

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 (diciembre 2023)

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

Fuentes de Financiación:

- Proyecto DMMEM. IEO-CSIC.
- Proyecto BELICH, IEO-CSIC: Marco de Actuaciones 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

Este informe debe citarse de la siguiente forma:

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

Índice

1. Resumen y conclusiones	4
2. Antecedentes y objeto del informe	5
3. Marco de trabajo	6
3.1. Variables de estudio.....	6
3.2. Fuentes de datos.....	8
3.2.1. Muestreos in situ	8
3.2.2. Boya piloto SMLG.....	9
3.2.3. Datos satelitales	9
3.2.4. Sensores de luz PAR	10
4. Resultados.....	11
4.1. Temperatura	11
4.2. Salinidad.....	15
4.3. Concentración de la clorofila-a	18
4.3.1. Clorofila satelital	21
4.4. Turbidez.....	24
4.5. Oxígeno.....	30
4.6. pH.....	32
4.7. Nutrientes totales	35
4.8. Comunidades de zooplancton	38
5. Bibliografía	39
6. Listado de abreviaturas	40
7. Anexos	41
7.1. Anexo I: Boya piloto SMARTLAGOON	41
7.2. Anexo II: Metodología	43
7.2.1. Temperatura.....	43
7.2.2. Clorofila-a.....	44
7.2.3. Turbidez.....	45
7.2.4. Oxígeno disuelto	46
7.2.5. pH	46
7.2.6. Nutrientes	47
7.2.7. Comunidades microbianas y de fitoplancton.....	47
7.2.8. Comunidades de zooplancton.....	48
7.2.9. Comunidades de macrófitos bentónicos	48
7.3 Anexo III: Perfiles CTD.....	49
7.3.1 Temperatura.....	49
7.3.2 Salinidad	53
7.3.3 Saturación de O ₂	57
7.3.4 Concentración de O ₂	61
7.3.5 Turbidez.....	65
7.3.6 pH	69
7.3.7 Luz PAR.....	73
7.3.8 Clorofila.....	78

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 octubre de 2023:

- La temperatura del Mar Menor en otoño ha sido ligeramente más baja en 2023 respecto a 2022, lo que contrasta con las altas temperaturas que se han registrado el resto del año. A nivel global, la temperatura media anual de la laguna continúa su tendencia de calentamiento a una tasa de $+0,037^{\circ}\text{C}$ por año, resultando en un incremento neto de unos 2°C en las últimas cuatro décadas (Apartado 4.1).

- La salinidad ha continuado con la tendencia ascendente propia de la época otoñal tal y como observamos en el anterior informe (Octubre 2023), alcanzando máximos que no se registraban desde antes de las lluvias torrenciales (DANAs) de 2019 (Apartado 4.2).

- A partir de 2020 la mayor parte de los eventos de precipitaciones no han superado los 50mm anuales y en ningún caso se han producido procesos de estratificación termo-halina susceptibles de afectar las concentraciones de oxígeno en el fondo, ni siquiera en aquellos pocos casos en los que sí se superó el mencionado umbral de precipitación.

- La clorofila se ha mantenido en valores relativamente bajos respecto al periodo anterior (otoño), mostrando un máximo de 2.7 mg m^{-3} a principios de diciembre en la estación M. Aun así, siguen siendo valores visiblemente más elevados que los registrados en el resto de la laguna (Apartado 4.3).

- El algoritmo desarrollado para estimar concentraciones de clorofila está demostrando ser bastante realista, de acuerdo con la variabilidad espacial y temporal de esta variable clave en la laguna (Apartado 4.3.1).

- Los altos niveles de turbidez registrados en octubre de 2023 (ver anterior informe) han disminuido a finales de este año hacia niveles similares a los registrados en invierno y principio de primavera del mismo año, a excepción de los valores registrados en la estación M (la zona de blanqueamiento del agua) que siguen siendo extremadamente elevados (Apartado 4.4). En esta zona, los niveles de luz PAR que alcanzan el fondo están por debajo de los niveles críticos para el crecimiento y supervivencia de la vegetación bentónica, lo cual es consistente con la casi total ausencia de macrófitos en esta parte de laguna. En el resto de la albufera los niveles de luz PAR que alcanzan el fondo están por encima de dichos valores críticos y son óptimos para el desarrollo de la vegetación bentónica.

- Los niveles de oxígeno han continuado con la tendencia ascendente propia de otoño, llegando a valores medios de 8 mg/l. Son, en general, valores óptimos y no se han detectado indicios ni riesgo de anoxia, ni siquiera en la zona de blanqueamiento del agua (estación M) (Apartado 4.5).

- 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 (Apartado 4.6).

- Respecto al resto de las variables analizadas (nutrientes, fitoplancton y zooplancton) no se ha añadido nueva información respecto al informe anterior, por lo que se mantienen las mismas conclusiones con carácter provisional hasta nueva actualización.

En conjunto, y a excepción de la zona ocupada por la denominada “mancha blanca”, los parámetros descriptores del estado de la columna de agua indican que 2023 ha sido un período aparentemente estable del ecosistema lagunar. No obstante, esta estabilidad no puede ser interpretada en términos de recuperación del ecosistema lagunar pues puede ser una etapa transitoria debido a, por ejemplo, factores climáticos. Por otro lado, la tendencia creciente del pH es indicativa de un cambio de estado del ecosistema y en las actividades de seguimiento biológico no se están obteniendo síntomas de recuperación de hábitats y especies clave como las comunidades de macrófitos bentónicos.

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).

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 CO₂, 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 (μM): 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 (Ouaissa et al., 2023).

Concentración de la clorofila-a (mg/m³): indicador de la calidad del agua en ecosistemas marinos costeros, especialmente en aguas eutrofizadas como las del Mar Menor (Ouaissa 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 (Ouaissa 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 (Kd) y compararla con la obtenida en los muestreos periódicos *in situ* con menor resolución temporal.

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. El otoño, en cambio, ha sido ligeramente más frío que en 2022, con una temperatura media de 18.3°C en 2023 respecto a los 18.7°C del otoño de 2022. En términos anuales, la temperatura media de la laguna ha sido la más alta de los últimos 4 años (21.9°C), obteniendo valores muy bajos en invierno (10.6°C de temperatura mínima) y valores máximos en verano que nunca se habían alcanzado desde que se empezaron a realizar los muestreos *in situ* (31.2°C) (Tabla 2).

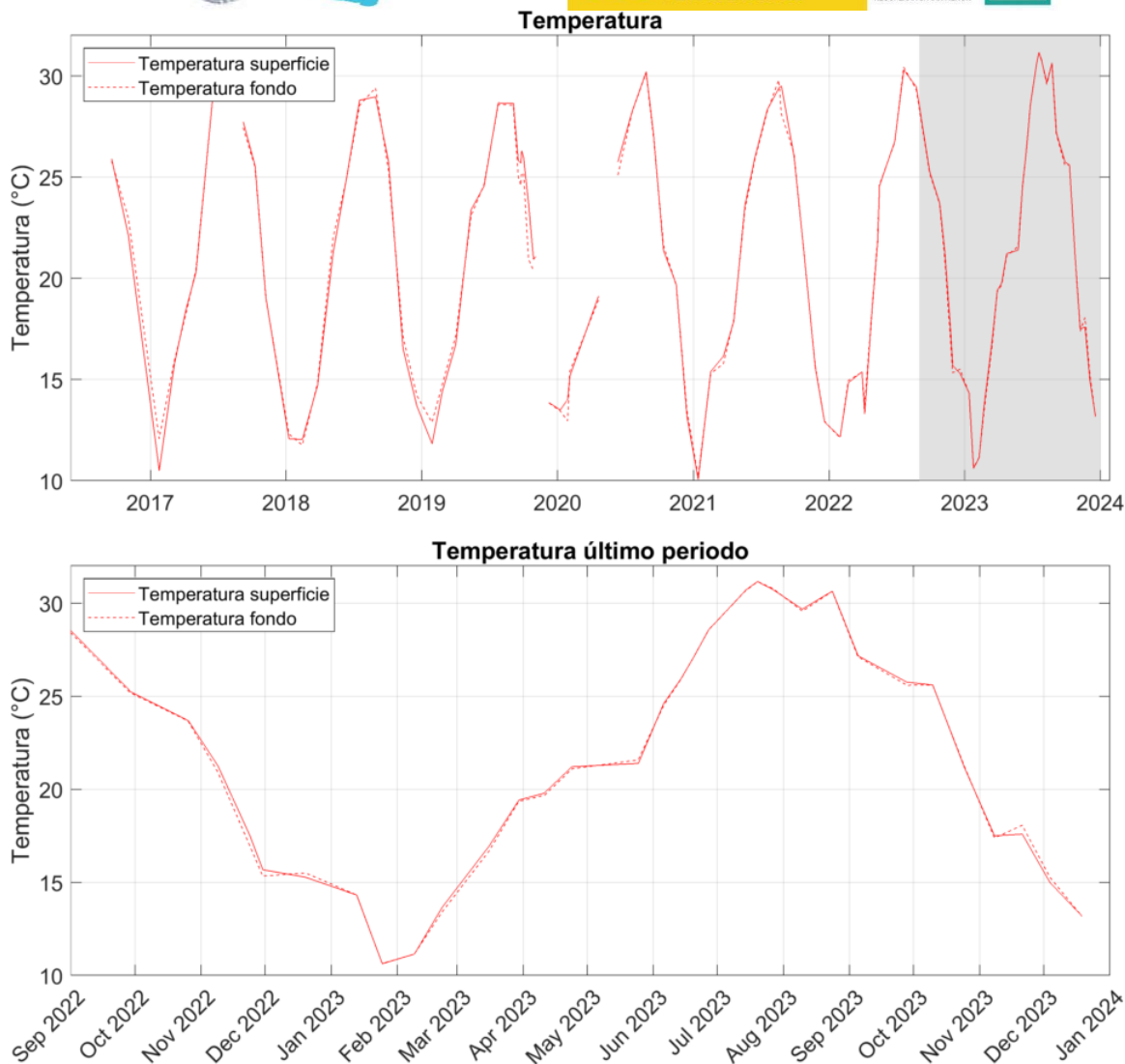


Figura 2: Temperatura media superficial (0.5 m; línea continua) y temperatura media del fondo (entre 4 y 6m dependiendo de la estación, Figura 1; línea discontinua) registradas en el último año natural durante los muestreos in situ del proyecto DMMEM y BELICH en las estaciones de muestreo A, B, C y M (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. Figura 1), medidos durante los muestreos *in situ* DMMEM por año. Std: desviación estándar.

Tª (°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	2.2	25.6	31.2
	Otoño	18.3	4.5	13.2	25.6	18.46	4.4	21.2	25.6
	Anual	21.9	6.6	10.6	31.2	21.94	6.6	10.6	31.2

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 series temporales de temperatura con muy alta resolución temporal y a varias profundidades (cada 1 m; Figura 3). A partir de estos datos se han identificado episodios de leve estratificación térmica, debido al leve calentamiento de las capas de agua más superficiales (0.5 metros de profundidad) durante días soleados.

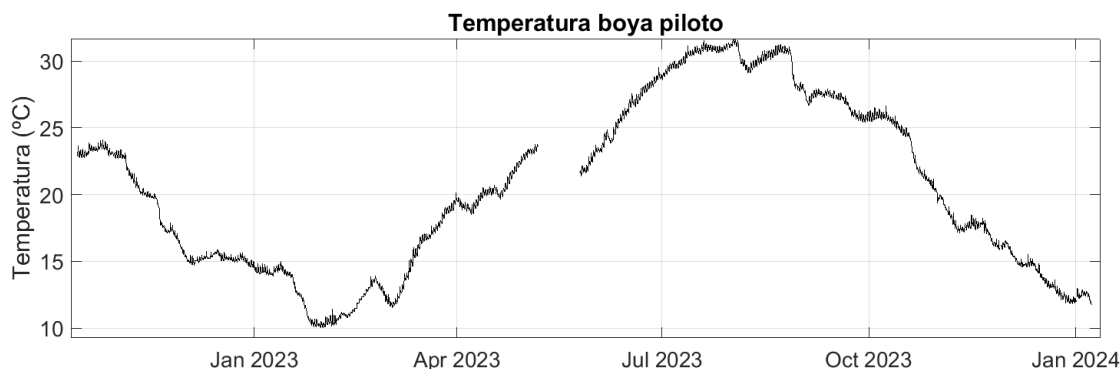


Figura 3: Serie temporal de temperatura media obtenida por los sensores térmicos de la boya piloto SMLG, calibrados con los datos de CTD obtenidos por el IEO-CSIC.

Entre febrero y principios de mayo, la gráfica muestra el rápido calentamiento del agua hasta valores máximos de 24°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°C en julio y agosto, lo que es consistente con los datos mostrados en el apartado anterior (Tabla 2). Como es propio de la época otoñal, la serie temporal muestra importantes descensos de temperatura, los más fuertes han ocurrido a finales de agosto y finales de octubre, mostrando anomalías térmicas de hasta -2°C en apenas 2 días.

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 cuatro décadas del orden de 2°C de calentamiento en total, con una tasa de cambio de +0.037°C por año.

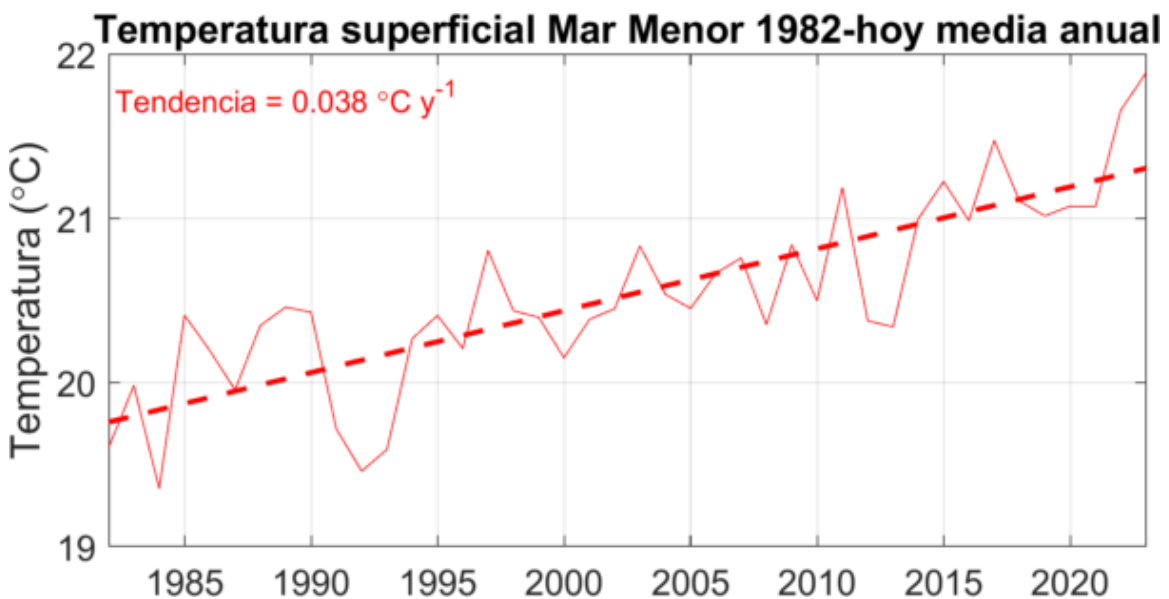


Figura 4: Serie temporal de temperatura superficial media anual desde 1982 hasta 2023 obtenida a partir de datos satelitales. La temperatura superficial mostró una tasa de cambio de +0.037°C por año en el periodo de estudio.

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 y muy intensos de lluvias torrenciales (>100 mm p.e. enero 2017 y septiembre-octubre 2019).

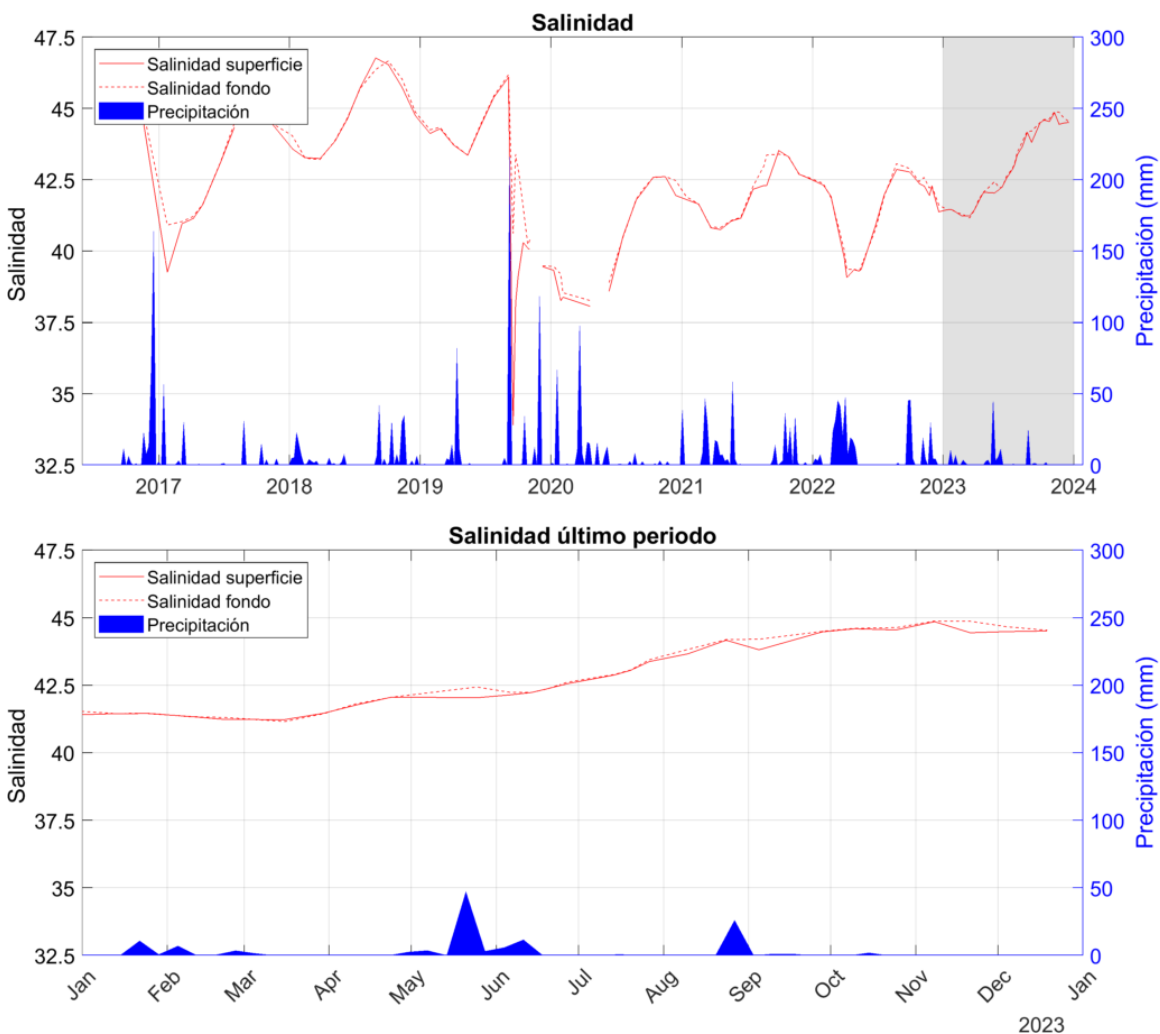


Figura 5: Datos de salinidad promedio en superficie (0.5m; rojo continuo) y fondo (entre 4 y 6m dependiendo de la estación, Figura 1; rojo discontinuo) en las estaciones de muestreo A, B, C y M de los muestreos del proyecto DMMEM y BELICH durante el último año natural. Datos de precipitación en el aeropuerto 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.

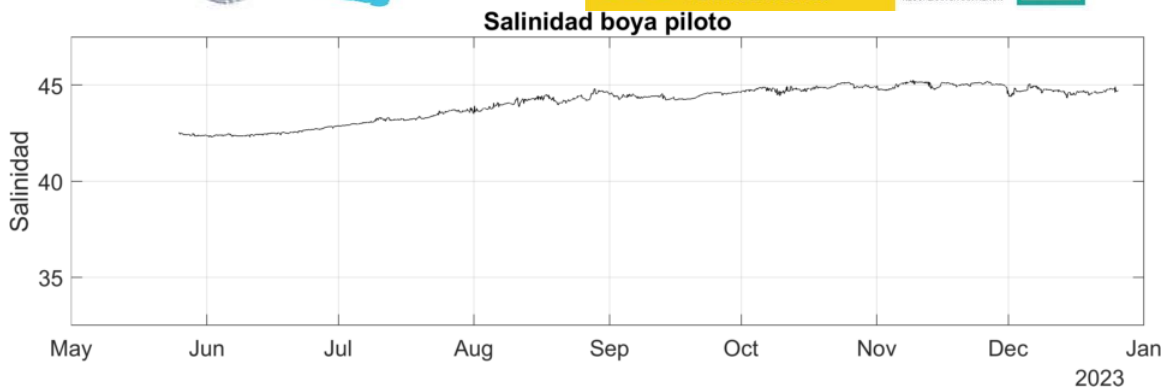


Figura 6: Datos de salinidad de la boya piloto.

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	41.2	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	0.1	44.4	44.9	44.7	0.1	44.6	44.9
	Anual	42.9	1.3	41.2	44.9	43.0	1.3	41.2	44.9

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 las Figuras 5 (CTD) y 6 (boya piloto) 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 llegar a valores cercanos a 45, niveles que no se alcanzaban desde las DANAs de 2019 (Tabla 3).

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 0.7-1.4 mg/m³, 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 (valores máximos de 5.1 en otoño de 2023; Figura 7. Tabla 4). En octubre y diciembre de 2023 se han observado dos aumentos de clorofila en la estación M, alcanzando valores de 5.1 mg/m³ y 2.7 mg/m³, respectivamente. En el resto de estaciones, en cambio, solo se registró un pico a finales de octubre con 2.0 mg/m³ de

clorofila. Todos estos incrementos de concentración de clorofila han experimentado una estabilización posterior, retornando a los niveles que se venían registrando a lo largo de 2023 (Figura 7).

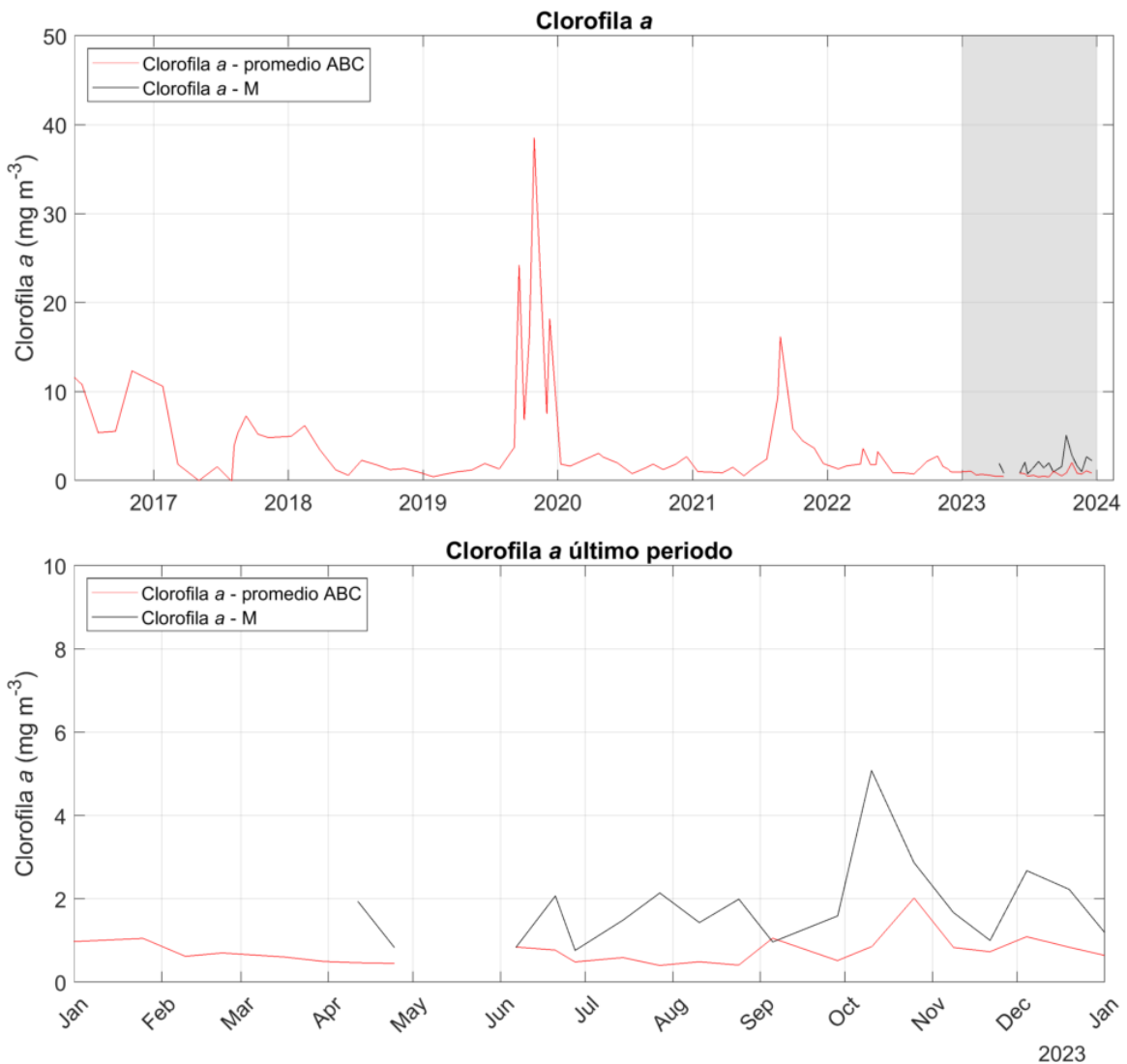


Figura 7: Datos de clorofila-a obtenidos en los muestreos del proyecto DMMEM y BELICH durante el último año en las estaciones de muestreo A, B, C y M de la laguna del Mar Menor. En la parte superior se muestra la serie desde 2016 y en la parte inferior el último año.

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 a (mg/m ³)		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	1.44	0.55	0.80	2.24
	Anual	0.96	0.43	0.50	2.24

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.

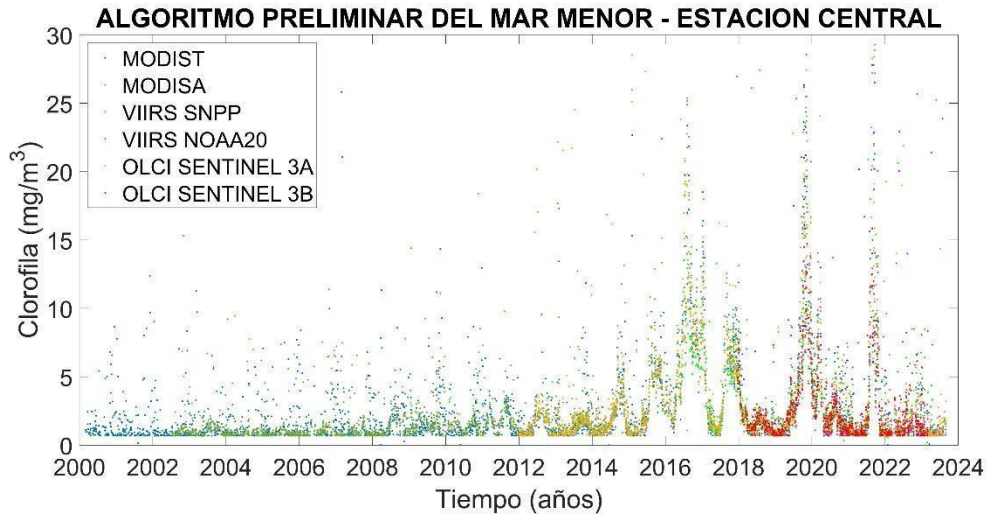


Figura 1: Evolución de la concentración de clorofila-a en una localidad central del Mar Menor aplicando el algoritmo preliminar desarrollado específicamente para la laguna, y para varios sensores satelitales.

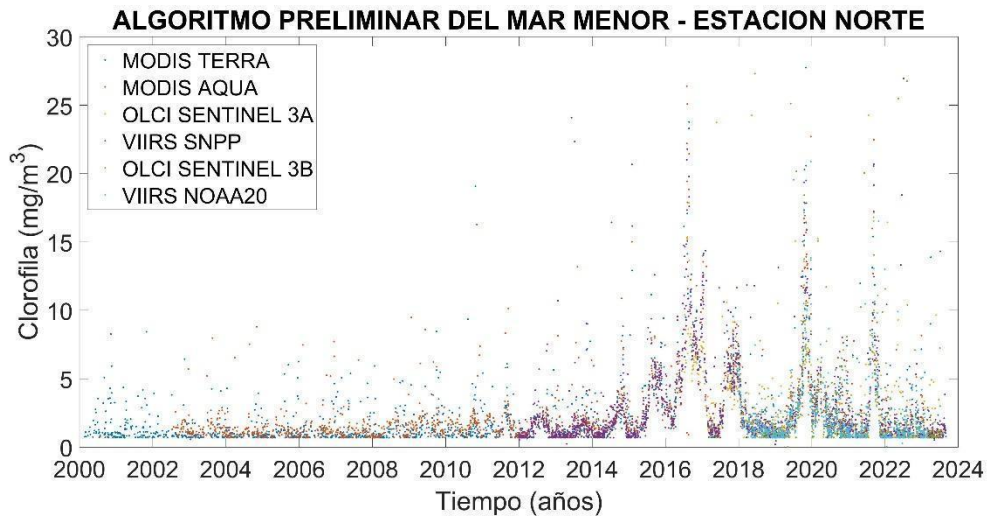


Figura 2: Evolución de la concentración de clorofila-a en una localización significativa de la cubeta norte del Mar Menor aplicando el algoritmo preliminar específico para la laguna para varios sensores satelitales.

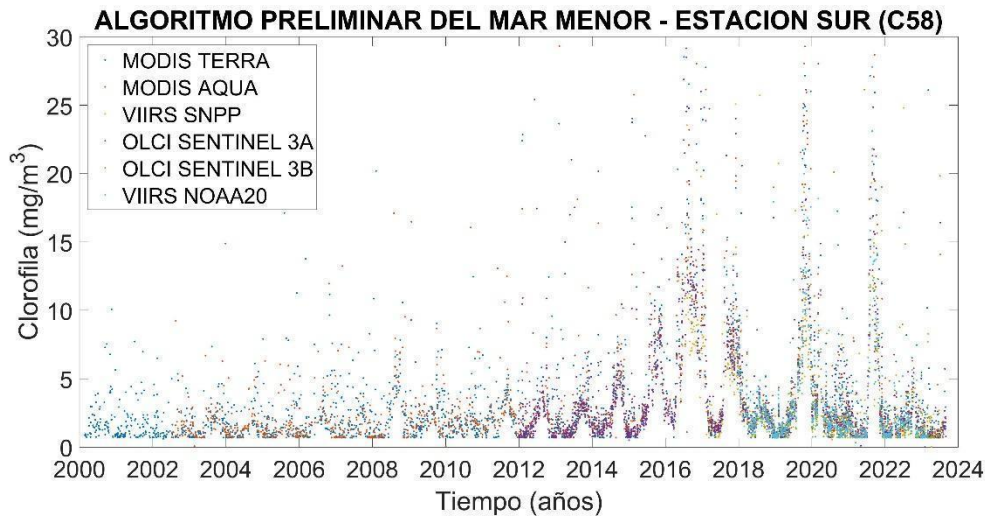


Figura 3: Evolución de la concentración de clorofila-a en una localización significativa de la cubeta sur del Mar Menor aplicando el algoritmo preliminar específico para la laguna para varios sensores satelitales.

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.

A partir de los datos obtenidos con este algoritmo, se han realizado mapas de concentración de clorofila, que permiten ver la evolución y variabilidad espacial de esta variable en la laguna (Figura 12). En los siguientes informes, se empezarán a incluir estos mapas en el monitoreo de la clorofila, lo que nos permitirá obtener una mayor resolución espacial de esta variable en el monitoreo realizado.

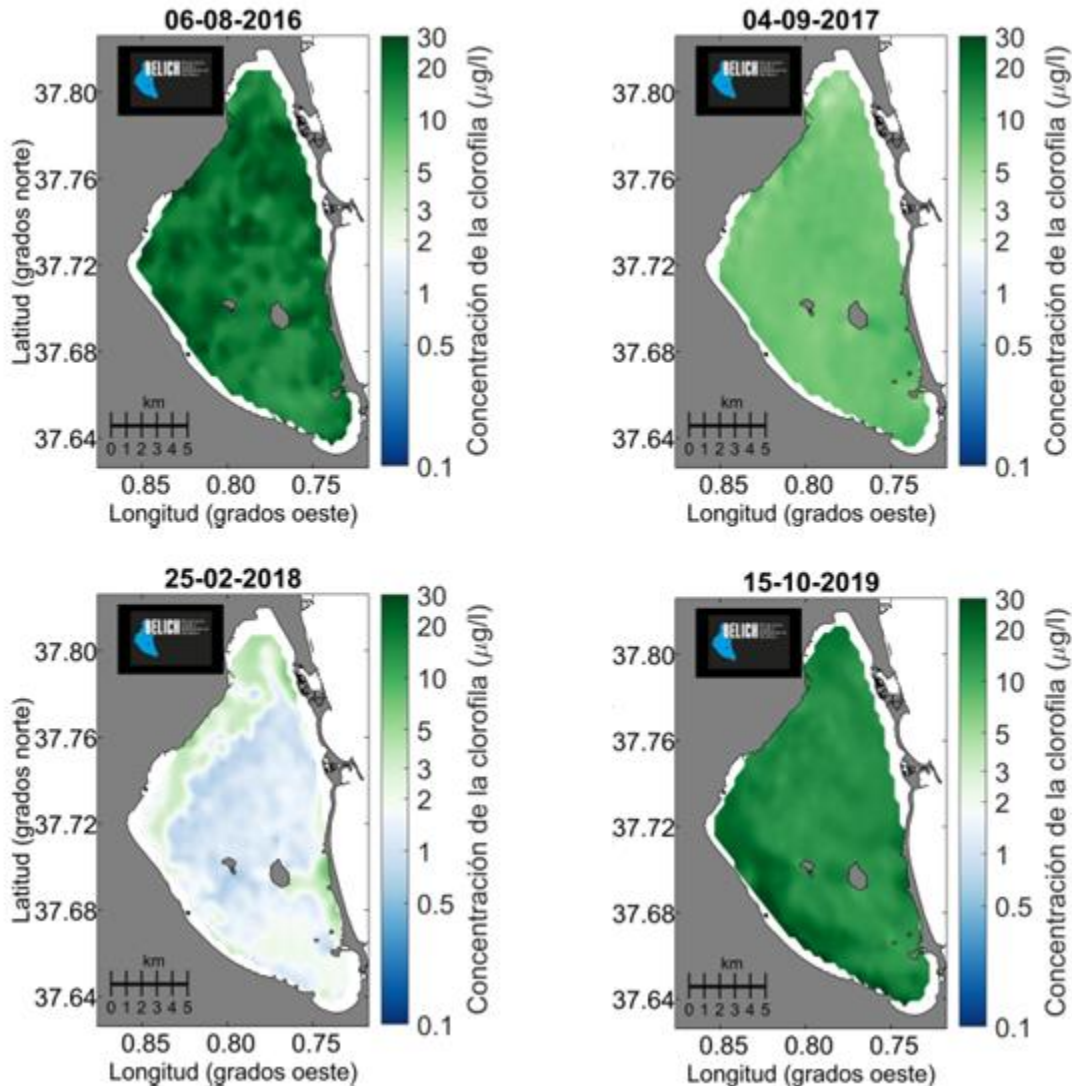


Figura 12: Mapas de concentración de clorofila obtenidos con el algoritmo preliminar desarrollado para el Mar Menor, durante diferentes periodos entre 2016 y 2019.

4.4. Turbidez

A partir de los datos de radiación PAR registrados en los muestreos *in situ*, y los sensores instalados en el fondo de forma permanente, la transparencia de la columna de agua (K_d , coeficiente de extinción de la luz; Tabla 5 y Figura 13) muestra una dinámica general similar a la clorofila-*a*, pero mucho más variable en determinados momentos. En general, se aprecia una leve tendencia descendente de los valores medios de extinción de luz en toda la laguna, que se refleja en aguas relativamente más transparentes desde finales de 2022.

En 2023, los valores medios de K_d se reducen casi a la mitad durante los meses de invierno (0.2 m^{-1}) y aumenta hacia valores medios de 0.4 en primavera, verano y otoño (Tabla 5; Figura 13). 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 y tampoco afectó mucho a la turbidez del agua. La turbidez disminuyó ligeramente debido a las lluvias mencionadas, incluyendo las que ocurrieron a principios de septiembre, pero volvió a valores basales pocos días después. En octubre de 2023, se observaron los valores máximos de K_d registrados en el presente año (1.15 en el punto M y 0.6 en los puntos A, B y C. Figura 13. Tabla 5), aunque no estuvieron relacionados con las precipitaciones sino más bien con el máximo de clorofila observado en este mes del año (ver apartado anterior).

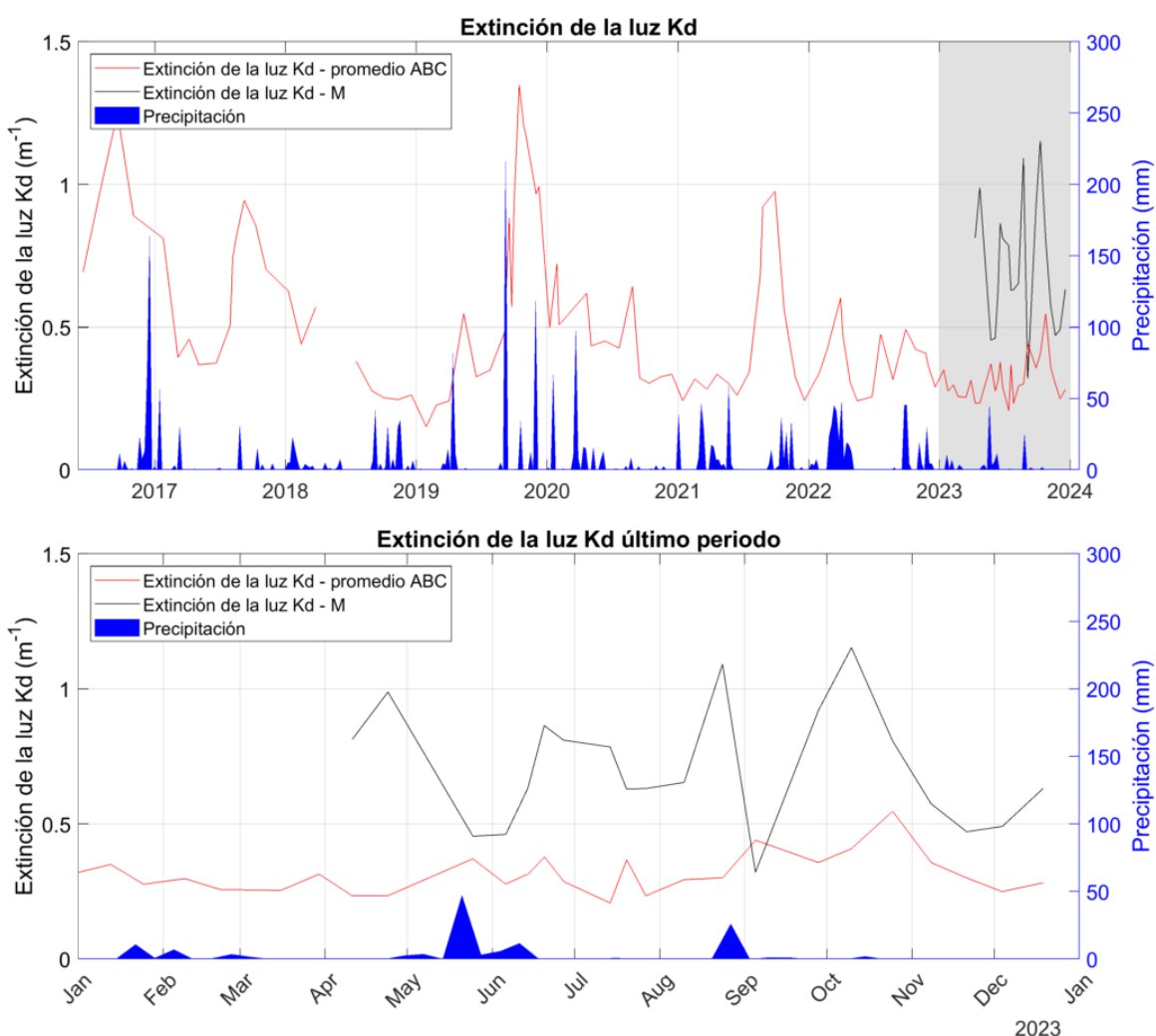


Figura 13: Coeficiente de extinción de la luz a partir de los datos obtenidos en los muestreos del proyecto DMMEM y BELICH en las estaciones de muestreo A, B, C y M, comparado con la precipitación en el aeropuerto de San Javier obtenido a partir de los datos de la AEMET. En la parte superior se muestra la serie desde 2016 y en la parte inferior el último año.

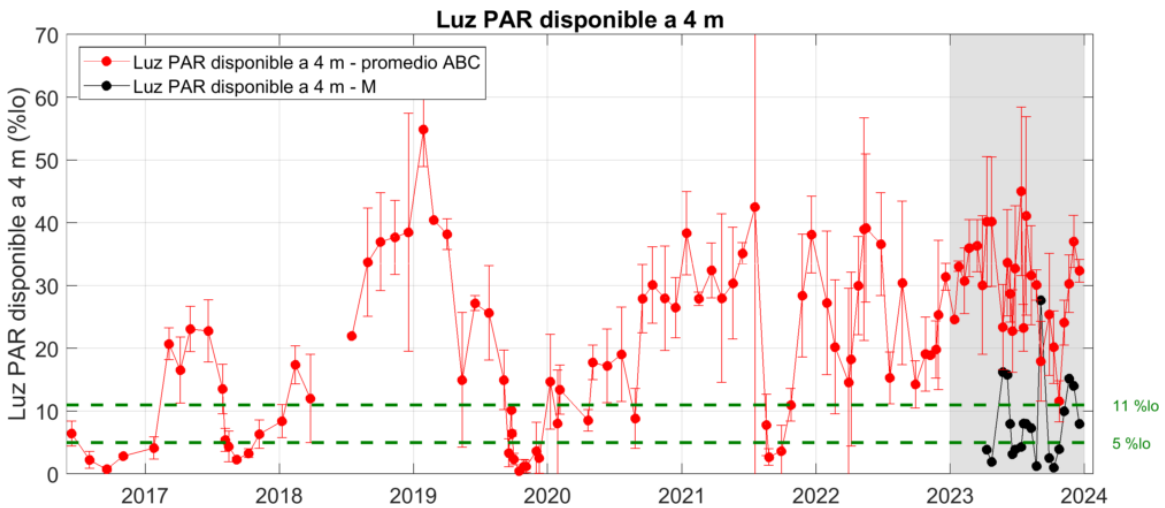
Tabla 5: Valores mínimos y máximos de extinción de la luz medidos durante los muestreos *in situ* de cada año.

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	0.44	0.13	0.31	0.61
	Anual	0.39	0.09	0.25	0.61

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 (%lo), macroalgas y angiospermas marinas. Como se aprecia en la Figura 14, en la estación M se han registrado valores medios de irradiancia PAR en el fondo que el 75% del tiempo se encuentran por debajo de los niveles críticos para el crecimiento fotosintético de los macrófitos bentónicos (<10% respecto a la radiación superficial), debido a la turbidez extrema registrada. Esta observación es consistente con la casi total ausencia de vegetación bentónica en el área de la superficie ocupada por la pluma de agua blanca (datos no incluidos en este informe).

Esta turbidez tan extrema de la estación M 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 (1 semana aprox.), 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 disminución también se ha registrado en otoños de años anteriores, y al igual que ocurrió en dichos años, a finales de octubre se revirtió esta tendencia. Durante dicho periodo, los valores aumentaron, superando los niveles críticos para el crecimiento fotosintético en los puntos A, B y C (Figura 14).



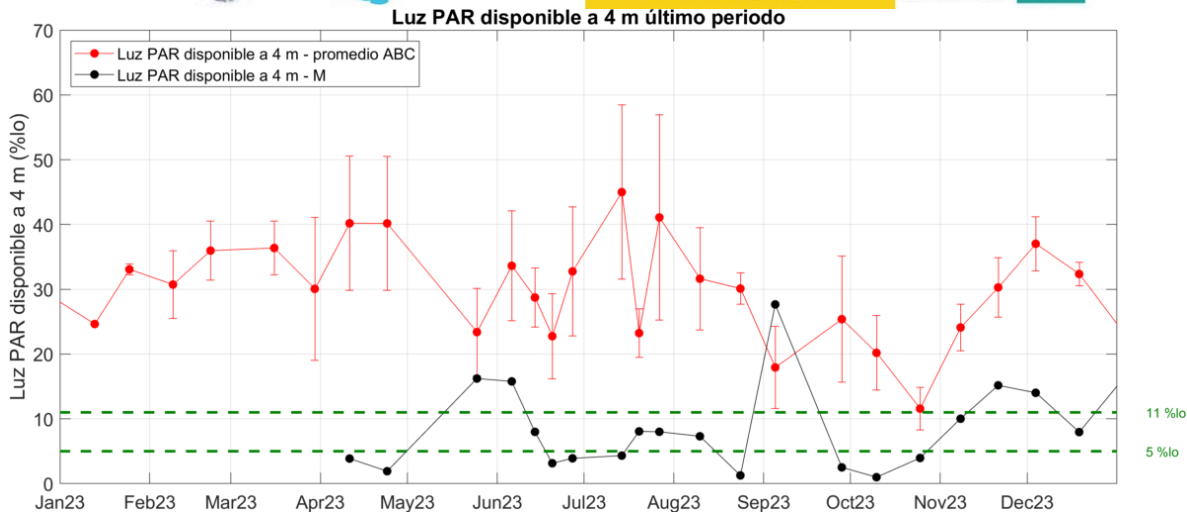


Figura 14: Evolución del porcentaje de radiación PAR que atraviesa la superficie del agua y que alcanza la profundidad de 4 metros. La línea negra muestra la media de la luz PAR que alcanza los 4 m en los puntos de muestreos A, B y C. La línea continua verde representa la luz PAR disponible a 4 m en 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 15 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_d) 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.

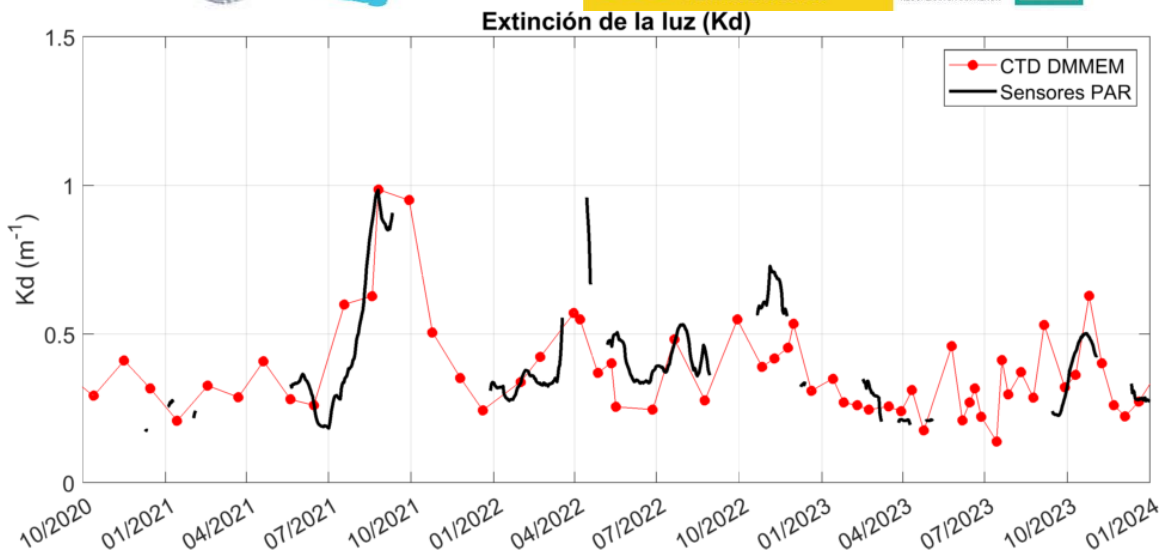


Figura 15: Comparación de la serie temporal de extinción de la luz (Kd) obtenida durante los muestreos periódicos en comparación con los datos obtenidos a partir de los sensores PAR instalados en dos puntos en la laguna del Mar Menor.

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 2022-2023 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. 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. A partir del mes de septiembre, la variable experimentó una inversión en su tendencia descendente, logrando la recuperación de valores de 8.0 mg/l durante la estación de otoño (Tabla 6; Figura 16).

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.

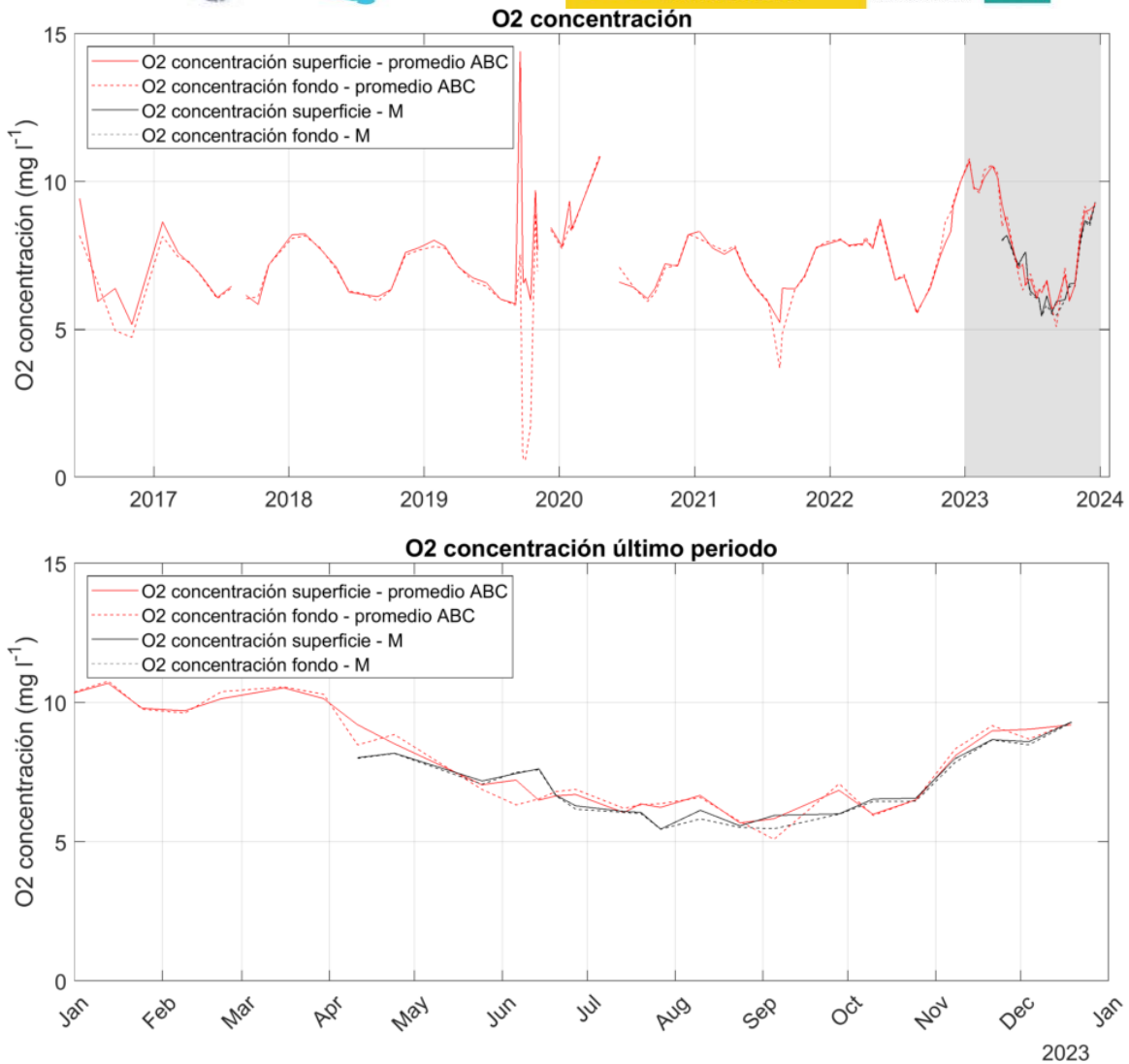


Figura 16: Series temporales promedio de oxígeno disuelto para las capas superficiales (0.5 m; línea continua) y de fondo (entre 4 y 6m dependiendo de la estación, Figura 1; línea discontinua) de los muestreos del proyecto DMMEM y BELICH para las estaciones de muestreo A, B, C y M de la laguna del Mar 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	8.0	1.3	6.1	9.2	8.0	1.4	6.1	9.3
	Anual	7.8	1.7	5.7	10.7	7.8	1.7	5.2	10.8

4.6. pH

Los valores promedio del pH del Mar Menor se muestran en la Figura 17 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, valores que se mantienen en 2023 (Figura 17, Tabla 7).

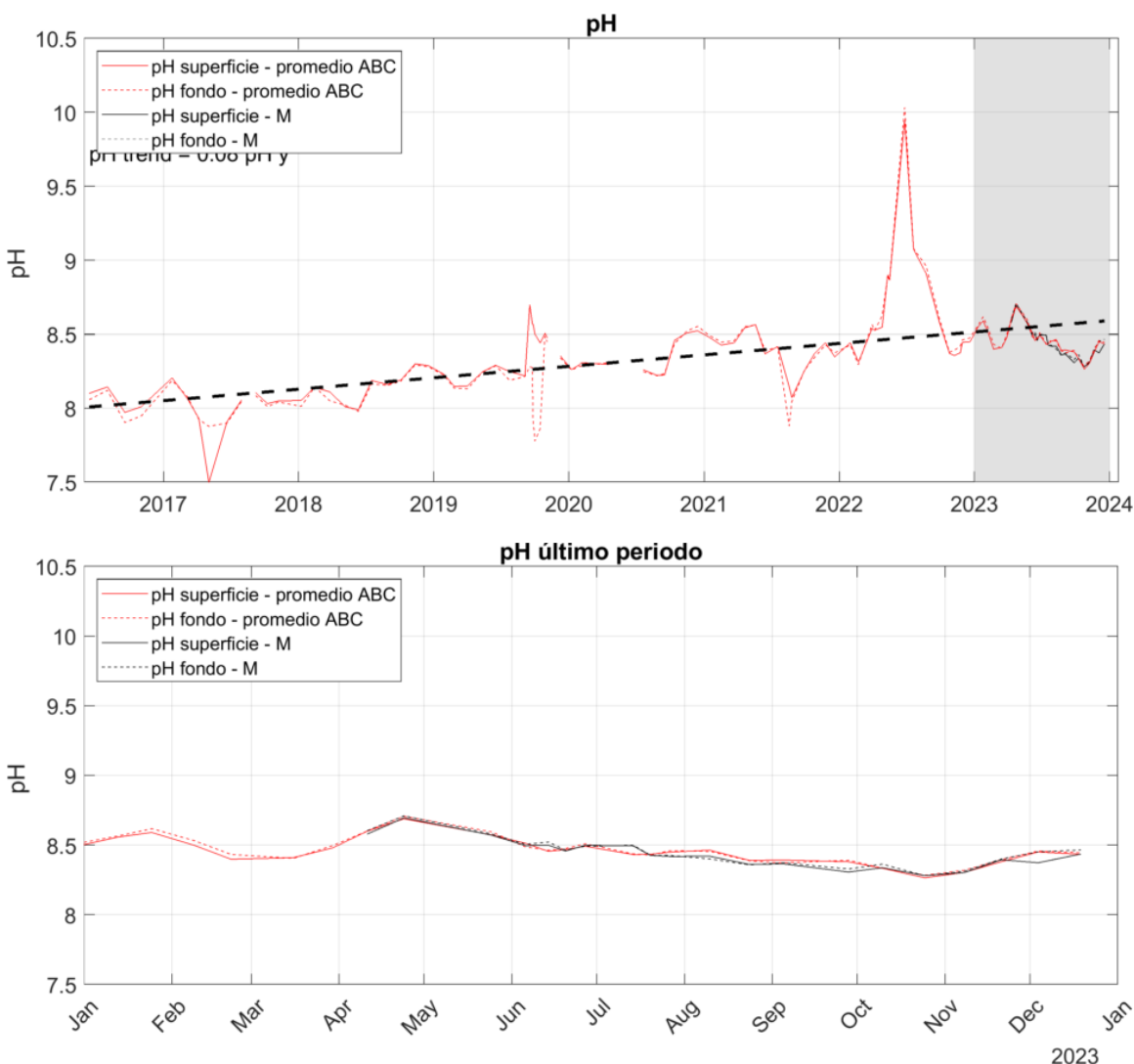


Figura 17: Valores de pH superficial (0.5m; línea continua) y pH del fondo (entre 4 y 6m dependiendo de la estación, Figura 1; línea discontinua) de los muestreos del proyecto DMMEM y BELICH en las estaciones de muestreo A, B, C y M de la laguna del Mar Menor durante el último año natural.

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. Figura 1), 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	8.06	0.12	7.97	8.14	8.01	0.15	7.90	8.12
	Otoño	8.01	0.00	8.01	8.01	7.95	0.00	7.95	7.95
	Anual	8.06	0.08	7.97	8.14	8.01	0.10	7.90	8.12
2017	Invierno	8.13	0.10	8.06	8.20	8.13	0.08	8.08	8.19
	Primavera	7.78	0.24	7.50	7.93	7.90	0.02	7.88	7.93
	Verano	8.08	0.03	8.06	8.10	8.07	0.03	8.05	8.09
	Otoño	8.04	0.01	8.03	8.05	8.03	0.02	8.01	8.04
	Anual	7.98	0.20	7.50	8.20	8.02	0.10	7.88	8.19
2018	Invierno	8.10	0.04	8.05	8.14	8.07	0.07	8.01	8.14
	Primavera	8.00	0.01	7.99	8.01	8.00	0.03	7.98	8.02
	Verano	8.17	0.02	8.16	8.19	8.16	0.01	8.15	8.16
	Otoño	8.26	0.06	8.19	8.30	8.25	0.06	8.18	8.29
	Anual	8.14	0.11	7.99	8.30	8.13	0.11	7.98	8.29
2019	Invierno	8.19	0.06	8.15	8.23	8.18	0.06	8.14	8.22
	Primavera	8.23	0.07	8.15	8.29	8.22	0.08	8.13	8.29
	Verano	8.46	0.21	8.22	8.70	8.18	0.15	7.92	8.28
	Otoño	8.45	0.06	8.35	8.51	8.18	0.34	7.78	8.49
	Anual	8.38	0.17	8.15	8.70	8.19	0.20	7.78	8.49
2020	Invierno	8.29	0.02	8.26	8.31	8.28	0.01	8.26	8.28
	Primavera	8.30	0.00	8.30	8.30	8.31	0.00	8.31	8.31
	Verano	8.24	0.02	8.22	8.26	8.23	0.01	8.22	8.25
	Otoño	8.50	0.03	8.46	8.52	8.50	0.06	8.44	8.55
	Anual	8.34	0.12	8.22	8.52	8.33	0.12	8.22	8.55
2021	Invierno	8.45	0.03	8.43	8.48	8.47	0.03	8.45	8.49
	Primavera	8.49	0.11	8.37	8.56	8.50	0.10	8.39	8.56
	Verano	8.22	0.15	8.07	8.42	8.15	0.23	7.88	8.41
	Otoño	8.38	0.05	8.35	8.44	8.38	0.05	8.34	8.43
	Anual	8.37	0.14	8.07	8.56	8.36	0.20	7.88	8.56
2022	Invierno	8.43	0.11	8.31	8.54	8.43	0.14	8.30	8.57
	Primavera	8.96	0.58	8.53	9.95	8.99	0.60	8.53	10.03
	Verano	8.85	0.25	8.58	9.07	8.88	0.25	8.61	9.08
	Otoño	8.40	0.04	8.36	8.45	8.43	0.04	8.38	8.48

	Anual	8.66	0.41	8.31	9.95	8.69	0.43	8.30	10.03
2023	Invierno	8.49	0.08	8.40	8.59	8.51	0.08	8.41	8.62
	Primavera	8.54	0.08	8.47	8.69	8.55	0.09	8.47	8.71
	Verano	8.42	0.04	8.36	8.45	8.42	0.04	8.37	8.45
	Otoño	8.36	0.07	8.27	8.44	8.37	0.07	8.28	8.46
	Anual	8.45	0.10	8.27	8.69	8.46	0.10	8.28	8.71

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 18). En este periodo destaca la gran variabilidad tanto temporal como espacial (esto es, entre estaciones). 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.

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. 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 18).

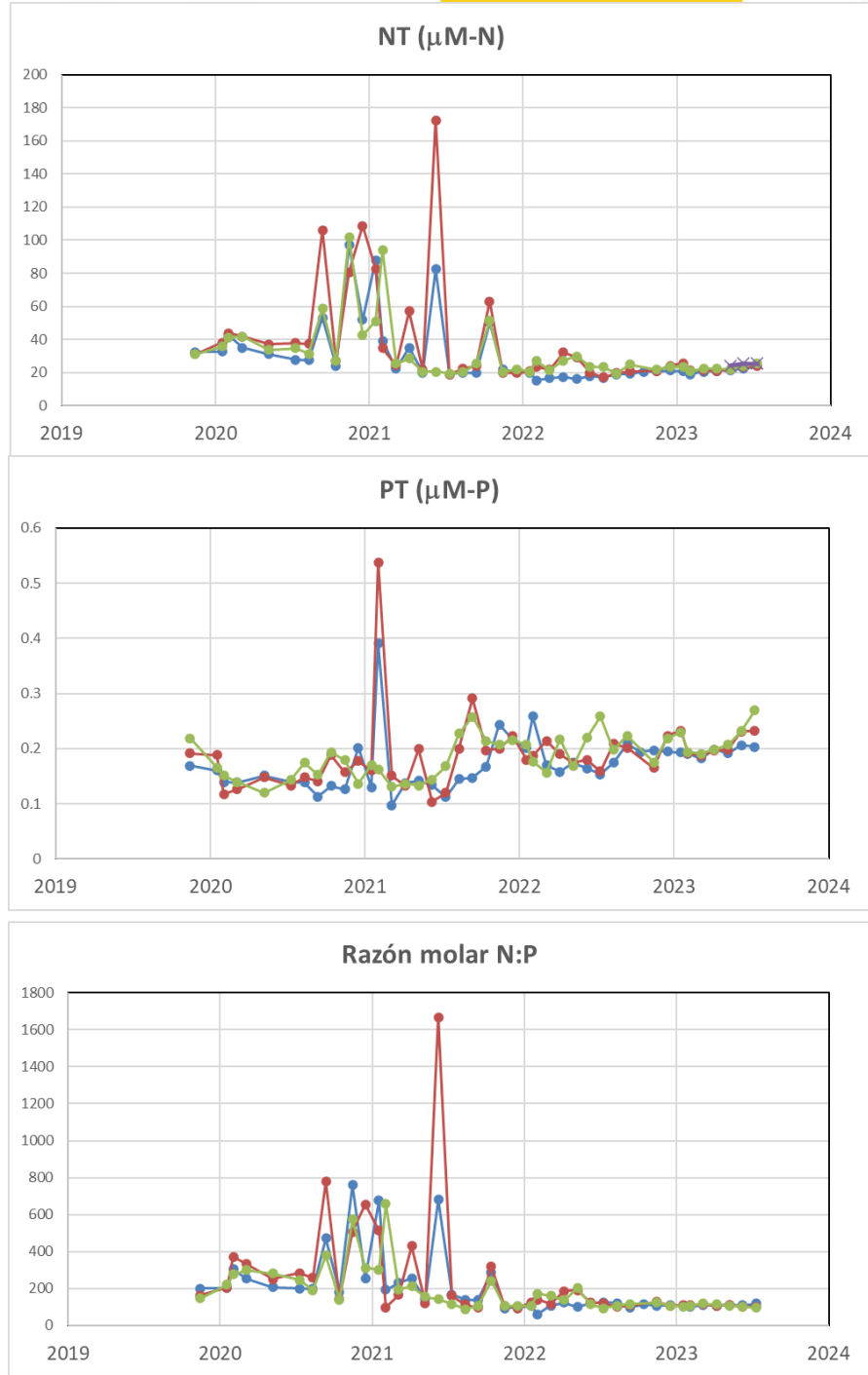


Figura 18: Variabilidad temporal de las concentraciones de nitrógeno (NT, μM) y fósforo (PT, μM) total en las tres estaciones de muestreo (azul: estación A; naranja: estación B; verde: estación C). Se muestra también la evolución temporal de la razón molar nitrógeno:fósforo (N:P) calculada a partir de los datos de NT y PT.

4.8. Comunidades de zooplancton

Los datos analizados hasta ahora (Figura 19) 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 microfitorplancton, 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).

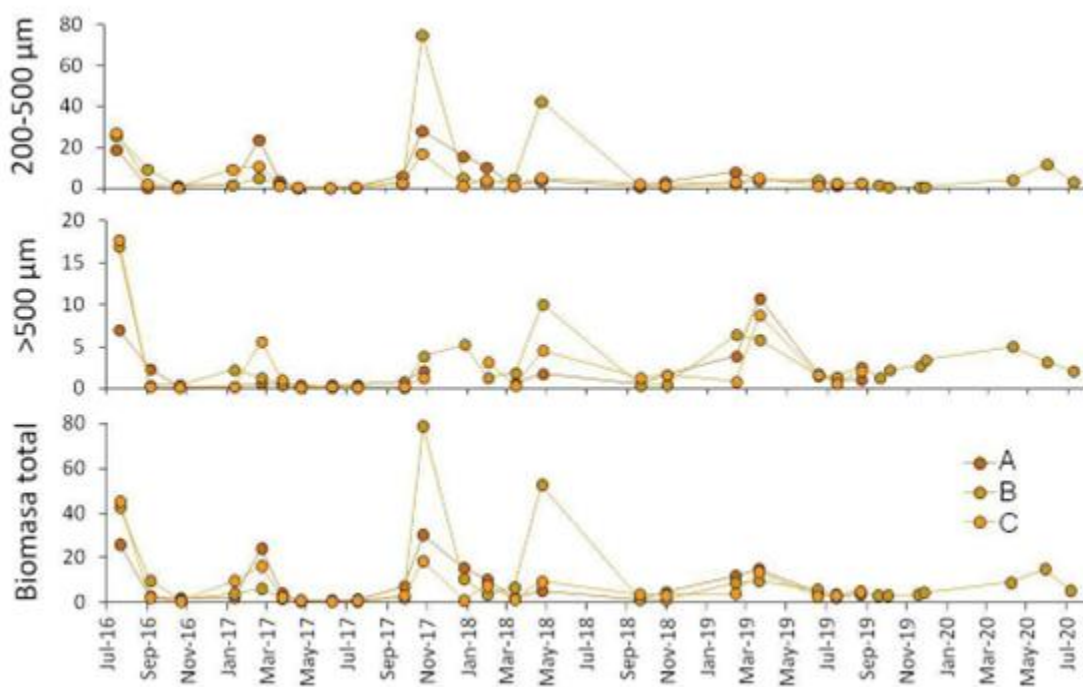


Figura 19: Variabilidad temporal de los valores de biomasa de mesozooplancton ($\text{mg peso seco} \cdot \text{m}^{-3}$) en las estaciones de muestreo A, B y C.

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 CO₂ 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.

Ouaisa 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, Ouaisa S, García Muñoz R, Ruiz JM. (2023). Impacto de la eutrofización en la biomasa de mesozooplancton del Mar Menor. En: Pérez-Rubín Feigl J, Fernández B, Onrubia M. & Díaz-Acha Y. (Eds.), Libro de resúmenes de la XXV Biental 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 20 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 20: 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 21 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.

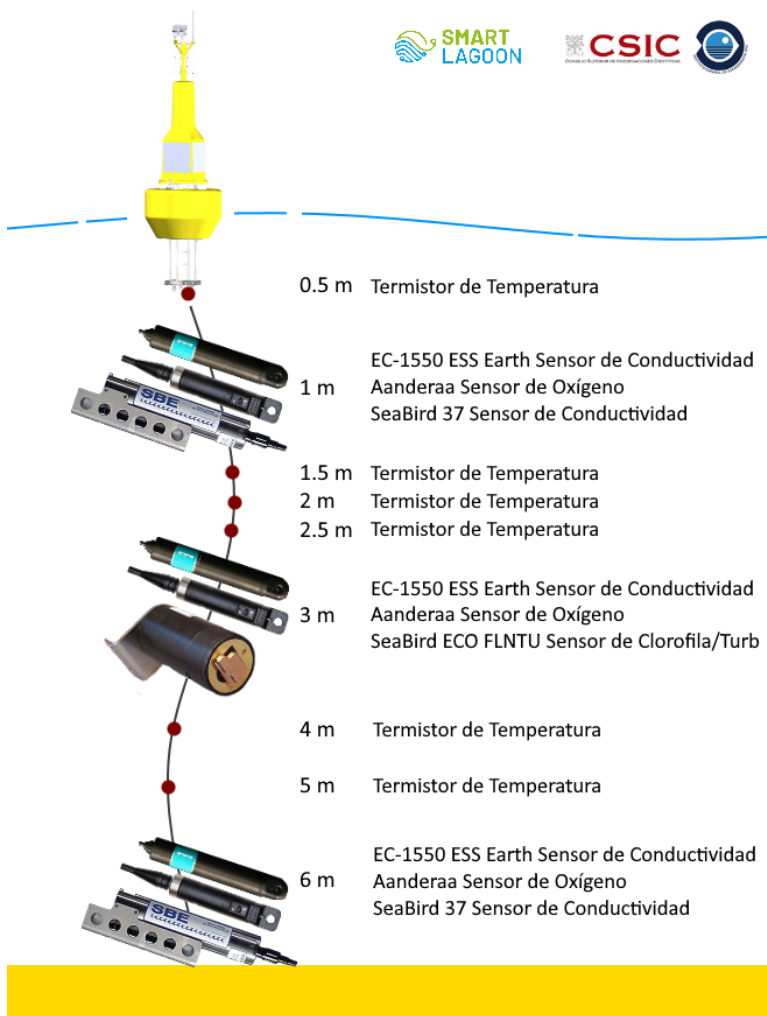


Figura 21: Esquema de los sensores instalados en la boya piloto SMLG con los nuevos sensores de temperatura, conductividad y presión a 1 y 6 metros de profundidad (Seabird-37).

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 boya 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_0) (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 (2π). 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⁺) 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

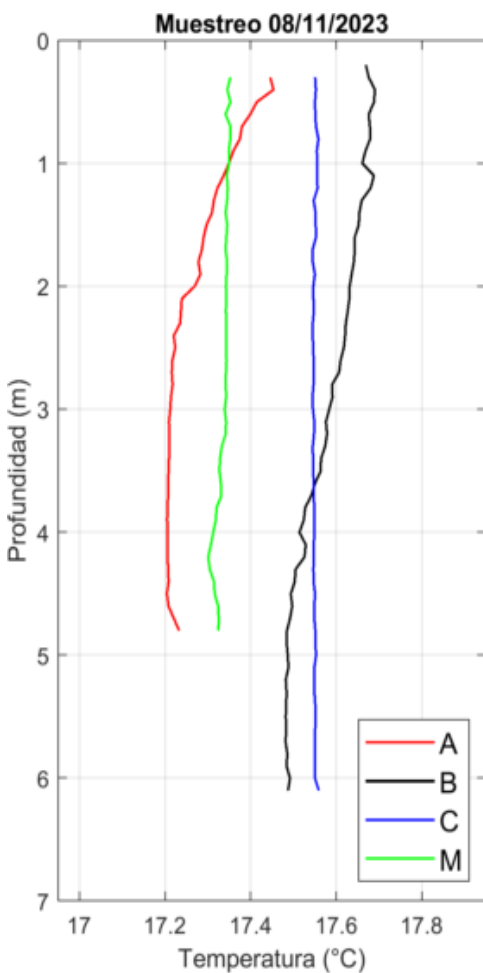


Figura 22. Perfiles de Temperatura obtenidos el día 08/11/23 con el CTD.

Tabla 7. Datos de Temperatura de los perfiles de CTD obtenidos el día 08/11/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	17.21 °C	17.45 °C	17.30 °C	0.07 °C
A	3-7 m	17.21 °C	17.23 °C	17.21 °C	0.01 °C
B	0-3 m	17.59 °C	17.69 °C	17.65 °C	0.03 °C
B	3-7 m	17.48 °C	17.58 °C	17.51 °C	0.03 °C
C	0-3 m	17.55 °C	17.56 °C	17.55 °C	0.00 °C
C	3-7 m	17.55 °C	17.56 °C	17.55 °C	0.00 °C

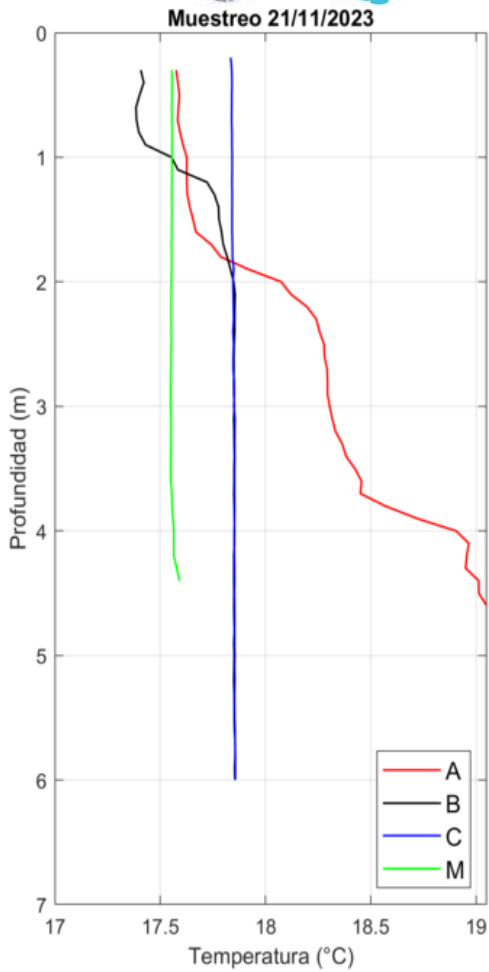


Figura 23. Perfiles de Temperatura obtenidos el día 21/11/23 con el CTD.

Tabla 8. Datos de Temperatura de los perfiles de CTD obtenidos el día 21/11/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	17.58 °C	18.30 °C	17.87 °C	0.30 °C
A	3-7 m	18.30 °C	19.05 °C	18.66 °C	0.30 °C
B	0-3 m	17.39 °C	17.86 °C	17.70 °C	0.19 °C
B	3-7 m	17.85 °C	17.86 °C	17.85 °C	0.00 °C
C	0-3 m	17.84 °C	17.85 °C	17.84 °C	0.00 °C
C	3-7 m	17.85 °C	17.86 °C	17.85 °C	0.00 °C

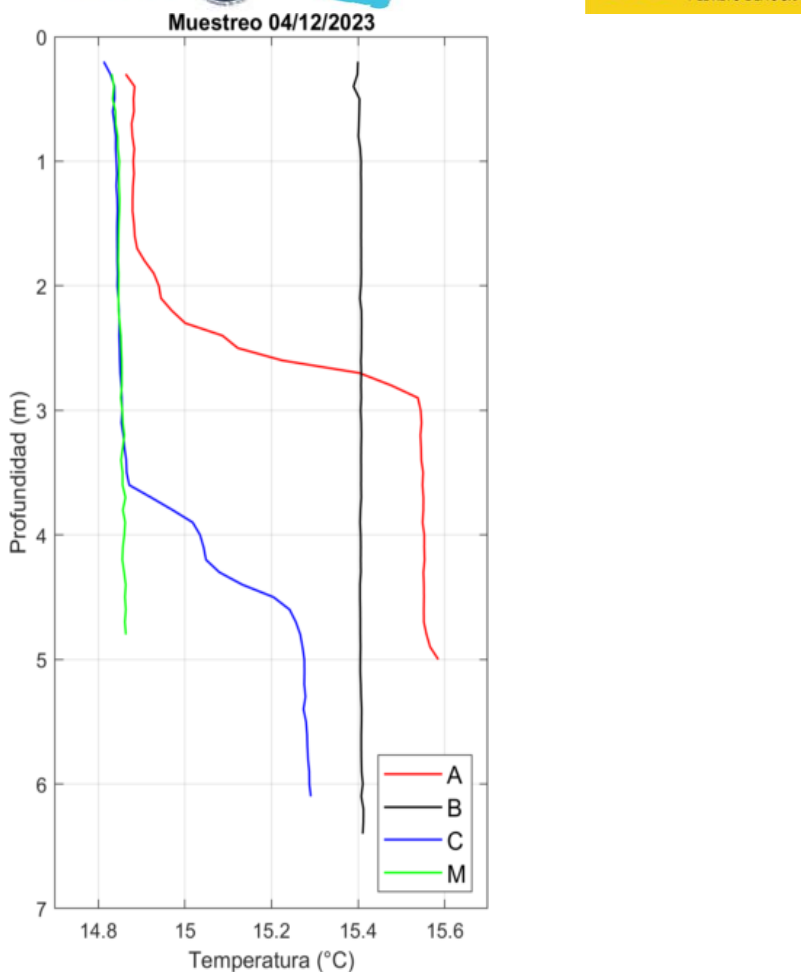


Figura 24. Perfiles de Temperatura obtenidos el día 04/12/23 con el CTD.

Tabla 9. Datos de Temperatura de los perfiles de CTD obtenidos el día 04/12/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	14.86 °C	15.54 °C	14.99 °C	0.19 °C
A	3-7 m	15.54 °C	15.59 °C	15.55 °C	0.01 °C
B	0-3 m	15.39 °C	15.41 °C	15.40 °C	0.00 °C
B	3-7 m	15.40 °C	15.41 °C	15.41 °C	0.00 °C
C	0-3 m	14.81 °C	14.85 °C	14.84 °C	0.01 °C
C	3-7 m	14.85 °C	15.29 °C	15.12 °C	0.18 °C

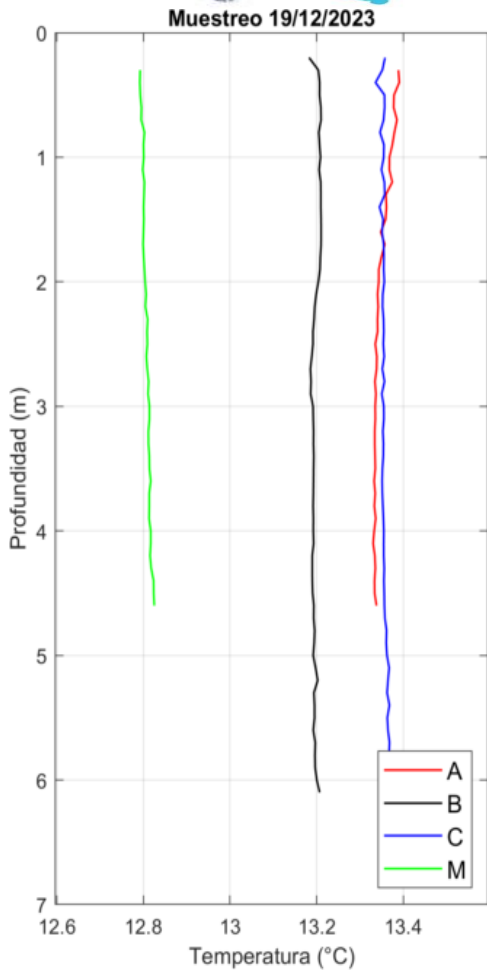


Figura 25. Perfiles de Temperatura obtenidos el día 19/12/23 con el CTD.

Tabla 10. Datos de Temperatura de los perfiles de CTD obtenidos el día 19/12/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	13.33 °C	13.39 °C	13.36 °C	0.02 °C
A	3-7 m	13.33 °C	13.34 °C	13.33 °C	0.00 °C
B	0-3 m	13.18 °C	13.21 °C	13.20 °C	0.01 °C
B	3-7 m	13.19 °C	13.21 °C	13.19 °C	0.00 °C
C	0-3 m	13.34 °C	13.36 °C	13.35 °C	0.00 °C
C	3-7 m	13.35 °C	13.38 °C	13.36 °C	0.01 °C

7.3.2 Salinidad

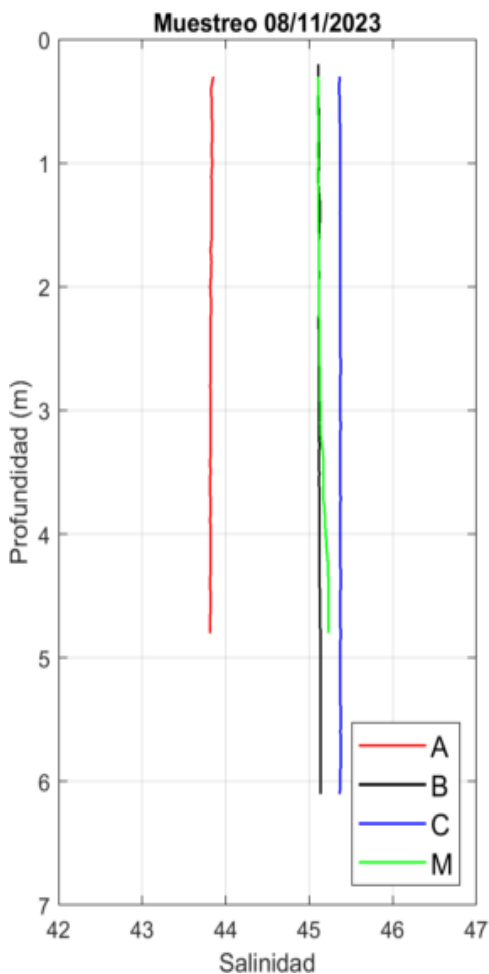


Figura 26. Perfiles de Salinidad obtenidos el día 08/11/23 con el CTD.

Tabla 11. Datos de Salinidad de los perfiles de CTD obtenidos el día 08/11/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	43.82	43.85	43.83	0.01
A	3-7 m	43.81	43.82	43.82	0.00
B	0-3 m	45.11	45.13	45.12	0.01
B	3-7 m	45.12	45.14	45.13	0.01
C	0-3 m	45.36	45.38	45.37	0.00
C	3-7 m	45.37	45.38	45.38	0.00

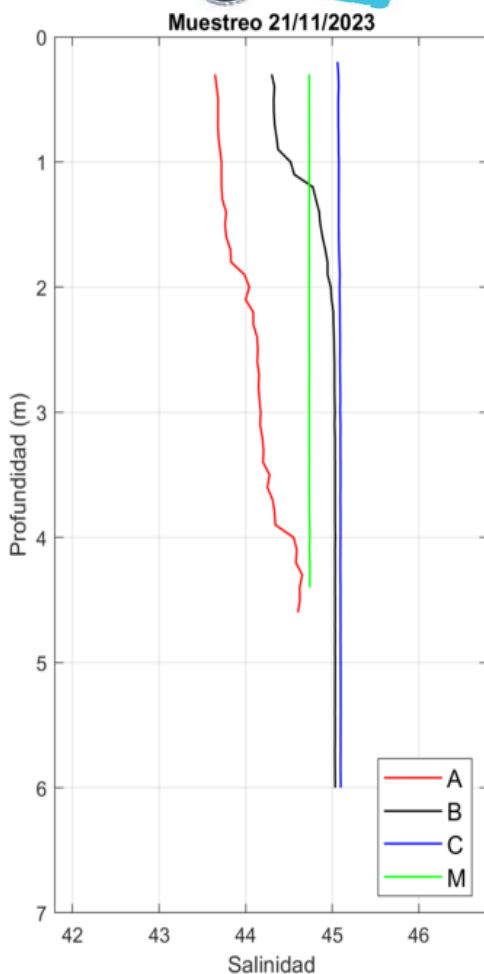


Figura 27. Perfiles de Salinidad obtenidos el día 21/11/23 con el CTD.

Tabla 12. Datos de Salinidad de los perfiles de CTD obtenidos el día 21/11/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	43.65	44.16	43.88	0.20
A	3-7 m	44.17	44.65	44.39	0.19
B	0-3 m	44.30	45.03	44.76	0.29
B	3-7 m	45.03	45.03	45.03	0.00
C	0-3 m	45.06	45.09	45.08	0.01
C	3-7 m	45.09	45.10	45.10	0.00

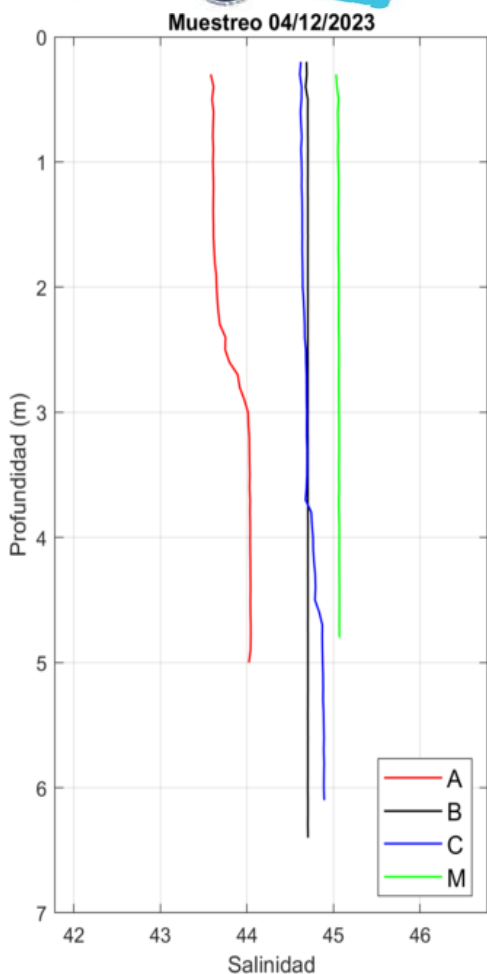


Figura 28. Perfiles de Salinidad obtenidos el día 04/12/23 con el CTD.

Tabla 13. Datos de Salinidad de los perfiles de CTD obtenidos el día 04/12/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	43.58	43.97	43.67	0.11
A	3-7 m	44.01	44.04	44.03	0.01
B	0-3 m	44.68	44.70	44.70	0.01
B	3-7 m	44.70	44.71	44.70	0.00
C	0-3 m	44.61	44.69	44.65	0.02
C	3-7 m	44.68	44.89	44.81	0.08

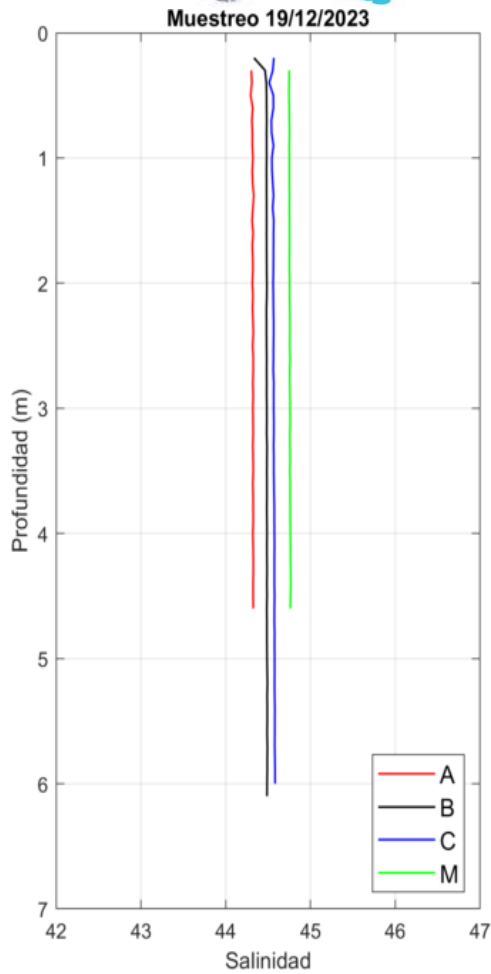


Figura 29. Perfiles de Salinidad obtenidos el día 19/12/23 con el CTD.

Tabla 14. Datos de Salinidad de los perfiles de CTD obtenidos el día 19/12/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	44.29	44.33	44.32	0.01
A	3-7 m	44.32	44.33	44.32	0.00
B	0-3 m	44.33	44.49	44.48	0.03
B	3-7 m	44.48	44.49	44.49	0.00
C	0-3 m	44.51	44.57	44.56	0.01
C	3-7 m	44.56	44.58	44.57	0.00

7.3.3 Saturación de O₂

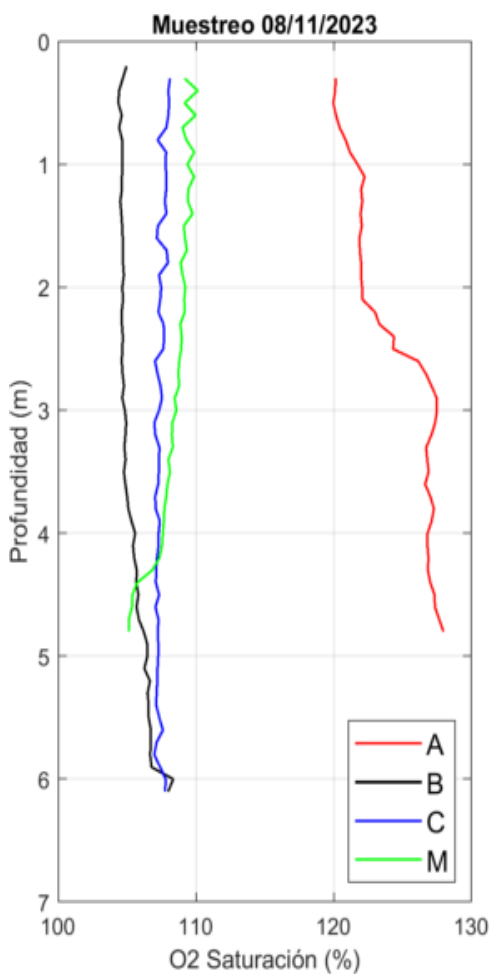


Figura 30. Perfiles de Saturación de O₂ obtenidos el día 08/11/23 con el CTD.

Tabla 15. Datos de Saturación de O₂ de los perfiles de CTD obtenidos el día 08/11/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	119.98 %	127.50 %	122.58 %	2.14 %
A	3-7 m	126.65 %	127.99 %	127.12 %	0.35 %
B	0-3 m	104.39 %	104.99 %	104.66 %	0.11 %
B	3-7 m	104.79 %	108.37 %	105.95 %	0.91 %
C	0-3 m	107.05 %	108.13 %	107.65 %	0.31 %
C	3-7 m	107.00 %	107.84 %	107.28 %	0.19 %

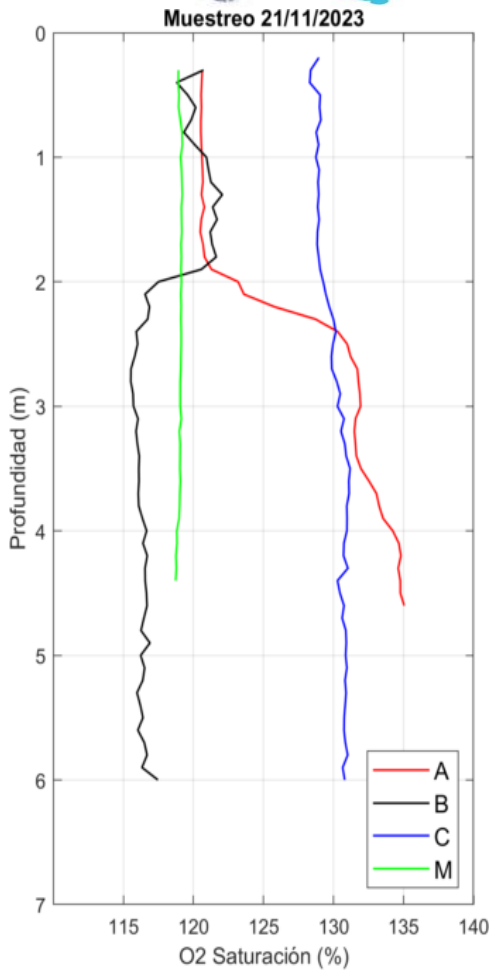


Figura 31. Perfiles de Saturación de O2 obtenidos el día 21/11/23 con el CTD.

Tabla 16. Datos de Saturación de O2 de los perfiles de CTD obtenidos el día 21/11/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	120.49 %	131.88 %	123.71 %	4.55 %
A	3-7 m	131.49 %	135.05 %	133.26 %	1.38 %
B	0-3 m	115.53 %	122.06 %	119.03 %	2.35 %
B	3-7 m	115.72 %	117.47 %	116.36 %	0.35 %
C	0-3 m	128.30 %	130.48 %	129.23 %	0.57 %
C	3-7 m	130.28 %	131.18 %	130.81 %	0.21 %

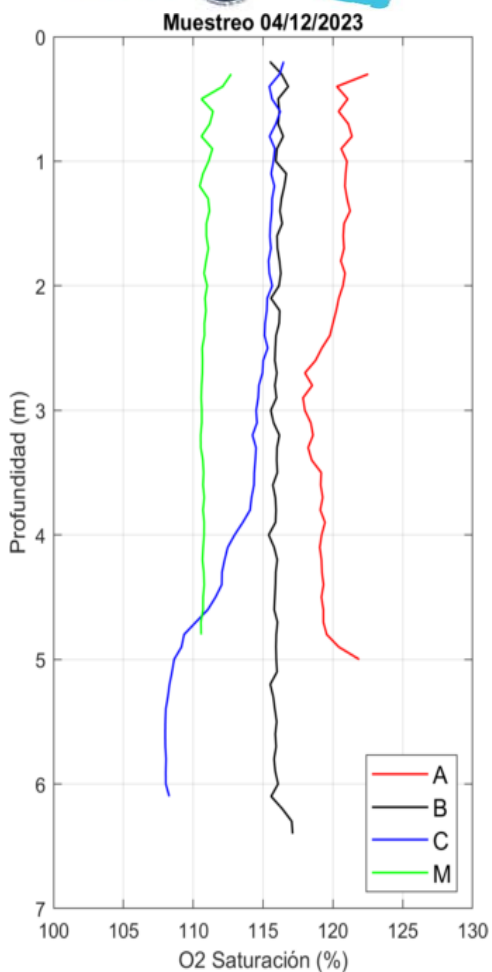


Figura 32. Perfiles de Saturación de O2 obtenidos el día 04/12/23 con el CTD.

Tabla 17. Datos de Saturación de O2 de los perfiles de CTD obtenidos el día 04/12/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	117.86 %	122.53 %	120.36 %	1.07 %
A	3-7 m	117.99 %	121.89 %	119.21 %	0.80 %
B	0-3 m	115.49 %	116.80 %	116.12 %	0.29 %
B	3-7 m	115.40 %	117.11 %	115.95 %	0.34 %
C	0-3 m	114.65 %	116.48 %	115.51 %	0.42 %
C	3-7 m	107.99 %	114.56 %	111.06 %	2.67 %

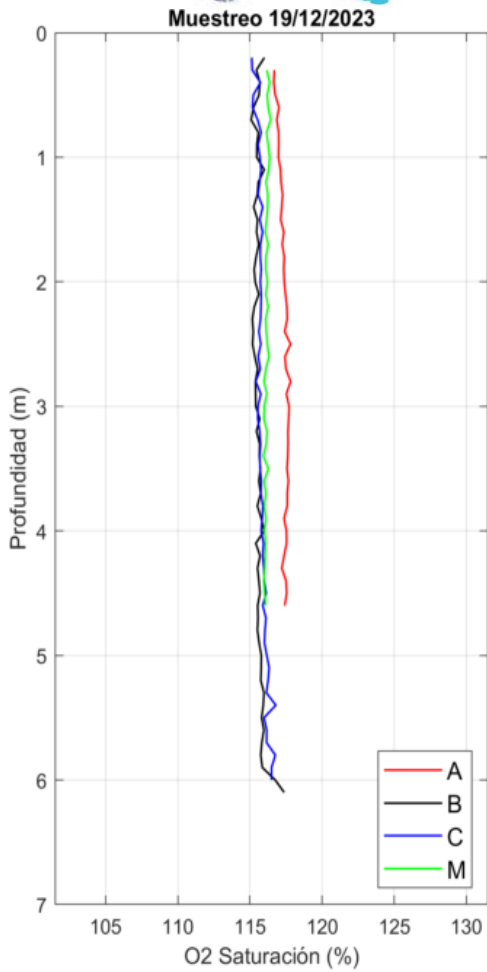


Figura 33. Perfiles de Saturación de O2 obtenidos el día 19/12/23 con el CTD.

Tabla 18. Datos de Saturación de O2 de los perfiles de CTD obtenidos el día 19/12/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	116.65 %	117.82 %	117.25 %	0.31 %
A	3-7 m	117.21 %	117.72 %	117.54 %	0.13 %
B	0-3 m	115.09 %	116.00 %	115.46 %	0.22 %
B	3-7 m	115.41 %	117.38 %	115.78 %	0.38 %
C	0-3 m	115.13 %	115.89 %	115.63 %	0.21 %
C	3-7 m	115.55 %	116.80 %	116.02 %	0.32 %

7.3.4 Concentración de O₂

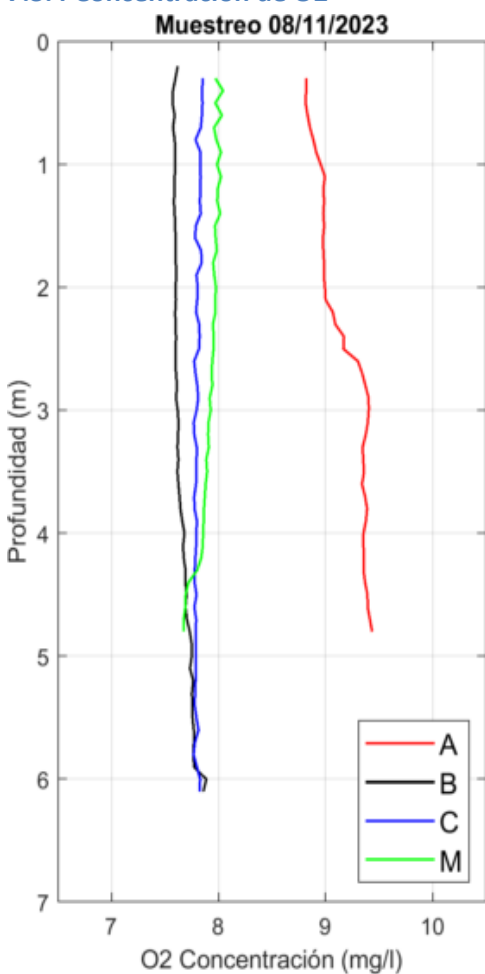


Figura 34. Perfiles de Concentración de O₂ obtenidos el día 08/11/23 con el CTD.

Tabla 19. Datos de Concentración de O₂ de los perfiles de CTD obtenidos el día 08/11/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	8.82 mg/l	9.41 mg/l	9.03 mg/l	0.17 mg/l
A	3-7 m	9.34 mg/l	9.44 mg/l	9.38 mg/l	0.03 mg/l
B	0-3 m	7.57 mg/l	7.62 mg/l	7.60 mg/l	0.01 mg/l
B	3-7 m	7.62 mg/l	7.89 mg/l	7.71 mg/l	0.07 mg/l
C	0-3 m	7.77 mg/l	7.86 mg/l	7.82 mg/l	0.02 mg/l
C	3-7 m	7.77 mg/l	7.83 mg/l	7.79 mg/l	0.01 mg/l

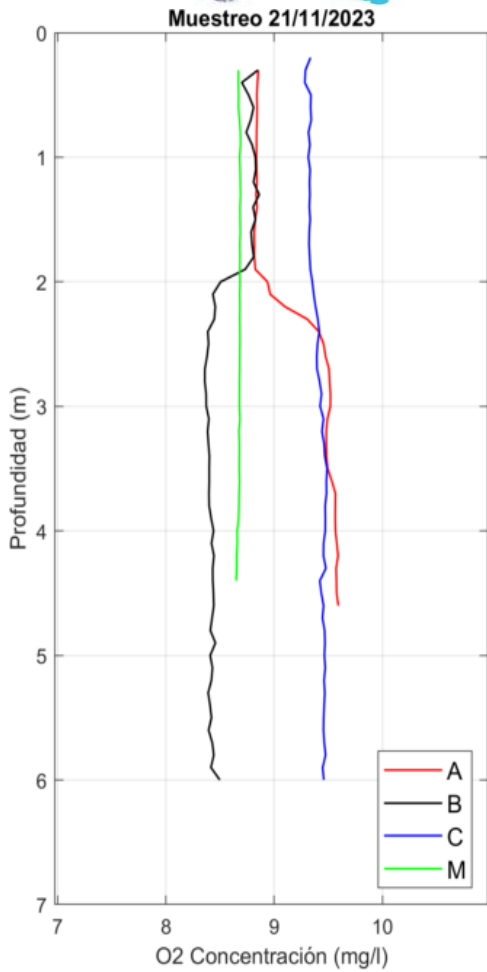


Figura 35. Perfiles de Concentración de O2 obtenidos el día 21/11/23 con el CTD.

Tabla 20. Datos de Concentración de O2 de los perfiles de CTD obtenidos el día 21/11/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	8.82 mg/l	9.52 mg/l	9.01 mg/l	0.27 mg/l
A	3-7 m	9.48 mg/l	9.59 mg/l	9.54 mg/l	0.04 mg/l
B	0-3 m	8.36 mg/l	8.86 mg/l	8.65 mg/l	0.20 mg/l
B	3-7 m	8.37 mg/l	8.50 mg/l	8.42 mg/l	0.03 mg/l
C	0-3 m	9.28 mg/l	9.44 mg/l	9.35 mg/l	0.04 mg/l
C	3-7 m	9.42 mg/l	9.49 mg/l	9.46 mg/l	0.02 mg/l

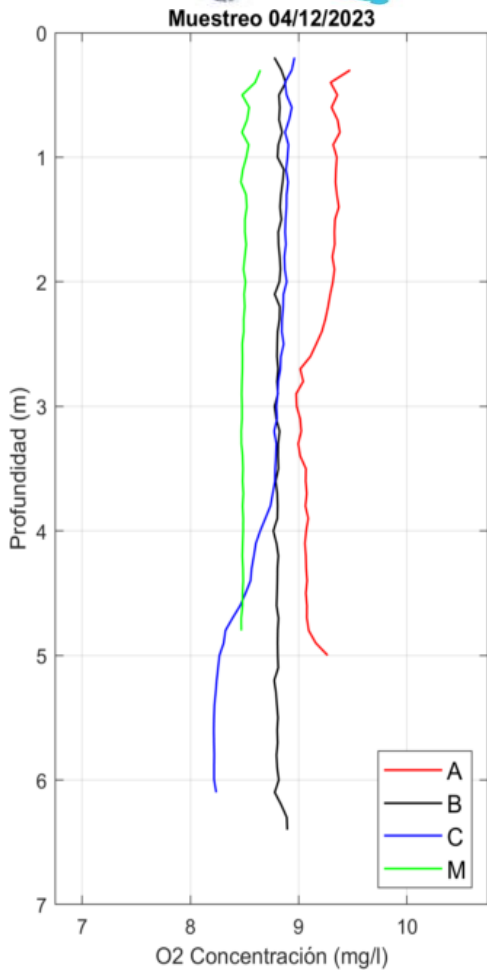


Figura 36. Perfiles de Concentración de O2 obtenidos el día 04/12/23 con el CTD.

Tabla 21. Datos de Concentración de O2 de los perfiles de CTD obtenidos el día 04/12/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	8.98 mg/l	9.48 mg/l	9.28 mg/l	0.12 mg/l
A	3-7 m	8.98 mg/l	9.27 mg/l	9.07 mg/l	0.06 mg/l
B	0-3 m	8.78 mg/l	8.88 mg/l	8.82 mg/l	0.02 mg/l
B	3-7 m	8.77 mg/l	8.89 mg/l	8.81 mg/l	0.03 mg/l
C	0-3 m	8.81 mg/l	8.96 mg/l	8.88 mg/l	0.04 mg/l
C	3-7 m	8.22 mg/l	8.80 mg/l	8.48 mg/l	0.24 mg/l

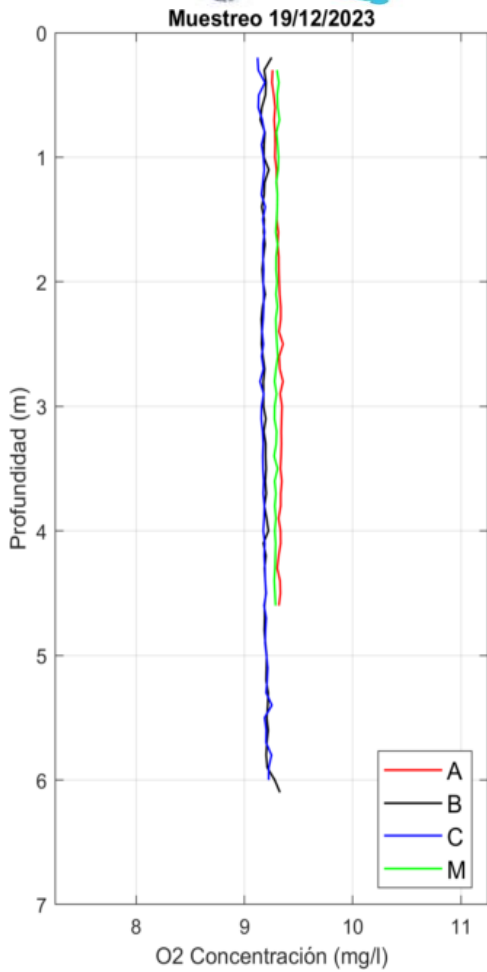


Figura 37. Perfiles de Concentración de O2 obtenidos el día 19/12/23 con el CTD.

Tabla 22. Datos de Concentración de O2 de los perfiles de CTD obtenidos el día 19/12/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	9.25 mg/l	9.36 mg/l	9.31 mg/l	0.03 mg/l
A	3-7 m	9.30 mg/l	9.35 mg/l	9.33 mg/l	0.01 mg/l
B	0-3 m	9.15 mg/l	9.25 mg/l	9.18 mg/l	0.02 mg/l
B	3-7 m	9.17 mg/l	9.33 mg/l	9.20 mg/l	0.03 mg/l
C	0-3 m	9.12 mg/l	9.19 mg/l	9.17 mg/l	0.02 mg/l
C	3-7 m	9.16 mg/l	9.25 mg/l	9.19 mg/l	0.02 mg/l

7.3.5 Turbidez

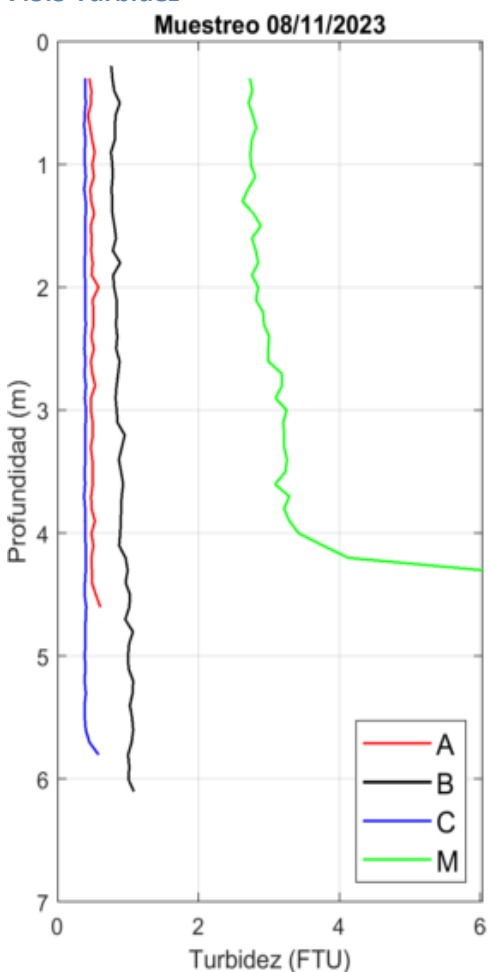


Figura 38. Perfiles de Turbidez obtenidos el día 08/11/23 con el CTD.

Tabla 23. Datos de Turbidez de los perfiles de CTD obtenidos el día 08/11/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	0.44 FTU	0.59 FTU	0.50 FTU	0.03 FTU
A	3-7 m	0.48 FTU	0.61 FTU	0.51 FTU	0.03 FTU
B	0-3 m	0.76 FTU	0.89 FTU	0.82 FTU	0.04 FTU
B	3-7 m	0.84 FTU	1.09 FTU	0.98 FTU	0.07 FTU
C	0-3 m	0.38 FTU	0.41 FTU	0.39 FTU	0.01 FTU
C	3-7 m	0.38 FTU	0.59 FTU	0.41 FTU	0.04 FTU

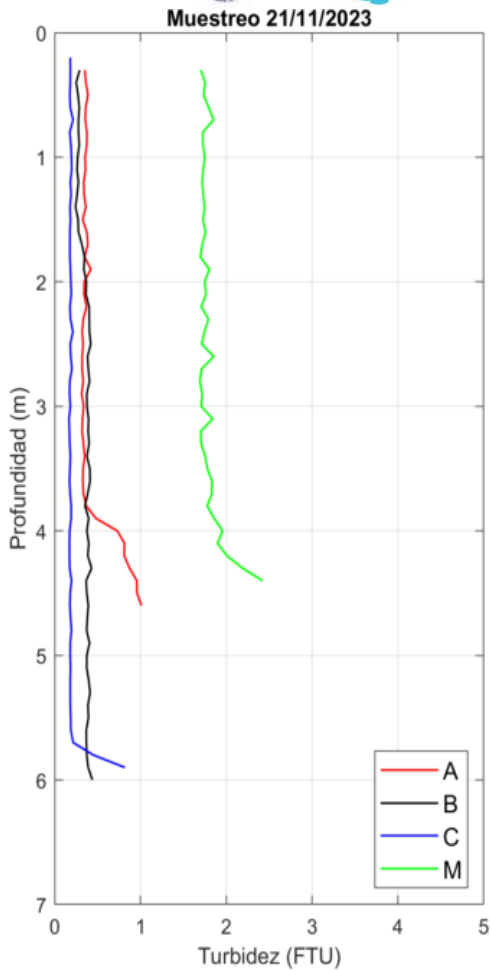


Figura 39. Perfiles de Turbidez obtenidos el día 21/11/23 con el CTD.

Tabla 24. Datos de Turbidez de los perfiles de CTD obtenidos el día 21/11/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	0.32 FTU	0.42 FTU	0.35 FTU	0.03 FTU
A	3-7 m	0.32 FTU	1.01 FTU	0.57 FTU	0.28 FTU
B	0-3 m	0.24 FTU	0.42 FTU	0.32 FTU	0.06 FTU
B	3-7 m	0.35 FTU	0.44 FTU	0.39 FTU	0.02 FTU
C	0-3 m	0.17 FTU	0.21 FTU	0.19 FTU	0.01 FTU
C	3-7 m	0.17 FTU	0.82 FTU	0.21 FTU	0.12 FTU

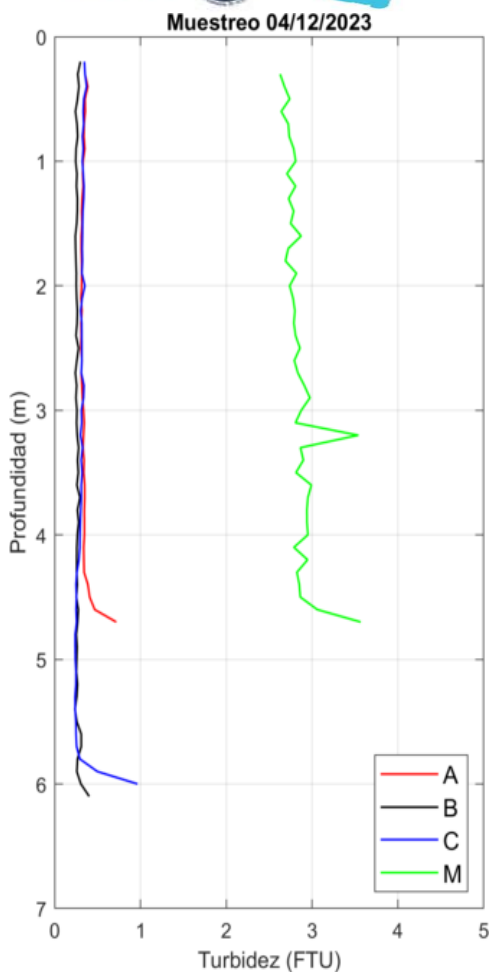


Figura 40. Perfiles de Turbidez obtenidos el día 04/12/23 con el CTD.

Tabla 25. Datos de Turbidez de los perfiles de CTD obtenidos el día 04/12/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	0.31 FTU	0.39 FTU	0.33 FTU	0.02 FTU
A	3-7 m	0.33 FTU	0.72 FTU	0.38 FTU	0.09 FTU
B	0-3 m	0.24 FTU	0.30 FTU	0.26 FTU	0.01 FTU
B	3-7 m	0.24 FTU	0.40 FTU	0.27 FTU	0.03 FTU
C	0-3 m	0.30 FTU	0.37 FTU	0.33 FTU	0.01 FTU
C	3-7 m	0.24 FTU	0.97 FTU	0.31 FTU	0.13 FTU

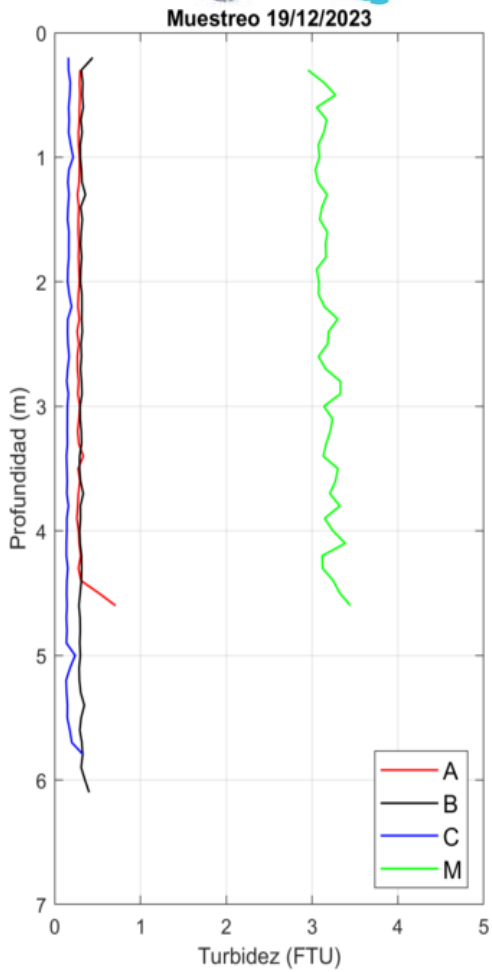


Figura 41. Perfiles de Turbidez obtenidos el día 19/12/23 con el CTD.

Tabla 26. Datos de Turbidez de los perfiles de CTD obtenidos el día 19/12/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	0.26 FTU	0.30 FTU	0.28 FTU	0.01 FTU
A	3-7 m	0.26 FTU	0.71 FTU	0.32 FTU	0.12 FTU
B	0-3 m	0.30 FTU	0.44 FTU	0.32 FTU	0.03 FTU
B	3-7 m	0.28 FTU	0.40 FTU	0.31 FTU	0.02 FTU
C	0-3 m	0.14 FTU	0.22 FTU	0.17 FTU	0.02 FTU
C	3-7 m	0.13 FTU	0.34 FTU	0.16 FTU	0.04 FTU

7.3.6 pH

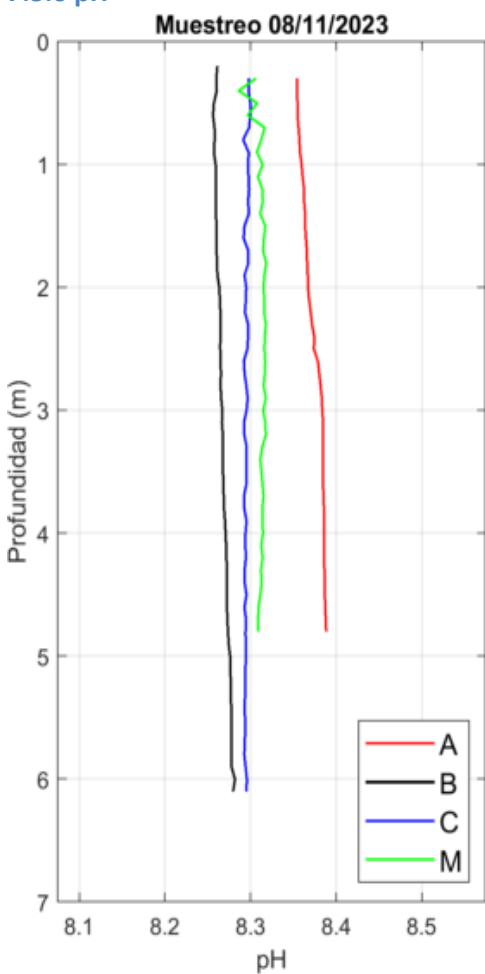


Figura 42. Perfiles de pH obtenidos el día 08/11/23 con el CTD.

Tabla 27. Datos de pH de los perfiles de CTD obtenidos el día 08/11/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	8.35	8.38	8.37	0.01
A	3-7 m	8.38	8.39	8.39	0.00
B	0-3 m	8.26	8.27	8.26	0.00
B	3-7 m	8.27	8.28	8.27	0.00
C	0-3 m	8.29	8.30	8.30	0.00
C	3-7 m	8.29	8.30	8.29	0.00

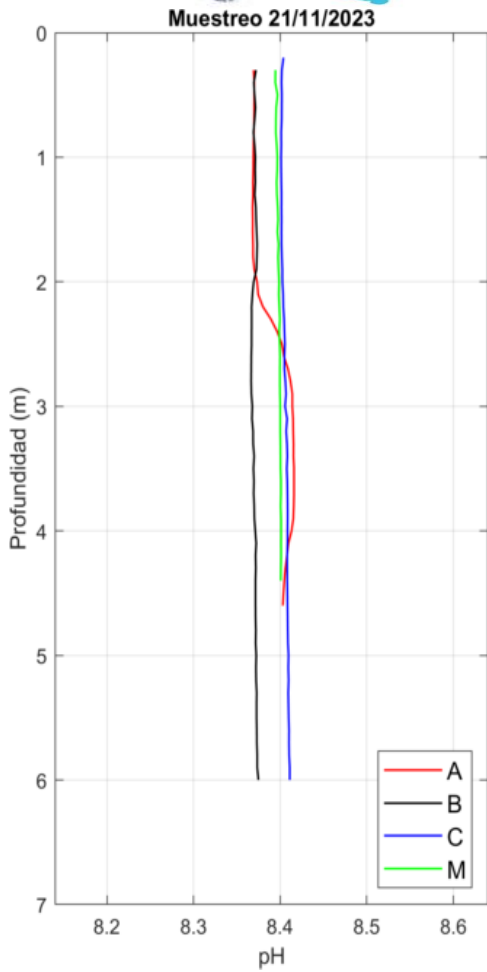


Figura 43. Perfiles de pH obtenidos el día 21/11/23 con el CTD.

Tabla 28. Datos de pH de los perfiles de CTD obtenidos el día 21/11/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	8.37	8.41	8.38	0.02
A	3-7 m	8.40	8.42	8.41	0.00
B	0-3 m	8.37	8.37	8.37	0.00
B	3-7 m	8.37	8.37	8.37	0.00
C	0-3 m	8.40	8.41	8.40	0.00
C	3-7 m	8.41	8.41	8.41	0.00

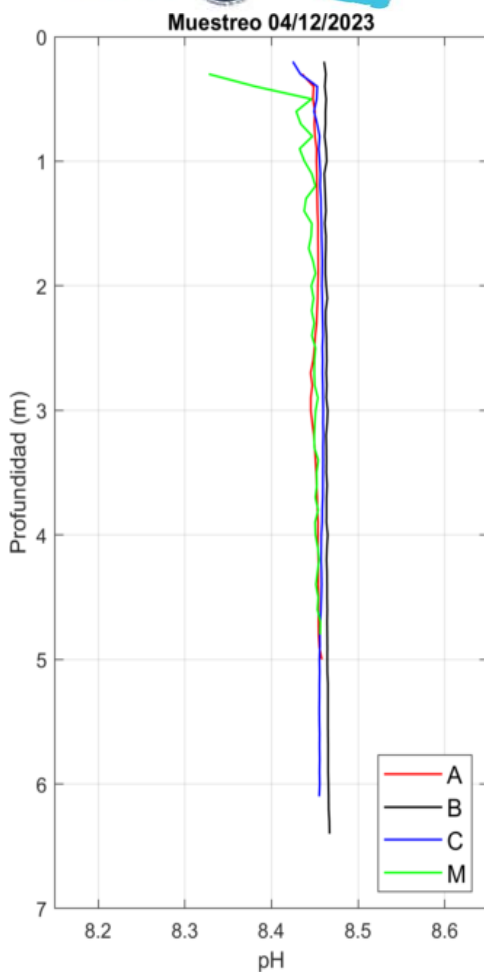


Figura 44. Perfiles de pH obtenidos el día 04/12/23 con el CTD.

Tabla 29. Datos de pH de los perfiles de CTD obtenidos el día 04/12/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	8.44	8.45	8.45	0.00
A	3-7 m	8.45	8.46	8.45	0.00
B	0-3 m	8.46	8.46	8.46	0.00
B	3-7 m	8.46	8.47	8.46	0.00
C	0-3 m	8.42	8.46	8.45	0.01
C	3-7 m	8.46	8.46	8.46	0.00

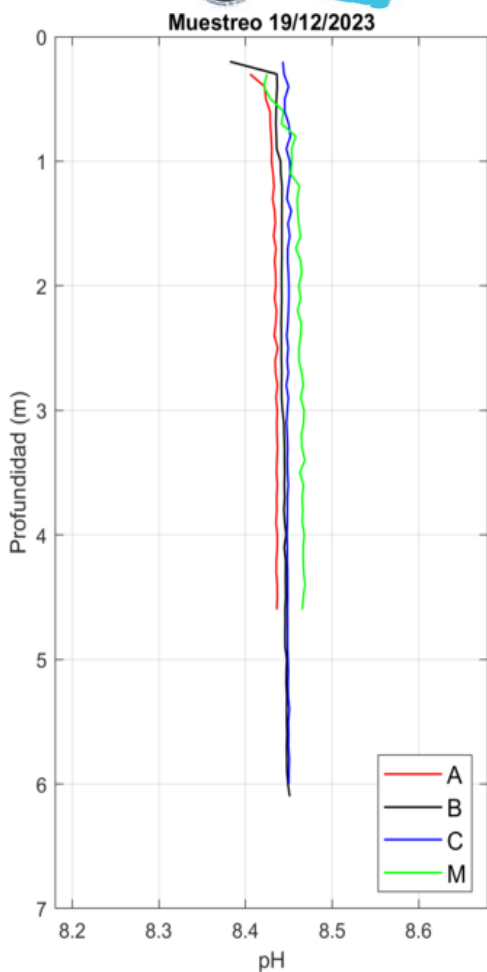


Figura 45. Perfiles de pH obtenidos el día 19/12/23 con el CTD.

Tabla 30. Datos de pH de los perfiles de CTD obtenidos el día 19/12/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	8.41	8.44	8.43	0.01
A	3-7 m	8.44	8.44	8.44	0.00
B	0-3 m	8.38	8.44	8.44	0.01
B	3-7 m	8.44	8.45	8.45	0.00
C	0-3 m	8.44	8.45	8.45	0.00
C	3-7 m	8.45	8.45	8.45	0.00

7.3.7 Luz PAR

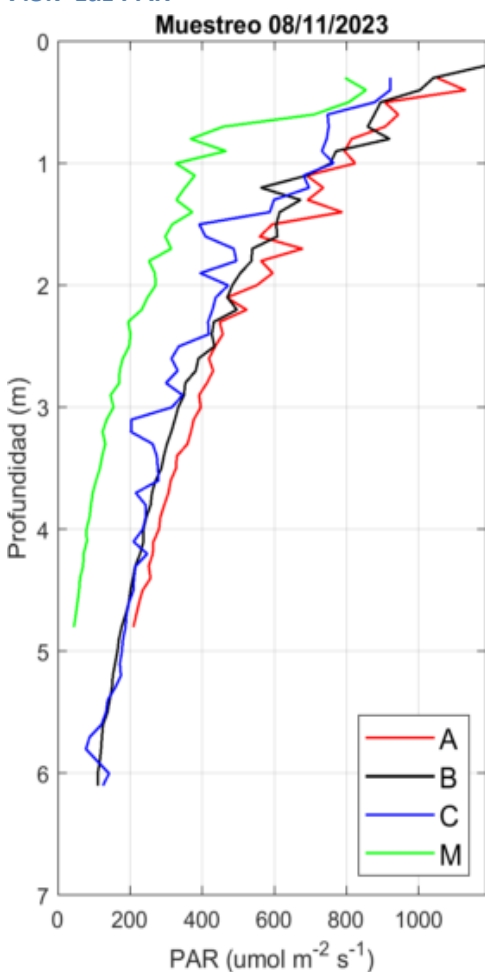


Figura 46. Perfiles de Luz PAR obtenidos el día 08/11/23 con el CTD.

Tabla 31. Datos de Luz PAR de los perfiles de CTD obtenidos el día 08/11/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	392.03 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	1129.56 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	660.06 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	209.71 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
A	3-7 m	210.01 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	396.70 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	293.27 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	56.03 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
B	0-3 m	350.24 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	1186.97 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	638.54 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	229.42 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
B	3-7 m	111.16 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	334.36 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	205.54 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	69.06 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
C	0-3 m	300.16 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	922.63 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	556.34 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	197.95 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
C	3-7 m	78.42 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	316.32 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	194.99 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	58.37 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

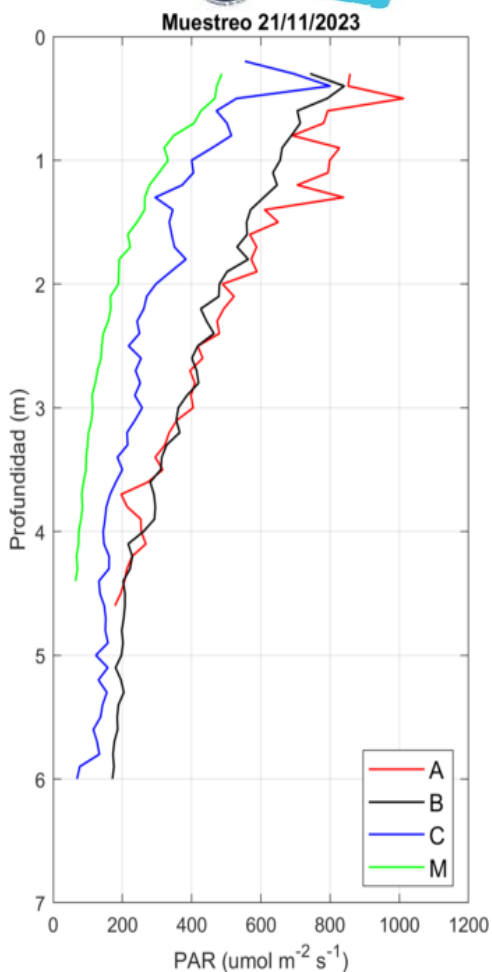


Figura 47. Perfiles de Luz PAR obtenidos el día 21/11/23 con el CTD.

Tabla 32. Datos de Luz PAR de los perfiles de CTD obtenidos el día 21/11/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	395.16 umol m ⁻² s ⁻¹	1012.35 umol m ⁻² s ⁻¹	631.17 umol m ⁻² s ⁻¹	174.87 umol m ⁻² s ⁻¹
A	3-7 m	178.31 umol m ⁻² s ⁻¹	404.40 umol m ⁻² s ⁻¹	265.42 umol m ⁻² s ⁻¹	64.89 umol m ⁻² s ⁻¹
B	0-3 m	386.50 umol m ⁻² s ⁻¹	841.11 umol m ⁻² s ⁻¹	566.99 umol m ⁻² s ⁻¹	129.37 umol m ⁻² s ⁻¹
B	3-7 m	171.16 umol m ⁻² s ⁻¹	365.69 umol m ⁻² s ⁻¹	237.99 umol m ⁻² s ⁻¹	62.24 umol m ⁻² s ⁻¹
C	0-3 m	217.80 umol m ⁻² s ⁻¹	800.49 umol m ⁻² s ⁻¹	379.09 umol m ⁻² s ⁻¹	144.06 umol m ⁻² s ⁻¹
C	3-7 m	68.97 umol m ⁻² s ⁻¹	257.15 umol m ⁻² s ⁻¹	155.33 umol m ⁻² s ⁻¹	39.80 umol m ⁻² s ⁻¹

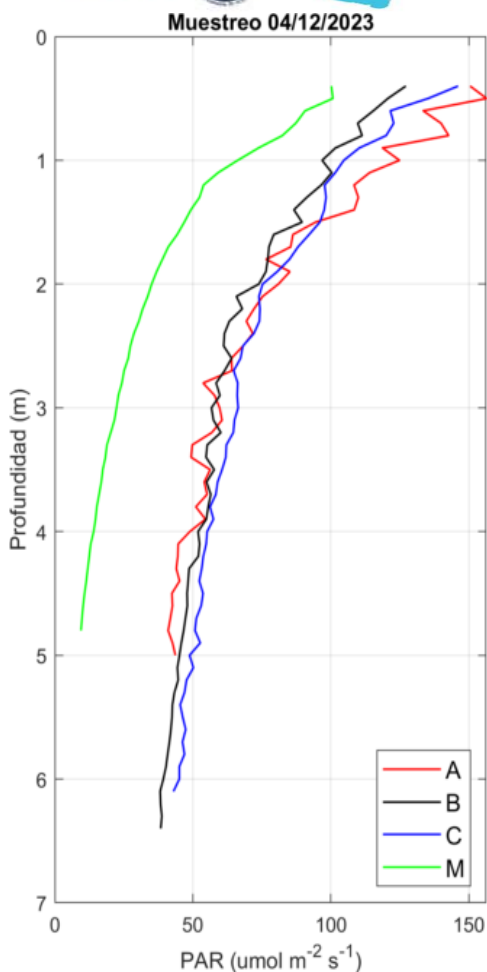


Figura 48. Perfiles de Luz PAR obtenidos el día 04/12/23 con el CTD.

Tabla 33. Datos de Luz PAR de los perfiles de CTD obtenidos el día 04/12/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	53.68 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	156.40 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	96.63 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	30.71 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
	3-7 m	41.02 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	60.56 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	48.98 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	6.36 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
B	0-3 m	58.41 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	127.15 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	84.40 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	21.03 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
	3-7 m	38.13 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	60.13 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	47.79 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	6.72 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
C	0-3 m	64.78 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	146.09 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	92.29 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	22.98 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
	3-7 m	42.95 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	66.40 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	53.16 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	6.54 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

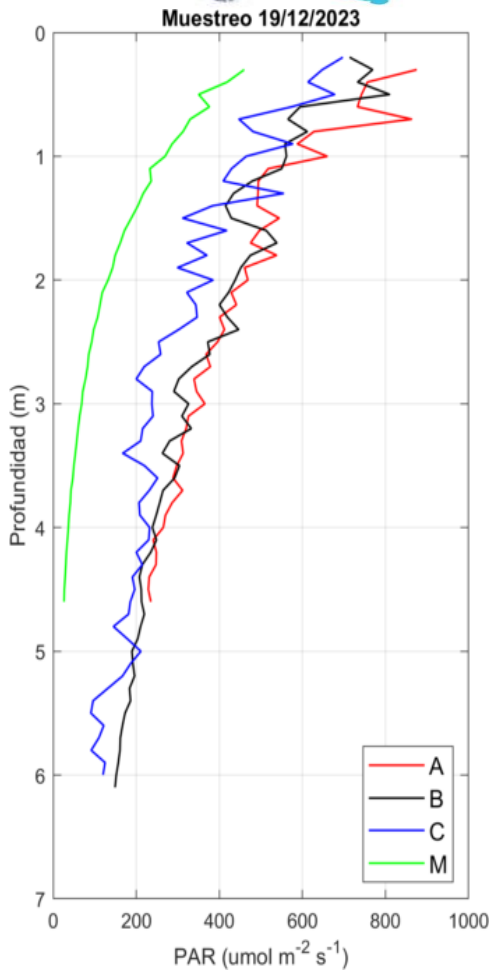


Figura 49. Perfiles de Luz PAR obtenidos el día 19/12/23 con el CTD.

Tabla 34. Datos de Luz PAR de los perfiles de CTD obtenidos el día 19/12/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	339.03 umol m ⁻² s ⁻¹	875.40 umol m ⁻² s ⁻¹	530.91 umol m ⁻² s ⁻¹	152.08 umol m ⁻² s ⁻¹
	3-7 m	229.01 umol m ⁻² s ⁻¹	365.19 umol m ⁻² s ⁻¹	281.45 umol m ⁻² s ⁻¹	39.64 umol m ⁻² s ⁻¹
B	0-3 m	290.66 umol m ⁻² s ⁻¹	809.81 umol m ⁻² s ⁻¹	500.22 umol m ⁻² s ⁻¹	135.62 umol m ⁻² s ⁻¹
	3-7 m	148.95 umol m ⁻² s ⁻¹	332.65 umol m ⁻² s ⁻¹	223.37 umol m ⁻² s ⁻¹	52.67 umol m ⁻² s ⁻¹
C	0-3 m	199.91 umol m ⁻² s ⁻¹	697.44 umol m ⁻² s ⁻¹	412.41 umol m ⁻² s ⁻¹	143.37 umol m ⁻² s ⁻¹
	3-7 m	90.82 umol m ⁻² s ⁻¹	251.34 umol m ⁻² s ⁻¹	180.51 umol m ⁻² s ⁻¹	48.28 umol m ⁻² s ⁻¹

7.3.8 Clorofila

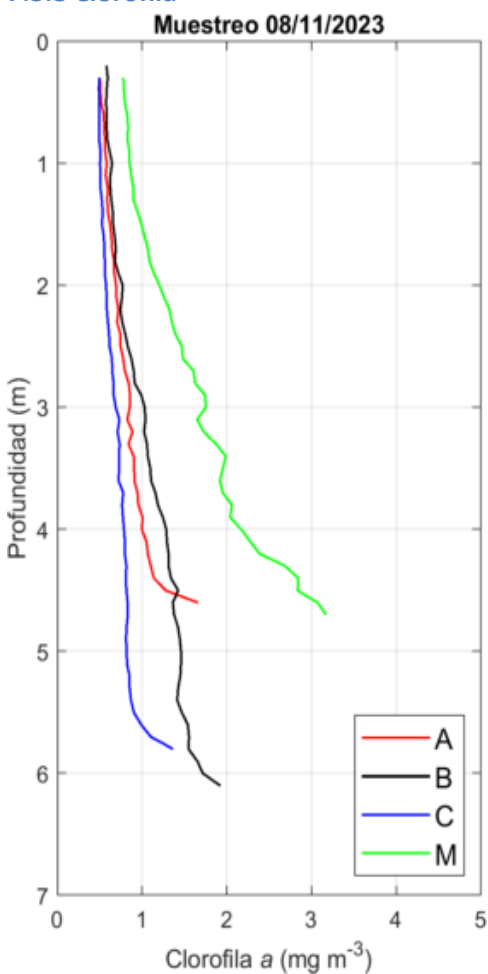


Figura 50. Perfiles de Clorofila obtenidos el día 08/11/23 con el CTD.

Tabla 35. Datos de Clorofila de los perfiles de CTD obtenidos el día 08/11/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	0.51 mg m ⁻³	0.86 mg m ⁻³	0.65 mg m ⁻³	0.10 mg m ⁻³
A	3-7 m	0.83 mg m ⁻³	1.66 mg m ⁻³	1.02 mg m ⁻³	0.20 mg m ⁻³
B	0-3 m	0.58 mg m ⁻³	0.99 mg m ⁻³	0.71 mg m ⁻³	0.12 mg m ⁻³
B	3-7 m	1.03 mg m ⁻³	1.93 mg m ⁻³	1.35 mg m ⁻³	0.21 mg m ⁻³
C	0-3 m	0.49 mg m ⁻³	0.67 mg m ⁻³	0.56 mg m ⁻³	0.06 mg m ⁻³
C	3-7 m	0.69 mg m ⁻³	1.37 mg m ⁻³	0.83 mg m ⁻³	0.13 mg m ⁻³

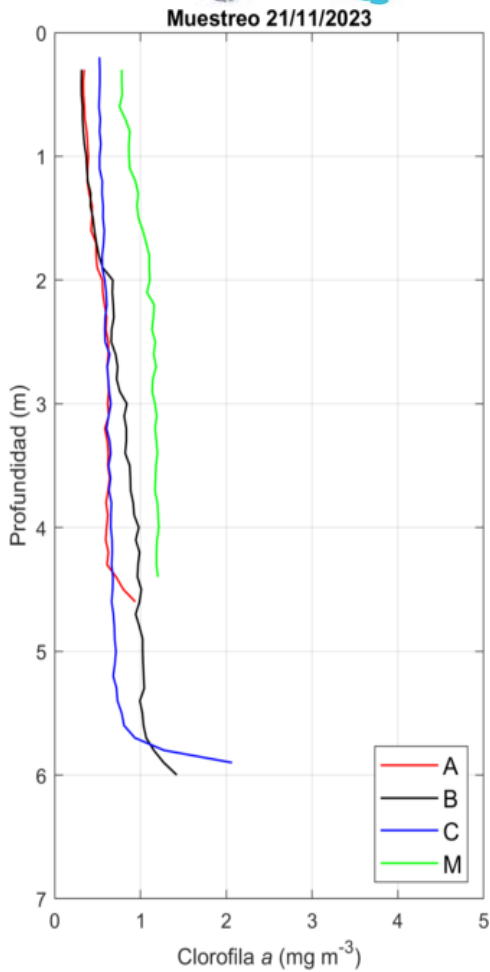


Figura 51. Perfiles de Clorofila obtenidos el día 21/11/23 con el CTD.

Tabla 36. Datos de Clorofila de los perfiles de CTD obtenidos el día 21/11/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	0.33 mg m ⁻³	0.63 mg m ⁻³	0.47 mg m ⁻³	0.11 mg m ⁻³
A	3-7 m	0.59 mg m ⁻³	0.94 mg m ⁻³	0.65 mg m ⁻³	0.09 mg m ⁻³
B	0-3 m	0.31 mg m ⁻³	0.76 mg m ⁻³	0.51 mg m ⁻³	0.16 mg m ⁻³
B	3-7 m	0.81 mg m ⁻³	1.42 mg m ⁻³	0.99 mg m ⁻³	0.13 mg m ⁻³
C	0-3 m	0.52 mg m ⁻³	0.64 mg m ⁻³	0.56 mg m ⁻³	0.04 mg m ⁻³
C	3-7 m	0.60 mg m ⁻³	2.07 mg m ⁻³	0.75 mg m ⁻³	0.28 mg m ⁻³

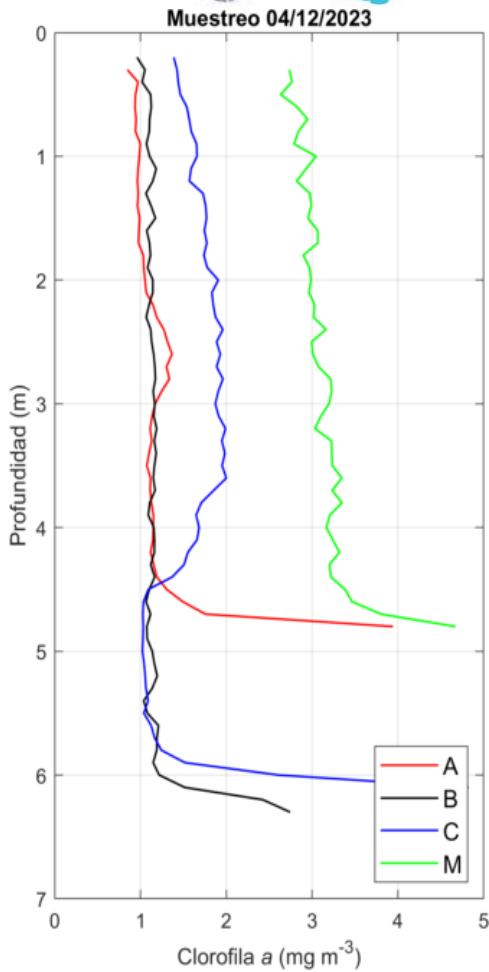


Figura 52. Perfiles de Clorofila obtenidos el día 04/12/23 con el CTD.

Tabla 37. Datos de Clorofila de los perfiles de CTD obtenidos el día 04/12/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	0.85 mg m^{-3}	1.37 mg m^{-3}	1.07 mg m^{-3}	0.15 mg m^{-3}
A	3-7 m	1.07 mg m^{-3}	3.94 mg m^{-3}	1.34 mg m^{-3}	0.65 mg m^{-3}
B	0-3 m	0.96 mg m^{-3}	1.18 mg m^{-3}	1.11 mg m^{-3}	0.05 mg m^{-3}
B	3-7 m	1.04 mg m^{-3}	2.74 mg m^{-3}	1.24 mg m^{-3}	0.35 mg m^{-3}
C	0-3 m	1.39 mg m^{-3}	1.96 mg m^{-3}	1.72 mg m^{-3}	0.17 mg m^{-3}
C	3-7 m	1.02 mg m^{-3}	4.82 mg m^{-3}	1.58 mg m^{-3}	0.73 mg m^{-3}

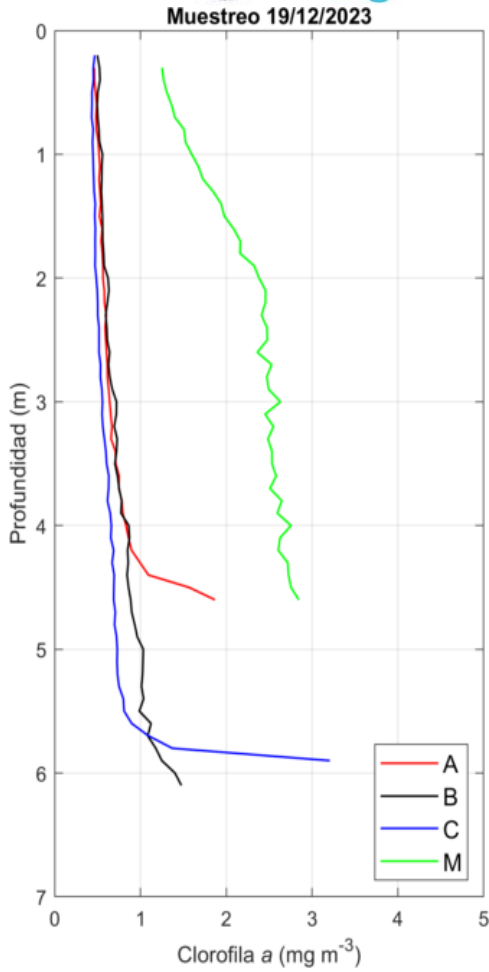


Figura 53. Perfiles de Clorofila obtenidos el día 19/12/23 con el CTD.

Tabla 38. Datos de Clorofila de los perfiles de CTD obtenidos el día 19/12/23.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	0.46 mg m ⁻³	0.63 mg m ⁻³	0.54 mg m ⁻³	0.05 mg m ⁻³
A	3-7 m	0.64 mg m ⁻³	1.87 mg m ⁻³	0.90 mg m ⁻³	0.34 mg m ⁻³
B	0-3 m	0.50 mg m ⁻³	0.67 mg m ⁻³	0.57 mg m ⁻³	0.05 mg m ⁻³
B	3-7 m	0.69 mg m ⁻³	1.48 mg m ⁻³	0.93 mg m ⁻³	0.20 mg m ⁻³
C	0-3 m	0.43 mg m ⁻³	0.55 mg m ⁻³	0.48 mg m ⁻³	0.03 mg m ⁻³
C	3-7 m	0.55 mg m ⁻³	3.21 mg m ⁻³	0.80 mg m ⁻³	0.48 mg m ⁻³