

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 (abril 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 de 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).

Equipo de trabajo IEO-CSIC:

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

Eugenio Fraile Nuez, CO Canarias

Marijn Oosterbaan, CO Canarias

Patricia Pérez Tórtola, CO Murcia

Jesús M. Mercado, CO Málaga

Isabel Ferrera, CO Málaga

Francisco Gómez Jakobsen, CO Málaga

Lidia Yebra, CO Málaga

Colaboradores:

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 (abril 2023)

Este informe debe citarse de la siguiente forma:

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

Índice

1. ANTECEDENTES Y OBJETO DEL INFORME	4
<i>Boya de monitorización SMARTLAGOON</i>	<i>6</i>
2. TEMPERATURA	8
<i>Muestras in situ (ubicaciones A, B y C, Figura 1)</i>	<i>9</i>
<i>Serie temporal de temperatura de la boya de monitorización (SMLG)</i>	<i>11</i>
3. SALINIDAD (CONDUCTIVIDAD)	12
<i>Muestras in situ (ubicaciones A, B y C, Figura 1)</i>	<i>12</i>
4. CLOROFILA A Y EXTINCIÓN DE LA LUZ	14
<i>Muestras in situ (ubicaciones A, B y C, Figura 1)</i>	<i>14</i>
<i>Serie temporales de clorofila a del Mar Menor (datos satelitales)</i>	<i>19</i>
5. OXÍGENO DISUELTO Y PH	20
<i>Muestras in situ (ubicaciones A, B y C, Figura 1)</i>	<i>20</i>
6. NUEVA ESTACIÓN DE MUESTREO M	25
7. SÍNTESIS	30
ANEXO I: CALIBRACIONES	33
ANEXO II: RESULTADOS CTD ESTACIÓN M	39

1. Antecedentes y objeto del informe

El actual programa de seguimiento del estado del Mar Menor se pone 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).

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 una vez al mes a cada 15 días. Igualmente, a partir de 2023 se incorporan en estos informes los datos obtenidos con la boya oceanográfica diseñada, desarrollada e instalada por la Universitat Politècnica de València (UPV), Uppsala University y la empresa VIELCA Ingenieros, S.A. en el contexto del proyecto europeo SMARTLAGOON (Grant Agreement Nº 101017861). Esta boya oceanográfica está contemplada como boya piloto del sistema de monitorización planteado en BELICH en la Tarea 1.3 permitiendo establecer las bases para el mantenimiento, gestión y control del sistema completo de observación oceanográfica planteado en dicha tarea y en la subactuación 8.1 del MAPMM. Es, por tanto, que 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.

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 SMARTLAGOON, instalada precisamente el 14 de octubre de 2022 (Figura 1). El informe resume la información disponible para un conjunto de variables físico-químicas básicas como: temperatura, salinidad, clorofila-a, transparencia (como K_d , coeficiente de extinción de la luz), oxígeno disuelto y pH en relación al estado ecológico del Mar Menor, tanto en el contexto actual (post-colapso - 2016-2023), como a largo plazo (escala temporal decenal), y en línea con los análisis realizados en informes anteriores.

Como novedad del presente informe destacamos la inclusión de una nueva estación de muestreo (M, Figura 1), con el objetivo de obtener una mayor representatividad de la variabilidad espacial de las variables muestreadas. De hecho, la localización de esta estación se justifica a partir de los resultados preliminares obtenidos en la zona centro-oeste de la laguna (estaciones M1 y M2; Fig. 1), donde se llevan observando estructuras oceanográficas de diferente naturaleza y dinámica que las observadas en el resto de estaciones monitorizadas (A, B y C; Fig. 1). Los primeros resultados obtenidos en esta zona y en esta nueva estación M se muestran en el apartado 6 de este informe (pag.25).



Figura 1: Ubicación de las estaciones de muestreo (A, B y C) y de la boya piloto SMARTLAGOON (coincidente con B). Se muestra además la ubicación de la nueva estación de muestreo M, seleccionada en base a los muestreos previos realizados en diferentes zonas (M1 y M2) y en observaciones realizadas a partir de imágenes de satélite.

Boya de monitorización SMARTLAGOON

La Figura 2 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 2: 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 3 contiene un esquema de la boya, así como la disposición en la vertical de cada uno de sus sensores.

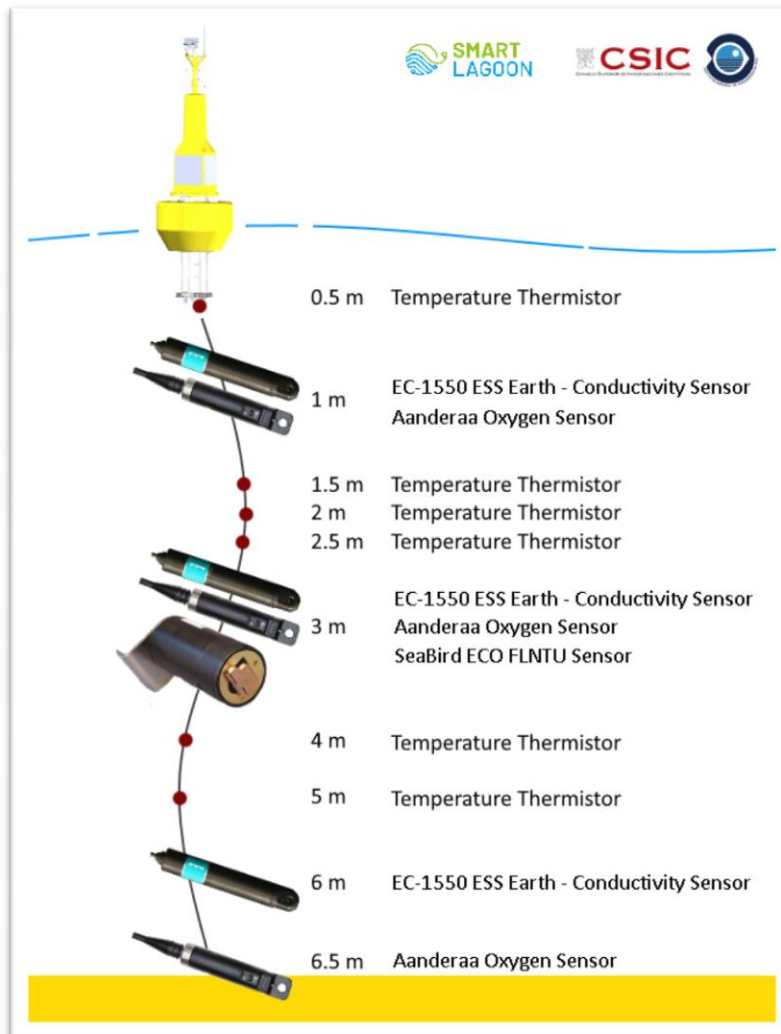


Figura 3: Esquema de los sensores instalados en la boya piloto SMARTLAGOON.

2. Temperatura

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 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 con frecuencia mensual/quincenal desde 2016. A partir de 2023 la frecuencia es cada 15 días.
- 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.

En este informe no se muestran los datos satelitales (ver informe de Febrero 2023), ya que se está trabajando en una nueva calibración y actualización de los mismos, cuyos resultados serán mostrados en el próximo informe (junio 2023).

Muestreos *in situ* (ubicaciones A, B y C, Figura 1)

La Figura 4 muestra la serie temporal completa de las temperaturas medias obtenidas durante el transcurso del seguimiento mensual (ahora quincenal). 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).

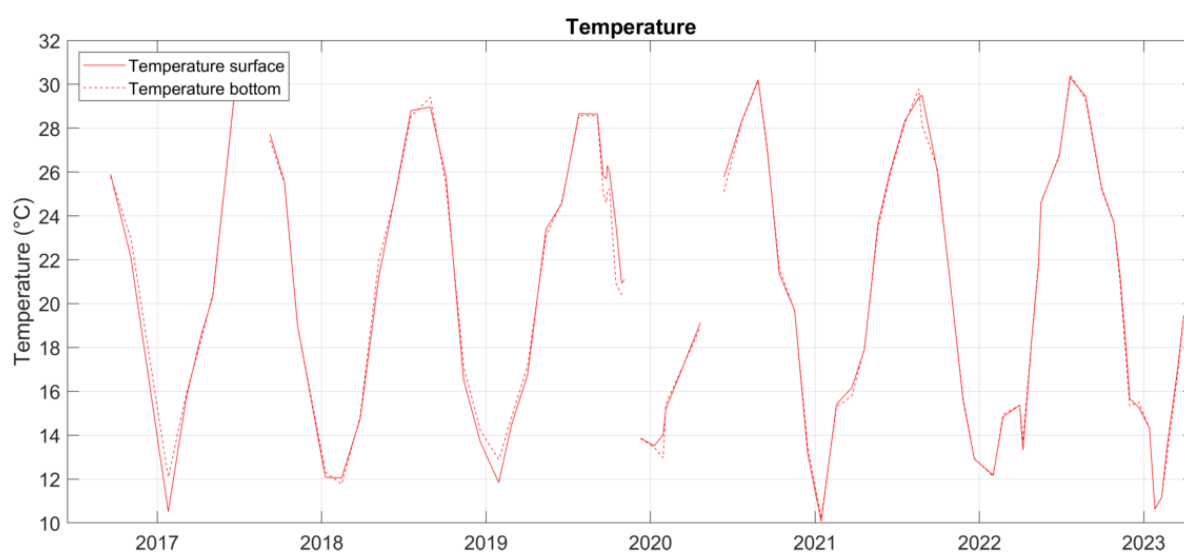


Figura 4: Serie temporal de la temperatura media superficial (línea continua) y temperatura media del fondo (línea discontinua) durante los muestreos *in situ* del proyecto DMMEM en las posiciones A, B y C (ver Figura 1).

Tabla 1: Valores mínimos y máximos de temperatura medidos durante los muestreos *in situ* por año.

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
	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
2022	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
	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
2023	Invierno	14.3	3.4	10.6	19.4	14.2	3.3	10.6	19.4
	Primavera	20.5	1.0	19.8	21.2	20.4	1.0	19.7	21.1
	Verano	---	---	---	---	---	---	---	---
	Otoño	---	---	---	---	---	---	---	---
	Anual	---	---	---	---	---	---	---	---

Los datos indican que apenas existe estratificación térmica en la columna de agua del Mar Menor, excepto eventos muy puntuales y de muy corta duración (p.e. DANAs).

Desde octubre de 2022, y con el objetivo de realizar calibraciones y ajustes de deriva de los sensores de la boya SMLG, se vienen realizando, en la ubicación B (justo al lado de esta boya), perfiles verticales de conductividad y temperatura utilizando un CTD AAQ-RINKO modelo AAQ176. Los resultados de las calibraciones pueden ser consultados en el Anexo I de este informe.

Serie temporal de temperatura de la boya de monitorización (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 además 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 en informe anterior).

Con la instalación de la boya SMLG se dispone de datos de temperatura a varias profundidades (Figura 5) permitiendo obtener estas series de alta resolución temporal a lo largo del 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 anterior. Entre febrero y finales de abril, la gráfica muestra el rápido calentamiento del agua hasta valores máximos de $21.1-21.2^{\circ}\text{C}$, característico del periodo primaveral.

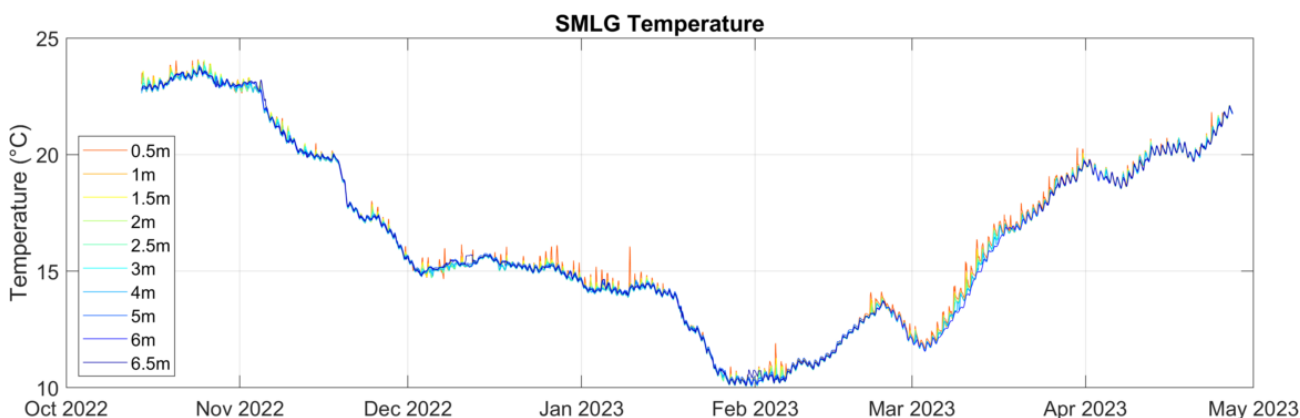


Figura 5: Serie temporal de temperatura obtenida a cada profundidad por los sensores de la boya SMLG, calibrados con los datos de CTD obtenidos por el IEO-CSIC.

3. Salinidad (Conductividad)

Al igual que la temperatura, la salinidad es una variable clave para 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 ha medido con una frecuencia mensual y, en ocasiones, semanal, desde su inicio en mayo de 2016. A partir de 2023 la frecuencia es cada 15 días.

Muestras *in situ* (ubicaciones A, B y C, Figura 1)

La Figura 6 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 la DANA de 2019, esta variable se ha mantenido en valores bajos (no superiores a 43.2; Tabla 2) respecto a los rangos normalmente registrados históricamente en la laguna (Ruiz et al. 2020). A ello parecen contribuir los no tan intensos, pero muy frecuentes eventos de lluvias ocurridos a partir de 2021. 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 considerablemente menos intenso que el del periodo 2021-2023. A pesar de todo, como se muestra en la Figura 6 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).

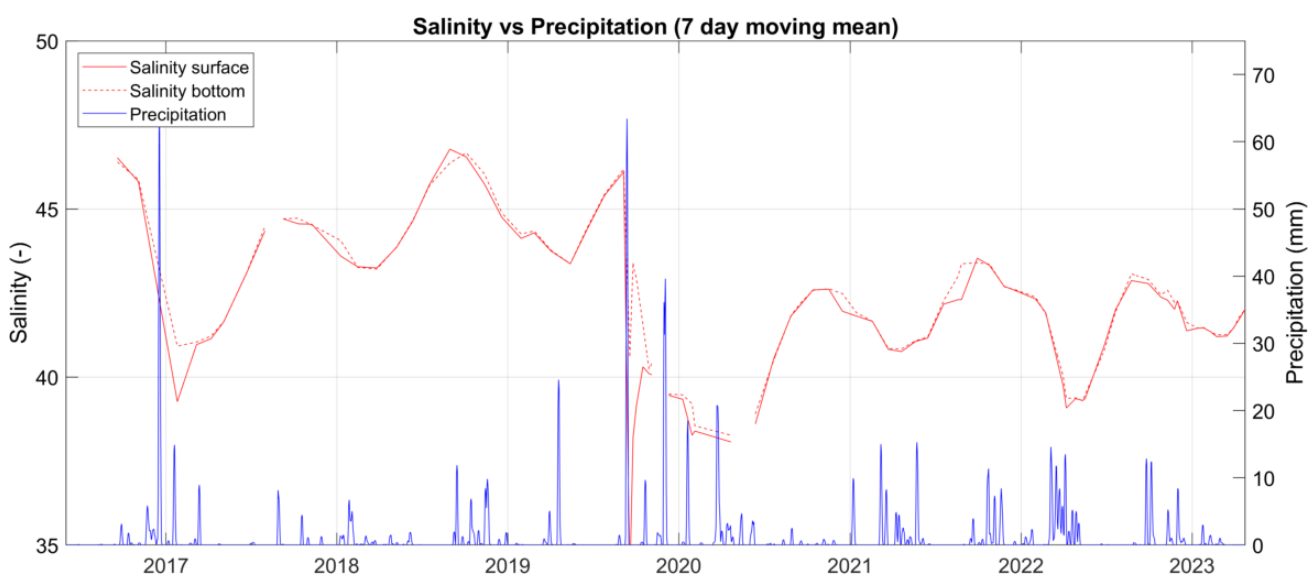


Figura 6: Serie temporal de la salinidad promedio en superficie (rojo continuo) y fondo (rojo discontinuo) en las posiciones A, B y C de los muestreos del seguimiento mensual (ahora quincenal). Datos de precipitación en el aeropuerto de San Javier obtenidos de la AEMET (azul).

Tabla 2: Valores mínimos y máximos de salinidad medidos durante los muestreos cada año.

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
	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
2021	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
	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
2022	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
	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
2023	Invierno	41.4	0.1	41.2	41.5	41.4	0.1	41.3	41.5
	Primavera	41.9	0.2	41.7	42.0	41.9	0.2	41.8	42.0
	Verano	---	---	---	---	---	---	---	---
	Otoño	---	---	---	---	---	---	---	---
	Anual	---	---	---	---	---	---	---	---

4. Clorofila α y Extinción de la luz

La **clorofila α** es una variable indicadora de la productividad fitoplanctónica. Desde mayo 2016 se toman muestras de agua (a 3-4 m de profundidad) y se miden sus concentraciones de clorofila α en el laboratorio del IEO-COMU mediante métodos espectrofotométricos (Tabla 3). A partir del 26 de octubre 2022 se están obteniendo perfiles verticales de fluorescencia de clorofila α en los puntos de muestreo (A, B y C; Figura 1) mediante CTD, y a partir del 14 de octubre 2022 se están obteniendo además series temporales de muy alta resolución y a diferentes temperaturas por los sensores de la boya SMLG. A partir de 2023 la frecuencia de muestreo es cada 15 días. Tanto los valores de CTD como los de la boya SMLG se están intercalibrando con las determinaciones espectrofotométricas de clorofila α , mucho más precisas y reales que las obtenidas a partir de fluorescencia. Los resultados de esta calibración se muestran en el Anexo I de este informe.

La **turbidez del agua**, entendida esta como la tasa a la que se extingue de la luz solar incidente entre la superficie y el fondo (k , m^{-1} ; Ley de Lambert-Beer, Kirk 1983), es otro indicador clave de la calidad del agua, siendo el resultado neto de tres componentes: las partículas en suspensión (orgánicas e inorgánicas), los organismos del plancton y la denominada “substancia amarilla”, que son compuestos orgánicos coloreados. En este programa de seguimiento, esta variable se ha determinado con frecuencia mensual (semanal en ocasiones) (Tabla 3), a partir de mediciones de irradiancia PAR en superficie y fondo mediante un sensor cuántico LiCor plano (2π), realizadas en las estaciones de muestreo A, B y C. A partir de 2023 la frecuencia de muestreo es cada 15 días. A estas mediciones se han incorporado nuevas fuentes de medición: 1) un sensor PAR fondeado de forma permanente a 6 m de profundidad en el punto B (boya SMLG), lo que nos permite obtener una serie temporal de alta resolución de esta variable (datos no mostrados en este informe), y 2) sensores de turbidez NTU de la boya SMLG a diferentes niveles de profundidad.

Muestreos *in situ* (ubicaciones A, B y C, Figura 1)

En 2022, este descriptor ha mostrado un comportamiento bastante variable en la laguna del Mar Menor, alcanzando sus valores medios niveles de 5 mg/m^3 en al menos en dos ocasiones (abril y mayo de 2022; Figura 7). Estos valores medios máximos se alcanzan siempre en la parte central y sur de la laguna, mientras que en la parte norte se han mantenido siempre por debajo de 2.9 mg/m^3 . En la cubeta sur la tendencia de esta variable fue claramente ascendente hasta mayo, con un incremento neto de 3.6 veces respecto a la media de enero de 2022, pero esta dinámica ascendente se truncó drásticamente en junio, cuando se registran valores medios similares a los de enero ($0.74\text{-}0.88 \text{ mg/m}^3$). A finales de septiembre se ha registrado un leve incremento en esta zona hasta valores medios entorno a 1.5 mg/m^3 . En general, los valores medios observados en este periodo son similares a los obtenidos en los mismos meses en años anteriores en los que no se produjo *bloom* fitoplanctónico (p.e. 2018 y 2020). Desde entonces los valores medios han descendido gradualmente en toda la laguna y se encuentran estabilizados por debajo de 1 mg/m^3 en promedio (excepto en alguna zona identificada fuera de los puntos de muestreo A, B y C; ver apartado 6 de este informe).

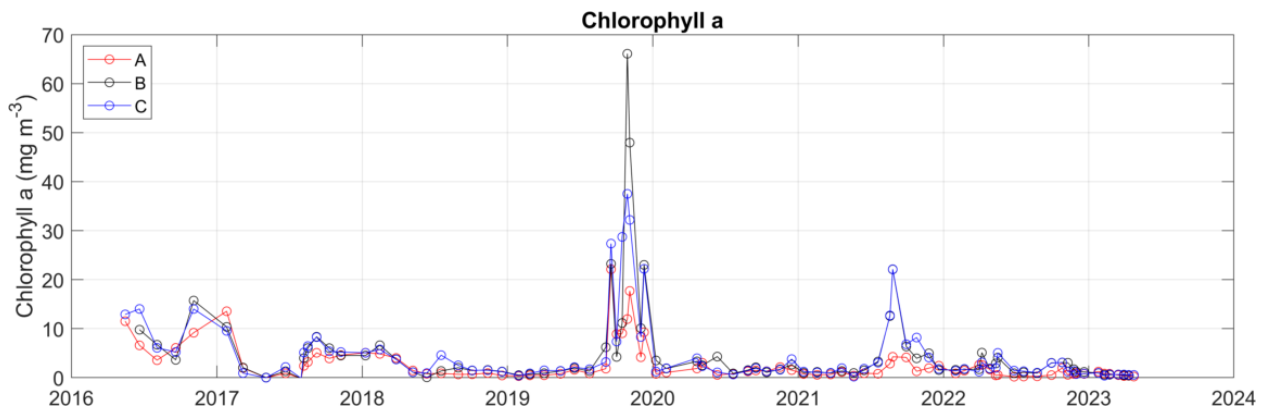


Figura 7: Serie temporal de clorofila a de los muestreos del proyecto DMMEM en las ubicaciones A, B y C de la Laguna del Mar Menor.

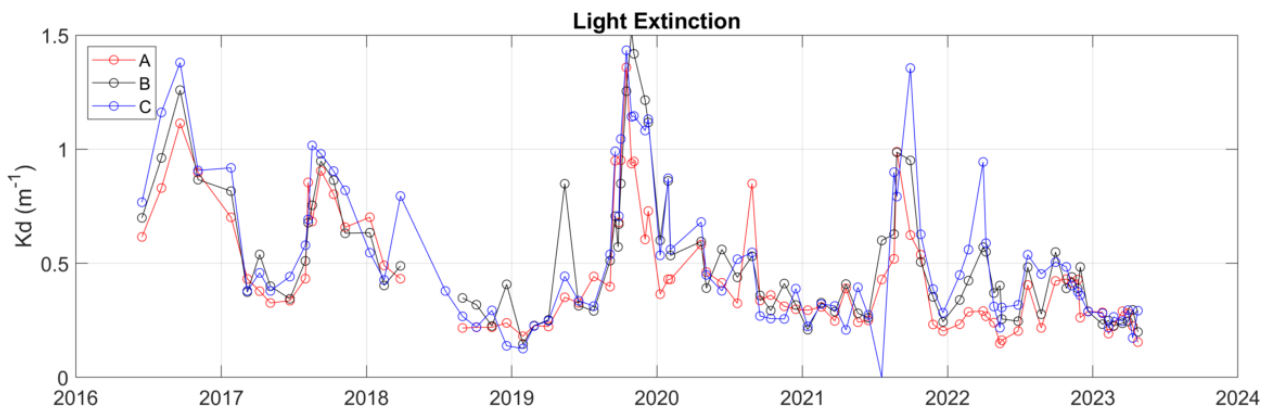


Figura 8: Serie temporal completa de la extinción de la luz para los muestreos del proyecto DMMEM en las ubicaciones A, B y C.

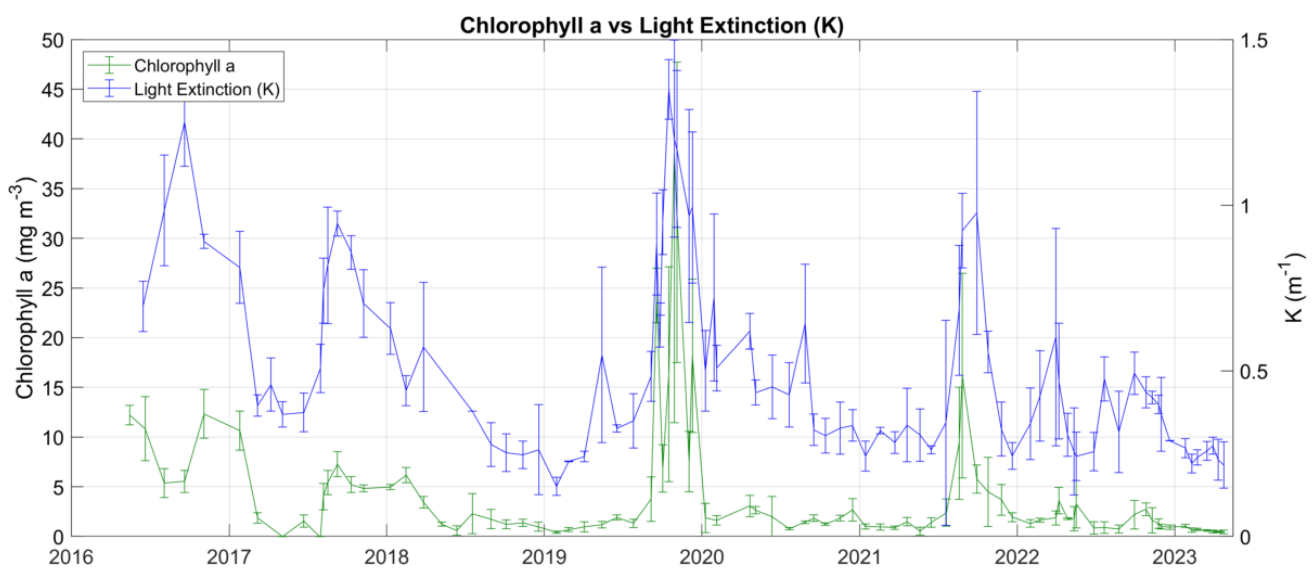


Figura 9: Comparación de las series temporales de clorofila y de extinción de la luz (k) promedio de las ubicaciones A, B y C de la laguna del Mar Menor.

Tabla 3: Valores mínimos y máximos de clorofila *a* y extinción de la luz medidos durante los muestreos cada año.

4 profundidad		Clorofila <i>a</i> (mg/m ³)				Extinción de luz Kd (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
	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
2018	Invierno	4.86	1.36	3.45	6.16	0.55	0.10	0.44	0.63
	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
2019	Invierno	0.55	0.18	0.42	0.69	0.19	0.05	0.15	0.23
	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
2020	Invierno	1.74	0.16	1.62	1.86	0.58	0.13	0.50	0.72
	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
2021	Invierno	0.94	0.06	0.87	1.00	0.28	0.04	0.24	0.32
	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
2022	Invierno	1.60	0.28	1.30	1.86	0.46	0.13	0.34	0.60
	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
2023	Invierno	0.70	0.21	0.50	1.05	0.25	0.02	0.22	0.27
	Primavera	0.46	0.01	0.45	0.47	0.22	0.01	0.22	0.23
	Verano	---	---	---	---	---	---	---	---
	Otoño	---	---	---	---	---	---	---	---
	Anual	---	---	---	---	---	---	---	---

La turbidez de la columna de agua (deducida a partir del coeficiente de extinción de la luz; Tabla 3 y Figura 8) muestra una dinámica general similar a la clorofila *a*, pero en determinados momentos muestran patrones diferentes de variación. Si bien los máximos de clorofila se mantienen por debajo de los observados en eventos anteriores de la serie temporal, los máximos de turbidez alcanzan valores medios muy elevados en toda la laguna y propios de aguas turbias (0.5 m^{-1}), muy similar en magnitud al registrado durante el *bloom* fitoplanctónico de verano de 2021. Este estado altamente fluctuante de la turbidez del agua puede responder a múltiples factores, no solo a las precipitaciones, y no solo se encuentra relacionado con la evolución de la clorofila (Figura 15), como también se muestra en las series temporales obtenidas por los sensores de la boya SMLG (Figura 9). Esto indica que otros factores relacionados con las variaciones del material particulado, tanto orgánico como inorgánico, así como los procesos de degradación de la materia orgánica, deben estar implicados.

Entender e interpretar el desacoplamiento entre la clorofila *a* y la turbidez de la columna de agua no es algo trivial, siendo clave para entender los factores que gobiernan la transparencia de la columna de agua a escala lagunar, que a su vez determina la disponibilidad de luz para los productores primarios, tanto planctónicos como bentónicos. Entre otros factores y procesos, dicho desacoplamiento podría explicarse por cambios en la dominancia de los diferentes grupos taxonómicos y funcionales del fitoplancton, o por la propia descomposición de la biomasa fitoplanctónica y de los macrófitos, y/o por la proliferación de componentes microbianos y zooplanctónicos no fotosintéticos. Todo esto da una idea de la complejidad de los procesos implicados y de la dificultad de la interpretación de los indicadores empleados. Unos valores bajos de clorofila *a* (y de turbidez) no significan que los procesos de eutrofización de la laguna no estén operando, por lo que hay que ser muy cauto a la hora de diagnosticar el estado del ecosistema lagunar en base a variables como las concentraciones de clorofila *a* o la transparencia del agua.

Coincidiendo con los máximos de turbidez de 2021 y 2022, se han registrado valores medios de irradiancia PAR en el fondo muy próximos a los niveles críticos para el crecimiento fotosintético de los macrófitos bentónicos, especialmente de la angiosperma *Cymodocea nodosa* (11%-5%; Figura 10 Marin-Guirao *et al* 2022). Estos episodios sin duda contribuyen a los casi inapreciables síntomas de recuperación que muestra la especie en la laguna (ver más abajo).

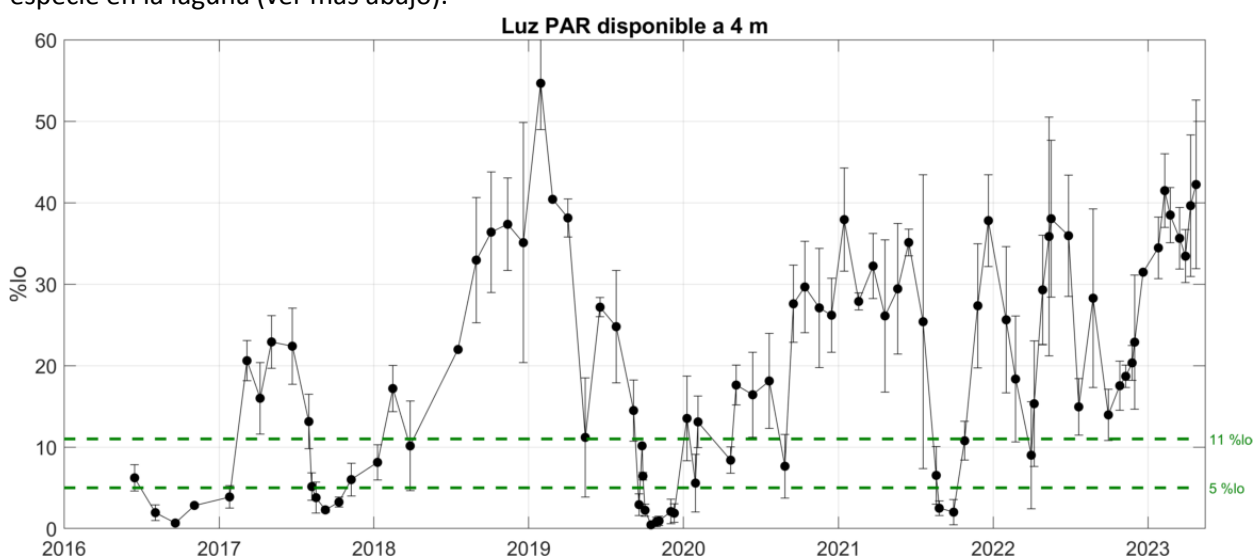


Figura 10: Evolución del porcentaje de radiación PAR que atraviesa la superficie del agua y que alcanza la profundidad de 4 metros. Los niveles de 11% y 5% son críticos para el crecimiento fotosintético de la vegetación bentónica.

Los equipos del IEO-CSIC realizan un seguimiento de la dinámica de la distribución de estas praderas marinas en la albufera combinando métodos de buceo autónomo, video submarino arrastrado e imagen de satélite. Igualmente se realiza un seguimiento del estado y funcionalidad de las praderas someras supervivientes. No obstante, se ha comprobado que estas praderas no son capaces, al menos por ahora, de colonizar las zonas más profundas de 3 m, incluso si las condiciones de disponibilidad de luz son óptimas para la especie, como se observa en 2023. Por tanto, la falta de luz puede ser un factor que explique esta incapacidad de recuperación, pero no el único, por lo que se están considerando otros factores limitantes. La identificación de estos factores es fundamental previamente a cualquier actuación de restauración asistida mediante trasplantes.

Serie temporal de turbidez NTU y clorofila a de la boya SMLG

El coeficiente de extinción de la luz (K_d) y la turbidez NTU (unidad nefelométrica de turbidez) son dos medidas diferentes para expresar la reducción de la luz en la columna de agua a consecuencia del incremento de concentraciones de material en suspensión fotosintético y no fotosintético. El K_d mide la tasa a la cual la luz se extingue en la columna de agua (con base 1 m), mientras que la turbidez (NTU) mide la proporción de luz dispersada o *backscatter*. La boya SMLG mide la concentración de clorofila a y turbidez NTU a una profundidad de 3 metros (ver Figura 11). De momento, la turbidez de la boya no está calibrada con muestras *in situ*, pero se mostrará en los siguientes informes.

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 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 no se correspondían en intensidad. 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 marzo de 2023 se suceden varios picos de turbidez, pero tampoco parecen tener relación con el fitoplancton ni con episodios de lluvias fuertes.

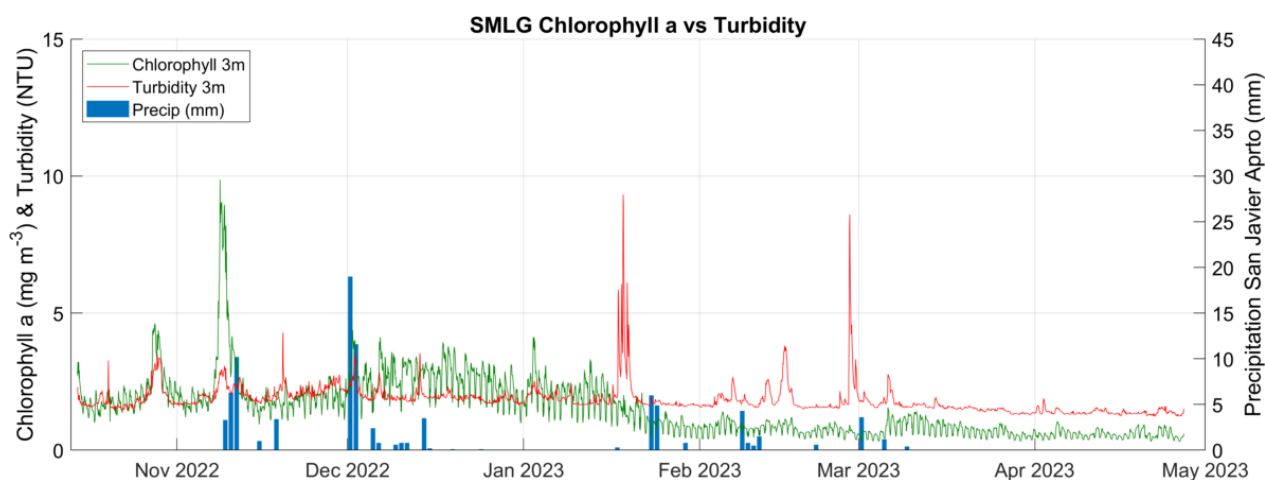


Figura 11: Series temporales completas de clorofila a y turbidez NTU de la boya SMARTLAGOON, comparado con la precipitación en el aeropuerto de San Javier obtenido a partir de los datos de la AEMET.

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

La Figura 12 muestra la serie temporal de datos de clorofila *a* de la Mediterranean Sea Ocean Colour Plankton MY L4 daily gapfree observations and climatology and monthly observations (azul), calibrados con los datos de clorofila del proyecto DMMEM (rojo) y el promedio mensual de los datos de clorofila *a* de la boya SMLG (negro) (Anexo I).

Los valores satelitales de clorofila *a* promedios por mes correlacionan relativamente bien con los valores de clorofila *a* del muestreo *in situ* del seguimiento mensual (quincenal), pero debido a la heterogeneidad de la dinámica del desarrollo fitoplanctónico y al desacoplamiento de la clorofila *a* con la turbidez, este archivo de datos satelitales mensuales debe ser y será reemplazado por un algoritmo específico para la laguna que está en preparación.

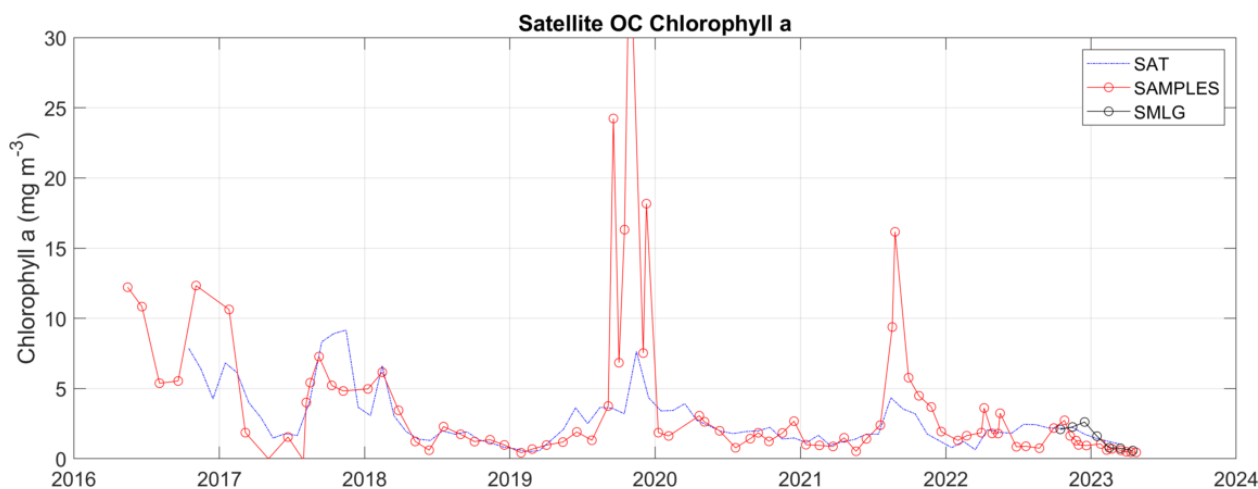


Figura 12: Comparación de las series temporales de clorofila *a* de los datos satelitales, muestreos DMMEM y boya SMLG.

Desde un punto de vista más metodológico, este desacoplamiento entre clorofila *a* y turbidez propio de la dinámica lagunar es probablemente la causa de la falta de correlación entre los datos obtenidos en los muestreos *in situ* y los obtenidos por medio de satélites (Figura 24), y debe ser tenido en cuenta en los algoritmos para obtener mapas y series temporales de esta variable a partir de datos satelitales.

5. 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. Esta variable se mide regularmente en la laguna desde 2016 con frecuencia mensual (semanal en algunas ocasiones) en las estaciones A, B y C (Figura 1), tanto en superficie como en fondo. Desde 2023 las mediciones de esta variable se realizan cada 15 días empleando un sensor incorporado al CTD para obtener perfiles verticales de la variable. Estas medidas han sido calibradas con muestras *in situ* utilizando el método analítico Winkler.

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. Esta variable se mide regularmente en la laguna desde 2016 con frecuencia mensual (semanal en algunas ocasiones) en las estaciones A, B y C (Figura 1), tanto en superficie como en fondo. Desde 2023 las mediciones de pH se realizan también cada 15 días con un sensor incorporado al CTD (pH en escala NBS, sin corrección de temperatura) para obtener así, los perfiles verticales.

Muestras *in situ* (ubicaciones A, B y C, Figura 1)

En 2022, los valores de oxígeno se han mantenido altos y normales en las tres zonas de muestreo (8.5-8.9 mg/l), experimentando una disminución generalizada en junio (27/06/2022) hasta valores medios de 6.66 mg/l en las capas superficiales y 6.67 mg/l en las capas más profundas (Figura 13, Tabla 4) En agosto se alcanzaron valores medios mínimos entre 5.4 y 5.8 mg/l. Estos son valores normales para el Mar Menor en verano, aunque algo más bajos de lo habitual de acuerdo con la serie temporal (Figura 13), probablemente por las elevadas temperaturas alcanzadas este año. Otros factores pueden contribuir, como las fluctuaciones del material orgánico particulado (datos no mostrados en este informe).

A partir de septiembre de 2022 los valores aumentan hasta alcanzar valores medios máximos entre 10 y 12 mg/l en febrero de 2023. Estas variaciones siguen fielmente el patrón de variación estacional de la variable, pero los valores alcanzados son más elevados que los registrados en años anteriores en los que no ha tenido lugar algún tipo de evento extremo tendente a causar variaciones anómalas (p.e. 2019-2020; Figura 13). Tras el mencionado máximo, los valores de oxígeno han comenzado a disminuir de acuerdo con su dinámica estacional y el incremento de las temperaturas. Esta variable tampoco muestra diferencias entre las capas superficiales y profundas lo que indica ausencia de procesos de estratificación termo-halina 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.

Los valores promedio del pH en las localizaciones A, B y C del Mar Menor se muestran en la Figura 14 (Tabla 5). Los valores muestran una tendencia general positiva del pH de +0.11 unidades por año, experimentando un incremento neto para todo el periodo de valores de 8 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 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 de entonces, en torno a 8.5 unidades en septiembre de 2022. Las mediciones más recientes realizadas en 2023 corroboran esta tendencia de aumento del pH.

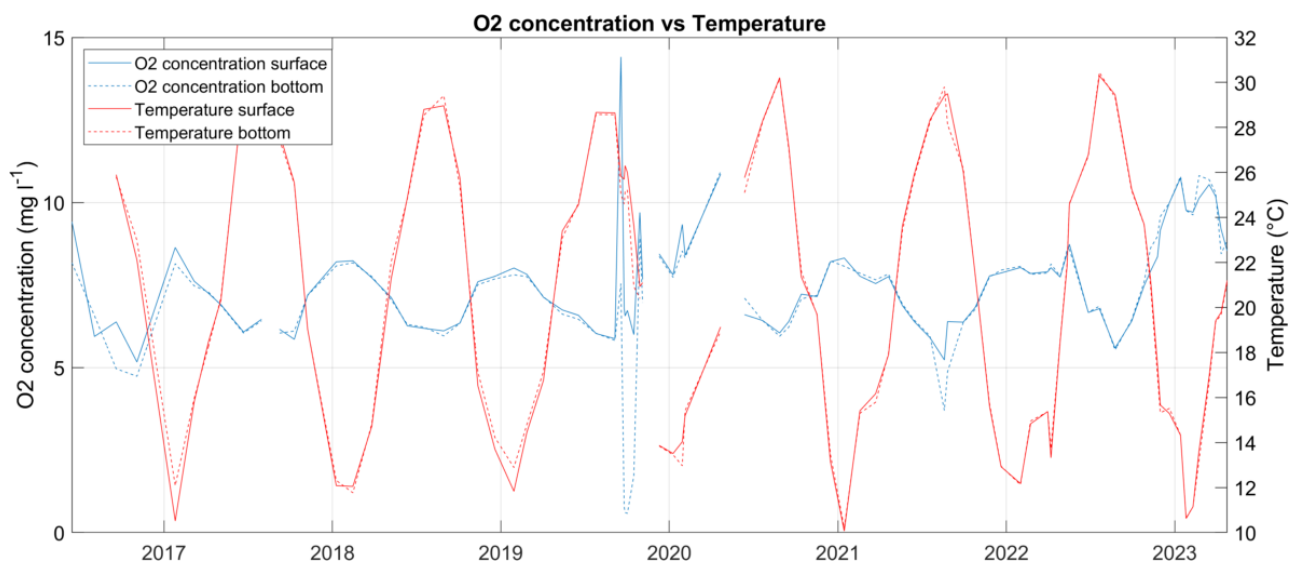


Figura 13: Series temporales promedio de oxígeno disuelto (azul) y temperatura (rojo) para las capas superficiales (línea continua) y de fondo (línea discontinua) de los muestreos del proyecto DMMEM para las ubicaciones A, B y C de la laguna del Mar Menor.

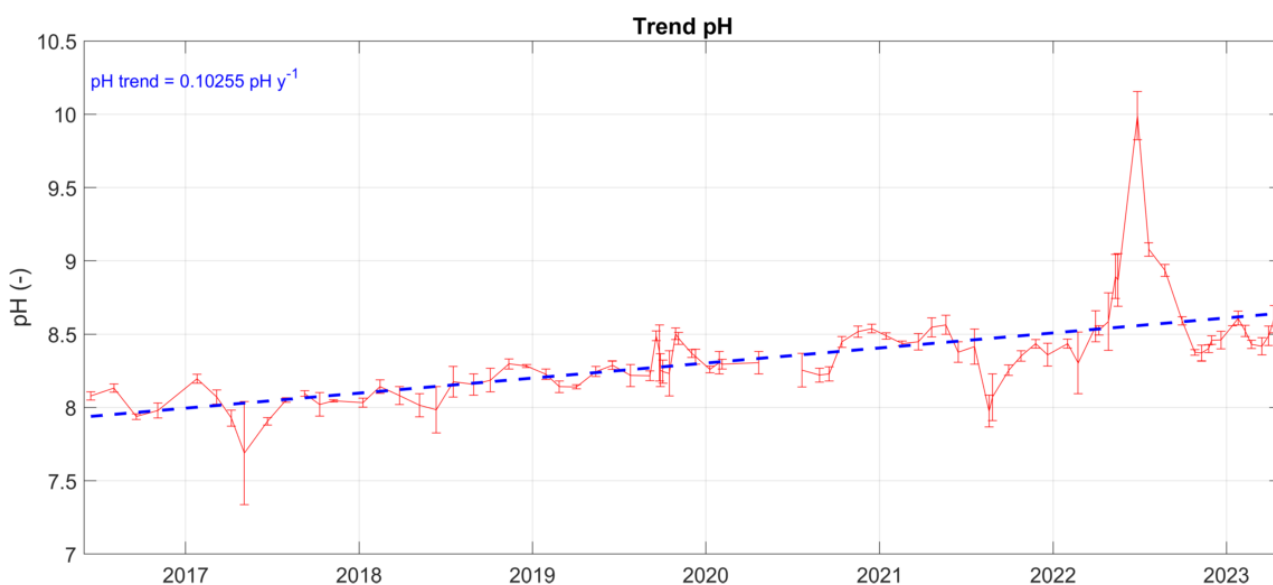


Figura 14: Serie temporal promedio de pH de los muestreos del proyecto DMMEM en las ubicaciones A, B y C de la laguna del Mar Menor.

Tabla 4: Valores mínimos y máximos de oxígeno disuelto medidos durante los muestreos cada año.

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
	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
2022	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
	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	9.0	0.9	7.6	10.0
	Anual	7.8	1.1	5.6	10.0	7.9	1.2	5.5	10.0
2023	Invierno	10.2	0.4	9.7	10.7	10.3	0.5	9.6	10.8
	Primavera	8.9	0.5	8.5	9.2	8.6	0.3	8.4	8.8
	Verano	---	---	---	---	---	---	---	---
	Otoño	---	---	---	---	---	---	---	---
	Anual	---	---	---	---	---	---	---	---

Tabla 5: Valores medios, mínimos y máximos de pH medidos durante los muestreos cada año.

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
	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
2022	Invierno	8.4	0.1	8.3	8.5	8.4	0.1	8.3	8.6
	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
2023	Invierno	8.5	0.1	8.4	8.6	8.5	0.1	8.4	8.6
	Primavera	8.6	0.1	8.6	8.7	8.7	0.1	8.6	8.7
	Verano	---	---	---	---	---	---	---	---
	Otoño	---	---	---	---	---	---	---	---
	Anual	---	---	---	---	---	---	---	---

Esta variable muestra episodios puntuales de acidificación asociados a eventos concretos de *desarrollo* fitoplanctónico y déficit de oxígeno, tal y como se describe en ambientes marinos fuertemente eutrofizados. Sin embargo, la tendencia general a largo plazo es de aumento del pH, y no de disminución. En este sentido llama también la atención el máximo de pH en verano de 2022, coincidiendo en parte con el incremento de clorofila *a* en primavera. No está nada claro cuál es el mecanismo o proceso implicado en este incremento del pH, siendo un aspecto que requiere trabajos de investigación específicos, así como la incorporación de otras variables del sistema carbonato que permitan obtener una imagen más completa del proceso que está teniendo lugar. De acuerdo con el conocimiento disponible, estos incrementos podrían ser debidos a un incremento de la actividad fotosintética en la laguna, pero también a la precipitación de carbonatos por organismos con esqueletos calcáreos. Las enormes proliferaciones de organismos calcáreos (poliquetos, cirrípedos, moluscos, etc.) observadas en la laguna estos últimos años estarían de acuerdo con esta hipótesis. El aumento de la producción fitoplanctónica y microbiana, así como del zooplancton, durante estos últimos años podría haber favorecido estas proliferaciones masivas de las poblaciones de estos organismos carbonatados, que se ha notificado que están afectando negativamente incluso a la actividad humana debido al desarrollo excesivo del “biofouling” en los cascos de los barcos y otras estructuras. En cualquier caso, estos resultados indican que el sistema lagunar se estaría comportando más como un sumidero de carbono que como un emisor. No obstante, como se ha comentado previamente, es un aspecto que requiere ser estudiado con más detalle antes de emitir conclusión alguna.

Este es un resultado sorprendente teniendo en cuenta el férreo control que ejerce el sistema tamponador de carbono del agua de mar sobre el pH, y es en cierto modo contradictorio con la tendencia de acidificación reportada en sistemas acuáticos contaminados. Por otro lado, está en línea con los drásticos cambios que ha experimentado el ecosistema lagunar desde su colapso, tanto en su composición como en su funcionamiento. De continuar la tendencia de aumento del pH observada habrá que estar muy atentos a las posibles consecuencias de este proceso de basificación de la laguna sobre componentes clave del ecosistema. Por ejemplo, de acuerdo con la evidencia científica disponible, el aumento del pH podría afectar negativamente la actividad fotosintética de la angiosperma *Cymodocea nodosa* del Mar Menor. Esta especie muestra una disminución lineal en las tasas fotosintéticas con el aumento experimental del pH p.e. los valores de la actividad fotosintética a pH 8.8 fueron del 25-80% de los obtenidos a pH 8.2 (Invers et al., 1997). Por tanto, el mantenimiento de esta tendencia de aumento del pH podría tener importantes repercusiones en el desarrollo y recuperación de la pradera de *Cymodocea nodosa* en el Mar Menor, hábitat que desde 2016 experimentó una súbita reducción de su abundancia en la laguna de más del 70% (Belando et al. 2021; Bernardeau et al. 2023) y a fecha de hoy no ha mostrado síntomas significativos de recuperación neta (Jiménez-Casero et al. en preparación).

6. Nueva estación de muestreo M

Como ya se ha comentado al inicio de este informe, desde hace ya un tiempo se tiene evidencia de la presencia de zonas de la laguna en las que las características del agua parecen comportarse de forma diferente a las descritas para las estaciones A, B y C. Por esta razón, a partir de abril de 2023, se ha incluido en el diseño de muestreo una nueva estación (M), situada en una de estas zonas, concretamente en la parte centro-oeste de la laguna (Figura 1). En la

Figura 15 se muestra una imagen de satélite donde se puede apreciar en esta área una extensión considerable de una masa de agua con propiedades ópticas muy diferenciadas del resto (color blanquecino) que ocupa unos 12 kilómetros cuadrados entre Los Alcázares, isla Perdiguera y Los Urrutias. Su aspecto y extensión es muy llamativo y poco habitual. Tenemos constancia por imágenes de satélite de que esta masa de agua diferenciada aparece recurrentemente en esta zona, con mayor o menor intensidad y extensión, desde abril de 2022, siendo su presencia casi permanente durante los dos últimos meses del periodo analizado (última imagen del 15/05/2023; Figura 16).



Figura 15: Detalle de la masa de agua blanquecina obtenido por el satélite Sentinel-2, donde se ha ubicado la nueva estación M del programa de seguimiento.

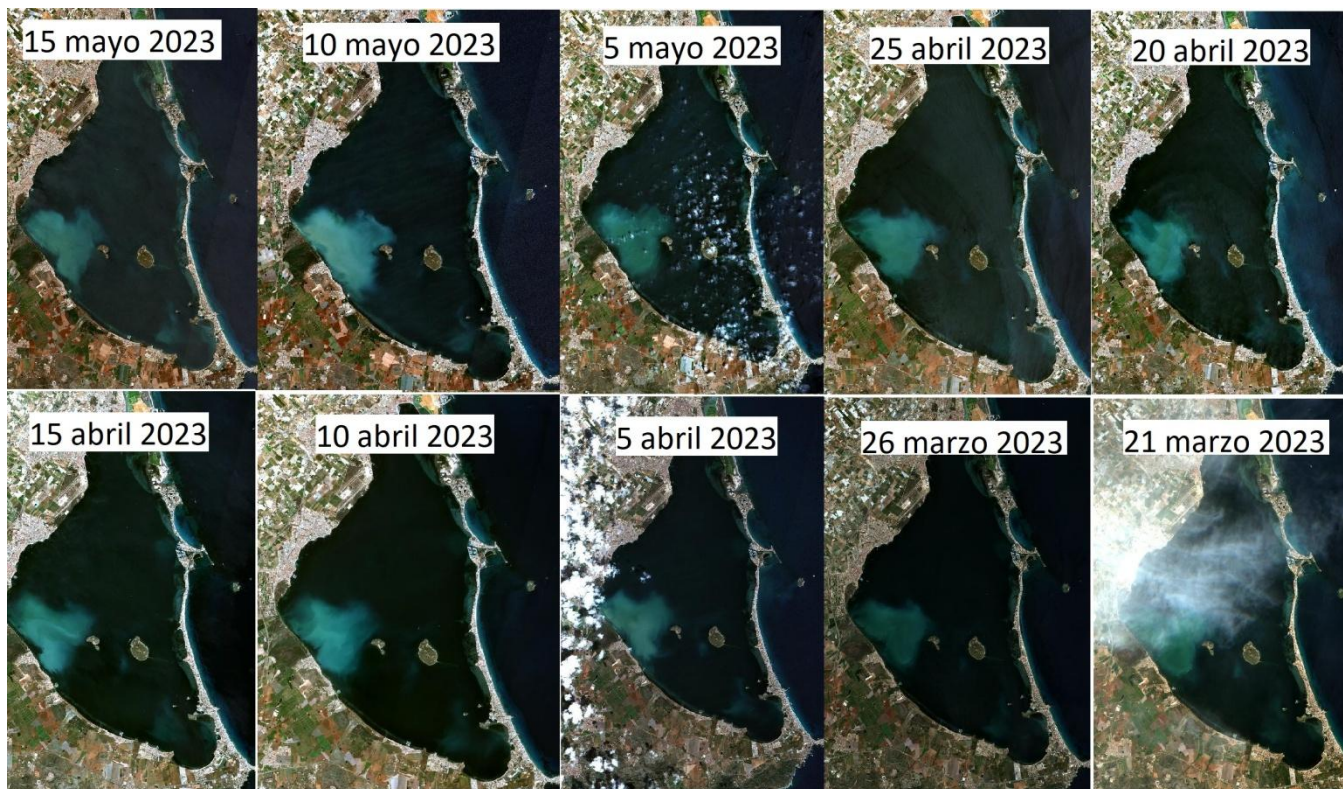


Figura 16: Secuencia de imágenes de satélite (Sentinel-2) desde marzo de 2020 hasta el momento actual, donde se aprecia la aparición de la masa de agua blanquecina en la zona centro-oeste de la laguna.

Con el fin de obtener información sobre la naturaleza de esta masa de agua con propiedades ópticas diferenciadas, el 11 de abril se realizó un muestreo preliminar para recabar información sobre las características básicas de esta masa de agua diferenciada y su variabilidad espacial. Para ello se obtuvieron muestras de agua y perfiles verticales con CTD de las variables básicas del seguimiento en dos puntos dentro de la masa de agua (M1 y M2; Figura 1). A partir de estos resultados previos y de la propia evolución de la masa de agua inferida de las imágenes de satélite (Figura 16), se determinó fijar una nueva estación de muestreo (M; Figura 1) que fue incorporada al seguimiento quincenal del programa de monitorización del proyecto BELICH a partir de 24/04/2023. En este apartado se resumen los resultados obtenidos tanto en los muestreos preliminares (11/4/23 en M1 y M2), como en el primer muestreo en que se incorpora la nueva estación M (24/04/23).

Tabla 6: Datos in situ de muestras de clorofila *a* con su desviación estándar obtenidas a 3 metros de profundidad durante los días 11/04/2023 y el 24/04/2023. Para el día 11/04/2023 se ha calculado un promedio de M1 y M2 para punto M.

Fecha	Clorofila <i>a</i> (mg/m ³) por punto de muestreo con ES (±)			
	A	B	C	M
11/04/2023	0.39 ± 0.035	0.45 ± 0.049	0.57 ± 0.055	1.94 ± 0.059
24/04/2023	0.23 ± 0.035	0.56 ± 0.027	0.56 ± 0.028	0.83 ± 0.068

Tabla 7: Datos de Extinción de la luz deducido de la luz PAR de los perfiles CTD obtenidos durante los días 11/04/2023 y el 24/04/2023. Para el 11/04/2023 se ha calculado un promedio de M1 y M2 para punto M.

Fecha	Extinción de la luz K (m^{-1}) por punto de muestreo con ES (\pm)			
	A	B	C	M
11/04/2023	0.225 \pm 0.106	0.296 \pm 0.032	0.173 \pm 0.049	0.991 \pm 0.010
24/04/2023	0.155 \pm 0.047	0.199 \pm 0.009	0.292 \pm 0.010	1.091 \pm 0.022

Tabla 6 se muestran los valores medios de concentración de clorofila a en cada punto de muestreo a partir de muestras de agua obtenidas con botella Niskin a 3-4 de profundidad. La concentración de clorofila a se ha determinado cuantitativamente mediante métodos espectrofotométricos. En la

Tabla 7 se muestran los datos de turbidez, determinada como K_d a partir de perfiles de irradiancia PAR obtenidos en cada punto. Se aprecia claramente que la concentración de clorofila llega a ser de hasta cuatro veces mayor que la obtenida en el resto de la laguna, lo que indica la participación de un componente fitoplanctónico en la diferenciación de la masa de agua donde se localiza la estación M. Sin embargo, las concentraciones alcanzadas están por debajo que las reportadas en eventos anteriores de desarrollo fitoplanctónico (12-38 mg/m^3 , apartado 4), y no explican los elevados valores medios de K_d observados en la estación M, que sí son similares a los reportados en el Mar Menor en episodios anteriores de “sopa verde” y aguas turbias ($K_d = 0.5-1.5$, apartado 4). De acuerdo con los datos de irradiancia PAR en la estación M, en la zona ocupada por la masa de agua blanquecina apenas llega luz al fondo para sostener la actividad fotosintética de los macrófitos bentónicos.

En el Anexo II de este informe se muestran los resultados de los perfiles de las diferentes variables. En general, en base a los valores de temperatura, salinidad y oxígeno no se observa ningún tipo de estratificación de la masa de agua en la estación M, al igual que tampoco se observa en el resto de la laguna. Tampoco se observan diferencias entre los valores medios de estas variables obtenidos en M con respecto al resto de estaciones (A, B y C). En cualquier caso, las diferencias observadas se encuentran relacionadas con el gradiente geográfico norte-sur de mayor confinamiento de las aguas a medida que nos dirigimos hacia el sur. Por otro lado, sí se observan importantes diferencias en los perfiles verticales de fluorescencia (clorofila), turbidez FTU e irradiancia PAR obtenidos en la estación M, que son coherentes con los resultados de clorofila a y k_d comentados en el párrafo anterior.

Adicionalmente, se analizaron muestras de agua para realizar un análisis preliminar de la composición taxonómica de la comunidad planctónica mediante citometría de flujo y microscopía (Figura 17 y Figura 18). El aumento de la concentración de clorofila a en la estación M es corroborado por la mayor abundancia de fitoplancton en comparación con el resto de las estaciones (Figura 17 y Figura 18), en particular la abundancia de criptofíceas y flagelados aumentó notablemente. Destaca también la práctica ausencia de diatomeas y la menor abundancia de dinoflagelados en la estación M, al menos en comparación con la estación A. Por otro lado, es también llamativa la elevada abundancia de ciliados (organismos heterótrofos que se alimentan de bacterias y pequeñas células de fitoplancton), así como la gran cantidad de agregados formados por una sustancia de apariencia mucilaginoso a la que se encuentran adheridas células probablemente de pequeños flagelados fotosintéticos, dinoflagelados y bacterias. Es probable que el aspecto blanquecino de la mancha observado mediante imágenes de satélite y la disminución de la

transparencia observada en la estación se deba a la presencia de esta materia particulada en suspensión. Además, esto puede explicar la mayor abundancia de criptofíceas y ciliados, una comunidad típicamente asociada a condiciones de alta disponibilidad de materia orgánica. Los datos disponibles no permiten determinar cuál es el origen o causa de la formación de estos agregados.

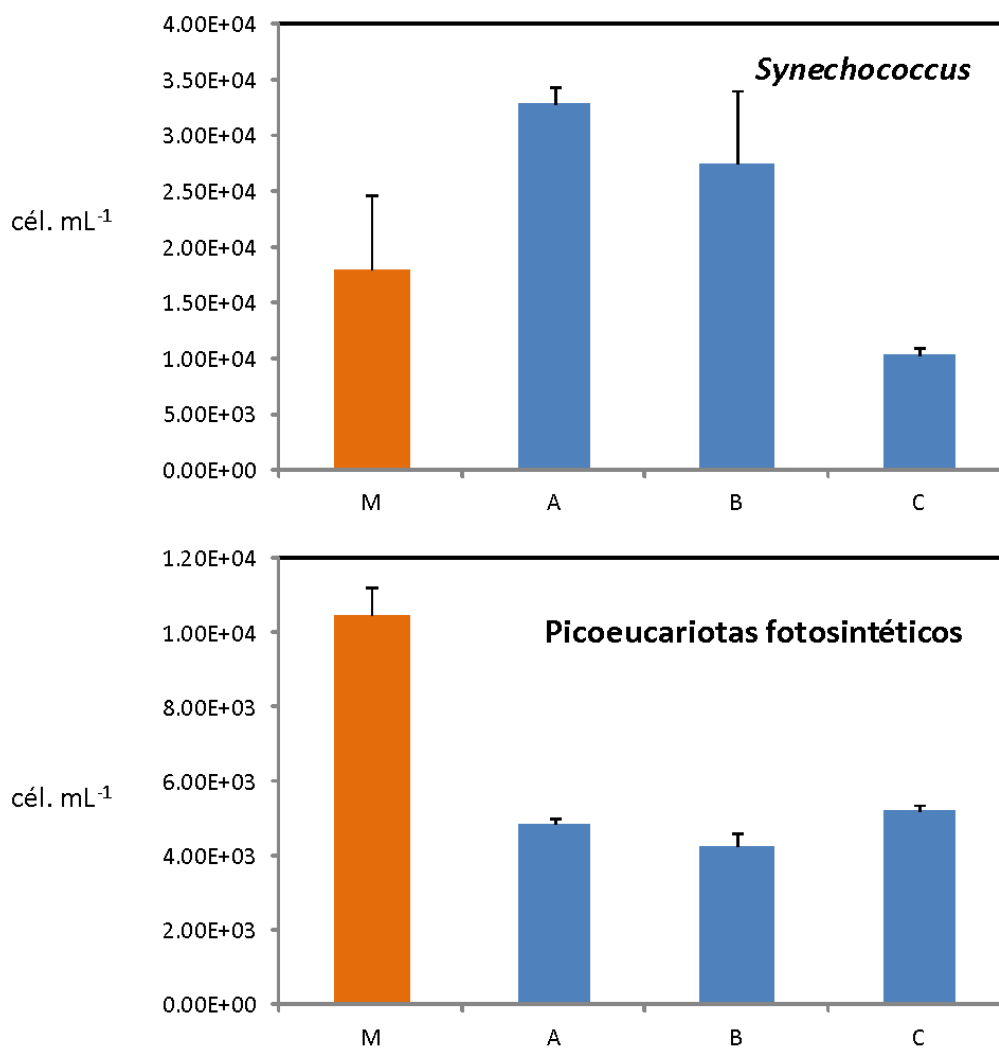


Figura 17: Abundancia de la cianobacteria *Synechococcus* y de picoeucariotas fotosintéticos obtenida mediante citometría de flujo en las estaciones M, A, B y C muestreadas el 11/04/2023. Las barras de error indican la desviación estándar.

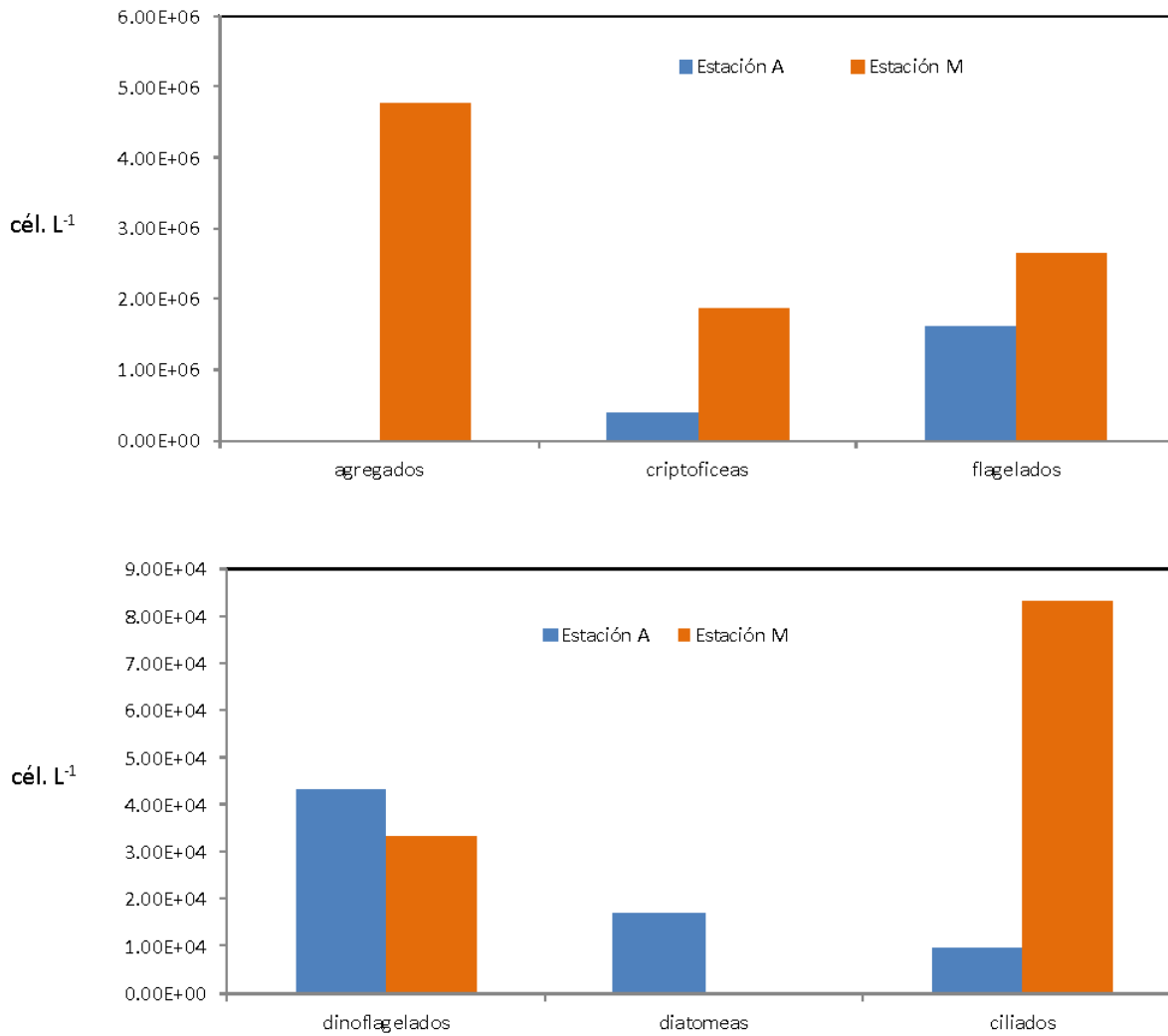


Figura 18: Abundancia de algunos grupos de nano- y microplankton identificados al microscopio en las muestras recogidas en las estaciones A y M el día 11/04/2023. 'agregados' indica la abundancia de los agregados mucilaginosos encontrados en la estación M.

7. Síntesis

Tras su drástica caída a consecuencia de la DANA de 2019, la salinidad del Mar Menor se ha mantenido en valores bajos (no superiores a 43.2; Tabla 2), respecto a los rangos normalmente registrados históricamente en la laguna (Ruiz et al. 2020). A ello parecen contribuir los no tan intensos, pero muy frecuentes eventos de lluvias ocurridos a partir de 2021. En 2023 se mantiene esta tendencia a pesar de la escasez de precipitaciones, quizás debido a los continuos aportes del freático (sin descartar otros procesos como la hidrodinámica y las tasas de intercambio con el Mediterráneo).

En ningún momento del periodo 2021-23 se ha observado algún tipo de estratificación termo-halina, como los registrados durante eventos puntuales de lluvias torrenciales (enero 2017 y septiembre-octubre de 2019). Como se comentó en el informe anterior, el proceso de calentamiento de la laguna continúa y, de continuar las condiciones climáticas actuales, es probable que se acentúe.

En general, desde otoño de 2022, los valores medios de clorofila a han descendido gradualmente en toda la laguna y se encuentran estabilizados por debajo de valores medios de 1 mg/m^3 (excepto en la zona seleccionada como Estación M). Estos valores de clorofila son propios de aguas transparentes. No obstante, la turbidez de la columna de agua experimenta mayor variabilidad temporal que la clorofila, observando de hecho cierto grado de desacoplamiento entre ambas variables. Esto indica que otros factores deben estar implicados en los patrones de variación temporal de la turbidez del agua.

Lo anterior es a su vez reflejo de la complejidad de los procesos implicados en la determinación de la calidad del agua de la laguna. De hecho, unos valores bajos de clorofila a (y de turbidez) no significan que los procesos de eutrofización de la laguna no estén operando, por lo que hay que ser muy cauto a la hora de diagnosticar el estado del ecosistema lagunar únicamente en base a variables como las concentraciones de clorofila a o la transparencia del agua.

El mantenimiento de unos niveles bajos de clorofila en la columna de agua, a pesar de las continuas entradas de altas concentraciones de nutrientes, no es más que un reflejo de la complejidad intrínseca del proceso de eutrofización. 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*), o el zooplancton pueden contribuir a la transformación y movilización de los nutrientes del medio. Pero cuando estos mecanismos dejen de actuar, o lo hagan en condiciones de menor intensidad y eficacia, 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 hipoxia, tal y como pudimos comprobar en verano de 2021. 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 y en consecuencia contribuir a un mayor deterioro y/o mermar la capacidad de recuperación.

Los valores de oxígeno disuelto son normales, de acuerdo con los obtenidos en otros periodos de aguas más o menos transparentes. No se ha observado estratificación vertical de esta variable y no se han apreciado síntomas de nuevos episodios de déficit de oxígeno críticos para el ecosistema lagunar (hipoxia, anoxia) desde el último evento registrado en 2021.

Los valores promedio del pH, sin corrección por temperatura, muestran una tendencia general positiva de +0.11 unidades por año, experimentando un incremento neto para todo el periodo de valores de 8.0 a 8.6 (+0.6). Este es un resultado bastante llamativo pues podría reflejar cambios significativos a nivel de ecosistema y los procesos implicados en el funcionamiento de la laguna. De continuar la tendencia de aumento del pH observada habrá que estar muy atentos a las posibles consecuencias de este proceso de basificación de la laguna sobre procesos y componentes clave del ecosistema, como la capacidad del sistema de regular el carbono, la abundancia y composición de las comunidades y cadenas tróficas pelágicas, pero también bentónicas (praderas de macrófitos, poblaciones de organismos filtradores carbonatados, etc.). Pero en cualquier caso, se incorporarán al seguimiento mediciones más detalladas y precisas del pH y del sistema de carbonatos para corroborar la consistencia de estos resultados.

Si bien desde finales de 2022, el estado del Mar Menor parece haber entrado en una etapa de aparente estabilidad, hemos detectado una extensión de superficie considerable de agua con unas propiedades ópticas (coloración blanquecina y turbidez muy elevada) muy diferenciadas de las observadas en el resto de la laguna.

La zona donde se observa esta anomalía es un área de forma más o menos definida entre Los Alcázares, la isla Perdiguera y Los Urrutias. En esta zona se ha incorporado al programa de seguimiento una nueva estación de muestreo (Estación M), donde la concentración de clorofila llega a ser de hasta cuatro veces mayor que las obtenidas en el resto de la laguna, lo que indica la participación del componente fitoplanctónico. El aumento de la concentración de clorofila en la estación M es corroborado por la mayor abundancia de fitoplancton en comparación con el resto de la laguna, en particular de criptofíceas y flagelados.

Estas diferencias en la abundancia y composición del fitoplancton no parecen explicar la turbidez extrema ni el aspecto blanquecino del agua. Dicho aspecto se debe probablemente a la presencia de gran cantidad de agregados orgánicos formados por una sustancia de apariencia mucilaginoso a la que se encuentran adheridas células fitoplanctónicas y bacterias. Sin embargo, los datos disponibles no permiten todavía determinar cuál es el origen o causa de la formación de estos agregados, aspecto sobre el que los equipos del proyecto BELICH centrarán su actividad en las próximas semanas.

El fenómeno detectado es muy similar a lo que se ha descrito en otras zonas costeras del mundo (tanto marinas como lacustres) como “whiting” (Long et al 2007), que se podría traducir como blanqueamiento del agua, pero hacen falta estudios más específicos para corroborarlo. La mayor parte de las observaciones apuntan a que, al menos en parte, este tipo de fenómenos son procesos de precipitación (tanto orgánica como inorgánica) biológicamente inducidos. Esto es consistente con lo observado en éste y otros casos documentados, donde las concentraciones de clorofila y de células fitoplanctónicas aumentan dentro de las “aguas blancas”. También, en los casos documentados se han observado concentraciones elevadas de cristales de CaCO_3 , lo que explica el aspecto blanquecino y la elevada turbidez. Dependiendo del mecanismo implicado estos cuerpos de agua blanqueada podrían actuar bien como fuentes de partículas o bien como sumideros. Sin embargo, en el caso del Mar menor se desconocen todavía todos estos aspectos y será objeto de estudios más detallados por parte de los investigadores de BELICH.

La zona donde ha aparecido esta mancha blanquecina de forma casi permanente coincide con las zonas del litoral del Mar Menor donde han aparecido grandes extensiones ocupadas por desarrollos masivos de macroalgas oportunistas, popularmente conocidas como “ova”. Como ya se ha explicado en informes anteriores del IEO-CSIC (ver Ruiz et al. 2020) este fenómeno es ya habitual en el Mar Menor en los últimos

años y sin duda guarda relación con los aportes de aguas continentales ricas en nutrientes. Aunque se requieren estudios más específicos para determinar su origen y dinámica, en ambos casos se trata de síntomas de la elevada inestabilidad del debilitado ecosistema lagunar tras su colapso en 2016, a consecuencia del proceso de eutrofización inducido por los excesos de aportes de nutrientes antropogénicos.

Los datos disponibles apuntan a que las condiciones ambientales del ecosistema lagunar no parecen ser todavía propicias para la recuperación de hábitats y especies cuyas poblaciones quedaron profundamente alteradas y mermadas tras el colapso experimentado en 2016. Las praderas de *Cymodocea nodosa*, y la ausencia de síntomas de su recuperación, son un claro ejemplo de ello. Por esta misma razón no serían viables en este momento soluciones basadas en el trasplante de estas especies para la restauración del hábitat y sus funciones. El seguimiento continuado de ésta y otras especies clave (p.e. nacra, caballito de mar, signátidos, comunidades de filtradores, etc.) es fundamental ya que un cambio de tendencia en su estado y extensión constituiría un claro síntoma de recuperación a escala ecosistémica. Por el contrario, como se ha explicado en párrafos anteriores, los diagnósticos basados sólo en el estado de la columna de agua no pueden ser directamente extrapolados a la valoración del estado del ecosistema lagunar.

Referencias bibliográficas

- Belando, M.D., Bernardeau-Esteller, J., Paradinas, I., Ramos-Segura, A., GarcíaMunoz, ~ R., García-Moreno, P., Marín-Guirao, L., Ruiz, J.M., 2021. Long-term coexistence between the macroalga *Caulerpa prolifera* and the seagrass *Cymodocea nodosa* in a Mediterranean lagoon. *Aquat. Bot.* 173, 103415. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2021.103415>.
- Long JS, C Hu, LL Robbins, RH Byrne, JH Paul & JL Wolny. 2007. Optical and biochemical properties of a southwest Florida whiting event. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 196: 258-268.
- Marin-Guirao L, J Bernardeau-Esteller, MD Belando, R García Muñoz, A Ramos Segura, T Alcoverro, M Minguito Frutos, JM Ruiz. 2022. Photo-acclimatory thresholds anticipate sudden shifts in seagrass ecosystem state under reduced light conditions. *Marine Environmental Research* 177 105636
- Ruíz, J.M., Abentosa, M., Aldeguer, B., Álvarez-Rogel, J., Antón, J., Belando, M.D., Bernardeu, J., Campillo, J.A., Domínguez, J.F., Ferrera, I., Fraile-Nuez, E., García, A., Gómez-Ballesteros, M., Gómez, F., González-Barberá, G., Gómez-Jakobsen, F., León, V.M., López-Pascual, C., Marín-Guirao, L., Martínez-Gómez, C., Mercado, J.M., Nebot, E., Ramos, A., Rubio, E., Santos, F., Vázquez-Luis, M., Yebra, L., 2020. Informe de evaluación y estado actual del Mar Menor en relación al proceso de eutrofización y sus causas. Informe de asesoramiento técnico del Instituto Español de Oceanografía (IEO). 165 pp.

ANEXO I: Calibraciones

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

Termistores (sensores de temperatura)

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

resultando en la fórmula:

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

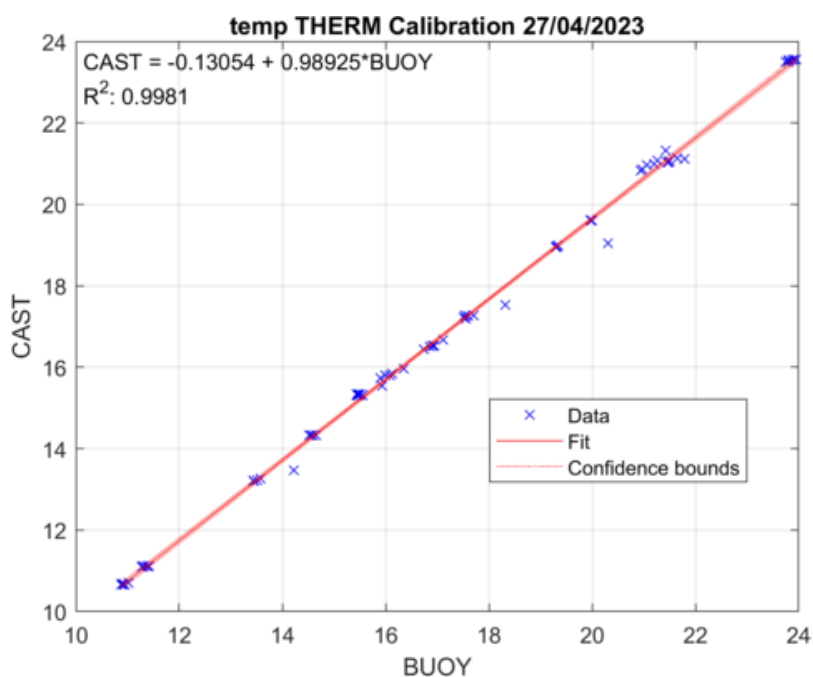


Figura 19: Calibración de los datos de temperatura de los Termistores de la boya SMLG.

Temperatura del sensor de oxígeno (Aanderaa)

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

resultando en la fórmula:

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

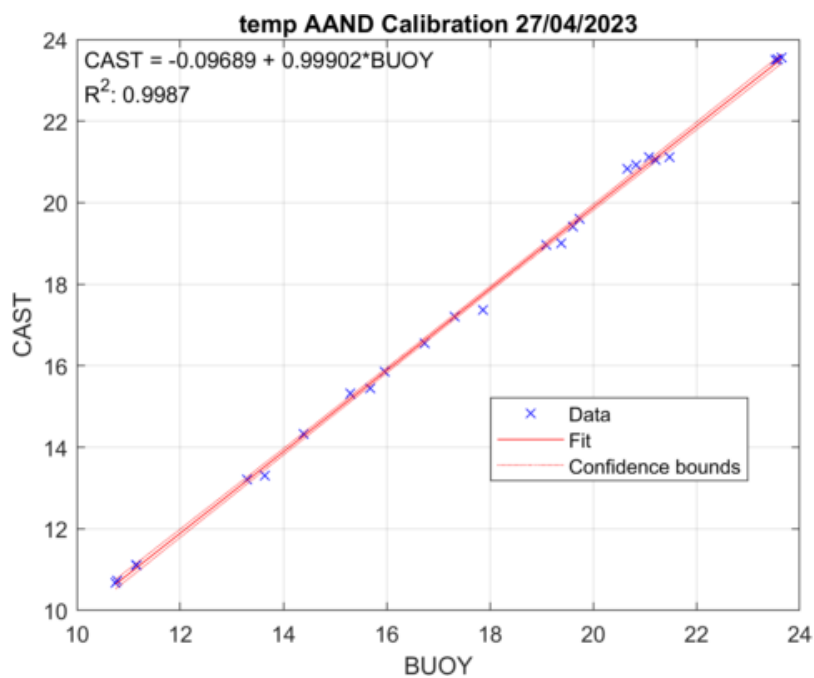


Figura 20: Calibración de los datos de temperatura de los sensores de oxígeno Aanderaa de la boya SMLG.

Temperatura del sensor de Conductividad (EC-1550)

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

resultando en la fórmula:

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

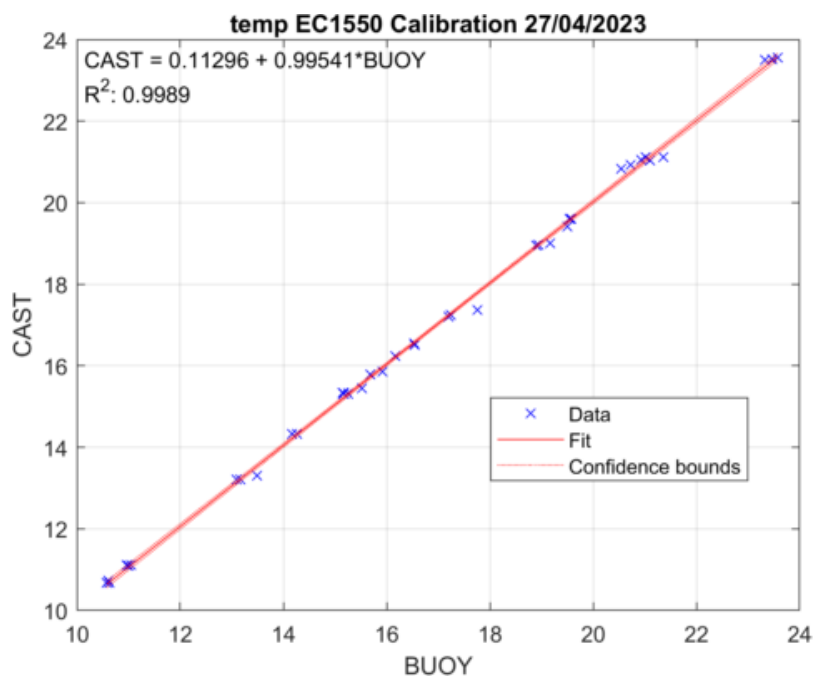


Figura 21: Calibración de la temperatura del sensor de conductividad (EC-1550) de la boya SMARTLAGOON.

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 27/04/2023

resultando en la fórmula:

$$SAMPLES = -0.11372 + 0.99055 * CAST. R^2: 0.8325$$

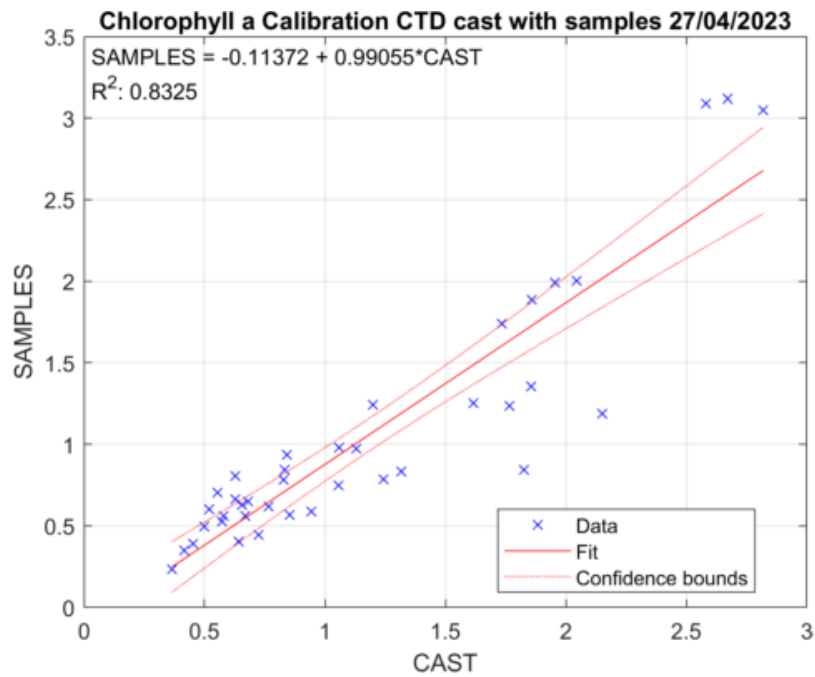


Figura 22: Calibración de la fluorescencia del CTD a Clorofila *a* con las muestras in situ en cada punto de muestreo DMMEM.

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 27/04/2023

resultando en la fórmula:

$$SAMPLES = -0.047286 + 0.92984 * CAST. R^2: 0.9517$$

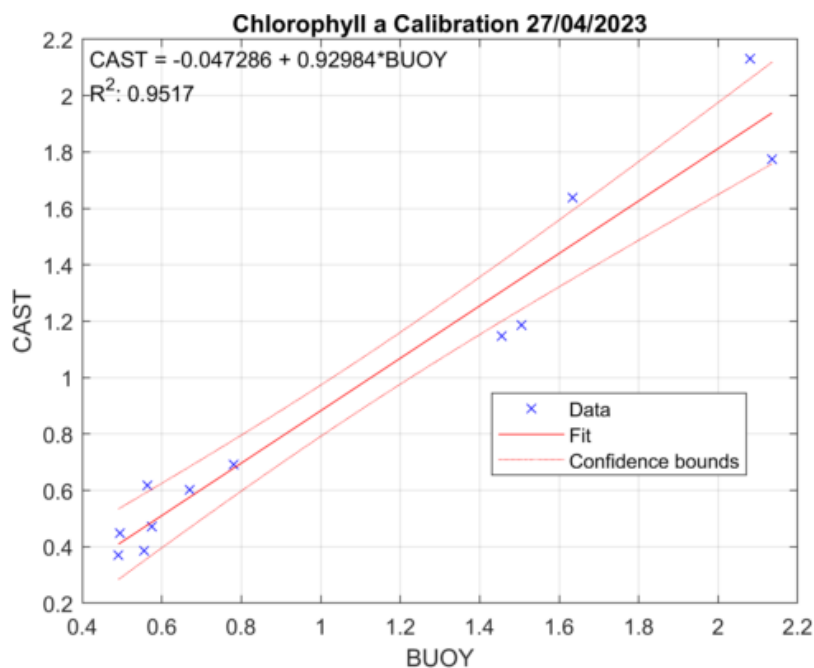


Figura 23: Calibración de la fluorescencia de la boya SMARTLAGOON con la Clorofila *a* obtenido de la fluorescencia del CTD.

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 25 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 24) 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:

$$SAMPLES = -0.6041 + 0.24832 * OC. R^2: 0.5517$$

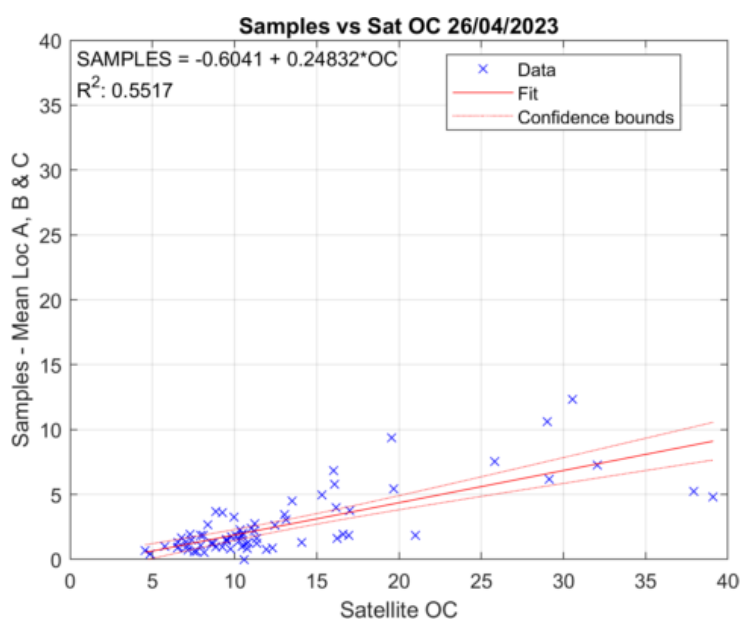


Figura 24: Calibración de la clorofila *a* satelital usando los datos de clorofila *a* de los muestreos del proyecto DMMEM.

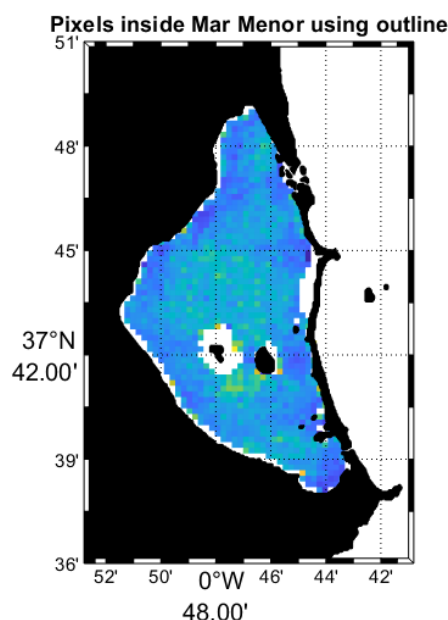


Figura 25: Mapa del Mar Menor con los datos satelitales de clorofila *a* de la Mediterranean Sea Ocean Colour Plankton MY L4 daily gapfree observations and climatology and monthly observations. Resolución espacial de 300x300.

ANEXO II: Resultados CTD Estación M

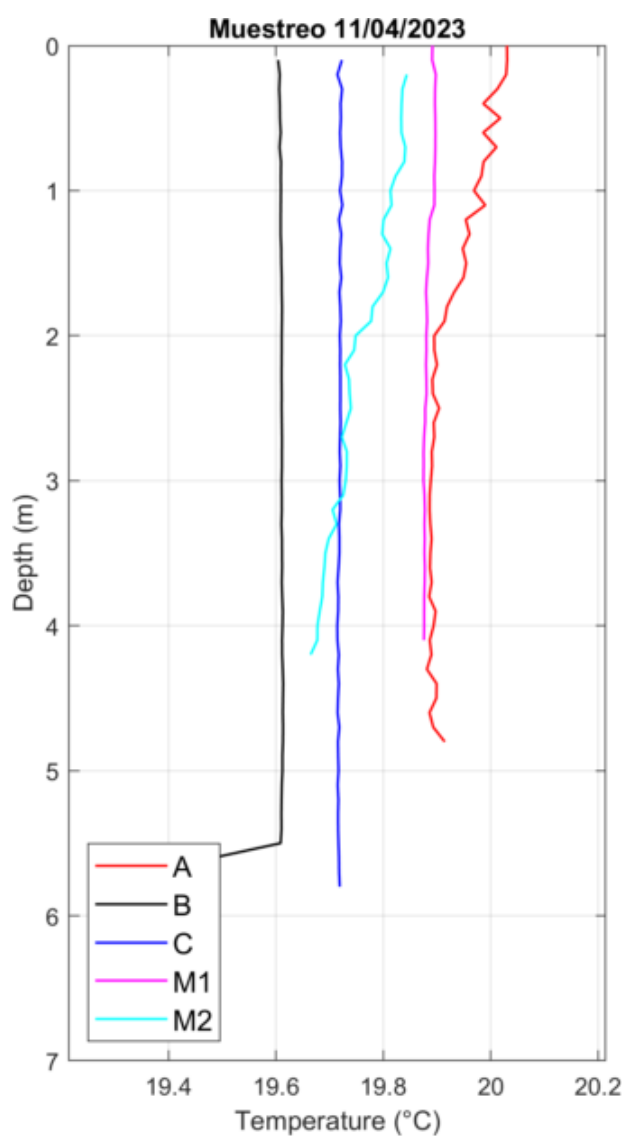


Figura 26: Perfiles de Temperatura obtenidos el día 11/04/2023 con el CTD.

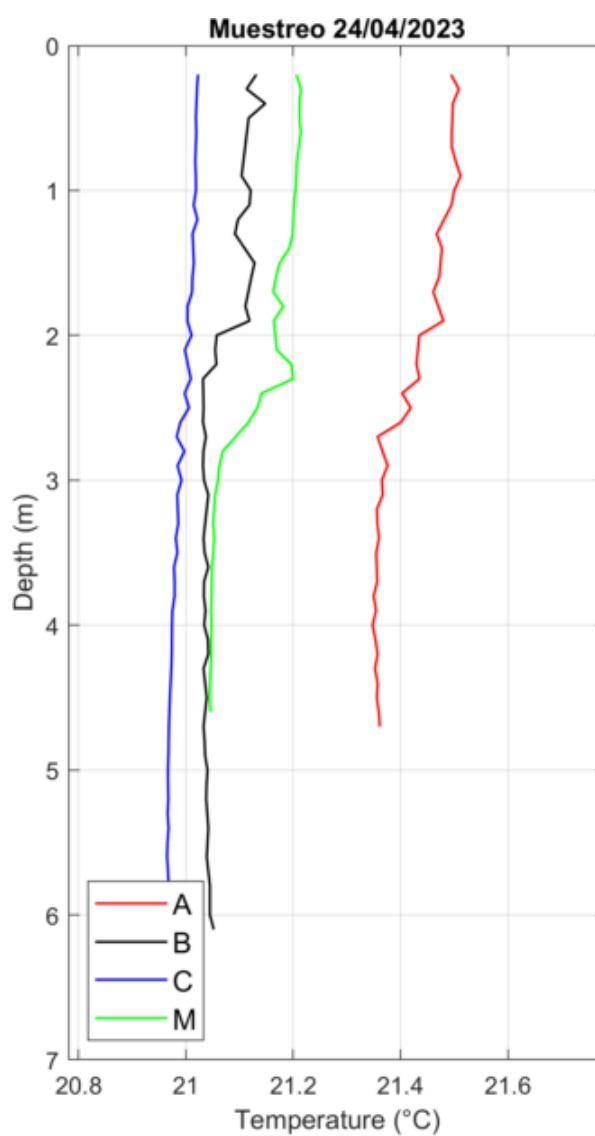


Figura 27: Perfiles de Temperatura obtenidos el día 24/04/2023 con el CTD.

Tabla 8: Datos de Temperatura de los perfiles CTD obtenidos el día 11/04/2023.

Localización	Prof. (m)	Min (°C)	Max (°C)	Media (°C)	STD (°C)
A	0	20.02	20.04	20.03	0.01
	2	19.89	19.90	19.89	0.01
	4.5	19.89	19.91	19.90	0.01
B	0	19.60	19.60	19.60	0.00
	4	19.61	19.61	19.61	0.00
	6	19.41	19.41	19.41	0.00
C	0	19.72	19.72	19.72	0.00
	4	19.71	19.72	19.71	0.00
	6	19.72	19.72	19.72	0.00
M1	0	19.89	19.90	19.89	0.00
	2	19.88	19.88	19.88	0.00
	4	19.88	19.88	19.88	0.00
M2	0	19.82	19.86	19.84	0.01
	2	19.74	19.78	19.75	0.02
	4	19.67	19.68	19.67	0.01

Tabla 9: Datos de Temperatura de los perfiles CTD obtenidos el día 24/04/2023.

Localización	Prof. (m)	Min (°C)	Max (°C)	Media (°C)	STD (°C)
A	0	21.49	21.50	21.49	0.00
	2	21.38	21.49	21.45	0.03
	4.5	21.35	21.36	21.36	0.00
B	0	21.14	21.14	21.14	0.00
	4	21.03	21.04	21.03	0.00
	6	21.04	21.05	21.04	0.00
C	0	21.02	21.03	21.02	0.00
	4	20.97	20.98	20.97	0.00
	6	20.97	20.97	20.97	0.00
M	0	21.21	21.22	21.21	0.00
	2	21.16	21.20	21.17	0.01
	4	21.05	21.05	21.05	0.00

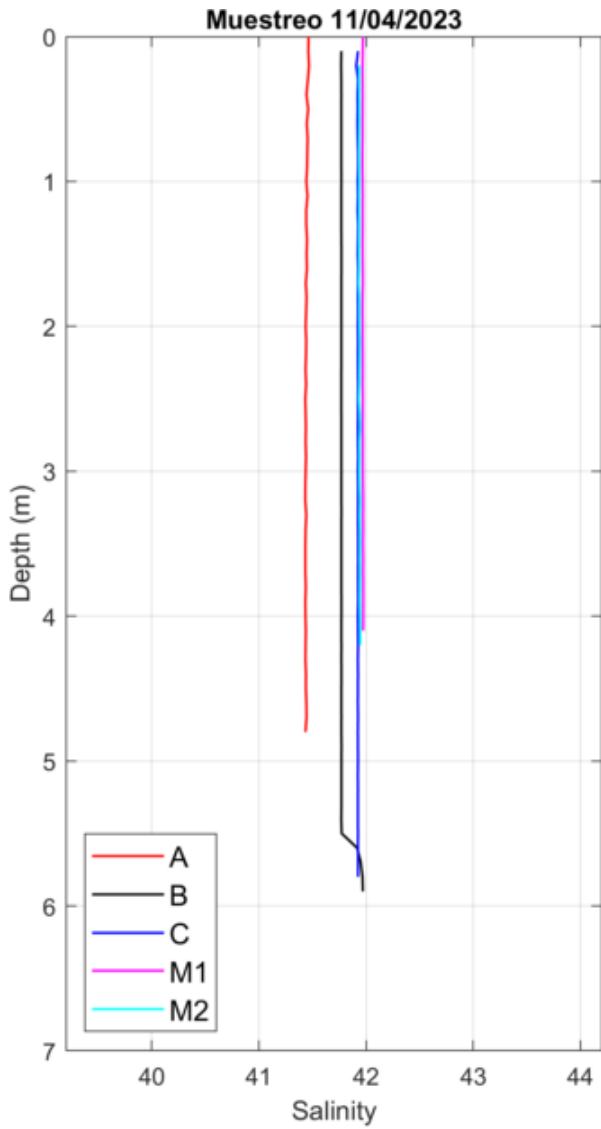


Figura 28: Perfiles de Salinidad obtenidos el día 11/04/2023 con el CTD.

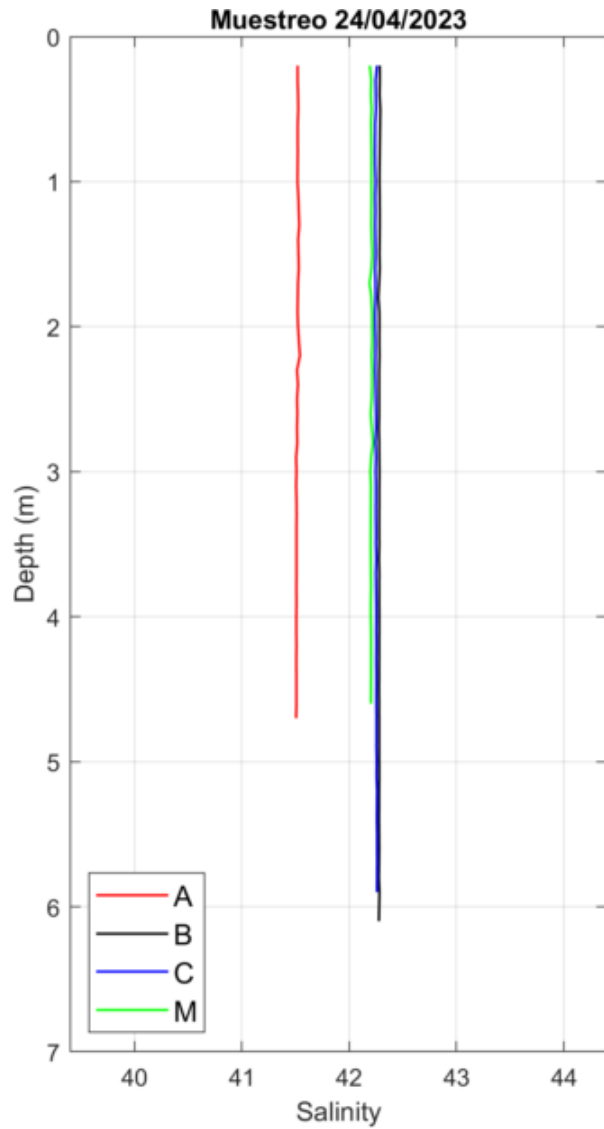


Figura 29: Perfiles de Salinidad obtenidos el día 24/04/2023 con el CTD.

Tabla 10: Datos de salinidad de los perfiles CTD obtenidos el día 11/04/2023.

Localización	Prof. (m)	Min (-)	Max (-)	Media (-)	STD (-)
A	0	41.46	41.47	41.46	0.00
	2	41.43	41.45	41.44	0.00
	4.5	41.43	41.44	41.44	0.00
B	0	41.77	41.77	41.77	0.00
	4	41.77	41.77	41.77	0.00
	6	41.97	41.97	41.97	0.00
C	0	41.92	41.93	41.93	0.00
	4	41.92	41.92	41.92	0.00
	6	41.92	41.93	41.93	0.00
M1	0	41.97	41.97	41.97	0.00
	2	41.97	41.97	41.97	0.00
	4	41.97	41.98	41.97	0.00
M2	0	41.93	41.94	41.94	0.00
	2	41.93	41.95	41.94	0.00
	4	41.94	41.95	41.94	0.00

Tabla 11: Datos de salinidad de los perfiles CTD obtenidos el día 24/04/2023.

Localización	Prof. (m)	Min (-)	Max (-)	Media (-)	STD (-)
A	0	41.52	41.52	41.52	0.00
	2	41.51	41.60	41.53	0.03
	4.5	41.51	41.51	41.51	0.00
B	0	42.28	42.29	42.28	0.00
	4	42.28	42.28	42.28	0.00
	6	42.28	42.28	42.28	0.00
C	0	42.24	42.26	42.25	0.01
	4	42.25	42.26	42.25	0.00
	6	42.26	42.26	42.26	0.00
M	0	42.19	42.22	42.21	0.01
	2	42.21	42.22	42.21	0.00
	4	42.20	42.20	42.20	0.00

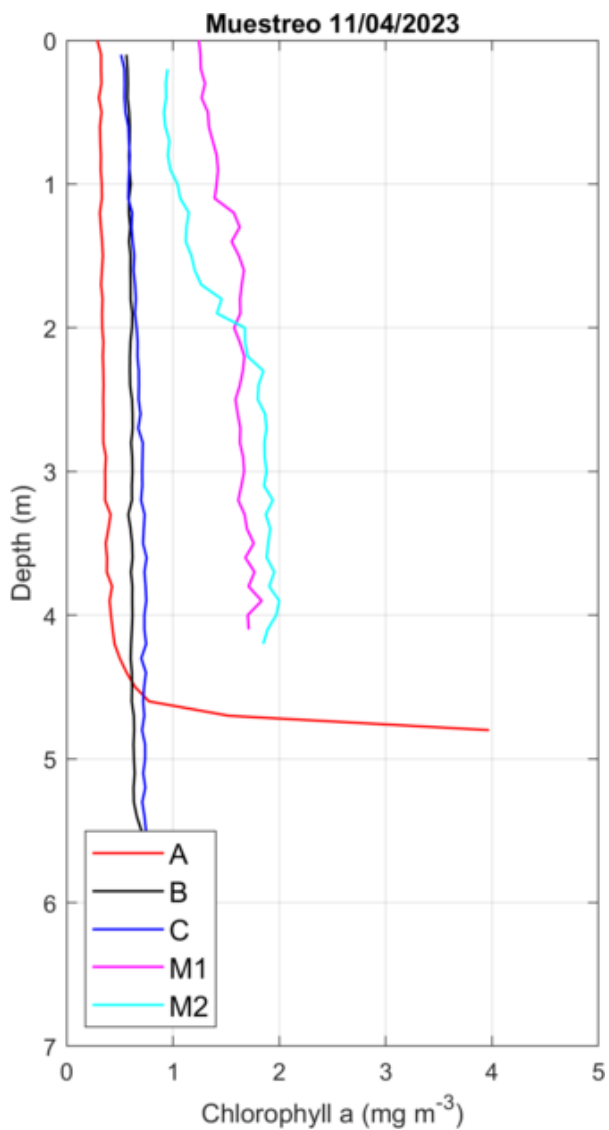


Figura 30: Perfiles de clorofila *a* obtenidos el día 11/04/2023 con el CTD (Fluorescencia calibrado con muestras).

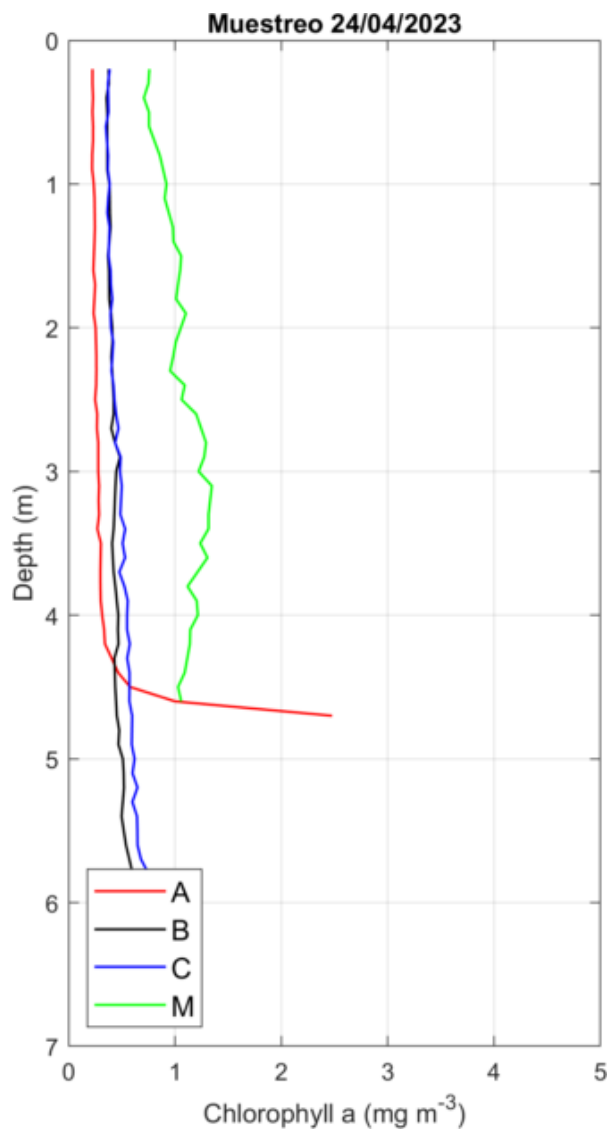


Figura 31: Perfiles de clorofila *a* obtenidos el día 24/04/2023 con el CTD (Fluorescencia calibrado con muestras).

Tabla 12: Datos clorofila *a* de los perfiles CTD obtenidos el día 11/04/2023.

Localización	Prof. (m)	Min (mg/m ³)	Max (mg/m ³)	Media (mg/m ³)	STD (mg/m ³)
A	0	0.10	0.33	0.27	0.08
	2	0.32	0.36	0.33	0.01
	4.5	0.60	0.73	0.65	0.05
B	0	0.54	0.59	0.56	0.01
	4	0.58	0.63	0.60	0.01
	6	0.69	0.76	0.73	0.02
C	0	0.48	0.52	0.50	0.01
	4	0.69	0.77	0.73	0.02
	6	0.77	0.86	0.82	0.03
M1	0	1.18	1.35	1.25	0.06
	2	1.51	1.63	1.57	0.04
	4	1.60	1.81	1.73	0.07
M2	0	0.91	0.99	0.95	0.03
	2	1.37	1.88	1.62	0.20
	4	1.78	2.04	1.91	0.08

Tabla 13: Datos de clorofila *a* de los perfiles CTD obtenidos el día 24/04/2023.

Localización	Prof. (m)	Min (mg/m ³)	Max (mg/m ³)	Media (mg/m ³)	STD (mg/m ³)
A	0	0.21	0.24	0.22	0.01
	2	0.23	0.27	0.25	0.01
	4.5	0.44	0.76	0.58	0.11
B	0	0.36	0.39	0.37	0.01
	4	0.43	0.53	0.46	0.03
	6	0.69	0.89	0.81	0.07
C	0	0.36	0.39	0.38	0.01
	4	0.52	0.57	0.55	0.02
	6	0.70	0.91	0.80	0.09
M	0	0.70	0.80	0.75	0.03
	2	0.95	1.11	1.03	0.06
	4	1.04	1.30	1.19	0.07

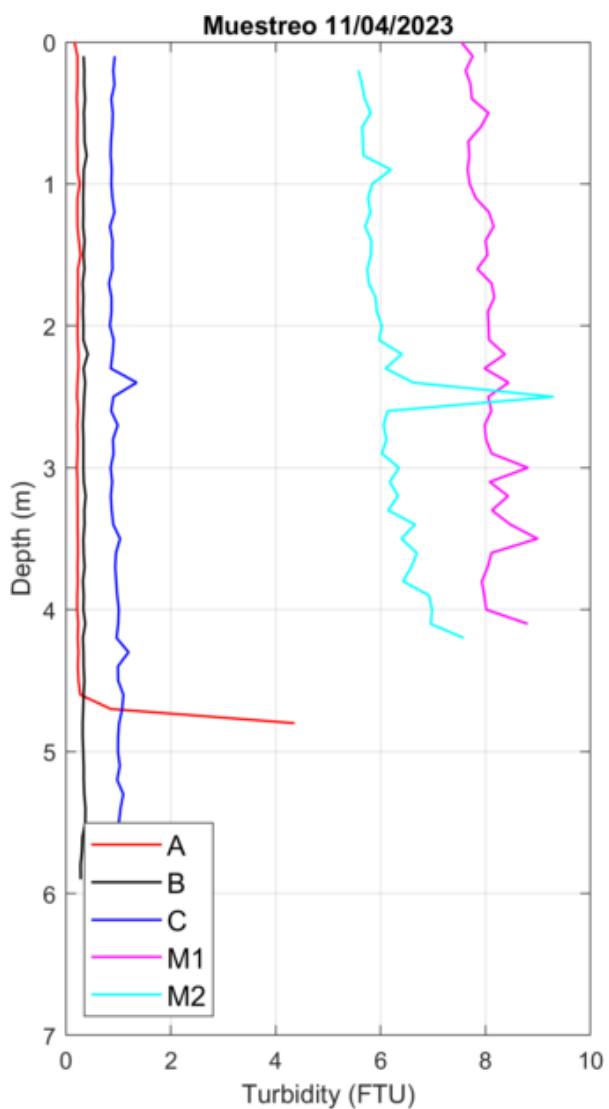


Figura 32: Perfiles de Turbidez obtenidos el día 11/04/2023 con el CTD.

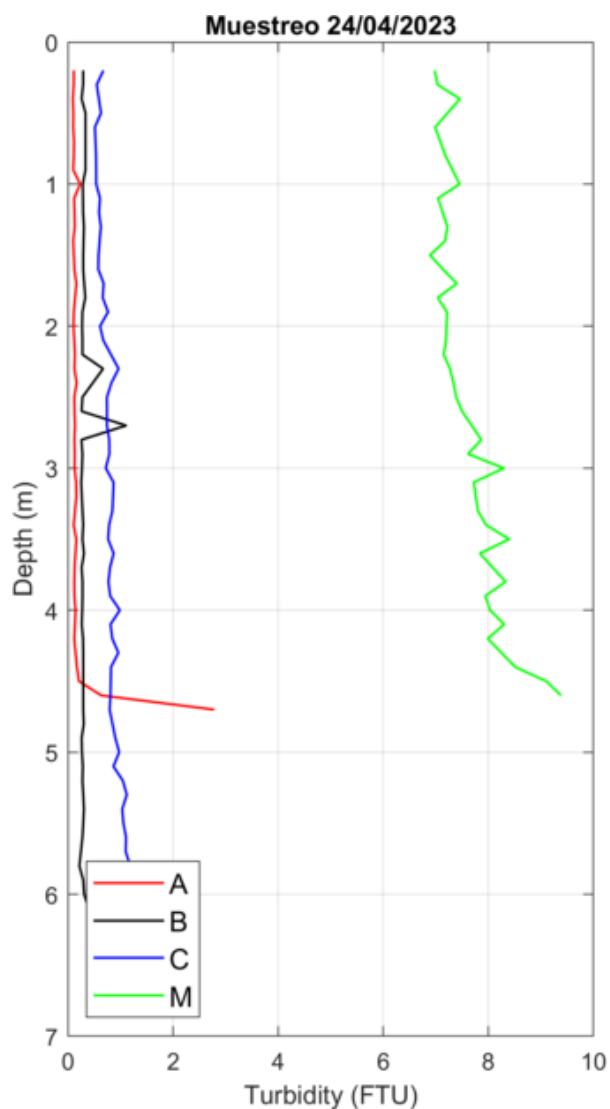


Figura 33: Perfiles de Turbidez obtenidos el día 24/04/2023 con el CTD.

Tabla 14: Datos de Turbidez de los perfiles CTD obtenidos el día 11/04/2023.

Localización	Prof. (m)	Min (FTU)	Max (FTU)	Media (FTU)	STD (FTU)
A	0	0.00	0.25	0.14	0.10
	2	0.20	0.25	0.22	0.01
	4.5	0.22	0.28	0.25	0.02
B	0	0.31	0.38	0.33	0.03
	4	0.29	0.36	0.32	0.02
	6	0.28	0.31	0.29	0.01
C	0	0.83	0.99	0.92	0.05
	4	0.86	1.34	1.01	0.16
	6	0.90	1.11	0.99	0.07
M1	0	7.32	8.02	7.64	0.21
	2	7.48	9.41	8.17	0.61
	4	7.39	8.85	7.96	0.47
M2	0	5.47	6.03	5.62	0.17
	2	5.38	8.57	6.11	0.95
	4	6.52	9.22	7.28	0.80

Tabla 15: Datos de Turbidez de los perfiles CTD obtenidos el día 24/04/2023.

Localización	Prof. (m)	Min (FTU)	Max (FTU)	Media (FTU)	STD (FTU)
A	0	0.09	0.15	0.11	0.02
	2	0.09	0.15	0.12	0.02
	4.5	0.15	0.39	0.23	0.08
B	0	0.25	0.34	0.29	0.03
	4	0.25	0.32	0.27	0.02
	6	0.26	0.35	0.32	0.03
C	0	0.49	0.77	0.59	0.09
	4	0.70	2.00	0.90	0.39
	6	1.24	1.37	1.28	0.06
M	0	6.89	7.46	7.11	0.22
	2	6.73	7.39	7.13	0.26
	4	7.21	8.59	8.04	0.40

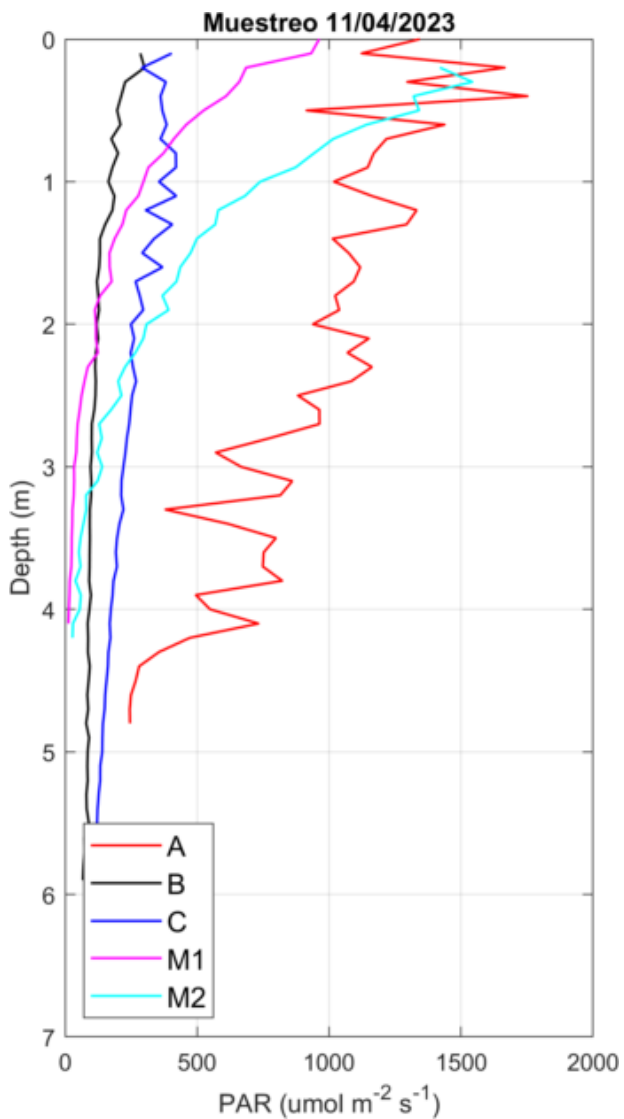


Figura 34: Perfiles de Luz PAR el 11/04/2023 con el CTD.

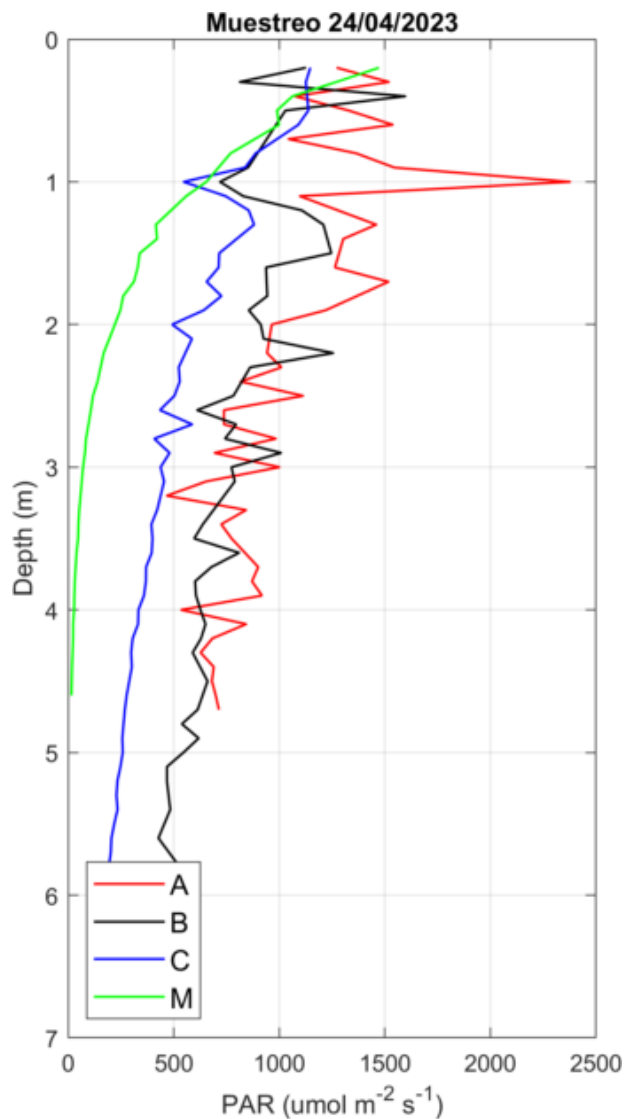


Figura 35: Perfiles de Luz PAR obtenidos el día 24/04/2023 con el CTD.

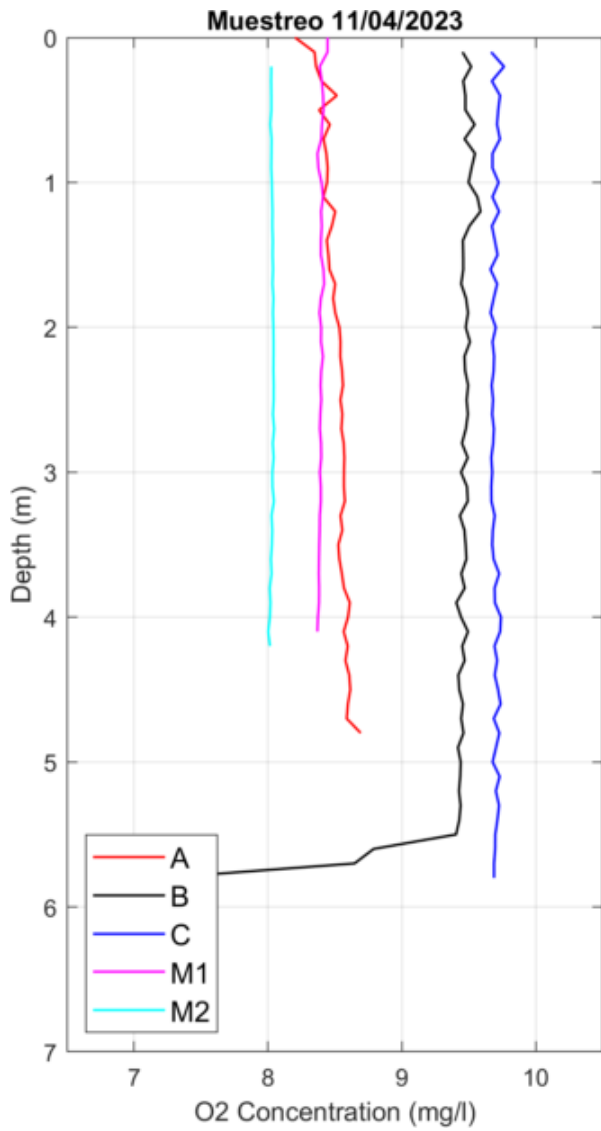


Figura 36: Perfiles de Concentración de Oxígeno obtenidos el día 11/04/2023 con el CTD.

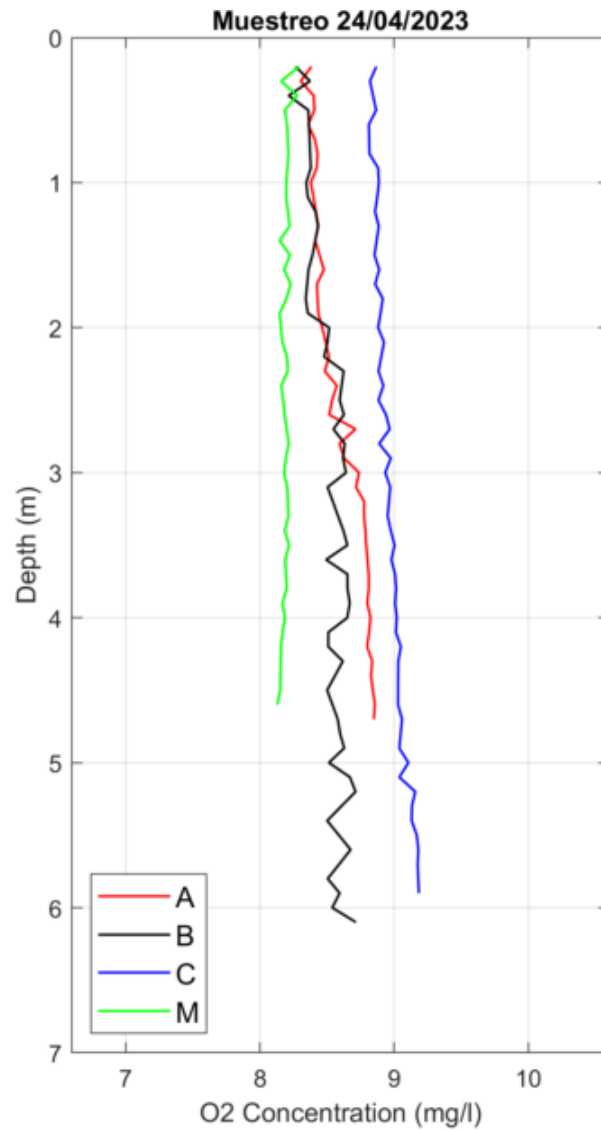


Figura 37: Perfiles de Concentración de Oxígeno obtenidos el día 24/04/2023 con el CTD.

Tabla 16: Datos de concentración de Oxígeno de los perfiles CTD obtenidos el día 11/04/2023.

Localización	Prof. (m)	Min (mg/l)	Max (mg/l)	Media (mg/l)	STD (mg/l)
A	0	7.31	8.36	8.15	0.35
	2	8.50	8.58	8.54	0.02
	4.5	8.61	8.64	8.62	0.01
B	0	9.43	9.46	9.44	0.01
	4	9.41	9.51	9.46	0.04
	6	7.01	7.04	7.02	0.01
C	0	9.66	9.69	9.67	0.01
	4	9.69	9.76	9.74	0.02
	6	9.68	9.70	9.68	0.01
M1	0	8.43	8.45	8.45	0.01
	2	8.37	8.44	8.40	0.03
	4	8.36	8.39	8.37	0.01
M2	0	8.00	8.05	8.03	0.01
	2	8.01	8.07	8.04	0.02
	4	7.98	8.03	8.01	0.02

Tabla 17: Datos de concentración de Oxígeno de los perfiles CTD obtenidos el día 24/04/2023.

Localización	Prof. (m)	Min (mg/l)	Max (mg/l)	Media (mg/l)	STD (mg/l)
A	0	8.38	8.40	8.39	0.01
	2	8.43	8.55	8.47	0.04
	4.5	8.78	8.86	8.83	0.03
B	0	8.21	8.24	8.23	0.01
	4	8.51	8.68	8.64	0.05
	6	8.51	8.58	8.54	0.02
C	0	8.80	8.88	8.83	0.03
	4	9.00	9.04	9.01	0.02
	6	9.16	9.19	9.18	0.01
M	0	8.06	8.29	8.17	0.10
	2	8.14	8.21	8.17	0.02
	4	8.15	8.19	8.17	0.01

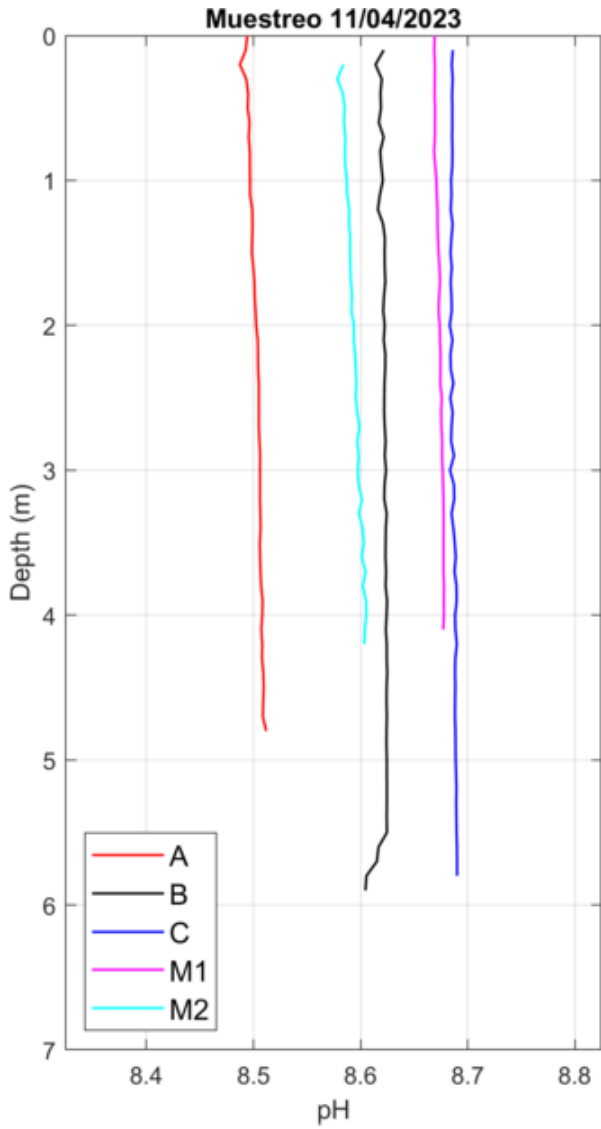


Figura 38: Perfiles de pH obtenidos el día 11/04/2023 con el CTD.

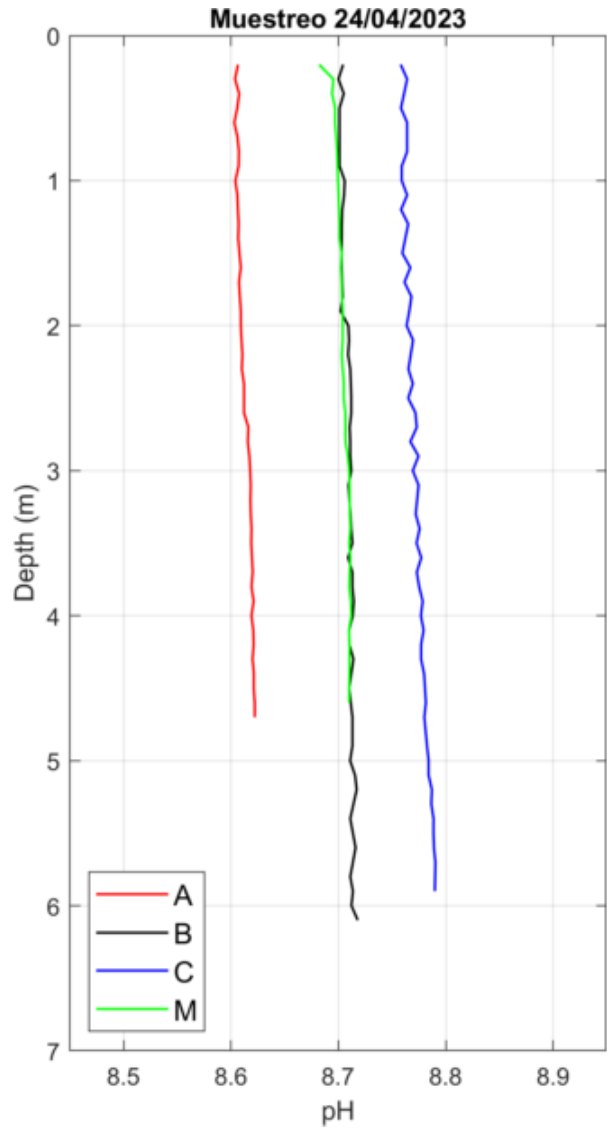


Figura 39: Perfiles de pH obtenidos el día 24/04/2023 con el CTD.

Tabla 18: Datos de pH de los perfiles CTD obtenidos el día 11/04/2023.

Localización	Prof. (m)	Min (-)	Max (-)	Media (-)	STD (-)
A	0	8.49	8.50	8.49	0.00
	2	8.50	8.50	8.50	0.00
	4.5	8.51	8.51	8.51	0.00
B	0	8.62	8.62	8.62	0.00
	4	8.62	8.63	8.62	0.00
	6	8.60	8.60	8.60	0.00
C	0	8.69	8.69	8.69	0.00
	4	8.69	8.69	8.69	0.00
	6	8.69	8.69	8.69	0.00
M1	0	8.67	8.67	8.67	0.00
	2	8.67	8.68	8.67	0.00
	4	8.68	8.68	8.68	0.00
M2	0	8.58	8.59	8.59	0.00
	2	8.59	8.60	8.59	0.00
	4	8.60	8.61	8.60	0.00

Tabla 19: Datos de pH de los perfiles CTD obtenidos el día 24/04/2023.

Localización	Prof. (m)	Min (-)	Max (-)	Media (-)	STD (-)
A	0	8.61	8.61	8.61	0.00
	2	8.61	8.61	8.61	0.00
	4.5	8.62	8.62	8.62	0.00
B	0	8.70	8.71	8.71	0.00
	4	8.71	8.71	8.71	0.00
	6	8.71	8.71	8.71	0.00
C	0	8.76	8.77	8.76	0.00
	4	8.78	8.78	8.78	0.00
	6	8.79	8.79	8.79	0.00
M	0	8.68	8.70	8.69	0.01
	2	8.70	8.71	8.70	0.00
	4	8.71	8.71	8.71	0.00