: (temperatura, salinidad, clorofila-a, transparencia (como Kd, coeficiente de extinción de la luz), oxígeno disuelto y pH), en relación al estado ecológico del Mar Menor. Dicho estado se analiza, tanto en el contexto actual (post-colapso - 2016-2023), como a largo plazo (escala temporal decenal), en línea con los análisis realizados en informes anteriores. Se presenta también una actualización de los avances realizados en el análisis de las comunidades de plancton, que incluyen tanto la cuantificación de diferentes fracciones (pico-, nano- y microplancton) mediante técnicas convencionales (citometría de flujo y microscopía) como la evaluación de la biodiversidad mediante análisis de ADN ambiental.

El actual programa de seguimiento del estado del Mar Menor se puso en marcha en 2016 para obtener conocimiento fiable y objetivo sobre el estado y evolución del Mar Menor a partir del episodio de “sopa verde” ocurrido ese mismo año. Este programa formaba parte del proyecto DMMEM financiado por IEO-CSIC y sus resultados han sido publicados en diferentes informes desde entonces, como puede consultarse en la página web del IEO (http://www.ieo.es/es_ES/web/ieo/mar-menor). Los muestreos de este programa empezaron a realizarse en las estaciones A, B y C de la Figura 1, y en estos informes haremos referencia a ellos como muestreos periódicos *in situ* (en contraposición con las mediciones remotas realizadas con satélites o drones).

El 14 de octubre de 2022 se instaló una boya oceanográfica piloto SMARTLAGOON, en adelante “boya piloto SMLG” en la estación de muestreo B (Figura 1). La boya está diseñada, desarrollada e instalada por el consorcio del proyecto europeo SMARTLAGOON, formado por la Universitat Politècnica de València (UPV), Uppsala University y la empresa VIELCA Ingenieros, S.A. (Grant Agreement Nº 101017861). En el Anexo I de este informe se indican las características técnicas de esta boya y los sensores instalados.

A partir del 2023, estas actividades de monitorización se enmarcan en el proyecto BELICH, financiado por el Marco de Actuaciones para la recuperación del Mar Menor (MAPMM) del MITERD. Como novedad, en 2023 se ha duplicado la frecuencia de muestreo para las variables básicas, pasando de periodicidad mensual a una quincenal. Por tanto, a partir de 2023 se incorporan en estos informes los datos obtenidos con la boya oceanográfica citada anteriormente.. Este equipamiento está contemplado como boya piloto, que sirva como experiencia de prueba y aprendizaje para la instalación del futuro sistema de monitorización del proyecto BELICH (subactuación 8.1 del MAPMM). Además, la tarea 1.1 de BELICH incluye el mantenimiento de esta boya piloto y el control de la calidad de los datos obtenidos de la misma, tarea que el IEO desarrolla desde marzo de 2023.

A partir de febrero de 2023, el programa de monitorización del proyecto BELICH ha empezado a reportar resultados en informes periódicos que serán actualizados cada 2 meses. De acuerdo con esto, el presente informe tiene como objetivo la actualización de los datos obtenidos y mostrados en el informe anterior, tanto a partir de los muestreos *in situ* en las estaciones monitorizadas desde 2016, como a partir de la boya piloto SMLG (Figura 17).

Desde octubre de 2022 se realizan mediciones también mediante CTD, que además de las variables mencionadas proporciona datos de turbidez (NTU), fluorescencia e irradiancia PAR. Con el objetivo de realizar calibraciones y ajustes de deriva de los sensores de la boya SMLG, desde octubre de 2022 se están realizando, en la ubicación B (justo al lado de esta boya), perfiles verticales de variables físico-químicas: temperatura,

conductividad, fluorescencia, oxígeno disuelto, irradiancia PAR, turbidez y pH, utilizando un CTD AAQ-RINKO modelo AAQ176. Los datos de clorofila obtenidos a partir de muestras de agua son empleados para calibrar los datos de fluorescencia del CTD, así como de los datos obtenidos por la boya SMLG. Los resultados de las calibraciones pueden ser consultados en el Anexo II de este informe.

Como se presentó en el informe de abril 2023, se ha agregado una nueva ubicación a las estaciones de muestreo ya establecidas, justo en el medio de una masa de agua blanquecina localizada en la zona centro-oeste de la laguna. Esta estación (M) ya forma parte del programa de seguimiento periódico y está incluida en las figuras y promedios junto con las otras estaciones (A, B, C) (Figura 1).



Figura 1: Ubicación de las estaciones de muestreo (A, B, C y M) mostrada en una imagen de satélite Sentinel2 del 19/06/2023. La ubicación de la boya piloto SMLG coincide con B.

2. Resultados

2.1 Temperatura y olas de calor marinas

La temperatura es un factor clave para la mayoría de los procesos físico-químicos y biológicos que rigen el funcionamiento del ecosistema lagunar. En su estado actual, el ecosistema marino del Mar Menor es mucho más vulnerable tanto a los efectos de los impactos antropogénicos locales como a los relacionados con el cambio climático, entre ellos el calentamiento global. Por ello, se está trabajando en diferentes y complementarias fuentes de datos que permitan conocer la variación espacio-temporal de esta variable con alta resolución, así como su tendencia a corto, medio y largo plazo. Dichas fuentes son las siguientes:

- 1.- Sensor HOBO sumergido a 1.5 metros: provee series temporales continuas de la variable desde el año 2012.
- 2.- Muestreos con sondas multiparamétricas (proyecto DMMEM; proyecto BELICH desde 2023): datos desde 2016 con frecuencia desde semanal hasta mensual, dependiendo del estado de la laguna.
- 3.- Perfiles verticales con CTD desde octubre de 2022 (proyecto BELICH)
- 4.- Sensores boya SMLG: proveen datos de temperatura a diferentes profundidades en continuo y tiempo casi-real a diferentes profundidades desde octubre de 2022.
- 5.- Datos satelitales: incrementan la resolución espacial y temporal de las series generadas.

Muestreos *in situ*

La Figura 2 muestra la serie temporal completa de las temperaturas medias (media total) obtenidas para el Mar Menor desde 2016 en las estaciones de muestreo (Figura 1). Se puede observar un patrón estacional normal con temperaturas medias mínimas en invierno [10-14°C] y máximas en verano [28-30°C] (más información en la Tabla 1). Algunos aspectos relevantes de la serie temporal, muestran que el invierno de 2023 ha sido considerablemente más frío que el invierno anterior (2022), con una diferencia de -1.5°C, alcanzando temperaturas mínimas alrededor de los 10.6°C aunque, ligeramente superiores a las registradas en los inviernos de 2017 y 2021 (10.1-10.2°C). Partiendo de un invierno relativamente frío, la temperatura en primavera y verano de 2023 ha estado por encima de los valores obtenidos en años anteriores, con valores máximos medios de 28,6°C y 31,2°C (Tabla 1).

Los datos indican que apenas existe estratificación térmica en la columna de agua del Mar Menor, excepto en eventos muy puntuales y de muy corta duración asociados a eventos climatológicos extremos (p.ej. fenómenos de Depresión Aislada en Niveles Altos, DANA), como se ha comentado en informes anteriores.

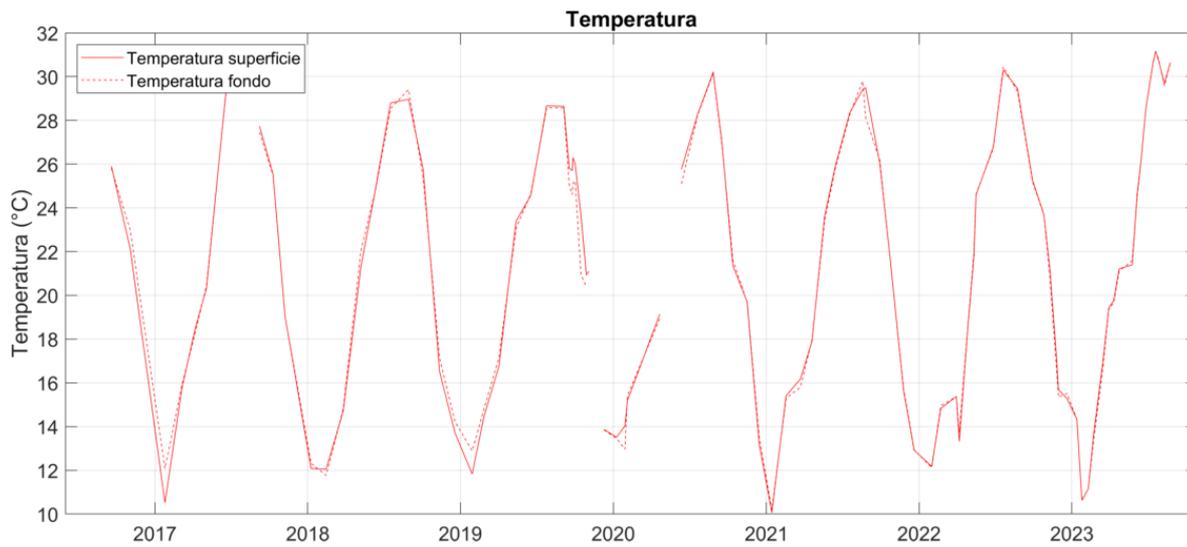


Figura 2: Serie temporal de la temperatura media superficial (línea continua) y temperatura media del fondo (línea discontinua) durante los muestreos *in situ* del proyecto DMMEM y BELICH en las posiciones A, B, C y M (ver Figura 1).

Tabla 1: Valores medios, mínimos (Min) y máximos (Max) de temperatura medidos durante los muestreos *in situ* DMMEM por año. Std: desviación estándar.

Temperatura Muestreo (°C)		Superficie				Fondo			
Año	Estación	Media	Std	Min	Max	Media	Std	Min	Max
2016	Invierno	---	---	---	---	---	---	---	---
	Primavera	---	---	---	---	---	---	---	---
	Verano	25.9	0.0	25.9	25.9	25.8	0.0	25.8	25.8
	Otoño	22.1	0.0	22.1	22.1	23.0	0.0	23.0	23.0
	Anual	25.2	2.8	22.1	27.5	25.5	2.4	23.0	27.8
2017	Invierno	13.2	3.7	10.5	15.8	14.0	2.7	12.1	16.0
	Primavera	22.9	6.1	18.5	29.8	22.8	6.1	18.3	29.7
	Verano	29.1	1.9	27.7	30.4	29.0	2.1	27.5	30.5
	Otoño	22.3	4.6	19.0	25.5	22.3	4.6	19.0	25.5
	Anual	22.0	6.8	10.5	30.4	22.1	6.5	12.1	30.5
2018	Invierno	13.0	1.5	12.1	14.7	13.0	1.6	11.8	14.8
	Primavera	23.1	2.5	21.3	24.9	23.4	2.0	22.0	24.8
	Verano	28.9	0.1	28.8	29.0	29.0	0.6	28.5	29.4
	Otoño	18.7	6.3	13.7	25.8	18.9	5.8	14.2	25.4
	Anual	19.9	6.8	12.1	29.0	20.0	6.8	11.8	29.4
2019	Invierno	13.1	1.8	11.8	14.4	13.8	1.3	12.9	14.8
	Primavera	21.6	4.2	16.8	24.6	21.6	3.9	17.2	24.6
	Verano	27.0	1.5	25.7	28.7	26.4	2.0	24.6	28.6
	Otoño	21.1	4.5	13.9	26.0	20.1	4.7	13.8	25.2
	Anual	22.1	5.5	11.8	28.7	21.8	5.3	12.9	28.6
2020	Invierno	14.2	0.9	13.5	15.2	13.9	1.3	13.0	15.4
	Primavera	22.5	4.7	19.1	25.8	22.0	4.4	18.9	25.1
	Verano	28.5	1.6	27.1	30.2	28.5	1.6	27.0	30.2
	Otoño	18.1	4.3	13.2	21.4	18.3	4.2	13.5	21.6
	Anual	20.7	6.3	13.2	30.2	20.6	6.3	13.0	30.2
2021	Invierno	13.9	3.3	10.1	16.2	13.8	3.1	10.2	15.8
	Primavera	22.5	4.1	17.9	25.9	22.4	4.0	18.0	25.8

2022	Verano	28.3	1.6	26.0	29.5	28.1	1.5	26.2	29.8
	Otoño	16.7	4.4	12.9	21.4	16.7	4.3	12.9	21.4
	Anual	20.9	6.7	10.1	29.5	20.8	6.5	10.2	29.8
	Invierno	14.1	1.7	12.2	15.4	14.1	1.8	12.1	15.4
	Primavera	21.0	5.3	13.3	26.8	21.1	5.1	13.7	26.7
2023	Verano	28.3	2.7	25.3	30.3	28.3	2.8	25.2	30.4
	Otoño	18.7	3.7	15.3	23.7	18.5	3.7	15.3	23.7
	Anual	20.4	5.8	12.2	30.3	20.3	5.8	12.1	30.4
	Invierno	14.3	3.4	10.6	19.4	14.3	3.3	10.6	19.4
	Primavera	24.1	3.4	19.8	28.6	24.1	3.4	19.7	28.6
	Verano	30.6	0.5	29.7	31.2	30.6	0.6	29.6	31.2
	Otoño	---	---	---	---	---	---	---	---
Anual	---	---	---	---	---	---	---	---	

Boya piloto SMLG

Debido a la reciente instalación de la boya piloto de monitorización SMARTLAGOON en el Mar Menor, los datos suministrados por sus sensores cubren todavía un periodo de tiempo corto. No obstante, en la laguna se dispone de una serie temporal continua desde 2012 obtenida con sensores sumergibles HOBO instalados por el Centro Oceanográfico de Murcia de forma permanente a 1.5 de profundidad. Ambas fuentes de datos son complementarias y nos ha permitido reconstruir la evolución de la temperatura a largo plazo y con muy elevada resolución temporal, lo que ha permitido a su vez llevar a cabo una intercalibración con datos satelitales de temperatura superficial (SST) y realizar así un análisis a largo plazo (decenal) de las olas de calor en la laguna (ver resultados al final de este apartado. Figura 7. Tabla 2).

Con la instalación de la boya SMLG se dispone de datos de temperatura a varias profundidades (Figura 3) permitiendo obtener estas series de alta resolución temporal en el perfil vertical de la columna de agua. Como ya se ha comentado, en general en el Mar Menor no se produce una estratificación térmica significativa (ausencia de termoclina), pero en los datos recogidos por la boya SMLG se puede apreciar un leve calentamiento de la capa más superficial (0.5 metros de profundidad) durante ciertos días (días soleados).

Como es propio de la época invernal, tanto a mitad de noviembre del 2022 como a mitad de enero de 2023, la serie muestra importantes descensos de la temperatura en toda la columna de agua, con una anomalía térmica de hasta -2.5°C . La segunda de ellas, en la segunda mitad de enero de 2023, coincidió con el final de una larga ola de calor (en relación a la temperatura media histórica del mismo mes), como se explicó en el informe de abril 2023. Entre febrero y el principio de mayo (cuando la boya fue sacada del agua para su mantenimiento), la gráfica muestra el rápido calentamiento del agua hasta valores máximos de 24°C , característico del periodo primaveral. El hueco de datos existente en la serie temporal entre mayo-junio de

2023 es debido a la retirada de la boya piloto para su limpieza y sustitución de sensores. Una vez reinstalada en su posición inicial, los valores de temperatura continúan siendo algo más bajos que los que les precedía antes de sacarla del agua, lo que corresponde con una pequeña disminución de la temperatura en este periodo (el muestreo *in situ* lo confirma, Figura 2). Esto es debido a un periodo de inestabilidad atmosférica que dio lugar a precipitaciones y varios temporales. A partir de este momento, la temperatura del agua del Mar Menor comienza a subir progresivamente hasta valores de 31°C en julio y agosto, lo que es consistente con los datos mostrados en el apartado anterior (Tabla 1).

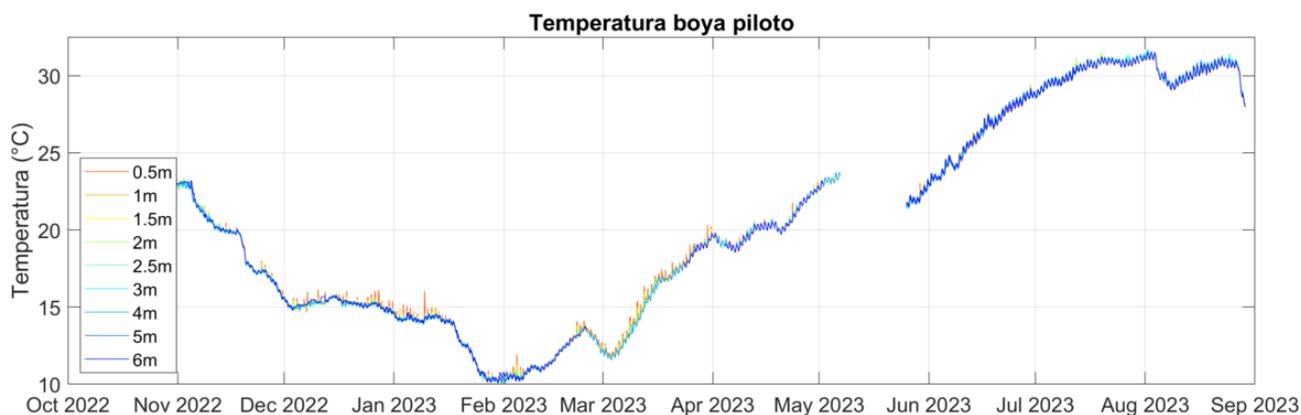


Figura 3: Serie temporal de temperatura obtenida a cada profundidad por los sensores de la boya SMLG, calibrados con los datos de CTD obtenidos por el IEO-CSIC.

Campo de Temperatura superficial del Mar Menor - datos satelitales

Con el fin de hacer uso de todas las herramientas disponibles para el control y estudio del Mar Menor, se han estudiado los datos de temperatura superficial del Mar Menor obtenidos a partir de imágenes satelitales desde 1982 para toda la laguna del Mar Menor (de Copernicus Mediterranean Sea – High Resolution L4 Sea Surface Temperature Reprocessed 0.05 deg resolution <https://doi.org/10.48670/moi-00173>). Para mejorar la precisión de los datos, la serie temporal de temperatura superficial fue calibrada con mediciones *in situ* de temperatura a través de sensores Hobo Water Temp Pro v2 colocados a 1-1.5m en el puerto de Lo Pagán y con la boya SMLG (calibración en Anexo I). Para tener datos al día de hoy, se utilizan los datos *in situ* cuando estén disponibles.

La Figura 4 muestra los promedios por año de temperatura superficial del Mar Menor. Se aprecia claramente como existe una significativa tendencia positiva en las últimas tres décadas del orden de 2°C de calentamiento en total, a una tasa de +0.034°C por año.

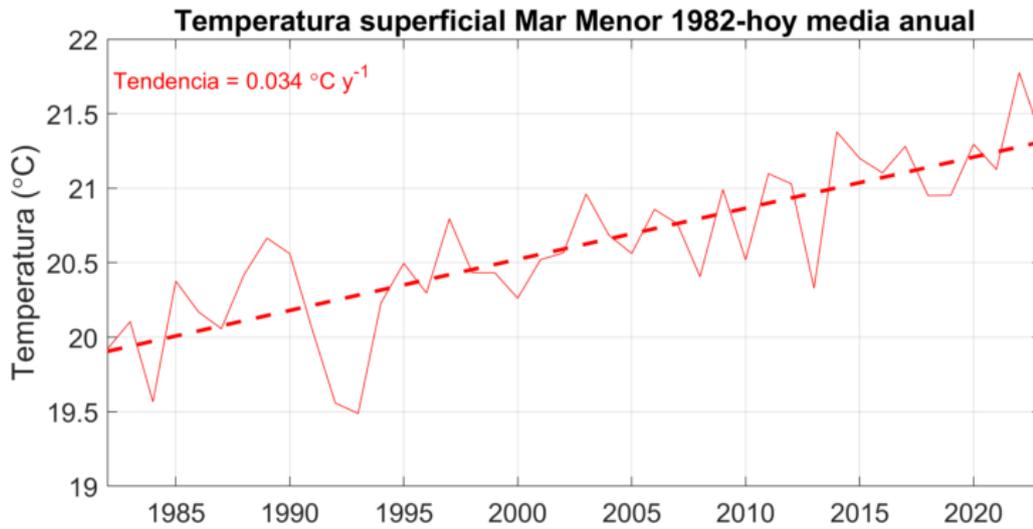


Figura 4: Serie temporal de temperatura media anual de 1982 hasta 2023.

Se ha realizado un análisis de olas de calor con la clasificación propuesta por Hobday et al. (2018, <https://doi.org/10.5670/oceanog.2018.205>). Una ola de calor marina es un período de temperaturas marinas anormalmente altas en relación con la temperatura estacional promedio en una región marina en particular, el Mar Menor en este caso. Un período de temperaturas altas se considera ola si dura cinco o más días, con temperaturas superiores al percentil climatológico 90 (P_{90}) según un período de referencia histórico de 30 años. La serie temporal de temperatura media obtenida en este período de referencia es lo que, de aquí en adelante, denominamos Climatología. De esta forma se establecen 4 categorías de olas de calor dependiendo de cuánto multiplique la temperatura media diaria el percentil climatológico 90: moderado ($1-2 \times P_{90}$, categoría I), fuerte ($2-3 \times P_{90}$, categoría II), severo ($3-4 \times P_{90}$, categoría III), extremo ($1-4 \times P_{90}$, categoría IV).

Para establecer la referencia climatológica de la temperatura superficial en el Mar Menor se ha utilizado la serie temporal de la temperatura superficial como se ha mencionado al principio de este apartado, usando los datos del periodo 1982-2012 (31 años total). La Figura 5a muestra todos estos años superpuestos con la climatología resultante. La Figura 5b muestra esta climatología con las temperaturas del año 2023 de la boya SMLG. Se ve ya claramente como el año ha sido más cálido estos últimos meses respecto a la línea definida como climatología.

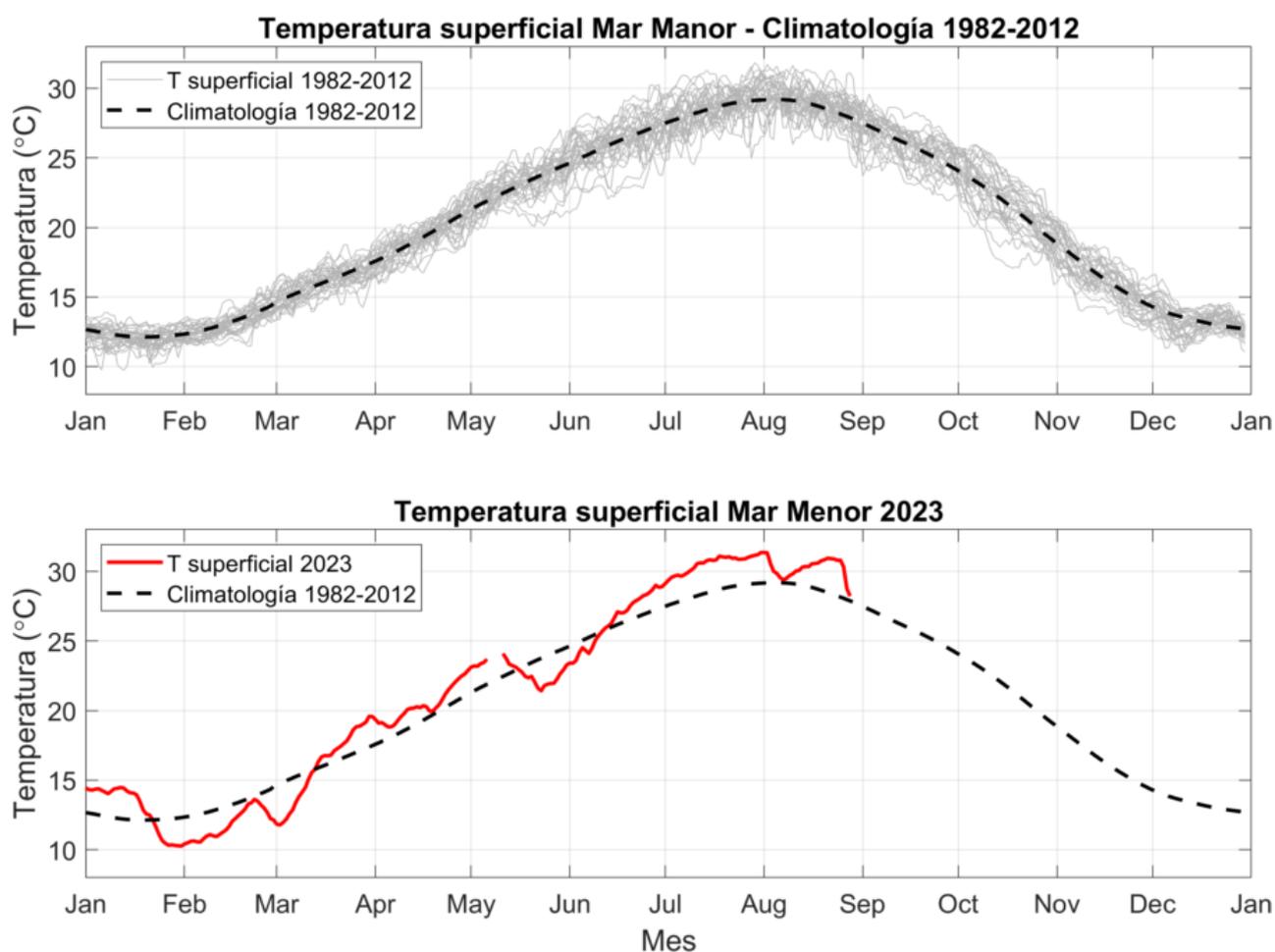


Figura 5: Serie temporal de temperatura obtenida a cada profundidad por los sensores de la boya SMLG, calibrados con los datos de CTD obtenidos por el IEO-CSIC. 5a: la serie climatológica utilizada como referencia para el análisis de olas de calor (1982-2012). 5b: Serie de temperatura comparada con la serie climatológica de referencia

La Figura 6 muestra los resultados del análisis de olas de calor para los años 2022 y 2023. En el año 2022, aproximadamente un tercio de los días alcanzaron temperaturas de ola de calor, algunos de los cuales incluso se clasificaron como olas fuertes (Categoría II, Fuerte). En el transcurso del presente año 2023, se han registrado cinco episodios de olas de calor. De estos, cuatro han sido clasificados como olas moderadas (categoría I), mientras que la restante ha sido calificada como ola de calor fuerte (categoría II). Es relevante destacar que esta última ola de calor se originó como una continuación de la última ola de calor registrada en el año 2022, la cual abarcó el período desde el 7 de diciembre de 2022 hasta el 18 de enero de 2023. Al analizar y comparar las estaciones de primavera y verano de estos dos últimos años, se puede constatar que la intensidad de las olas de calor marinas en la laguna ha sido menos pronunciada en el año 2023 en comparación con el año anterior, el cual destacó por ser uno de los años que registró olas de calor más intensas en la serie histórica.

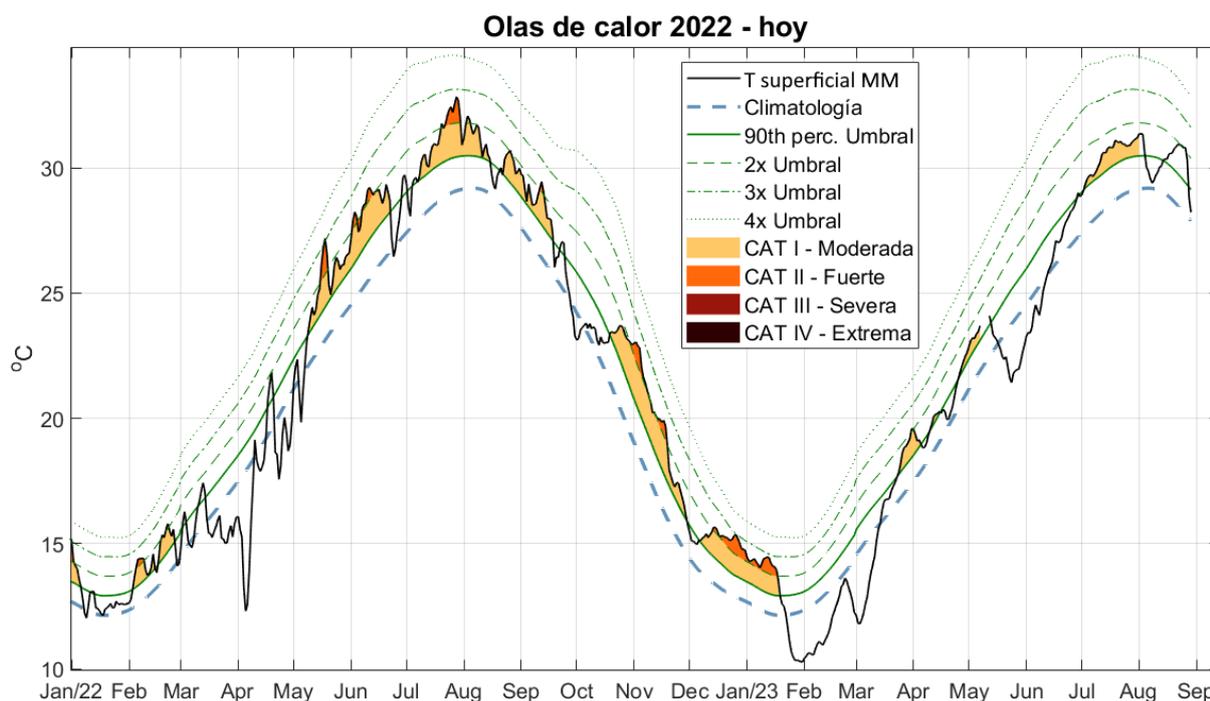


Figura 6: Serie temporal de temperatura de 2022 y 2023 comparado con la climatología, mostrando varias olas de calor.

La Figura 7 y la Tabla 2 muestran las características por año desde 1982 de las olas de calor marinas. Para hacer más sencillo este análisis anual, hemos separado las olas de calor que comienzan en un año y terminan en otro (desde diciembre hasta enero) en dos olas distintas. Se ve claramente que las olas de calor se han ocurrido con mucha más frecuencia en los últimos diez años y también se están volviendo más extremas, siendo 2013, 2014, 2015 y 2022 los años en que se produjeron las olas más intensas hasta el momento. La intensidad acumulada es una combinación entre la intensidad media de las olas y la duración, siendo un buen indicador del posible impacto del calentamiento en el ecosistema lagunar.

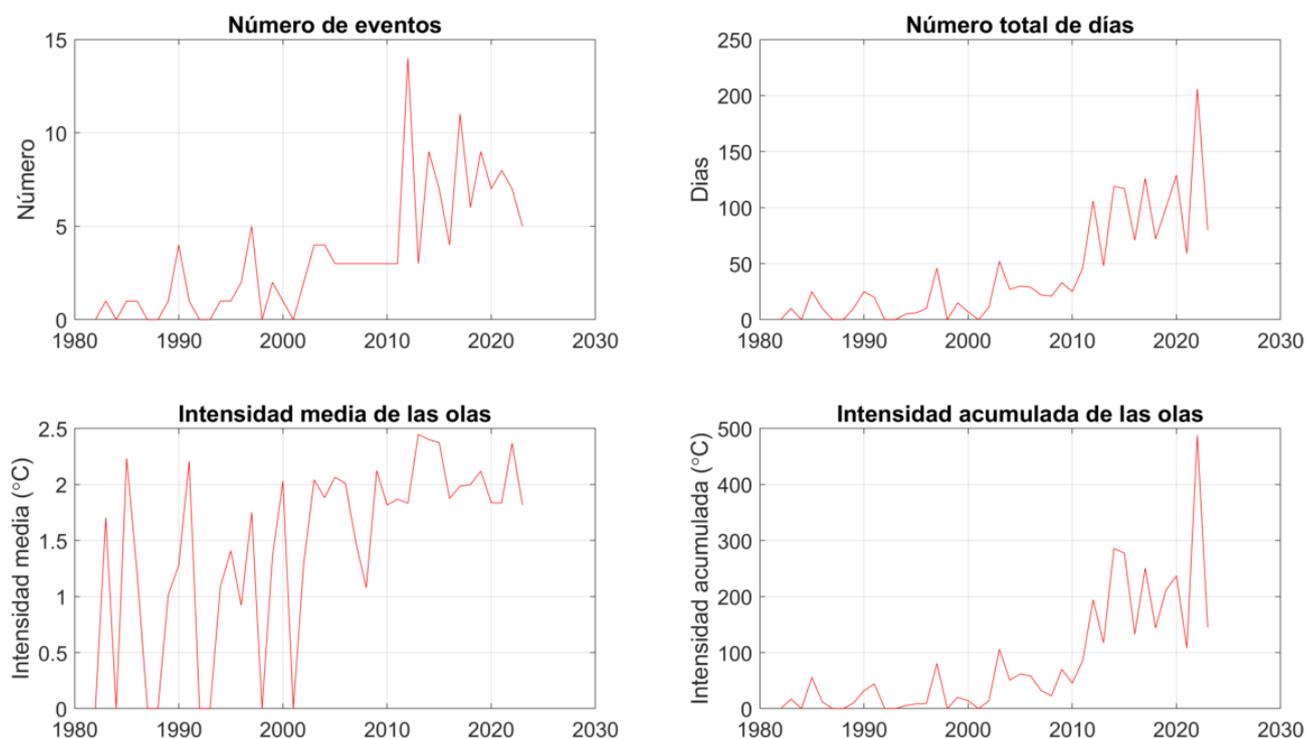


Figura 7: Estadísticas de olas de calor por año desde 1982.

Estos resultados sugieren que, aunque en 2023 no ha tenido lugar una ola de calor tan extrema como en años anteriores, el calentamiento del agua de la laguna se ha acelerado en los últimos años y, en combinación con el exceso de nutrientes, podría estar relacionado con los mecanismos disruptivos que han conducido al colapso ecosistémico y su actual estado alterado. Si esta tendencia persiste, teniendo en cuenta que el estado actual del ecosistema es más vulnerable, se podría estar llegando a umbrales de tolerancia de ciertas especies a esta variable, lo que podría desencadenar nuevos episodios disruptivos a corto y medio plazo del ecosistema lagunar.

Tabla 2: Estadísticas olas de calor desde 1982. Se presenta el número de olas de calor (Eventos), la suma total de días con olas de calor, la intensidad media de las olas (Int. media) e intensidad acumulada (Int. Acumulada) Se muestran los valores coloreados desde tonos blanco-amarillo (valores bajos) hasta naranja oscuro (valores altos).

Año	Eventos	Días total	Int. media	Int. acumulada
1982	0	0	0.00	0.00
1983	1	10	1.70	17.04
1984	0	0	0.00	0.00
1985	1	25	2.23	55.82
1986	1	10	1.21	12.10
1987	0	0	0.00	0.00
1988	0	0	0.00	0.00
1989	1	10	1.02	10.18
1990	4	25	1.28	31.99
1991	1	20	2.21	44.12
1992	0	0	0.00	0.00
1993	0	0	0.00	0.00
1994	1	5	1.09	5.45
1995	1	6	1.41	8.46
1996	2	10	0.92	9.20
1997	5	46	1.75	80.59
1998	0	0	0.00	0.00
1999	2	15	1.36	20.35
2000	1	7	2.03	14.21
2001	0	0	0.00	0.00
2002	2	11	1.30	14.25
2003	4	52	2.04	106.17
2004	4	27	1.88	50.83
2005	3	30	2.06	61.95
2006	3	29	2.01	58.30
2007	3	22	1.48	32.64
2008	3	21	1.08	22.66
2009	3	33	2.12	70.09
2010	3	25	1.82	45.44
2011	3	46	1.87	85.95
2012	14	106	1.83	194.20
2013	3	48	2.45	117.46
2014	9	119	2.40	285.78
2015	7	117	2.37	277.66
2016	4	71	1.87	133.12
2017	11	126	1.99	250.28
2018	6	72	2.00	143.87
2019	9	100	2.12	211.93
2020	7	129	1.84	236.98
2021	8	59	1.84	108.31
2022	7	206	2.37	487.84
2023*	5	80	1.82	145.30

*hasta 29-8-2023

2.2 Salinidad (Conductividad)

Al igual que la temperatura, la salinidad es una variable clave para entender la composición y dinámica del ecosistema lagunar, pero también un indicador del balance hídrico resultante de tres procesos fundamentales: la evaporación, los aportes continentales y el intercambio con el Mediterráneo.

En este programa de seguimiento la salinidad, como variable derivada, se determina a partir de los datos de conductividad del mar, de la temperatura y de la presión. Se han obtenido datos desde 2016 con frecuencia semanal hasta mensual, dependiendo del estado de la laguna.

Muestras *in situ*

La Figura 8 combina la visualización de la serie temporal de la salinidad media junto con los datos de precipitación diaria procedente de la estación meteorológica de San Javier Aeropuerto (AEMET). A los datos de precipitación se le aplicó una media móvil de una semana para ilustrar el patrón temporal de lluvia en el periodo considerado. Tras su drástica caída a consecuencia de una serie de eventos torrenciales (DANAs) entre 2019 y 2020, esta variable se ha mantenido en valores bajos (no superiores a 43.2; Tabla 2) respecto a los rangos normalmente registrados años anteriores (e históricamente) en la laguna (Ruiz et al. 2020). En comparación, la tendencia plurianual de esta variable sí mostró una recuperación a valores medios superiores a 45 tras las lluvias torrenciales de 2017, pero en estos años el régimen de precipitaciones fue menos intenso. No obstante, la salinidad máxima de verano de 2023 (44,2; Tabla 3) es superior a la de los años precedentes, mostrando cierta tendencia al aumento desde 2020. Por otro lado, como se muestra en la Figura 8 con los datos de salinidad de superficie y fondo, en ningún momento del periodo 2021-23 se ha observado algún tipo de estratificación halina (ver Tabla 2 para más información). Dicha estratificación tan solo ha sido evidente durante eventos puntuales de lluvias torrenciales (enero 2017 y septiembre-octubre de 2019). Desde 2021 no se han producido episodios de precipitación con intensidad suficiente para causar algún tipo de estratificación de la columna de agua.

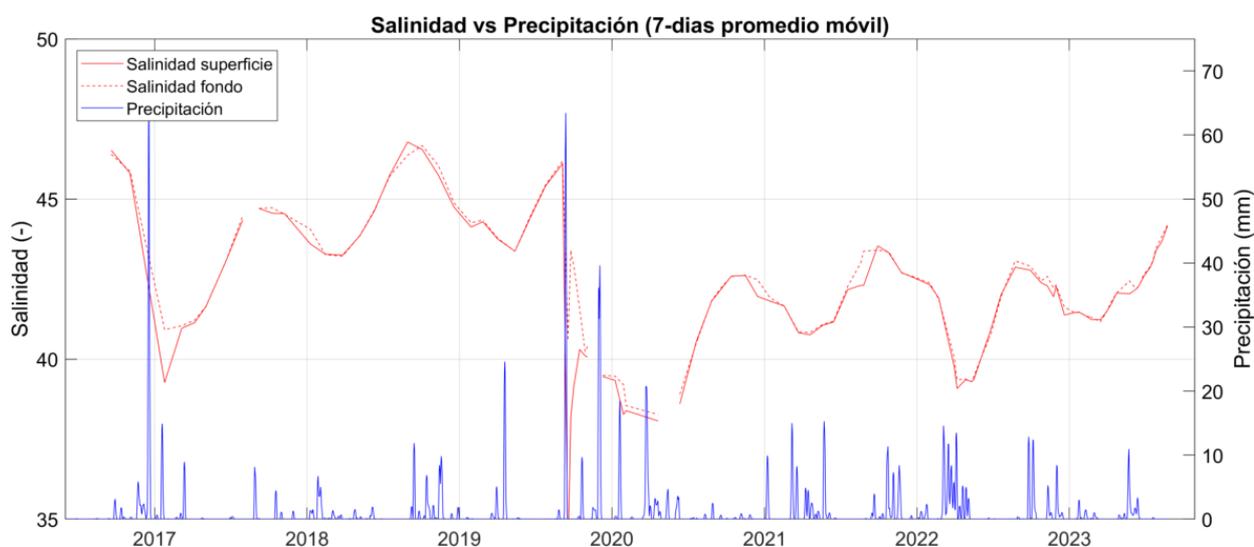


Figura 8: Serie temporal de la salinidad promedio en superficie (rojo continuo) y fondo (rojo discontinuo) en las posiciones A, B, C y M de los muestreos del proyecto DMMEM. Datos de precipitación en el aeropuerto de San Javier obtenidos de la AEMET (azul).

Tabla 3: Valores medios, mínimos (Min) y máximos (Max) de salinidad medidos durante los muestreos cada año. Std: desviación estándar.

Salinidad Muestreo (-)		Superficie				Fondo			
Año	Estación	Media	Std	Min	Max	Media	Std	Min	Max
2016	Invierno	---	---	---	---	---	---	---	---
	Primavera	---	---	---	---	---	---	---	---
	Verano	46.5	0.0	46.5	46.5	46.4	0.0	46.4	46.4
	Otoño	45.8	0.0	45.8	45.8	45.9	0.0	45.9	45.9
	Anual	45.3	1.5	43.6	46.5	45.3	1.5	43.6	46.4
2017	Invierno	40.1	1.2	39.3	41.0	41.0	0.1	40.9	41.0
	Primavera	42.0	1.0	41.1	43.1	42.0	1.0	41.2	43.1
	Verano	44.5	0.3	44.3	44.7	44.6	0.2	44.5	44.7
	Otoño	44.6	0.0	44.5	44.6	44.6	0.1	44.5	44.7
	Anual	42.7	2.0	39.3	44.7	42.9	1.7	40.9	44.7
2018	Invierno	43.4	0.2	43.2	43.6	43.5	0.5	43.2	44.1
	Primavera	44.2	0.6	43.9	44.6	44.3	0.6	43.9	44.7
	Verano	46.3	0.7	45.7	46.8	46.0	0.5	45.7	46.4
	Otoño	45.7	0.9	44.7	46.5	45.9	0.9	44.9	46.7
	Anual	44.8	1.3	43.2	46.8	44.9	1.3	43.2	46.7
2019	Invierno	44.2	0.1	44.1	44.3	44.3	0.1	44.3	44.3
	Primavera	43.8	0.5	43.4	44.4	43.8	0.5	43.4	44.4
	Verano	40.4	5.2	33.9	46.1	43.8	2.2	40.6	46.2
	Otoño	39.8	0.5	39.1	40.3	40.9	1.3	39.5	42.9
	Anual	41.4	3.4	33.9	46.1	42.9	2.0	39.5	46.2
2020	Invierno	38.7	0.6	38.3	39.3	39.1	0.5	38.5	39.5
	Primavera	38.3	0.4	38.1	38.6	38.6	0.4	38.3	38.9
	Verano	41.5	0.8	40.5	42.1	41.5	0.9	40.5	42.2

2021	Otoño	42.4	0.4	42.0	42.6	42.6	0.1	42.5	42.6
	Anual	40.4	1.9	38.1	42.6	40.6	1.8	38.3	42.6
	Invierno	41.4	0.5	40.8	41.8	41.5	0.6	40.8	41.9
	Primavera	41.0	0.2	40.8	41.2	41.0	0.2	40.8	41.2
	Verano	42.6	0.6	42.2	43.5	43.0	0.5	42.3	43.4
2022	Otoño	42.9	0.4	42.6	43.3	42.9	0.4	42.6	43.4
	Anual	42.0	0.9	40.8	43.5	42.2	1.0	40.8	43.4
	Invierno	41.3	1.4	39.8	42.3	41.4	1.2	40.0	42.4
	Primavera	39.6	0.8	39.1	40.9	39.7	0.6	39.3	40.8
	Verano	42.5	0.5	42.0	42.9	42.6	0.6	41.9	43.1
2023	Otoño	42.1	0.4	41.4	42.4	42.2	0.4	41.6	42.6
	Anual	41.2	1.4	39.1	42.9	41.4	1.4	39.3	43.1
	Invierno	41.4	0.1	41.2	41.5	41.4	0.1	41.3	41.5
	Primavera	42.2	0.3	41.7	42.6	42.2	0.3	41.8	42.6
	Verano	43.4	0.5	42.9	44.2	43.5	0.5	42.9	44.2
	Otoño	---	---	---	---	---	---	---	---
Anual	---	---	---	---	---	---	---	---	

2.3 Clorofila α y turbidez

La clorofila α y la turbidez son dos indicadores clave de la calidad del agua en ecosistemas marinos costeros. La primera es indicadora de la productividad fitoplanctónica y la segunda contribuye a la extinción de la luz solar incidente entre la superficie y el fondo (Kirk 1983). Ambas variables se encuentran íntimamente relacionadas ya que las células fitoplanctónicas absorben luz para la fotosíntesis, contribuyendo al aumento de la turbidez (disminución de la transparencia), no obstante, esta depende también de otras variables como las partículas en suspensión tanto orgánicas como inorgánicas, zooplancton, bacterias y las denominadas “substancias amarillas”, que son compuestos orgánicos disueltos coloreados. En consecuencia, la turbidez del agua puede ser el resultado neto de uno o varios procesos que controlan dichas variables (exceso de nutrientes, resuspensión de sedimento por vientos y oleaje, aportes terrígenos, procesos de descomposición de la materia orgánica, etc.). Ambas variables son clave también para explicar las propiedades ópticas de las masas de agua y pueden ser empleadas para controlar la calidad del agua mediante sensores remotos multispectrales (imágenes de satélite).

Metodología:

- Desde mayo de 2016 ambas variables son determinadas a partir de muestreos *in situ* en las estaciones de muestreo (Figura 1). La clorofila *a* se determina a partir de muestras de agua tomadas a 3-4 m de profundidad con periodicidad mínima mensual; las muestras se filtran en laboratorio y se mide la concentración de clorofila *a* mediante métodos espectrofotométricos. La transparencia se estima como coeficiente de extinción de la luz (k , m^{-1}) a partir de mediciones de irradiancia PAR en superficie y fondo mediante un sensor LiCor plano (2π), realizadas en las mismas estaciones de muestreo.
- A partir del 26 de octubre 2022 se están realizando mediante CTD perfiles verticales de fluorescencia de clorofila *a* y turbidez (tanto NTU como a partir de irradiancia PAR) en las mismas estaciones de muestreo.
- A partir del 14 de octubre 2022 se están obteniendo además series temporales de muy alta resolución de estas variables a partir del sensor de fluorescencia y turbidez (NTU) de la boya piloto SMLG. La medición de la turbidez como NTU (unidad nefelométrica de turbidez) se basa en la proporción de luz dispersada o *backscatter*.
- A lo anterior hay que añadir la instalación de dos sensores PAR fondeados de forma permanente a 6 m de profundidad en el punto B (aprovechando la estructura sumergida de la boya piloto SMLG y a 1 m de profundidad en el nordeste de la laguna), lo que nos permite obtener una serie temporal de alta resolución del coeficiente de extinción de la luz (k) y compararla con la obtenida en los muestreos periódicos *in situ* con menor resolución temporal.
- Los valores de fluorescencia obtenidos tanto a partir de los sensores del CTD como de la boya SMLG se están intercalibrando con las determinaciones espectrofotométricas de clorofila *a*, mucho más cercanas a la concentración real dado que la fluorescencia puede variar sin cambios en la concentración según las condiciones de irradiancia y la fisiología del fitoplancton. El resto de variables también son controladas por sus correspondientes calibraciones. Los resultados de esta calibración se muestran en el Anexo II de este informe.

A continuación, se resumen los resultados obtenidos de estas variables mediante las diferentes aproximaciones mencionadas.

Muestreos *in situ*

Desde otoño de 2022 los valores medios de clorofila han descendido gradualmente en toda la laguna y se encuentran estabilizados en valores promedio de 0,7-0,8 mg/m^3 , a excepción de la zona centro-oeste en que se ha detectado la masa de agua blanquecina (Estación M) donde los valores medios de clorofila son consistentemente más elevados respecto al resto de estaciones (Figura 11, Tabla 4).

La transparencia de la columna de agua (k , coeficiente de extinción de la luz; Tabla 4 y Figura 10) muestra una dinámica general similar a la clorofila *a*, pero mucho más variable en determinados momentos. En 2023, en las estaciones A, B y C, los valores medios de k se reducen casi consistentemente a la mitad durante los meses de invierno ($0.2 m^{-1}$) y aumenta hacia valores medios de 0.4 en primavera y verano (Figuras 8 y 9; Tabla 3). Por el contrario, en la estación M se alcanzan valores extremadamente altos del coeficiente de extinción de la luz, de hasta 1 orden de magnitud mayor ($> 1 m^{-1}$). Esta turbidez tan extrema tan solo fue suavizada durante un evento de fuertes lluvias en mayo, pero la masa de agua blanquecina recuperó su extensión, forma y color previos inmediatamente después de dicho evento, recuperando así los valores de coeficiente de extinción de

luz que tenía antes de las lluvias. Esto da una idea del comportamiento anormalmente estable de esta masa de agua blanquecina, no observable en las plumas creadas por vertidos desde tierra o emisarios.

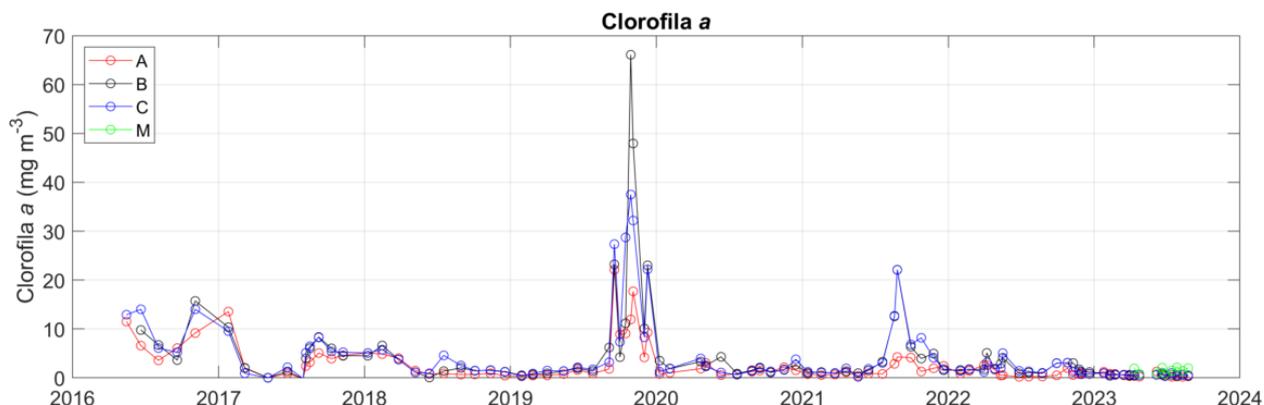


Figura 9: Serie temporal de clorofila *a* de los muestreos del proyecto DMMEM en las ubicaciones A, B, C y M de la Laguna del Mar Menor.

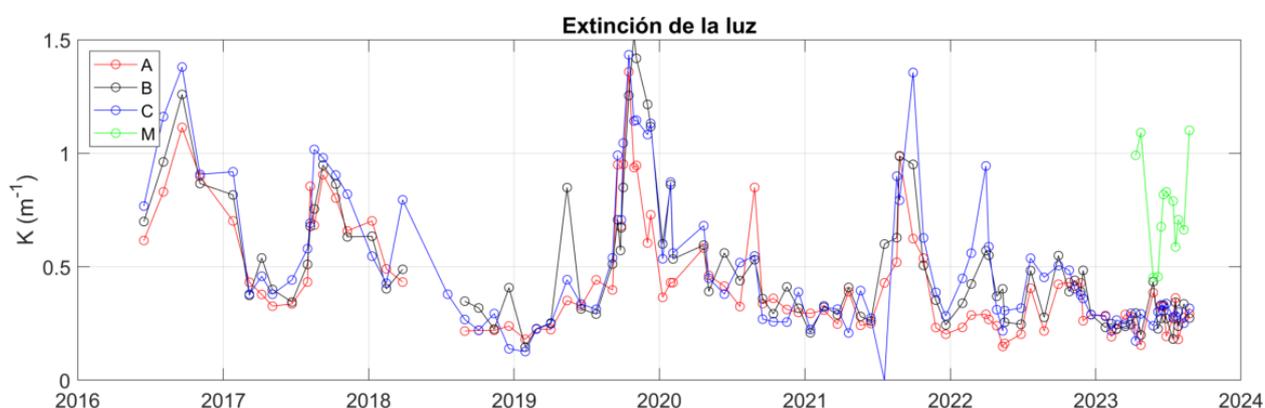


Figura 10: Serie temporal completa de la extinción de la luz para los muestreos del proyecto DMMEM en las ubicaciones A, B, C y M.

Tabla 4: Valores medios, mínimos (Min) y máximos (Max) de clorofila *a* y extinción de la luz medidos durante los muestreos *in situ* de cada año. Std: desviación estándar.

4 m profundidad		Clorofila <i>a</i> (mg/m ³)				Extinción de luz K (m ⁻¹)			
Año	Estación	Media	Std	Min	Max	Media	Std	Min	Max
2016	Invierno	---	---	---	---	---	---	---	---
	Primavera	---	---	---	---	---	---	---	---
	Verano	5.46	0.11	5.38	5.54	1.12	0.19	0.98	1.25
	Otoño	12.33	0.00	12.33	12.33	0.89	0.00	0.89	0.89
	Anual	9.26	3.52	5.38	12.33	0.95	0.23	0.69	1.25
2017	Invierno	6.24	6.20	1.86	10.63	0.60	0.30	0.39	0.81

2018	Primavera	0.77	1.10	0.00	1.55	0.40	0.05	0.37	0.46
	Verano	4.15	3.13	0.00	7.27	0.75	0.18	0.51	0.94
	Otoño	5.02	0.28	4.83	5.22	0.78	0.11	0.70	0.86
	Anual	4.07	3.37	0.00	10.63	0.63	0.22	0.37	0.94
	Invierno	4.86	1.36	3.45	6.16	0.55	0.10	0.44	0.63
2019	Primavera	0.92	0.44	0.61	1.23				
	Verano	2.01	0.39	1.74	2.29	0.33	0.07	0.28	0.38
	Otoño	1.18	0.19	0.98	1.35	0.25	0.01	0.25	0.26
	Anual	2.40	1.87	0.61	6.16	0.38	0.15	0.25	0.63
	Invierno	0.55	0.18	0.42	0.69	0.19	0.05	0.15	0.23
2020	Primavera	1.36	0.49	0.97	1.91	0.37	0.16	0.24	0.55
	Verano	9.77	12.59	1.31	24.24	0.59	0.20	0.35	0.88
	Otoño	20.00	13.02	6.84	38.52	1.10	0.16	0.95	1.35
	Anual	11.03	12.87	0.42	38.52	0.69	0.39	0.15	1.35
	Invierno	1.74	0.16	1.62	1.86	0.58	0.13	0.50	0.72
2021	Primavera	2.56	0.54	1.99	3.06	0.50	0.10	0.43	0.62
	Verano	1.35	0.54	0.78	1.85	0.46	0.16	0.32	0.64
	Otoño	1.91	0.72	1.24	2.67	0.32	0.02	0.30	0.33
	Anual	1.91	0.67	0.78	3.06	0.47	0.14	0.30	0.72
	Invierno	0.94	0.06	0.87	1.00	0.28	0.04	0.24	0.32
2022	Primavera	1.15	0.53	0.53	1.49	0.30	0.04	0.26	0.34
	Verano	8.43	5.89	2.39	16.16	0.73	0.29	0.34	0.98
	Otoño	3.37	1.30	1.93	4.48	0.37	0.16	0.24	0.56
	Anual	3.85	4.47	0.53	16.16	0.45	0.26	0.24	0.98
	Invierno	1.60	0.28	1.30	1.86	0.46	0.13	0.34	0.60
2023	Primavera	2.26	1.14	0.85	3.61	0.31	0.09	0.24	0.47
	Verano	1.27	0.79	0.75	2.18	0.43	0.10	0.32	0.49
	Otoño	1.52	0.74	0.94	2.73	0.38	0.06	0.29	0.44
	Anual	1.72	0.86	0.75	3.61	0.38	0.10	0.24	0.60
	Invierno	0.70	0.21	0.50	1.05	0.25	0.02	0.22	0.27

Primavera	0.78	0.23	0.55	1.10	0.40	0.04	0.32	0.44
Verano	0.80	0.05	0.73	0.84	0.40	0.05	0.36	0.50
Otoño	---	---	---	---	---	---	---	---
Anual	---	---	---	---	---	---	---	---

A partir de los datos de irradiancia PAR obtenidos en los muestreos *in situ*, también se puede determinar la proporción de luz que queda disponible para los organismos fotosintéticos del fondo (% I_0 ; Figura 13), macroalgas y angiospermas marinas. Como se aprecia en la Figura 9, en la estación M se han registrado valores medios de irradiancia PAR en el fondo por debajo de los niveles críticos para el crecimiento fotosintético de los macrófitos bentónicos, debido a la turbidez extrema registrada M (Figura 13).

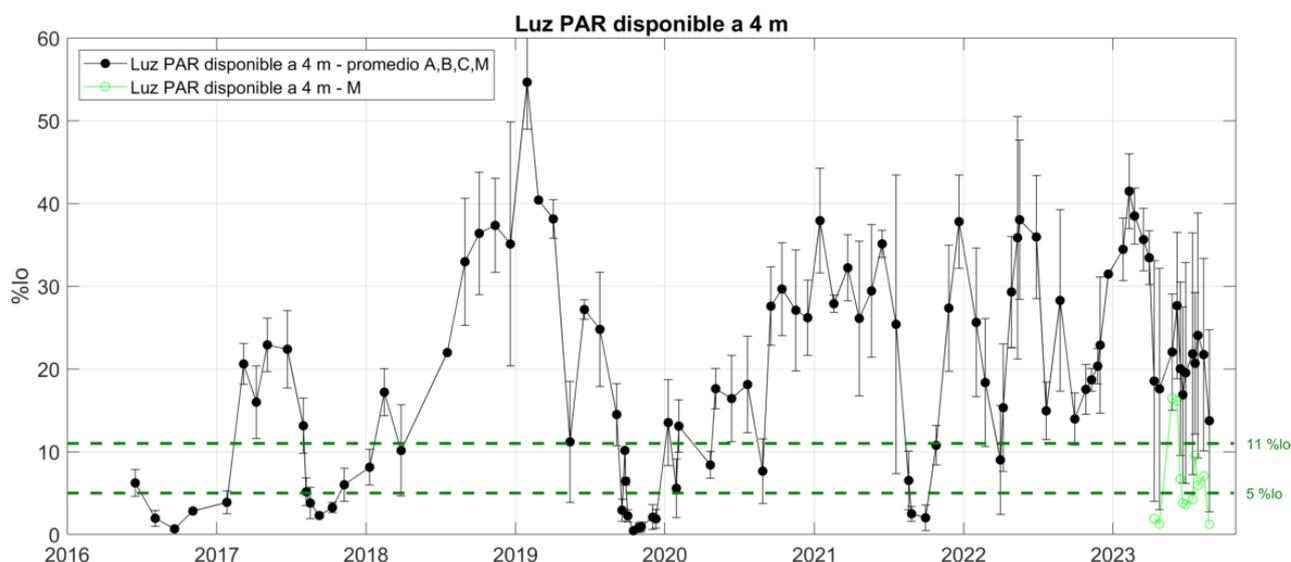


Figura 11: Evolución del porcentaje de radiación PAR que atraviesa la superficie del agua y que alcanza la profundidad de 4 metros. La línea verde representa la estación M. Los niveles de 11% y 5% son críticos para el crecimiento fotosintético de la vegetación bentónica.

Sensores PAR permanentes

Además de los muestreos periódicos *in situ*, se instalaron dos sensores PAR independientes (superficial y profundo) en la estación B (ubicación de la boya piloto SMLG). Estos sensores tienen una alta resolución temporal (cada minuto) y de manera conjunta, dan información detallada de los niveles de radiación submarina PAR y el coeficiente de extinción de la luz de la columna de agua. La Figura 12 muestra la serie de extinción de la luz comparado con la serie obtenida con los muestreos periódicos. Se observa que el muestreo periódico capturó todos los eventos significativos, a excepción de un periodo de aguas muy claras en septiembre 2022. En general se puede considerar que la serie temporal de esta variable obtenida a partir de los muestreos periódicos *in situ* (cada 15-30 días) es bastante consistente con la situación descrita por la serie temporal de mayor resolución temporal obtenida a partir de los sensores PAR instalados de forma permanente, aunque por la mayor resolución de estos últimos el patrón de variabilidad es mucho más realista. De hecho, en la serie temporal de los sensores sumergibles se aprecia con mayor claridad la reducción de la turbidez del agua (menores valores de k) en 2023 respecto a 2022. Los episodios de lluvias torrenciales de finales de primavera no parece que tuvieron un efecto intenso y duradero en la disponibilidad de luz en el fondo.

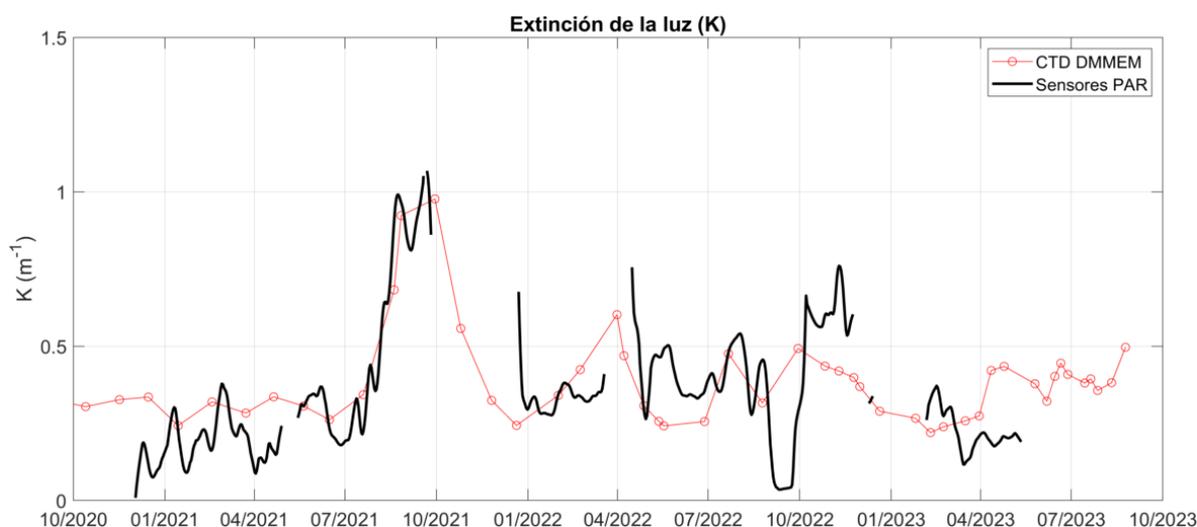


Figura 12: Comparación de las series temporales de extinción de la luz (K) obtenido con el muestreo periódico y con sensores PAR instalados en dos puntos en la laguna del Mar Menor.

Boya piloto SMLG

La boya SMLG mide la concentración de clorofila *a* y turbidez NTU a una profundidad de 3 metros (ver Figura 13). De momento, la turbidez de la boya no está calibrada con muestras *in situ*, aunque se prevé hacerlo en próximas campañas. Estas medidas son de mayor resolución temporal por lo que pueden reflejar eventos no registrados por el muestreo periódico *in situ* y permitir estudiar con más detalle la relaciones tanto entre ambas variables como con otras variables ambientales (p.ej. precipitaciones).

En general, se observa que la clorofila *a* varía diariamente con valores que aumentan durante el día y disminuyen al atardecer, siguiendo los ciclos de actividad nictemeral propia de los organismos fotosintéticos del plancton. A finales de octubre de 2022, la boya SMLG reportó un pico de turbidez que claramente correspondía con un pico de clorofila *a* en la laguna. Durante la segunda semana de noviembre de 2022 se observó de nuevo un pico de clorofila y turbidez, aunque sin relación entre ambos. Tampoco parece estar relacionado con las precipitaciones ya que éstas se registran en la estación de San Javier con cierto retraso temporal. Entre enero y agosto de 2023 se suceden varios picos de turbidez. De acuerdo con los datos obtenidos a partir del muestreo periódico *in situ* (ver apartados anteriores), el episodio de lluvias torrenciales de finales de mayo no parece que haya afectado de forma intensa a la calidad del agua. Durante este evento la boya SMLG estaba fuera del agua por tareas de mantenimiento, pero los registros obtenidos *a posteriori* de dicho evento indican que la laguna recuperó completamente los niveles anteriores de clorofila y turbidez, que experimentaron muy poca variación a pesar de los sucesivos eventos de precipitaciones. A partir de la primera semana el sensor no dio datos válidos debido al fuerte *biofouling* de los elementos sumergidos de la boya.

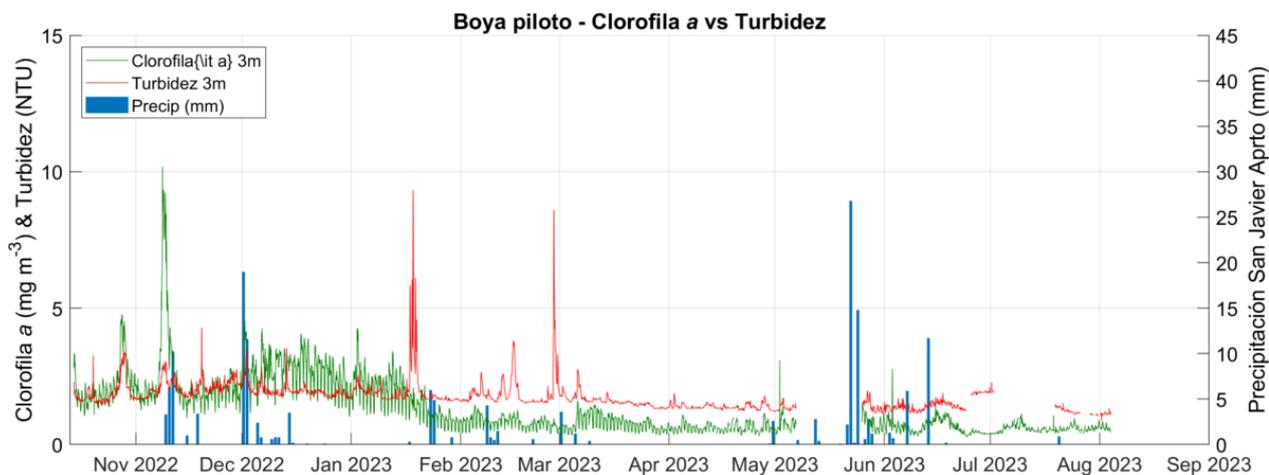


Figura 13: Series temporales completas de clorofila *a* y turbidez NTU de la boya SMARTLAGOON, comparado con la precipitación en el aeropuerto de San Javier obtenido a partir de los datos de la AEMET.

Series temporales de clorofila *a* del Mar Menor (datos satelitales)

La Figura 14 muestra la serie temporal de datos de clorofila *a* de satélite (azul) obtenidos de Copernicus (producto *Mediterranean Sea Ocean Colour Plankton MY L4 daily gapfree observations and climatology and monthly observations*), calibrados con los datos de clorofila obtenidos espectrofotométricamente a partir de muestras de agua (rojo) así como el promedio mensual de los datos de clorofila *a* de la boya SMLG (negro) (Anexo I).

Los promedios mensuales de clorofila *a* de satélite correlacionan relativamente bien con los valores de clorofila *a* del muestreo *in situ* del proyecto DMMEM, pero debido a la heterogeneidad espacial en la dinámica del crecimiento del fitoplancton y la complejidad óptica de la laguna que puede modificar las señales de reflectancia que recibe el satélite sin cambios en la clorofila, es preciso obtener un algoritmo específico para calcular la clorofila desde los datos del satélite, el cual está en preparación.

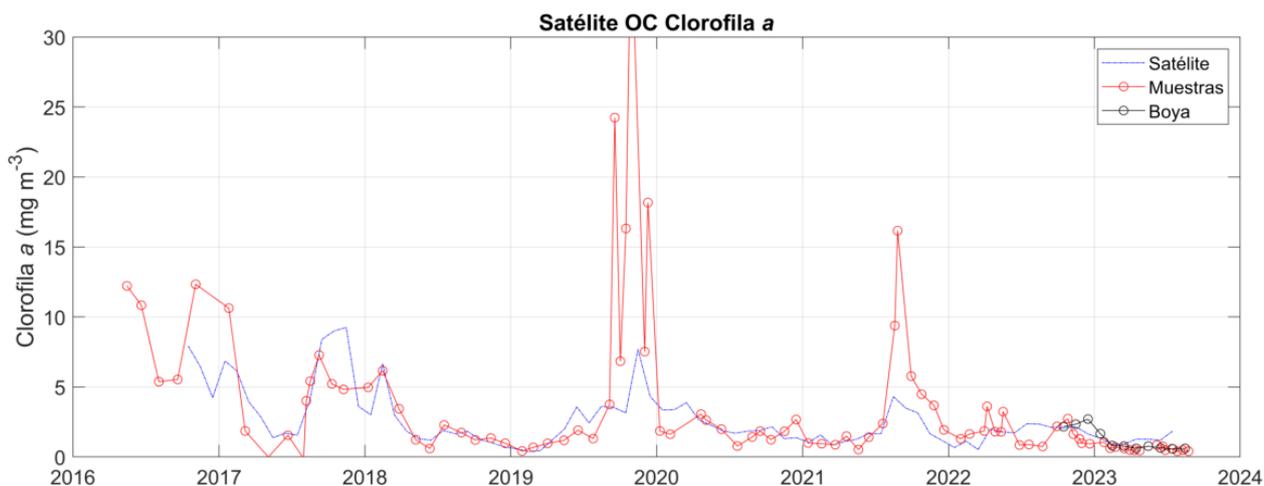


Figura 14: Comparación de las series temporales de clorofila *a* de los datos satelitales, muestreos DMMEM y boya SMLG.

De hecho, desde un punto de vista más metodológico, el desacoplamiento entre clorofila *a* y turbidez propia de la dinámica lagunar es probablemente la causa de la falta de correlación entre los datos obtenidos en los muestreos *in situ* y la concentración calculada a partir de las imágenes de satélite (Anexo II). Este bajo rendimiento del satélite puede ser corregido mediante la producción de algoritmos empíricos específicos para el Mar Menor con el fin de obtener valores adecuados de concentración de clorofila satelital que permitan componer mapas y series temporales de alta resolución.

2.4 Oxígeno disuelto y pH

La concentración de oxígeno disuelto (mg/l) es un indicador clave del buen funcionamiento del ecosistema lagunar. Su concentración y variación en la columna de agua es el resultado de otras variables y procesos como la temperatura, la hidrodinámica, el intercambio con la atmósfera y, por supuesto, procesos biológicos como la fotosíntesis y la respiración.

El pH indica la acidez o alcalinidad del agua, en base a las concentraciones de iones de hidrógeno (H^+) e hidroxilo (OH^-). El agua marina es ligeramente alcalina (8.1-8.3). La contaminación, ya sea atmosférica o por eutrofización del agua, tiende a aumentar la concentración de CO_2 , cuya absorción por el sistema tampón de bicarbonato del agua tiende a disminuir el pH, proceso conocido como acidificación.

Ambas variables se miden regularmente en la laguna desde 2016 con frecuencia mensual, y en ocasiones semanal, dependiendo de las circunstancias de la laguna en cada momento, en las estaciones de muestreo (Figura 1), tanto en superficie como en fondo. Desde octubre 2022 las mediciones de ambas variables se realizan con un sensor incorporado al CTD (pH en escala NBS, sin corrección de temperatura) para obtener así, los perfiles verticales.

Muestreos *in situ*

En ausencia de eventos extremos (p.e. DANA 2019), los valores medios de oxígeno registrados en invierno y otoño de 2023 han alcanzado valores máximos en las zonas de muestreo, claramente superiores a los de años anteriores en la misma época del año (9,2-10,7 mg/l), experimentando a continuación una disminución propia del periodo estival hasta valores medios mínimos de 5,7 mg/l en agosto, tanto en las capas superficiales como en las capas más profundas (Figura 15, Tabla 5). Estos son valores normales para el Mar Menor en verano, muy parecidos a los registrados en la mayoría de años anteriores de la serie temporal.

Esta variable tampoco muestra diferencias significativas entre las capas superficiales y profundas, lo que indica ausencia de procesos de estratificación termohalina en la columna de agua capaces de interferir en la difusión de oxígeno. De hecho, no se han apreciado síntomas de déficit de oxígeno críticos para el ecosistema lagunar (hipoxia, anoxia) desde el último evento registrado en 2021. Como muestran los perfiles de CTD (Anexo III), solo había una muy leve disminución de los niveles de oxígeno en el fondo en estación B (10/8/2023). Esta leve y momentánea reducción de oxígeno en el fondo se refleja en la serie temporal (Figura 15), pero no se produce ninguna alteración significativa de los patrones de variación natural de esta variable, ni siquiera en la estación M donde se produce el fenómeno de blanqueamiento del agua.

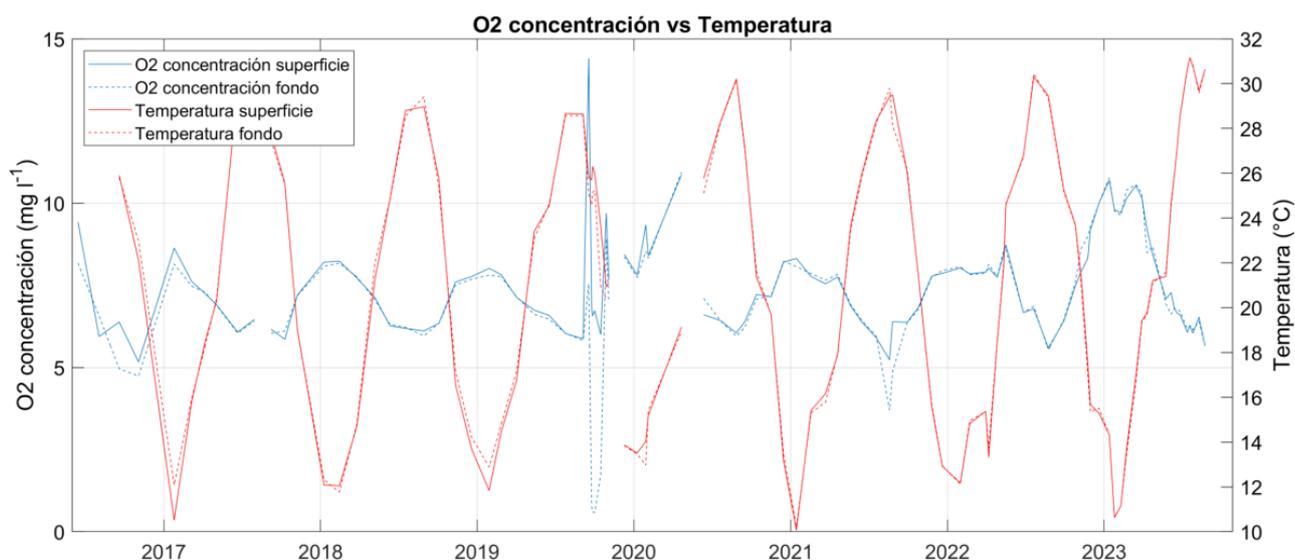


Figura 15: Series temporales promedio de oxígeno disuelto (azul) y temperatura (rojo) para las capas superficiales (línea continua) y de fondo (línea discontinua) de los muestreos del proyecto DMMEM para las ubicaciones A, B, C y M de la laguna del Mar Menor.

Los valores promedio del pH del Mar Menor se recogen en la Figura 16 (Tabla 6). Los valores muestran una tendencia general positiva del pH de +0.09 unidades por año, experimentando un incremento neto para todo el periodo de valores de 8.0 a 8.6 (+0.6). La última parte del episodio de “sopa verde” en 2017 y en 2021 muestran sendos eventos puntuales de acidificación, con una disminución de los valores de pH del orden de -0.5 unidades. Por el contrario, en marzo de 2022, los valores de pH muestran un aumento considerablemente anómalo hasta alcanzar valores de 10 unidades en junio de 2022, para posteriormente disminuir rápidamente de nuevo hasta valores de pH más próximos al valor medio en ese periodo, en torno a 8.5 unidades en septiembre de 2022. Las mediciones más recientes realizadas hasta verano de 2023 siguen corroborando la tendencia de aumento del pH ya que los valores medios máximos registrados esta época del año han sido superiores a los de los años anteriores de toda la serie temporal (excepto en 2022; Figura 16, Tablas 6).

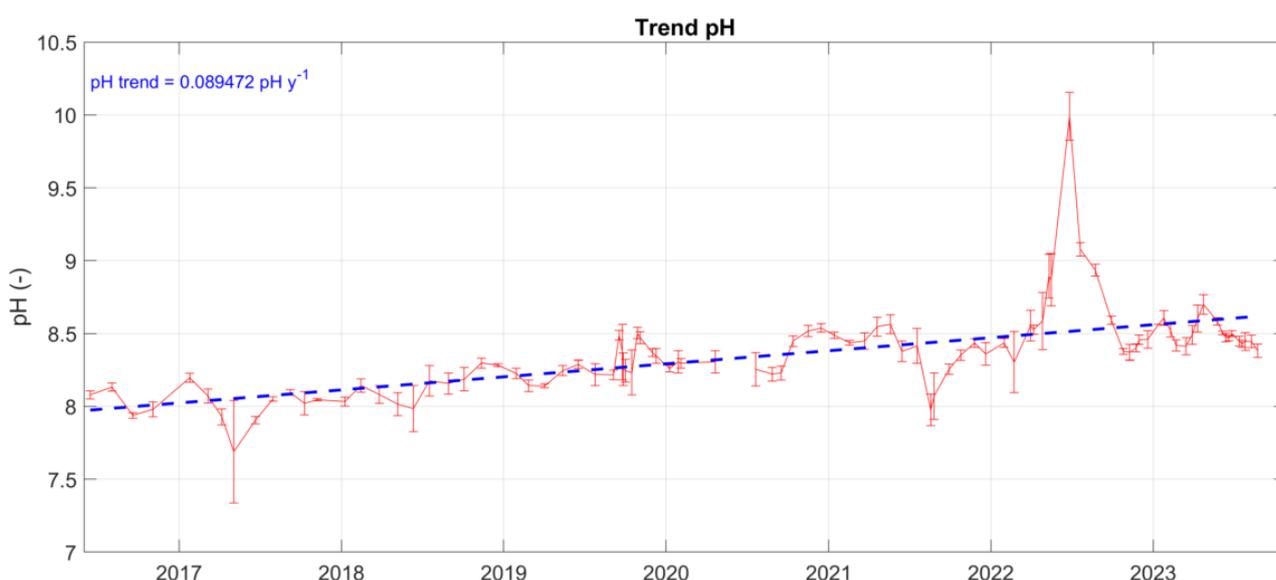


Figura 16: Serie temporal promedio de pH de los muestreos del proyecto DMMEM en las ubicaciones A, B, C y M de la laguna del Mar Menor.

Tabla 5: Valores medios, mínimos (Min) y máximos (Max) de oxígeno disuelto medidos durante los muestreos cada año. Std: desviación estándar

Oxígeno disuelto (mg/l)		Superficie				Fondo			
Año	Estación	Media	Std	Min	Max	Media	Std	Min	Max
2016	Invierno	---	---	---	---	---	---	---	---
	Primavera	---	---	---	---	---	---	---	---
	Verano	6.2	0.3	5.9	6.4	5.8	1.1	5.0	6.6
	Otoño	5.2	0.0	5.2	5.2	4.7	0.0	4.7	4.7
	Anual	6.7	1.9	5.2	9.4	6.1	1.6	4.7	8.2
2017	Invierno	8.1	0.7	7.6	8.6	7.8	0.5	7.5	8.1
	Primavera	6.7	0.6	6.1	7.2	6.7	0.6	6.0	7.3
	Verano	6.3	0.2	6.2	6.5	6.2	0.3	6.0	6.4
	Otoño	6.5	0.9	5.9	7.2	6.6	0.8	6.1	7.2
	Anual	6.9	0.9	5.9	8.6	6.8	0.7	6.0	8.1
2018	Invierno	8.1	0.3	7.7	8.2	8.0	0.2	7.8	8.2
	Primavera	6.7	0.6	6.3	7.1	6.7	0.5	6.3	7.1
	Verano	6.1	0.1	6.1	6.2	6.1	0.2	6.0	6.2
	Otoño	7.2	0.8	6.3	7.8	7.2	0.7	6.3	7.7
	Anual	7.2	0.9	6.1	8.2	7.1	0.8	6.0	8.2
2019	Invierno	7.9	0.1	7.8	8.0	7.8	0.0	7.8	7.8
	Primavera	6.8	0.3	6.6	7.1	6.7	0.4	6.5	7.1
	Verano	7.9	3.6	5.9	14.4	4.2	3.2	0.6	7.5
	Otoño	7.7	1.4	6.0	9.7	5.3	3.9	0.6	8.9
	Anual	7.6	2.1	5.9	14.4	5.5	3.0	0.6	8.9
2020	Invierno	8.5	0.8	7.8	9.3	8.2	0.4	7.7	8.5
	Primavera	8.7	3.0	6.6	10.9	9.0	2.7	7.1	10.9
	Verano	6.3	0.2	6.0	6.4	6.2	0.2	5.9	6.4
	Otoño	7.5	0.6	7.1	8.2	7.5	0.6	7.1	8.2
	Anual	7.7	1.5	6.0	10.9	7.6	1.4	5.9	10.9
2021	Invierno	7.9	0.4	7.5	8.3	7.9	0.2	7.7	8.1
	Primavera	7.0	0.7	6.4	7.8	7.1	0.7	6.4	7.8

2022	Verano	6.0	0.5	5.2	6.4	5.2	1.2	3.7	6.4
	Otoño	7.5	0.6	6.8	7.9	7.5	0.6	6.8	8.0
	Anual	7.0	0.9	5.2	8.3	6.8	1.3	3.7	8.1
	Invierno	7.9	0.1	7.8	8.0	7.9	0.1	7.8	8.1
	Primavera	7.9	0.8	6.7	8.7	7.9	0.8	6.7	8.6
2023	Verano	6.3	0.6	5.6	6.8	6.3	0.7	5.5	6.9
	Otoño	8.6	1.0	7.5	10.0	8.9	0.9	7.6	10.0
	Anual	7.8	1.1	5.6	10.0	7.9	1.2	5.5	10.0
	Invierno	10.2	0.4	9.7	10.7	10.3	0.5	9.6	10.8
	Primavera	7.4	1.0	6.6	9.2	7.3	0.9	6.6	8.7
	Verano	6.1	0.3	5.7	6.5	6.1	0.3	5.7	6.4
	Otoño	---	---	---	---	---	---	---	---
	Anual	---	---	---	---	---	---	---	---

Tabla 6: Valores medios, mínimos (Min) y máximos (Max) de pH medidos durante los muestreos cada año. Std: desviación estándar.

pH (-)		Superficie				Fondo			
Año	Estación	Media	Std	Min	Max	Media	Std	Min	Max
2016	Invierno	---	---	---	---	---	---	---	---
	Primavera	---	---	---	---	---	---	---	---
	Verano	8.1	0.1	8.0	8.1	8.0	0.2	7.9	8.1
	Otoño	8.0	0.0	8.0	8.0	7.9	0.0	7.9	7.9
	Anual	8.1	0.1	8.0	8.1	8.0	0.1	7.9	8.1
2017	Invierno	8.1	0.1	8.1	8.2	8.1	0.1	8.1	8.2
	Primavera	7.8	0.2	7.5	7.9	7.9	0.0	7.9	7.9
	Verano	8.1	0.0	8.1	8.1	8.1	0.0	8.0	8.1
	Otoño	8.0	0.0	8.0	8.0	8.0	0.0	8.0	8.0
	Anual	8.0	0.2	7.5	8.2	8.0	0.1	7.9	8.2
2018	Invierno	8.1	0.0	8.1	8.1	8.1	0.1	8.0	8.1
	Primavera	8.0	0.0	8.0	8.0	8.0	0.0	8.0	8.0
	Verano	8.2	0.0	8.2	8.2	8.2	0.0	8.2	8.2
	Otoño	8.3	0.1	8.2	8.3	8.3	0.1	8.2	8.3
	Anual	8.1	0.1	8.0	8.3	8.1	0.1	8.0	8.3
2019	Invierno	8.2	0.1	8.1	8.2	8.2	0.1	8.1	8.2
	Primavera	8.2	0.1	8.2	8.3	8.2	0.1	8.1	8.3
	Verano	8.5	0.2	8.2	8.7	8.2	0.1	7.9	8.3
	Otoño	8.5	0.1	8.4	8.5	8.2	0.3	7.8	8.5
	Anual	8.4	0.2	8.1	8.7	8.2	0.2	7.8	8.5
2020	Invierno	8.3	0.0	8.3	8.3	8.3	0.0	8.3	8.3
	Primavera	8.3	0.0	8.3	8.3	8.3	0.0	8.3	8.3
	Verano	8.2	0.0	8.2	8.3	8.2	0.0	8.2	8.2
	Otoño	8.5	0.0	8.5	8.5	8.5	0.1	8.4	8.6
	Anual	8.3	0.1	8.2	8.5	8.3	0.1	8.2	8.6
2021	Invierno	8.5	0.0	8.4	8.5	8.5	0.0	8.4	8.5

2022	Primavera	8.5	0.1	8.4	8.6	8.5	0.1	8.4	8.6
	Verano	8.2	0.1	8.1	8.4	8.1	0.2	7.9	8.4
	Otoño	8.4	0.1	8.3	8.4	8.4	0.0	8.3	8.4
	Anual	8.4	0.1	8.1	8.6	8.4	0.2	7.9	8.6
	Invierno	8.4	0.1	8.3	8.5	8.4	0.1	8.3	8.6
2023	Primavera	9.0	0.6	8.5	9.9	9.0	0.6	8.5	10.0
	Verano	8.9	0.3	8.6	9.1	8.9	0.2	8.6	9.1
	Otoño	8.4	0.0	8.4	8.5	8.4	0.0	8.4	8.5
	Anual	8.7	0.4	8.3	9.9	8.7	0.4	8.3	10.0
	Invierno	8.5	0.1	8.4	8.6	8.5	0.1	8.4	8.6
	Primavera	8.5	0.1	8.5	8.7	8.6	0.1	8.5	8.7
	Verano	8.4	0.0	8.4	8.5	8.4	0.0	8.4	8.5
Otoño	---	---	---	---	---	---	---	---	
Anual	---	---	---	---	---	---	---	---	

2.5. Comunidades de plancton

El fitoplancton y la vegetación bentónica son los principales componentes de la laguna que modulan el impacto de la contaminación por nutrientes (eutrofización) sobre todo el ecosistema. Si bien la clorofila en la columna de agua es un buen indicador de la biomasa de fitoplancton, las comunidades están constituidas por múltiples grupos y especies, con características de crecimiento que pueden llegar a ser muy diferentes. Por tanto, es la composición de la comunidad presente en la laguna en un momento dado la que determina finalmente si un episodio ambiental particular, que produzca cambios en las condiciones físico-químicas (por ejemplo, una DANA o una ola de calor) se traduce o no en un episodio agudo de eutrofia (sopa verde o hipoxia). A su vez, la propia composición de la comunidad puede llegar a ser un indicador de cambios a medio-largo plazo en la incidencia de las presiones que causan el deterioro ambiental de la laguna. Por esto, desde 2016 se viene monitorizando la composición de las comunidades de plancton, incluyendo bacterias, fitoplancton y zooplancton. En el caso del fitoplancton, se están analizando muestras al microscopio en cada una de las estaciones de muestreo desde el comienzo del monitoreo hasta la actualidad. Así mismo, la abundancia del plancton de menor tamaño se analiza mediante citometría de flujo (incluyendo en este caso también bacterias). Dado que estas técnicas no permiten describir en profundidad la biodiversidad de las comunidades por ser su identificación al microscopio compleja, desde noviembre de 2016 se recogen muestras de agua en filtro para llevar a cabo análisis genéticos. La técnica seleccionada consiste en la secuenciación y amplificación de determinadas regiones del gen ribosomal ARN 16S y 18S (para procariontes y eucariontes, respectivamente) a partir del *pool* de ADN extraído de las muestras (técnica conocida como *metabarcoding*). Dado que cada

variante secuencial de estos fragmentos es característica de un grupo taxonómico (pudiéndose llegar hasta nivel de especie, en el mejor de los casos), es posible determinar la composición de la comunidad asignando cada variante a su grupo. Hay que señalar que tanto el análisis de estas muestras como de los resultados obtenidos son complejos en sí y sólo eficientes si se dispone de un número suficiente de ellas. Por este motivo, no es posible aún presentar datos basados en genética para las muestras más recientes recogidas en 2022-2023. Sin embargo, se ha realizado un análisis de las muestras recogidas en el periodo 2016-2018, coincidentes con el episodio de sopa verde en 2016 y su posterior declive en 2018.

La citometría permite cuantificar las células fotosintéticas que forman parte del picoplancton, que en el caso de la laguna incluye un grupo de células procariotas (*Synechococcus*) y otro de picoeucariotas cuya composición taxonómica es diversa. Mediante microscopía se cuantifican las células de mayor tamaño, de entre 5 y 200 μm . Esta técnica permite clasificar las células dentro de los siguientes grupos: diatomeas, dinoflagelados, criptofitas, clorofitas y otros flagelados cuya identificación no es posible al microscopio. La serie temporal de abundancia de *Synechococcus* (Fig. 18) muestra que desde 2016 se han producido tres picos de abundancia puntuales de corta duración que sólo en 2020 y 2021 coincidieron con periodos de alta concentración de clorofila. El patrón de variación temporal de picoeucariotas es algo diferente, ya que en 2017 sus abundancias fueron elevadas (no así las de *Synechococcus*), el máximo en 2019 precedió al máximo de *Synechococcus* y no se encontraron abundancias elevadas después de ese año. Las diatomeas, que estuvieron presentes en todas las muestras analizadas desde 2016, son en promedio el grupo de micro-fitoplancton más abundante en la laguna, con abundancias puntuales por encima de $10^7 \text{ cél} \cdot \text{L}^{-1}$ (Fig. 19). Dado su tamaño, en términos de biomasa, este es también el grupo más importante. Comparativamente, los picos de abundancia de dinoflagelados (también presentes en todas las muestras) son un orden de magnitud menor y el resto de grupos de micro-plancton o bien aparecen sólo en determinados periodos o bien presentan por término medio una abundancia inferior a la de los dinoflagelados. La correlación entre las abundancias de los diferentes grupos de fitoplancton y la clorofila indica que *Synechococcus*, picoeucariotas y clorofila no son significativas estadísticamente. Sin embargo, la correlación entre clorofila y abundancia de diatomeas es significativa ($r=0.40$, $p<0.001$). Además, los episodios de alta concentración de clorofila ocurridos en 2017 y 2021 estuvieron claramente relacionados con un aumento progresivo de la biomasa de diatomeas. Por tanto, este grupo de fitoplancton es un indicador del estado de la laguna, útil para el diseño de un sistema de alerta temprana. No obstante, durante el pico de clorofila de 2019, se obtuvieron abundancias elevadas de todos los grupos de pico- y micro-plancton analizados, especialmente de criptofíceas y otros flagelados sin identificar (datos no mostrados). Por tanto, es necesario analizar la estructura de la comunidad completa para entender por qué ocurren estos episodios de agravamiento de la eutrofización.

Otra conclusión relevante extraíble del análisis de los datos disponibles es que en el periodo analizado no se encuentra un patrón estacional de variación del fitoplancton, ni en cuanto a la composición en su conjunto ni en cuanto a la abundancia de los diferentes grupos. En latitudes medias, la detección de patrones estacionales de la comunidad de fitoplancton es una característica común. De hecho, la información publicada sobre el Mar Menor muestra que el fitoplancton en la laguna antes de 2016 presentaba un ciclo estacional caracterizado por un aumento de la abundancia de diatomeas en primavera-verano. Los datos disponibles de 2021-2023 tras el episodio de hipoxia que tuvo lugar en el verano de ese primer año, indican que la comunidad de fitoplancton presentó un comportamiento más regular (al menos el picoplancton), sin embargo, tampoco se observan claros patrones estacionales de variabilidad. Esto es probablemente indicativo de que el ecosistema pelágico de la laguna aún no ha alcanzado un estado estable.

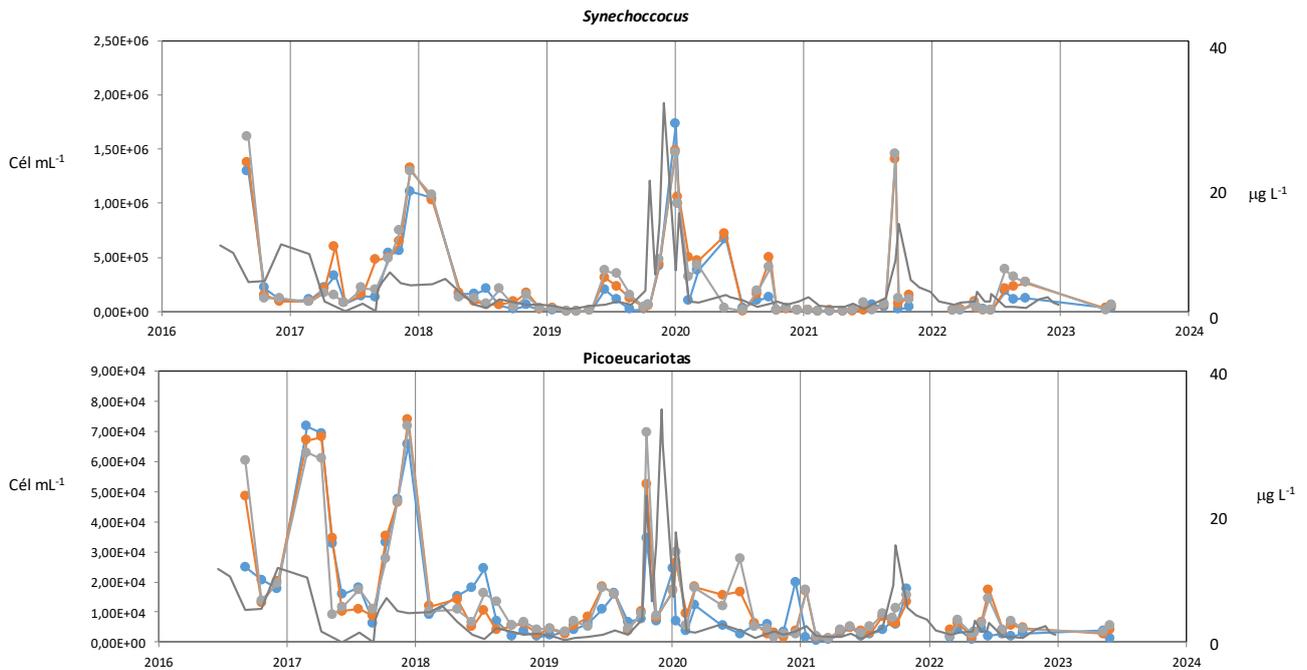


Figura 17. Serie temporal de abundancias de las dos fracciones de pico-fitoplancton analizados con el citómetro de flujo. Línea azul: estación A; línea roja: estación B; línea verde: estación C. La línea gris muestra la serie temporal de clorofila.

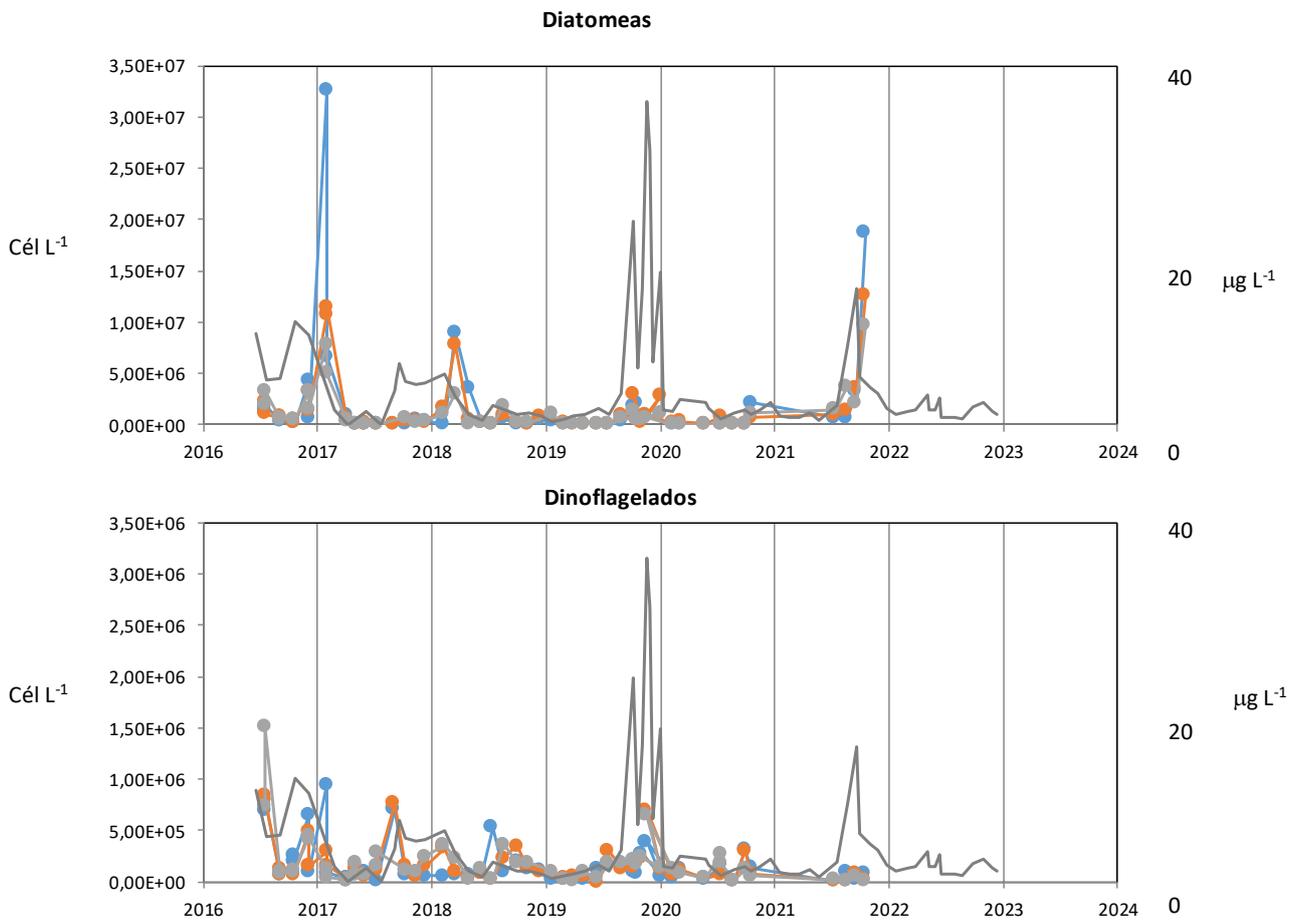


Figura 18. Serie temporal de abundancias de diatomeas y dinoflagelados para el periodo 2016-2021. Línea azul: estación A; línea roja: estación B; línea verde: estación C. La línea gris muestra la serie temporal de clorofila.

3. Síntesis de resultados

Como ya se comentó en el informe anterior, los resultados del programa de seguimiento indican una tendencia general de estabilización de las condiciones ambientales en la laguna, excepto en la zona centro-oeste, coincidiendo con la masa de agua blanquecina.

En general, los datos muestran que las aguas de la laguna mantienen una adecuada oxigenación y bajas concentraciones de clorofila a , con valores de turbidez no muy elevados. Estos resultados contrastan con las continuas y masivas entradas de agua y nutrientes de origen antropogénico, lo que sugiere que en el ecosistema lagunar se encuentran operativos los mecanismos de transformación y control que tamponan los efectos directos de estas entradas (mecanismos de resiliencia). Sin embargo, estos mecanismos no van a ser capaces de impedir nuevos episodios disruptivos (*blooms* fitoplanctónicos, déficit de oxígeno, etc.) dado que las causas que han llevado a la laguna al estado eutrófico todavía persisten.

A medida que se obtienen datos sobre el **fenómeno de blanqueamiento del agua** en la zona centro-oeste de la laguna, se refuerza la idea de que se trata de un fenómeno totalmente nuevo no registrado años anteriores. Su extensión, cloración y su comportamiento estático (altamente resistente a ser modificado por cambios ambientales externos) indican que se trata de un fenómeno muy diferente al comportamiento característico de una pluma de vertido, como la asociada al vertido de la rambla del Albujión. **Fenómenos similares se han descrito en otras partes del mundo (p.e. “whiting events”)** (Long et al., 2017; Shanableh et al., 2021; Swart et al., 2014; Thompson, 2000) y, al igual que en esos casos, se requieren análisis y pruebas adicionales (actualmente en proceso) para comprender mejor su origen y naturaleza. En cuanto a sus efectos en el ecosistema lagunar, lo más preocupante es la reducción extrema de la luz. **En la zona afectada, prácticamente no llega luz al fondo y es posible que la vegetación bentónica esté desapareciendo en la superficie de fondo marino ocupada por la masa de agua blanquecina. Nuevos muestreos cuyos resultados no se muestran en este informe, confirman esta hipótesis. Se continúa con los muestreos rutinarios y específicos necesarios para comprender la naturaleza del fenómeno y sus consecuencias en el ecosistema lagunar.**

Durante el invierno y primavera de 2023, **no se han observado** en ninguna zona de la laguna **procesos de estratificación vertical** en la columna de agua que representen un riesgo de déficit de oxígeno crítico para los organismos marinos en el fondo de la laguna, que como se ha comprobado en años anteriores podría desencadenar eventos de mortalidad de especies animales y vegetales.

Además del fenómeno de blanqueamiento del agua, se han constatado cambios en otras propiedades importantes del sistema que contrasta con el diagnóstico de estabilidad aparente. Una de ellos es **la temperatura del agua**, que ha mostrado **una tendencia ascendente** tanto en sus valores promedio y máximos, como en el número e intensidad de las olas de calor extremas, según se ha analizado en éste y anteriores informes anteriores. A juzgar por las temperaturas máximas del verano de 2023 y el resto de parámetros

derivados del análisis de las series temporales de temperatura, está claro que esta tendencia continua. Otro parámetro que están cambiando es el **pH**, el cual también **muestra una tendencia ascendente y ha experimentado un incremento neto de 0.5 puntos desde 2016**. Este incremento es altamente significativo para un parámetro que está estrictamente controlado por el sistema de carbonatos del ecosistema.

Tanto en el caso de la temperatura como del pH, existe una alta probabilidad de que se alcancen umbrales de tolerancia fisiológica de alguna de las especies clave del ecosistema, como las que forman las praderas marinas de la laguna. De continuar con esta dinámica, podrían producirse nuevos cambios en la estructura, composición y distribución de las comunidades biológicas, tanto planctónicas como bentónicas. Estaremos atentos a detectar y evaluar estos cambios gracias al programa de monitorización. No obstante, se requerirán estudios más específicos para determinar las posibles relaciones entre estos cambios y los procesos relacionados con la eutrofización, así como con el estado y funcionamiento del ecosistema (producción primaria, blanqueamiento de la masa de agua, *blooms* algales, actividad y abundancia de poblaciones de especies filtradoras y suspensívoras, etc.).

Otra variable ambiental que ha experimentado cierto cambio es **la salinidad**, que se ha mantenido siempre por debajo de 44 desde los episodios extremos de lluvias torrenciales ocurridos en el periodo 2019-2020. Estos valores se encuentran dentro de los rangos normales para el Mar Menor, aunque en la parte más baja de ese rango. El mantenimiento de esta salinidad reducida podría deberse a la descarga casi continua del agua acumulada después de las intensas lluvias torrenciales de 2019-2020, hipótesis que esperamos pueda ser contrastada con los resultados de los estudios hidrogeológicos en curso. Aunque no se disponga de estudios específicos que lo demuestren, esta **disminución general de la salinidad** (y su interacción con otros factores) podría explicar, al menos en parte, algunos procesos biológicos observados en este periodo. Por ejemplo, se han observado desarrollos masivos de algas oportunistas “ovas”, así como un declive de la población de Nacra (*Pinna nobilis*) o la expansión de especies de afinidad mediterránea, como la sepia (*Sepia officinalis*), que se encuentra con mayor frecuencia en las capturas de pesca de la laguna. En 2023 se ha superado el umbral de 44, alcanzando valores visiblemente superiores a los del periodo 2020-2022, lo que podría indicar cierta tendencia a la recuperación para esta variable, obviamente favorecido por la escasez de precipitaciones extremas y las altas temperaturas.

Aunque se requieren estudios más específicos para determinar el origen y dinámica de estos fenómenos, ambos casos son síntomas de la elevada inestabilidad del debilitado ecosistema lagunar desde su colapso en 2016, como consecuencia del proceso de eutrofización inducido por los excesos de aportes de nutrientes antropogénicos.

La actividad de las comunidades microbianas, el desarrollo de enormes biomasas de algas filamentosas “ovas”, la elevada capacidad de asimilación de nutrientes de las macroalgas (*Caulerpa prolifera*) y la actividad del zooplancton son mecanismos conocidos de transformación y movilización de los nutrientes del medio, los cuales pueden contribuir a la aparente estabilidad del sistema. Sin embargo, cuando estos mecanismos dejen de actuar o lo hagan en condiciones de menor intensidad y eficacia debido, por ejemplo, a cambios en las condiciones ambientales (tanto en el ámbito marino como terrestre), los nutrientes que entran en la laguna de forma continua y masiva podrán estar de nuevo disponibles para el fitoplancton y desencadenar eventos extremos de agotamiento de oxígeno, tal y como pudimos comprobar en verano de 2021.

Como se ha sugerido, el calentamiento progresivo de las aguas de la laguna puede actuar (o más bien, de acuerdo con nuevas evidencias científicas, está ya actuando) erosionando y mermando la eficacia de dichos mecanismos de control a nivel ecosistémico. Por el contrario, si el actual estado aparente de estabilidad se mantiene a largo plazo, la mayor temperatura y disponibilidad de luz en el fondo podrían traducirse en la aparición de síntomas de recuperación de algunos componentes clave del ecosistema, como las praderas marinas. No es posible predecir el balance neto de estos procesos a nivel ecosistémico, pero sí podrá ser determinado en base a las actividades del proyecto BELICH y de otros proyectos relacionados en curso.

4. Bibliografía

Long, J. S., Hu, C., Robbins, L. L., Byrne, R. H., Paul, J. H., & Wolny, J. L. (2017). Optical and biochemical properties of a southwest Florida whiting event. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 196, 258-268.

Shanableh, A., Al-Ruzouq, R., Gibril, M. B. A., Khalil, M. A., Al-Mansoori, S., Yilmaz, A. G., ... & Flesia, C. (2021). Potential factors that trigger the suspension of calcium carbonate sediments and whiting in a semi-enclosed gulf. *Remote Sensing*, 13(23), 4795.

Swart, P. K., Oehlert, A. M., Mackenzie, G. J., Eberli, G. P., & Reijmer, J. J. G. (2014). The fertilization of the Bahamas by Saharan dust: A trigger for carbonate precipitation?. *Geology*, 42(8), 671-674.

Thompson, J. B. (2000). Microbial whittings. In *Microbial sediments* (pp. 250-260). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

ANEXO I: Boya de monitorización SMARTLAGOON

La Figura 17 muestra la boya oceanográfica de monitorización, a partir de ahora Boya piloto *SMARTLAGOON* (*SMLG*). Esta boya ha sido diseñada para obtener datos de alta resolución a varias profundidades con el objetivo de identificar episodios de estratificación de la columna de agua. La boya dispone de una unidad central de procesamiento (data logger) CR100x de *Campbell Scientific*, que registra y transmite datos de diferentes tipos de sensores en tiempo real mediante el uso de dos tecnologías de comunicaciones basadas en *General Packet Radio Service* (GPRS) y LoRa. En concreto, la UPV ha diseñado un protocolo de comunicaciones propietario basado en LoRa que permite el envío punto a punto desde la boya piloto al Centro Oceanográfico de Murcia del IEO-CSIC en San Pedro del Pinatar.



Figura 17: Boya piloto de monitorización SMARTLAGOON.

En la parte subaérea, la boya de monitorización SMARTLAGOON tiene un sensor *E+E Elektronik EE181* que mide la temperatura y la humedad del aire, además de un anemómetro *RM Young Wind Sentry* para medir la velocidad del viento. La Figura 18 contiene un esquema actualizado de la boya, así como la disposición en la vertical de cada uno de sus sensores. Durante este último mantenimiento (mayo 2023), el IEO-CSIC instaló dos nuevos CTDs con sensores de temperatura, conductividad y presión de alta resolución y precisión (*SeaBird-37*) a 1 y 6 metros de profundidad.

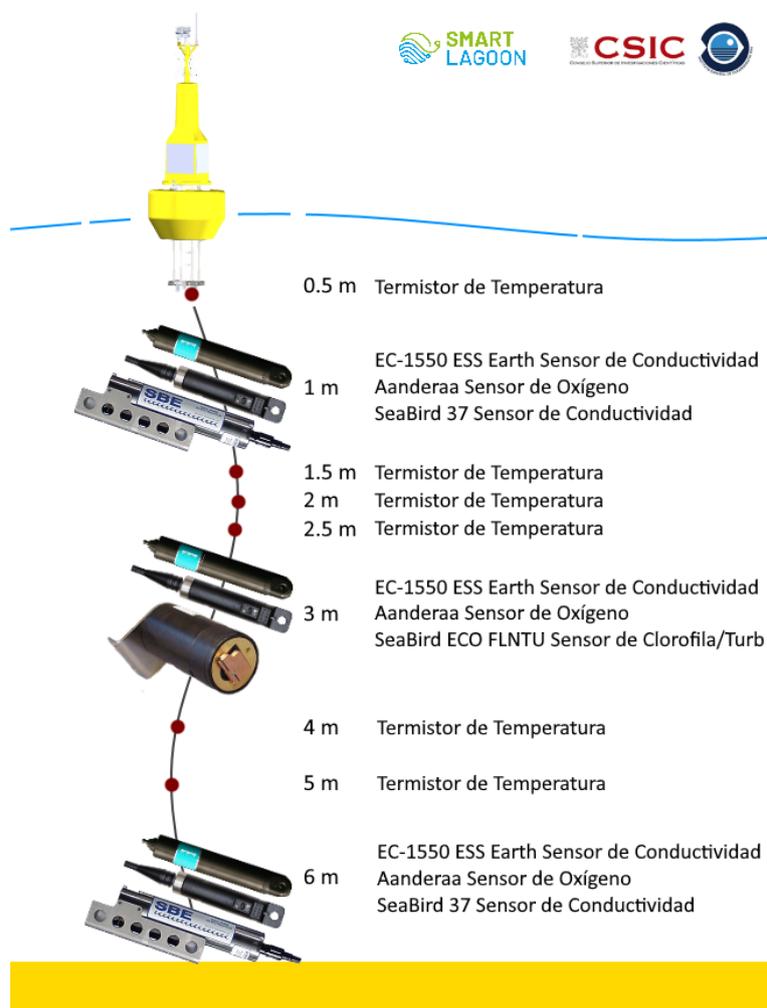


Figura 18: Esquema de los sensores instalados en la boya piloto SMLG con los nuevos sensores de temperatura, conductividad y presión a 1 y 6 metros de profundidad (Seabird-37).

ANEXO II: Calibraciones

Calibraciones de los datos de temperatura de la boya SMARTLAGOON con perfiles CTD próximos a la boya

Durante el último mantenimiento intensivo en mayo 2023, se han incorporado medidas *anti-fouling*, como cubiertas de cobre, en los sensores de temperatura. Debido a esto, los coeficientes de calibración se calculan para el período antes y después de este mantenimiento y se implementan de la misma manera.

Termistores (sensores de temperatura) – 14/10/2022 a 07/05/2023

Fecha de la última calibración, el 27/04/2023

resultando en la fórmula:

$$CAST = -0.13054 + 0.98925 * BUOY. R^2: 0.9981$$

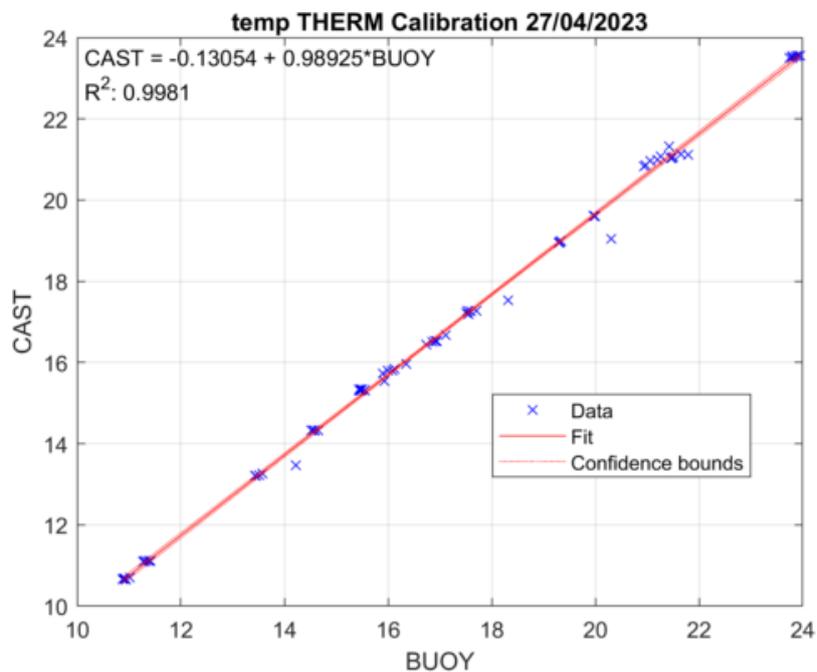


Figura 19: Calibración de los datos de temperatura de los Termistores de la boya SMLG - 14/10/2023 a 07/05/2023.

Termistores (sensores de temperatura) – 14/07/2023 a hoy

Fecha de la última calibración, el 28/08/2023

resultando en la fórmula:

$$CAST = -0.41425 + 1.0029 * BUOY. R^2: 0.9987$$

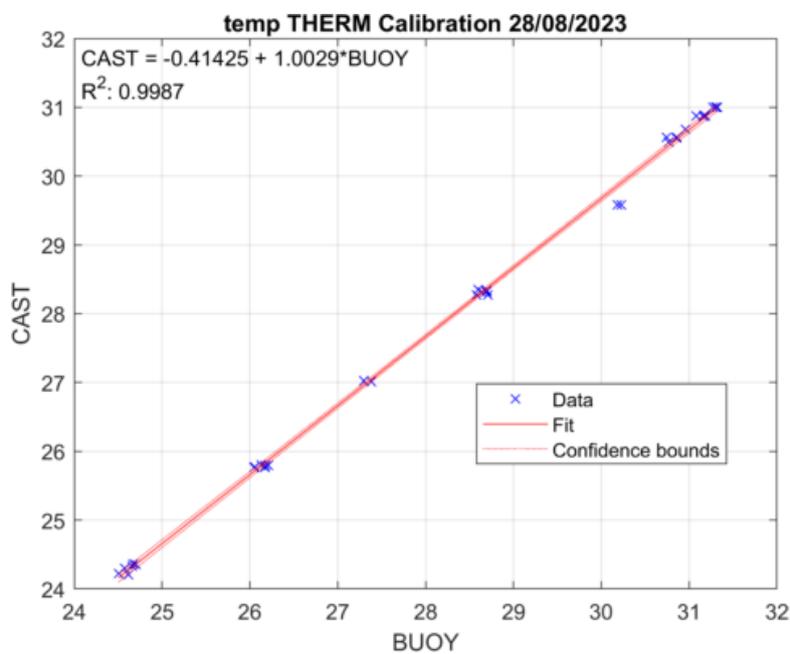


Figura 20: Calibración de los datos de temperatura de los Termistores de la boya SMLG - 14/07/2023 a hoy.

Temperatura del sensor de oxígeno (Aanderaa) – 14/10/2022 a 07/05/2023

Fecha de la última calibración, el 27/04/2023

resultando en la fórmula:

$$CAST = -0.09689 + 0.99902 * BUOY. R^2: 0.9987$$

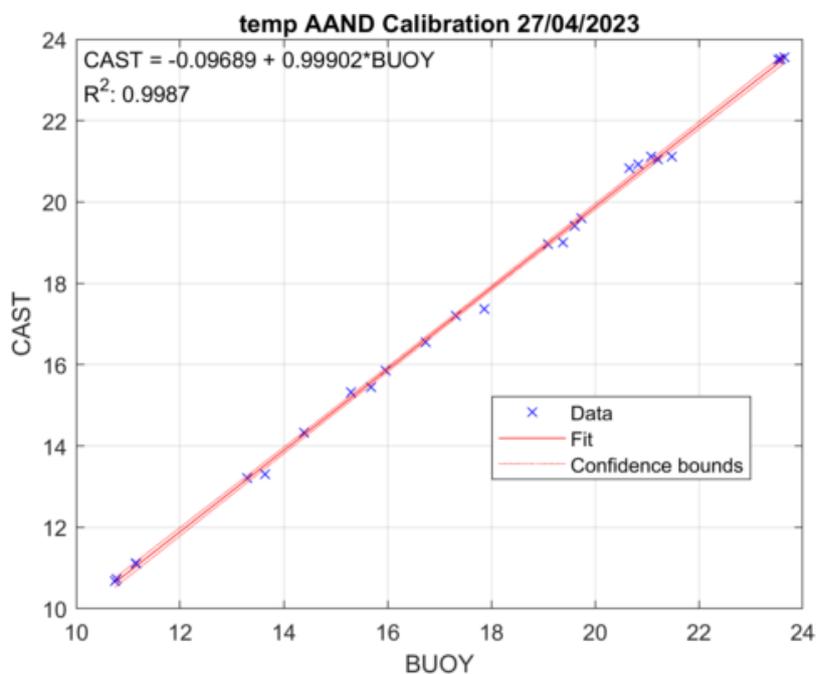


Figura 21: Calibración de los datos de temperatura de los sensores de oxígeno Aanderaa de la boya SMLG - 14/10/2023 a 07/05/2023.

Temperatura del sensor de oxígeno (Aanderaa) – 14/07/2023 a hoy

Fecha de la última calibración, el 28/08/2023

resultando en la fórmula:

$$CAST = 0.17688 + 0.98888 * BUOY. R^2: 0.9971$$

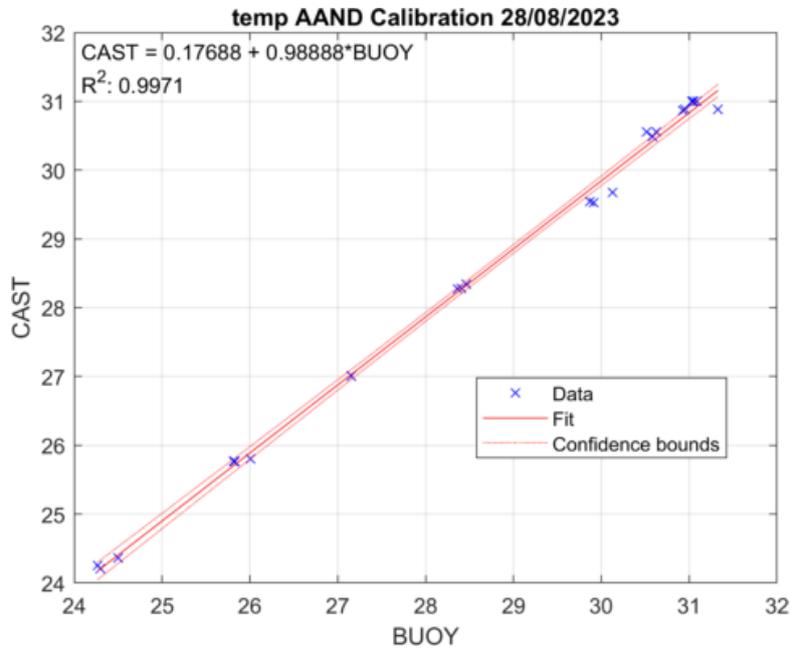


Figura 22: Calibración de los datos de temperatura de los sensores de oxígeno Aanderaa de la boya SMLG - 14/07/2023 a hoy.

Temperatura del sensor de Conductividad (EC-1550) – 14/10/2022 a 07/05/2023

Fecha de la última calibración, el 27/04/2023

resultando en la fórmula:

$$CAST = 0.11296 + 0.99541 * BUOY. R^2: 0.9989$$

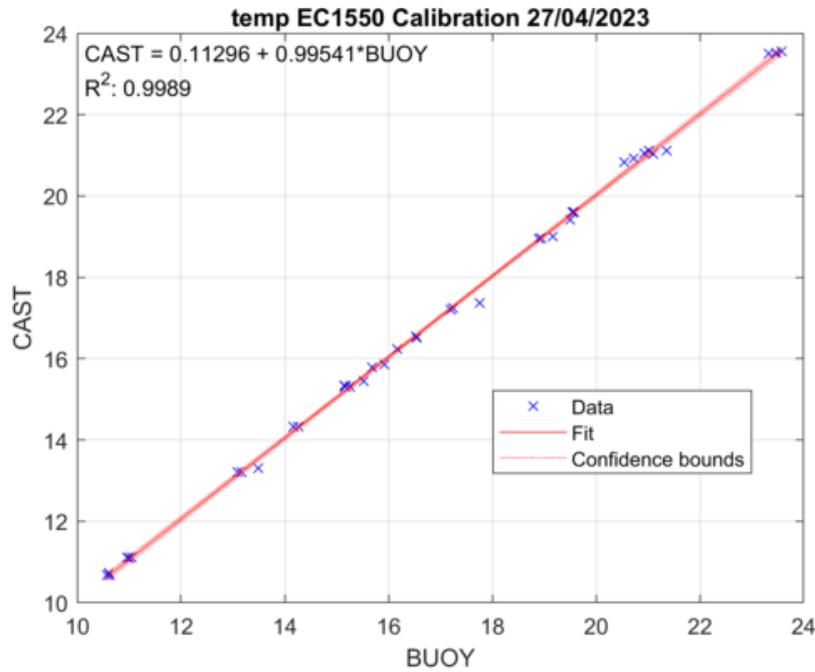


Figura 23: Calibración de la temperatura del sensor de conductividad (EC-1550) de la boya SMLG - 14/10/2023 a 07/05/2023.

Temperatura del sensor de Conductividad (EC-1550) – 14/07/2023 a hoy

Fecha de la última calibración, el 22/06/2023

resultando en la fórmula:

$$CAST = 0.14698 + 0.99704 * BUOY. R^2: 0.9978$$

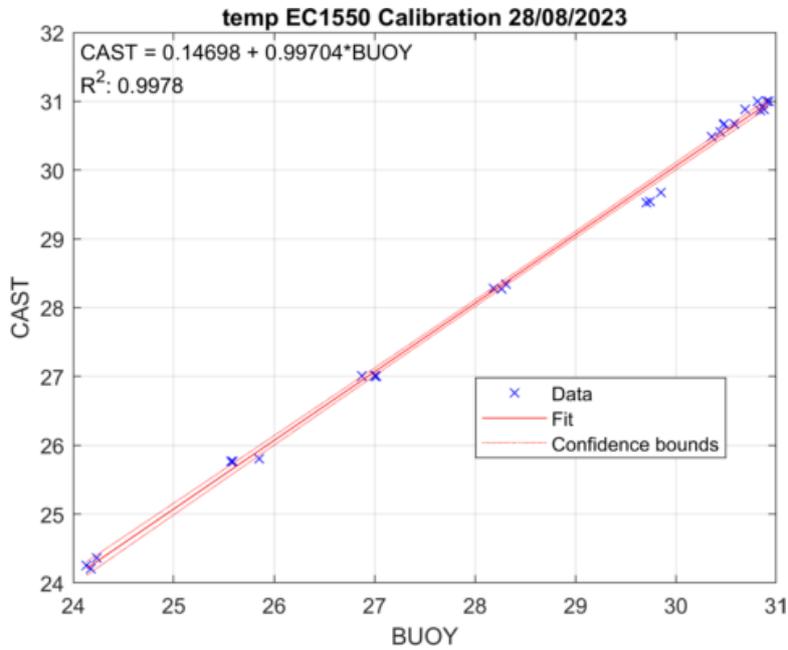


Figura 24: Calibración de la temperatura del sensor de conductividad (EC-1550) de la boya SMLG - 14/07/2023 a hoy.

Calibraciones de clorofila *a*

Convertimos la fluorescencia del CTD in situ (CAST) a Clorofila *a* con las muestras (SAMPLES) in situ en cada punto de muestreo DMMEM.

Fecha de la última calibración, el 28/08/2023

resultando en la fórmula:

$$SAMPLES (mg m^{-3}) = -0.13389 + 0.998986 * CAST (ppb). R^2: 0.8577$$

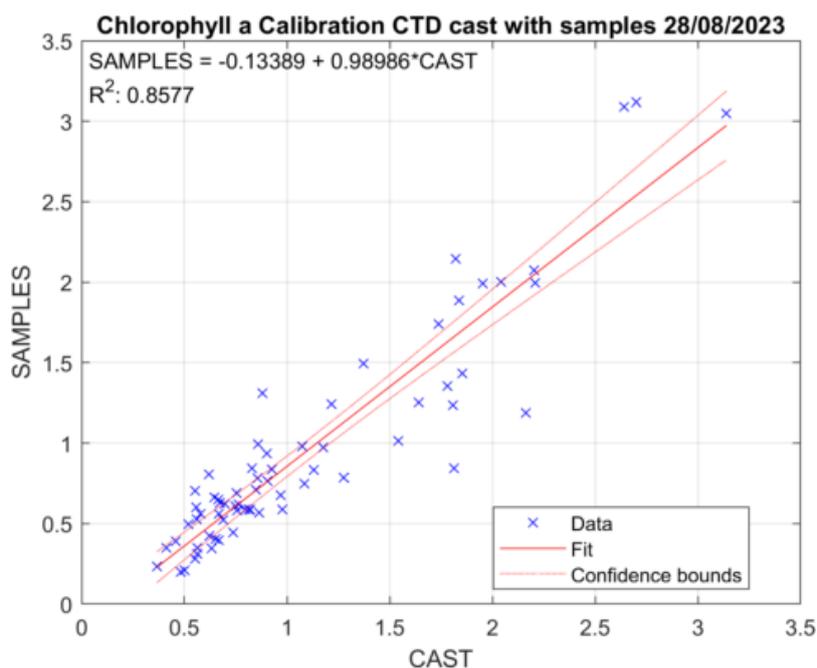


Figura 25: Calibración de la fluorescencia del CTD a Clorofila *a* con las muestras *in situ* en cada punto de muestreo DMMEM.

Calibramos la fluorescencia de la boya SMARTLAGOON (BUOY) con la Clorofila *a* obtenido de la fluorescencia del CTD (CAST).

Fecha de la última calibración, el 28/08/2023

resultando en la fórmula:

$$CAST \text{ (mg m}^{-3}\text{)} = -0.040442 + 0.95881 * BUOY \text{ (ppb)}. R^2: 0.8955$$

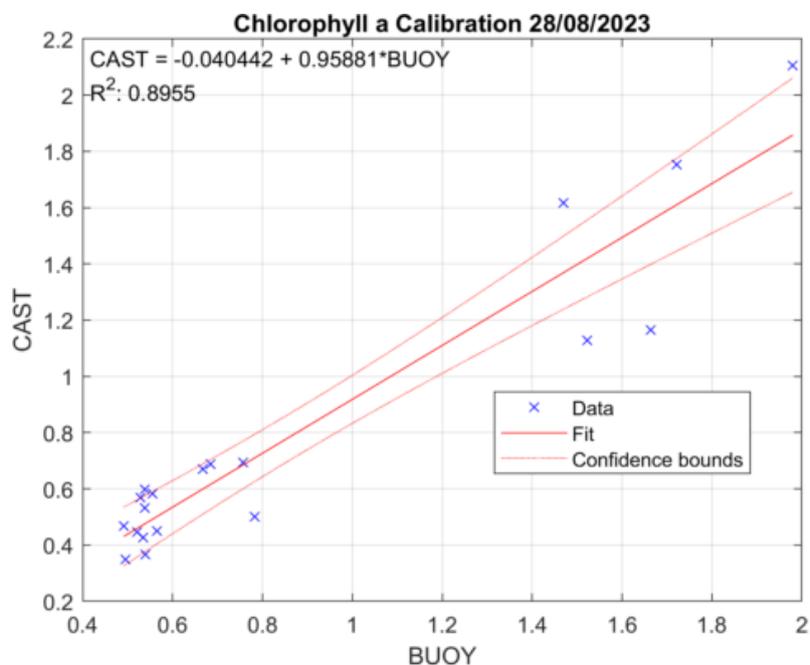


Figura 26: Calibración de la fluorescencia de la boya SMARTLAGOON con la Clorofila *a* obtenido de la fluorescencia del CTD.

Temperatura satelital

Los registros de temperatura superficial del agua (SST) de satélite disponibles en Copernicus Mediterranean Sea – High Resolution L4 Sea Surface Temperature Reprocessed 0.05 deg. resolution (<https://doi.org/10.48670/moi-00173>) están con mediciones *in situ* de temperatura a través de sensores Hobo Water Temp Pro v2 colocados a 1-1.5m en el puerto de Lo Pagán y con la boya SMLG.

Los datos no permitían una calibración lineal y por lo tanto, dado que había varios años de datos disponibles, se calibró por día del año.

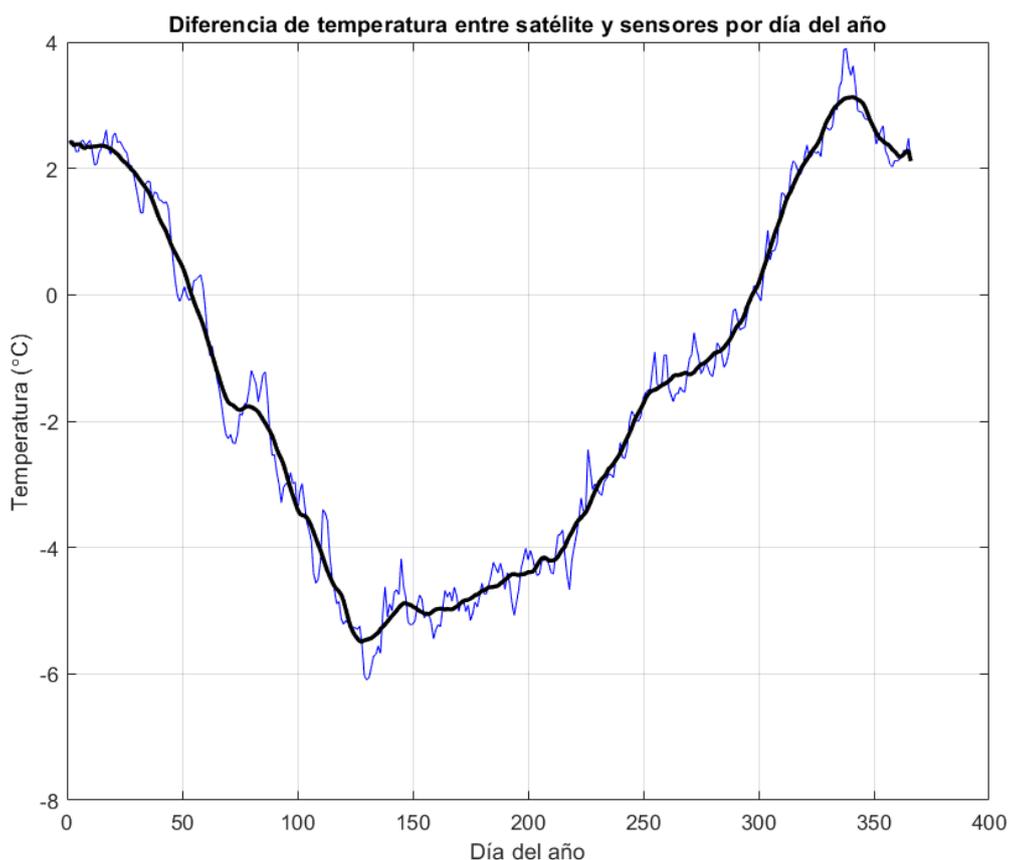


Figura 27: Calibración de la temperatura satelital usando los datos de sensores Hobo Water Temp Pro v2 colocados a 1-1.5m en el puerto de Lo Pagán y de la boya SMLG.

Clorofila *a* satelital

Usando datos de varios satélites, Buongiorno Nardelli et al. (2018) crearon un set de datos de clorofila *a* (Mediterranean Sea Ocean Colour Plankton MY L4 daily gapfree observations and climatology and monthly observations) desde el año 2016 hasta hoy. La Figura 29 muestra los datos de clorofila *a* con una resolución espacial de 300x300 dentro Mar Menor. Con estos datos, se puede calcular un valor promedio mensual de la concentración de clorofila *a* para toda la laguna del Mar Menor.

Los datos satelitales de clorofila *a* han sido calibrados (Figura 28) con los datos de clorofila *a* de los muestreos *in situ* del proyecto DMMEM en las ubicaciones A, B y C.

Última calibración realizada el 20/02/2023. Resultando en la fórmula:

$$SAMPLES = -0.65296 + 0.25056 * OC. R^2: 0.5620$$

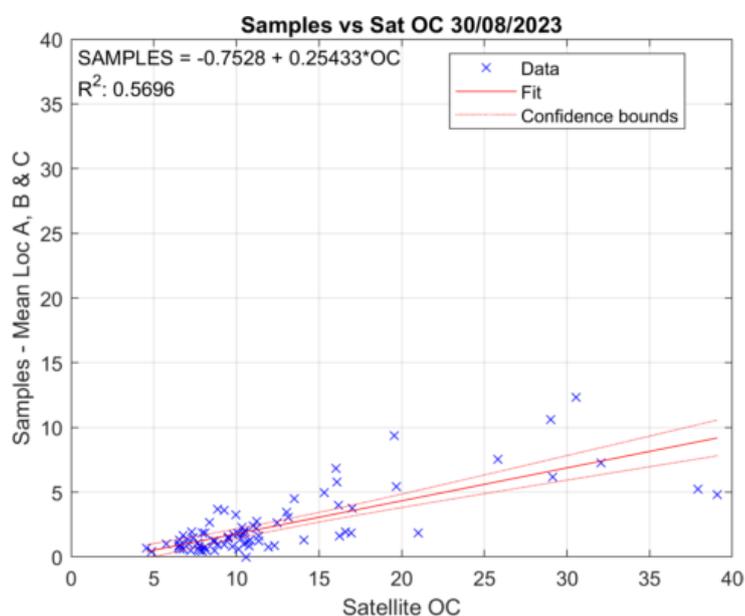


Figura 28: Calibración de la clorofila *a* satelital usando los datos de clorofila *a* de los muestreos del proyecto DMMEM.

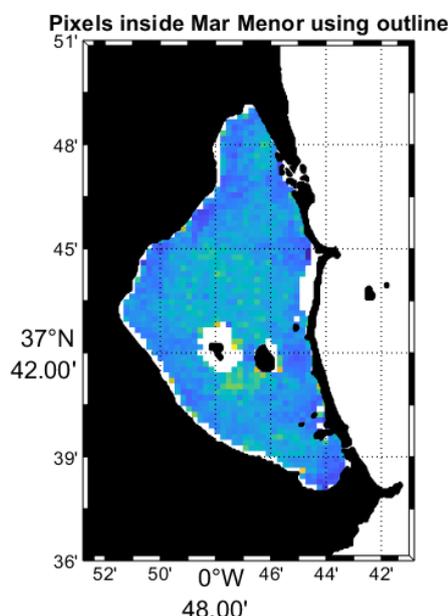


Figura 29: Mapa del Mar Menor con los datos satelitales de clorofila *a* de la Mediterranean Sea Ocean Colour Plankton MY L4 daily gapfree observations and climatology and monthly observations. Resolución espacial de 300x300.

ANEXO III: Perfiles CTD

Temperatura

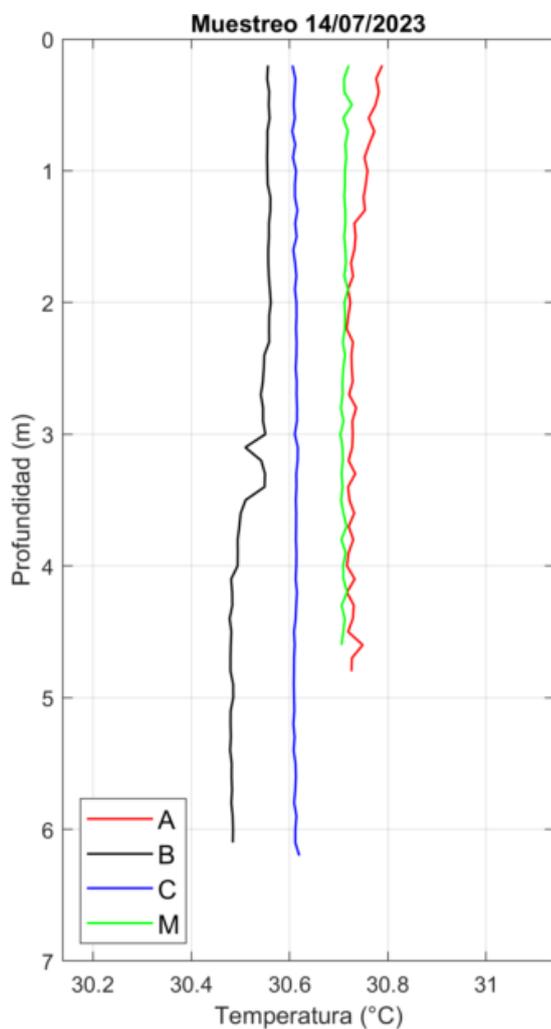


Figura 30: Perfiles de Temperatura obtenidos el día 14/07/2023 con el CTD.

Tabla 7: Datos de Temperatura de los perfiles CTD obtenidos el día 14/07/2023.

Localización	Prof. (m)	Min (°C)	Max (°C)	Media (°C)	STD (°C)
A	0	30.78	30.80	30.79	0.00
	2	30.72	30.72	30.72	0.00
	4.5	30.71	30.72	30.72	0.00
B	0	30.56	30.56	30.56	0.00
	4	30.49	30.50	30.49	0.00
	6	30.48	30.49	30.49	0.00
C	0	30.60	30.61	30.61	0.00
	4	30.61	30.62	30.61	0.00
	6	30.61	30.61	30.61	0.01
M	0	30.72	30.73	30.72	0.00
	2	30.70	30.72	30.71	0.01
	4	30.70	30.72	30.71	0.01

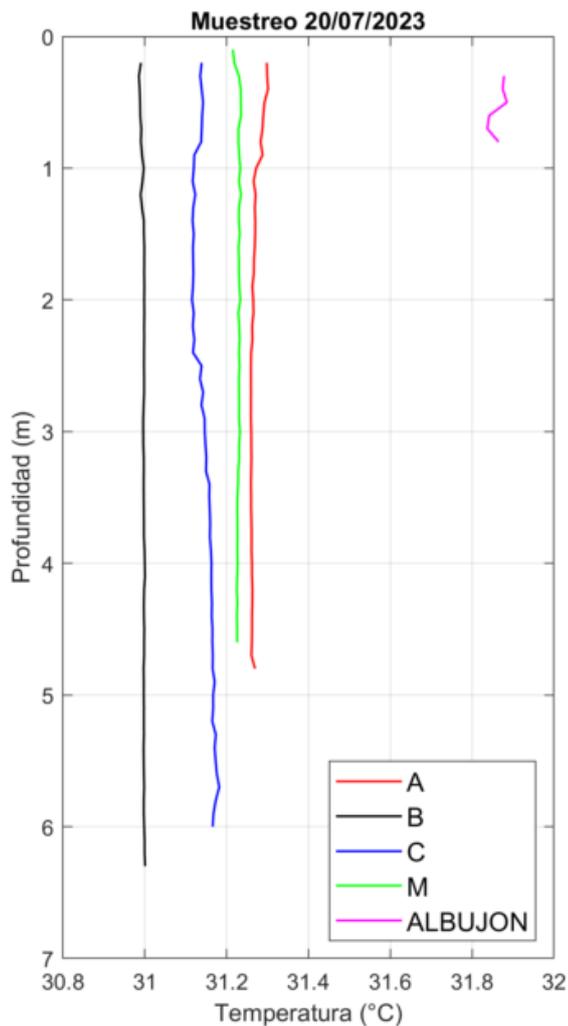


Figura 31: Perfiles de Temperatura obtenidos el día 20/07/2023 con el CTD.

Tabla 8: Datos de Temperatura de los perfiles CTD obtenidos el día 20/07/2023.

Localización	Prof. (m)	Min (°C)	Max (°C)	Media (°C)	STD (°C)
A	0	31.29	31.30	31.30	0.00
	2	31.26	31.27	31.27	0.00
	4.5	31.26	31.26	31.26	0.00
B	0	30.99	30.99	30.99	0.00
	4	31.00	31.00	31.00	0.00
	6	31.00	31.00	31.00	0.00
C	0	31.14	31.14	31.14	0.00
	4	31.16	31.16	31.16	0.00
	6	31.16	31.17	31.16	0.00
M	0	31.21	31.23	31.22	0.00
	2	31.23	31.23	31.23	0.00
	4	31.22	31.23	31.23	0.00
Albujon	0	31.87	31.88	31.88	0.00

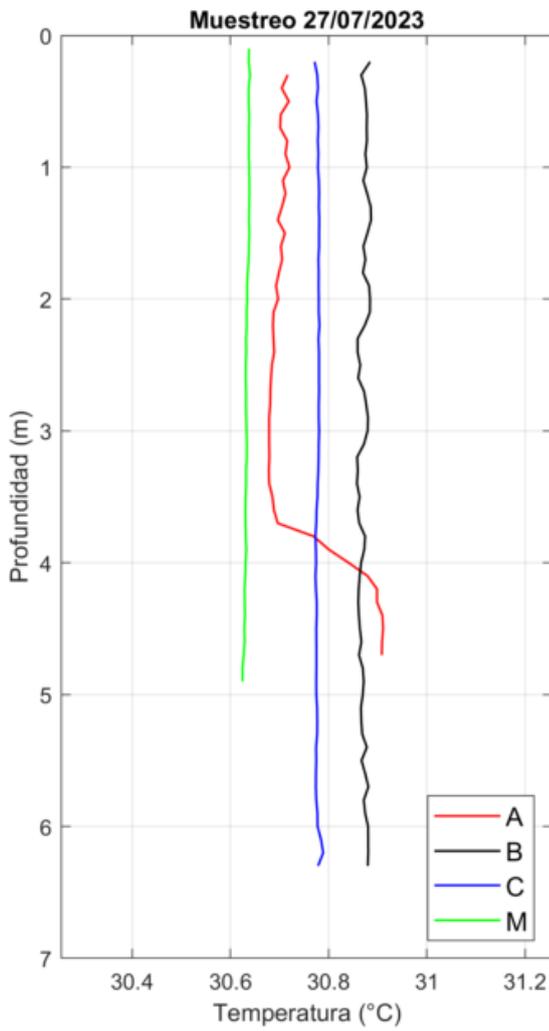


Figura 32: Perfiles de Temperatura obtenidos el día 27/07/2023 con el CTD.

Tabla 9: Datos de Temperatura de los perfiles CTD obtenidos el día 27/07/2023.

Localización	Prof. (m)	Min (°C)	Max (°C)	Media (°C)	STD (°C)
A	0	30.70	30.72	30.72	0.01
	2	30.69	30.70	30.70	0.00
	4.5	30.91	30.92	30.91	0.00
B	0	30.86	30.89	30.88	0.01
	4	30.85	30.88	30.86	0.01
	6	30.87	30.89	30.88	0.01
C	0	30.77	30.78	30.77	0.00
	4	30.77	30.78	30.77	0.00
	6	30.78	30.78	30.78	0.00
M	0	30.64	30.64	30.64	0.00
	2	30.63	30.64	30.63	0.00
	4	30.63	30.63	30.63	0.00

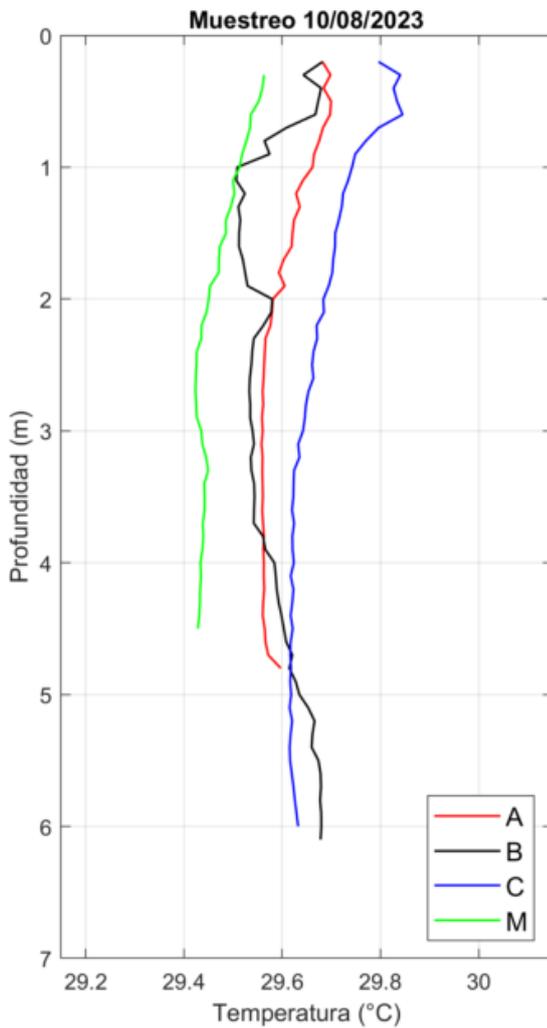


Figura 33: Perfiles de Temperatura obtenidos el día 10/08/2023 con el CTD.

Tabla 10: Datos de Temperatura de los perfiles CTD obtenidos el día 10/08/2023.

Localización	Prof. (m)	Min (°C)	Max (°C)	Media (°C)	STD (°C)
A	0	29.67	29.68	29.68	0.00
	2	29.58	29.58	29.58	0.00
	4.5	29.55	29.57	29.56	0.01
B	0	29.68	29.68	29.68	0.00
	4	29.57	29.58	29.58	0.00
	6	29.68	29.68	29.68	0.00
C	0	29.79	29.80	29.79	0.00
	4	29.62	29.63	29.62	0.00
	6	29.62	29.63	29.63	0.01
M	0	29.57	29.57	29.57	0.00
	2	29.45	29.46	29.45	0.00
	4	29.43	29.44	29.43	0.00

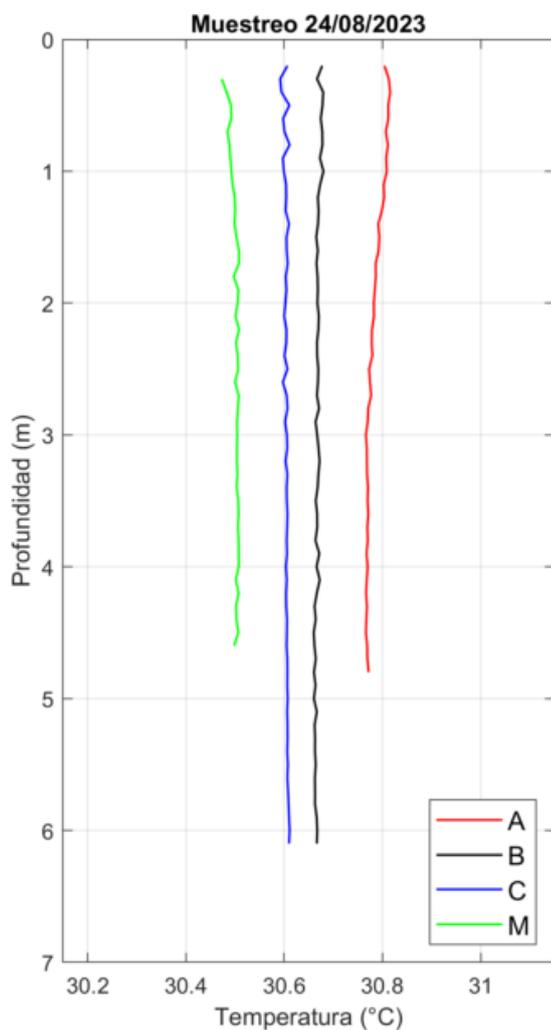


Figura 34: Perfiles de Temperatura obtenidos el día 24/08/2023 con el CTD.

Tabla 11: Datos de Temperatura de los perfiles CTD obtenidos el día 24/08/2023.

Localización	Prof. (m)	Min (°C)	Max (°C)	Media (°C)	STD (°C)
A	0	30.80	30.80	30.80	0.00
	2	30.78	30.78	30.78	0.00
	4.5	30.77	30.77	30.77	0.00
B	0	30.68	30.69	30.69	0.00
	4	30.66	30.67	30.66	0.00
	6	30.67	30.67	30.67	0.00
C	0	30.58	30.61	30.60	0.01
	4	30.61	30.61	30.61	0.00
	6	30.61	30.61	30.61	0.00
M	0	30.47	30.50	30.49	0.01
	2	30.50	30.51	30.50	0.00
	4	30.50	30.51	30.51	0.00

Salinidad

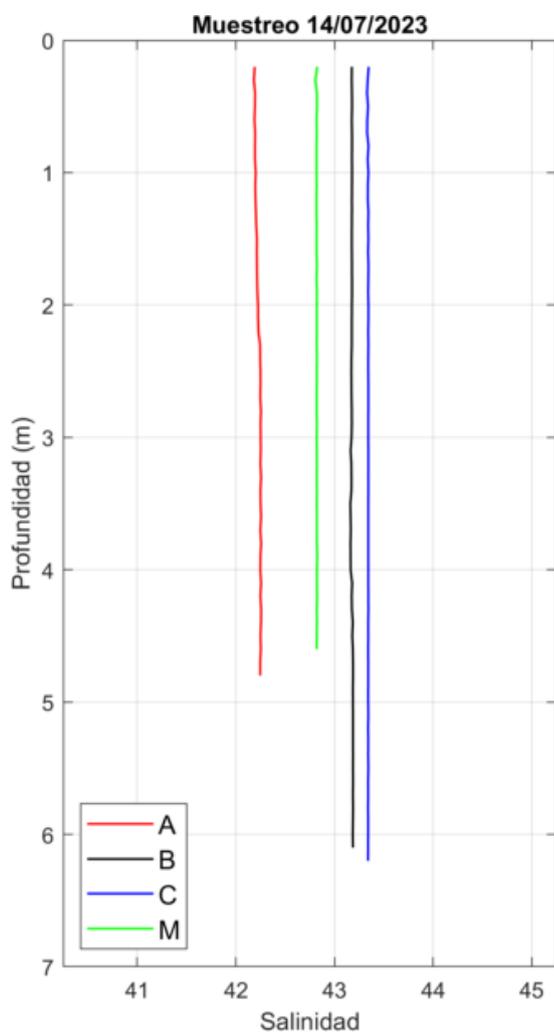


Figura 35: Perfiles de Salinidad obtenidos el día 14/07/2023 con el CTD.

Tabla 12: Datos de Salinidad de los perfiles CTD obtenidos el día 14/07/2023.

Localización	Prof. (m)	Min (-)	Max (-)	Media (-)	STD (-)
A	0	42.19	42.20	42.19	0.00
	2	42.22	42.23	42.23	0.00
	4.5	42.25	42.25	42.25	0.00
B	0	43.17	43.18	43.18	0.00
	4	43.16	43.17	43.16	0.00
	6	43.18	43.19	43.18	0.00
C	0	43.34	43.35	43.35	0.00
	4	43.34	43.34	43.34	0.00
	6	43.34	43.34	43.34	0.00
M	0	42.82	42.83	42.82	0.00
	2	42.82	42.82	42.82	0.00
	4	42.82	42.83	42.82	0.00

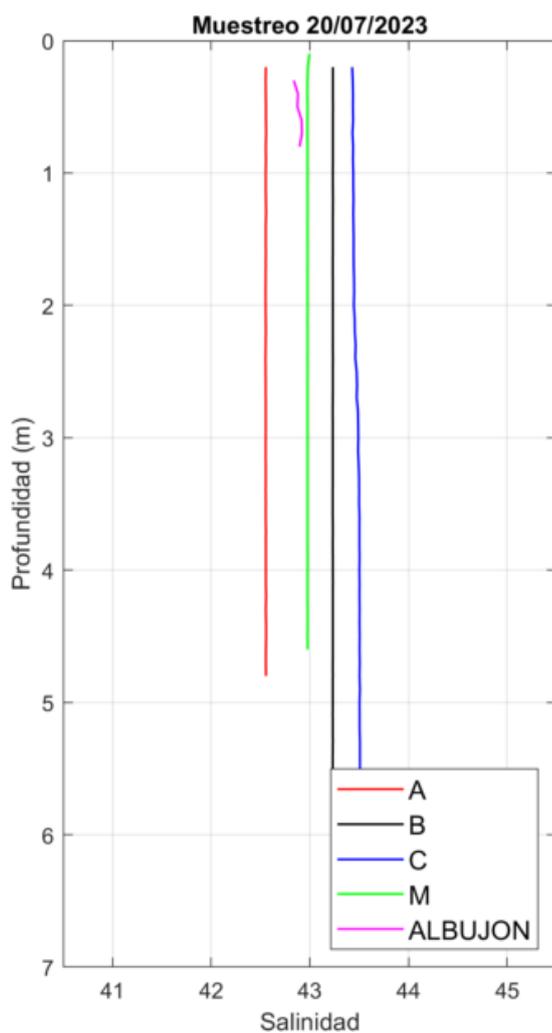


Figura 36: Perfiles de Salinidad obtenidos el día 20/07/2023 con el CTD.

Tabla 13: Datos de Salinidad de los perfiles CTD obtenidos el día 20/07/2023.

Localización	Prof. (m)	Min (-)	Max (-)	Media (-)	STD (-)
A	0	42.55	42.56	42.56	0.00
	2	42.55	42.55	42.55	0.00
	4.5	42.56	42.56	42.56	0.00
B	0	43.23	43.23	43.23	0.00
	4	43.23	43.23	43.23	0.00
	6	43.23	43.23	43.23	0.00
C	0	43.42	43.43	43.42	0.01
	4	43.50	43.50	43.50	0.00
	6	43.50	43.51	43.50	0.00
M	0	42.98	42.98	42.98	0.00
	2	42.98	42.98	42.98	0.00
	4	42.98	42.98	42.98	0.00
Albujon	0	42.82	42.84	42.83	0.01

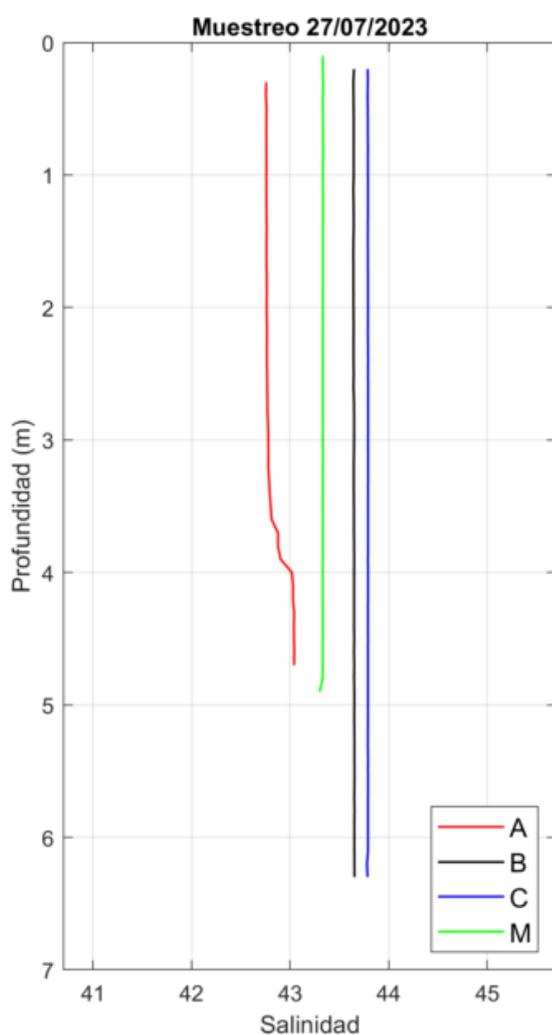


Figura 37: Perfiles de Salinidad obtenidos el día 27/07/2023 con el CTD.

Tabla 14: Datos de Salinidad de los perfiles CTD obtenidos el día 27/07/2023.

Localización	Prof. (m)	Min (-)	Max (-)	Media (-)	STD (-)
A	0	42.76	42.76	42.76	0.00
	2	42.76	42.76	42.76	0.00
	4.5	43.04	43.05	43.04	0.00
B	0	43.64	43.65	43.65	0.00
	4	43.65	43.65	43.65	0.00
	6	43.65	43.65	43.65	0.00
C	0	43.78	43.79	43.79	0.00
	4	43.79	43.79	43.79	0.00
	6	43.79	43.79	43.79	0.00
M	0	43.33	43.33	43.33	0.00
	2	43.33	43.33	43.33	0.00
	4	43.33	43.33	43.33	0.00

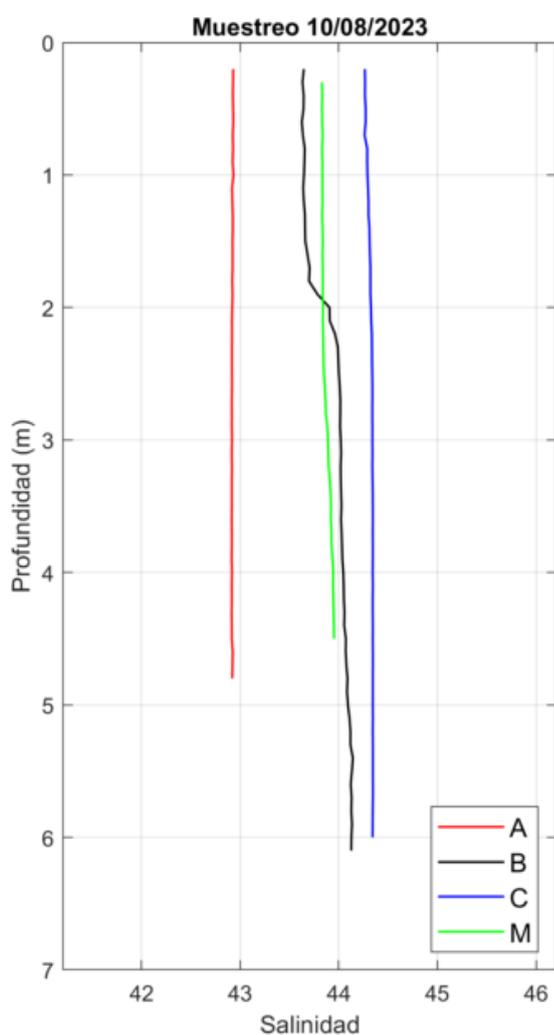


Figura 38: Perfiles de Salinidad obtenidos el día 10/08/2023 con el CTD.

Tabla 15: Datos de Salinidad de los perfiles CTD obtenidos el día 10/08/2023.

Localización	Prof. (m)	Min (-)	Max (-)	Media (-)	STD (-)
A	0	42.92	42.94	42.93	0.00
	2	42.92	42.92	42.92	0.00
	4.5	42.91	42.93	42.92	0.01
B	0	43.65	43.65	43.65	0.00
	4	44.03	44.05	44.04	0.00
	6	44.13	44.14	44.13	0.00
C	0	44.25	44.28	44.27	0.01
	4	44.34	44.35	44.34	0.00
	6	44.34	44.34	44.34	0.00
M	0	43.83	43.84	43.83	0.00
	2	43.84	43.84	43.84	0.00
	4	43.94	43.95	43.94	0.00

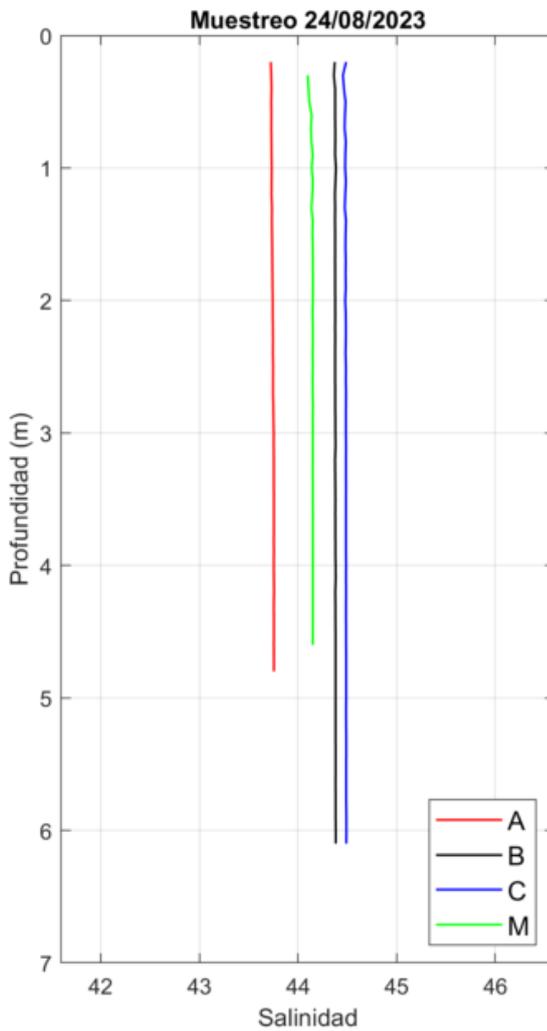


Figura 39: Perfiles de Salinidad obtenidos el día 24/08/2023 con el CTD.

Tabla 16: Datos de Salinidad de los perfiles CTD obtenidos el día 24/08/2023.

Localización	Prof. (m)	Min (-)	Max (-)	Media (-)	STD (-)
A	0	43.72	43.73	43.72	0.00
	2	43.74	43.74	43.74	0.00
	4.5	43.76	43.76	43.76	0.00
B	0	44.38	44.38	44.38	0.00
	4	44.38	44.38	44.38	0.00
	6	44.38	44.38	44.38	0.00
C	0	44.41	44.49	44.48	0.03
	4	44.48	44.49	44.49	0.00
	6	44.49	44.49	44.49	0.00
M	0	44.11	44.15	44.13	0.01
	2	44.14	44.15	44.15	0.00
	4	44.15	44.15	44.15	0.00

Clorofila *a*

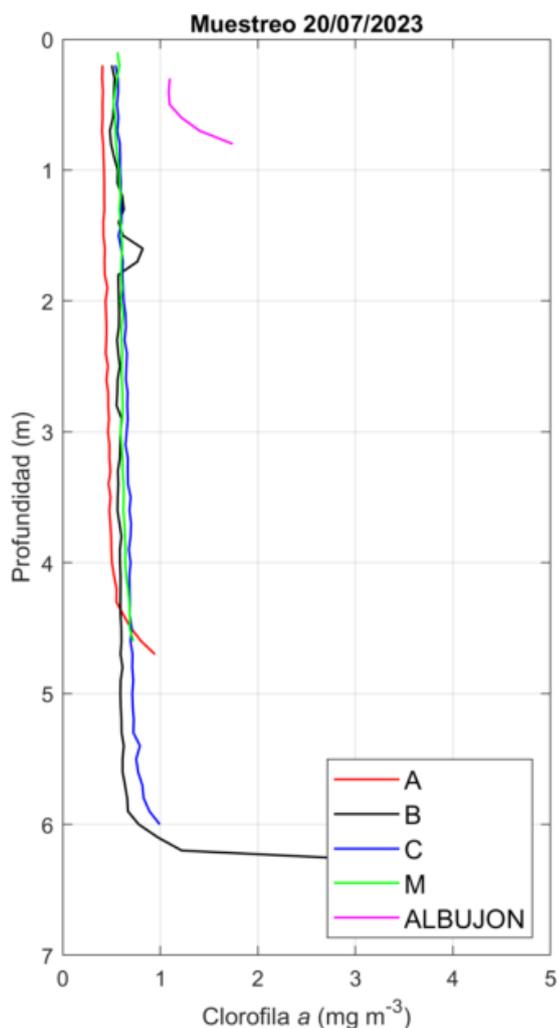


Figura 40: Perfiles de clorofila *a* obtenidos el día 14/07/2023 con el CTD (Fluorescencia calibrado con muestras).

Tabla 17: Datos de clorofila *a* de los perfiles CTD obtenidos el día 14/07/2023.

Localización	Prof. (m)	Min (mg/m ³)	Max (mg/m ³)	Media (mg/m ³)	STD (mg/m ³)
A	0	0.39	0.43	0.41	0.01
	2	0.43	0.48	0.46	0.01
	4.5	0.67	0.74	0.71	0.02
B	0	0.48	0.54	0.50	0.02
	4	0.57	0.61	0.59	0.01
	6	0.72	0.87	0.77	0.05
C	0	0.52	0.56	0.54	0.01
	4	0.67	0.74	0.70	0.03
	6	0.96	1.08	1.00	0.04
M	0	0.55	0.64	0.59	0.03
	2	0.55	0.64	0.59	0.03
	4	0.62	0.68	0.64	0.02
Albujon	0	1.04	1.15	1.11	0.04

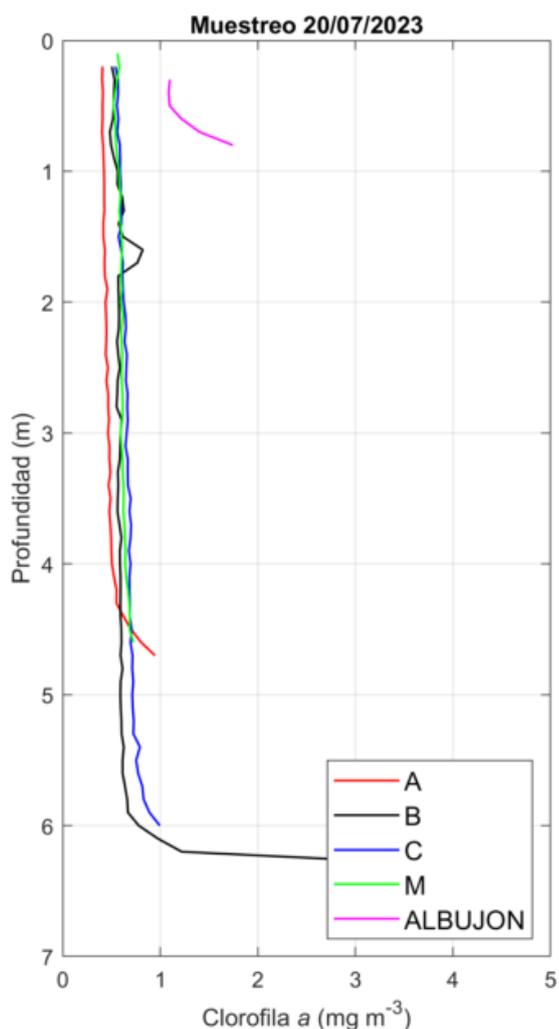


Figura 41: Perfiles de clorofila *a* obtenidos el día 20/07/2023 con el CTD (Fluorescencia calibrado con muestras).

Tabla 18: Datos de clorofila *a* de los perfiles CTD obtenidos el día 20/07/2023.

Localización	Prof. (m)	Min (mg/m ³)	Max (mg/m ³)	Media (mg/m ³)	STD (mg/m ³)
A	0	0	42.55	42.56	42.56
	2	2	42.55	42.55	42.55
	4.5	4.5	42.56	42.56	42.56
B	0	0	43.23	43.23	43.23
	4	4	43.23	43.23	43.23
	6	6	43.23	43.23	43.23
C	0	0	43.42	43.43	43.42
	4	4	43.50	43.50	43.50
	6	6	43.50	43.51	43.50
M	0	0	42.98	42.98	42.98
	2	2	42.98	42.98	42.98
	4	4	42.98	42.98	42.98
Albujon	0	0	42.82	42.84	42.83

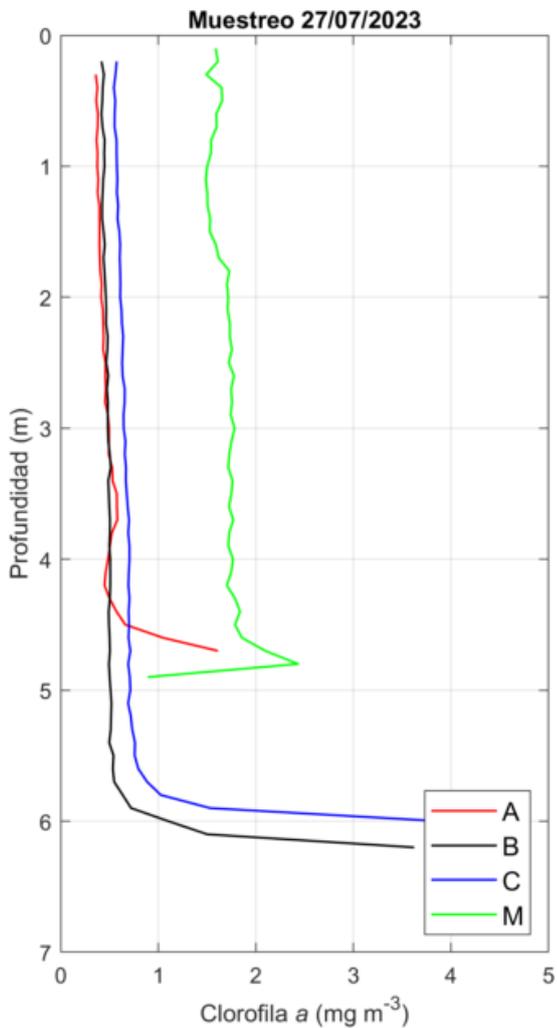


Figura 42: Perfiles de clorofila *a* obtenidos el día 27/07/2023 con el CTD (Fluorescencia calibrado con muestras).

Tabla 19: Datos de clorofila *a* de los perfiles CTD obtenidos el día 27/07/2023.

Localización	Prof. (m)	Min (mg/m ³)	Max (mg/m ³)	Media (mg/m ³)	STD (mg/m ³)
A	0	0.32	0.38	0.35	0.02
	2	0.39	0.43	0.41	0.01
	4.5	0.63	0.75	0.67	0.03
B	0	0.41	0.45	0.43	0.02
	4	0.50	0.52	0.51	0.01
	6	0.83	1.18	1.04	0.09
C	0	0.55	0.59	0.57	0.01
	4	0.69	0.72	0.70	0.01
	6	3.69	4.91	4.35	0.46
M	0	1.51	1.59	1.55	0.03
	2	1.66	1.76	1.72	0.03
	4	1.67	2.05	1.80	0.11

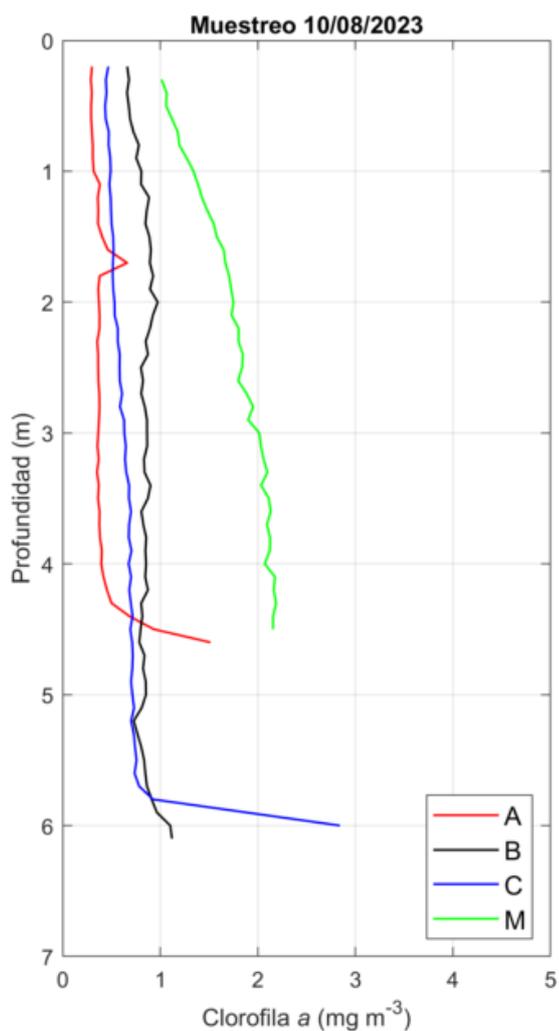


Figura 43: Perfiles de clorofila *a* obtenidos el día 10/08/2023 con el CTD (Fluorescencia calibrado con muestras).

Tabla 20: Datos de clorofila *a* de los perfiles CTD obtenidos el día 10/08/2023.

Localización	Prof. (m)	Min (mg/m ³)	Max (mg/m ³)	Media (mg/m ³)	STD (mg/m ³)
A	0	0.29	0.33	0.31	0.02
	2	0.36	0.39	0.37	0.01
	4.5	0.95	0.95	0.95	0.01
B	0	0.64	0.69	0.67	0.02
	4	0.79	0.92	0.84	0.04
	6	0.90	1.19	1.09	0.08
C	0	0.45	0.48	0.47	0.01
	4	0.65	0.70	0.68	0.02
	6	0.92	2.84	1.57	1.10
M	0	0.95	1.02	1.00	0.02
	2	1.63	1.78	1.73	0.05
	4	1.98	2.13	2.06	0.06

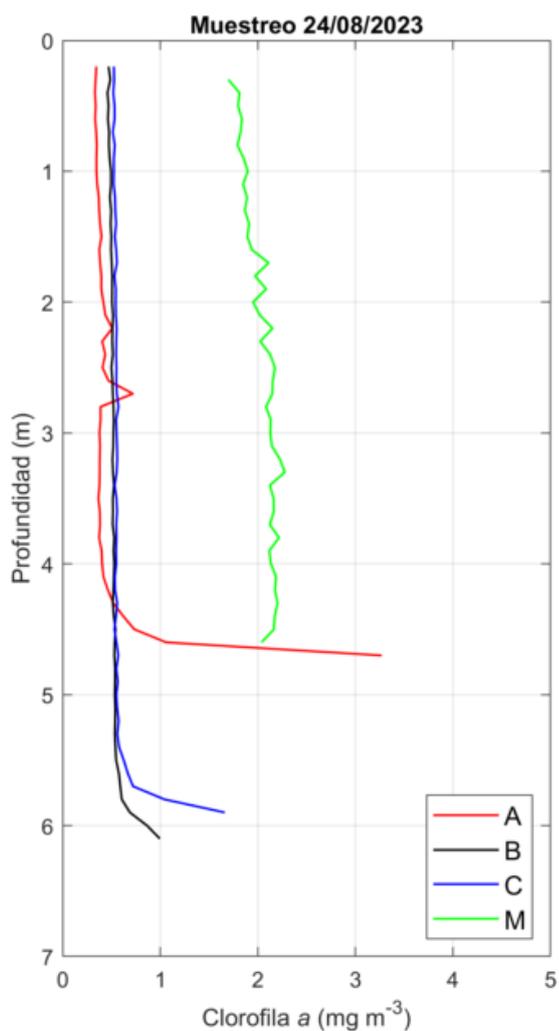


Figura 44: Perfiles de clorofila *a* obtenidos el día 24/08/2023 con el CTD (Fluorescencia calibrado con muestras).

Tabla 21: Datos de clorofila *a* de los perfiles CTD obtenidos el día 24/08/2023.

Localización	Prof. (m)	Min (mg/m ³)	Max (mg/m ³)	Media (mg/m ³)	STD (mg/m ³)
A	0	0.33	0.36	0.34	0.01
	2	0.39	0.87	0.46	0.15
	4.5	0.68	0.84	0.79	0.06
B	0	0.44	0.49	0.46	0.01
	4	0.52	0.57	0.54	0.02
	6	0.78	0.81	0.80	0.01
C	0	0.49	0.55	0.52	0.02
	4	0.52	0.57	0.54	0.01
	6	NaN	NaN	NaN	NaN
M	0	1.69	1.85	1.75	0.06
	2	1.90	2.24	2.04	0.11
	4	2.11	2.52	2.21	0.12

Turbidez

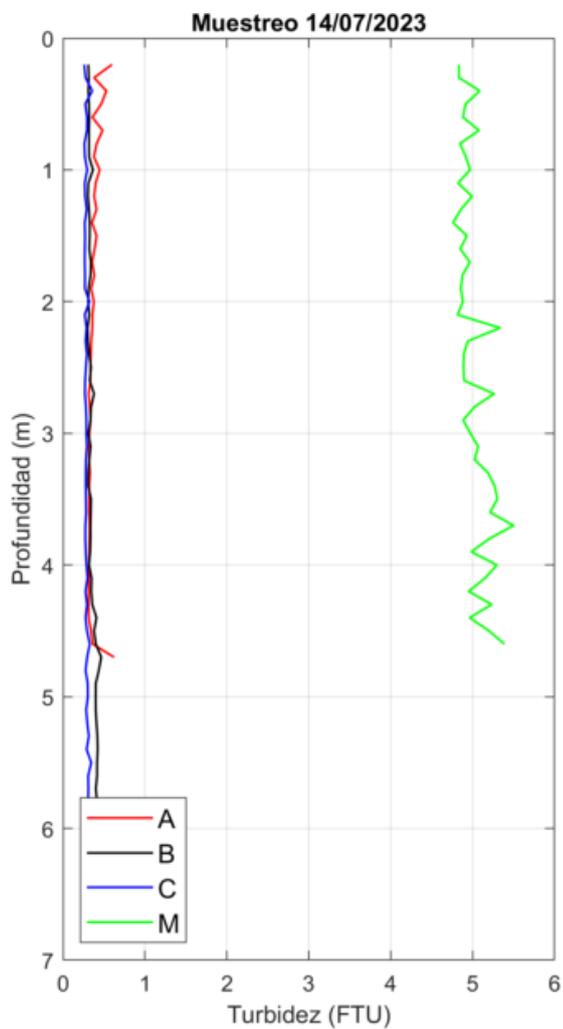


Figura 45: Perfiles de Turbidez obtenidos el día 14/07/2023 con el CTD.

Tabla 22: Datos de Turbidez de los perfiles CTD obtenidos el día 14/07/2023.

Localización	Prof. (m)	Min (FTU)	Max (FTU)	Media (FTU)	STD (FTU)
A	0	0.58	0.66	0.61	0.03
	2	0.36	0.41	0.38	0.01
	4.5	0.32	0.38	0.34	0.02
B	0	0.29	0.32	0.31	0.01
	4	0.31	0.35	0.32	0.01
	6	0.42	0.49	0.45	0.03
C	0	0.23	0.28	0.26	0.01
	4	0.25	0.32	0.28	0.02
	6	0.57	0.58	0.57	0.01
M	0	4.73	4.99	4.82	0.08
	2	4.83	4.97	4.89	0.05
	4	5.03	5.63	5.36	0.20

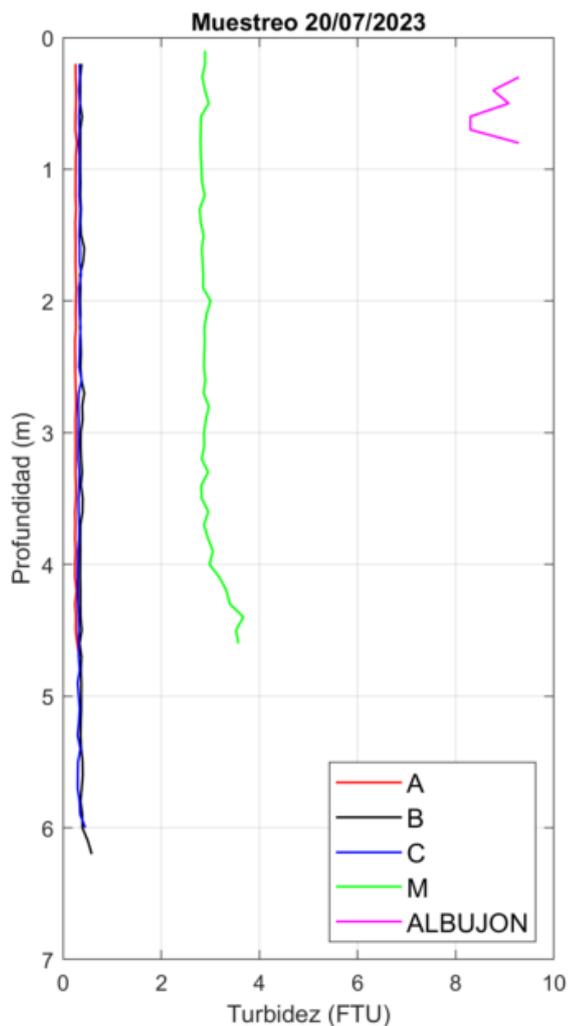


Figura 46: Perfiles de Turbidez obtenidos el día 20/07/2023 con el CTD.

Tabla 23: Datos de Turbidez de los perfiles CTD obtenidos el día 20/07/2023.

Localización	Prof. (m)	Min (FTU)	Max (FTU)	Media (FTU)	STD (FTU)
A	0	0.22	0.28	0.25	0.02
	2	0.25	0.29	0.26	0.02
	4.5	0.22	0.31	0.26	0.03
B	0	0.34	0.52	0.38	0.05
	4	0.32	0.36	0.34	0.01
	6	0.35	0.42	0.39	0.02
C	0	0.32	0.35	0.33	0.01
	4	0.29	0.32	0.30	0.01
	6	0.38	0.52	0.46	0.05
M	0	2.84	3.37	3.03	0.18
	2	2.84	3.37	3.03	0.18
	4	2.74	3.15	2.95	0.14
Albujon	0	9.10	10.00	9.62	0.40

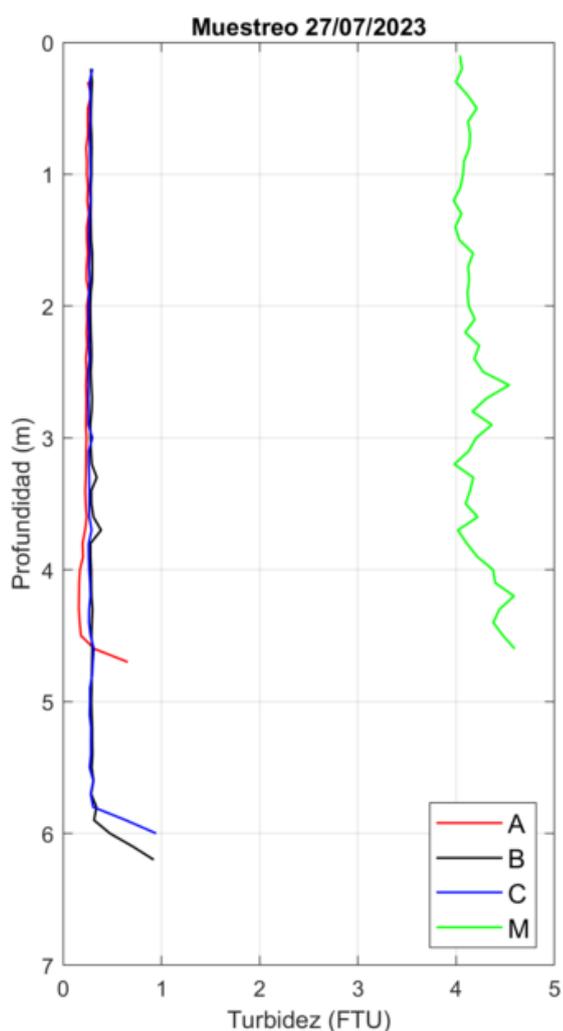


Figura 47: Perfiles de Turbidez obtenidos el día 27/07/2023 con el CTD.

Tabla 24: Datos de Turbidez de los perfiles CTD obtenidos el día 27/07/2023.

Localización	Prof. (m)	Min (FTU)	Max (FTU)	Media (FTU)	STD (FTU)
A	0	0.20	0.39	0.26	0.06
	2	0.22	0.28	0.25	0.02
	4.5	0.16	0.23	0.20	0.03
B	0	0.26	0.31	0.29	0.01
	4	0.26	0.41	0.30	0.05
	6	0.34	0.60	0.40	0.09
C	0	0.26	0.32	0.29	0.02
	4	0.22	0.29	0.26	0.02
	6	-	-	-	-
M	0	3.89	4.24	4.05	0.13
	2	3.91	4.20	4.12	0.11
	4	4.29	4.68	4.51	0.17

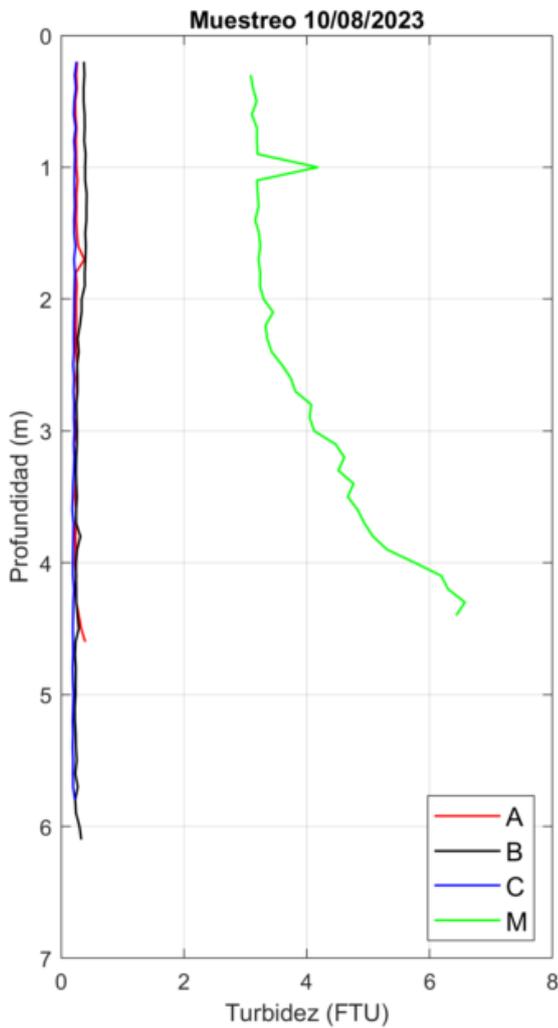


Figura 48: Perfiles de Turbidez obtenidos el día 10/08/2023 con el CTD.

Tabla 25: Datos de Turbidez de los perfiles CTD obtenidos el día 10/08/2023.

Localización	Prof. (m)	Min (FTU)	Max (FTU)	Media (FTU)	STD (FTU)
A	0	0.25	0.29	0.27	0.01
	2	0.23	0.26	0.25	0.01
	4.5	0.32	0.32	0.32	0.00
B	0	0.34	0.45	0.37	0.03
	4	0.22	0.29	0.24	0.03
	6	0.26	0.38	0.30	0.03
C	0	0.22	0.28	0.25	0.02
	4	0.16	0.20	0.18	0.01
	6	0.20	0.23	0.22	0.02
M	0	2.87	3.32	3.07	0.16
	2	3.13	3.56	3.35	0.13
	4	5.31	5.75	5.56	0.14

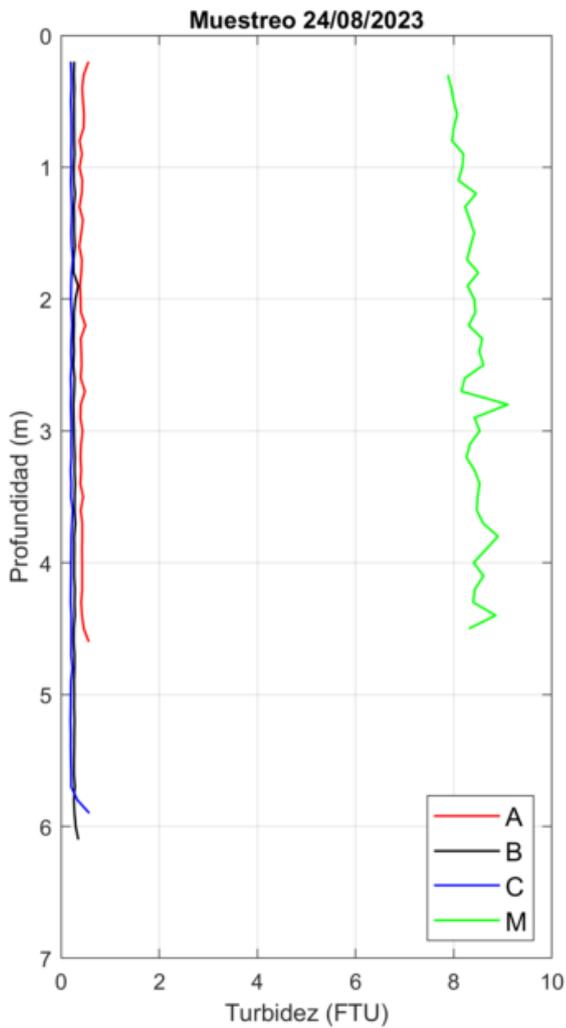


Figura 49: Perfiles de Turbidez obtenidos el día 24/08/2023 con el CTD.

Tabla 26: Datos de Turbidez de los perfiles CTD obtenidos el día 24/08/2023.

Localización	Prof. (m)	Min (FTU)	Max (FTU)	Media (FTU)	STD (FTU)
A	0	0.57	0.63	0.59	0.02
	2	0.38	0.47	0.41	0.03
	4.5	0.41	0.54	0.47	0.04
B	0	0.26	0.31	0.28	0.01
	4	0.25	0.31	0.27	0.02
	6	0.26	0.32	0.29	0.02
C	0	0.19	0.23	0.21	0.01
	4	0.17	0.25	0.20	0.03
	6	-	-	-	-
M	0	7.81	8.62	8.14	0.30
	2	8.24	8.55	8.40	0.11
	4	8.08	8.75	8.31	0.23

Concentración de Oxígeno

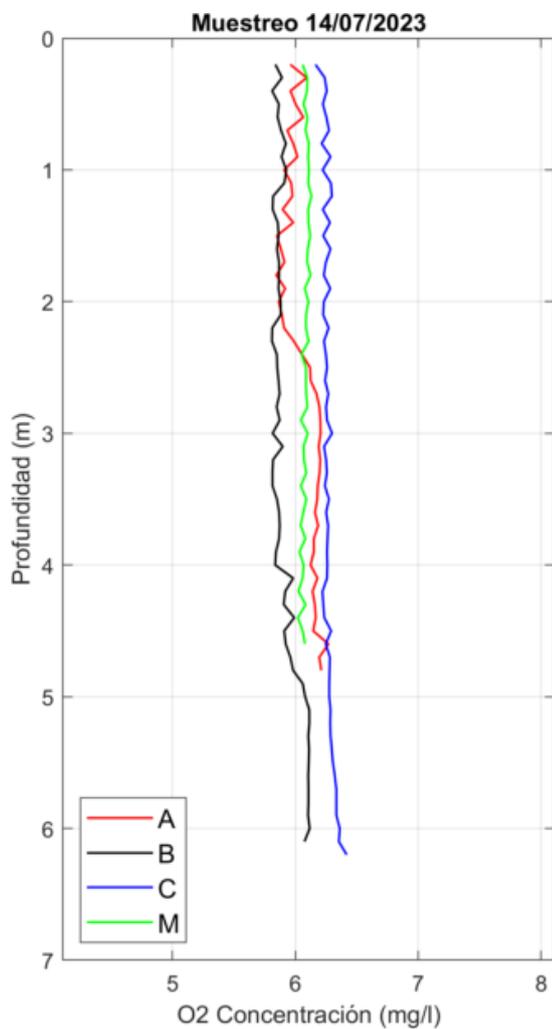


Figura 50: Perfiles de Concentración de Oxígeno obtenidos el día 14/07/2023 con el CTD.

Tabla 27: Datos de Concentración de Oxígeno de los perfiles CTD obtenidos el día 14/07/2023.

Localización	Prof. (m)	Min (mg/l)	Max (mg/l)	Media (mg/l)	STD (mg/l)
A	0	5.93	5.96	5.95	0.01
	2	5.83	5.92	5.85	0.03
	4.5	6.12	6.15	6.14	0.01
B	0	5.77	5.79	5.78	0.01
	4	5.82	5.84	5.83	0.01
	6	6.06	6.17	6.12	0.05
C	0	6.16	6.17	6.16	0.01
	4	6.21	6.31	6.25	0.05
	6	6.36	6.37	6.36	0.01
M	0	6.05	6.07	6.06	0.01
	2	6.04	6.15	6.09	0.05
	4	6.01	6.11	6.07	0.04

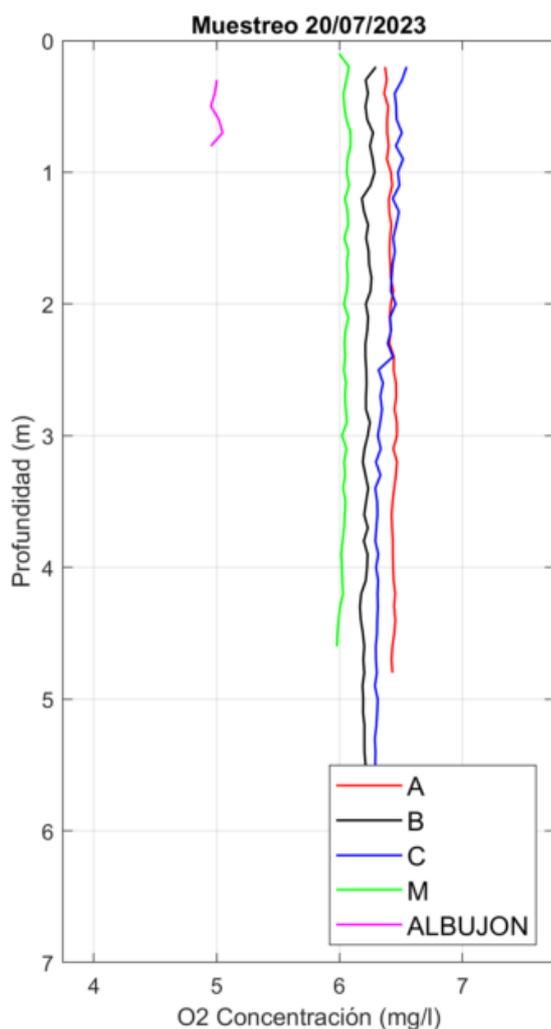


Figura 51: Perfiles de Concentración de Oxígeno obtenidos el día 20/07/2023 con el CTD.

Tabla 28: Datos de Concentración de Oxígeno de los perfiles CTD obtenidos el día 20/07/2023.

Localización	Prof. (m)	Min (mg/l)	Max (mg/l)	Media (mg/l)	STD (mg/l)
A	0	6.32	6.42	6.34	0.03
	2	6.38	6.45	6.40	0.02
	4.5	6.43	6.46	6.44	0.01
B	0	6.29	6.31	6.30	0.01
	4	6.22	6.24	6.23	0.01
	6	6.20	6.31	6.23	0.04
C	0	6.54	6.56	6.55	0.01
	4	6.27	6.33	6.30	0.02
	6	6.30	6.32	6.31	0.01
M	0	6.01	6.11	6.04	0.03
	2	6.01	6.09	6.04	0.03
	4	5.99	6.06	6.02	0.03
Albujon	0	4.99	5.02	5.01	0.01

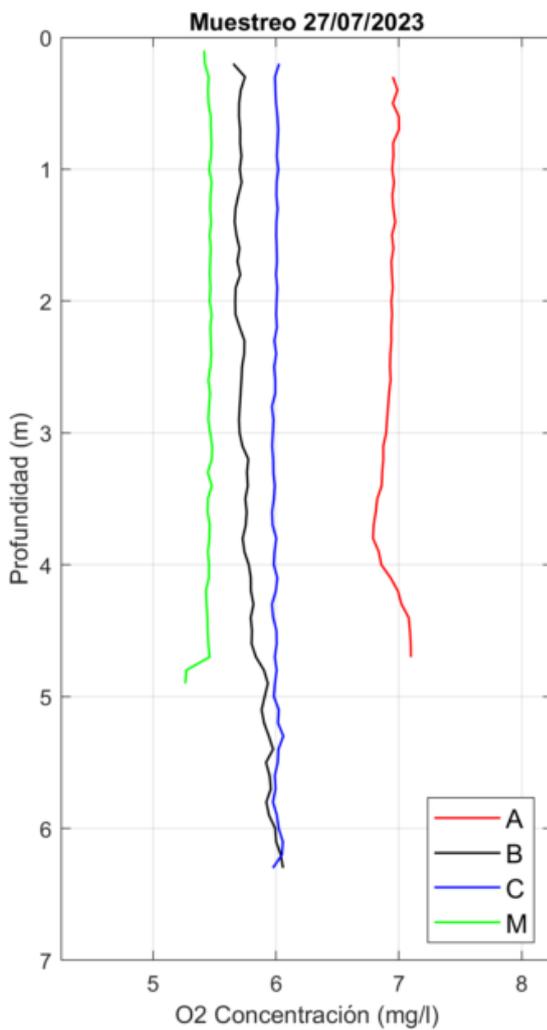


Figura 52: Perfiles de Concentración de Oxígeno obtenidos el día 27/07/2023 con el CTD.

Tabla 29: Datos de Concentración de Oxígeno de los perfiles CTD obtenidos el día 27/07/2023.

Localización	Prof. (m)	Min (mg/l)	Max (mg/l)	Media (mg/l)	STD (mg/l)
A	0	6.92	7.00	6.95	0.03
	2	6.92	6.98	6.93	0.02
	4.5	7.07	7.13	7.10	0.02
B	0	5.64	5.76	5.69	0.05
	4	5.73	5.81	5.78	0.02
	6	5.93	6.05	5.99	0.04
C	0	5.95	6.05	6.01	0.03
	4	5.94	6.04	5.98	0.04
	6	6.00	6.04	6.02	0.01
M	0	5.41	5.43	5.42	0.01
	2	5.43	5.46	5.45	0.01
	4	5.43	5.47	5.45	0.02

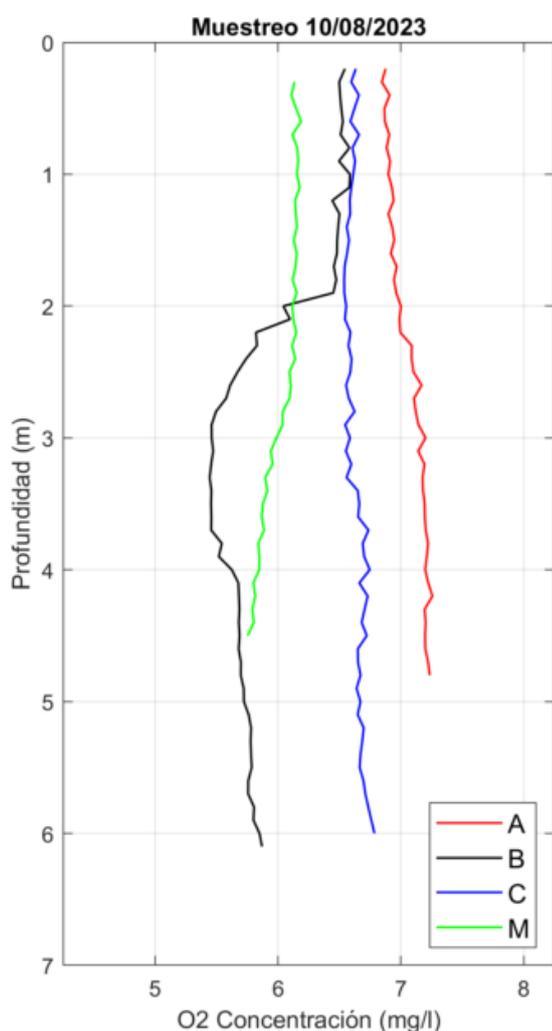


Figura 53: Perfiles de Concentración de Oxígeno obtenidos el día 10/08/2023 con el CTD.

Tabla 30: Datos de Concentración de Oxígeno de los perfiles CTD obtenidos el día 10/08/2023.

Localización	Prof. (m)	Min (mg/l)	Max (mg/l)	Media (mg/l)	STD (mg/l)
A	0	6.87	6.89	6.88	0.01
	2	6.99	7.02	7.00	0.01
	4.5	7.21	7.21	7.21	0.00
B	0	6.53	6.57	6.55	0.01
	4	5.54	5.61	5.57	0.02
	6	5.81	5.84	5.82	0.01
C	0	6.64	6.64	6.64	0.00
	4	6.67	6.78	6.75	0.03
	6	6.69	6.79	6.74	0.06
M	0	6.08	6.12	6.10	0.01
	2	6.08	6.16	6.11	0.02
	4	5.82	5.88	5.85	0.02

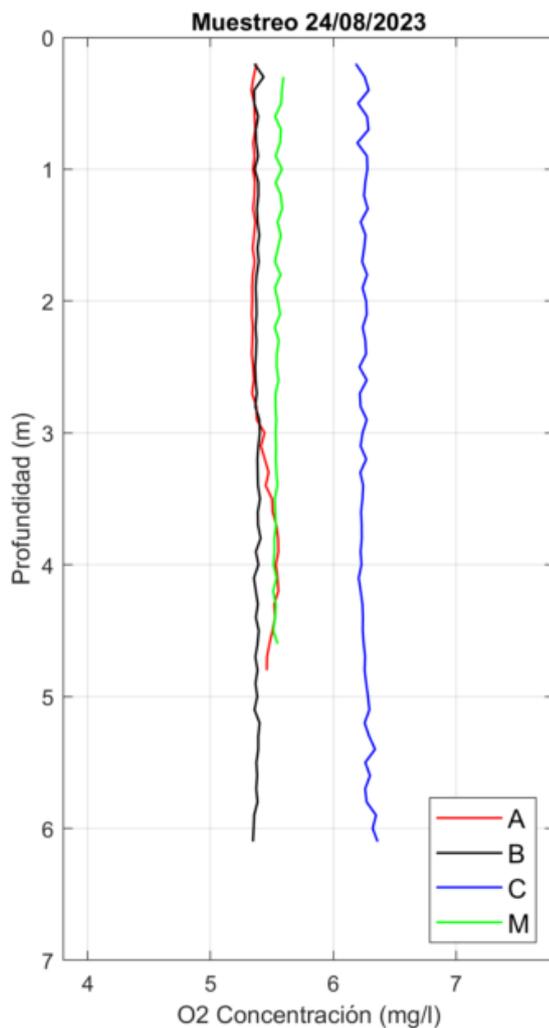


Figura 54: Perfiles de Concentración de Oxígeno obtenidos el día 24/08/2023 con el CTD.

Tabla 31: Datos de Concentración de Oxígeno de los perfiles CTD obtenidos el día 24/08/2023.

Localización	Prof. (m)	Min (mg/l)	Max (mg/l)	Media (mg/l)	STD (mg/l)
A	0	5.38	5.39	5.38	0.00
	2	5.32	5.37	5.34	0.02
	4.5	5.47	5.52	5.49	0.02
B	0	5.32	5.35	5.33	0.01
	4	5.35	5.41	5.39	0.02
	6	5.34	5.37	5.35	0.01
C	0	6.18	6.32	6.20	0.04
	4	6.18	6.20	6.19	0.01
	6	6.28	6.36	6.32	0.04
M	0	5.49	5.60	5.54	0.05
	2	5.51	5.58	5.56	0.03
	4	5.49	5.55	5.51	0.02

pH

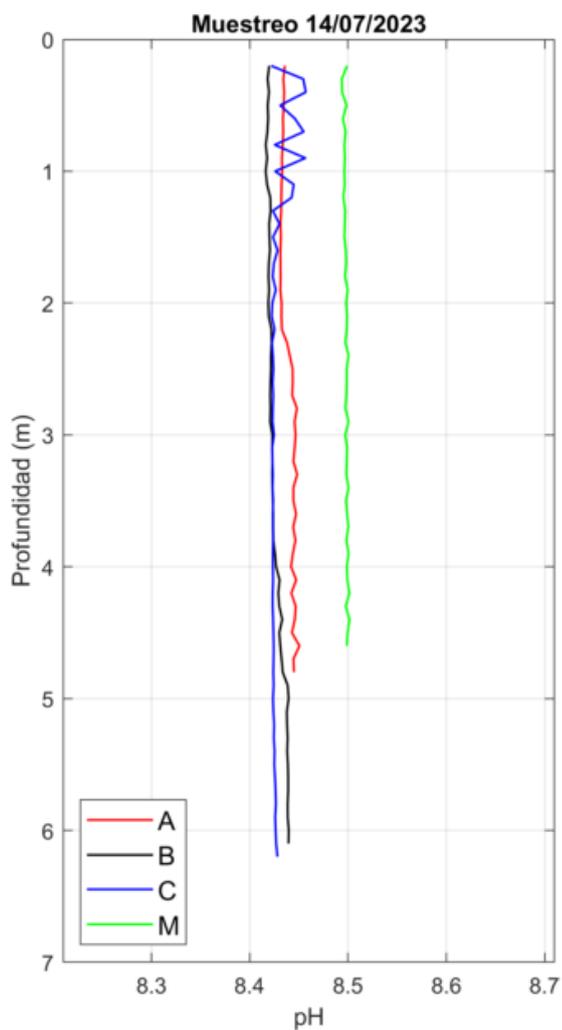


Figura 55: Perfiles de pH obtenidos el día 14/07/2023 con el CTD.

Tabla 32: Datos de pH de los perfiles CTD obtenidos el día 14/07/2023.

Localización	Prof. (m)	Min (-)	Max (-)	Media (-)	STD (-)
A	0	8.44	8.44	8.44	0.00
	2	8.43	8.43	8.43	0.00
	4.5	8.44	8.44	8.44	0.00
B	0	8.42	8.42	8.42	0.00
	4	8.43	8.43	8.43	0.00
	6	8.44	8.44	8.44	0.00
C	0	8.42	8.42	8.42	0.00
	4	8.42	8.42	8.42	0.00
	6	8.43	8.43	8.43	0.00
M	0	8.50	8.50	8.50	0.00
	2	8.50	8.50	8.50	0.00
	4	8.50	8.50	8.50	0.00

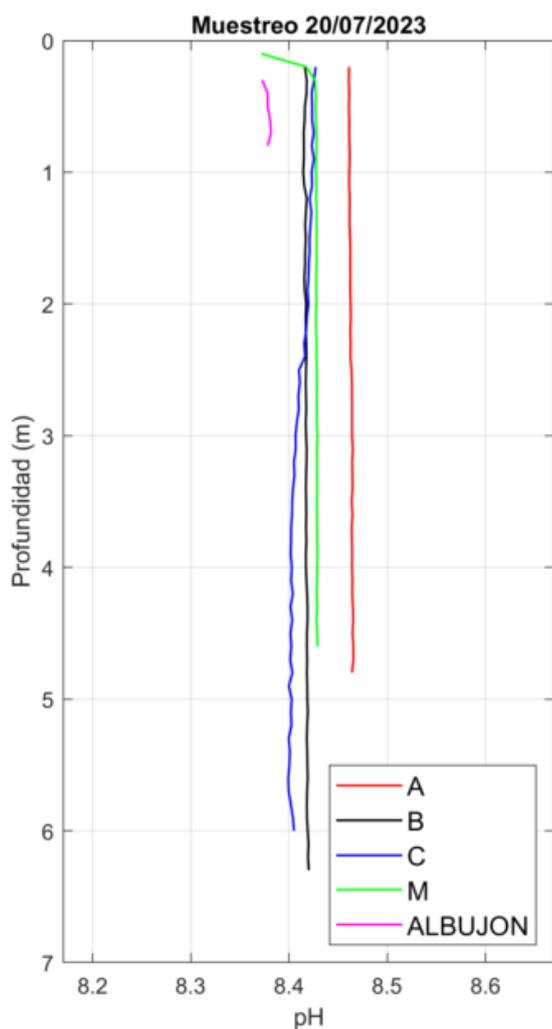


Figura 56: Perfiles de pH obtenidos el día 20/07/2023 con el CTD.

Tabla 33: Datos de pH de los perfiles CTD obtenidos el día 20/07/2023.

Localización	Prof. (m)	Min (-)	Max (-)	Media (-)	STD (-)
A	0	8.46	8.46	8.46	0.00
	2	8.46	8.46	8.46	0.00
	4.5	8.46	8.46	8.46	0.00
B	0	8.42	8.42	8.42	0.00
	4	8.42	8.42	8.42	0.00
	6	8.42	8.42	8.42	0.00
C	0	8.43	8.43	8.43	0.00
	4	8.40	8.40	8.40	0.00
	6	8.40	8.40	8.40	0.00
M	0	8.43	8.43	8.43	0.00
	2	8.43	8.43	8.43	0.00
	4	8.43	8.43	8.43	0.00
Albujon	0	8.37	8.38	8.37	0.00

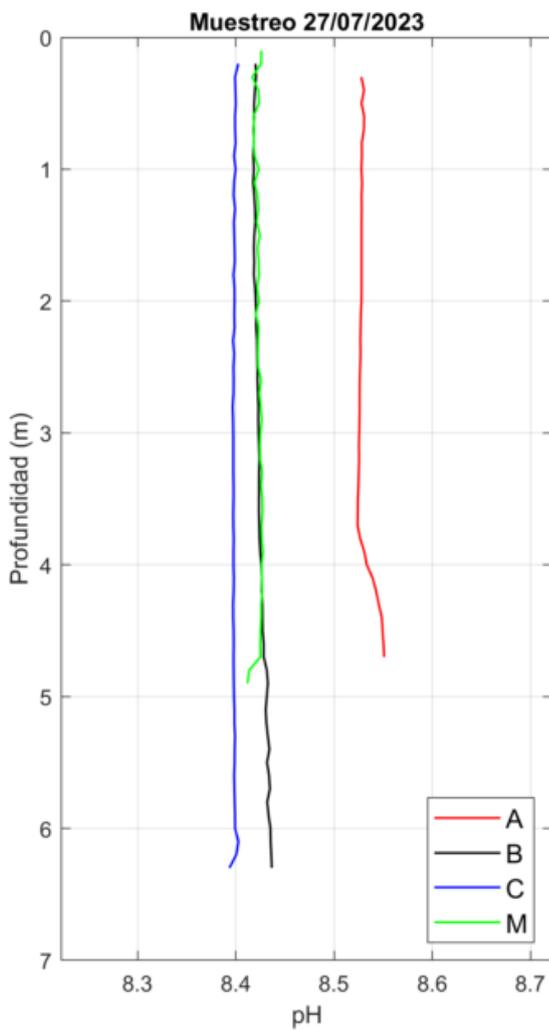


Figura 57: Perfiles de pH obtenidos el día 27/07/2023 con el CTD.

Tabla 34: Datos de pH de los perfiles CTD obtenidos el día 27/07/2023.

Localización	Prof. (m)	Min (-)	Max (-)	Media (-)	STD (-)
A	0	8.53	8.53	8.53	0.00
	2	8.53	8.53	8.53	0.00
	4.5	8.55	8.55	8.55	0.00
B	0	8.42	8.42	8.42	0.00
	4	8.43	8.43	8.43	0.00
	6	8.43	8.44	8.43	0.00
C	0	8.40	8.40	8.40	0.00
	4	8.40	8.40	8.40	0.00
	6	8.40	8.40	8.40	0.00
M	0	8.43	8.43	8.43	0.00
	2	8.43	8.43	8.43	0.00
	4	8.43	8.43	8.43	0.00

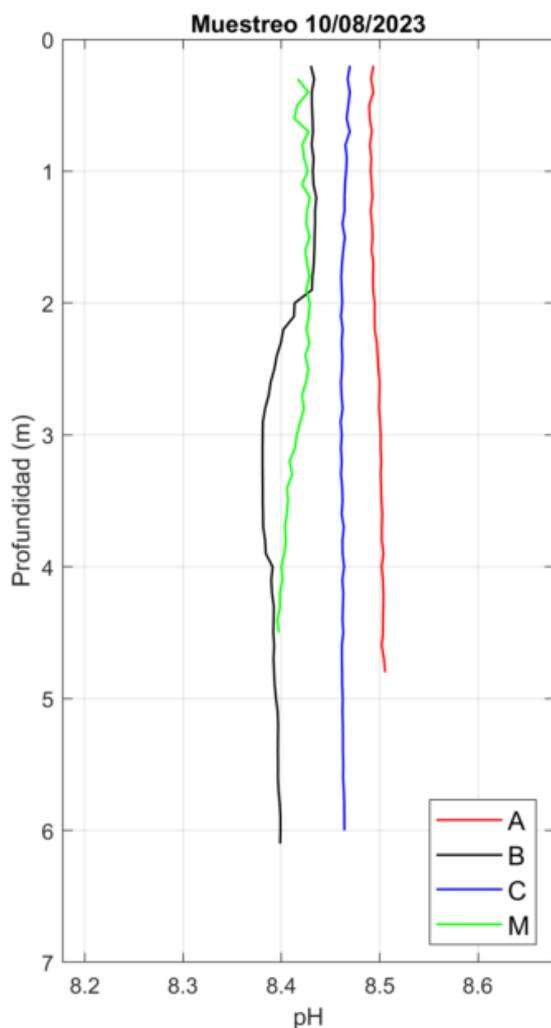


Figura 58: Perfiles de pH obtenidos el día 10/08/2023 con el CTD.

Tabla 35: Datos de pH de los perfiles CTD obtenidos el día 10/08/2023.

Localización	Prof. (m)	Min (-)	Max (-)	Media (-)	STD (-)
A	0	8.49	8.49	8.49	0.00
	2	8.49	8.49	8.49	0.00
	4.5	8.50	8.50	8.50	0.00
B	0	8.43	8.43	8.43	0.00
	4	8.39	8.39	8.39	0.00
	6	8.40	8.40	8.40	0.00
C	0	8.47	8.47	8.47	0.00
	4	8.46	8.46	8.46	0.00
	6	8.46	8.46	8.46	0.00
M	0	8.43	8.43	8.43	0.00
	2	8.43	8.43	8.43	0.00
	4	8.40	8.40	8.40	0.00

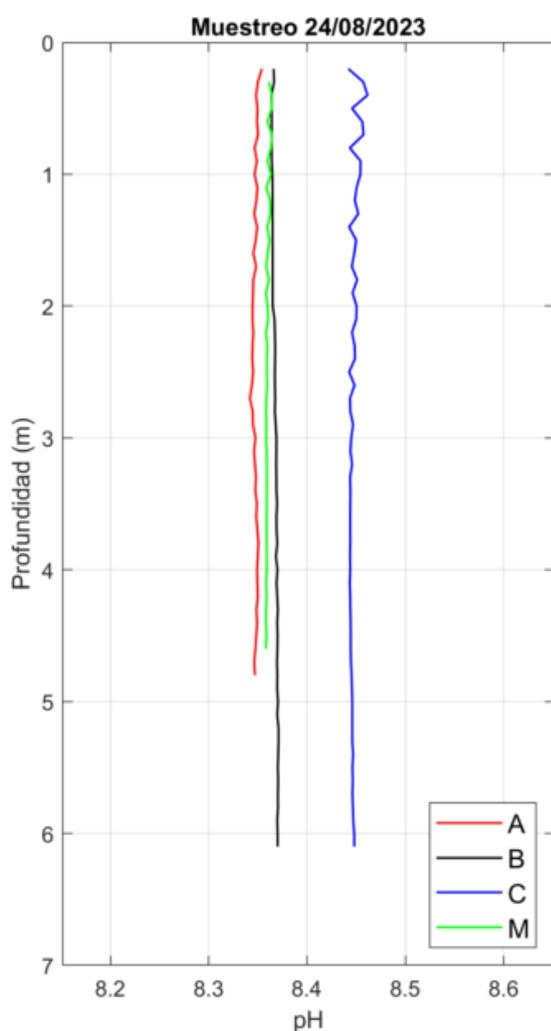


Figura 59: Perfiles de pH obtenidos el día 24/08/2023 con el CTD.

Tabla 36: Datos de pH de los perfiles CTD obtenidos el día 24/08/2023.

Localización	Prof. (m)	Min (-)	Max (-)	Media (-)	STD (-)
A	0	8.35	8.36	8.36	0.00
	2	8.34	8.35	8.34	0.00
	4.5	8.35	8.35	8.35	0.00
B	0	8.36	8.37	8.36	0.00
	4	8.37	8.37	8.37	0.00
	6	8.37	8.37	8.37	0.00
C	0	8.44	8.47	8.44	0.01
	4	8.44	8.44	8.44	0.00
	6	8.45	8.45	8.45	0.00
M	0	8.36	8.36	8.36	0.00
	2	8.36	8.36	8.36	0.00
	4	8.36	8.36	8.36	0.00