

# 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 (octubre 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](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 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, CO Canarias

Marijn Oosterbaan, CO Canarias (contratado DMMEM)

Patricia Pérez, CO Murcia (contratada DMMEM)

Virginia Sandoval, CO Murcia (contratada BELICH)

Victor Orenes, CO Murcia (contratado BELICH)

Pedro Martínez, CO Murcia (contratado BELICH)

Rocío García, CO Murcia

Jesús M. Mercado, CO Málaga

Isabel Ferrera, CO Málaga

Francisco Gómez Jakobsen, CO Málaga

Lidia Yebra, CO Málaga

Antonio Sánchez, CO Málaga

M. Teresa Camarena, CO Málaga

Nerea Valcárcel, CO Málaga

## **Equipos de otros centros (CSIC y no CSIC):**

Gonzalo González Barberá, CEBAS-CSIC

Antonio Delgado Huertas, IACT-CSIC

Blas Valero, IPE-CSIC

Marcel Said, IATC-CSIC

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

## **Este informe debe citarse de la siguiente forma:**

*IEO-CSIC (2023). Informe de actualización de resultados del programa de seguimiento del Mar Menor (OCTUBRE 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](http://www.ieo.es/es_ES/web/ieo/mar-menor).*

## Índice

1	Resumen y conclusiones .....	5
2	Antecedentes y objeto del informe .....	6
3	Marco de trabajo.....	6
3.1	Variables de estudio.....	6
3.2	Fuentes de datos .....	8
3.2.1	Muestreos <i>in situ</i> .....	8
3.2.2	Boya piloto SMLG .....	9
3.2.3	Datos satelitales .....	9
3.2.4	Sensores de luz PAR .....	10
3.3	Análisis del fenómeno de blanqueamiento o “whiting event” .....	10
4	Resultados .....	11
4.1	Temperatura.....	11
4.2	Salinidad .....	15
4.3	Concentración de la clorofila- <i>a</i> .....	17
4.3.1	Clorofila satelital.....	20
4.4	Turbidez.....	22
4.5	Oxígeno .....	26
4.6	pH .....	28
4.7	Nutrientes totales .....	30
4.8	Comunidades de zooplancton.....	32
4.9	Estudio del fenómeno de blanqueamiento o “whiting event” .....	33
5	Bibliografía .....	38
6	Listado de abreviaturas.....	39
7	Anexos.....	40
7.1	Anexo I: Boya piloto SMARTLAGOON .....	40
7.2	Anexo II: Metodología .....	41
7.2.1	Temperatura.....	41
7.2.2	Clorofila- <i>a</i> .....	42
7.2.3	Turbidez.....	43
7.2.4	Oxígeno disuelto.....	43
7.2.5	pH .....	44
7.2.6	Nutrientes.....	44
7.2.7	Comunidades microbianas y de fitoplancton.....	45
7.2.8	Comunidades de zooplancton.....	45
7.2.9	Comunidades de macrófitos bentónicos.....	45

7.3	Anexo III: Perfiles CTD .....	46
7.3.1	Temperatura.....	46
7.3.2	Salinidad .....	50
7.3.3	Saturación de O2 .....	54
7.3.4	Concentración de O2.....	58
7.3.5	Turbidez.....	62
7.3.6	pH	66
7.3.7	Luz PAR .....	70
7.3.8	Clorofila .....	74

## 1 Resumen y conclusiones

El propósito de este informe es proporcionar una revisión actualizada que refleje los cambios y avances en la situación actual del Mar Menor. Por ello, se presentan las novedades más destacadas respecto al último informe de agosto de 2023:

- Se observa una disminución en la temperatura, lo cual es coherente con las condiciones típicas para esta época del año y se asemeja a patrones previamente registrados (Apartado 4.1). No se observa estratificación térmica de la columna de agua asociada a los episodios de precipitaciones más recientes.
- La salinidad también muestra una tendencia de subida, propia de la época otoñal. Gracias a que la salinidad de este año muestra niveles más altos que años anteriores, se han alcanzado valores que no se registraban desde antes de las lluvias torrenciales (DANAs) de 2019 (Apartado 4.2).
- La clorofila se mantiene en valores medios relativamente bajos ( $1-2 \text{ mg/m}^3$ ), con cierta tendencia de aumento, de acuerdo con su dinámica de variación estacional. Sólo en la estación M (masa de agua blanquecina) se han registrado valores de estas variables más elevados, alcanzando máximos de  $5 \text{ mg/m}^3$  en octubre.
- Se presenta el primer avance en el desarrollo de un algoritmo específico para calcular la concentración de la clorofila en la laguna a partir de los datos satelitales (Apartado 4.3).
- Se ha registrado un aumento de la turbidez en los últimos meses. Este aumento viene acompañado de un leve aumento de la concentración de la clorofila (Apartado 4.4). En la masa de agua blanquecina se han registrado los valores más elevados de turbidez, superando valores medios de  $k_d$  tan extremos como  $K_d = 1 \text{ m}^{-1}$ . Esto implica que al fondo no llegue la luz mínima para el crecimiento de los macrófitos bentónicos, lo que explica su total desaparición en el área ocupada por el evento de blanqueamiento (Apartado 4.9).
- Continúan registrándose valores medios de pH superiores a los registrados al principio de la serie temporal, lo que mantiene la tendencia de aumento de esta variable observada en el Mar Menor en todo el periodo de estudio.
- Se presentan datos de nutrientes totales de 2019 a 2023 que indican una tendencia a la estabilización de estas variables desde finales de 2022 (Apartado 4.7), aunque muestran también un considerable exceso de nitrógeno sobre fósforo en todo el periodo.
- Se presentan datos de biomasa de mesozooplankton desde 2016, que muestran una reducida variabilidad espacial, entre estaciones de muestreo, y una alta variabilidad temporal, sin un ciclo estacional definido (Apartado 4.8).
- Se presenta una síntesis de los resultados preliminares de los estudios que se están realizando sobre el fenómeno de blanqueamiento del agua ("*whiting event*") (Apartado 4.9). Aunque son resultados parciales y no concluyentes, se ha obtenido evidencia de que este fenómeno no existía antes de verano de 2022, al menos con sus características actuales. También se ha comprobado la existencia de concentraciones elevadas de calcita y otros minerales que es consistente con la composición de las

aguas subterráneas que vierten al Mar Menor. Se proponen algunas hipótesis sobre su origen que no podrán ser corroboradas hasta que se disponga de los resultados de todos los análisis actualmente en marcha.

El resto de las variables analizadas no han sufrido cambios respecto al último informe.

## 2 Antecedentes y objeto del informe

El presente informe presenta los resultados y avances, de carácter bimestral, del programa de seguimiento científico desarrollado para evaluar el estado del ecosistema marino del Mar Menor. Este programa se puso en marcha en 2016 para obtener conocimiento fiable y objetivo sobre el estado y la evolución del Mar Menor a partir del episodio de “sopa verde” ocurrido ese mismo año. Dicho programa de seguimiento se realizó, en un principio, como parte del proyecto DMMEM, financiado por el IEO-CSIC. Sin embargo, desde enero del año 2023, estas actividades de monitorización están integradas dentro del proyecto BELICH, financiado por el Marco de Actuaciones Prioritarias para la Recuperación del Mar Menor (MAPMM) del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD).

De manera complementaria a estos programas de seguimiento científico, en el marco del proyecto europeo SMARTLAGOON, liderado por la Universitat Politècnica de València (UPV), Uppsala University y la empresa VIELCA Ingenieros, S.A. (Grant Agreement Nº 101017861), en octubre de 2022, se instaló una boya piloto de monitorización oceanográfica (a partir de ahora “boya piloto” o SMLG). Esta boya sirve 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. En el Anexo I de este informe se indican las características técnicas de esta boya y los sensores instalados.

A partir de febrero de 2023, el programa de monitorización del proyecto BELICH empezó a reportar resultados en informes periódicos de carácter bimensual. De acuerdo con esto, el presente informe técnico-científico tiene como objetivo la actualización de los datos obtenidos y mostrados en el anterior informe publicado. Estos informes pueden consultarse en la página web del IEO ([http://www.ieo.es/es\\_ES/web/ieo/mar-menor](http://www.ieo.es/es_ES/web/ieo/mar-menor)).

## 3 Marco de trabajo

### 3.1 Variables de estudio

En este programa de seguimiento se recopilan diversas variables físico-químicas necesarias para evaluar el estado general de la columna de agua. Los detalles completos sobre la metodología empleada para obtener estas variables, así como las fuentes de datos utilizadas, se encuentran ampliamente descritos en el Anexo II. Cada una de estas variables nos aporta información complementaria sobre el estado ecológico del Mar Menor:

**Temperatura (°C):** 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 no solo importa la temperatura en términos absolutos, sino en la intensidad y frecuencia de las olas de calor (Olivier *et al.*, 2021).

**Salinidad:** del mismo modo que la temperatura, la salinidad es una variable clave para entender la composición y dinámica del ecosistema lagunar, pero también es un indicador del balance hídrico resultante de tres procesos fundamentales: la evaporación, los aportes continentales y el intercambio de agua con el Mediterráneo. Salinidad definida como relación de conductividad no tiene unidades (UNESCO, 1985).

**Turbidez:** la turbidez (NTU) y el coeficiente de extinción de luz ( $K_d$ ,  $m^{-1}$ ) son ambos indicadores de la extinción de la luz solar incidente entre la superficie del agua y el fondo (Kirk, 1985). La turbidez se encuentra íntimamente relacionada con la clorofila- $a$ , ya que las células fitoplanctónicas absorben luz para la fotosíntesis, contribuyendo al aumento de la turbidez (disminución de la transparencia). No obstante, esta turbidez depende también de otras variables como las partículas en suspensión, tanto orgánicas como inorgánicas, zooplancton, bacterias, y las denominadas “substancias amarillas” (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 viento y oleaje, aportes terrígenos, procesos de descomposición de la materia orgánica, etc.). Por ello, esta variable también puede ser empleada para controlar la calidad del agua mediante sensores remotos multiespectrales e hiperespectrales (imágenes de satélite).

**Oxígeno disuelto (mg/l):** la concentración de oxígeno disuelto 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.

**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). El pH es un parámetro crucial para evaluar la salud de los ecosistemas marinos, ya que influye en sus procesos químicos, utilizándose como indicador de la calidad del agua. 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 (Doney *et al.*, 2009). Otros procesos biológicos, como la fotosíntesis tienden a aumentar el pH, al igual que los aportes continentales ricos en carbonatos y calcio.

**Nutrientes ( $\mu M$ ):** la concentración total de nitrógeno y fósforo (NT y PT) son factores determinantes para la dinámica de los ecosistemas marinos, especialmente en aguas eutrofizadas como las del Mar Menor, ya que afecta de forma directa a la productividad fitoplanctónica (Ouaisa *et al.*, 2023).

**Concentración de la clorofila- $a$  ( $mg/m^3$ ):** indicador de la calidad del agua en ecosistemas marinos costeros, especialmente en aguas eutrofizadas como las del Mar Menor (Ouaisa *et al.*, 2023), ya que es indicadora de la productividad fitoplanctónica. Por tanto, esta variable es clave para explicar las propiedades ópticas de la columna de agua y puede ser empleada para evaluar la calidad del agua mediante sensores remotos multiespectrales e hiperespectrales (imágenes de satélite).

**Comunidades microbianas y de fitoplancton:** el análisis de las comunidades microbianas y de fitoplancton es fundamental para determinar el estado del ecosistema lagunar y su relación con las variables ambientales que gobiernan su funcionamiento (Ouaisa *et al.*, 2023). El

estudio de su composición del fitoplancton es también fundamental para el desarrollo de herramientas basadas en teledetección (satélites y drones).

**Comunidades de zooplancton:** la composición de las comunidades de mesozooplancton proporciona una visión más amplia de la dinámica de la red trófica de la laguna. La biomasa y producción del zooplancton tienen un papel clave en la transferencia de energía, ya que consumen microplancton y son alimento de niveles tróficos superiores como peces o medusas.

**Comunidades de macrófitos bentónicos:** la distribución, abundancia y composición de las comunidades de macrófitos bentónicos del Mar Menor son indicadores excelentes y muy eficaces para detectar y cuantificar las respuestas tempranas y a largo plazo del ecosistema a los cambios ambientales, no solo en el sentido del deterioro, sino también de su recuperación.

## 3.2 Fuentes de datos

A través del transcurso de la serie histórica documentada, el origen y el tratamiento de los datos ha ido variando ligeramente en función de las herramientas y recursos disponibles. Las fuentes de datos empleadas para cada variable en cada periodo temporal pueden consultarse detalladamente en el Anexo II. No obstante, las fuentes de datos utilizadas para la monitorización de las variables se dividen principalmente en cuatro categorías: muestreos *in situ*, boya piloto SMLG, datos satelitales y sensores de luz PAR.

### 3.2.1 Muestreos *in situ*

Desde 2016 se realizan muestreos periódicos para evaluar el estado ecológico del Mar Menor. Originalmente, estos muestreos se realizaban con periodicidad mensual; no obstante, desde la entrada en funcionamiento del proyecto BELICH en enero de 2023, la frecuencia de muestreo se duplicó, realizándose actualmente de forma quincenal.

Además, aunque estos muestreos se realizaban inicialmente en tres estaciones de muestreo (A, B, C), en abril de 2023 se agregó una nueva estación situada en el interior de una masa de agua blanquecina, de origen desconocido, localizada en la zona centro-oeste de la laguna. Esta estación se ha denominado "M" y desde entonces está incluida en todos los análisis junto al resto de estaciones (Figura 1).



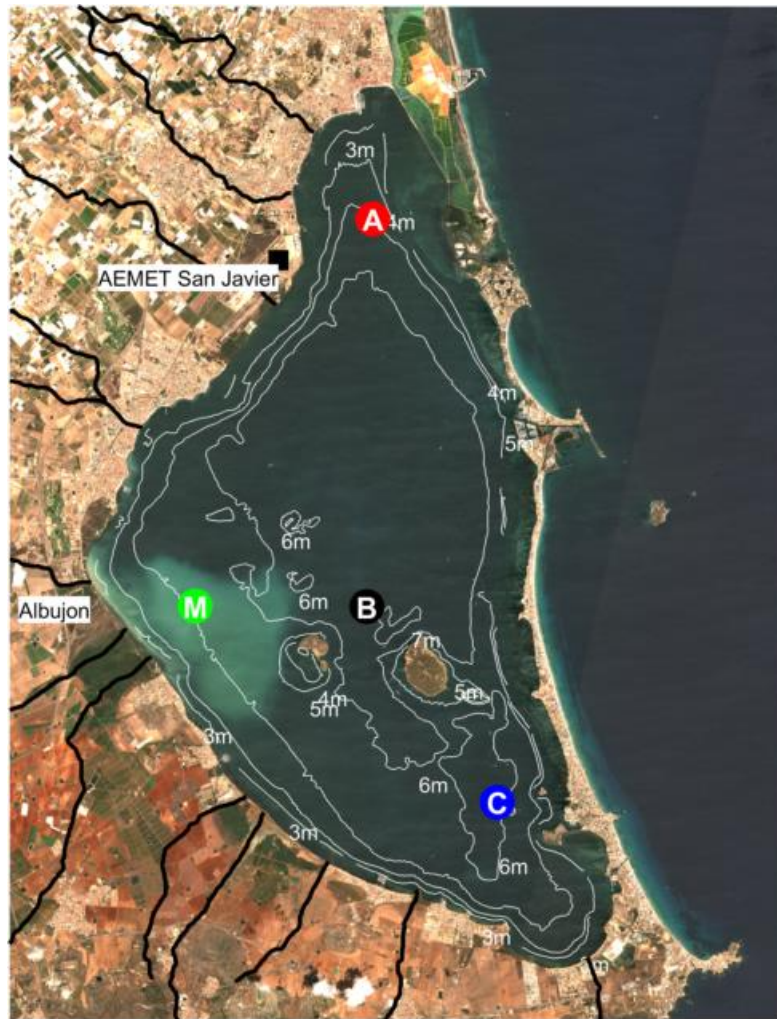


Figura 1: Ubicación de las estaciones de muestreo (A, B, C y M) mostrada sobre una imagen de satélite Sentinel2 obtenida el 03/08/2023. La ubicación de la boya piloto SMLG coincide con B.

### 3.2.2 Boya piloto SMLG

La boya piloto SMLG, instalada en el centro de la laguna, concretamente en la estación de muestreo B (Figura 1), se instaló en octubre de 2022. En ella se colocaron sensores de medición para las variables de estudio a varias profundidades, permitiendo obtener datos en continuo y a tiempo casi real. Estos datos son calibrados con los datos obtenidos en los muestreos *in situ*.

### 3.2.3 Datos satelitales

Los datos satelitales nos brindan la capacidad de generar series temporales que abarcan años previos a la implementación de los programas de seguimiento. Esta información resulta fundamental para proporcionar un contexto completo de la evolución del estado ecológico del Mar Menor a lo largo del tiempo.

Las imágenes satelitales nos permiten analizar la temperatura y la clorofila-*a*. La temperatura se obtiene de satélite, a través de *Copernicus Mediterranean Sea – High Resolution L4 Sea Surface Temperature Reprocessed 0.05 deg resolution* (Nardelli *et al.*, 2013).

Hasta la fecha, la concentración de clorofila-*a* superficial se ha obtenido desde el producto “*Mediterranean Sea Ocean Colour Plankton MY L4 daily gapfree observations and climatology and monthly observations*” del portal marino de *Copernicus* (CMEMS). Sin embargo, como novedad en el actual informe, se presenta el primer avance en el desarrollo de un algoritmo específico para estimar la concentración de la clorofila-*a* en la laguna. Para diseñar este algoritmo, se han analizado los datos de los satélites y sensores del color del océano recogidos en la Tabla 1, junto con los datos de clorofila-*a* procedentes de los muestreos *in situ* recopilados en el Mar Menor desde 2016.

Tabla 1: Características de los satélites y sensores analizados hasta agosto de 2023.

Satélite	Sensor	Fecha inicial	Resolución espacial (m)	Número de imágenes con datos válidos
TERRA	MODIS	02-2000	1000	4853
AQUA	MODIS	07-2002	1000	4518
SUOMI-NPP	VIIRS	01-2012	700	3468
NOAA20	VIIRS	12-2017	700	1542
SENTINEL3A	OLCI	05-2016	300	1022
SENTINEL3B	OLCI	05-2018	300	724

### 3.2.4 Sensores de luz PAR

Los sensores PAR (*Photosynthetically Active Radiation*), también conocidos como sensores de radiación fotosintéticamente activa ( $\mu\text{moles} \times \text{m}^{-2} \times \text{s}^{-1}$ ), son dispositivos utilizados para medir las longitudes de onda correspondientes a la luz visible, que es crucial para los procesos fotosintéticos en las plantas y otros organismos fotosintéticos.

Actualmente, se encuentran instalados de manera permanente dos sensores PAR dentro de la laguna. Uno de ellos está localizado en el punto de muestreo B, a seis metros de profundidad, aprovechando la estructura sumergida de la boya piloto SMLG. El segundo, ubicado en la zona de la Encañizada, en el nordeste de la laguna, se encuentra a un metro de profundidad. Estos sensores permiten obtener una serie temporal de alta resolución del coeficiente de extinción de la luz ( $K_d$ ) y compararla con la obtenida en los muestreos periódicos *in situ* con menor resolución temporal.

### 3.3 Análisis del fenómeno de blanqueamiento o “whiting event”

Tal y como se ha ido adelantando en los últimos informes, se está llevando a cabo un estudio específico del fenómeno de blanqueamiento del agua, o como se conoce en la literatura científica, “whiting event”, que apareció recientemente en la región centro-oeste del Mar Menor. Este estudio se enmarca en la tarea 4.4 del GT del proyecto BELICH (“Estudios de procesos biológicos y ecológicos clave”). Para abordar este tema, se ha establecido un grupo de trabajo específico, que se encuentra realizando una serie de análisis distribuidos de la siguiente manera:

- **Análisis visual y espectral de imágenes de satélite desde 2015.** Realizado por los equipos del Centro Oceanográfico de Málaga (C.O. Málaga IEO-CSIC: GT2 de BELICH), del C.O. de Canarias (GT1 de BELICH) y del C.O. de Murcia (GT3 de BELICH).

- **Análisis de nutrientes inorgánicos y orgánicos, material particulado orgánico, comunidades de fitoplancton, zooplancton y microbianas.** Realizado por el C.O. de Málaga (GT3 y GT4 de BELICH).
- **Análisis mineralógico y de carbono inorgánico disuelto en muestras de agua y caracterización isotópica de la calcita ( $\text{CaCO}_3$ ).** Realizado por Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (IACT-CSIC-UGR: GT4 de BELICH).
- **Determinación de la composición química de entradas de agua continentales.** Realizado por Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS-CSIC: GT4 de BELICH) e Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (IACT-CSIC-UGR: GT4 de BELICH).
- **Análisis de la vegetación bentónica. Evaluación de los parámetros físico-químicos en la columna de agua.** Realizado por el C.O. de Murcia IEO-CSIC (GT3 de BELICH).
- **Estudio biogeoquímico del sedimento.** Realizado por Instituto Pirenaico de Ecología IPE-CSIC e Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (IACT-CSIC-UGR) (GT4 de BELICH).

En el presente informe, se exponen los resultados preliminares derivados de los análisis llevados a cabo. Todo lo explicado en este informe acerca del fenómeno de blanqueado no será concluyente hasta que no se obtengan todos los datos de los diferentes análisis en marcha. Una vez se obtenga toda la información se realizará un informe específico sobre este tema.

## 4 Resultados

En el presente informe, se presentan de manera concisa y detallada los resultados obtenidos tras llevar a cabo el análisis exhaustivo de los datos recopilados. Este estudio se ha centrado en el análisis de las variables mencionadas en el apartado anterior, con el fin de proporcionar una visión clara y completa del estado del Mar Menor. Los datos de los muestreos *in situ* de septiembre y octubre se muestran desglosados en el Anexo III.

### 4.1 Temperatura

A partir de los datos de la serie temporal completa de temperaturas medias (media total), medidos *in situ* en las estaciones de muestreo desde 2016 (Figura 2), se puede observar un patrón estacional normal, con temperaturas medias mínimas en invierno [10-14°C] y máximas en verano [28-30°C] (Tabla 2). 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 en primavera y verano, respectivamente (Tabla 2).

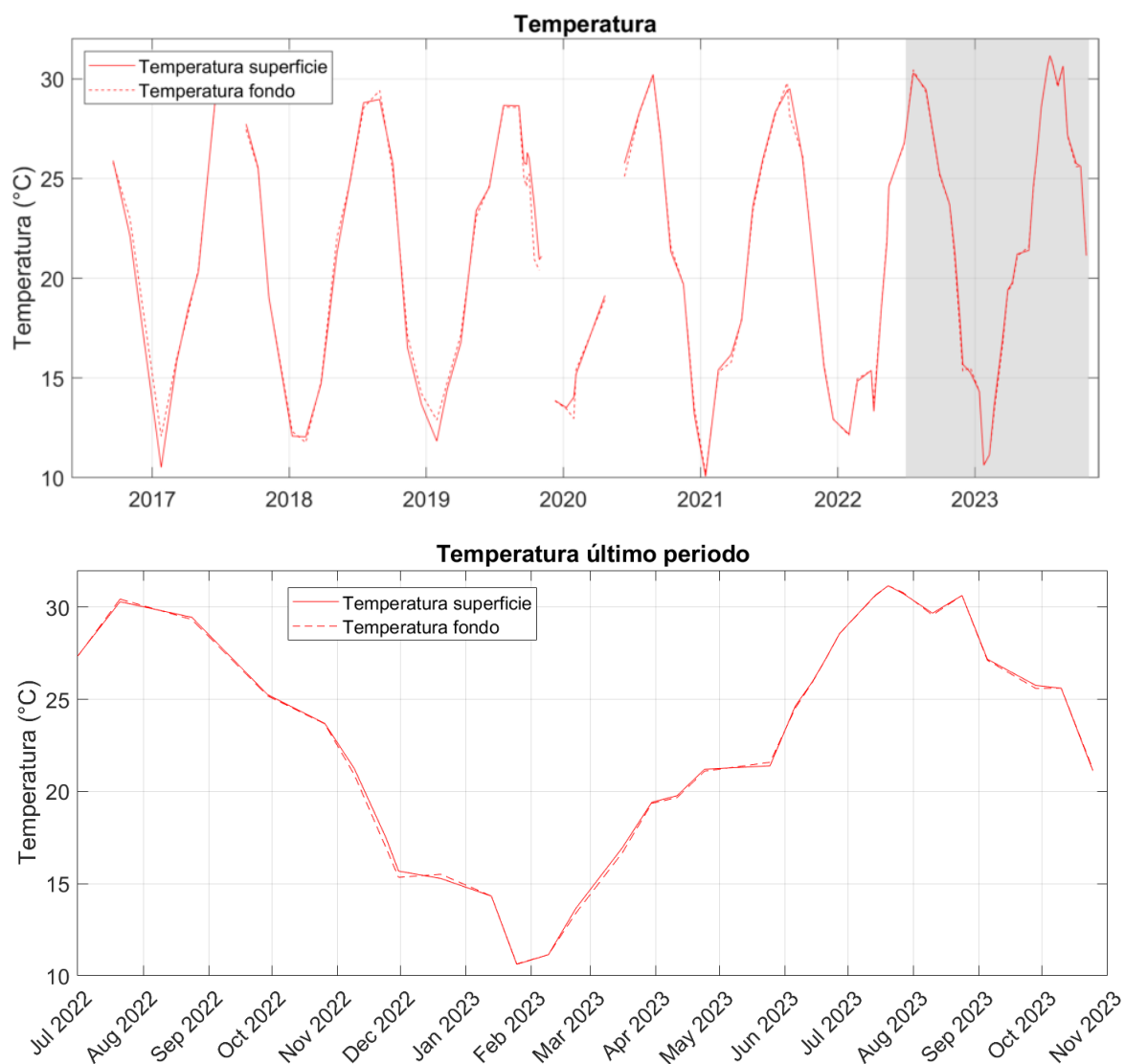


Figura 2: Temperatura media superficial (0.5 m; línea continua) y temperatura media del fondo (entre 4 y 6m dependiendo de la estación, Figura 1; línea discontinua) registradas en el último año natural durante los muestreos *in situ* del proyecto DMMEM y BELICH en las estaciones de muestreo A, B, C y M (ver Figura 1). En la parte superior se muestra la serie desde 2016 y en la parte inferior el último año.

Tabla 2: Valores medios, mínimos (Min) y máximos (Max) de temperatura en superficie (0.5 m) y fondo (4-6m dependiendo de la estación. Figura1), medidos durante los muestreos *in situ* DMMEM por año. Std: desviación estándar.

T <sup>a</sup> (°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	14.3	3.3	10.6	19.4
	Primavera	24.1	3.4	19.8	28.6	24.1	3.4	19.7	28.6
	Verano	29.4	2.1	25.8	31.2	29.4	2.15	25.6	31.2
	Otoño*	23.4	3.2	21.1	25.6	23.4	3.1	21.2	25.6
	Anual	---	---	---	---	---	---	---	---

\* Datos preliminares sujetos a actualización cuando finalice el periodo de otoño.

Los datos indican que apenas existe estratificación térmica en la columna de agua del Mar Menor. Hasta la fecha, el único episodio de estratificación térmica registrado en el Mar Menor es el que estuvo asociado a la haloclina formada a causa de eventos climatológicos extremos (p.ej. fenómenos de Depresión Aislada en Niveles Altos, DANA; ver Apartado 4.2). Gracias a la boya piloto SMLG, se dispone de datos de temperatura a varias profundidades (Figura 3) permitiendo obtener series de alta resolución temporal en el perfil vertical de la columna de agua. Pese a que la serie temporal obtenida a partir de los datos de la SMLG aún es poco extensa, en los datos recogidos se puede apreciar un leve calentamiento de la capa más superficial (0.5 metros de profundidad) durante ciertos días (días soleados).

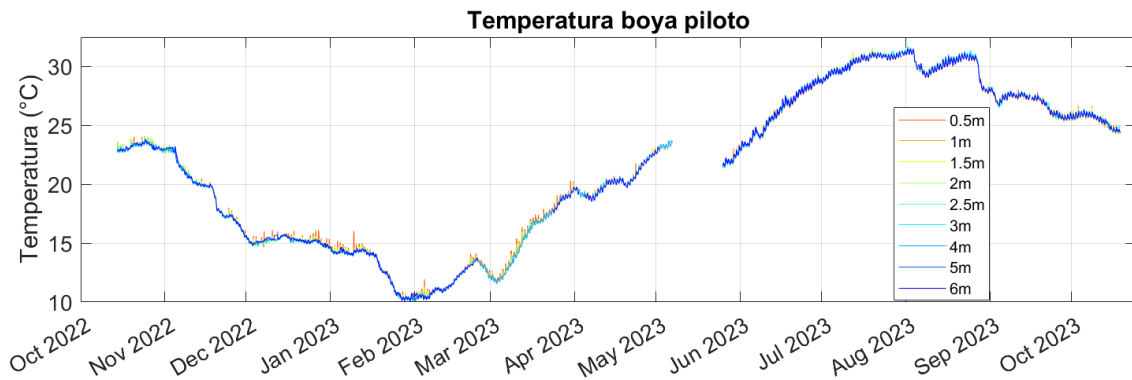


Figura 3: Serie temporal de temperatura obtenida a cada profundidad por los sensores térmicos de la boya piloto SMLG, calibrados con los datos de CTD obtenidos por el IEO-CSIC.

Como es propio de la época invernal, tanto a mitad de noviembre del 2022 como a mitad de enero de 2023, la serie de temperatura (Figura 3) muestra importantes descensos de la variable en toda la columna de agua, con una anomalía térmica de hasta  $-2.5^{\circ}\text{C}$  en apenas 2 días. El descenso térmico ocurrido durante la segunda mitad de enero de 2023, coincidió con el final de una larga ola de calor como se explicó en el informe de febrero de 2023. Entre febrero y principios de mayo, la gráfica muestra el rápido calentamiento del agua hasta valores máximos de  $24^{\circ}\text{C}$ , característicos del periodo primaveral. La ausencia de datos entre mayo y junio de 2023 es debido a la retirada de la boya piloto para su limpieza y la sustitución de sensores. Una vez reinstalada en su posición inicial, los valores de temperatura continúan siendo algo más bajos que los del periodo precedente antes de sacarla del agua, lo que indica una pequeña disminución de la temperatura en ese intervalo (el muestreo *in situ* así lo confirmó, Figura 2). Esto es debido a un periodo de inestabilidad atmosférica que dio lugar a precipitaciones y a varios temporales. A partir de este momento, la temperatura del agua del Mar Menor comienza a subir progresivamente hasta valores de  $31^{\circ}\text{C}$  en julio y agosto, lo que es consistente con los datos mostrados en el apartado anterior (Tabla 2).

Por otro lado, a partir de los datos satelitales se han obtenido los promedios por año de la temperatura superficial del Mar Menor (Figura 4). Se aprecia claramente como existe una tendencia significativa positiva en las últimas tres décadas del orden de  $2^{\circ}\text{C}$  de calentamiento en total, con una tasa de cambio de  $+0.034^{\circ}\text{C}$  por año.

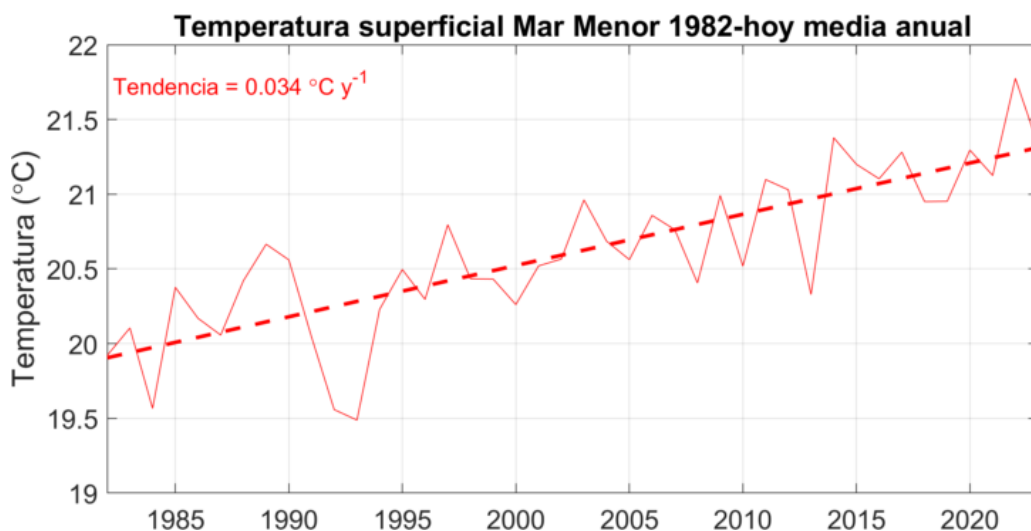


Figura 4: Serie temporal de temperatura superficial media anual desde 1982 hasta 2023 obtenida a partir de datos satelitales. La temperatura superficial mostró una tasa de cambio de  $+0.034^{\circ}\text{C}$  por año en el periodo de estudio.

## 4.2 Salinidad

La Figura 5 combina la visualización de la serie temporal de la salinidad media junto con los datos de precipitación diaria procedentes de la estación meteorológica de San Javier Aeropuerto (Agencia Estatal de Meteorología - AEMET). A los datos de precipitación se les aplicó una media móvil de una semana para ilustrar el patrón temporal de lluvia en el periodo considerado. Tras la drástica caída de la salinidad 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 3) respecto a los rangos normalmente registrados en 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 45.0 tras las lluvias torrenciales de 2017 pero, en estos años, el régimen de precipitaciones fue menos intenso. Por norma general, no se produce estratificación halina en la laguna, tan solo ha sido evidente durante eventos puntuales de lluvias torrenciales (enero 2017 y septiembre-octubre 2019).

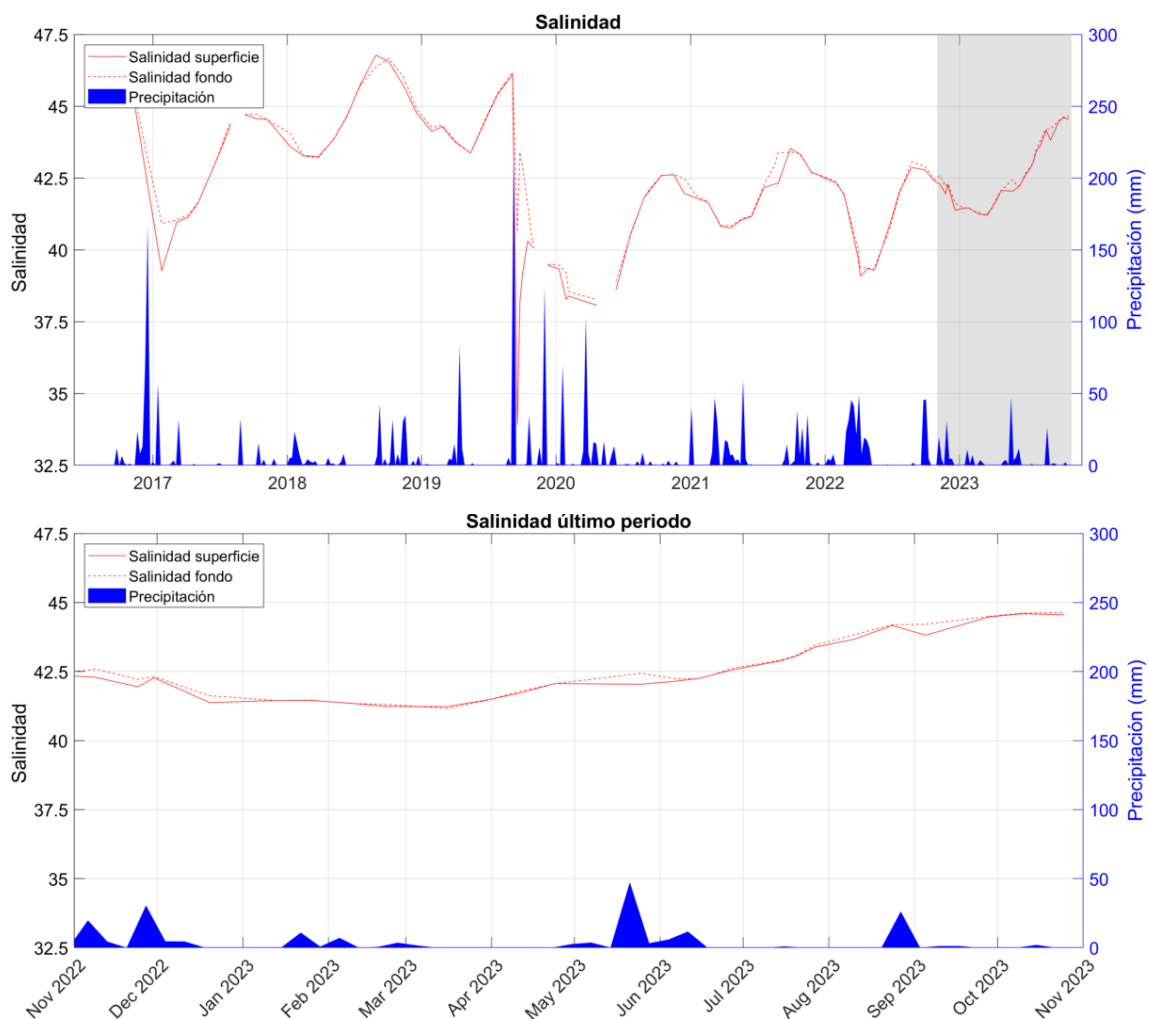


Figura 5: Datos de salinidad promedio en superficie (0.5m; rojo continuo) y fondo (entre 4 y 6m dependiendo de la estación, Figura 1; rojo discontinuo) en las estaciones de muestreo A, B, C y M de los muestreos del proyecto DMMEM y BELICH durante el último año natural. Datos de precipitación en el aeropuerto de San Javier obtenidos de la AEMET (azul). En la parte superior se muestra la serie desde 2016 y en la parte inferior el último año.

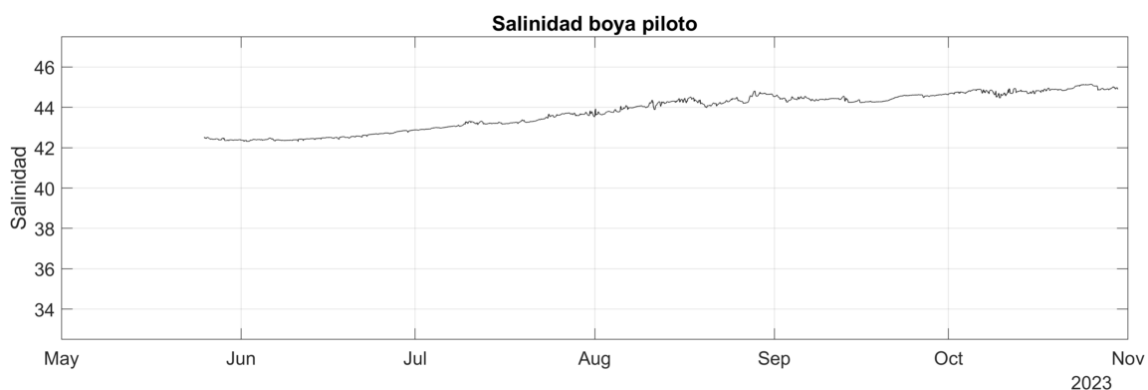


Figura 6: Datos de salinidad de la boya piloto.

Tabla 3: Valores medios, mínimos (Min) y máximos (Max) de salinidad medidos en superficie (0.5 m) y fondo (4-6m dependiendo de la estación. Figura1), durante los muestreos cada año. Std: desviación estándar.

Salinidad (-)		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	42.2	0.3	41.7	42.6	42.2	0.3	41.8	42.6
	Verano	43.6	0.6	42.9	44.5	43.7	0.6	42.9	44.5
	Otoño*	44.6	0	44.6	44.6	44.6	0	44.6	0
	Anual	---	---	---	---	---	---	---	---

\* Datos preliminares sujetos a actualización cuando finalice el periodo de otoño.

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 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 (Tabla 3), ya que desde 2021 no se han producido episodios de precipitación con intensidad suficiente para causar algún tipo de estratificación de la columna de agua. Se observa en las Figuras 5 y 6, además, una tendencia de aumento de la salinidad en lo que llevamos de otoño, propia de esta época del año. Dado que la salinidad de este año está siendo superior a los últimos años, esta subida otoñal de la salinidad ha permitido superar valores de 44, niveles que no se alcanzaban desde las DANAs de 2019.

#### 4.3 Concentración de la clorofila-*a*

Con respecto a las medidas de clorofila-*a* tomadas *in situ*, desde otoño de 2022 los valores medios de clorofila-*a* han descendido gradualmente en toda la laguna y se encuentran estables en valores promedio de 0.7-0.8 mg/m<sup>3</sup>, a excepción de la zona centro-oeste, en la que se ha detectado la masa de agua blanquecina (Estación M), donde los valores medios de clorofila-*a* son consistentemente más elevados respecto al resto de estaciones (Figura 7, Tabla 4).

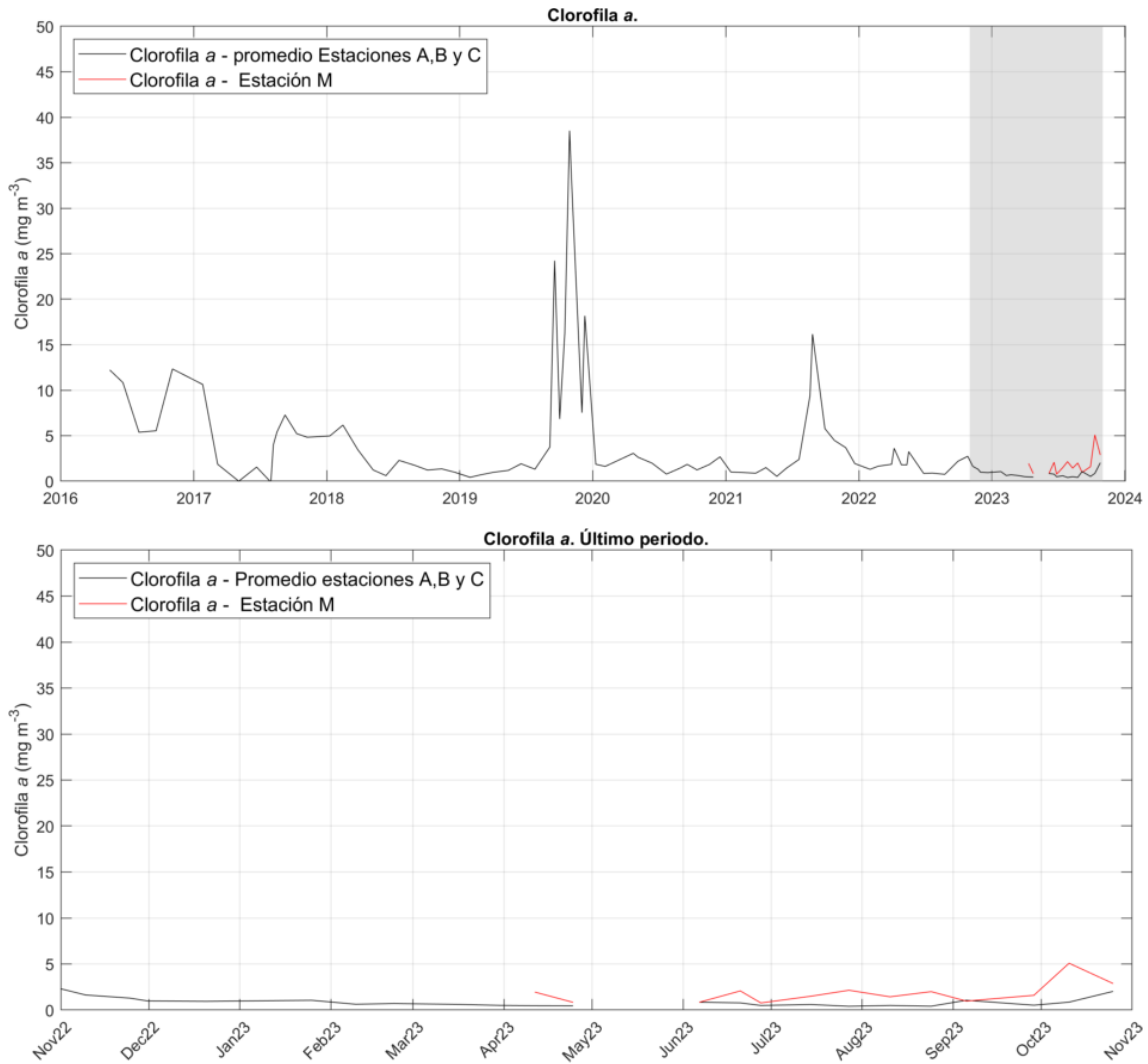


Figura 7: Datos de clorofila-*a* obtenidos en los muestreos del proyecto DMMEM y BELICH durante el último año natural en las estaciones de muestreo A, B, C y M de la laguna del Mar Menor. En la parte superior se muestra la serie desde 2016 y en la parte inferior el último año.

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

Clorofila <i>a</i> (mg/m <sup>3</sup> )		4 m profundidad			
Año	Estación	Media	Std	Min	Max
2016	Invierno	---	---	---	---
	Primavera	---	---	---	---
	Verano	5.46	0.11	5.38	5.54
	Otoño	12.33	0.00	12.33	12.33
	Anual	9.26	3.52	5.38	12.33
2017	Invierno	6.24	6.20	1.86	10.63
	Primavera	0.77	1.10	0.00	1.55
	Verano	4.15	3.13	0.00	7.27
	Otoño	5.02	0.28	4.83	5.22

	Anual	4.07	3.37	0.00	10.63
2018	Invierno	4.86	1.36	3.45	6.16
	Primavera	0.92	0.44	0.61	1.23
	Verano	2.01	0.39	1.74	2.29
	Otoño	1.18	0.19	0.98	1.35
	Anual	2.40	1.87	0.61	6.16
2019	Invierno	0.55	0.18	0.42	0.69
	Primavera	1.36	0.49	0.97	1.91
	Verano	9.77	12.59	1.31	24.24
	Otoño	20.00	13.02	6.84	38.52
	Anual	11.03	12.87	0.42	38.52
2020	Invierno	1.74	0.16	1.62	1.86
	Primavera	2.56	0.54	1.99	3.06
	Verano	1.35	0.54	0.78	1.85
	Otoño	1.91	0.72	1.24	2.67
	Anual	1.91	0.67	0.78	3.06
2021	Invierno	0.94	0.06	0.87	1.00
	Primavera	1.15	0.53	0.53	1.49
	Verano	8.43	5.89	2.39	16.16
	Otoño	3.37	1.30	1.93	4.48
	Anual	3.85	4.47	0.53	16.16
2022	Invierno	1.60	0.28	1.30	1.86
	Primavera	2.26	1.14	0.85	3.61
	Verano	1.27	0.79	0.75	2.18
	Otoño	1.52	0.74	0.94	2.73
	Anual	1.72	0.86	0.75	3.61
2023	Invierno	0.70	0.21	0.50	1.05
	Primavera	0.78	0.23	0.55	1.10
	Verano	0.80	0.10	0.73	1.03
	Otoño*	2.07	0.23	1.91	2.24
	Anual	---	---	---	---

\* Datos preliminares sujetos a actualización cuando finalice el periodo de otoño.

La boya SMLG mide la concentración de clorofila-*a* a una profundidad de tres metros (ver Figura 8). Estas medidas son de mayor resolución temporal, lo que permite reflejar eventos no registrados por el muestreo periódico *in situ* y, por tanto, estudiar con más detalle la relación entre la concentración de clorofila-*a* y otras variables ambientales.

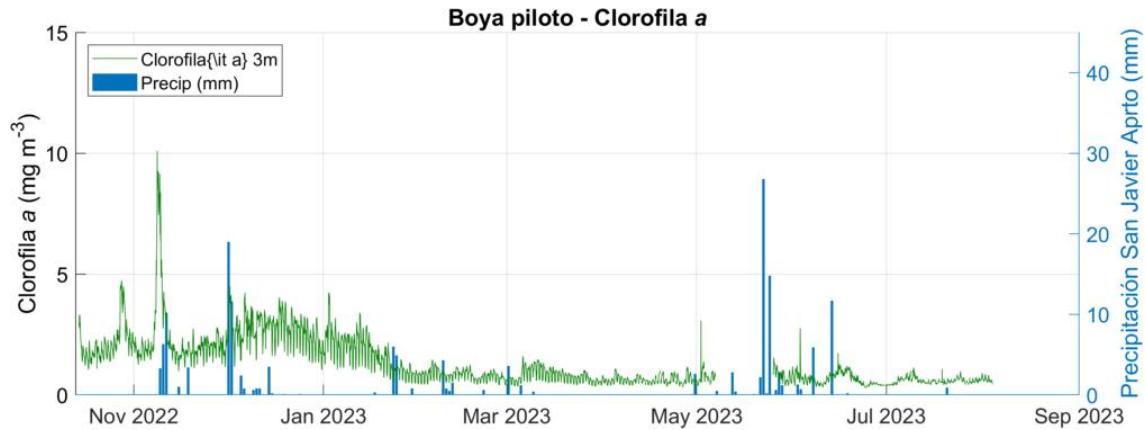


Figura 8: Serie temporal completa de clorofila-*a* de la boya SMARTLAGOON, comparada con la precipitación en el aeropuerto de San Javier obtenido a partir de los datos de la AEMET.

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 clorofila-*a* en la laguna, que coincide con un pico de turbidez (tal y como veremos en el Apartado 4.4). Durante la segunda semana de noviembre de 2022, se observó de nuevo un pico de clorofila-*a*, aunque sin relación aparente con la turbidez ni con las precipitaciones, ya que las lluvias se produjeron con cierto desfase temporal.

#### 4.3.1 Clorofila satelital

Se ha comprobado que los algoritmos globales o regionales empleados en aguas marinas no funcionan en el Mar Menor, pues se basan en las bandas espectrales que están saturadas por el efecto del fondo, al presentar la laguna muy poca profundidad. También se ha observado que las bandas normalmente empleadas en casos de aguas turbias y muy productivas tampoco han aportado información relevante, pues se basan en aguas con una mezcla de clorofila y de sustancias inorgánicas en suspensión, como los estuarios de grandes ríos, cuando estas características no se observan en el Mar Menor.

Tal y como se ha avanzado anteriormente, actualmente se está trabajando en el desarrollo de un algoritmo específico para estimar la concentración de clorofila-*a* partir de los datos del satélite. Este algoritmo resulta fundamental debido a la heterogeneidad espacial en la dinámica del crecimiento del fitoplancton y a la complejidad óptica de la laguna, que puede modificar las señales de reflectancia que recibe el satélite sin cambios en la clorofila. Con el objetivo de identificar las características espectrales más útiles para el desarrollo de un algoritmo para reproducir la concentración de clorofila-*a* en el interior de la laguna, se han analizado en conjunto los datos de los satélites y sensores del color del océano actuales (mencionados en el Apartado 3.2.3.), junto con los datos de clorofila-*a* procedentes de los muestreos *in situ* recopilados en el Mar Menor desde 2016.

Este trabajo de comparación ha permitido identificar las bandas espectrales que ofrecen información relevante para el desarrollo del algoritmo. Se trata de bandas espectrales comunes a todos los sensores y plataformas analizadas, lo que permitiría implementar técnicas de corrección de errores y valores anómalos mediante el empleo de datos coincidentes en el tiempo y en el espacio de distintos sensores. El algoritmo específico para el Mar Menor actualmente está en un estadio preliminar, pero los análisis realizados permiten inferir que será muy útil para la implementación del sistema de monitorización en tiempo casi real del

estado ambiental del Mar Menor. El lanzamiento de los satélites Sentinel-3C y Sentinel-3D previstos para 2024 y 2028 respectivamente, así como el satélite NOAA-21 ya lanzado a finales de 2022 y el NOAA-22 que se prevé lanzar en 2027, aseguran el futuro suministro de imágenes de color del océano durante las próximas décadas. Así mismo, el algoritmo permitirá la evaluación y análisis del estado ambiental del Mar Menor durante las dos décadas anteriores gracias a los datos proporcionados por el sensor MODIS a bordo de los satélites AQUA y TERRA, en fechas previas al inicio de los programas de monitorización puestos en marcha a raíz del colapso del ecosistema.

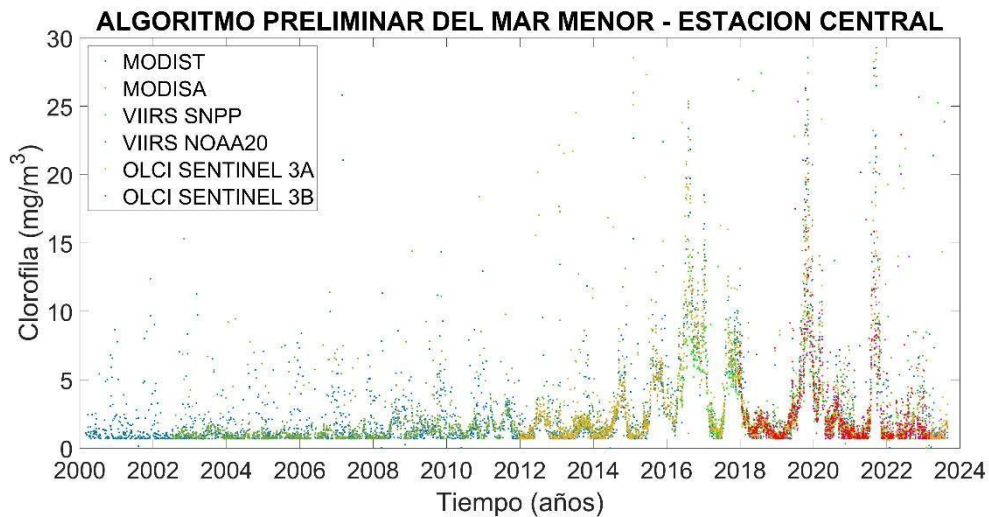


Figura 9: Evolución de la concentración de clorofila-*a* en una localidad central del Mar Menor aplicando el algoritmo preliminar desarrollado específicamente para la laguna, y para varios sensores satelitales.

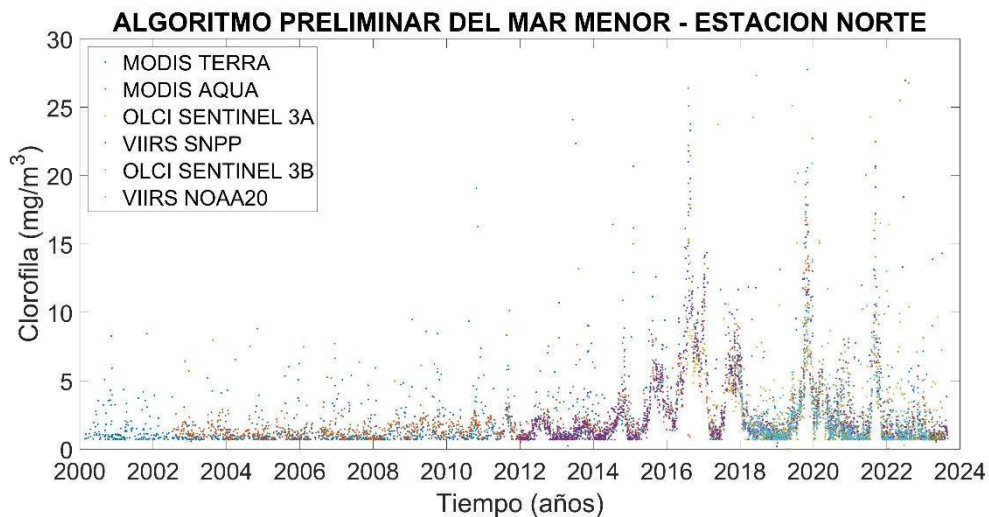


Figura 10: Evolución de la concentración de clorofila-*a* en una localización significativa de la cubeta norte del Mar Menor aplicando el algoritmo preliminar específico para la laguna para varios sensores satelitales.

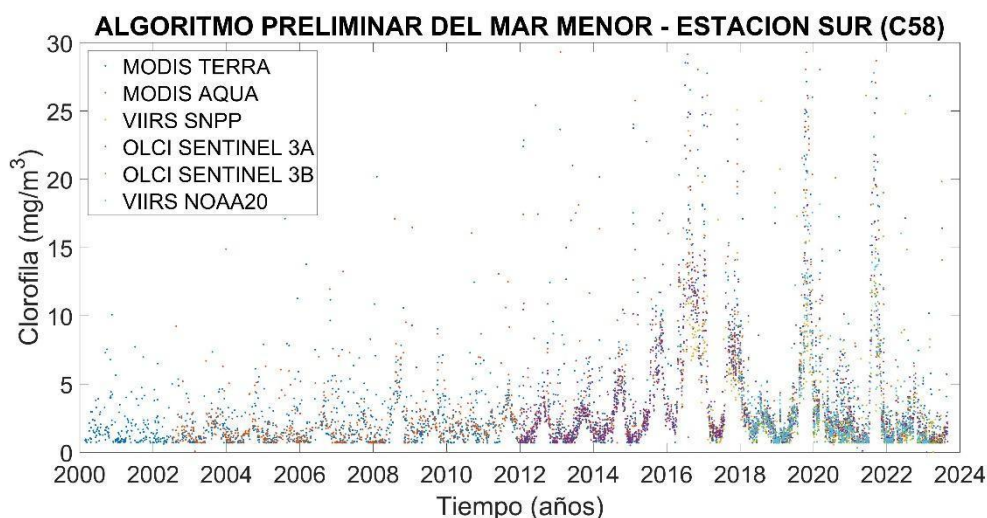


Figura 11: Evolución de la concentración de clorofila-*a* en una localización significativa de la cubeta sur del Mar Menor aplicando el algoritmo preliminar específico para la laguna para varios sensores satelitales.

Alguno de estos resultados preliminares se presenta en las figuras 9, 10 y 11). En cuanto a la serie temporal, aunque a partir de 2008 se observa un pequeño cambio en la variabilidad respecto a los años anteriores, es a mediados de 2014 cuando se puede observar que la concentración de clorofila-*a* comenzó a presentar datos anormalmente elevados en relación al registro histórico. Se puede apreciar que la duración de varios de los eventos de concentración muy elevada fue de varios meses, llegando en muchas ocasiones a bloquear durante una gran parte de estos periodos de tiempo la llegada de la luz al fondo, suponiendo una condición letal para las comunidades de fanerógamas y macroalgas marinas que habitan la laguna. Entre estos resultados preliminares, se aprecia un patrón en la estacionalidad en la concentración de clorofila-*a* de los eventos observados durante los últimos años, aumentando a finales de primavera y disminuyendo al final del año.

Respecto a la variabilidad espacial, se observan diferencias en la magnitud de los eventos de alta productividad entre las cubetas norte y sur del Mar Menor, observándose valores relativamente mayores en la cubeta sur.

#### 4.4 Turbidez

A partir de los datos registrados en los muestreos *in situ*, la transparencia de la columna de agua ( $K_d$ , coeficiente de extinción de la luz; Tabla 5 y Figura 12) muestra una dinámica general similar a la clorofila-*a*, pero mucho más variable en determinados momentos. Es decir, se observa un descenso gradual de los valores medios de extinción de luz en toda la laguna.

En 2023, los valores medios de  $K_d$  se reducen casi a la mitad durante los meses de invierno ( $0.2 \text{ m}^{-1}$ ) y aumenta hacia valores medios de  $0.4$  en primavera y verano (Tabla 5; Figura 12). 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 haber afectado de forma intensa a la calidad del agua. La turbidez disminuyó ligeramente debido a las lluvias mencionadas, incluyendo las que ocurrieron a principios de septiembre. Sin embargo, desde abril se ha observado un aumento continuo en los niveles de turbidez en la laguna, llegando a alcanzar valores superiores a  $0.5 \text{ m}^{-1}$  en las últimas mediciones.

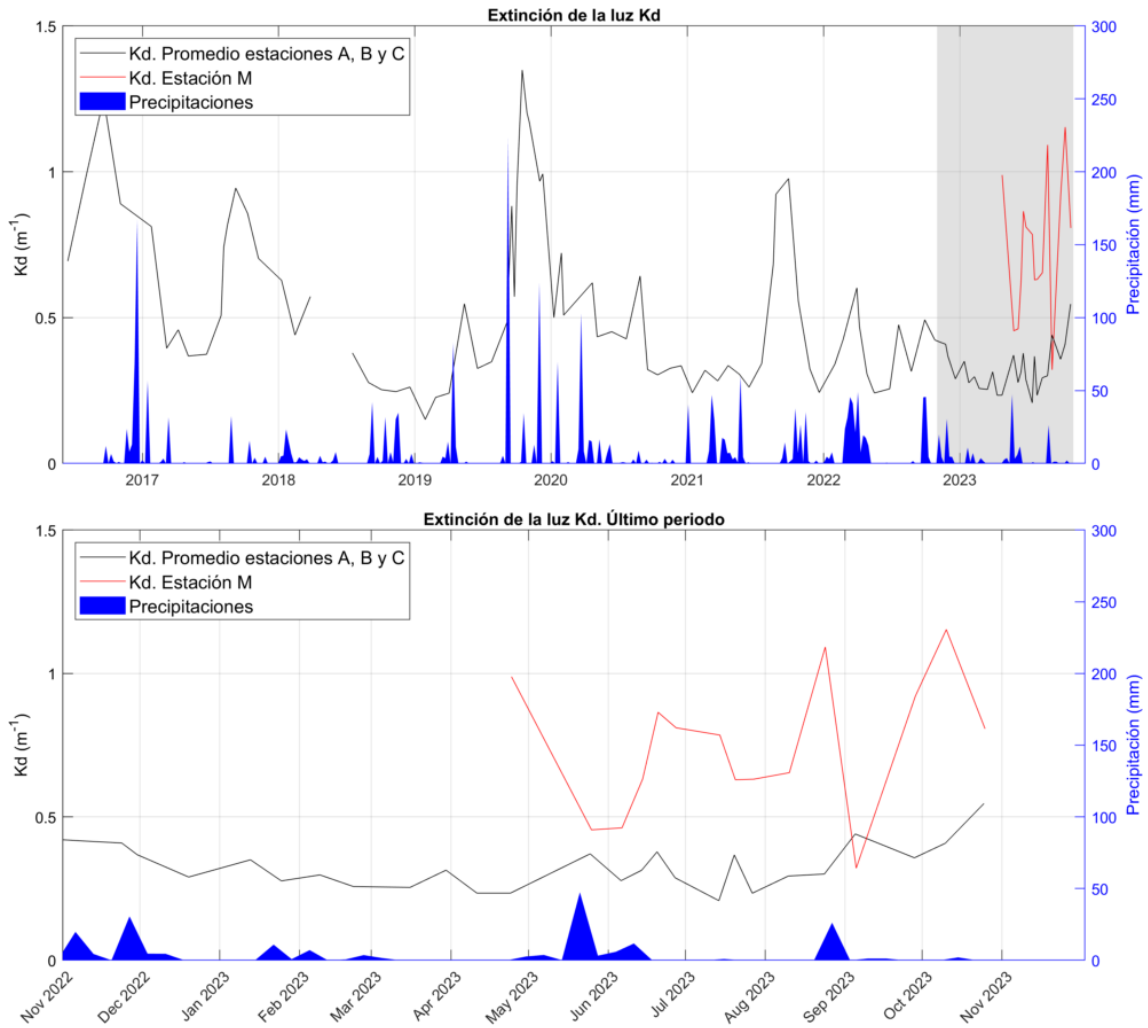


Figura 12: Coeficiente de extinción de la luz a partir de los datos obtenidos en los muestreos del proyecto DMMEM y BELICH en las estaciones de muestreo A, B, C y M, comparado con la precipitación en el aeropuerto de San Javier obtenido a partir de los datos de la AEMET. En la parte superior se muestra la serie desde 2016 y en la parte inferior el último año.

Tabla 5: Valores mínimos y máximos de extinción de la luz medidos durante los muestreos *in situ* de cada año.

Extinción de luz $K_d$ ( $m^{-1}$ )		4 m profundidad			
Año	Estación	Media	Std	Min	Max
2016	Invierno	---	---	---	---
	Primavera	---	---	---	---
	Verano	1.12	0.19	0.98	1.25
	Otoño	0.89	0.00	0.89	0.89
	Anual	0.95	0.23	0.69	1.25
2017	Invierno	0.60	0.30	0.39	0.81
	Primavera	0.40	0.05	0.37	0.46
	Verano	0.75	0.18	0.51	0.94
	Otoño	0.78	0.11	0.70	0.86
	Anual	0.63	0.22	0.37	0.94
2018	Invierno	0.55	0.10	0.44	0.63

	Primavera				
	Verano	0.33	0.07	0.28	0.38
	Otoño	0.25	0.01	0.25	0.26
	Anual	0.38	0.15	0.25	0.63
2019	Invierno	0.19	0.05	0.15	0.23
	Primavera	0.37	0.16	0.24	0.55
	Verano	0.59	0.20	0.35	0.88
	Otoño	1.10	0.16	0.95	1.35
	Anual	0.69	0.39	0.15	1.35
2020	Invierno	0.58	0.13	0.50	0.72
	Primavera	0.50	0.10	0.43	0.62
	Verano	0.46	0.16	0.32	0.64
	Otoño	0.32	0.02	0.30	0.33
	Anual	0.47	0.14	0.30	0.72
2021	Invierno	0.28	0.04	0.24	0.32
	Primavera	0.30	0.04	0.26	0.34
	Verano	0.73	0.29	0.34	0.98
	Otoño	0.37	0.16	0.24	0.56
	Anual	0.45	0.26	0.24	0.98
2022	Invierno	0.46	0.13	0.34	0.60
	Primavera	0.31	0.09	0.24	0.47
	Verano	0.43	0.10	0.32	0.49
	Otoño	0.38	0.06	0.29	0.44
	Anual	0.38	0.10	0.24	0.60
2023	Invierno	0.29	0.04	0.25	0.35
	Primavera	0.38	0.08	0.23	0.50
	Verano	0.42	0.07	0.33	0.50
	Otoño*	0.60	0.01	0.60	0.61
	Anual	---	---	---	---

\* Datos preliminares sujetos a actualización cuando finalice el periodo de otoño.

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<sub>0</sub>), macroalgas y angiospermas marinas. Como se aprecia en la Figura 13, 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. Esta turbidez tan extrema solo fue suavizada durante un evento de fuertes lluvias en mayo y septiembre, pero la masa de agua blanquecina recuperó su extensión, forma y color previos inmediatamente después de dichos eventos, volviendo así a 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. Durante el mes de octubre, se ha observado una disminución en la luz PAR disponible en el resto de la laguna, alcanzando



valores críticos en el último muestreo. Esta bajada se ha observado también en otoño de años anteriores, por lo que es esperable que invierta esta tendencia en los próximos meses.

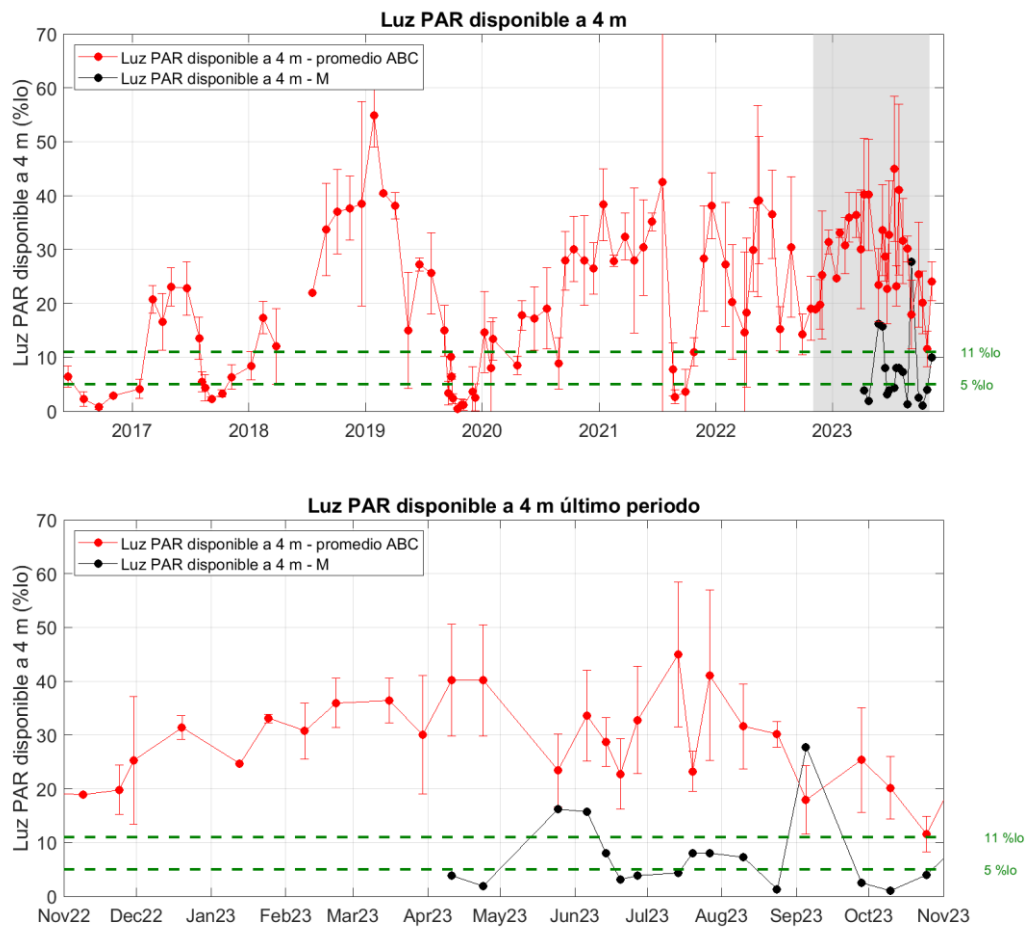


Figura 13: Evolución del porcentaje de radiación PAR que atraviesa la superficie del agua y que alcanza la profundidad de 4 metros. La línea negra muestra la media de la luz PAR que alcanza los 4 m en los puntos de muestreos A, B y C. La línea continua verde representa la luz PAR disponible a 4 m en la estación M. Las líneas verdes discontinuas representan los niveles de 11% y 5%, críticos para el crecimiento fotosintético de la vegetación bentónica. En la parte superior se muestra la serie desde 2016 y en la parte inferior el último año.

La Figura 14 muestra la serie de extinción de la luz ( $K_d$ ) obtenida de los sensores de luz PAR fijos, comparada con la serie obtenida durante los muestreos periódicos. Se observa que todos los eventos significativos quedaron registrados a partir del muestreo *in situ*, a excepción de un periodo de aguas muy claras en septiembre de 2022. En general, se puede considerar que la serie temporal de esta variable obtenida a partir de los muestreos periódicos (cada 15-30 días) es bastante consistente con la situación descrita por la serie temporal de mayor resolución obtenida a partir de los sensores PAR instalados de forma permanente, aunque, por la mayor resolución de estos últimos, la variabilidad queda registrada de una manera mucho más realista. De hecho, en la serie temporal de los sensores instalados de manera permanente, 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.

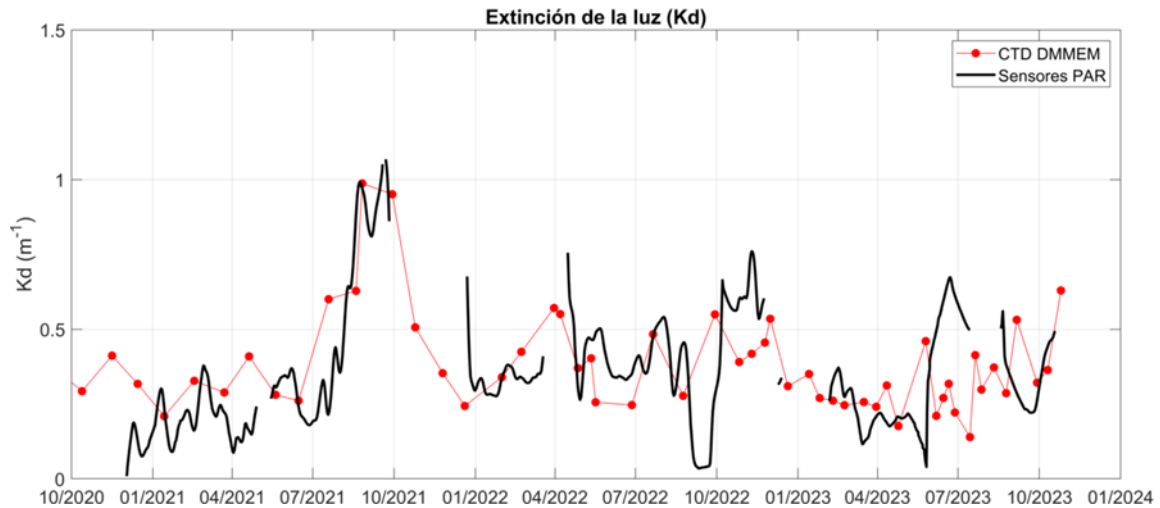


Figura 14: Comparación de la serie temporal de extinción de la luz (Kd) obtenida durante los muestreos periódicos en comparación con los datos obtenidos a partir de los sensores PAR instalados en dos puntos en la laguna del Mar Menor.

#### 4.5 Oxígeno

En ausencia de eventos extremos (p.e. DANA 2019), los valores medios de oxígeno registrados durante los muestreos *in situ* en invierno de 2023 han alcanzado valores máximos, 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 (Tabla 6; Figura 15). 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 grandes diferencias 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. 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.

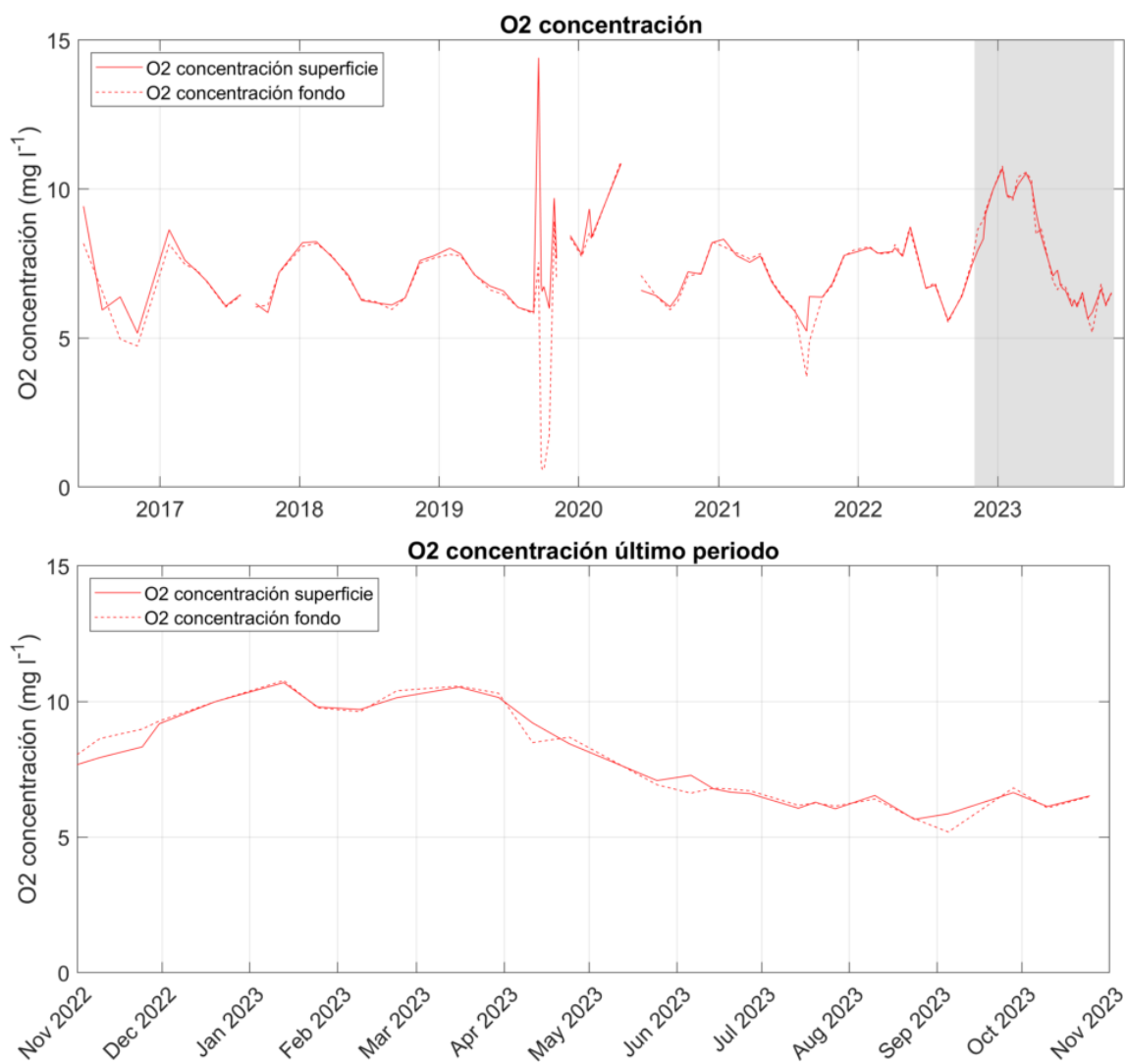


Figura 15: Series temporales promedio de oxígeno disuelto para las capas superficiales (0.5 m; línea continua) y de fondo (entre 4 y 6m dependiendo de la estación, Figura 1; línea discontinua) de los muestreos del proyecto DMMEM y BELICH para las estaciones de muestreo A, B, C y M de la laguna del Mar Menor.

Tabla 6: Valores medios, mínimos (Min) y máximos (Max) de oxígeno disuelto medidos en superficie (0.5 m) y fondo (4-6m dependiendo de la estación. Figura1), 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
	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	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
2023	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	6.2	0.4	5.6	6.6	6.1	0.5	5.2	6.8
	Otoño*	6.3	0.3	6.1	6.5	6.3	0.3	6.1	6.5
	Anual	---	---	---	---	---	---	---	---

\* Datos preliminares sujetos a actualización cuando finalice el periodo de otoño.

#### 4.6 pH

Los valores promedio del pH del Mar Menor se muestran en la Figura 16 y en la Tabla 7. Los valores muestran una tendencia general positiva del pH de +0.08 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 hasta otoño 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, Tabla 7).

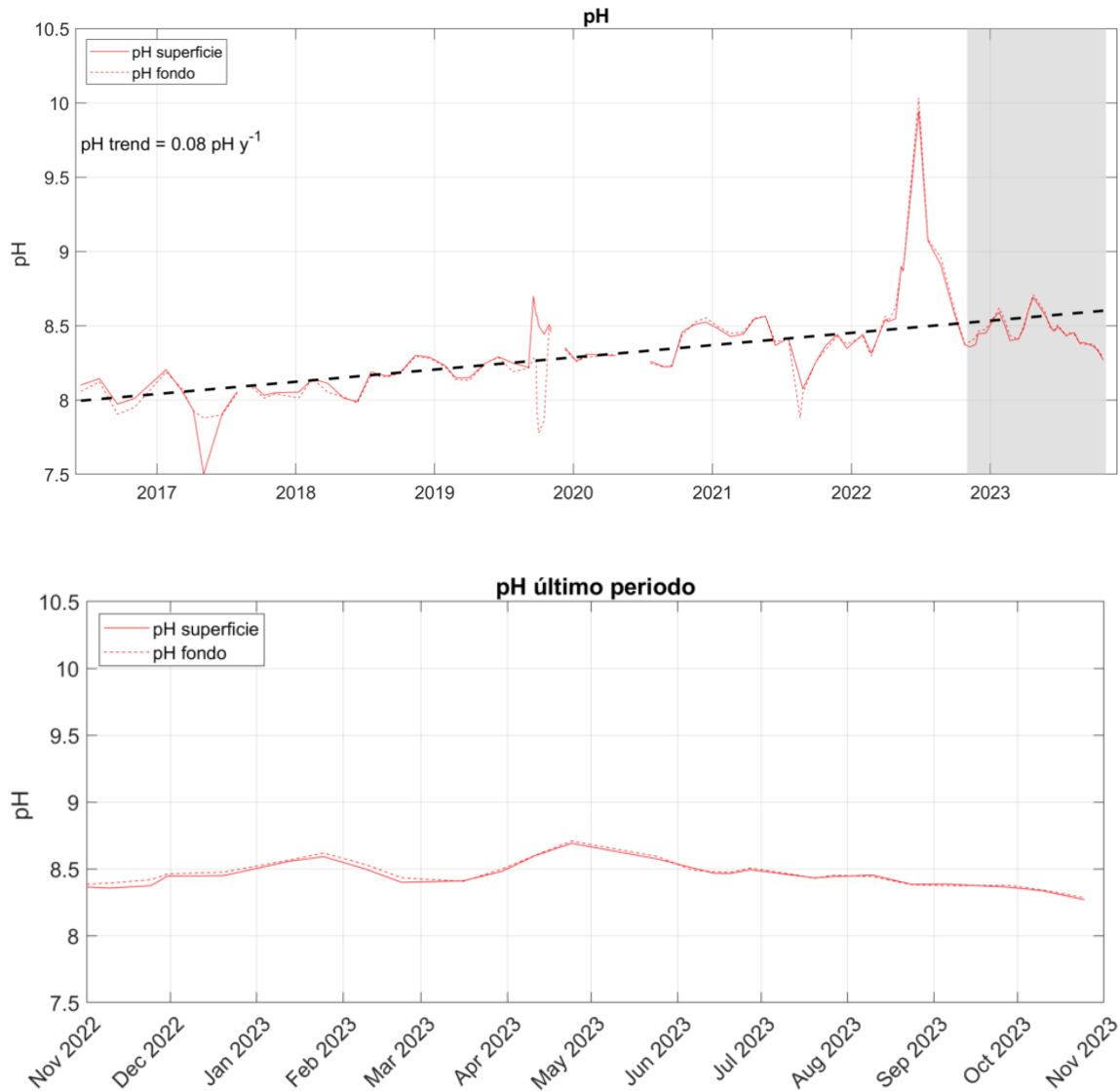


Figura 16: Valores de pH superficial (0.5m; línea continua) y pH del fondo (entre 4 y 6m dependiendo de la estación, Figura 1; línea discontinua) de los muestreos del proyecto DMMEM y BELICH en las estaciones de muestreo A, B, C y M de la laguna del Mar Menor durante el último año natural.

Tabla 7: Valores medios, mínimos (Min) y máximos (Max) de pH medidos en superficie (0.5 m) y fondo (4-6m dependiendo de la estación. Figura1), 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
	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	8.5	0.1	8.5	8.7	8.6	0.1	8.5	8.7
	Verano	8.3	0.0	8.4	8.5	8.4	0.0	8.4	8.5
	Otoño*	8.3	0.0	8.3	8.3	8.3	0.0	8.3	8.3
	Anual	---	---	---	---	---	---	---	---

\* Datos preliminares sujetos a actualización cuando finalice el periodo de otoño.

#### 4.7 Nutrientes totales

La comparación de las concentraciones de nitrógeno total (NT) con los escasos datos publicados para aguas costeras mediterráneas, indica que en promedio las concentraciones en Mar Menor son similares a las reportadas para esas otras áreas; sin embargo, los valores extremos obtenidos en la laguna entre julio de 2020 y junio de 2021 son muy elevados (Figura 17). En este periodo destaca la gran variabilidad tanto temporal como espacial (esto es, entre

estaciones de muestreo). Por el contrario, desde finales de 2022 hasta el último periodo mensual analizado, la concentración de NT se ha mantenido muy estable y similar en las tres estaciones de muestreo (A, B y C). En la estación M no se han obtenido diferencias significativas respecto a la de la estación B (la más próxima). Esta tendencia a la estabilización en los últimos meses coincide con la de la clorofila-*a*.

El patrón de variación temporal de fósforo total (PT) es algo diferente ya que, por un lado la variabilidad es menor (salvo por un pico producido a principios de 2021) y por otro hay una tendencia creciente desde mediados de 2021 en las tres estaciones de muestreo. Es de destacar que en general la razón molar entre el NT y el PT es muy alta, especialmente en el periodo de 2019-2021 (alrededor de 280). Posteriormente la ratio baja significativamente, aunque sigue siendo elevada (alrededor de 200). Estas razones molares se alejan de la que se considera óptima para el crecimiento del plancton (la denominada razón de Redfield 16:1), lo que en general indica que existe un exceso de N en el sistema (Figura 17).

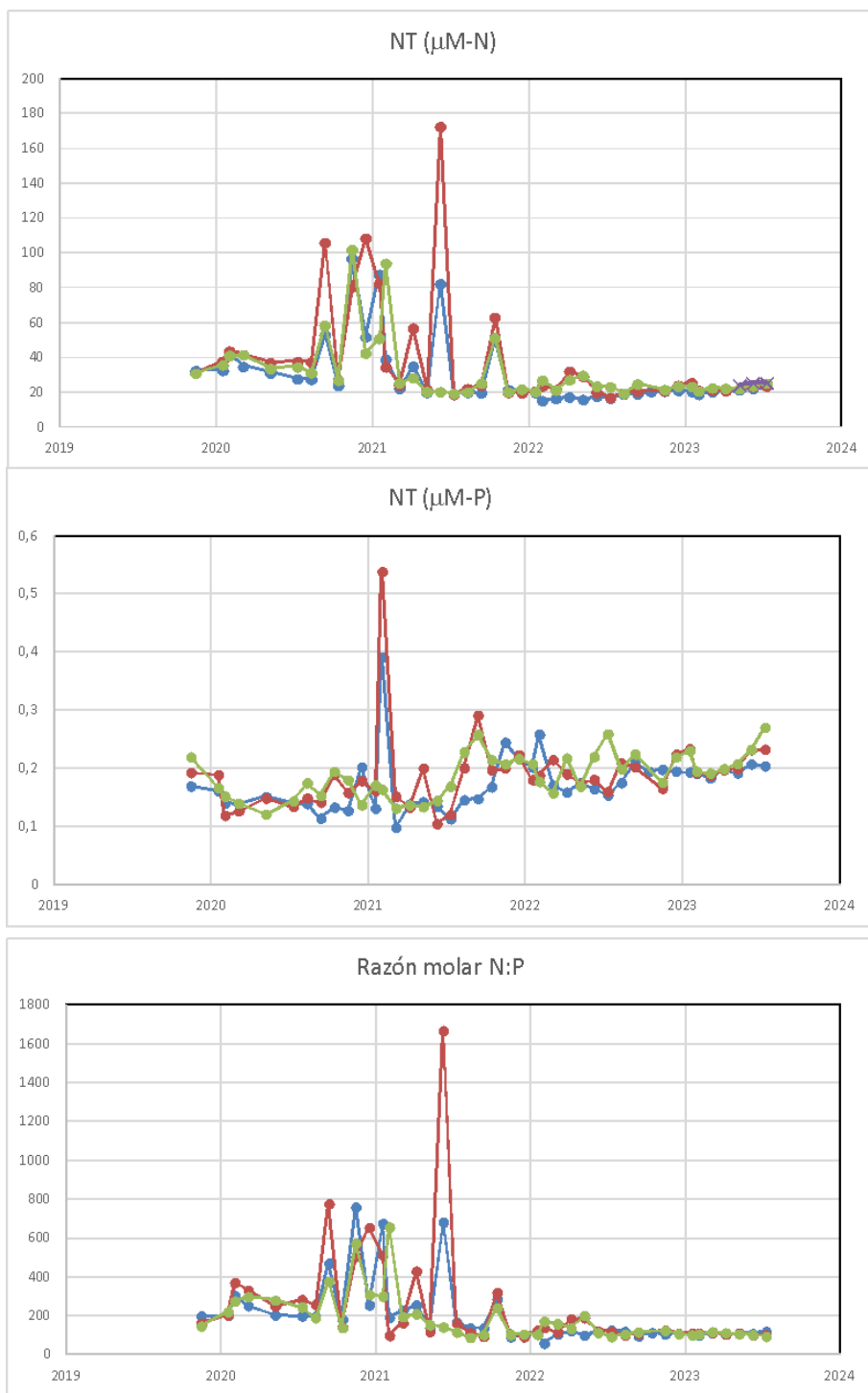


Figura 17: Variabilidad temporal de las concentraciones de nitrógeno (NT,  $\mu\text{M}$ ) y fósforo (PT,  $\mu\text{M}$ ) total en las tres estaciones de muestreo (azul: estación A; naranja: estación B; verde: estación C). Se muestra también la evolución temporal de la razón molar nitrógeno:fósforo (N:P) calculada a partir de los datos de NT y PT.

#### 4.8 Comunidades de zooplancton

Los datos analizados hasta ahora (Figura 18) muestran que la mayor parte de la biomasa del mesozooplancton se concentra en organismos entre 200 y 500 micras de talla, seguida de la fracción entre 500 y 1000 micras. Los organismos mayores de 1000 micras (1 mm) son



minoritarios en las pescas de arrastre en comparación con las otras fracciones de talla. Tanto en la biomasa total como en el zooplancton entre 200 y 1000 micras, observamos una gran variabilidad temporal (Figura 18). Esta variabilidad no sigue el ciclo estacional esperable sino que las comunidades de zooplancton presentan picos en función de los incrementos de sus presas principales (microzooplancton y microfitoplancton, menores a 200 micras). El hecho de que las distintas fracciones del zooplancton respondan a variaciones en la abundancia y composición del microplancton sugiere que cambios en las condiciones físico-químicas de la laguna, que afectan a las comunidades de fitoplancton, también afectan indirectamente a las comunidades de mesozooplancton. En consecuencia, los cambios en la columna de agua se transferirán a través de la red trófica, desde la comunidad microplanctónica hasta los niveles superiores que se alimentan de mesozooplancton (macroplancton y peces) (Mercado *et al.*, 2023; Yebra *et al.*, 2023).

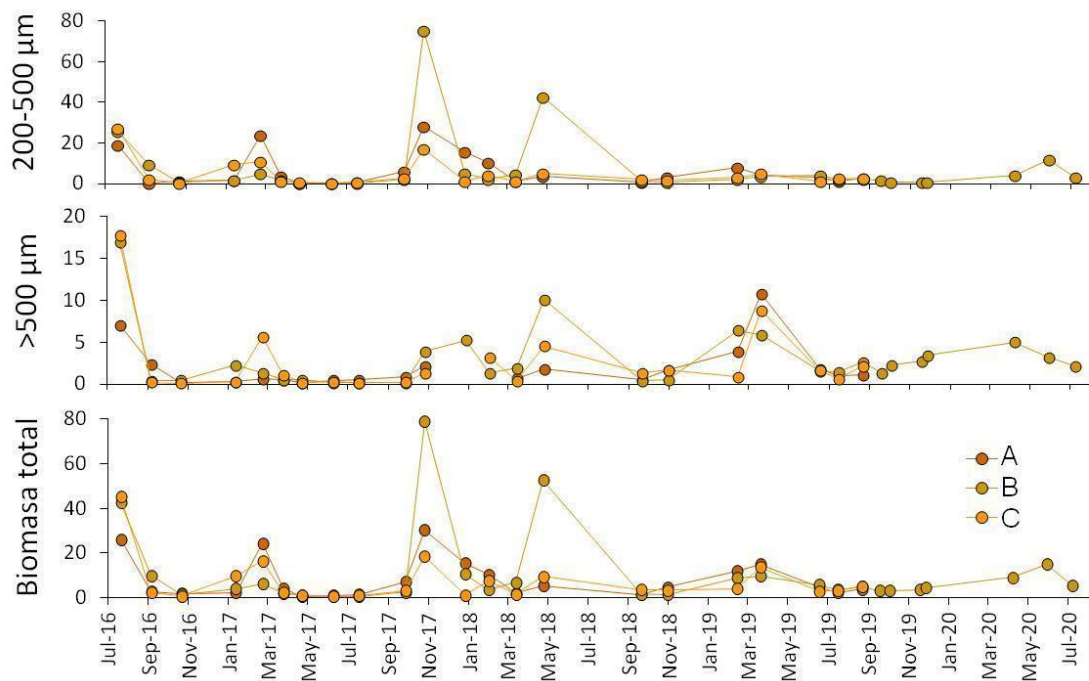


Figura 18: Variabilidad temporal de los valores de biomasa de mesozooplancton ( $\text{mg peso seco}\cdot\text{m}^{-3}$ ) en las estaciones de muestreo A, B y C.

#### 4.9 Estudio del fenómeno de blanqueamiento o “whiting event”

Hasta la fecha no ha sido posible recabar todos los datos necesarios para determinar la composición de la masa de agua en la que se ubica el denominado fenómeno de “whiting event”, así como la causa de su repentina aparición. Esto se debe principalmente a la complejidad de los análisis y el tiempo necesario para su realización. Se sintetiza a continuación lo que conocemos hasta ahora en base a los resultados preliminares que vamos obteniendo:

### ¿Cuándo se origina este fenómeno?

En primer lugar, los resultados obtenidos a través del análisis visual de imágenes de satélite (cerca de 300 imágenes del periodo 2015-2023) indican claramente que se trata de un fenómeno nuevo en la laguna, que se inicia en su forma actual a partir de junio de 2022. En la Figura 19 se aprecia claramente su aparición, así como su diferenciación del resto de eventos de aguas turbias/coloreadas característicos de la laguna antes de 2022.

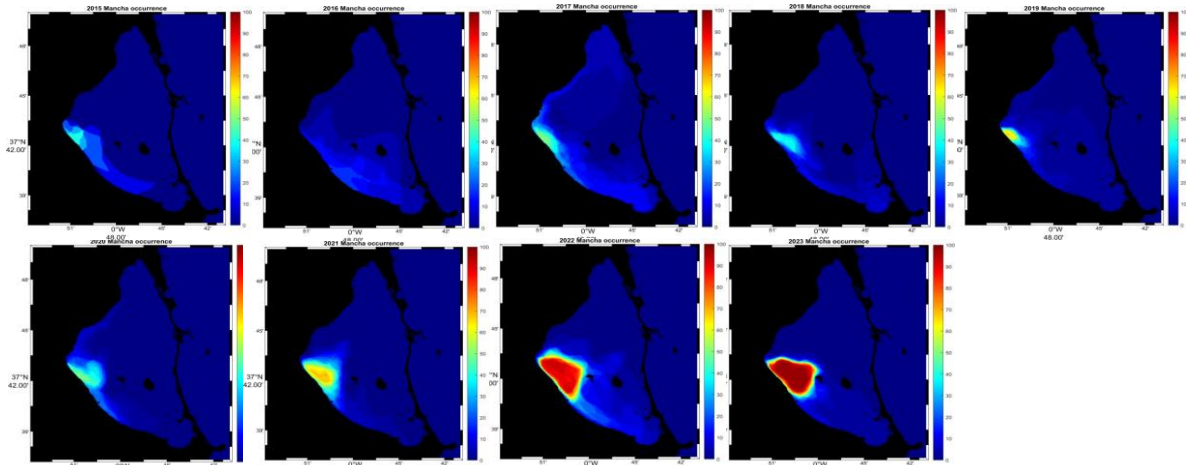


Figura 19: Resultados del análisis visual de manchas de turbidez en la laguna a partir de imágenes de satélite. Los resultados han sido integrados para cada año (desde 2015) y se ha rasterizado para calcular la probabilidad de cada punto de estar en estado “turbio”/“no turbio”. El resultado son los mapas de calor mostrados en esta figura de acuerdo con una escala de probabilidad de un evento turbio entre 0% y 100%.

De este análisis se muestra que la mayoría los eventos de turbidez que tienen lugar en la laguna a lo largo de cada año se producen en la ribera oeste del Mar Menor y con mayor intensidad en la zona de influencia de la desembocadura de la rambla del Albujón. De hecho, en los años anteriores al 2022 se aprecia una estructura hidrográfica que podríamos asociar a la pluma del caudal que sale por dicha rambla. Los análisis de las mismas imágenes realizados en base a la composición espectral (datos no mostrados en este informe), respaldan este resultado. Sin embargo, la extensión y estabilidad de la llamada “mancha blanca” contrasta con la menor entidad de dicha pluma y su elevada variabilidad temporal. Por tanto, y teniendo en cuenta que no se han producido cambios simultáneos en el caudal de la rambla en este periodo, sugerimos que el “whiting event” es probablemente la expresión visible de un proceso hidrográfico que opera en esta zona de la laguna, pero de mayor envergadura que la pluma asociada al caudal de la rambla del Albujón. Una posible explicación podría estar relacionada con los flujos difusivos del acuífero en esta parte de la costa del Mar Menor, aunque falta todavía la evidencia científica que apoye esta idea. Se espera que los resultados de los análisis en marcha aporten luz sobre esta hipótesis.

### ¿Cuáles son sus características hidrográficas y su composición?

Respecto a la composición de la masa de agua blanquecina, los muestreos realizados en el contexto del programa de monitorización de la laguna (Apartados 3.2.1 y 3.2.4 de este informe) indican que no hay diferencias entre dicha masa de agua (estación M) y el resto de la laguna (estaciones A, B y C) en las siguientes variables hidrográficas: temperatura, salinidad, oxígeno y pH. Pero sí se observan diferencias significativas y consistentes en turbidez y clorofila-*a*. El aspecto blanquecino significa que esta masa de agua refleja todas las longitudes

de onda del espectro visible (como se comprueba en el análisis espectral de imágenes de satélite), lo que se traduce en una extinción casi total de la luz en la columna de agua, de acuerdo con los valores del coeficiente de extinción de la luz  $K_d$  (Figura 12). Esto se traduce en que la cantidad de luz que llega al fondo es muy pequeña en relación a la que alcanza el fondo en el resto de la laguna, a la misma profundidad (Figura 13). A esta reducción de la luz también puede contribuir el fitoplancton, cuya abundancia, tanto en base a la concentración de clorofila *a* (Figura 7) como en base a análisis de la comunidad fitoplanctónica (ver informe de abril de 2023), llega a ser hasta 5 veces mayor que en el resto de la laguna (Figura 7).

Como ya se comentó en informes anteriores, estos fenómenos suelen asociarse a la precipitación de carbonato cálcico ( $\text{CaCO}_3$ ) y/u otros materiales particulados en suspensión. Por un lado, el análisis de muestras de la comunidad plantónica (ver datos en el informe de abril de 2023), indica una elevada cantidad de agregados orgánicos formados por una sustancia de apariencia mucilaginoso a la que se adhieren células de fitoplancton y bacterias. Por otro lado, análisis mineralógicos del material en suspensión indican la presencia de importantes cantidades de microcristales de calcita. Estas evidencias son totalmente consistentes con la descripción de fenómenos similares descrito en otras partes del mundo como “*whiting events*” (Long *et al.*, 2017; Shanableh *et al.*, 2021; Swart *et al.*, 2014; Thompson, 2000) y explican el aspecto blanquecino y la reducción de la luz.

#### *¿Qué origina la formación de calcita y otros materiales particulados?*

De acuerdo con los casos estudiados en la literatura científica, los factores causantes de este tipo de precipitados son variados y complejos. La escasa evidencia disponible hasta la fecha no nos permite desvelar todavía cuales de esos factores está realmente implicado en el caso del Mar Menor, pero sí podemos discutir sobre diferentes posibilidades. Por ejemplo, cambios en la temperatura del agua, la disponibilidad de luz, los niveles de nutrientes y la actividad microbiana son inductores potenciales de estos fenómenos (Babencien *et al.*, 2018). Los desarrollos fitoplanctónicos (“*blooms*”) pueden también inducirlo, al alterar el equilibrio químico e inducir la precipitación del carbonato vía fotosíntesis y respiración (Wetzel, 2001). En este contexto, el picoplancton desempeña un papel central (Long *et al.*, 2017; Thompson *et al.*, 1990). Los datos hasta ahora disponibles indican precisamente una mayor abundancia de picoplancton en las muestras procedentes de la masa de agua blanquecina (estación M; ver informe abril 2023), y mayor abundancia de fitoplancton en general que en el resto de la laguna. Pero, la información disponible sobre las características de la comunidad fitoplanctónica (ver informe de abril de 2023), no apoyan la hipótesis de que ésta sea la causa del fenómeno, sino que más bien parece su consecuencia.

El fitoplancton, y quizás también las bacterias (pendiente de resultados), podrían ser los responsables de los agregados de materia orgánica observados en las muestras procedentes de la masa de agua blanquecina, pero no tanto de la formación de calcita. De hecho, los escasos datos disponibles aportan evidencia de la posible intervención de mecanismos no mediados por fitoplancton, consistente básicamente en:

- Concentraciones de Carbono Inorgánico Disuelto (DIC = *Dissolved Inorganic Carbon*) de las aguas subterráneas que vierten en la laguna son 2 y 3 veces superiores a las determinadas en las aguas marinas lagunares y Mediterráneas (datos no mostrados en este informe). Igualmente, se han detectado concentraciones de iones de Calcio superiores en aportes de aguas subterráneas (datos no mostrados en este informe).

- Tendencia creciente y casi lineal del pH en la laguna desde 2016, detectada por el sistema de monitorización iniciado por el IEO ese mismo año y ahora continuado dentro del proyecto BELICH (Apartado 4.6, Figura 16).

La precipitación de los carbonatos se produce porque el equilibrio entre las formas del carbono que regulan el pH se desplaza hacia el lado del carbonato para compensar la alcalinización del agua. El hecho de que dicha precipitación se produzca de forma visible solo en la zona de la estación M podría estar relacionado con las elevadas concentraciones de DIC y Ca de las aguas subterráneas vertidas en la ribera oeste de la laguna. No hay nada que indique que la composición química de las aguas subterráneas que vierten al Mar Menor haya cambiado, pero el pH sí ha ido aumentando y, de acuerdo con el modelo lineal ajustado (Figura 16) alcanza el valor de 8.5 a mitad de 2022, coincidiendo con la aparición de la mancha. Casualmente en este momento también se produce un fuerte desequilibrio del pH que conduce a un episodio temporal de alcalinidad extrema. De esta forma, la combinación de estos dos factores podría explicar el mecanismo de formación del fenómeno de blanqueamiento, pero la evidencia disponible es todavía incompleta. Sería incluso necesario cierto trabajo experimental complementario que permitiera entender las relaciones entre el incremento del pH, las concentraciones de carbonatos y los umbrales a partir de los cuales se produce su cristalización.

#### *Un importante reto para la ciencia*

Sin embargo, alcanzando a comprender dichos mecanismos y relaciones, aún queda una cuestión mucho más relevante por responder, y es ¿Por qué está aumentando el pH del Mar Menor? El pH de un ecosistema acuático se encuentra regulado por el equilibrio del carbono. Estos son mecanismos tamponadores capaces de restablecer de forma férrea e inmediata cualquier desequilibrio del carbono causado, por ejemplo, por un incremento del CO<sub>2</sub> o vertidos de aguas excesivamente alcalinas o con muy elevadas concentraciones de compuestos carbonatados. Un incremento de 0.5 puntos de pH como el registrado en el Mar Menor significa que dicho mecanismo ha experimentado un importante desequilibrio y probablemente refleja un importante cambio en el funcionamiento del ecosistema lagunar, respecto al que mantenía antes de su colapso en 2016. Este es un problema nada trivial al que la ciencia tiene que intentar dar respuesta en los próximos años si queremos comprender cuál es el estado del ecosistema lagunar, posibles escenarios futuros y proporcionar las medidas necesarias para su recuperación.

#### *Consecuencias sobre el ecosistema lagunar*

Otra cuestión de especial relevancia y preocupación es ¿Cuáles son las consecuencias de este fenómeno de blanqueamiento del agua para el ecosistema lagunar? A nivel planctónico ya hemos podido constatar importantes diferencias en la abundancia y composición de la comunidad biológica (ver informe de abril 2023). Desconocemos qué consecuencias puede tener este cambio sobre, por ejemplo, los ciclos biogeoquímicos que regulan los nutrientes o el carbono, así como sus consecuencias en las cadenas tróficas marinas. A nivel bentónico, en agosto de este año realizamos un total de 28 inmersiones (Figura 20) con equipos de buceo autónomo para comprobar el estado de las comunidades bentónicas, dominadas por las praderas de *Caulerpa prolifera* en los años posteriores a la desaparición de la vegetación bentónica en 2016. En la Figura 20 se pueden observar los resultados de dichas inmersiones. Fuera de los límites del agua blanquecina está presente una pradera continua y muy densa de *C. prolifera*, pero inmediatamente dentro de los límites de dicha masa de agua la vegetación

desaparece por completo. Solo en algunos sitios próximos a los límites se pueden observar los macrófitos, aunque con coberturas muy bajas (20-30%) y con frondes que mostraban claros síntomas de un fuerte estrés por limitación de luz (Figura 21).

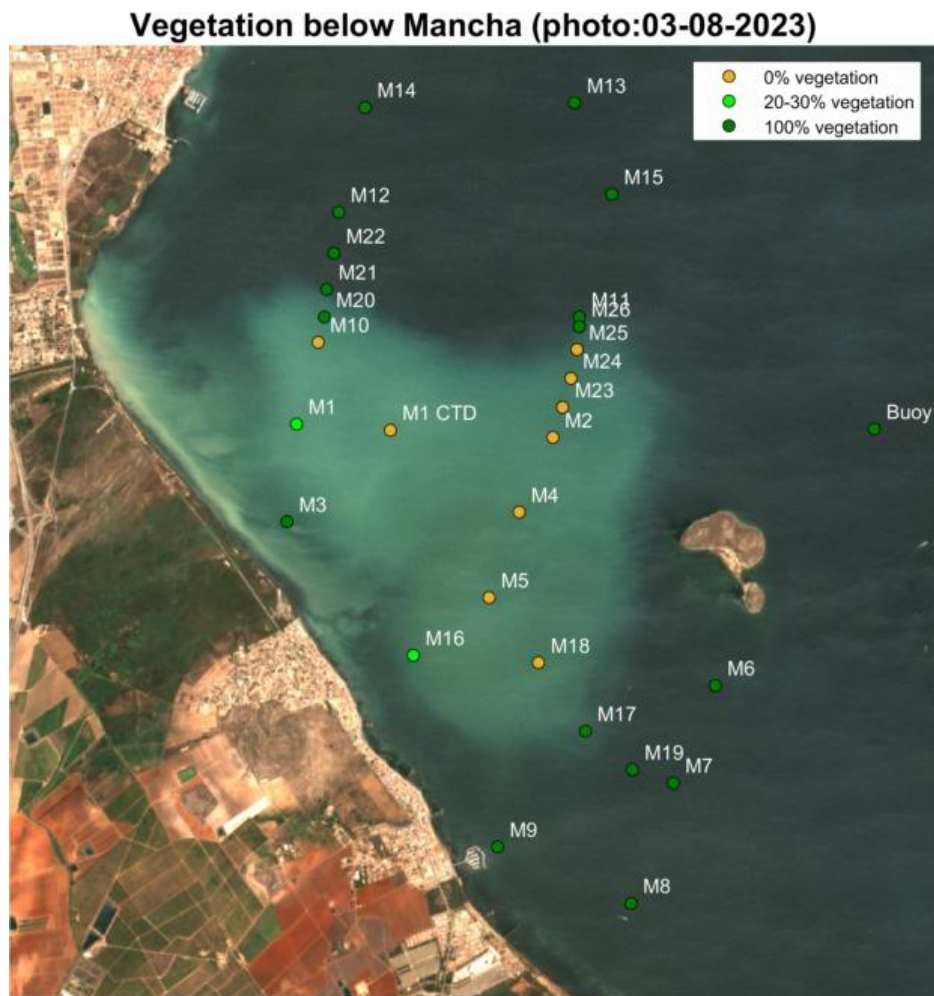


Figura 20: Localización de los puntos de inmersión. Los colores de los puntos indican la abundancia relativa de la vegetación bentónica: verde oscuro: cobertura 100%, verde claro: cobertura 20-30% y naranja: ausente (0%).



Figura 21: Izquierda: aspecto de *Caulerpa prolifera* en los puntos fuera de la mancha. Tejidos sanos bien desarrollados y verde normal, muy homogéneos. Derecha: aspecto plantas supervivientes en alguna estación dentro de la mancha. Tejidos de color verde oscuro en la base y casi transparentes en el ápice (síntomas de un estrés lumínico muy severo). Fotos: BELICH-IEO.

Los resultados de esta prospección preliminar indican que la vegetación bentónica ha vuelto a desaparecer totalmente en el área ocupada por la masa de agua blanquecina. De hecho, la cantidad de luz medida en estos fondos (Figura 13) está gran parte del tiempo a niveles equivalentes al 5% de la irradiación superficial, e incluso menos. Estos niveles son extremadamente bajos y corresponden a los requerimientos mínimos de las macroalgas bentónicas para sobrevivir. Estos niveles de luz son precisamente los mismos que en 2016-2017 causaron la desaparición de casi la totalidad de las praderas de macrófitos bentónicos del fondo del Mar Menor. De ahora en adelante se realizará, en el contexto del proyecto BELICH, una caracterización y seguimiento más detallados de la distribución de la vegetación en esta zona de la laguna, ya que, si los efectos de la masa de agua blanquecina se extendieran, el ecosistema lagunar podría experimentar un nuevo episodio de colapso.

## 5 Bibliografía

Belando MD, Bernardeau-Esteller J, Paradinas I, Ramos-Segura A, García-Muñoz R, García-Moreno P, Marín-Guirao L, Ruiz JM. (2021). Long-term coexistence between the macroalga *Caulerpa prolifera* and the seagrass *Cymodocea nodosa* in a Mediterranean lagoon. *Aquatic Botany*, 173, 103415.

Doney SC, Fabry VJ, Feely RA, Kleypas JA. (2009). Ocean acidification: the other CO<sub>2</sub> problem. *Annual review of marine science*, 1, 169-192.

Kirk, JT. (1985). Effects of suspensoids (turbidity) on penetration of solar radiation in aquatic ecosystems. *Hydrobiologia*, 125, 195-208. <https://doi.org/10.1007/BF00045935>

Kirk, JT (1994). Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. *Cambridge University Press*.

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

Mercado, JM, Yebra L, Gómez-Jakobsen F, García-Gómez C, Salles S, Ouaisa S, Ferrera I. (2023) Biodiversity of protists in coastal areas of the Mediterranean Sea affected by nutrient pollution. *ASLO meeting*, Palma de Mallorca, June 2023.

Nardelli BB, Tronconi C, Pisano A, Santoleri R. (2013). High and Ultra-High resolution processing of satellite Sea Surface Temperature data over Southern European Seas in the framework of MyOcean project. *Remote Sensing of Environment*, 129, 1-16. <https://doi.org/10.48670/moi-00173>

Oliver EC, Benthuisen JA, Darmaraki S, Donat MG, Hobday AJ, Holbrook NJ, Schlegel RW, Sen Gupta A. (2021). Marine heatwaves. *Annual Review of Marine Science*, 13, 313-342.

Ouaissa S, Gómez-Jakobsen F, Yebra L, Ferrera I, Moreno-Ostos E, Belando MD, Ruiz JM, Mercado JM. Phytoplankton dynamics in the Mar Menor, a Mediterranean coastal lagoon strongly impacted by eutrophication. *Mar Pollut Bull.* 2023 Jul;192:115074. doi: 10.1016/j.marpolbul.2023.115074. Epub 2023 May 24. PMID: 37236094.

UNESCO (1985) The international system of units (SI) in oceanography, UNESCO Technical Papers No. 45, IAPSO Pub. Sci. No. 32, Paris, France.

Yebra L, Mercado JM, Ferrera I, Ouaissa S, García Muñoz R, Ruiz JM. (2023). Impacto de la eutrofización en la biomasa de mesozooplankton del Mar Menor. En: Pérez-Rubín Feigl J, Fernández B, Onrubia M. & Díaz-Acha Y. (Eds.), *Libro de resúmenes de la XXV Bienal de la RSEHN - Málaga 2023*, pp. 155-156. ISBN: 978-84-09-53007-6.

## 6 Listado de abreviaturas

- ADN: Ácido Desoxirribonucleico.
- ARNr: Ácido Ribonucleico ribosómico.- BELICH: Seguimiento, Estudio y Modelización del ecosistema marino del Mar Menor.
- CTD: Conductividad, Temperatura, Profundidad (Conductivity, Temperature, Depth).
- DANA: Depresión Aislada en Niveles Altos.
- DMMEM: Mar Menor Eutrophication Monitoring programme
- IEO-CSIC: Instituto Español de Oceanografía. Centro Superior de Investigaciones Científicas.
- IMIDA: Instituto Murciano de Investigación de Desarrollo Agrario.
- Kd: Coeficiente de extinción de la luz.
- MAPMM: Marco de Actuaciones Prioritarias para la recuperación del Mar Menor.
- MITECO: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- NT: Nitrógeno total.
- NTU: Unidad Nefelométrica de Turbidez (Nephelometric Turbidity Unit).
- P90: Percentil climatológico 90.
- PAR: Radiación Fotosintéticamente Activa (Photosynthetically Active Radiaton).
- PCR: Reacción en cadena de la polimerasa
- pH: Potencial de Hidrógeno.
- PT: Fósforo total.
- SMLG: Boya piloto SMARTLAGOON.
- SST: Temperatura Superficial del Mar (Sea Surface Temperature).
- Std: Desviación Estándar (Standard Deviation).

## 7 Anexos

### 7.1 Anexo I: Boya piloto SMARTLAGOON

La Figura 22 muestra la boya oceanográfica de monitorización SMARTLAGOON (<https://www.smartlagoon.eu/es/>). 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 22: 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 23 contiene un esquema actualizado de la boya, así como la disposición en la vertical de cada uno de sus sensores. Durante el mantenimiento de 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.



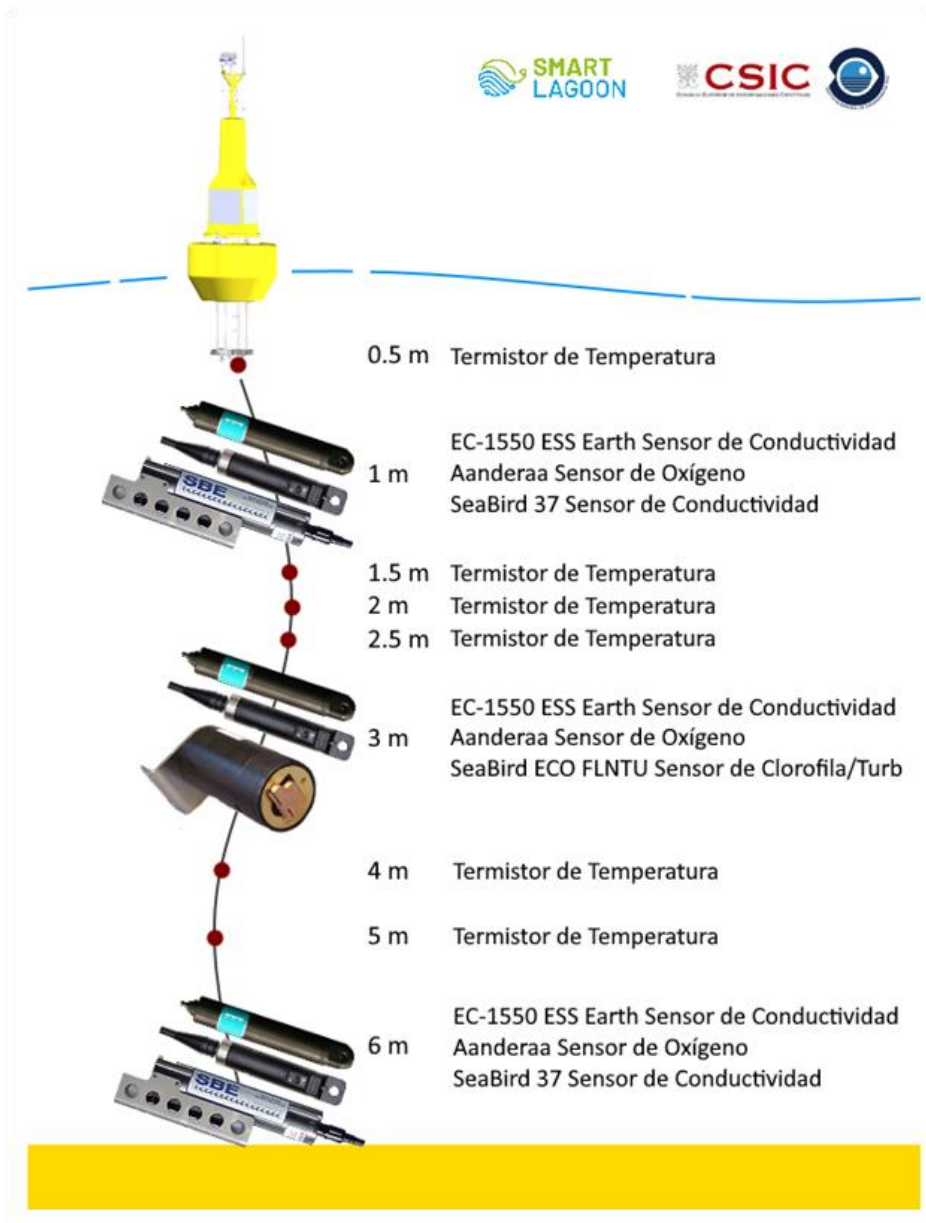


Figura 23: Esquema de los sensores instalados en la boyo piloto SMLG con los nuevos sensores de temperatura, conductividad y presión a 1 y 6 metros de profundidad (Seabird-37).

## 7.2 Anexo II: Metodología

### 7.2.1 Temperatura

La obtención de la temperatura se ha llevado a cabo con diferentes y complementarias fuentes de datos, lo que ha posibilitado la adquisición de una resolución espacio-temporal considerable para la variable en cuestión. Las fuentes de datos empleadas se detallan a continuación:

- 2012 – actualidad: Sensor HOBO Water Temp Pro v2 sumergido a una profundidad de 1.5 metros. Hasta junio de 2023 se ubicó en el Puerto de Lo Pagán y, a partir de ese momento, se trasladó a la boyo piloto SMLG.

- 2016 – actualidad: Muestreos con sondas multiparamétricas a través del proyecto DMMEM. Desde octubre de 2022 se realiza un perfil vertical con el CTD modelo *JFE AAQ176*, como parte del proyecto BELICH. Estos muestreos se realizan aproximadamente cada dos semanas (según las condiciones meteorológicas).
- Octubre de 2022 – actualidad: Empleo de sensores en la boya piloto SMLG (Sensores de temperatura mediante termistores *Beta Therm 100KSA*). Estos sensores proporcionan datos de temperatura a diferentes profundidades (0.5m, 1.5m, 2m, 2.5m, 4m y 5m. Figura 23. Anexo I), en continuo (cada 5 minutos) y en tiempo casi real.
- 1982 – actualidad: Datos del satélite *Copernicus Mediterranean Sea – High Resolution L4 Sea Surface Temperature Reprocessed 0.05 deg resolution* (Nardelli et al., 2013).

Todas estas fuentes de datos son de suma importancia para llevar a cabo un análisis espacial y temporal de la temperatura del agua de la laguna. La presencia del sensor HOBO y los sensores de la boya piloto SMLG han permitido mantener una serie continua de Temperatura Superficial del Mar (SST) desde el año 2012, así como datos a diferentes profundidades, permitiendo obtener series del perfil vertical de la columna de agua. Además, ambas fuentes de datos son complementarias, ya que han posibilitado la realización de una intercalibración entre los sensores. Los muestreos con sondas multiparamétricas nos han permitido, a su vez, realizar un análisis espacial de la SST en las cuatro estaciones de muestreo. Por último, los datos satelitales del satélite *Copernicus Mediterranean Sea – High Resolution L4 Sea Surface Temperature Reprocessed*, con una resolución de 0.05 grados (disponible en <https://doi.org/10.48670/moi-00173>), han ampliado la disponibilidad de datos SST en el Mar Menor más allá del año 2012. Estos datos también han sido sometidos a un proceso de intercalibración con el sensor HOBO y los sensores de la boya piloto SMLG.

### 7.2.2 Clorofila-*a*

La medida de clorofila-*a* se lleva a cabo mediante dos métodos distintos: espectrofotométricos y fluorescencia. La espectrofotometría es una técnica analítica que permite la cuantificación de compuestos en solución, basándose en la relación directa que existe entre la absorción de luz y la concentración del compuesto en cuestión. Para realizar esta medición, se emplea una muestra del medio acuático que se filtra por un filtro *Whatman GF/F* de 47 mm de diámetro, seguido de la extracción de la clorofila-*a* con acetona al 90%. La concentración de clorofila-*a* se determina luego en el espectrofotómetro.

Por otro lado, el método basado en fluorescencia se centra en la medición de la energía emitida por organismos fotosintéticos, en forma de fluorescencia de la clorofila-*a*. Esta medición se realiza *in situ* y proporciona datos instantáneos.

- Mayo 2016 – actualidad: Se recopila a partir de muestreos *in situ* en todas las estaciones de muestreo (Figura 1). Estos se realizan de forma quincenal según las condiciones meteorológicas. La clorofila-*a* se determina a partir de espectrofotometría. Además, desde octubre de 2022, se realizan perfiles verticales de CTD que obtienen datos de clorofila-*a* (por fluorescencia).
- Octubre de 2022 – actualidad: Se ha instalado un sensor de fluorescencia a una profundidad de 3 metros en la boya piloto SMLG, con una frecuencia de muestreo cada 5 minutos. Estos sensores miden la clorofila-*a* a través de fluorescencia.

*Obtener medidas a partir de diferentes fuentes es esencial para mantener una serie temporal precisa y de calidad. El sensor en la boya piloto SMLG proporciona una serie continua de datos de la laguna a diversas profundidades, mientras que los muestreos in situ permiten calibrar los sensores de monitoreo continuo y obtener mediciones altamente precisas de la clorofila-a mediante espectrofotometría.*

### 7.2.3 Turbidez

La turbidez se evalúa de dos formas: mediante irradiancia PAR, y como proporción de luz dispersada (*backscatter*). La irradiancia PAR mide la cantidad de radiación integrada en el rango de longitudes de onda que son capaces de producir actividad fotosintética activa (400-700 nm). A partir de esta medición, se estima la transparencia como coeficiente de extinción de la luz ( $K_d$ ,  $m^{-1}$ ). La turbidez también se puede calcular midiendo la proporción de luz dispersada cuando un rayo de luz atraviesa la muestra de agua, expresándose en valores de NTU (unidad nefelométrica de turbidez). Por último, a partir del coeficiente de extinción de la luz, se ha determinado la proporción de luz que queda disponible para los organismos fotosintéticos del fondo (%I<sub>0</sub>) (Kirk, 1994). Los datos de turbidez se obtienen de las siguientes fuentes:

- Mayo 2016 – actualidad: Los valores de turbidez se recopilan a partir de muestreos *in situ* en las estaciones de muestreo (Figura 1). Estos se realizan de forma quincenal según las condiciones meteorológicas. La turbidez se evalúa a partir de irradiancia PAR utilizando un sensor LiCor plano ( $2\pi$ ). Además, desde octubre de 2022, se realizan perfiles verticales de CTD que obtienen datos de turbidez (tanto NTU como por irradiancia PAR).
- Octubre de 2022 – actualidad: Se ha instalado un sensor de turbidez (NTU) a una profundidad de 3 metros en la boya piloto SMLG, con una frecuencia de muestreo cada 5 minutos. Adicionalmente, se han desplegado dos sensores PAR fondeados de forma permanente en dos ubicaciones diferentes: uno a 6 metros de profundidad aprovechando la estructura sumergida de la boya, y otro a 1 metro de profundidad en el nordeste de la laguna. Estos sensores miden la turbidez tanto en unidades de NTU como mediante la irradiancia PAR.

Estas múltiples mediciones son esenciales para mantener una serie temporal precisa y de calidad. El sensor en la boya piloto SMLG y los sensores PAR proporcionan una serie continua de datos de la laguna a diversas profundidades, mientras que los muestreos *in situ* permiten calibrar los sensores de monitoreo continuo y obtener mediciones altamente precisas de la turbidez.

### 7.2.4 Oxígeno disuelto

La medición del oxígeno disuelto se basa en el fenómeno de la extinción dinámica de la luminiscencia. Este principio se sustenta en la disminución de la energía del luminóforo provocada por la presencia del oxígeno en la muestra. De esta forma, el sensor logra determinar la concentración de oxígeno en función de la pérdida de emisión de luz del luminóforo. Este método ostenta diversas ventajas, entre las que destacan su sensibilidad y su inmediata respuesta, lo que permite realizar mediciones con una alta precisión en tiempo real.

Los datos de oxígeno disuelto se obtienen de las siguientes fuentes:

- Mayo 2016 – actualidad: Se mide a partir de muestreos *in situ* en todas las estaciones de muestreo (Figura 1). Estos se realizan con frecuencia mensual, y en ocasiones semanal, dependiendo de las circunstancias de la laguna en cada momento. Desde octubre de 2022, estos muestreos se están realizando a través de perfiles verticales con el CTD modelo *JFE AAQ176* (este dispositivo tiene incorporado un sensor de oxígeno disuelto).

- Octubre de 2022 – actualidad: en la boya piloto SMLG se instalaron 3 sensores de oxígeno *Aanderaa Optode 4531* a diferentes profundidades (1m, 3m y 6m), tomando medidas de forma continua (cada 5 minutos), y en tiempo casi-real.

La obtención de datos a partir de muestreos *in situ* nos permite obtener una serie temporal de calidad desde 2016 del oxígeno disuelto en la laguna. Adicionalmente, el sensor de oxígeno en la boya piloto SMLG, nos permite obtener medidas de continuo, que posibilitan la determinación de fenómenos de anoxia en periodos de tiempo muy cortos. Actualmente, ambas medidas son complementarias, ya que los muestreos *in situ* nos permiten calibrar los sensores de la boya piloto SMLG.

#### 7.2.5 pH

El pH se obtiene a partir de un electrodo de vidrio (*glass electrode*), este sensor aprovecha la propiedad de un vidrio sensible al pH, que responde a los cambios de concentración de iones de hidrógeno (H<sup>+</sup>) en la muestra. Estas medidas se obtienen en escala NBS. Este tipo de sensores nos permiten tomar mediciones de pH precisas y en tiempo real.

Los datos de pH se obtienen de las siguientes fuentes:

- Mayo 2016 – actualidad: Los valores de pH se obtienen a partir de muestreos *in situ* en todas las estaciones de muestreo (Figura 1). Estos se realizan con frecuencia mensual, y en ocasiones semanal, dependiendo de las circunstancias de la laguna en cada momento. Desde octubre de 2022, estos muestreos se están realizando a través de perfiles verticales con el CTD modelo *JFE AAQ176*, este dispositivo tiene incorporado un sensor de pH.

La obtención de datos a partir de estos muestreos *in situ* nos permite obtener una serie temporal de calidad desde 2016 de pH.

#### 7.2.6 Nutrientes

Desde 2019 se viene analizando la concentración de nitrógeno y fósforo total (NT y PT) en las muestras recogidas mensualmente, con el fin de caracterizar el *pool* completo de ambos nutrientes. Estos análisis se realizan a partir de muestras prefiltradas por filtros de 0,7 µm, por tanto, incluyen sólo la fracción disuelta, tanto orgánica como inorgánica. Las concentraciones de nutrientes inorgánicos disueltos en este periodo (que serán presentadas en el siguiente informe) son aproximadamente un orden de magnitud menor que las concentraciones promediadas de NT y PT, por lo que estas corresponden principalmente a formas orgánicas que pueden tener su origen en la actividad de las comunidades de la laguna (excreción, depredación o lisis celular) o proceder de fuentes externas (aportes a través de los cursos de agua). Estas formas de N y P pueden corresponder a materia orgánica lábil o recalcitrante, según sea más o menos fácilmente metabolizable por las comunidades microbianas. Es decir,

el N y P soluble constituyen un almacén de nutrientes que, dependiendo de su naturaleza y de la actividad de las comunidades bacterianas, podría ser más o menos movilizado.

#### 7.2.7 Comunidades microbianas y de fitoplancton

Para enumerar la abundancia de distintos grupos de pico-, nano- y microplancton se realizan muestreos con botella Niskin en las distintas estaciones. Para el análisis del picoplancton, las muestras se fijan con glutaraldehído (1% concentración final) y se congelan a -80 C hasta su procesado. La abundancia de picoplancton se analiza mediante citometría de flujo, mediante la que se puede identificar la abundancia de la cianobacteria *Synechococcus*, de picoplancton eucariota y de bacterias heterótrofas. El análisis de la abundancia y composición de nano- y microplancton se realiza mediante microscopía. Para ello, se fijan muestras en botellas de vidrio oscuro con solución de Lugol (2% concentración final).

Además, la biomasa de pico-, nano- y microplancton se recoge en filtros de policarbonato para el análisis exhaustivo de su diversidad, tanto procariota como eucariota, mediante herramientas genéticas. El ADN se extrae de los filtros y se usa para amplificar mediante PCR los marcadores genéticos 16S y 18S ARNr, para procariotas y eucariotas, respectivamente.

#### 7.2.8 Comunidades de zooplancton

Desde 2016 se realizan muestreos mensuales para evaluar el estado de las comunidades de zooplancton del Mar Menor. Los muestreos consisten en pescas de arrastre con una red de plancton (50 cm diámetro) equipada con una malla de 200 micras (0.2 mm) de paso de luz. Inicialmente, estos muestreos se realizaban en tres estaciones (A, B y C, Figura 1), no obstante, una vez analizados los datos del periodo inicial se optimizó el muestreo, reduciéndolo a la estación B desde 2019, al considerarse esta estación representativa del resto de la laguna.

Las muestras obtenidas se dividen en dos alícuotas mediante un subdivisor Folsom. Una alícuota se preserva en etanol para análisis taxonómico y otra alícuota se fracciona por tamaño en tres fracciones (<200, 200-500 y >1000 micras) y se ultracongela en nitrógeno líquido para análisis de biomasa y metabolismo. Las muestras congeladas se mantienen a -80°C hasta su análisis en el CO Málaga.

#### 7.2.9 Comunidades de macrófitos bentónicos

El grupo de Ecología de Angiospermas Marinas del C.O. de Murcia (IEO-CSIC) realiza un seguimiento de la vegetación bentónica del Mar Menor desde 2014. La metodología puede ser consultada en [Belando et al., \(2021\)](#).

### 7.3 Anexo III: Perfiles CTD

#### 7.3.1 Temperatura

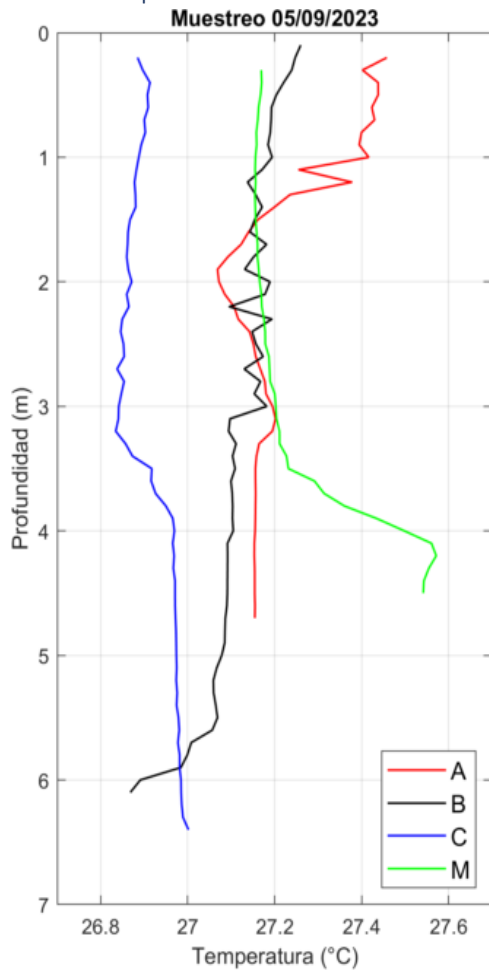


Figura 24. Perfiles de temperatura obtenidos el día 05/09/23 con el CTD.

Tabla 8. Datos de temperatura de los perfiles de CTD obtenidos el día 05/09/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	27.07 °C	27.46 °C	27.24 °C	0.14 °C
A	3-7 m	27.15 °C	27.20 °C	27.16 °C	0.02 °C
B	0-3 m	27.10 °C	27.26 °C	27.18 °C	0.04 °C
B	3-7 m	26.87 °C	27.18 °C	27.07 °C	0.06 °C
C	0-3 m	26.84 °C	26.91 °C	26.87 °C	0.02 °C
C	3-7 m	26.83 °C	27.00 °C	26.95 °C	0.05 °C

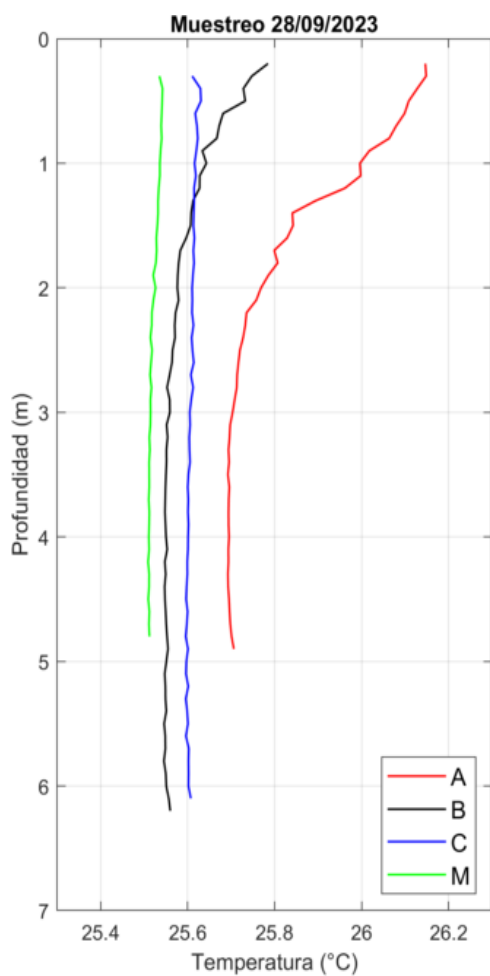


Figura 25. Perfiles de temperatura obtenidos el día 28/09/23 con el CTD.

Tabla 9. Datos de temperatura de los perfiles de CTD obtenidos el día 28/09/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	25.71 °C	26.15 °C	25.89 °C	0.16 °C
A	3-7 m	25.69 °C	25.71 °C	25.70 °C	0.00 °C
B	0-3 m	25.55 °C	25.78 °C	25.62 °C	0.06 °C
B	3-7 m	25.55 °C	25.56 °C	25.55 °C	0.00 °C
C	0-3 m	25.61 °C	25.63 °C	25.62 °C	0.01 °C
C	3-7 m	25.60 °C	25.61 °C	25.60 °C	0.00 °C

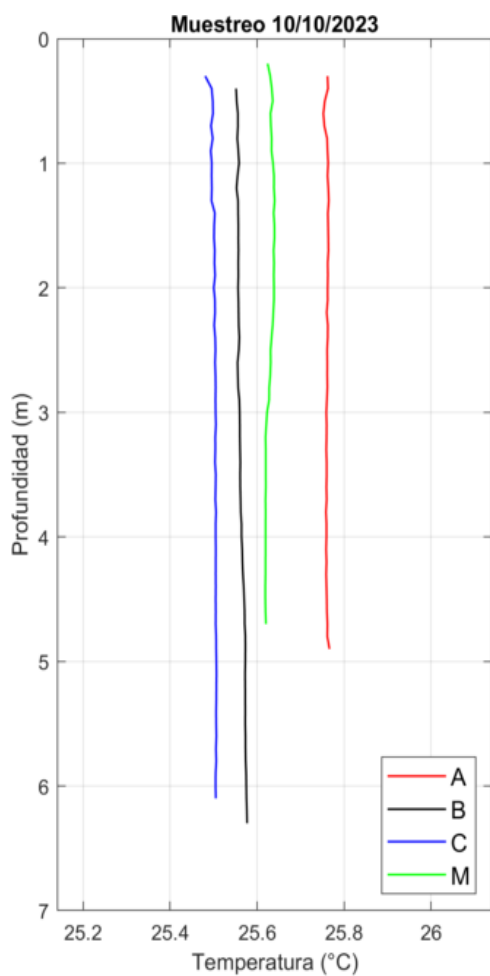


Figura 26. Perfiles de temperatura obtenidos el día 10/10/23 con el CTD.

Tabla 10. Datos de temperatura de los perfiles de CTD obtenidos el día 10/10/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	25.75 °C	25.76 °C	25.76 °C	0.00 °C
A	3-7 m	25.76 °C	25.77 °C	25.76 °C	0.00 °C
B	0-3 m	25.55 °C	25.56 °C	25.56 °C	0.00 °C
B	3-7 m	25.56 °C	25.58 °C	25.57 °C	0.01 °C
C	0-3 m	25.48 °C	25.50 °C	25.50 °C	0.01 °C
C	3-7 m	25.50 °C	25.51 °C	25.51 °C	0.00 °C



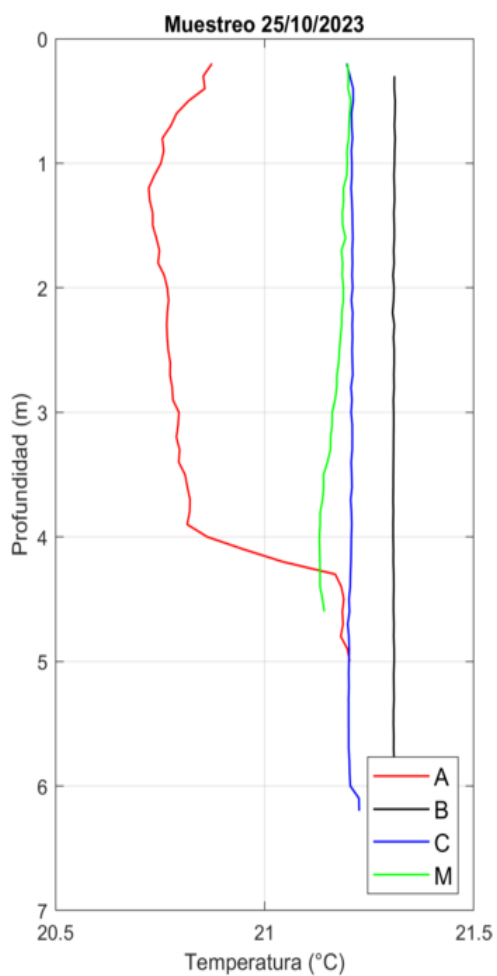


Figura 27. Perfiles de temperatura obtenidos el día 25/10/23 con el CTD.

Tabla 11. Datos de temperatura de los perfiles de CTD obtenidos el día 25/10/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	20.72 °C	20.87 °C	20.77 °C	0.04 °C
A	3-7 m	20.79 °C	21.20 °C	20.97 °C	0.18 °C
B	0-3 m	21.31 °C	21.31 °C	21.31 °C	0.00 °C
B	3-7 m	21.31 °C	21.31 °C	21.31 °C	0.00 °C
C	0-3 m	21.20 °C	21.21 °C	21.21 °C	0.00 °C
C	3-7 m	21.20 °C	21.23 °C	21.21 °C	0.01 C

### 7.3.2 Salinidad

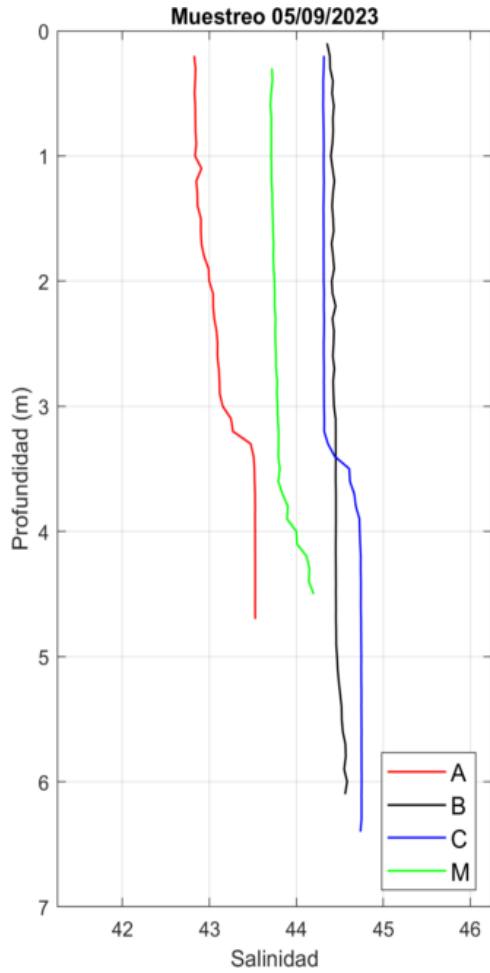


Figura 28. Perfiles de salinidad obtenidos el día 05/09/23 con el CTD.

Tabla 12. Datos de salinidad de los perfiles de CTD obtenidos el día 05/09/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	42.83	43.12	42.94	0.11
A	3-7 m	43.15	43.53	43.47	0.12
B	0-3 m	44.35	44.45	44.42	0.02
B	3-7 m	44.43	44.58	44.48	0.04
C	0-3 m	44.31	44.32	44.31	0.00
C	3-7 m	44.32	44.75	44.68	0.14

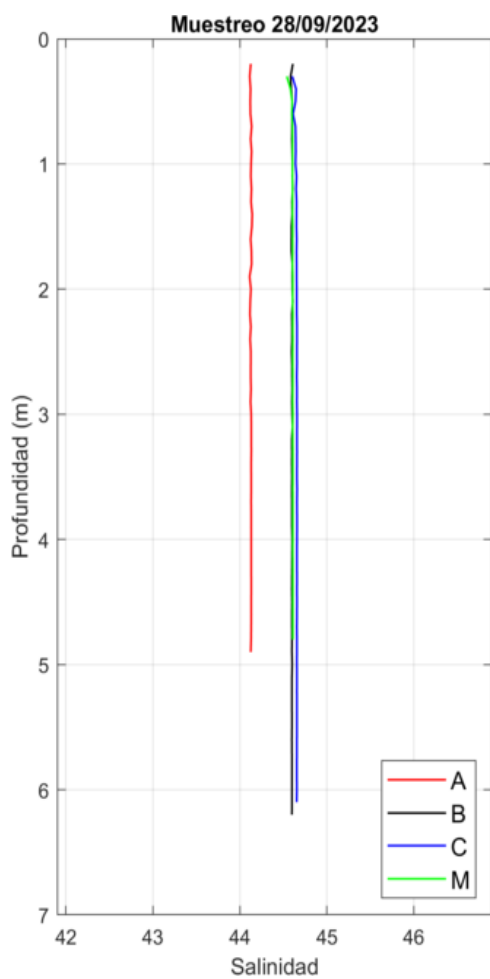


Figura 29. Perfiles de salinidad obtenidos el día 28/09/23 con el CTD.

Tabla 13. Datos de salinidad de los perfiles de CTD obtenidos el día 28/09/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	44.11	44.14	44.13	0.01
A	3-7 m	44.13	44.13	44.13	0.00
B	0-3 m	44.58	44.61	44.60	0.01
B	3-7 m	44.60	44.61	44.60	0.00
C	0-3 m	44.60	44.66	44.65	0.01
C	3-7 m	44.65	44.66	44.66	0.00

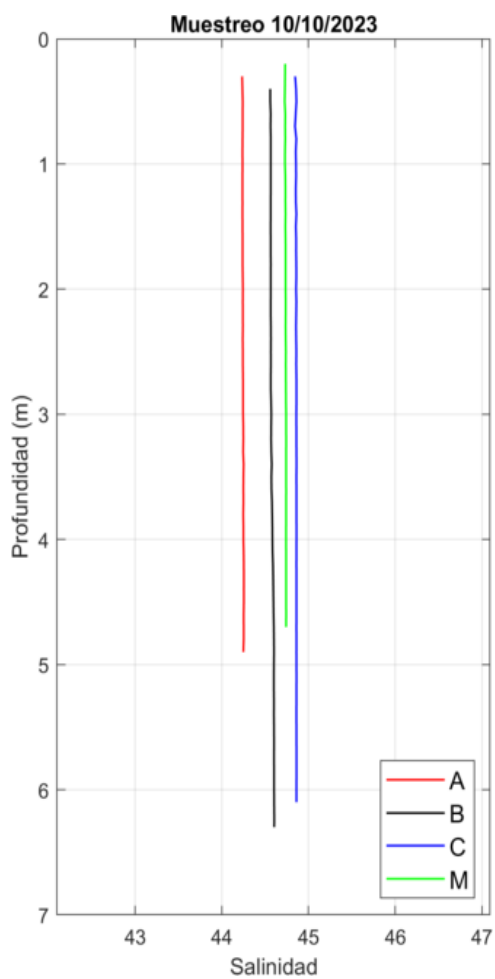


Figura 30. Perfiles de salinidad obtenidos el día 10/10/23 con el CTD.

Tabla 14. Datos de salinidad de los perfiles de CTD obtenidos el día 10/10/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	44.23	44.24	44.24	0.00
A	3-7 m	44.24	44.25	44.25	0.00
B	0-3 m	44.56	44.57	44.56	0.00
B	3-7 m	44.57	44.60	44.59	0.01
C	0-3 m	44.84	44.86	44.86	0.00
C	3-7 m	44.86	44.86	44.86	0.00

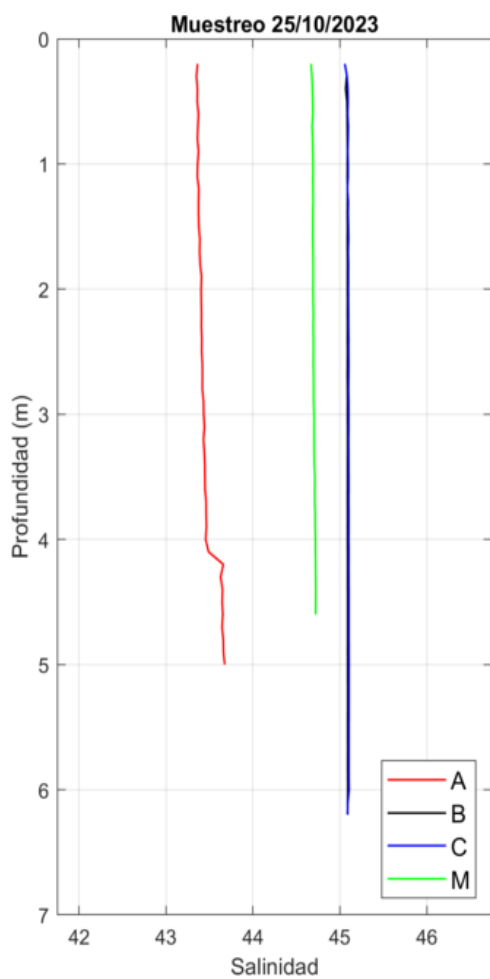


Figura 31. Perfiles de salinidad obtenidos el día 25/10/23 con el CTD.

Tabla 15. Datos de salinidad de los perfiles de CTD obtenidos el día 25/10/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	43.35	43.43	43.39	0.02
A	3-7 m	43.43	43.68	43.54	0.10
B	0-3 m	45.07	45.09	45.09	0.00
B	3-7 m	45.09	45.09	45.09	0.00
C	0-3 m	45.06	45.10	45.10	0.01
C	3-7 m	45.09	45.11	45.10	0.00

### 7.3.3 Saturación de O2

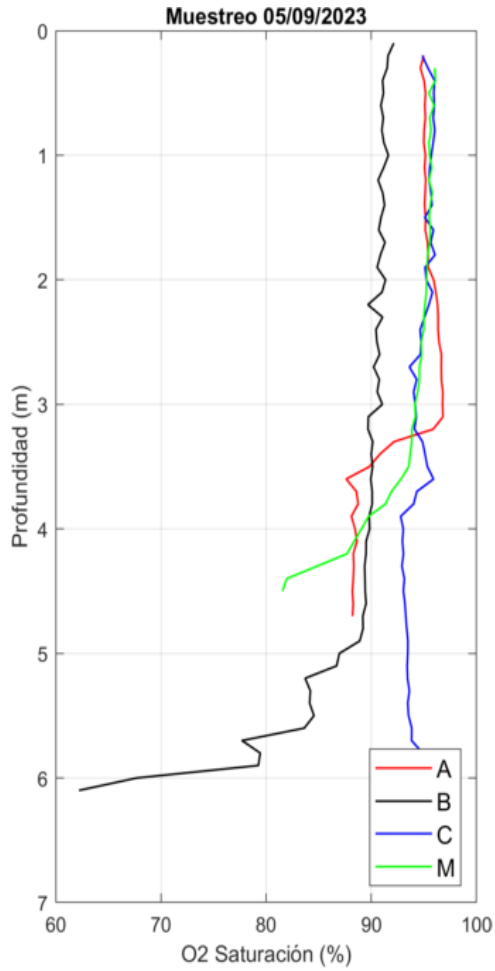


Figura 32. Perfiles de saturación de O2 obtenidos el día 05/09/23 con el CTD.

Tabla 16. Datos de saturación de O2 de los perfiles de CTD obtenidos el día 05/09/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	94.67 %	96.80 %	95.58 %	0.67 %
A	3-7 m	87.61 %	96.81 %	90.11 %	3.14 %
B	0-3 m	89.67 %	92.13 %	90.97 %	0.48 %
B	3-7 m	62.21 %	91.05 %	86.08 %	6.62 %
C	0-3 m	93.62 %	96.06 %	95.34 %	0.65 %
C	3-7 m	92.79 %	95.92 %	94.08 %	0.99 %

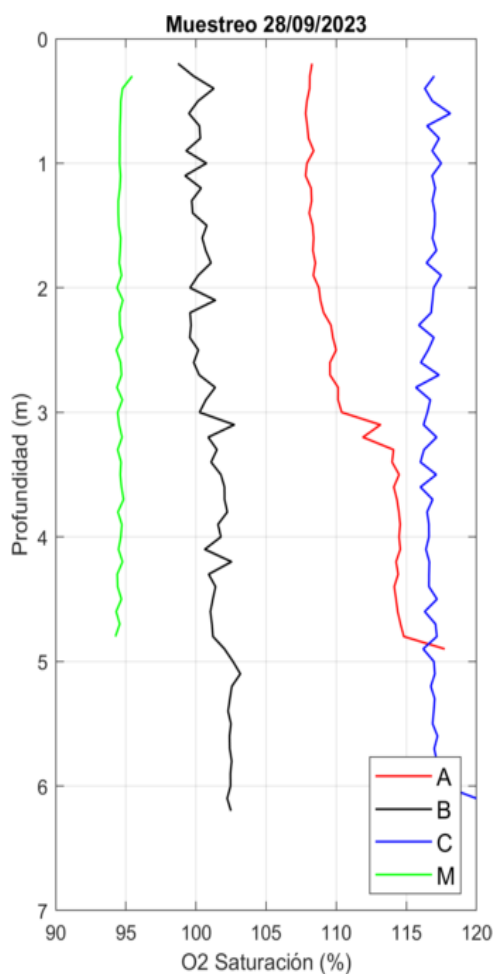


Figura 33. Perfiles de saturación de O2 obtenidos el día 28/09/23 con el CTD.

Tabla 17. Datos de saturación de O2 de los perfiles de CTD obtenidos el día 28/09/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	107.81 %	110.13 %	108.65 %	0.76 %
A	3-7 m	110.39 %	117.74 %	114.15 %	1.35 %
B	0-3 m	98.72 %	101.38 %	100.15 %	0.68 %
B	3-7 m	100.25 %	103.16 %	101.89 %	0.72 %
C	0-3 m	115.67 %	118.13 %	116.85 %	0.51 %
C	3-7 m	116.00 %	119.99 %	116.88 %	0.70 %

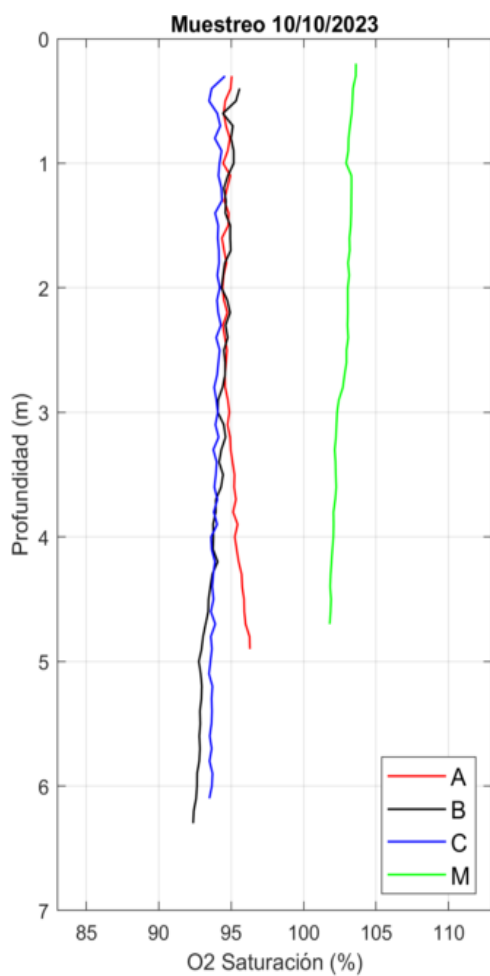


Figura 34. Perfiles de saturación de O2 obtenidos el día 10/10/23 con el CTD.

Tabla 18. Datos de saturación de O2 de los perfiles de CTD obtenidos el día 10/10/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	94.36 %	95.04 %	94.65 %	0.18 %
A	3-7 m	94.75 %	96.29 %	95.45 %	0.46 %
B	0-3 m	94.10 %	95.58 %	94.76 %	0.34 %
B	3-7 m	92.38 %	94.61 %	93.40 %	0.67 %
C	0-3 m	93.47 %	94.58 %	94.09 %	0.23 %
C	3-7 m	93.47 %	94.14 %	93.75 %	0.18 %



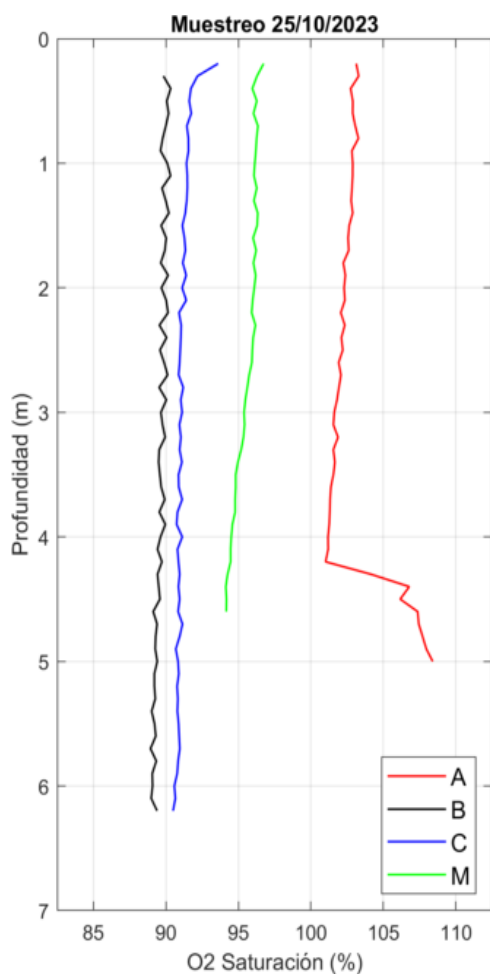


Figura 35. Perfiles de saturación de O2 obtenidos el día 25/10/23 con el CTD.

Tabla 19. Datos de saturación de O2 de los perfiles de CTD obtenidos el día 25/10/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	101.80 %	103.30 %	102.57 %	0.43 %
A	3-7 m	101.02 %	108.41 %	103.55 %	2.89 %
B	0-3 m	89.53 %	90.33 %	89.93 %	0.24 %
B	3-7 m	88.93 %	89.96 %	89.42 %	0.28 %
C	0-3 m	90.88 %	93.60 %	91.41 %	0.52 %
C	3-7 m	90.49 %	91.14 %	90.87 %	0.15

### 7.3.4 Concentración de O2

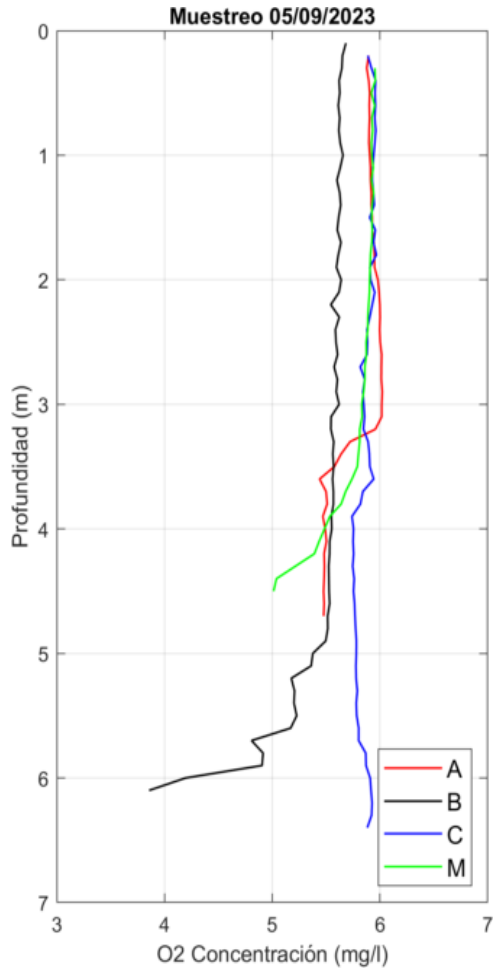


Figura 36. Perfiles de concentración de O2 obtenidos el día 05/09/23 con el CTD.

Tabla 20. Datos de concentración de O2 de los perfiles de CTD obtenidos el día 05/09/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	5.88 mg/l	6.02 mg/l	5.95 mg/l	0.05 mg/l
A	3-7 m	5.44 mg/l	6.02 mg/l	5.60 mg/l	0.20 mg/l
B	0-3 m	5.54 mg/l	5.68 mg/l	5.62 mg/l	0.03 mg/l
B	3-7 m	3.86 mg/l	5.62 mg/l	5.32 mg/l	0.41 mg/l
C	0-3 m	5.82 mg/l	5.97 mg/l	5.92 mg/l	0.04 mg/l
C	3-7 m	5.74 mg/l	5.94 mg/l	5.82 mg/l	0.06 mg/l

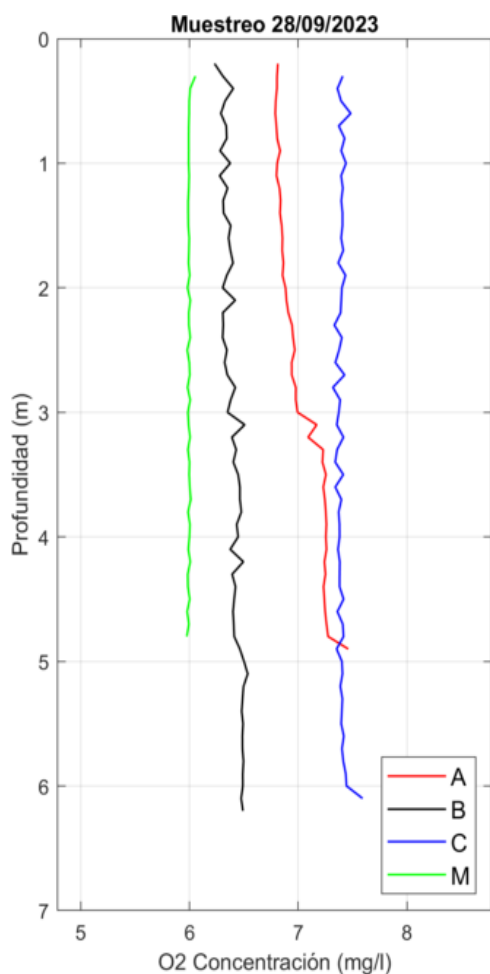


Figura 37. Perfiles de concentración de O2 obtenidos el día 28/09/23 con el CTD.

Tabla 21. Datos de concentración de O2 de los perfiles de CTD obtenidos el día 28/09/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	6.79 mg/l	6.98 mg/l	6.86 mg/l	0.06 mg/l
A	3-7 m	6.99 mg/l	7.46 mg/l	7.23 mg/l	0.09 mg/l
B	0-3 m	6.23 mg/l	6.42 mg/l	6.34 mg/l	0.05 mg/l
B	3-7 m	6.35 mg/l	6.54 mg/l	6.45 mg/l	0.05 mg/l
C	0-3 m	7.32 mg/l	7.48 mg/l	7.40 mg/l	0.03 mg/l
C	3-7 m	7.34 mg/l	7.59 mg/l	7.40 mg/l	0.04 mg/l

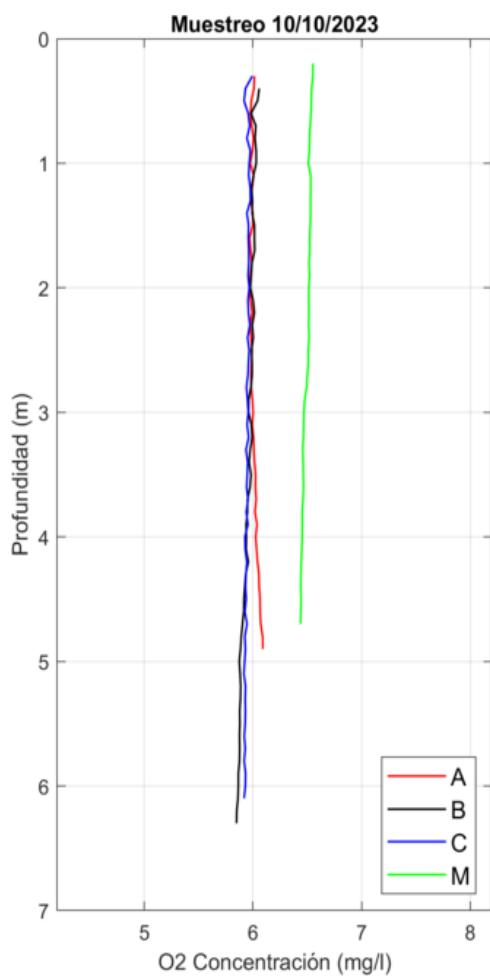


Figura 38. Perfiles de concentración de O2 obtenidos el día 10/10/23 con el CTD.

Tabla 22. Datos de concentración de O2 de los perfiles de CTD obtenidos el día 10/10/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	5.97 mg/l	6.01 mg/l	5.99 mg/l	0.01 mg/l
A	3-7 m	5.99 mg/l	6.09 mg/l	6.04 mg/l	0.03 mg/l
B	0-3 m	5.96 mg/l	6.06 mg/l	6.00 mg/l	0.02 mg/l
B	3-7 m	5.85 mg/l	5.99 mg/l	5.91 mg/l	0.04 mg/l
C	0-3 m	5.92 mg/l	5.99 mg/l	5.96 mg/l	0.02 mg/l
C	3-7 m	5.92 mg/l	5.96 mg/l	5.94 mg/l	0.01 mg/l

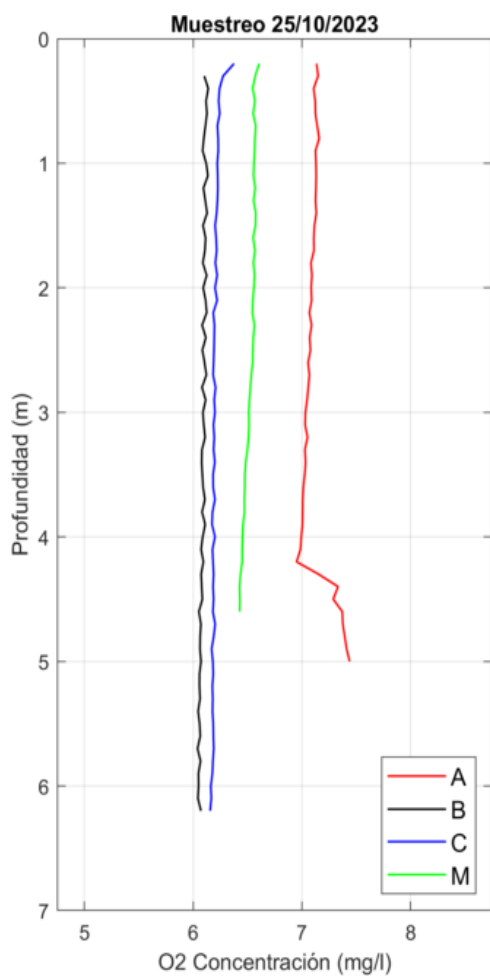


Figura 39. Perfiles de concentración de O2 obtenidos el día 25/10/23 con el CTD.

Tabla 23. Datos de concentración de O2 de los perfiles de CTD obtenidos el día 25/10/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	7.05 mg/l	7.16 mg/l	7.11 mg/l	0.03 mg/l
A	3-7 m	6.95 mg/l	7.44 mg/l	7.14 mg/l	0.18 mg/l
B	0-3 m	6.08 mg/l	6.14 mg/l	6.11 mg/l	0.02 mg/l
B	3-7 m	6.04 mg/l	6.11 mg/l	6.07 mg/l	0.02 mg/l
C	0-3 m	6.18 mg/l	6.38 mg/l	6.22 mg/l	0.04 mg/l
C	3-7 m	6.16 mg/l	6.20 mg/l	6.18 mg/l	0.01 g/l

### 7.3.5 Turbidez

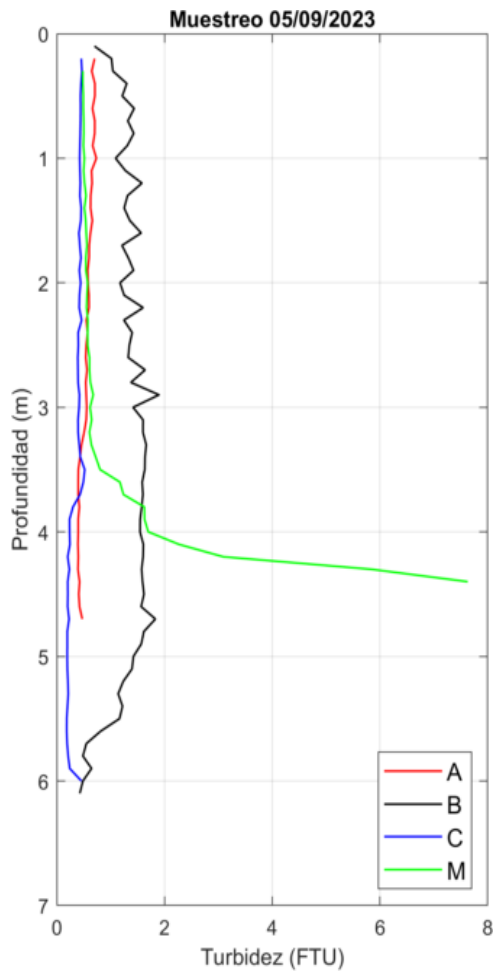


Figura 40. Perfiles de turbidez obtenidos el día 05/09/23 con el CTD.

Tabla 24. Datos de turbidez de los perfiles de CTD obtenidos el día 05/09/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	0.54 FTU	0.73 FTU	0.62 FTU	0.06 FTU
A	3-7 m	0.39 FTU	0.56 FTU	0.43 FTU	0.05 FTU
B	0-3 m	0.70 FTU	1.90 FTU	1.32 FTU	0.22 FTU
B	3-7 m	0.43 FTU	1.83 FTU	1.34 FTU	0.41 FTU
C	0-3 m	0.39 FTU	0.47 FTU	0.43 FTU	0.02 FTU
C	3-7 m	0.18 FTU	0.52 FTU	0.28 FTU	0.11 FTU

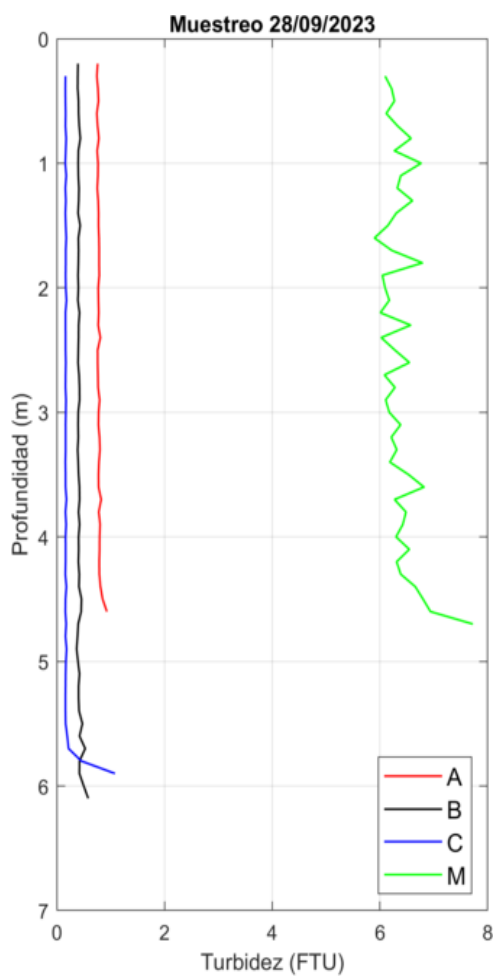


Figura 41. Perfiles de turbidez obtenidos el día 28/09/23 con el CTD.

Tabla 25. Datos de turbidez de los perfiles de CTD obtenidos el día 28/09/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	0.74 FTU	0.81 FTU	0.77 FTU	0.02 FTU
A	3-7 m	0.77 FTU	0.93 FTU	0.80 FTU	0.04 FTU
B	0-3 m	0.39 FTU	0.44 FTU	0.40 FTU	0.01 FTU
B	3-7 m	0.37 FTU	0.58 FTU	0.42 FTU	0.04 FTU
C	0-3 m	0.16 FTU	0.18 FTU	0.16 FTU	0.01 FTU
C	3-7 m	0.16 FTU	1.08 FTU	0.21 FTU	0.17 FTU

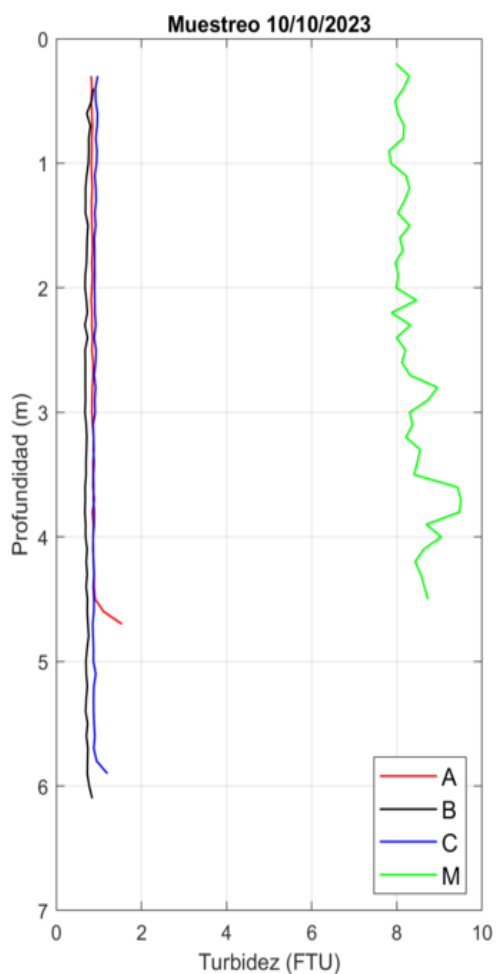


Figura 42. Perfiles de turbidez obtenidos el día 10/10/23 con el CTD.

Tabla 26. Datos de turbidez de los perfiles de CTD obtenidos el día 10/10/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	0.82 FTU	0.86 FTU	0.84 FTU	0.01 FTU
A	3-7 m	0.84 FTU	1.54 FTU	0.92 FTU	0.17 FTU
B	0-3 m	0.67 FTU	0.87 FTU	0.72 FTU	0.05 FTU
B	3-7 m	0.67 FTU	0.84 FTU	0.72 FTU	0.03 FTU
C	0-3 m	0.89 FTU	0.97 FTU	0.92 FTU	0.02 FTU
C	3-7 m	0.85 FTU	1.20 FTU	0.89 FTU	0.06 FTU



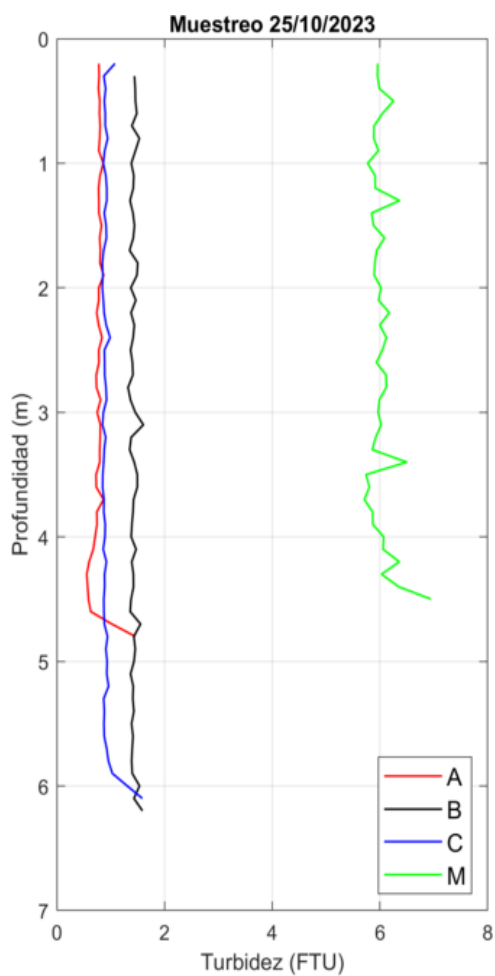


Figura 43. Perfiles de turbidez obtenidos el día 25/10/23 con el CTD.

Tabla 27. Datos de turbidez de los perfiles de CTD obtenidos el día 25/10/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	0.73 FTU	0.87 FTU	0.79 FTU	0.03 FTU
A	3-7 m	0.56 FTU	1.46 FTU	0.77 FTU	0.20 FTU
B	0-3 m	1.32 FTU	1.53 FTU	1.42 FTU	0.05 FTU
B	3-7 m	1.35 FTU	1.61 FTU	1.43 FTU	0.06 FTU
C	0-3 m	0.84 FTU	1.08 FTU	0.90 FTU	0.05 FTU
C	3-7 m	0.85 FTU	1.59 FTU	0.93 FTU	0.15 TU

7.3.6 pH

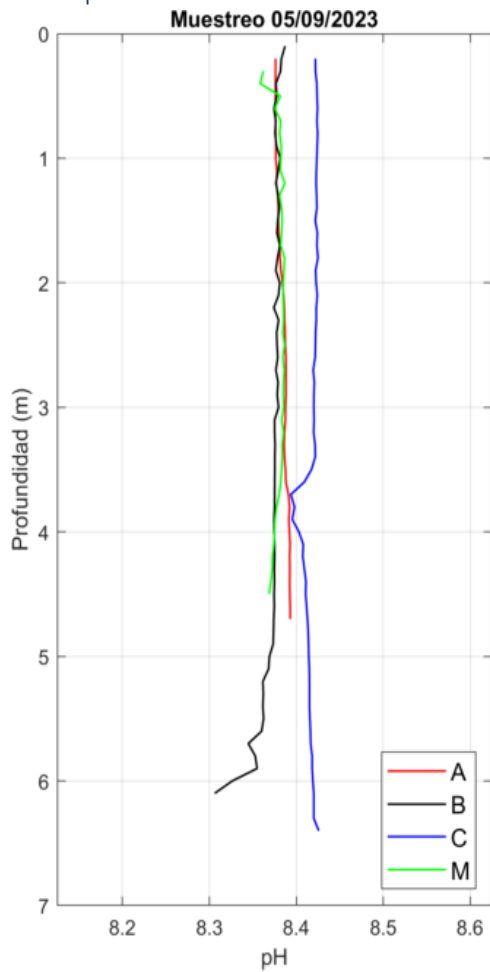


Figura 44. Perfiles de pH obtenidos el día 05/09/23 con el CTD.

Tabla 28. Datos de pH de los perfiles de CTD obtenidos el día 05/09/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	8.38	8.39	8.38	0.00
A	3-7 m	8.39	8.39	8.39	0.00
B	0-3 m	8.37	8.39	8.38	0.00
B	3-7 m	8.31	8.38	8.37	0.02
C	0-3 m	8.42	8.42	8.42	0.00
C	3-7 m	8.39	8.43	8.41	0.01

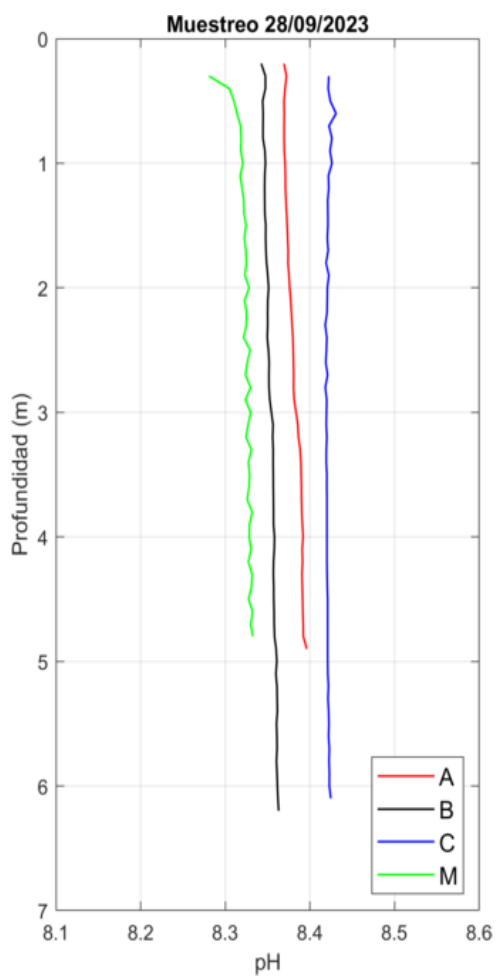


Figura 45. Perfiles de pH obtenidos el día 28/09/23 con el CTD.

Tabla 29. Datos de pH de los perfiles de CTD obtenidos el día 28/09/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	8.37	8.38	8.37	0.00
A	3-7 m	8.38	8.40	8.39	0.00
B	0-3 m	8.34	8.35	8.35	0.00
B	3-7 m	8.35	8.36	8.36	0.00
C	0-3 m	8.42	8.43	8.42	0.00
C	3-7 m	8.42	8.42	8.42	0.00

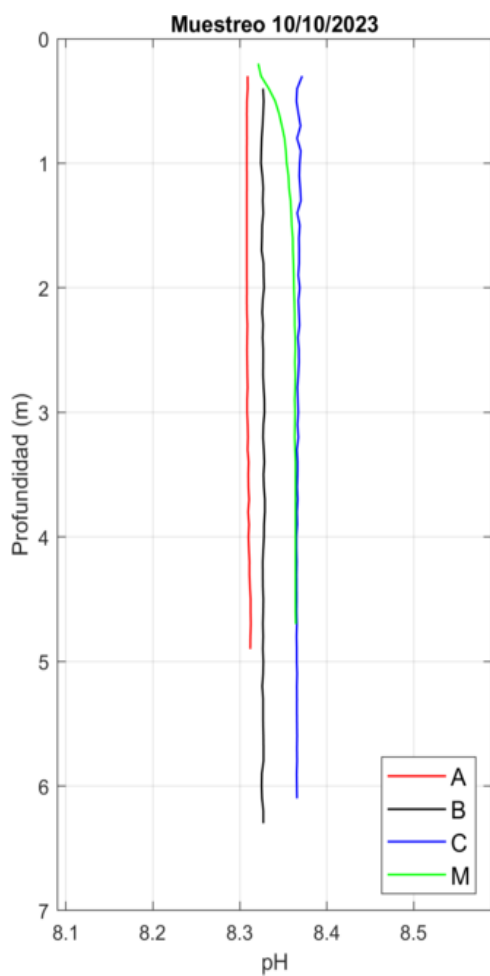


Figura 46. Perfiles de pH obtenidos el día 10/10/23 con el CTD.

Tabla 30. Datos de pH de los perfiles de CTD obtenidos el día 10/10/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	8.31	8.31	8.31	0.00
A	3-7 m	8.31	8.31	8.31	0.00
B	0-3 m	8.32	8.33	8.33	0.00
B	3-7 m	8.33	8.33	8.33	0.00
C	0-3 m	8.37	8.37	8.37	0.00
C	3-7 m	8.37	8.37	8.37	0.00

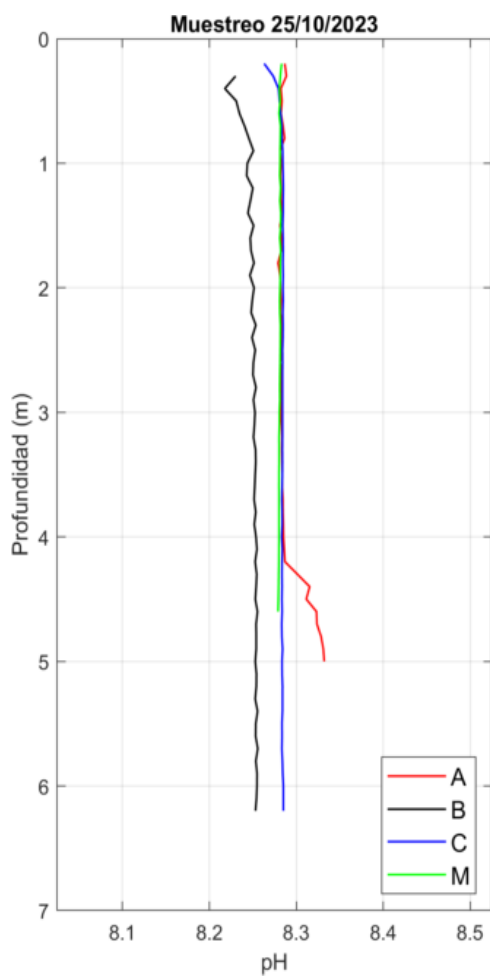


Figura 47. Perfiles de pH obtenidos el día 25/10/23 con el CTD.

Tabla 31. Datos de pH de los perfiles de CTD obtenidos el día 25/10/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	8.28	8.29	8.28	0.00
A	3-7 m	8.28	8.33	8.30	0.02
B	0-3 m	8.22	8.25	8.25	0.01
B	3-7 m	8.25	8.26	8.25	0.00
C	0-3 m	8.26	8.28	8.28	0.00
C	3-7 m	8.28	8.29	8.28	0.00

### 7.3.7 Luz PAR

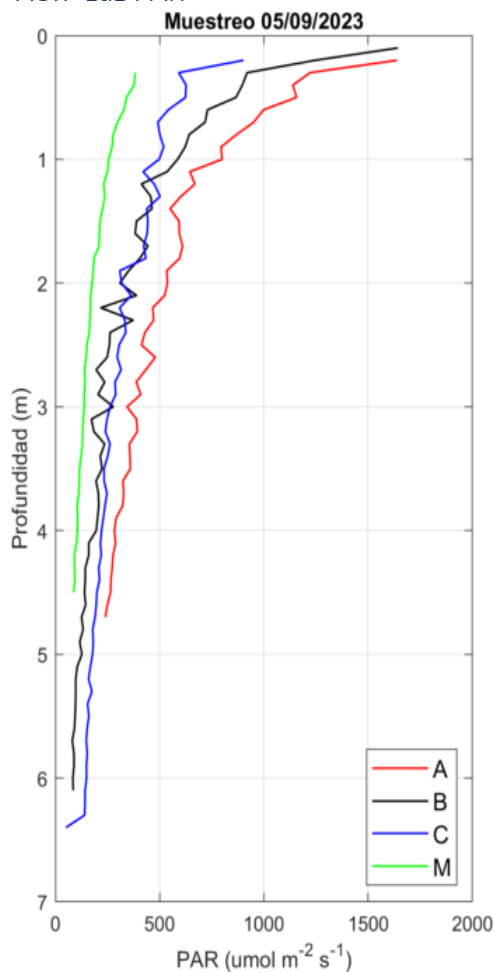


Figura 48. Perfis de luz PAR obtidos el día 05/09/23 con el CTD.

Tabla 32. Datos de luz PAR de los perfiles de CTD obtenidos el día 05/09/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	387.47 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	1637.99 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	696.99 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	302.93 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
A	3-7 m	240.30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	393.21 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	311.44 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	47.49 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
B	0-3 m	195.43 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	1642.92 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	531.23 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	332.08 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
B	3-7 m	80.96 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	277.97 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	147.72 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	53.59 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
C	0-3 m	285.91 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	901.51 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	440.52 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	138.03 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
C	3-7 m	50.94 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	262.24 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	191.26 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	46.21 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

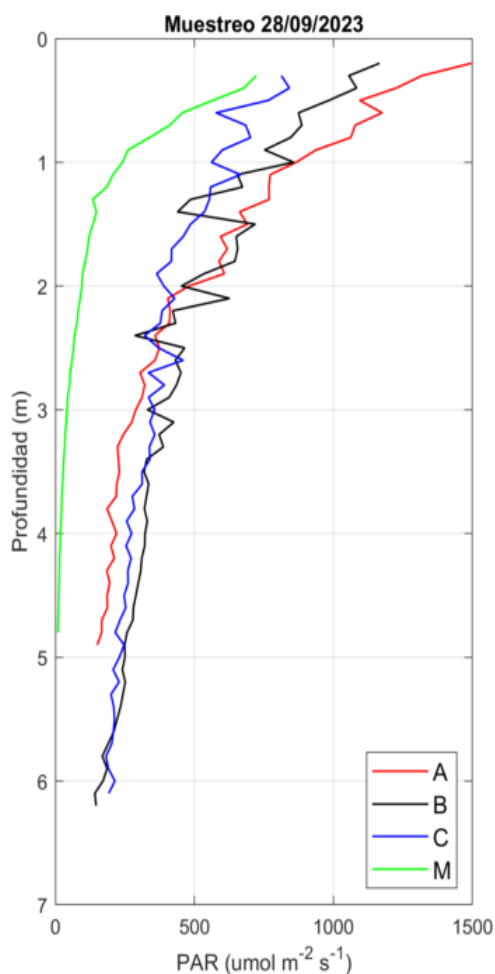


Figura 49. Perfiles de luz PAR obtenidos el día 28/09/23 con el CTD.

Tabla 33. Datos de luz PAR de los perfiles de CTD obtenidos el día 28/09/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	304.50 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	1495.88 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	716.40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	342.74 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
A	3-7 m	150.42 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	289.08 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	209.32 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	34.62 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
B	0-3 m	286.78 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	1165.94 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	656.36 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	236.62 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
B	3-7 m	141.93 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	426.20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	274.36 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	70.02 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
C	0-3 m	321.07 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	841.67 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	511.11 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	152.82 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
C	3-7 m	182.14 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	357.71 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	255.41 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	51.90 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

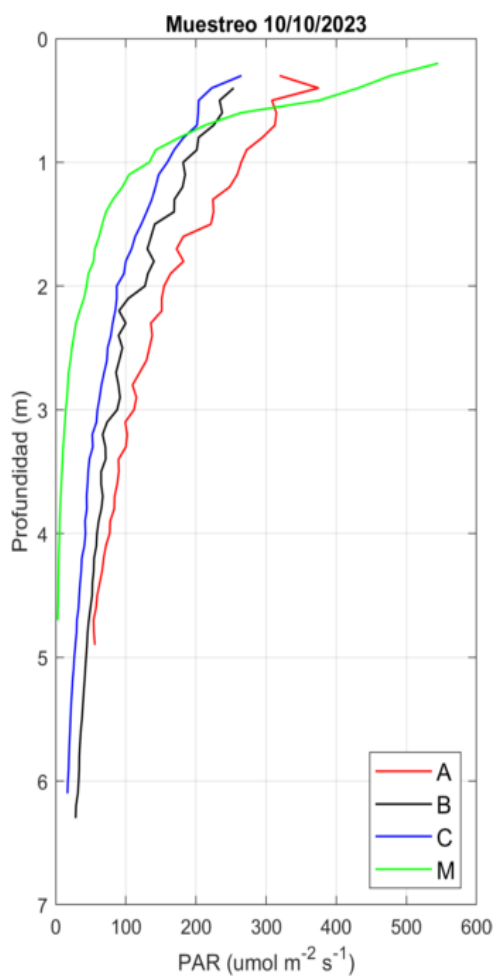


Figura 50. Perfiles de luz PAR obtenidos el día 10/10/23 con el CTD.

Tabla 34. Datos de luz PAR de los perfiles de CTD obtenidos el día 10/10/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
<b>A</b>	0-3 m	109.44 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	374.59 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	210.19 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	76.97 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
<b>A</b>	3-7 m	53.94 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	111.60 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	77.55 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	17.74 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
<b>B</b>	0-3 m	85.92 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	253.79 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	149.31 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	53.54 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
<b>B</b>	3-7 m	28.40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	87.58 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	50.27 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	15.15 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
<b>C</b>	0-3 m	62.59 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	264.86 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	128.31 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	55.66 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
<b>C</b>	3-7 m	16.68 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	59.45 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	34.05 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	12.68 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$



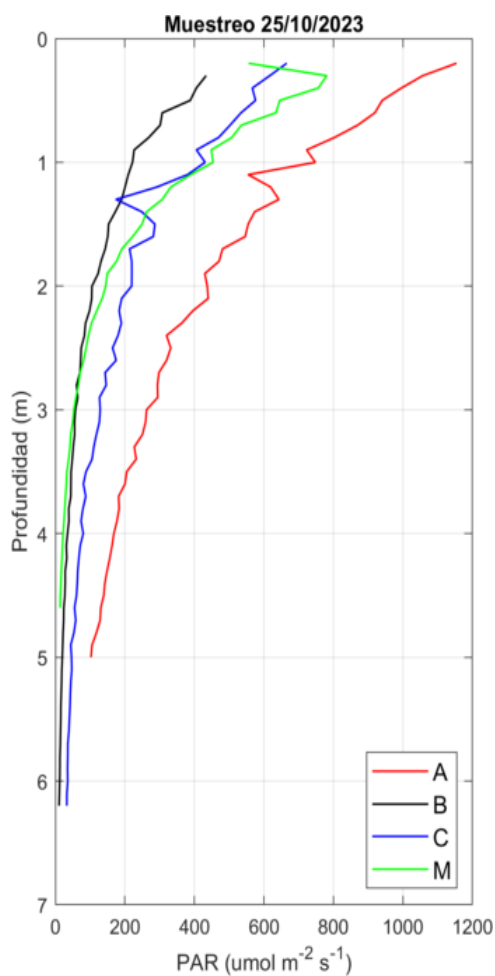


Figura 51. Perfiles de luz PAR obtenidos el día 25/10/23 con el CTD.

Tabla 35. Datos de luz PAR de los perfiles de CTD obtenidos el día 25/10/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
<b>A</b>	0-3 m	293.84 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	1154.20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	592.09 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	255.76 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
<b>A</b>	3-7 m	102.36 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	262.41 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	175.48 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	49.56 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
<b>B</b>	0-3 m	60.94 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	433.72 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	179.66 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	109.08 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
<b>B</b>	3-7 m	10.56 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	57.79 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	28.82 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	14.72 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
<b>C</b>	0-3 m	126.98 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	665.59 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	314.51 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	166.08 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
<b>C</b>	3-7 m	32.98 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	129.03 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	64.53 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	28.45 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

### 7.3.8 Clorofila-a

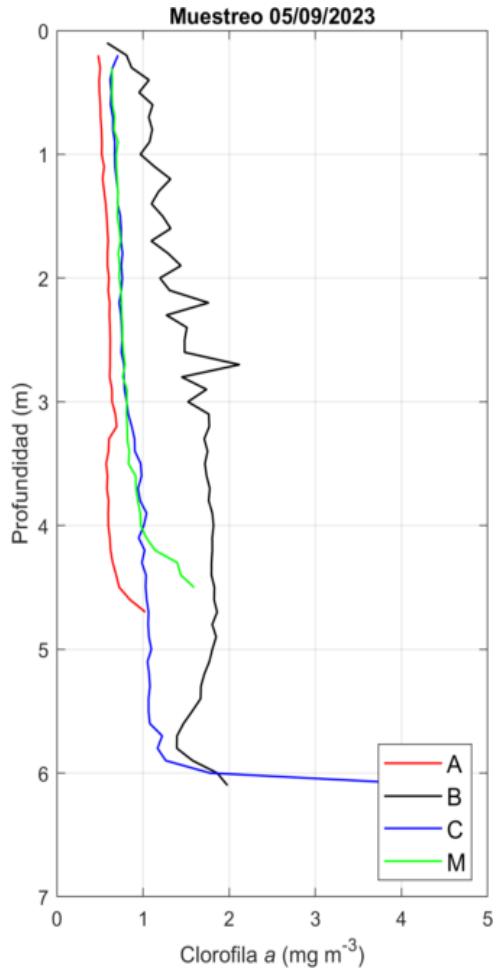


Figura 52. Perfiles de clorofila-a obtenidos el día 05/09/23 con el CTD.

Tabla 36. Datos de clorofila-a de los perfiles de CTD obtenidos el día 05/09/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	0.48 mg m <sup>-3</sup>	0.64 mg m <sup>-3</sup>	0.57 mg m <sup>-3</sup>	0.05 mg m <sup>-3</sup>
A	3-7 m	0.57 mg m <sup>-3</sup>	1.03 mg m <sup>-3</sup>	0.66 mg m <sup>-3</sup>	0.11 mg m <sup>-3</sup>
B	0-3 m	0.58 mg m <sup>-3</sup>	2.12 mg m <sup>-3</sup>	1.24 mg m <sup>-3</sup>	0.31 mg m <sup>-3</sup>
B	3-7 m	1.39 mg m <sup>-3</sup>	1.98 mg m <sup>-3</sup>	1.73 mg m <sup>-3</sup>	0.14 mg m <sup>-3</sup>
C	0-3 m	0.62 mg m <sup>-3</sup>	0.79 mg m <sup>-3</sup>	0.71 mg m <sup>-3</sup>	0.05 mg m <sup>-3</sup>
C	3-7 m	0.81 mg m <sup>-3</sup>	4.55 mg m <sup>-3</sup>	1.16 mg m <sup>-3</sup>	0.64 mg m <sup>-3</sup>

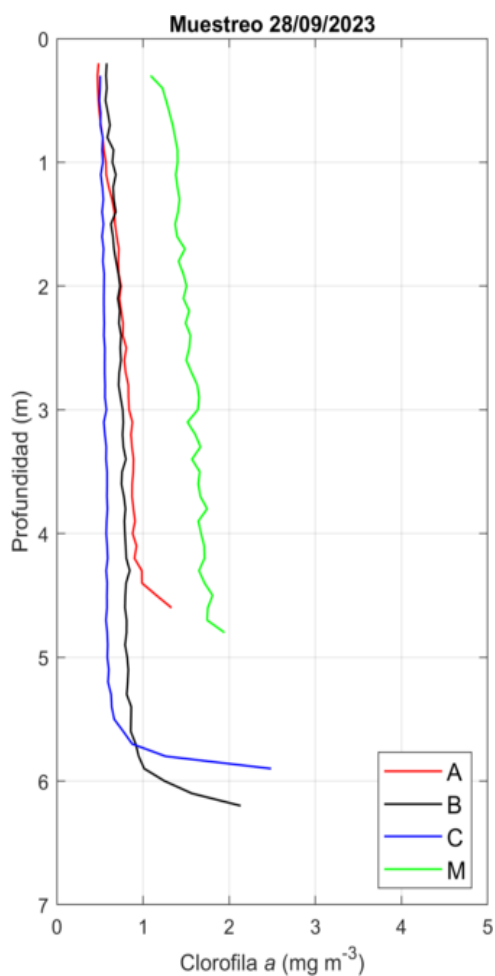


Figura 53. Perfiles de clorofila-*a* obtenidos el día 28/09/23 con el CTD.

Tabla 37. Datos de clorofila-*a* de los perfiles de CTD obtenidos el día 28/09/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	0.47 mg m <sup>-3</sup>	0.83 mg m <sup>-3</sup>	0.66 mg m <sup>-3</sup>	0.12 mg m <sup>-3</sup>
A	3-7 m	0.84 mg m <sup>-3</sup>	1.33 mg m <sup>-3</sup>	0.94 mg m <sup>-3</sup>	0.13 mg m <sup>-3</sup>
B	0-3 m	0.56 mg m <sup>-3</sup>	0.75 mg m <sup>-3</sup>	0.67 mg m <sup>-3</sup>	0.06 mg m <sup>-3</sup>
B	3-7 m	0.75 mg m <sup>-3</sup>	2.13 mg m <sup>-3</sup>	0.89 mg m <sup>-3</sup>	0.27 mg m <sup>-3</sup>
C	0-3 m	0.49 mg m <sup>-3</sup>	0.56 mg m <sup>-3</sup>	0.53 mg m <sup>-3</sup>	0.02 mg m <sup>-3</sup>
C	3-7 m	0.55 mg m <sup>-3</sup>	2.49 mg m <sup>-3</sup>	0.69 mg m <sup>-3</sup>	0.37 mg m <sup>-3</sup>

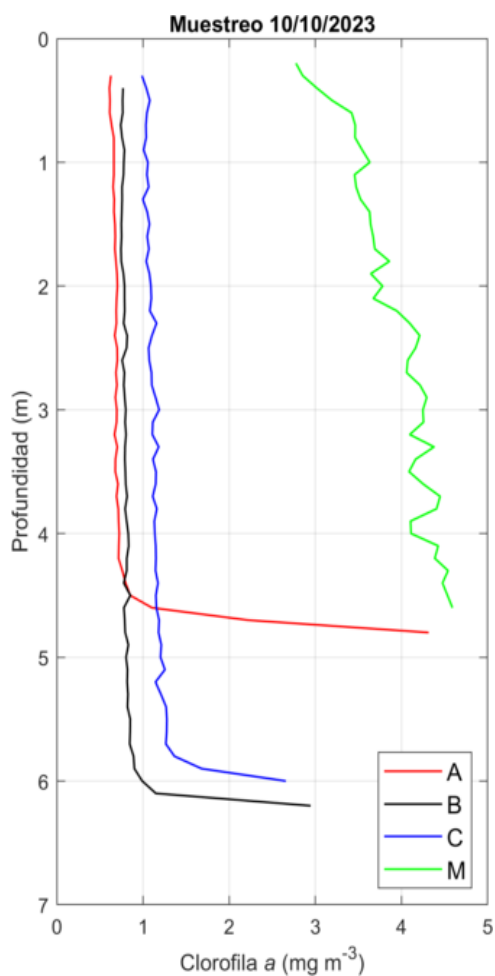


Figura 54. Perfiles de clorofila-*a* obtenidos el día 10/10/23 con el CTD.

Tabla 38. Datos de clorofila-*a* de los perfiles de CTD obtenidos el día 10/10/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	0.61 mg m <sup>-3</sup>	0.70 mg m <sup>-3</sup>	0.67 mg m <sup>-3</sup>	0.03 mg m <sup>-3</sup>
A	3-7 m	0.67 mg m <sup>-3</sup>	4.31 mg m <sup>-3</sup>	1.01 mg m <sup>-3</sup>	0.87 mg m <sup>-3</sup>
B	0-3 m	0.74 mg m <sup>-3</sup>	0.82 mg m <sup>-3</sup>	0.77 mg m <sup>-3</sup>	0.02 mg m <sup>-3</sup>
B	3-7 m	0.78 mg m <sup>-3</sup>	2.95 mg m <sup>-3</sup>	0.90 mg m <sup>-3</sup>	0.37 mg m <sup>-3</sup>
C	0-3 m	0.99 mg m <sup>-3</sup>	1.16 mg m <sup>-3</sup>	1.07 mg m <sup>-3</sup>	0.04 mg m <sup>-3</sup>
C	3-7 m	1.11 mg m <sup>-3</sup>	2.66 mg m <sup>-3</sup>	1.25 mg m <sup>-3</sup>	0.28 mg m <sup>-3</sup>

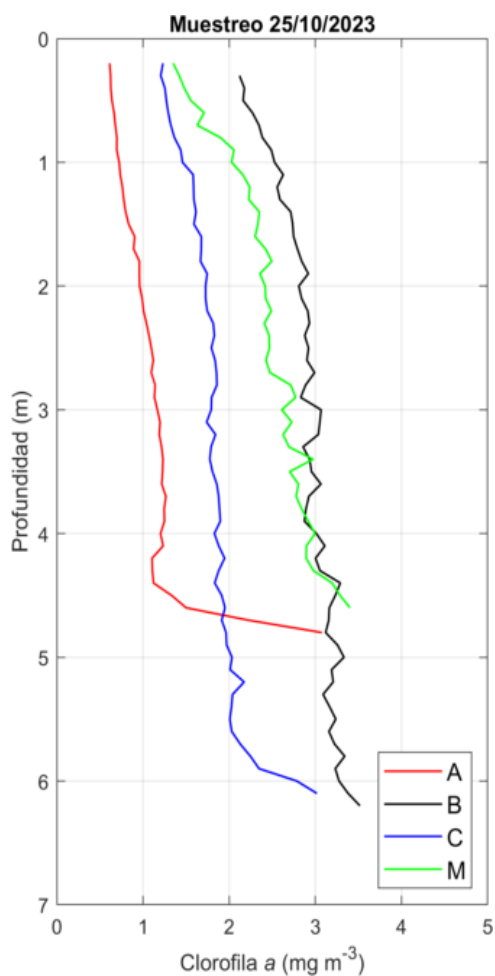


Figura 55. Perfiles de clorofila-*a* obtenidos el día 25/10/23 con el CTD.

Tabla 39. Datos de clorofila-*a* de los perfiles de CTD obtenidos el día 25/10/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	0.61 mg m <sup>-3</sup>	1.14 mg m <sup>-3</sup>	0.87 mg m <sup>-3</sup>	0.18 mg m <sup>-3</sup>
A	3-7 m	1.10 mg m <sup>-3</sup>	3.08 mg m <sup>-3</sup>	1.37 mg m <sup>-3</sup>	0.48 mg m <sup>-3</sup>
B	0-3 m	2.12 mg m <sup>-3</sup>	2.99 mg m <sup>-3</sup>	2.66 mg m <sup>-3</sup>	0.27 mg m <sup>-3</sup>
B	3-7 m	2.86 mg m <sup>-3</sup>	3.52 mg m <sup>-3</sup>	3.13 mg m <sup>-3</sup>	0.16 mg m <sup>-3</sup>
C	0-3 m	1.21 mg m <sup>-3</sup>	1.86 mg m <sup>-3</sup>	1.59 mg m <sup>-3</sup>	0.21 mg m <sup>-3</sup>
C	3-7 m	1.74 mg m <sup>-3</sup>	3.02 mg m <sup>-3</sup>	2.01 mg m <sup>-3</sup>	0.27 mg m <sup>-3</sup>