

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

Instituto Español de Oceanografía (IEO-CSIC)



Fotografía: Juan M. Ruiz

Informe de actualización de resultados del programa de seguimiento del estado del Mar Menor (octubre 2024)

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 la Recuperación del 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, Centro Oceanográfico (CO) de Murcia

Eugenio Fraile, CO de Canarias

Marijn Oosterbaan, CO de Canarias (contratado DMMEM)

Patricia Pérez, CO de Murcia (contratada BELICH)

Virginia Sandoval, CO de Murcia (contratada BELICH)

Victor Orenes, CO de Murcia (contratado BELICH)

Pedro Martínez, CO de Murcia (contratado BELICH)

Roberto González CO de Murcia (contratado BELICH)

Antonio Ortolano CO de Murcia (contratado BELICH)

Rocío García, CO de Murcia

Jesús M. Mercado, CO de Málaga

Isabel Ferrera, CO de Málaga

Francisco Gómez Jakobsen, CO de Málaga

Lidia Yebra, CO de Málaga

Ana María Cabello, CO de Málaga (contratada BELICH)

Guillermo Domínguez-Huerta, CO de Málaga (contratado BELICH)

Este informe debe citarse de la siguiente forma:

IEO-CSIC (2024). Informe de actualización de resultados del programa de seguimiento del Mar Menor (OCTUBRE 2024).

Proyecto BELICH: Monitorización, Estudio y Modelización del Mar Menor (MAPMM-MITECO). IEO-CSIC.

http://www.ieo.es/es_ES/web/ieo/mar-menor.

1. Resumen y conclusiones

El propósito de este informe es la actualización del progreso de las actividades del proyecto BELICH y de las variables indicadoras del estado del Mar Menor. Para ello se presentan las novedades más destacadas respecto al último informe de agosto de 2024, que se resumen a continuación a modo de conclusiones provisionales:

- La temperatura del Mar Menor registrada en 2024 hasta el mes de octubre ha sido, en general, menos cálida que las observadas en 2023, que fue el año más cálido de toda la serie temporal. A pesar de ello en verano se alcanzaron temperaturas máximas de 31°C, y la temperatura media anual mantiene su tendencia ascendente desde 1982 (Apartado 4.1).

- La salinidad está siguiendo el patrón estacional típico, con una disminución en primavera y un aumento progresivo hasta invierno. Además, tal y como ocurrió en el resto de estaciones de 2024, está siendo el otoño más salino de los últimos años con valores medios de 45,5-45,8. Estos valores han sido los máximos registrados desde el invierno de 2019, lo que consolida la tendencia ascendente de esta variable desde su disminución después de la DANA de 2019. En la actualidad los valores de esta variable ya se encuentran dentro de los rangos habituales para la laguna, y esta paulatina recuperación de la salinidad está relacionada con la menor intensidad de las precipitaciones durante los últimos años (Apartado 4.2).

- Los valores de clorofila se han mantenido relativamente estables durante 2024 (1,0 - 2,0 mg/m³). Sin embargo, la excepción ha ocurrido en la estación M, ya que ha registrado valores superiores al resto de estaciones de muestreo con diferentes picos en 2024; el último de ellos con valores de 2,6 mg/m³ de clorofila a principios de octubre (Apartado 4.3). En el resto de la laguna (estaciones A, B y C) la concentración media de esta variable ha mostrado un leve salto a concentraciones superiores a 1 mg/m³ a partir del mes de junio, y que se ha mantenido hasta octubre. Además, los valores más elevados se registraron en la estación B y C; es decir, la parte centro y sur de la laguna. Los mapas de clorofila satelital (Apartado 4.3.2) reflejan bien las variaciones espacio-temporales descritas para las estaciones de muestreo A, B, C y M, así como otros patrones espaciales asociados a gradientes ambientales característicos de la laguna (oeste-este, norte-sur).

- El análisis de imágenes de satélite también indica que la turbidez de la laguna se produce mayormente en la zona de la mancha blanca y que esta continúa siendo un fenómeno muy persistente, aunque parece existir cierto patrón de variación temporal relacionado con la estacionalidad.

- En la estación M se han registrado valores de turbidez altos desde principios de junio de 2024. Además, en esta estación, la radiación PAR disponible a 4 metros (%I₀) se ha mantenido por debajo del umbral mínimo crítico para el crecimiento de las comunidades de macrófitos (valores críticos por debajo del 5%) desde mediados de junio. Estos bajos niveles de radiación PAR se han mantenido de forma casi constante desde que se incorporó esta estación al programa de seguimiento, lo que es consistente con la casi total ausencia de macrófitos en esta parte de la

laguna. En el resto de la albufera los niveles de luz PAR que alcanzan el fondo se han mantenido por lo general por encima de los umbrales críticos la mayor parte del tiempo. Estos niveles se consideran óptimos para el desarrollo de la vegetación bentónica (Apartado 4.4), pero a partir de junio mostraron una caída paulatina hacia niveles críticos, con valores por debajo del umbral mínimo crítico durante más del 50% de los días desde junio hasta mediados de octubre. Esta caída es coherente con el incremento de la turbidez (Kd) y la clorofila en los mismos meses.

- Los niveles de oxígeno han seguido el patrón estacional típico, con una disminución durante el verano y un aumento gradual en otoño. Los valores registrados indican una buena oxigenación del agua sin indicios ni riesgos de hipoxia o anoxia, incluso en la zona de blanqueamiento del agua (estación M), donde los valores medios de esta variable son similares a los observados en el resto de la laguna (Apartado 4.5).

- Los valores de pH se han mantenido entre 8,3 y 8,4 en los últimos meses, y han sido ligeramente inferiores a los registrados en la época estival. En contraposición, los valores medios de pH son superiores a los registrados al principio de la serie temporal, lo que mantiene la tendencia general positiva de aumento en todo el periodo de estudio (Apartado 4.6). No obstante, desde finales de 2023 se observa una tendencia estable de los valores y se observa una que suaviza su tendencia general observada inicialmente desde el principio del periodo considerado.

- Los valores de potencial redox registrados se mantienen alrededor de los 100 mV, lo que indica que hay un ambiente oxidante sin eventos de hipoxia o anoxia. Además, no se han registrado valores extremos desde que se comenzó a monitorear esta variable en noviembre de 2022 (Apartado 4.7).

- Respecto a los nutrientes y las comunidades de plancton, continúa el procesado de muestras y no se ha añadido nueva información en este informe, por lo que se mantienen las mismas conclusiones que en los últimos informes, con carácter provisional hasta nueva actualización.

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 el año 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, que está 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 octubre de 2022 se instaló una boya piloto de monitorización oceanográfica (a partir de ahora “boya piloto” o SMLG) en el marco del proyecto europeo SMARTLAGOON, que está liderado por la Universitat Politècnica de València (UPV), la Uppsala University y la empresa VIELCA Ingenieros, S.A. (Grant Agreement Nº 101017861). Esta boya sirve de prueba y aprendizaje para la instalación del futuro sistema de monitorización del proyecto BELICH (Sub-Actuación 8.1 del MAPMM). Además, la tarea 1.1 del proyecto 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 la boya y los sensores instalados en ella.

Por otro lado, las tareas que el IEO-CSIC realiza en el ámbito del proyecto THINKING AZUL son complementarias a las realizadas en el proyecto BELICH. El proyecto THINKING AZUL está financiado por fondos PRTR (Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia) del programa de Planes complementarios de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia y el MITERD.

A partir de febrero de 2023 el programa de monitorización del proyecto BELICH empezó a reportar resultados y los avances del programa de seguimiento científico desarrollado para evaluar el estado del ecosistema marino del Mar Menor en informes periódicos de carácter bimestral.

De acuerdo con lo expuesto, el presente informe técnico-científico tiene como objetivo la actualización de los datos publicados en el informe previo, mostrando los avances del programa de seguimiento y el estado general de la columna de agua del Mar Menor. 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 monitorizan diversas variables físico-químicas necesarias para evaluar el estado general de la columna de agua. Los detalles completos sobre la metodología empleada para medir estas variables, así como otras 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 es importante la temperatura en términos absolutos, sino también 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. La salinidad definida como relación de conductividad no tiene unidades (UNESCO, 1985).

Turbidez: la turbidez (NTU) y el coeficiente de extinción de luz (Kd , m^{-1}) son 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 la actividad de los iones de hidrógeno (H^+) e hidroxilo (OH^-) que contiene. El agua marina es ligeramente alcalina (8,1 - 8,3). El pH es un factor 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 materia orgánica cuya mineralización produce CO_2 , en especial en el fondo de la columna de agua. El exceso de CO_2 desplaza el equilibrio del sistema tampón de bicarbonato del agua hacia la producción de protones que tienden a disminuir el pH, proceso conocido como acidificación (Doney et al., 2009). Otros procesos biológicos, como la fotosíntesis pueden tener el efecto contrario al aumentar el pH, al igual que los aportes continentales ricos en carbonatos y calcio.

Potencial redox (mV): es una medida de la capacidad de una solución para oxidar o reducir sustancias químicas. Determinar si un ecosistema marino está en un estado oxidativo o reductor resulta crucial para comprender los complejos procesos biogeoquímicos que tienen lugar, sirviendo como un indicador del estado del ecosistema y facilitando la predicción de cambios ambientales. En ambientes típicamente oxidantes esta variable adopta valores positivos entre 0 y +200 mV y en ambientes reductores (hipóxicos o anóxicos) los valores son negativos pudiendo

alcanzar valores entre -100 y -200 mV. Es un indicador temprano de procesos de agotamiento de oxígeno como los observados durante algunos episodios de hipoxia registrados en el Mar Menor (Ruiz et al 2020).

Nutrientes (μM): la concentración de nitrógeno y fósforo total (NT y PT), así como la concentración de nutrientes inorgánicos disueltos (nitrito, nitrato, fosfato, silicato, amonio), 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). El N y el P pueden estar en forma inorgánica y orgánica, disuelta o particulada. En este programa de seguimiento se miden las formas disueltas, tanto inorgánicas como orgánicas, así como las formas particuladas de forma puntual.

Concentración de la clorofila- a (mg/m^3): indicador de la calidad del agua en ecosistemas marinos costeros, especialmente en aguas eutrofizadas como las del Mar Menor (Ouaissa et al., 2023), ya que es un estimador de la biomasa de fitoplancton y por tanto de su productividad. Además, 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 la 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 de la dinámica temporal de la red trófica de la laguna a una escala temporal algo más amplia que el resto del plancton. La biomasa y producción del zooplancton tienen un papel clave en la transferencia de energía, ya que consumen microplancton y son alimento para 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

El origen y el tratamiento de los datos para cada variable de estudio ha ido variando ligeramente a través del transcurso de la serie histórica documentada en función de las herramientas y recursos disponibles en cada momento. Las fuentes de datos empleadas para cada variable en

cada periodo temporal se detallan en el Anexo II. No obstante, estas fuentes se dividen en cuatro categorías principales: 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, pero desde la entrada en funcionamiento del proyecto BELICH, en enero de 2023, la frecuencia de muestreo se duplicó y actualmente es quincenal. Además, inicialmente estos muestreos se realizaban en tres estaciones de muestreo (A, B, C), pero en abril de 2023 se agregó una nueva estación situada en el interior de una zona de la laguna, localizada en el centro-oeste, que presenta un aspecto blanquecino de origen desconocido. Esta estación se ha denominado “M” y desde entonces está incluida en todos los análisis junto al resto de estaciones (Figura 1).

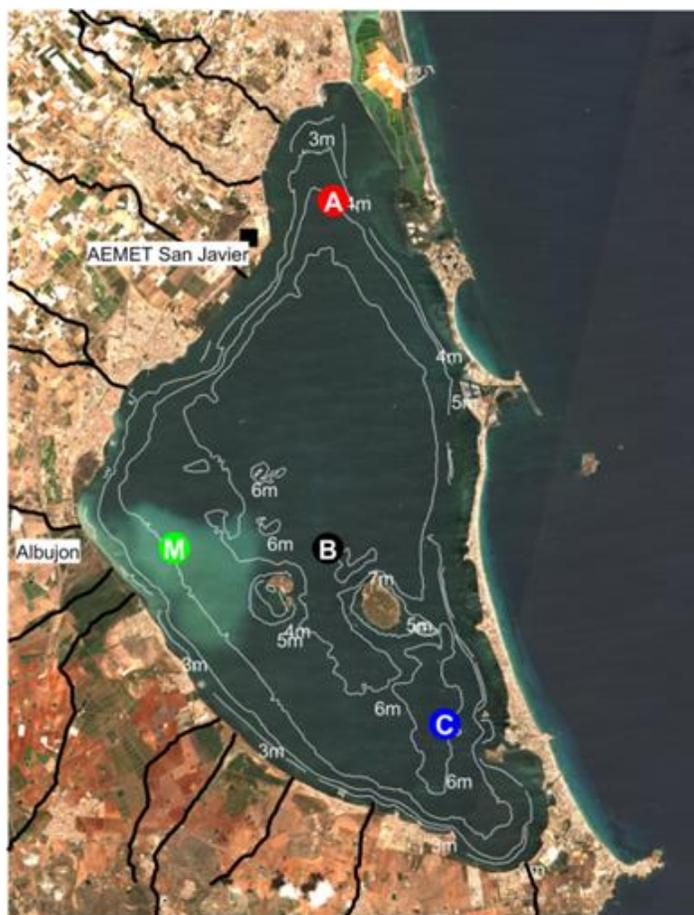


Figura 1: Ubicación de las estaciones de muestreo (A, B, C y M) mostrada sobre una imagen de satélite Sentinel2 obtenida el 03/08/2023. La ubicación de la boya piloto SMLG coincide con B.

3.2.2. Boya piloto SMLG

La boya piloto SMLG se instaló en octubre de 2022 y se encuentra en el centro de la laguna, en la estación de muestreo B (Figura 1). En ella hay colocados sensores en varias profundidades para la medición de las variables de estudio, lo que permite obtener datos en continuo y a tiempo casi real. Posteriormente, 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 a través del producto "*Copernicus Mediterranean Sea – High Resolution L4 Sea Surface Temperature Reprocessed 0,05 deg resolution*" disponible desde el servicio de Copernicus (Nardelli et al., 2013).

Hasta la fecha, la concentración superficial de clorofila-*a* en la laguna se obtenía utilizando 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, desde febrero de 2024 se utiliza un algoritmo específico para el Mar Menor que ha sido diseñado a partir del análisis de datos de los satélites y sensores del color del océano (Tabla 1) y datos de clorofila-*a* procedentes de los muestreos *in situ* recopilados en el Mar Menor desde 2016.

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

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

3.2.4. Sensores de luz PAR

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

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

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 actual 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), medidas *in situ* en las estaciones de muestreo desde 2016 (Figura 2), se observa un patrón estacional normal con un rango de temperaturas medias mínimas en invierno de 10 a 14°C y máximas en verano de 28 a 30°C (Tabla 2). Los datos de la serie temporal indican que las temperaturas de 2024 han sido en general menos cálidas en comparación con las del año anterior (2023), con una diferencia promedio de -0,5°C en invierno, -1,9°C en primavera y -0,3°C en verano (Tabla 2). Las temperaturas de 2023 fueron las más altas registradas en la serie, mientras que las de 2024 se sitúan dentro de los rangos habituales de años anteriores (Tabla 2), aunque en verano se alcanzaron temperaturas máximas muy similares a las del año anterior (31°C).

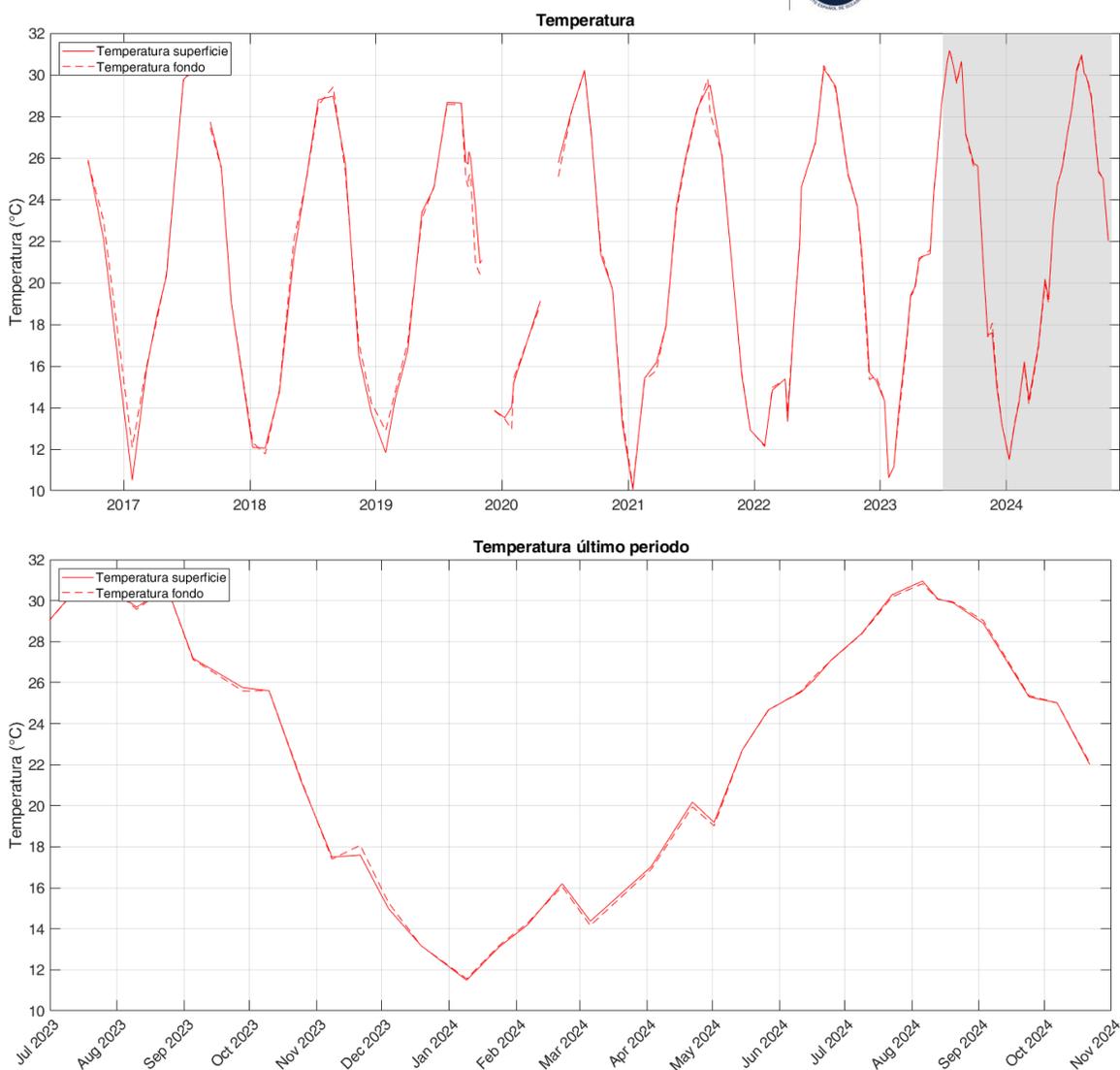


Figura 2: Temperatura media superficial (0,5 m; línea continua) y temperatura media del fondo (entre 4 y 6m dependiendo de la estación, Figura 1; línea discontinua) registradas en el último año natural durante los muestreos *in situ* del proyecto DMMEM y BELICH en las estaciones de muestreo A, B, C y M (ver Figura 1). En la parte superior se muestra la serie desde 2016 y en la parte inferior el último año.

Los datos registrados muestran la ausencia de estratificación térmica significativa en el Mar Menor. Hasta la fecha, el único episodio relevante de estratificación termo-halina de la columna de agua fue el de septiembre de 2019, que estuvo asociado a eventos climatológicos extremos por una Depresión Aislada en Niveles Altos (DANA; ver Apartado 4.3).

Por otro lado, a partir de los datos satelitales se han obtenido los promedios por año de la temperatura superficial del Mar Menor (Figura 3). 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 +0,035°C por año (Figura 3).

Tabla 2: Valores medios, mínimos (Min) y máximos (Max) de temperatura por año en superficie (0,5 m) y fondo (4-6m) dependiendo de la estación. Figura 1), medidos durante los muestreos *in situ* DMMEM. 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	14,4	3,4	10,6	19,4	14,3	3,3	10,6	19,4
	Primavera	24,1	3,3	19,8	28,6	24,1	3,3	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	18,5	4,4	13,2	25,6
	Anual	21,9	6,6	10,6	31,2	21,9	6,6	10,6	31,2
2024	Invierno	13,9	1,7	11,5	16,2	13,8	1,6	11,6	16,1
	Primavera	22,2	3,5	17,0	26,1	22,2	3,6	16,9	26,3
	Verano	29,1	1,9	25,3	31,0	29,1	1,8	25,4	30,8
	Otoño*	23,5	2,1	22,0	25,0	23,6	2,1	22,1	25,0
	Anual	22,9	6,2	11,5	31,0	22,8	6,2	11,6	30,8

* Hasta 22/10/24

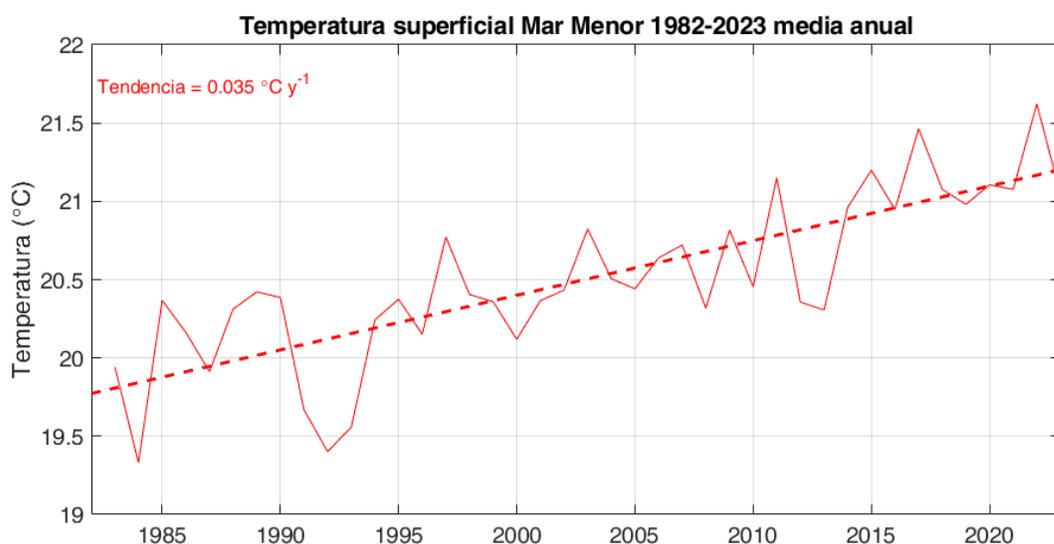
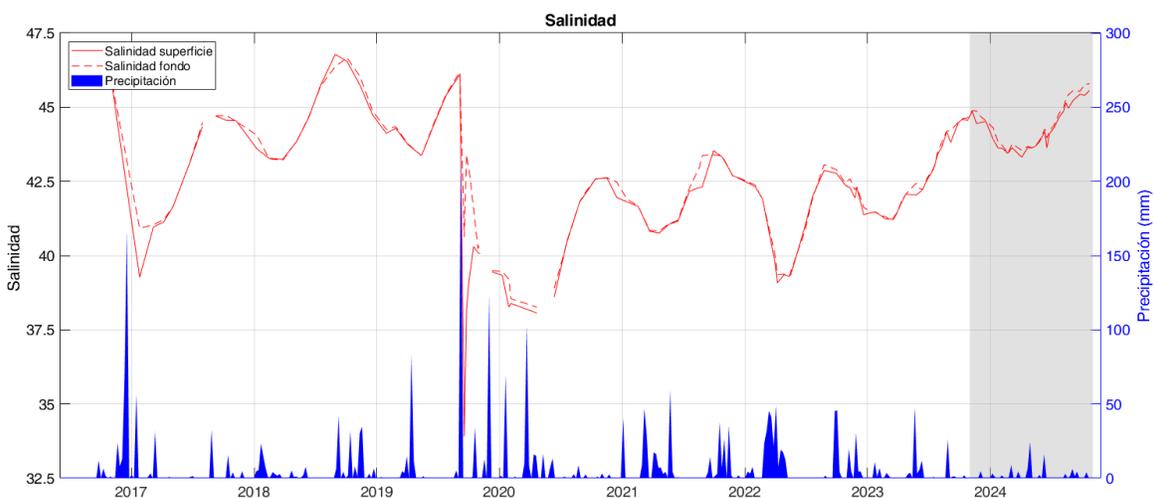


Figura 3: Serie temporal de temperatura superficial media anual desde 1982 hasta 2023 obtenida a partir de datos satelitales. La temperatura superficial mostró una tasa de cambio de +0.037°C por año en el periodo de estudio.

4.2. Salinidad

La Figura 4 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. Como se aprecia en las series temporales, los patrones de variación de la salinidad están muy relacionados con los de las precipitaciones. La tendencia plurianual de esta variable sí mostró una recuperación situándose en valores medios de salinidad superiores a 45 tras las lluvias torrenciales de 2017, lo que estuvo relacionado con la menor intensidad de las precipitaciones en ese periodo. Igualmente, desde 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 5) respecto a los rangos normalmente registrados en años anteriores (e históricamente) en la laguna (Ruiz *et al.*, 2020).

Por norma general, no se produce estratificación halina en la laguna, habiendo sido ésta evidente solo durante eventos puntuales y muy intensos de lluvias torrenciales (>100 mm p.ej. enero 2017 y septiembre-octubre 2019).



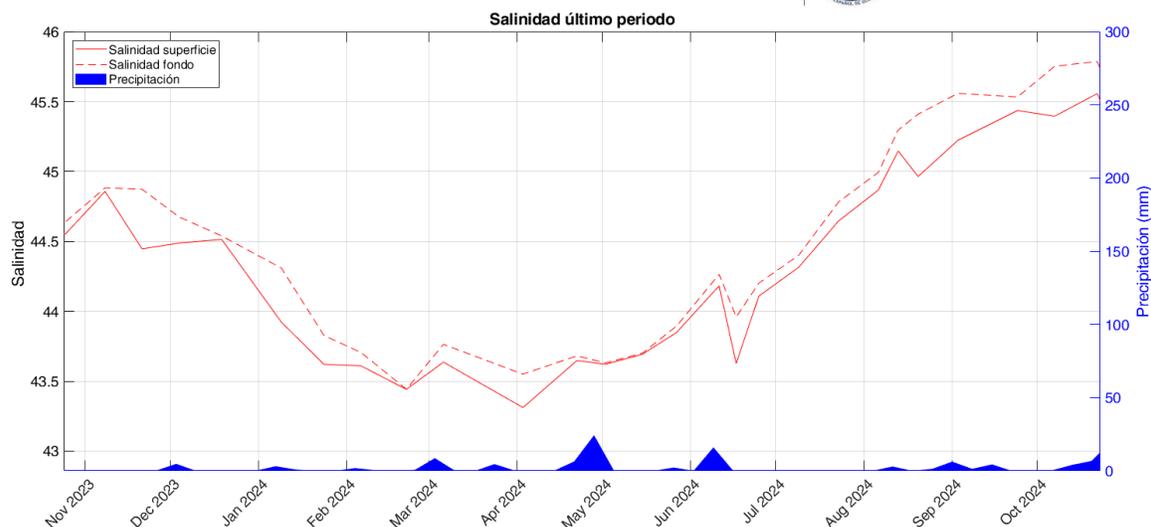


Figura 4: Datos de salinidad promedio en superficie (0,5m; rojo continuo) y fondo (entre 4 y 6m dependiendo de la estación, Figura 1; rojo discontinuo) en las estaciones de muestreo A, B, C y M de los muestreos del proyecto DMMEM y BELICH durante el último año natural. Datos de precipitación en el aeropuerto 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.

Tabla 3: Valores medios, mínimos (Min) y máximos (Max) de salinidad por año medidos en superficie (0,5 m) y fondo (4-6m dependiendo de la estación. Figura 1), durante los muestreos. Std: desviación estándar.

Salinidad (-)		Superficie				Fondo			
Año	Estación	Media	Std	Min	Max	Media	Std	Min	Max
2016	Invierno	---	---	---	---	---	---	---	---
	Primavera	---	---	---	---	---	---	---	---
	Verano	43,6	0,0	43,6	43,6	43,6	0,0	43,6	43,6
	Otoño	46,5	0,0	46,5	46,5	46,4	0,0	46,4	46,4
	Anual	45,8	0,0	45,8	45,8	45,9	0,0	45,9	45,9
2017	Invierno	45,3	1,5	43,6	46,5	45,3	1,5	43,6	46,4
	Primavera	40,1	1,2	39,3	41,0	41,0	0,1	40,9	41,0
	Verano	42,0	1,0	41,1	43,1	42,0	1,0	41,2	43,1
	Otoño	44,5	0,3	44,3	44,7	44,6	0,2	44,5	44,7
	Anual	44,6	0,0	44,5	44,6	44,6	0,1	44,5	44,7
2018	Invierno	42,7	2,0	39,3	44,7	42,9	1,7	40,9	44,7
	Primavera	43,4	0,2	43,2	43,6	43,5	0,5	43,2	44,1
	Verano	44,2	0,6	43,9	44,6	44,3	0,6	43,9	44,7
	Otoño	46,3	0,7	45,7	46,8	46,0	0,5	45,7	46,4



	Anual	45,7	0,9	44,7	46,5	45,9	0,9	44,9	46,7
2019	Invierno	44,8	1,3	43,2	46,8	44,9	1,3	43,2	46,7
	Primavera	44,2	0,1	44,1	44,3	44,3	0,1	44,3	44,3
	Verano	43,8	0,5	43,4	44,4	43,8	0,5	43,4	44,4
	Otoño	40,4	5,2	33,9	46,1	43,8	2,2	40,6	46,2
	Anual	39,8	0,5	39,1	40,3	40,9	1,3	39,5	42,9
2020	Invierno	41,4	3,4	33,9	46,1	42,9	2,0	39,5	46,2
	Primavera	38,7	0,6	38,3	39,3	39,1	0,5	38,5	39,5
	Verano	38,3	0,4	38,1	38,6	38,6	0,4	38,3	38,9
	Otoño	41,5	0,8	40,5	42,1	41,5	0,9	40,5	42,2
	Anual	42,4	0,4	42,0	42,6	42,6	0,1	42,5	42,6
2021	Invierno	40,4	1,9	38,1	42,6	40,6	1,8	38,3	42,6
	Primavera	41,4	0,5	40,8	41,8	41,5	0,6	40,8	41,9
	Verano	41,0	0,2	40,8	41,2	41,0	0,2	40,8	41,2
	Otoño	42,6	0,6	42,2	43,5	43,0	0,5	42,3	43,4
	Anual	42,9	0,4	42,6	43,3	42,9	0,4	42,6	43,4
2022	Invierno	42,0	0,9	40,8	43,5	42,2	1,0	40,8	43,4
	Primavera	41,3	1,4	39,8	42,3	41,4	1,2	40,0	42,4
	Verano	39,6	0,8	39,1	40,9	39,7	0,6	39,3	40,8
	Otoño	42,5	0,5	42,0	42,9	42,6	0,6	41,9	43,1
	Anual	42,1	0,4	41,4	42,4	42,2	0,4	41,6	42,6
2023	Invierno	41,2	1,4	39,1	42,9	41,4	1,4	39,3	43,1
	Primavera	41,4	0,1	41,2	41,5	41,4	0,1	41,2	41,5
	Verano	42,2	0,3	41,8	42,6	42,3	0,3	41,8	42,6
	Otoño	43,6	0,6	42,9	44,5	43,7	0,6	42,9	44,5
	Anual	44,6	0,1	44,4	44,9	44,7	0,1	44,5	44,9
2024	Invierno	43,6	0,2	43,4	43,9	43,8	0,3	43,4	44,3
	Primavera	43,8	0,3	43,3	44,2	43,9	0,3	43,6	44,3
	Verano	44,9	0,4	44,3	45,4	45,1	0,4	44,4	45,6
	Otoño*	45,5	0,1	45,4	45,6	45,8	0,0	45,8	45,8
	Anual	44,3	0,7	43,3	45,6	44,4	0,8	43,4	45,8

* Hasta 22/10/24

En 2024 se han alcanzado los máximos valores de salinidad desde las DANAs de 2019, con promedios de 43,7 en invierno, 43,9 en primavera y 45 en verano. Estos datos confirman la tendencia al alza de la salinidad, que ha ido consolidándose desde la marcada caída provocada por la DANA de 2019. Especialmente en verano, la salinidad ha mostrado una tendencia positiva

destacada (Figura 4, Tabla 5), particularmente marcada a partir de 2022, coincidiendo con una reducción progresiva de la frecuencia e intensidad de los eventos de precipitaciones.

Tras las lluvias de principios de junio de 2024, los valores descendieron ligeramente de 44,2 a 43,6, pero se recuperaron rápidamente. Posteriormente, las precipitaciones otoñales no han afectado a la tendencia creciente típica de esta época del año, aunque si se observa una leve estratificación entre la capa superficial y profunda de la laguna, con una diferencia de aproximadamente 0,3 puntos de salinidad a la baja en la capa superficial. Esto refleja claramente la influencia de las lluvias en la variación temporal de esta variable, así como su capacidad de recuperarse ante eventos de precipitaciones de intensidad leve y moderada (en general < 100 mm).

4.3. Concentración de la clorofila-*a*

4.3.1 Clorofila muestreos *in situ*

Con respecto a las medidas de clorofila-*a* tomadas *in situ*, desde otoño de 2022 los valores medios han ido descendido gradualmente en toda la laguna a excepción de la estación M. En la zona de la “mancha” los valores medios de clorofila-*a* son consistentemente más elevados (valores máximos de 7,3 mg/m³ en otoño de 2023; Figura 5. Tabla 6) que en el resto de estaciones de muestreo (1,0-2,0 mg/m³; Tabla 4). En diciembre de 2023 también se observó un pico de clorofila en la estación M de menor intensidad, alcanzando valores medios de 3,8 mg/m³. En 2024, en la estación M se registró un máximo de 3,95 mg/m³ en abril de 2024 (Figura 5), tras el cual la concentración de clorofila en esta estación volvió a disminuir hasta valores similares a los encontrados al principio del año 2024 (< 2,5 mg/m³). No obstante, la concentración media de esta variable en el resto de la laguna muestra un leve salto a concentraciones superiores a 1 mg/m³ a partir del mes de junio que se mantiene hasta octubre, y que parece estar en el origen del incremento de la turbidez de la columna de agua (K_d) (ver siguientes apartados).

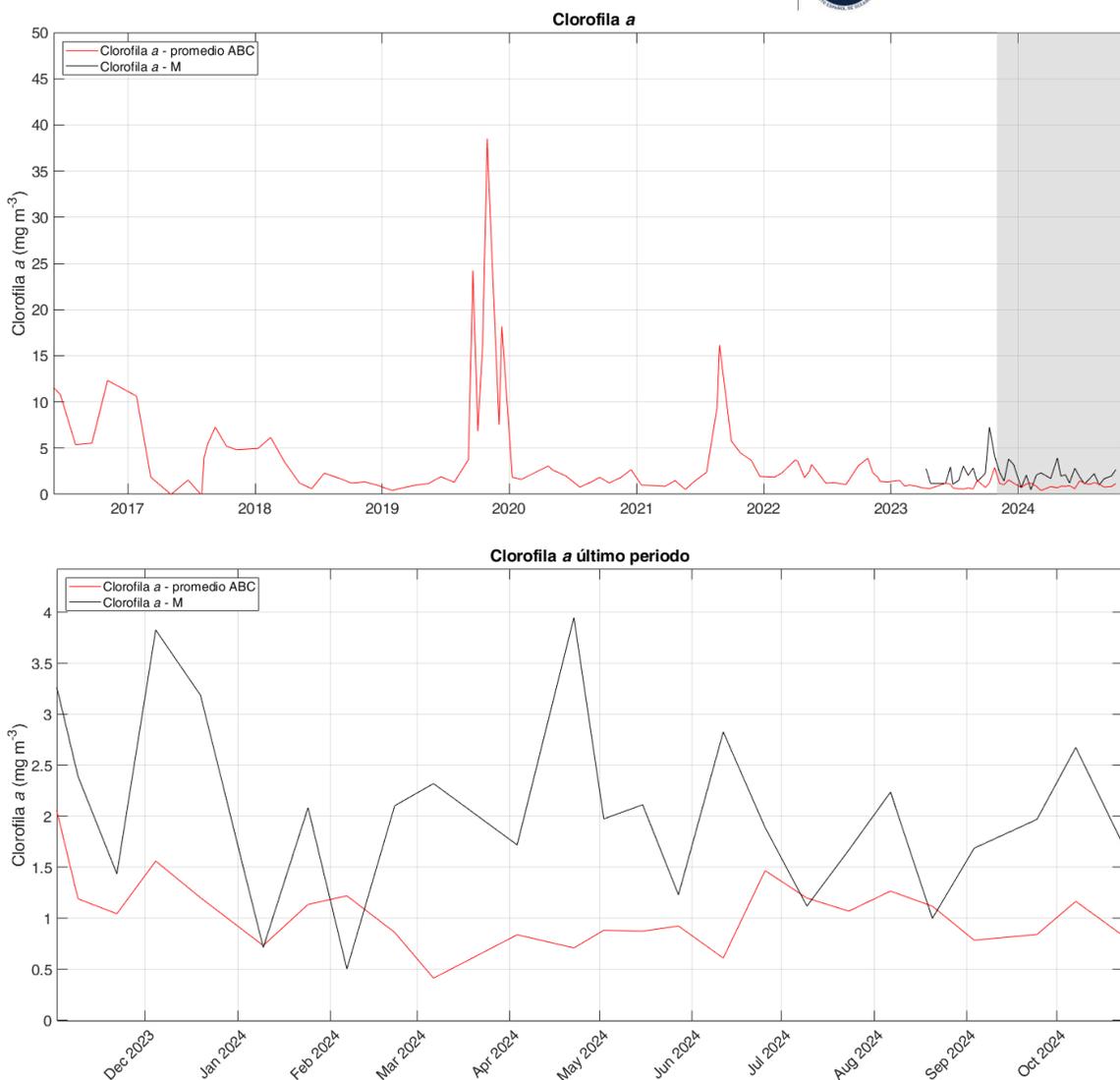


Figura 5: Datos de clorofila-*a* obtenidos en los muestreos del proyecto DMMEM y BELICH durante el último año en las estaciones de muestreo A, B, C y M de la laguna del Mar Menor. En la parte superior se muestra la serie desde 2016 y en la parte inferior el último año.

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

Clorofila- <i>a</i> (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	2,64	0,96	1,86	3,71
	Primavera	2,49	0,99	1,22	3,61
	Verano	1,82	1,13	1,07	3,12
	Otoño	2,17	1,05	1,34	3,91
	Anual	2,29	0,97	1,07	3,91
2023	Invierno	1,00	0,30	0,71	1,50
	Primavera	1,11	0,33	0,78	1,57
	Verano	1,14	0,21	0,83	1,48
	Otoño	2,06	0,78	1,14	3,19
	Anual	1,35	0,63	0,71	3,19



2024	Invierno	1,04	0,25	0,73	1,37
	Primavera	1,24	0,22	1,00	1,57
	Verano	1,19	0,17	1,01	1,51
	Otoño*	1,31	0,33	1,08	1,54
	Anual	1,19	0,23	0,73	1,57

* Hasta 22/10/24

En las Figuras 6, 7, 8 y 9 se presentan los valores de la concentración de clorofila-*a* para las cuatro estaciones de muestreo desde octubre de 2023 hasta octubre de 2024. Estos perfiles permiten ilustrar mejor las variaciones espacio-temporales en la laguna en las diferentes estaciones de muestreo *in situ* a diferentes profundidades. Además, en estas figuras se representa la variación temporal de luz disponible en el fondo como porcentaje de irradiancia superficial (%*I*₀) a 4 metros de profundidad.

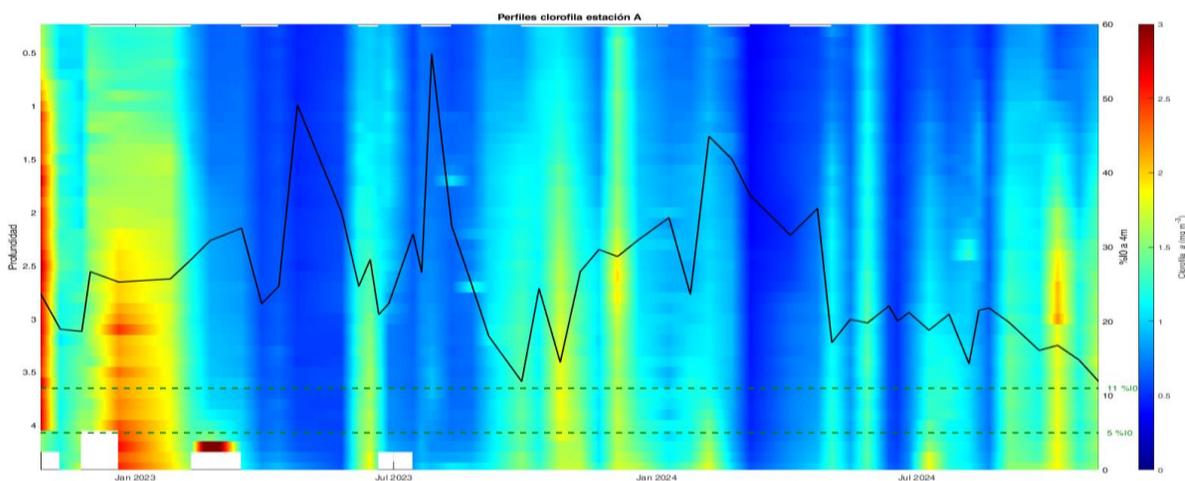


Figura 6: Perfiles de clorofila-*a* obtenidos durante los muestreos del proyecto BELICH en la Estación A. Los valores más altos se representan con colores cálidos (rojos), mientras que los valores más bajos se muestran con colores fríos (azules). Estos perfiles se presentan en función de la profundidad. La línea negra indica el %*I*₀ que alcanza los 4 metros.

Durante el periodo mostrado se observan diferentes episodios de incremento de la clorofila-*a*, que han sido especialmente intensos en las estaciones B y C. También se aprecia claramente como durante estos episodios la disponibilidad de luz en el fondo disminuye en mayor o menor medida, alcanzando los valores más elevados en los periodos entre eventos. Esta reducción se produce de forma particularmente intensa en la estación B, donde alcanza valores por debajo de los niveles de %*I*₀ que se consideran críticos para el crecimiento y supervivencia de los macrófitos bentónicos (< 11 de %*I*₀). En este sentido, se observan dos episodios, el de mayor intensidad que tuvo lugar en otoño de 2023 y el más reciente, a partir de junio de 2024. A finales de octubre, coincidiendo con un nuevo incremento de la clorofila-*a*, el %*I*₀ experimenta una mayor reducción quedando claramente por debajo de los niveles críticos, a pesar de que las concentraciones de clorofila no

son tan elevadas como las observadas en el evento de otoño de 2023. Esto es probablemente debido a que la clorofila-*a* no es el único factor que explica la turbidez de la columna de agua y, por tanto, las variaciones de %I₀ (ver apartado sobre la turbidez).

En la estación M los episodios de incremento de la clorofila-*a* son más frecuentes, intensos y prolongados con respecto al resto de la laguna (Figura 9). En el periodo analizado, la luz en la columna de agua se encuentra por encima del umbral de 11%I₀ en tan solo un 18,4% de las mediciones realizadas. En este caso también parece que esta reducción de la luz no se explica totalmente por las variaciones de la clorofila-*a*.

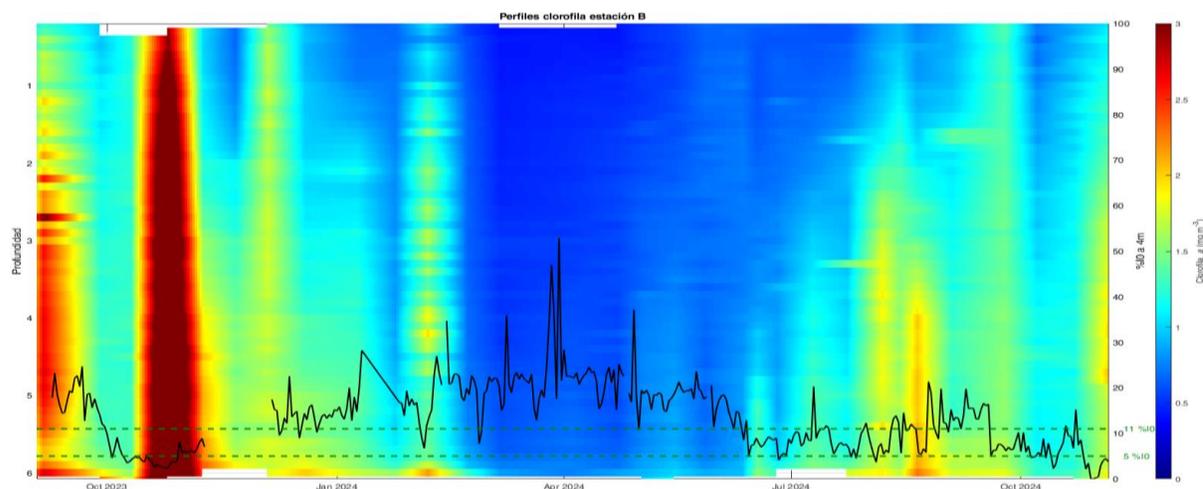


Figura 7: Perfiles de clorofila-*a* obtenidos durante los muestreos del proyecto BELICH en la Estación B. Los valores altos se representan con colores cálidos (rojos), mientras que los valores bajos se muestran con colores fríos (azules). Estos perfiles se presentan en función de la profundidad. La línea negra indica el %I₀ que alcanza los 4 metros calculado con los sensores PAR instalados permanentemente.

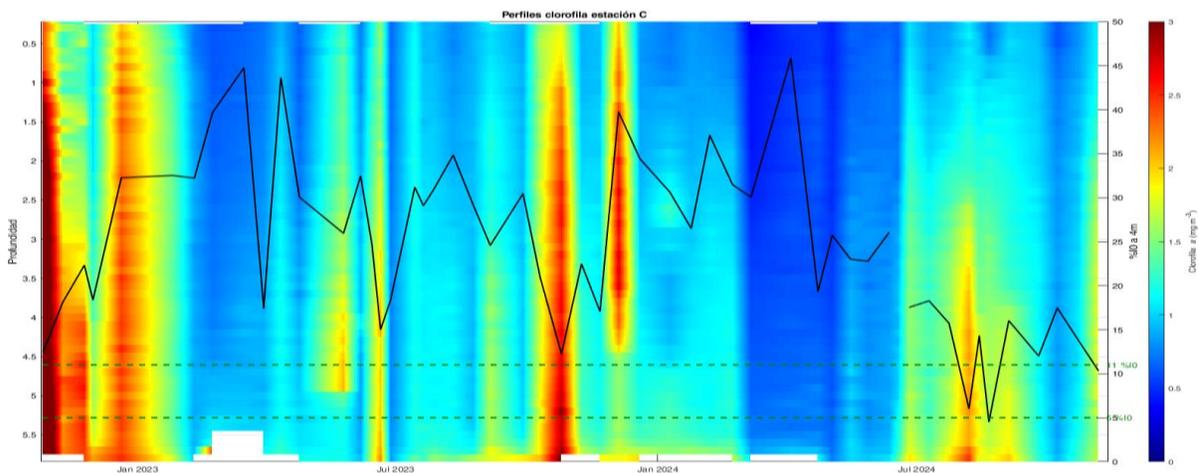


Figura 8: Perfiles de clorofila-*a* obtenidos durante los muestreos del proyecto BELICH en la Estación C. Los valores más altos se representan con colores cálidos (rojos), mientras que los valores más bajos se muestran con colores fríos (azules). Estos perfiles se presentan en función de la profundidad. La línea negra indica el %I₀ que alcanza los 4 metros.

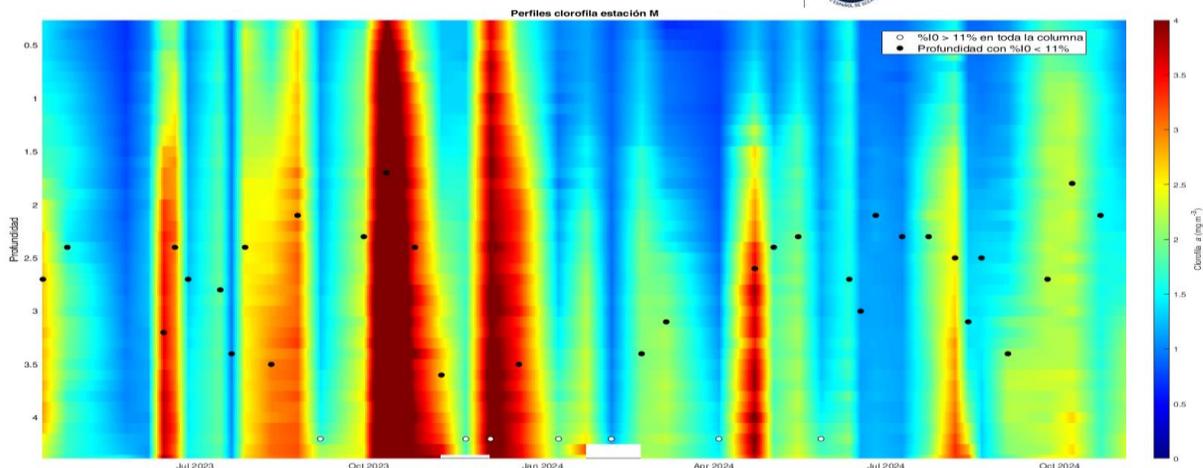


Figura 9: Perfiles de clorofila-*a* obtenidos durante los muestreos del proyecto BELICH en la Estación M. Los valores altos se representan con colores cálidos (rojos), mientras que los valores bajos se muestran con colores fríos (azules). Estos perfiles se presentan en función de la profundidad. Los puntos negros, indican la profundidad a partir de la cual el $\%I_0$ es limitante para el crecimiento de los macrófitos ($<10\%$), los puntos blancos indican que la $\%I_0$ no es limitante en toda la columna del agua.

4.3.2 Clorofila satelital

Para este informe se han elaborado los mapas diarios de concentración de la clorofila el Mar Menor que continúan la serie de mapas presentados en los informes anteriores, concretamente para los meses de mayo, junio, julio y agosto de 2024 (Figuras 10, 11, 12 y 13). Nótese que existen dos zonas someras en la orilla oriental de la laguna donde es recurrente la aparición de elevados valores de clorofila de satélite según las estimaciones del algoritmo. Son dos franjas estrechas, una muy corta en la parte interior de la gola de las Encañizadas (junto al cordón de La Manga, al norte de la laguna), y otra más larga entre las playas de El Pedrucho y Calnegre (junto al cordón de La Manga, al sur de la laguna), que se pueden apreciar perfectamente en los mapas generados con el algoritmo. Las observaciones *in situ* no evidencian que en estas zonas se encuentren recurrentemente altas concentraciones de clorofila, por lo que es probable que estos altos valores se deban a un pobre funcionamiento del algoritmo. Probablemente la señal captada por el satélite es afectada por la reflectancia de las comunidades de *Caulerpa prolifera* que ocupan el fondo en esas zonas. Se está trabajando en la implementación operacional de una máscara por profundidad que elimine estas zonas de la representación y su integración en el visor que se está preparando actualmente. Hay que señalar que para la construcción del algoritmo BELA no se han utilizado valores de reflectancia de satélite que provienen de píxeles localizados en zonas con profundidades de la columna de agua menores de 2 metros, además de otra serie de requisitos que garantizaran la calidad del algoritmo resultante.

Los mapas de distribución diaria de clorofila satelital reflejan bien las variaciones espacio-temporales descritas para las estaciones de muestreo A, B, C y M, pero además ponen en evidencia otros patrones espaciales asociados a gradientes ambientales característicos de la laguna (oeste-este, norte-sur). Los paneles de los meses de mayo y junio muestran que la concentración de clorofila en el Mar Menor fue relativamente baja, mostrando la presencia de la mancha, caracterizada por su algo más elevada concentración de clorofila. En el mes de junio se aprecia que el número de imágenes válidas es significativamente inferior a lo normal, pudiendo deberse a las condiciones meteorológicas o a la coincidencia del reflejo especular debido a la geometría sol-sensor durante este mes.

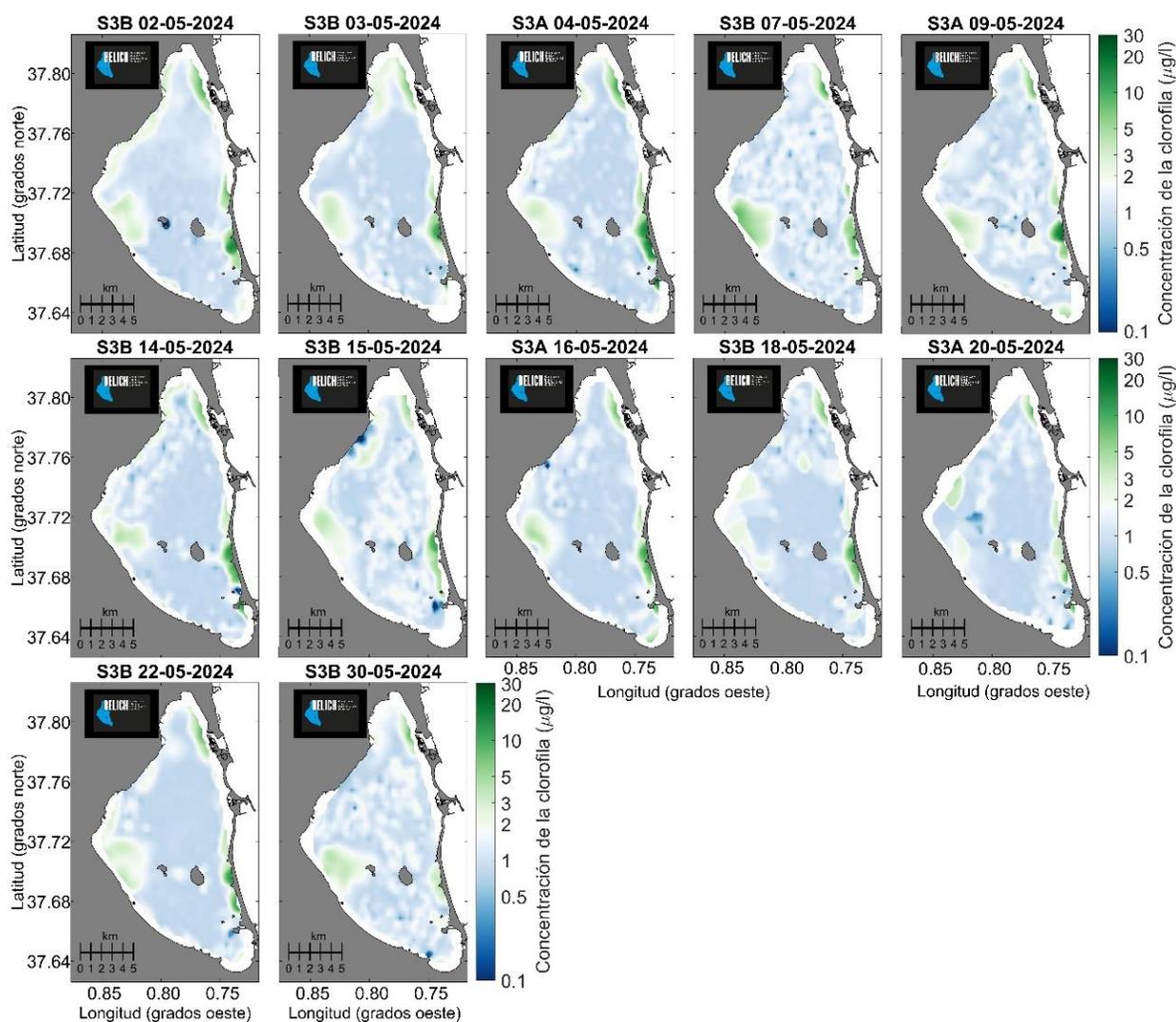


Figura 10. Concentración de la clorofila superficial para imágenes diarias válidas de Sentinel3A y Sentinel3B de mayo de 2024.

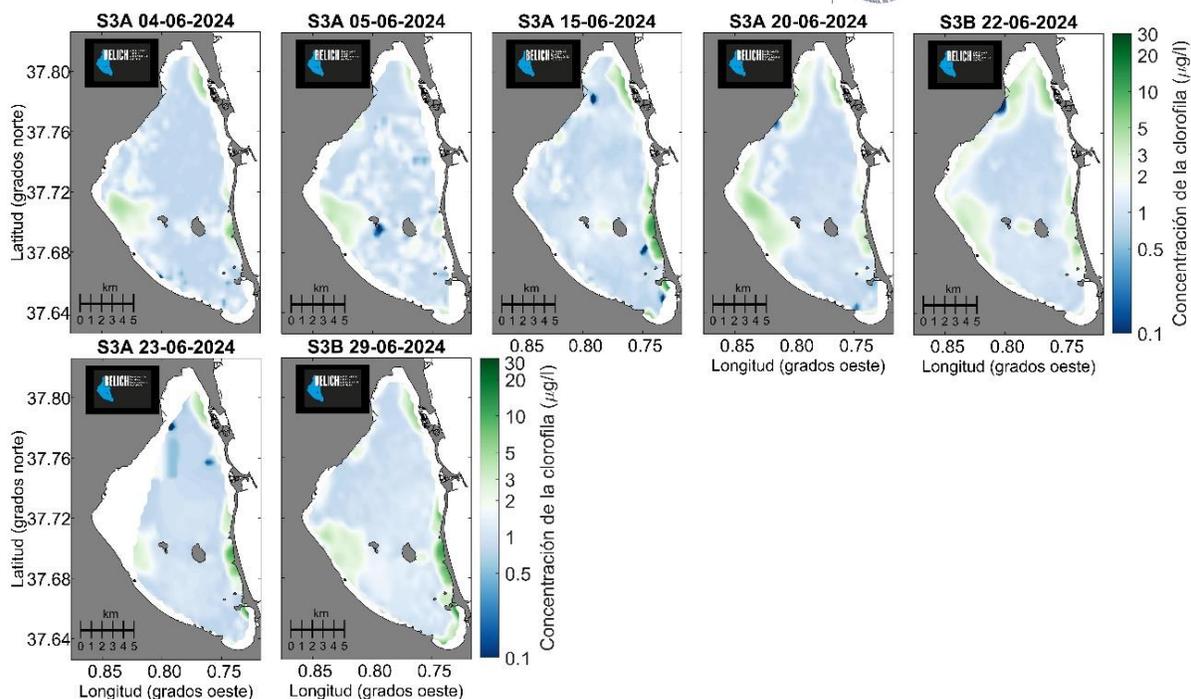


Figura 11. Concentración de la clorofila superficial para imágenes diarias válidas de Sentinel3A y Sentinel3B de junio de 2024.

En las imágenes del mes de julio aumentan las zonas con mayor concentración de clorofila, y a principios de agosto se observa un periodo con concentraciones de clorofila elevadas durante la primera quincena del mes. Tanto en julio como en agosto aparecen días con amplias zonas que presentan una elevada concentración de clorofila, sobre todo relacionadas con las márgenes continentales del litoral oeste del Mar Menor, como se puede apreciar en las imágenes del 21 de julio y el 17 de agosto. En agosto se aprecia también en algunas imágenes un gradiente espacial norte-sur, con concentraciones muy elevadas en la zona sur más confinada.

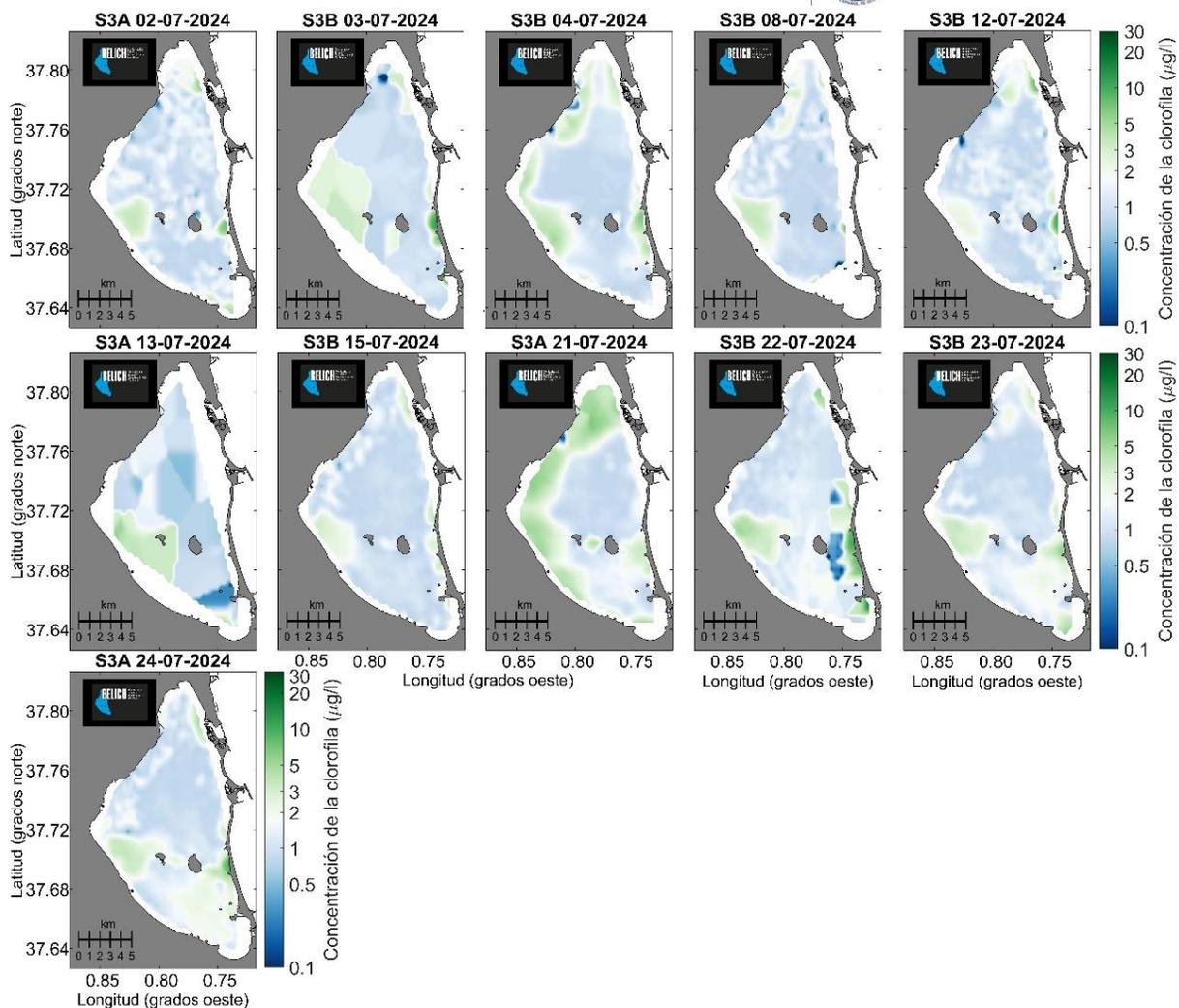


Figura 12. Concentración de la clorofila superficial para imágenes diarias válidas de Sentinel3A y Sentinel3B de julio de 2024.

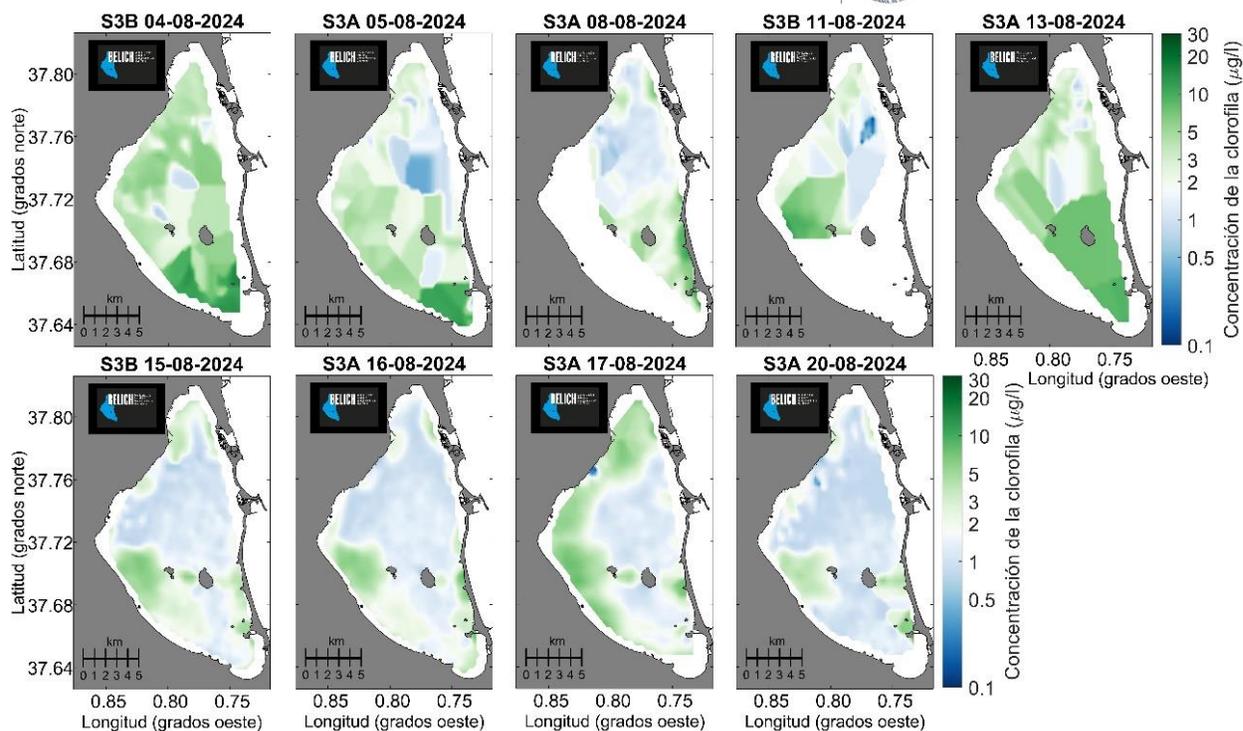


Figura 13. Concentración de la clorofila superficial para imágenes diarias válidas de Sentinel3A y Sentinel3B de agosto de 2024.

4.3.2.1 Análisis satelital de la “mancha blanca”

Empleando el algoritmo de detección de la mancha basado en el “índice BG” (Gómez-Jakobsen et al. 2024) se han elaborado mapas con todas las imágenes disponibles de cada mes, indicando la probabilidad dentro de cada mes de encontrar turbidez en la superficie de agua de la laguna del Mar Menor. La composición de imágenes mensuales permite apreciar por un lado la evolución de la forma de la mancha blanca y, por otro, la posición y persistencia de la misma cada mes. A continuación, se presentan los mapas de probabilidad desde mayo a agosto de 2024, tanto para el satélite Sentinel 3A como para el Sentinel 3B, que continúan la serie de mapas presentados en el informe de junio de 2024 (Figura 14).

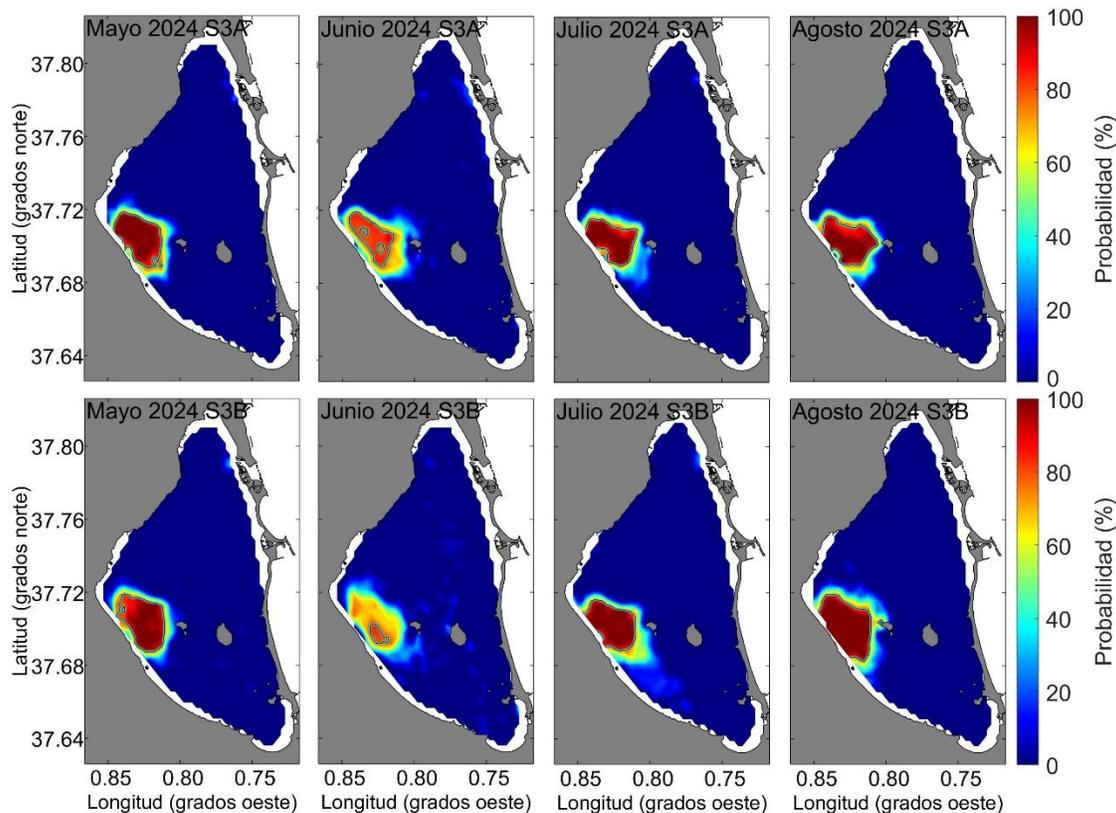


Figura 14. Probabilidad mensual de encontrar turbidez entre mayo y agosto de 2024.

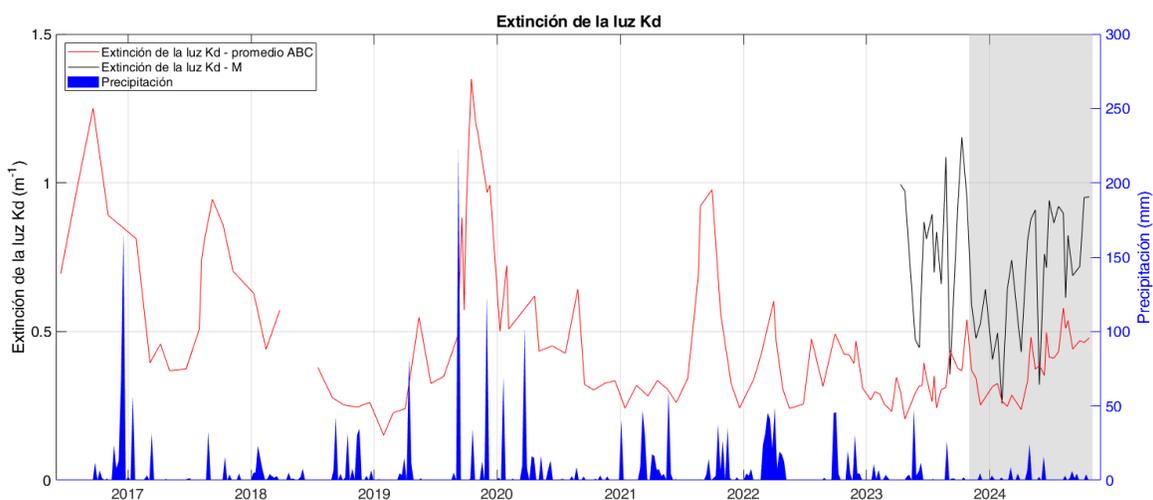
Los mapas actualizados de probabilidad de aparición de turbidez indican que la turbidez de la laguna se produce mayormente en la zona de la mancha blanca y que ésta continúa siendo un fenómeno muy persistente. Sin embargo, se puede apreciar que la probabilidad de aparición de turbidez fue menor (la mancha se debilitó) durante el mes de junio de 2024, al igual que ocurrió en junio de 2023 (ver informe de agosto de 2024), marcando junto con el debilitamiento experimentado durante los meses de invierno lo que parece un patrón estacional de la mancha. La bajada de probabilidad de aparición de turbidez de los meses de invierno (ver informe de junio de 2024) parece estar relacionado con una disminución de la superficie de la mancha y no tanto de su persistencia, mientras que el de junio parece caracterizarse por una disminución de su persistencia (esto es, del número de días del mes en que se afecta) y no tanto de su extensión, indicando cierta intermitencia. El estudio de este patrón intra-anual requiere de un análisis combinado con otras variables ambientales que pudieran estar dando lugar a estos periodos de debilitación de la mancha, como el análisis de las temperaturas del agua del Mar Menor o el nivel freático en las proximidades de la laguna (algo que ya se está llevando a cabo por investigadores del proyecto BELICH).

4.4. Turbidez

A partir de los datos de radiación PAR registrados en los muestreos *in situ* y en los sensores instalados de forma permanente en el fondo se observa que la transparencia de la columna de agua (K_d , coeficiente de extinción de la luz; Tabla 7 y Figura 15) muestra una dinámica general similar a la clorofila-*a*, pero mucho más variable en determinados momentos. En general, desde finales de 2022 se aprecia una leve tendencia descendente de los valores medios de extinción de luz en toda la laguna, lo que indica que las aguas son relativamente más transparentes desde esa fecha. No obstante, los registros en continuo obtenidos mediante los sensores PAR (Figura 15) muestran un incremento del K_d a partir de junio de 2024 desde valores en torno a 0,2 hacia valores que fluctúan entre 0,3 y 0,5 m^{-1} . Este incremento coincide con el incremento de las concentraciones de clorofila-*a* a valores medios superiores a 1 mg/m^3 en el mismo periodo.

En 2024, los valores de K_d se han mantenido estables en toda la laguna excepto en la estación M, donde la variable ha mostrado variaciones muy amplias y fluctuantes con tendencia creciente desde febrero. Estos aumentos coinciden con el aumento de los niveles de clorofila-*a*, tal y como hemos visto en el apartado anterior (Figura 5).

Como ocurrió en septiembre del 2023, tras el periodo de lluvias registrado a finales de abril del 2024, los niveles de K_d disminuyeron en la estación M igualándose a los del resto de la laguna, lo que coincide con la bajada de clorofila-*a* comentada en el apartado anterior. Tras este evento, los valores de K_d en la zona de la “mancha” volvieron a alcanzar los valores altos que presentaban abril-mayo, alcanzando, a finales de junio y a mediados de octubre, los niveles más altos de 2024 (0,95 m^{-1} ; Figura 15).



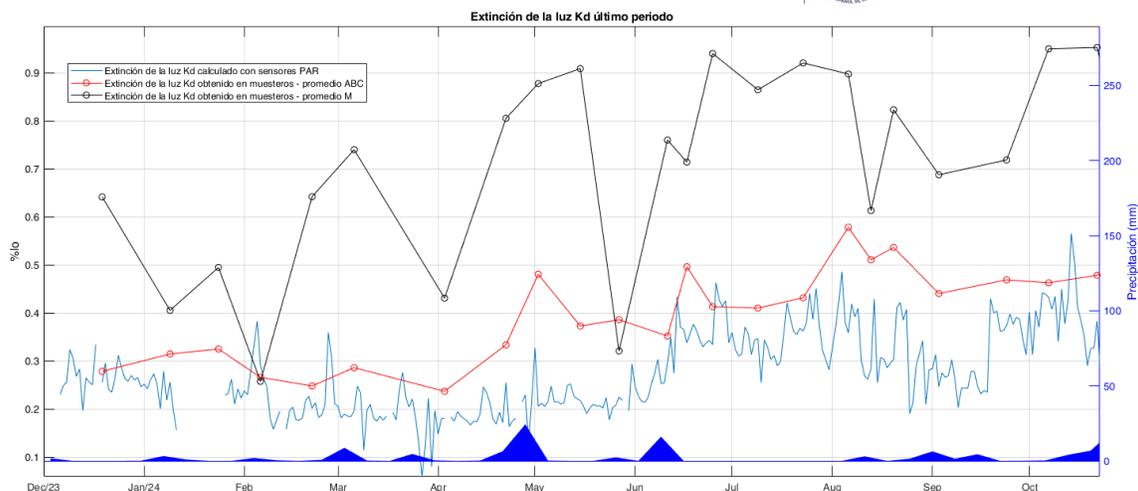


Figura 15: Coeficiente de extinción de la luz a partir de los datos obtenidos en los muestreos del proyecto DMMEM y BELICH en las estaciones de muestreo A, B, C y M, comparado con la precipitación en el aeropuerto de San Javier obtenido a partir de los datos de la AEMET. En la parte superior se muestra la serie desde 2016 y en la parte inferior se muestra la serie desde diciembre de 2023, añadiendo en azul claro el k_d registrado por los sensores PAR instalados de forma permanente.

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

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	0,40	0,06	0,31	0,47
	Anual	0,39	0,10	0,24	0,60
2023	Invierno	0,28	0,04	0,23	0,35
	Primavera	0,42	0,07	0,34	0,51
	Verano	0,44	0,05	0,39	0,51
	Otoño	0,45	0,13	0,32	0,64
	Anual	0,40	0,10	0,23	0,64
2024	Invierno	0,34	0,04	0,26	0,38
	Primavera	0,47	0,10	0,29	0,58
	Verano	0,56	0,05	0,50	0,66
	Otoño*	0,59	0,01	0,58	0,60
	Anual	0,48	0,11	0,26	0,66

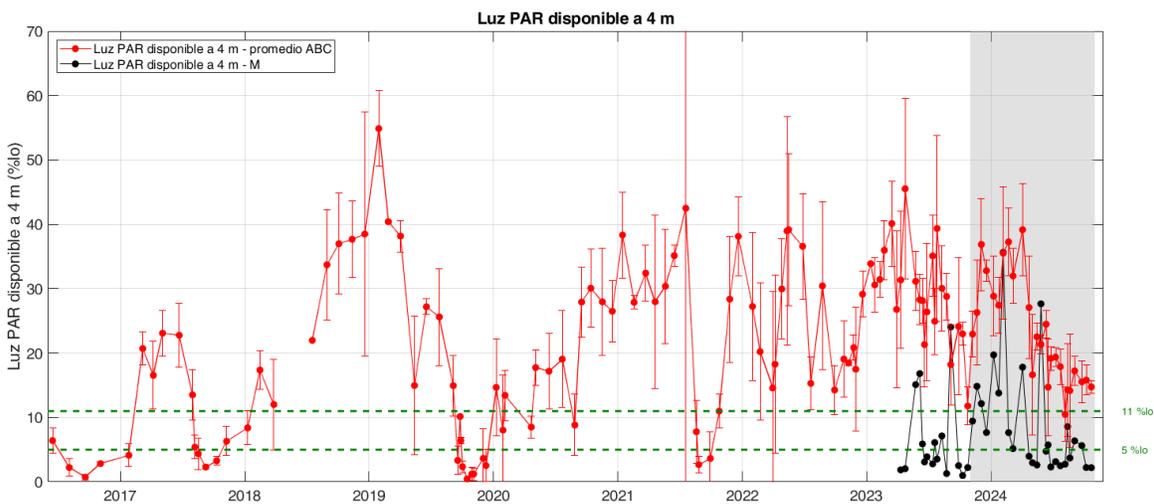
* Hasta 22/10/24

Como se aprecia en la Figura 13, durante el 80% del periodo de estudio, en la estación M se han registrado en el fondo valores medios de %I₀ 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 en esta zona de la laguna. Esta observación es consistente con la casi

total ausencia de vegetación bentónica en el área de la superficie ocupada por la mancha blanca (<https://www.ieo.es/documents/>).

La luz PAR disponible (%I₀) en el fondo en la estación M ha ido variando a lo largo del año 2024. Ésta fue aumentando a principios de año hasta que a mediados de febrero volvió a bajar a valores críticos para el crecimiento fotosintético (Figura 16). Esta elevada turbidez persistió hasta finales de mayo, coincidiendo con el periodo de lluvias comentado en apartado anteriores. No obstante, tras este evento, la masa de agua blanquecina recuperó rápidamente su extensión, forma y color previos, manteniendo valores de %I₀ inferiores al 5% durante casi todo el periodo de verano. 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, que son mucho más variables en función de vientos, corrientes, etc. Esta estabilidad explica la ausencia de vegetación reportada en el informe específico sobre la mancha blanca presentado en mayo de 2024 (IEO-CSIC 2024; <https://www.ieo.es/es/mar-menor>).

En el resto de la laguna, los valores de irradiancia (%I₀) han mostrado una tendencia al aumento desde inicios de 2024, manteniendo niveles óptimos para el desarrollo de los macrófitos. Sin embargo, a partir de verano ha mostrado una tendencia descendente casi continua hasta alcanzar niveles por debajo de los niveles críticos (< 10%I₀) hasta finales de octubre. En este punto, es importante destacar los valores registrados por los sensores PAR, que muestran niveles inferiores al 10 % desde junio durante más de la mitad de los días de seguimiento (Figura 16).



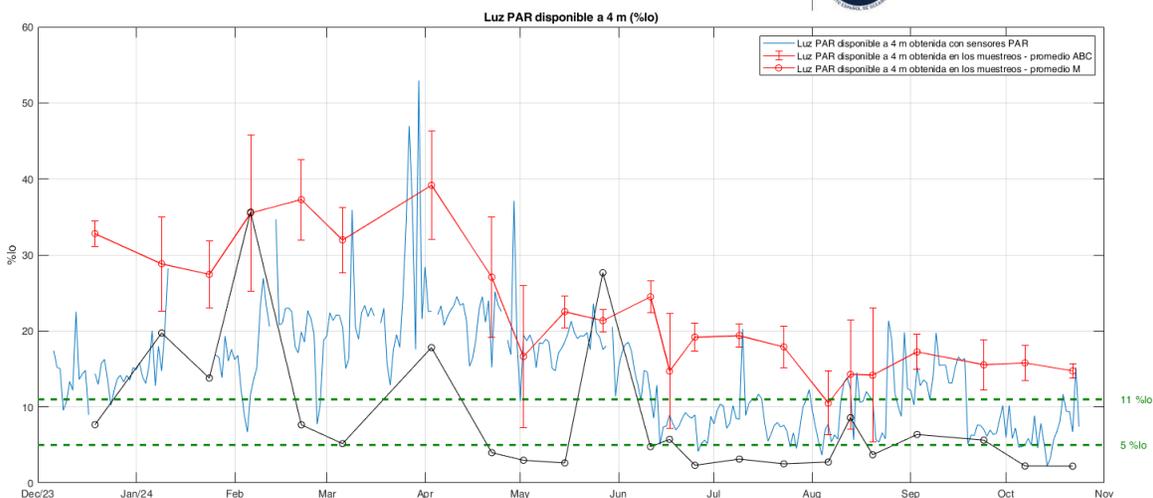


Figura 16: Evolución del porcentaje de radiación PAR que atraviesa la superficie del agua y que alcanza la profundidad de 4 metros. La línea roja muestra la media de la luz PAR que alcanza los 4 m en los puntos de muestreo A, B y C, mientras que la línea negra es la del punto de muestreo M. La línea azul muestra la luz PAR disponible a los 4m en la estación B, medida con los sensores PAR instalados permanente. 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.

En las Figuras 17, 18, 19 y 20 se presentan las variaciones espacio-temporales de turbidez obtenidas a partir de los perfiles registrados con el sensor CTD en las cuatro estaciones de muestreo. En las estaciones A y B se observa un notable incremento de turbidez en octubre, lo que generó una significativa reducción del %lo, particularmente en la estación B donde se alcanzaron valores del 5 %lo cuando la turbidez superó los 0,9 FTU.

En la estación C se registró un aumento significativo de turbidez a principios de agosto, lo que estuvo relacionado con niveles críticos de %lo. En la estación M, tal y como hemos comentado anteriormente, se han registrado los niveles más altos de turbidez de toda la laguna. En esta estación, la relación entre la turbidez y la profundidad a partir de la cual la luz resulta limitante para el crecimiento de macrófitos es especialmente evidente, destacando un incremento puntual de turbidez concentrado en el fondo (más allá de los 3 metros) hacia finales de septiembre (Figura 20).

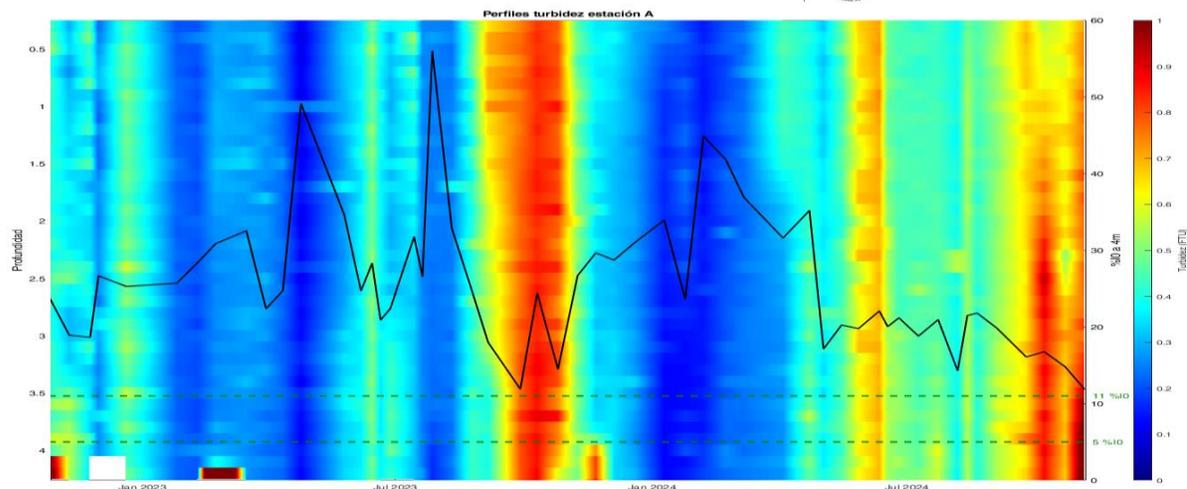


Figura 17: Perfiles de turbidez obtenidos durante los muestreos del proyecto BELICH en la Estación A. Los valores altos se representan con colores cálidos (rojos), mientras que los valores bajos se muestran con colores fríos (azules). Estos perfiles se presentan en función de la profundidad. La línea negra indica el %_o que alcanza los 4 metros.

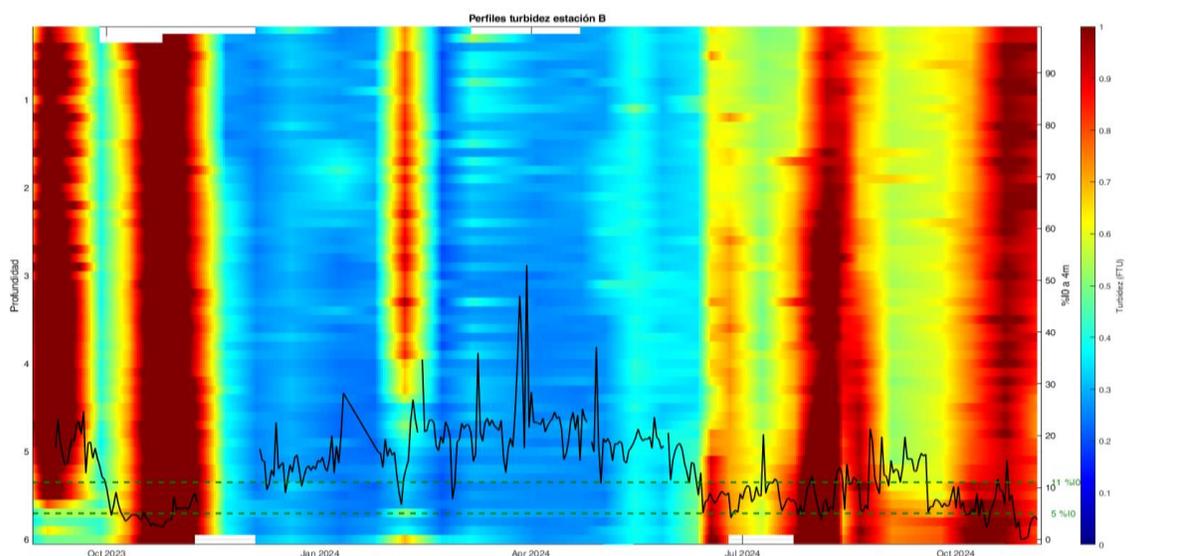


Figura 18: Perfiles de turbidez obtenidos durante los muestreos del proyecto BELICH en la Estación B. Los valores de altos se representan con colores cálidos (rojos), mientras que los valores bajos se muestran con colores fríos (azules). Estos perfiles se presentan en función de la profundidad. La línea negra indica el %_o que alcanza los 4 metros calculado con los sensores PAR instalados permanentemente.

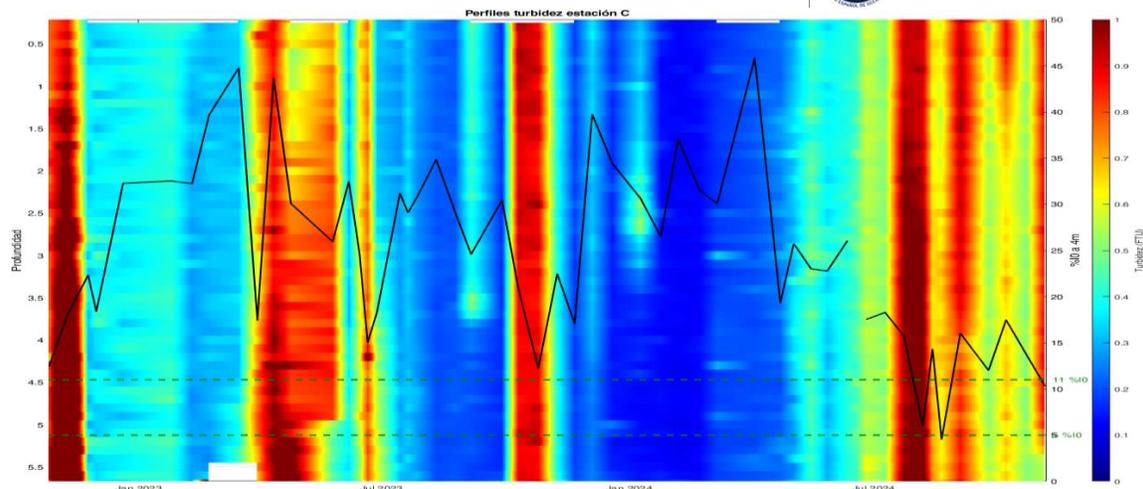


Figura 19: Perfiles de turbidez obtenidos durante los muestreos del proyecto BELICH en la Estación C. Los valores altos se representan con colores cálidos (rojos), mientras que los valores bajos se muestran con colores fríos (azules). Estos perfiles se presentan en función de la profundidad. La línea negra indica el %₀ que alcanza los 4 metros.

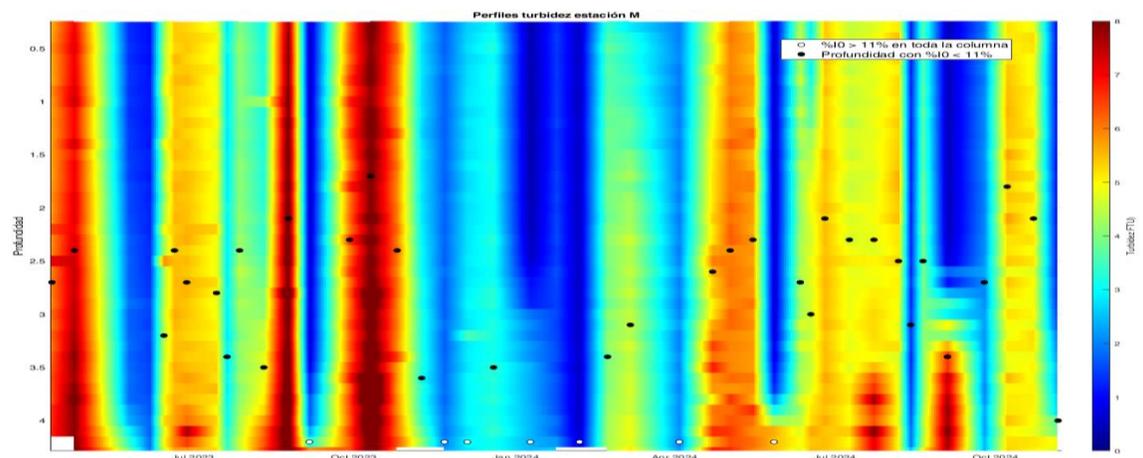


Figura 20: Perfiles de turbidez obtenidos durante los muestreos del proyecto BELICH en la Estación M. Los valores altos se representan con colores cálidos (rojos), mientras que los valores bajos se muestran con colores fríos (azules). Estos perfiles se presentan en función de la profundidad. Los puntos negros, indican la profundidad a partir de la cual el %₀ es limitante para el crecimiento de los macrófitos (<10%), los puntos blancos indican que la el %₀ no es limitante en toda la columna del agua.

4.5. Oxígeno

Las concentraciones medias de oxígeno registrados durante los muestreos *in situ* en invierno de 2024 alcanzaron valores máximos propios de la época del año (media de 9,4 mg/l); experimentando a continuación una disminución característica desde el periodo primaveral, y alcanzando valores medios mínimos en verano de 6,4 mg/l, lo que coincidió con el aumento de la temperatura. Tras esta disminución estival, a partir de otoño se observa un cambio de tendencia

(aumento) y se espera que se mantenga hasta el invierno, siguiendo la variación típica de esta variable (Tabla 6; Figura 21). Además, la concentración de oxígeno no muestra grandes diferencias entre las capas superficiales y profundas, lo que indica ausencia de procesos de estratificación termohalina en la columna de agua que interfieran 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. Por otro lado, aunque no se observa ninguna alteración significativa de los patrones de variación natural de esta variable en la estación M, en esta localidad se han registrado desde finales de junio de 2024 valores de oxígeno ligeramente por debajo de los registrados en el resto de estaciones de muestreo, pero sin alcanzar valores críticos en ninguna ocasión (Figura 21).

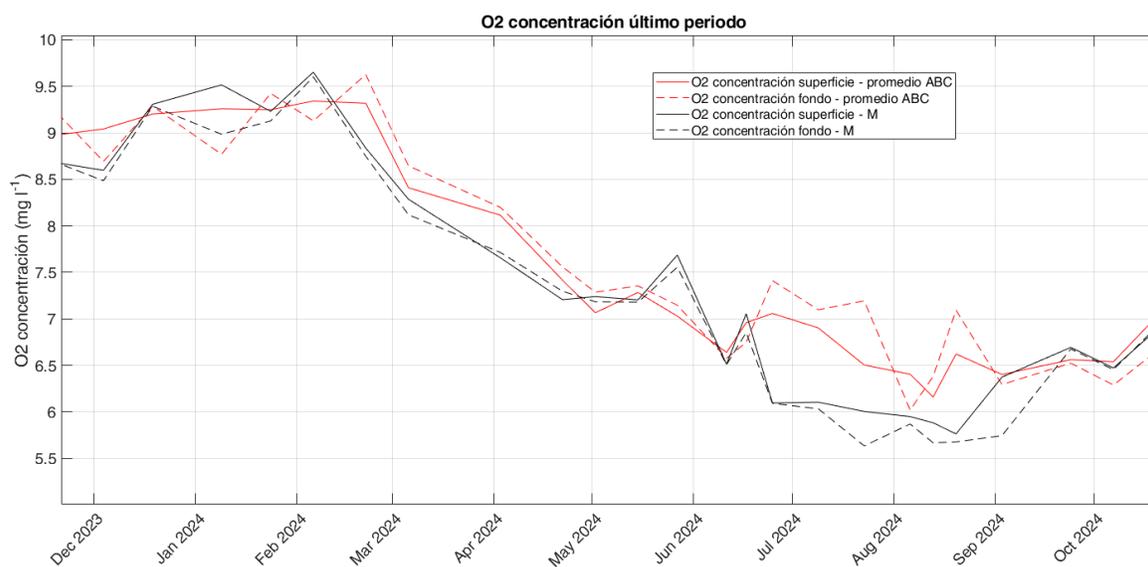
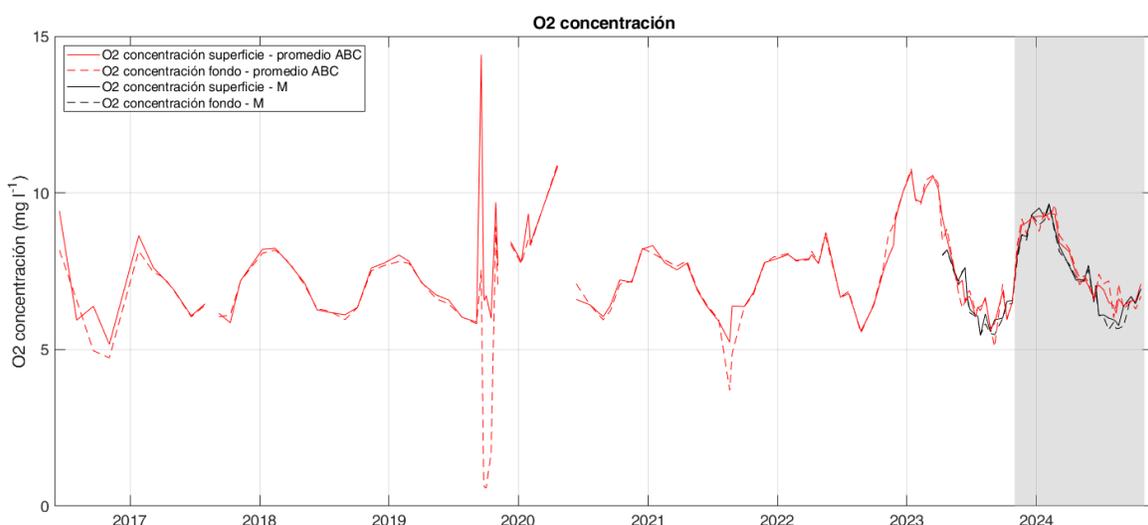


Figura 21: Series temporales promedio de oxígeno disuelto para las capas superficiales (0,5 m; línea continua) y de fondo (entre 4 y 6m dependiendo de la estación, Figura 1; línea discontinua) de los muestreos del proyecto DMMEM y BELICH para las estaciones de muestreo A, B, C y M de la laguna del Mar Menor.

Tabla 6: Valores medios, mínimos (Min) y máximos (Max) de oxígeno disuelto por año medidos en superficie (0,5 m) y fondo (4-6m dependiendo de la estación. Figura 1), durante los muestreos. 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	1,1	5,5	10,0
2023	Invierno	10,2	0,4	9,7	10,7	10,2	0,5	9,6	10,8
	Primavera	7,4	0,9	6,6	8,9	7,3	0,9	6,6	8,7
	Verano	6,2	0,4	5,7	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
2024	Invierno	9,4	0,2	9,2	9,7	9,3	0,4	8,8	9,8
	Primavera	7,2	0,4	6,6	8,0	7,2	0,5	6,6	8,1
	Verano	6,4	0,2	6,1	6,7	6,5	0,3	6,0	6,8
	Otoño*	6,8	0,4	6,5	7,1	6,6	0,3	6,3	6,8
	Anual	7,3	1,1	6,1	9,4	7,3	1,1	6,0	9,4

* Hasta 22/10/24

4.6. pH

Los valores promedio del pH del Mar Menor se muestran en la Figura 22 y en la Tabla 7. Se observa una tendencia general positiva de aumento del pH de +0,06 unidades por año, experimentando un incremento neto para todo el periodo de estudio desde 8 a 8,6 (+0,6). Dentro de esta tendencia general se observan fluctuaciones episódicas que podrían responder a diferentes fenómenos o perturbaciones. Por ejemplo, la última parte del episodio de “sopa verde” en 2017 y en 2021 mostraron 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 cambiaron y mostraron un aumento considerablemente anómalo hasta alcanzar en junio de 2022 valores de pH de 10. Posteriormente, los valores comenzaron a disminuir rápidamente de nuevo hasta alcanzar en septiembre de 2022 valores próximos a 8,5 unidades. Se desconoce la causa de este máximo eventual y excepcional.

La estación M experimentó una disminución de pH en superficie a principios de enero de 2024, presentando valores de hasta 8,2 (0,2 puntos inferior al resto de la laguna) que se mantuvieron hasta principios de marzo (Figura 15, Tabla 8). Tras este periodo, el pH de superficie en la estación M volvió a aumentar hasta alcanzar los mismos valores que en el resto de la laguna. A mediados

de agosto de 2024, se observó una leve disminución en toda la laguna, que se ha mantenido hasta octubre (Figura 22). No obstante, desde finales de 2023 parece que hay una tendencia de estabilización de esta variable, que suaviza su tendencia general de aumento observada desde el principio del periodo de estudio considerado.

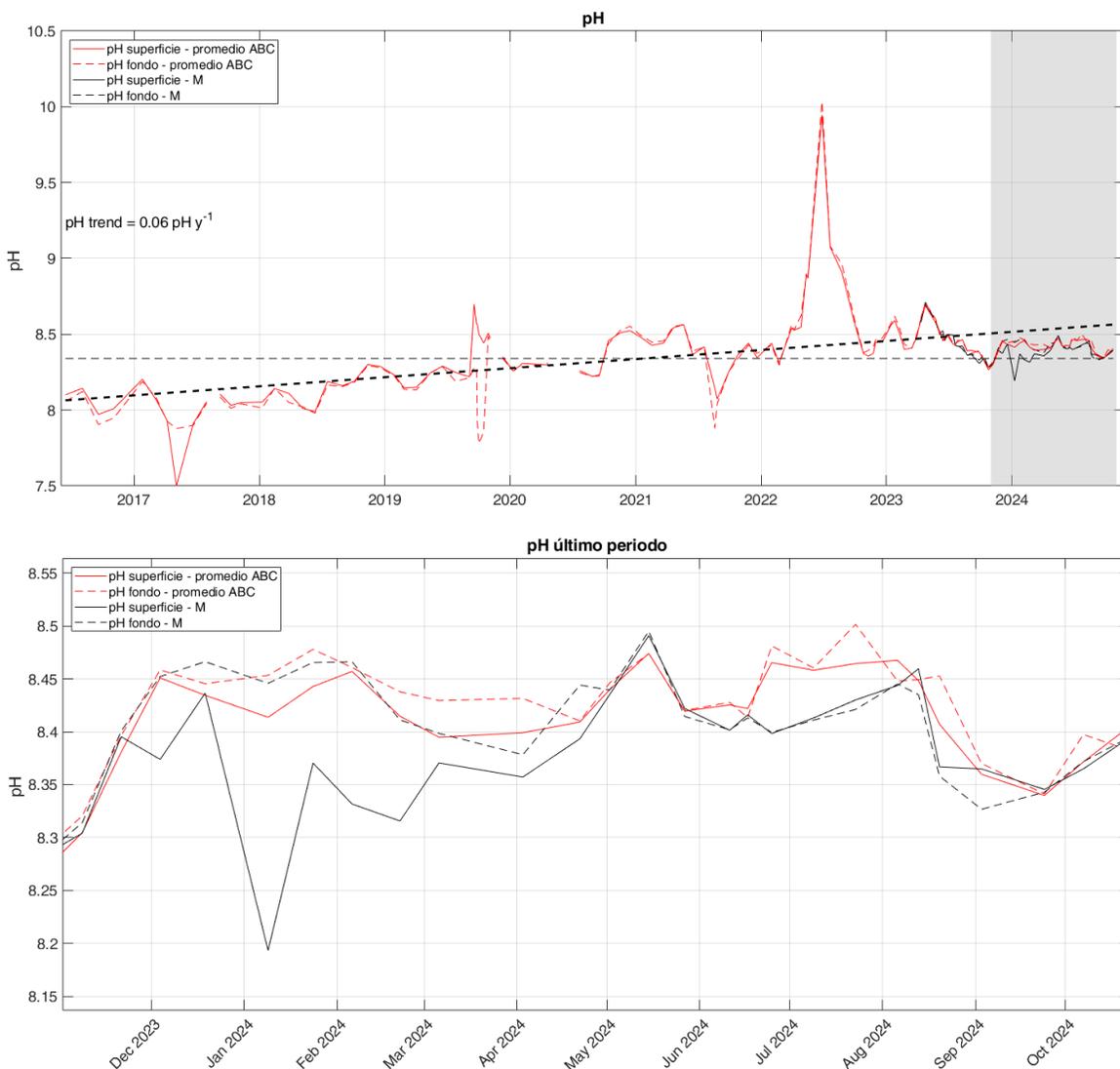


Figura 22: Valores de pH superficial (0,5m; línea continua) y pH del fondo (entre 4 y 6m dependiendo de la estación, Figura 1; línea discontinua) de los muestreos del proyecto DMMEM y BELICH en las estaciones de muestreo A, B, C y M de la laguna del Mar Menor durante el último año natural.

Tabla 7: Valores medios, mínimos (Min) y máximos (Max) de pH por año medidos en superficie (0,5 m) y fondo (4-6m dependiendo de la estación. Figura 1), durante los muestreos. 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
2024	Invierno	8,39	0,03	8,36	8,43	8,44	0,03	8,40	8,47
	Primavera	8,43	0,03	8,39	8,48	8,43	0,02	8,42	8,48
	Verano	8,42	0,05	8,34	8,46	8,42	0,05	8,34	8,48
	Otoño*	8,39	0,02	8,37	8,40	8,39	0,00	8,39	8,39
	Anual	8,41	0,04	8,34	8,48	8,43	0,04	8,34	8,48

* Hasta 22/10/24

4.7. Potencial redox

Tal y como se puede observar en la Figura 23 y la Tabla 8, el potencial redox del Mar Menor se ha comportado de forma muy estable a lo largo del período analizado (junio 2022-octubre 2024), manteniéndose en torno a los 100 mV. Estos datos reflejan la ausencia de eventos extremos desde noviembre de 2022 e indican un estado de la columna de agua predominantemente oxidante.

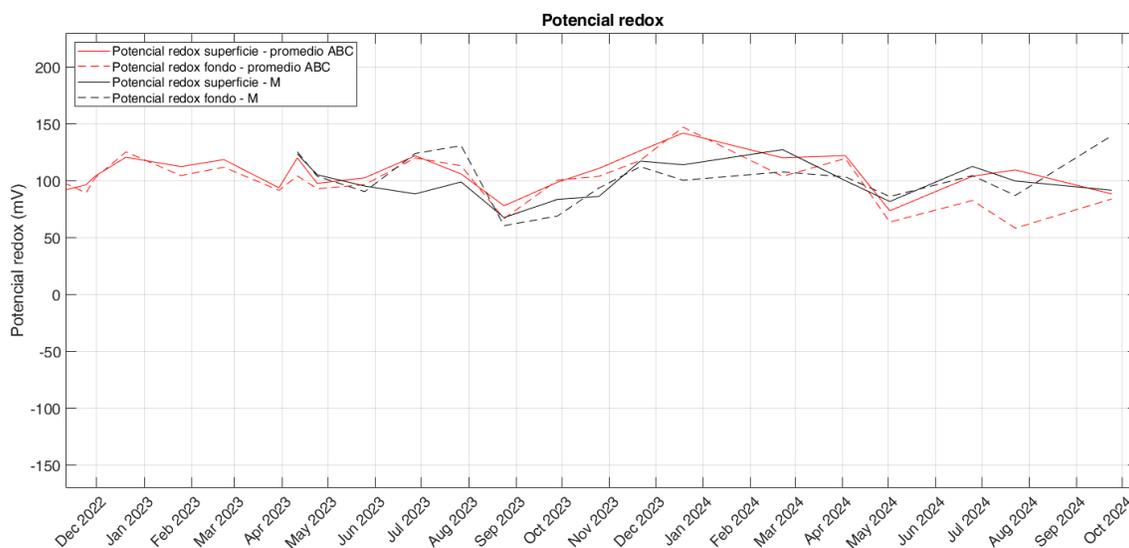


Figura 23: Valores de redox superficial (0,5m) y fondo (4-6m dependiendo de la estación, Figura 1; línea discontinua) de los muestreos *in situ* del proyecto DMMEM y BELICH en las estaciones de muestreo A, B, C y M de la laguna del Mar Menor.

Tabla 8: Valores medios, mínimos (Min) y máximos (Max) de potencial redox por año, medidos en superficie (0,5 m) y fondo (4-6m dependiendo de la estación. Figura 1), durante los muestreos *in situ*. Std: desviación estándar.

Potencial redox (mV)		Superficie				Fondo			
Año	Estación	Media	Std	Min	Max	Media	Std	Min	Max
2022	Otoño	100,6	12,9	88,8	121,0	100,4	16,0	84,5	125,7
	Anual	95,1	12,1	79,6	121,0	90,8	15,9	67,7	125,7
2023	Invierno	108,6	12,9	94,2	119,0	103,0	10,3	91,9	112,3
	Primavera	109,1	10,3	99,9	121,3	105,7	12,4	95,4	121,4
	Verano	91,9	14,7	75,8	104,6	92,2	26,3	65,5	118,0
	Otoño	121,6	15,4	105,1	135,4	118,1	17,1	101,7	135,8
	Anual	107,9	15,5	75,8	135,4	104,8	17,5	65,5	135,8
2024	Invierno	122,3	0,0	122,3	122,3	105,2	0,0	105,2	105,2
	Primavera	99,8	21,3	76,0	117,0	91,4	23,3	69,7	115,9
	Verano	99,8	21,3	76,0	117,0	91,4	23,3	69,7	115,9
	Otoño*	107,5	0,0	107,5	107,5	65,9	0,0	65,9	65,9
	Anual	105,9	18,0	76,0	122,3	89,0	21,8	65,9	115,9

* Hasta 22/10/24

5. Bibliografía

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

Doney, S. C., Fabry, V. J., Feely, R. A., & Kleypas, J. A. (2009). Ocean acidification: the other CO₂ problem. *Annual Review of Marine Science*, 1, 169-192.

Gómez-Jakobsen, F.J., Oosterbaan, M., Mercado-Carmona, J.M., Ruíz-Fernández, J.M., Fraile Nuez, E. (2024). Detección y descripción de “la mancha blanca” del Mar Menor. En *Teledetección y Cambio Global: Retos y Oportunidades para un Crecimiento Azul*, Actas del XX Congreso de la Asociación Española de Teledetección, pp. 63-66. 2024, Cádiz. Disponible en <http://www.aet.org.es/?q=congresos>

Hobday, A. J., Alexander, L. V., Perkins, S. E., Smale, D. A., Straub, S. C., Oliver, E. C. J., Benthuisen, J. A., Burrows, M. T., Donat, M. G., Feng, M., Holbrook, N. J., Moore, P. J., Scannell, H. A., Sen Gupta, A., & Wernberg, T. (2016). A hierarchical approach to defining marine heatwaves. *Progress in Oceanography*, 141, 227-238.

Kirk, J. T. (1985). Effects of suspensoids (turbidity) on penetration of solar radiation in aquatic ecosystems. *Hydrobiologia*, 125, 195-208.

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

Long, J. S., Hu, C., Robbins, L. L., Byrne, R. H., Paul, J. H., & Wolny, J. L. (2007). Optical and biochemical properties of a southwest Florida whiting event. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 196, 258-268.

Marin-Guirao, L., Bernardeau-Esteller, J., Belando, M. D., García Muñoz, R., Ramos Segura, A., Alcoverro, T., Minguito Frutos, M., & Ruiz, J. M. (2022). Photo-acclimatory thresholds anticipate sudden shifts in seagrass ecosystem state under reduced light conditions. *Marine Environmental Research*, 177, 105636.

Mercado, J. M., 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, B. B., 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.

Oliver, E. C., Benthuisen, J. A., Darmaraki, S., Donat, M. G., Hobday, A. J., Holbrook, N. J., Schlegel, R. W., & 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, M. D., Ruiz, J. M., & Mercado, J. M. (2023). Phytoplankton dynamics in the Mar Menor, a Mediterranean coastal lagoon strongly impacted by eutrophication. *Marine Pollution Bulletin*, 192, 1150741.

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

BELA: Algoritmo de teledetección de la clorofila específico para el Mar Menor.

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.

K_d: Coeficiente de extinción de la luz.

MAPMM: Marco de Actuaciones Prioritarias para la recuperación del Mar Menor.

MITERD: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

NID: Nitrógeno Inorgánico Disuelto.

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 24 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 24: 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 25 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.

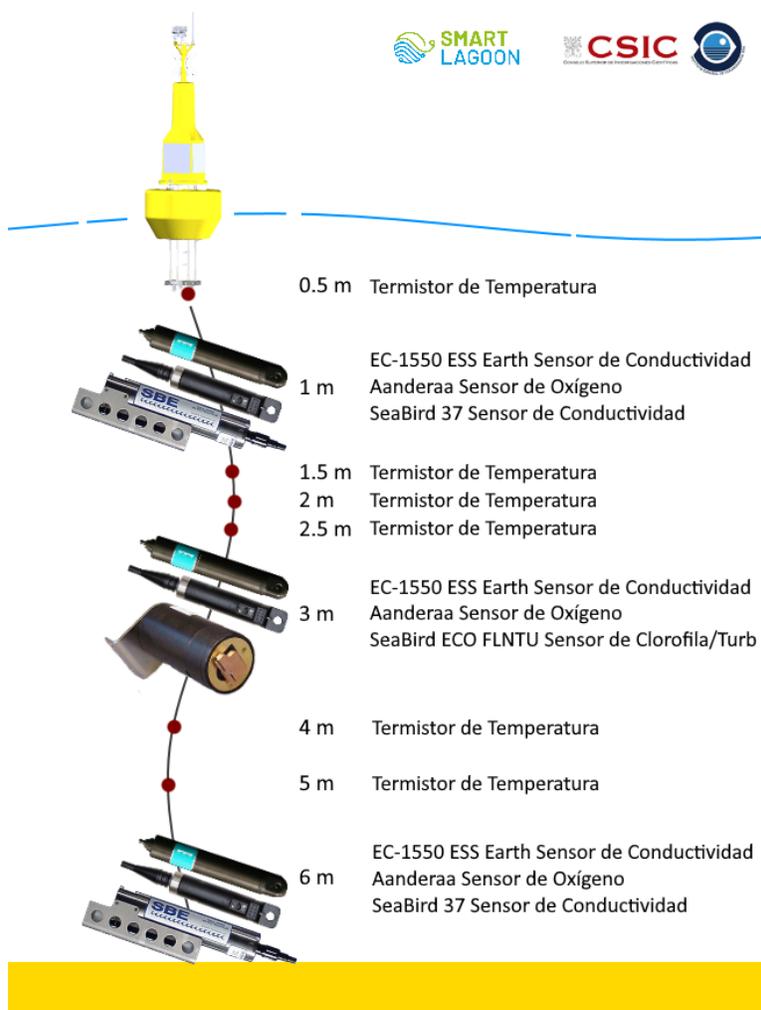


Figura 25: Esquema de los sensores instalados en la boya piloto SMLG con los nuevos sensores de temperatura, conductividad y presión a 1 y 6 metros de profundidad (Seabird-37).

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 18. 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 (%*l*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 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. Potencial Redox

La medición del potencial redox se realiza mediante electrodos metálicos combinados, uno de medición y otro de referencia. La tendencia de los agentes químicos de aceptar o donar electrones determina el potencial del metal, lo que determina el voltaje potencial de oxidación-reducción de soluciones acuosas.

Los datos de potencial redox se obtienen de las siguientes fuentes:

- Abril de 2022 – actualidad: a partir de muestreos *in situ* en todas las estaciones de muestreo (Figura 1). Estos se realizan con frecuencia mensual, dependiendo de las circunstancias de la laguna en cada momento. Estas mediciones se realizan con la sonda de medición redox SenTix® ORP-T 900.

La obtención de datos a partir de estos muestreos *in situ* nos permite obtener una serie temporal de calidad desde abril de 2022.

7.2.8. 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.

7.2.9. 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.

7.2.10. 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

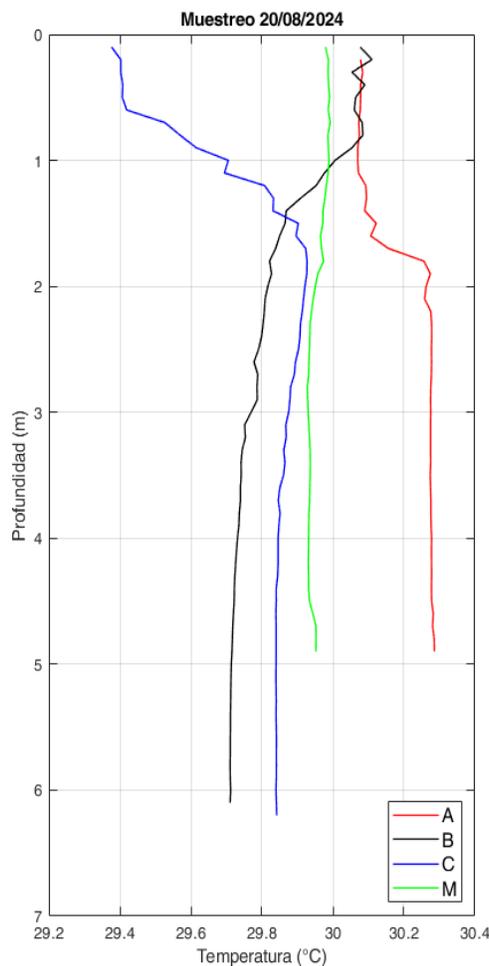


Figura 26. Perfiles de Temperatura obtenidos el día 20/08/24 con el CTD.

Tabla 9. Datos de Temperatura de los perfiles de CTD obtenidos el día 20/08/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	30,07 °C	30,28 °C	30,17 °C	0,09 °C
A	3-7 m	30,27 °C	30,29 °C	30,28 °C	0,00 °C
B	0-3 m	29,78 °C	30,11 °C	29,92 °C	0,12 °C
B	3-7 m	29,71 °C	29,77 °C	29,73 °C	0,02 °C
C	0-3 m	29,38 °C	29,93 °C	29,74 °C	0,21 °C
C	3-7 m	29,84 °C	29,88 °C	29,85 °C	0,01 °C
M	0-3 m	29,93 °C	29,99 °C	29,97 °C	0,02 °C
M	3-7 m	29,93 °C	29,95 °C	29,94 °C	0,01 °C

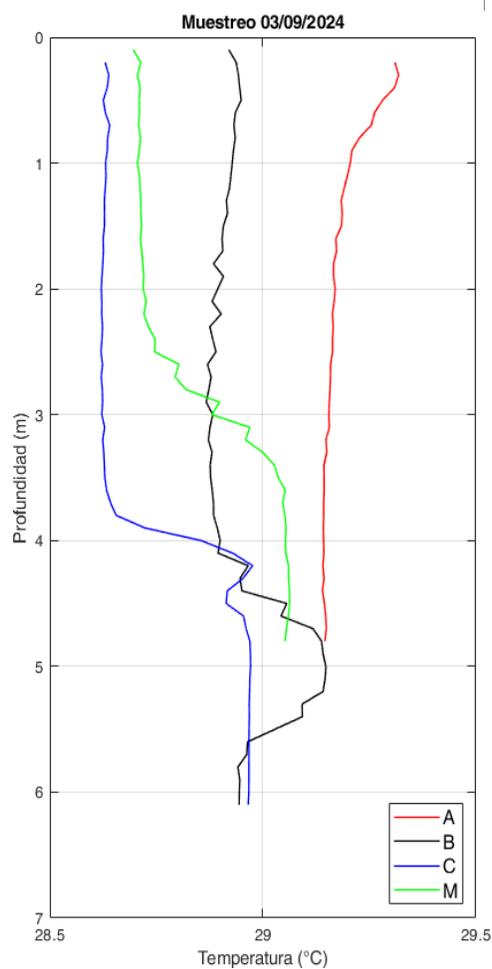


Figura 27. Perfiles de Temperatura obtenidos el día 03/09/24 con el CTD.

Tabla 10. Datos de Temperatura de los perfiles de CTD obtenidos el día 03/09/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	29,16 °C	29,32 °C	29,20 °C	0,05 °C
A	3-7 m	29,14 °C	29,16 °C	29,15 °C	0,00 °C
B	0-3 m	28,87 °C	28,95 °C	28,91 °C	0,03 °C
B	3-7 m	28,87 °C	29,15 °C	28,98 °C	0,10 °C
C	0-3 m	28,62 °C	28,64 °C	28,63 °C	0,01 °C
C	3-7 m	28,62 °C	28,98 °C	28,86 °C	0,15 °C
M	0-3 m	28,70 °C	28,90 °C	28,73 °C	0,04 °C
M	3-7 m	28,88 °C	29,06 °C	29,03 °C	0,05 °C

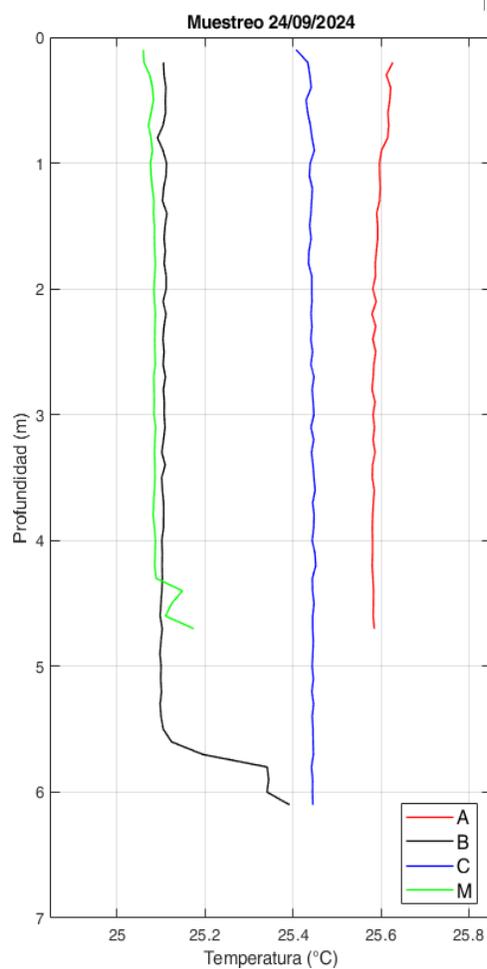


Figura 28. Perfiles de Temperatura obtenidos el día 24/09/24 con el CTD.

Tabla 11. Datos de Temperatura de los perfiles de CTD obtenidos el día 24/09/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	25,58 °C	25,63 °C	25,60 °C	0,01 °C
A	3-7 m	25,58 °C	25,59 °C	25,58 °C	0,00 °C
B	0-3 m	25,09 °C	25,11 °C	25,11 °C	0,00 °C
B	3-7 m	25,10 °C	25,39 °C	25,14 °C	0,09 °C
C	0-3 m	25,41 °C	25,45 °C	25,44 °C	0,01 °C
C	3-7 m	25,44 °C	25,45 °C	25,45 °C	0,00 °C
M	0-3 m	25,06 °C	25,09 °C	25,08 °C	0,01 °C
M	3-7 m	25,08 °C	25,17 °C	25,10 °C	0,03 °C

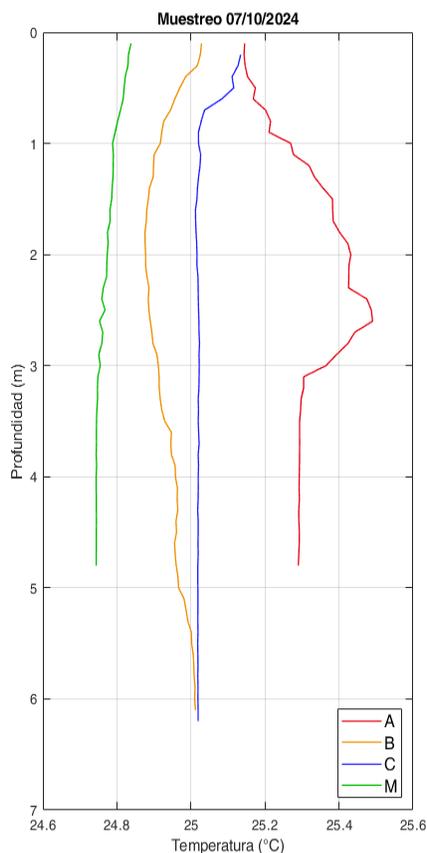


Figura 29. Perfiles de Temperatura obtenidos el día 07/10/24 con el CTD.

Tabla 12. Datos de Temperatura de los perfiles de CTD obtenidos el día 07/10/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	25,14 °C	25,49 °C	25,33 °C	0,12 °C
A	3-7 m	25,29 °C	25,36 °C	25,30 °C	0,02 °C
B	0-3 m	24,88 °C	25,03 °C	24,92 °C	0,05 °C
B	3-7 m	24,91 °C	25,01 °C	24,97 °C	0,03 °C
C	0-3 m	25,01 °C	25,13 °C	25,04 °C	0,04 °C
C	3-7 m	25,02 °C	25,02 °C	25,02 °C	0,00 °C
M	0-3 m	24,75 °C	24,84 °C	24,79 °C	0,02 °C
M	3-7 m	24,74 °C	24,76 °C	24,75 °C	0,00 °C

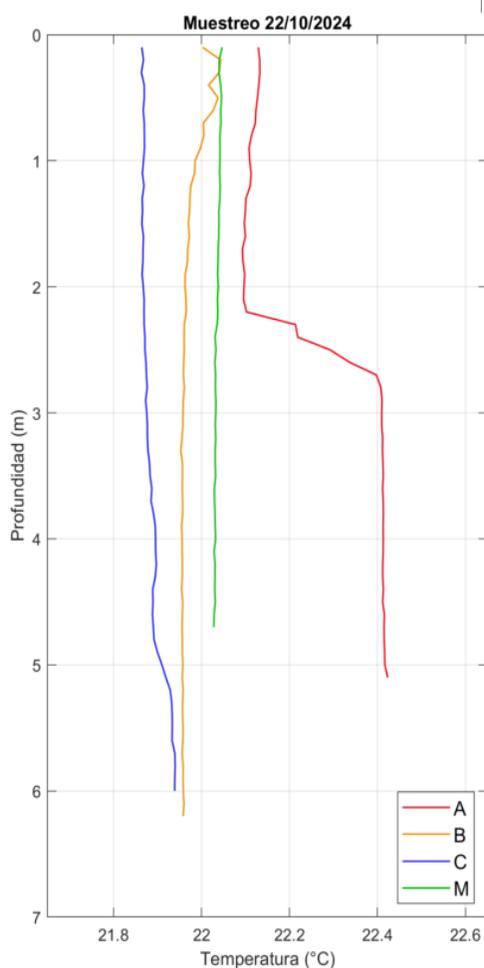


Figura 30. Perfiles de Temperatura obtenidos el día 22/10/24 con el CTD.

Tabla 13. Datos de Temperatura de los perfiles de CTD obtenidos el día 22/10/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	22,09 °C	22,41 °C	22,16 °C	0,10 °C
A	3-7 m	22,41 °C	22,42 °C	22,41 °C	0,00 °C
B	0-3 m	21,96 °C	22,04 °C	21,98 °C	0,03 °C
B	3-7 m	21,95 °C	21,96 °C	21,96 °C	0,00 °C
C	0-3 m	21,86 °C	21,88 °C	21,87 °C	0,00 °C
C	3-7 m	21,88 °C	21,94 °C	21,90 °C	0,02 °C
M	0-3 m	22,03 °C	22,05 °C	22,04 °C	0,00 °C
M	3-7 m	22,03 °C	22,03 °C	22,03 °C	0,00 °C

7.3.2. Salinidad

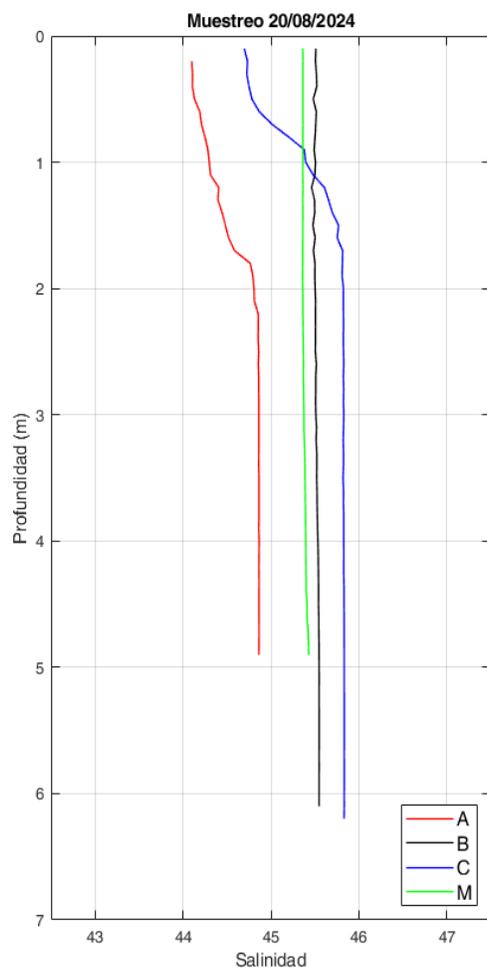


Figura 31. Perfiles de Salinidad obtenidos el día 20/08/24 con el CTD.

Tabla 14. Datos de Salinidad de los perfiles de CTD obtenidos el día 20/08/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	44,10	44,86	44,53	0,29
A	3-7 m	44,86	44,87	44,86	0,00
B	0-3 m	45,46	45,52	45,50	0,01
B	3-7 m	45,51	45,55	45,54	0,01
C	0-3 m	44,70	45,83	45,49	0,43
C	3-7 m	45,82	45,83	45,83	0,00
M	0-3 m	45,36	45,37	45,36	0,00
M	3-7 m	45,38	45,43	45,40	0,02

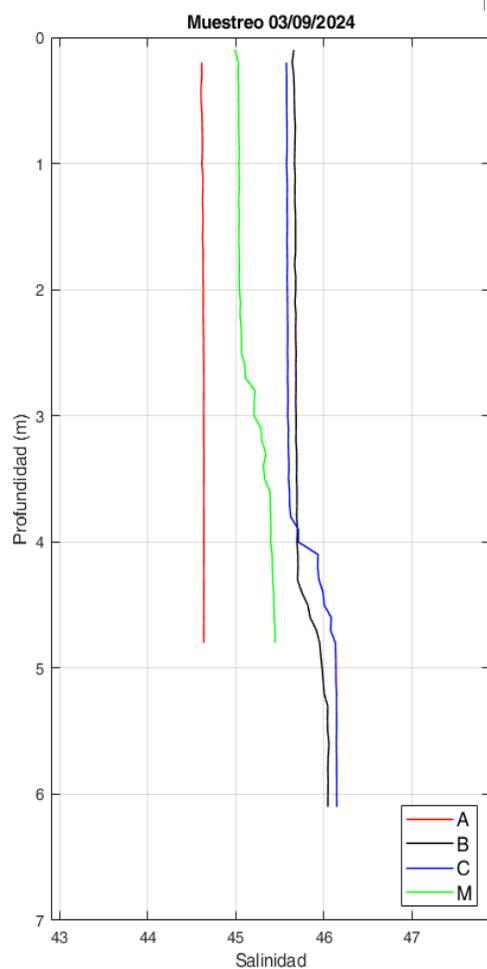


Figura 32. Perfiles de Salinidad obtenidos el día 03/09/24 con el CTD.

Tabla 15. Datos de Salinidad de los perfiles de CTD obtenidos el día 03/09/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	44,61	44,64	44,63	0,01
A	3-7 m	44,64	44,64	44,64	0,00
B	0-3 m	45,64	45,69	45,67	0,01
B	3-7 m	45,68	46,06	45,86	0,16
C	0-3 m	45,57	45,59	45,58	0,00
C	3-7 m	45,59	46,15	45,93	0,24
M	0-3 m	44,99	45,22	45,06	0,05
M	3-7 m	45,21	45,45	45,38	0,07

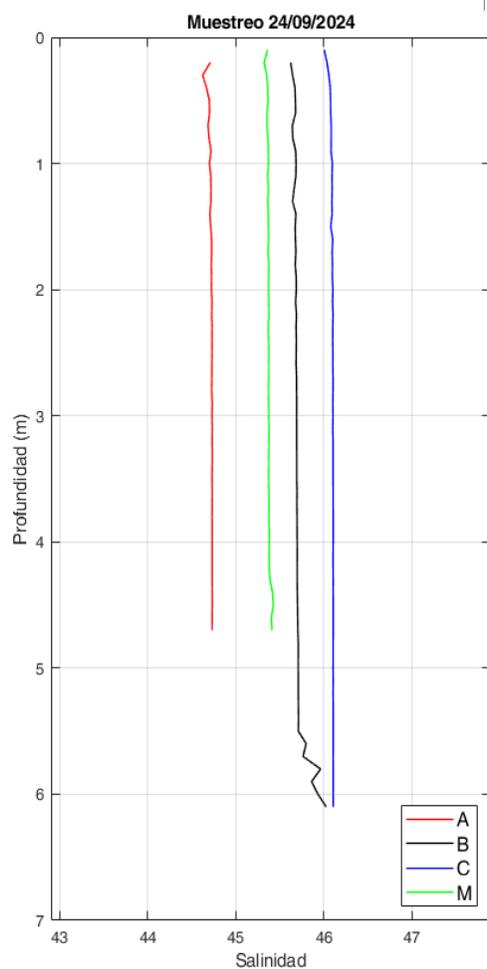


Figura 33. Perfiles de Salinidad obtenidos el día 24/09/24 con el CTD.

Tabla 16. Datos de Salinidad de los perfiles de CTD obtenidos el día 24/09/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	44,62	44,73	44,71	0,02
A	3-7 m	44,73	44,73	44,73	0,00
B	0-3 m	45,62	45,69	45,68	0,02
B	3-7 m	45,69	46,03	45,74	0,09
C	0-3 m	46,01	46,11	46,09	0,02
C	3-7 m	46,10	46,11	46,11	0,00
M	0-3 m	45,32	45,38	45,37	0,01
M	3-7 m	45,37	45,43	45,39	0,02

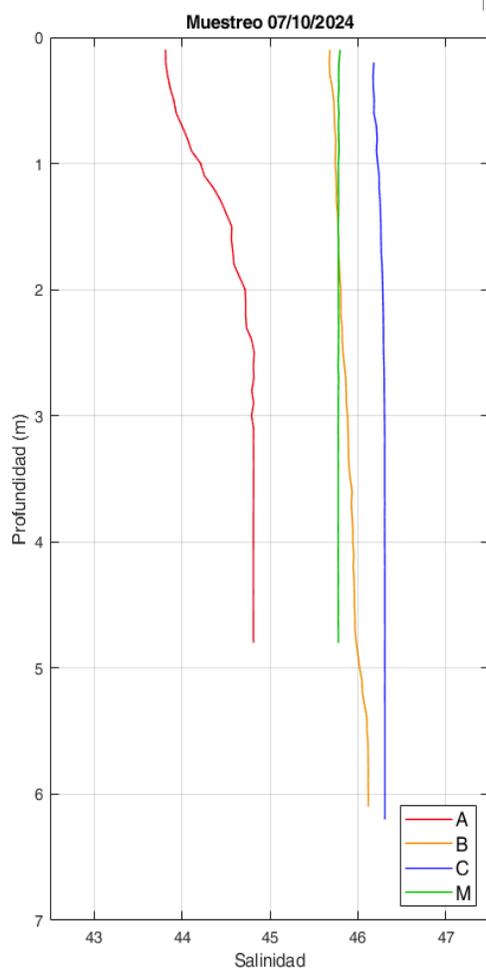


Figura 34. Perfiles de Salinidad obtenidos el día 07/10/24 con el CTD.

Tabla 17. Datos de Salinidad de los perfiles de CTD obtenidos el día 07/10/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	43,81	44,82	44,41	0,37
A	3-7 m	44,79	44,82	44,81	0,01
B	0-3 m	45,68	45,87	45,77	0,05
B	3-7 m	45,88	46,12	46,00	0,08
C	0-3 m	46,17	46,30	46,25	0,04
C	3-7 m	46,30	46,31	46,31	0,00
M	0-3 m	45,77	45,80	45,78	0,00
M	3-7 m	45,77	45,78	45,78	0,00

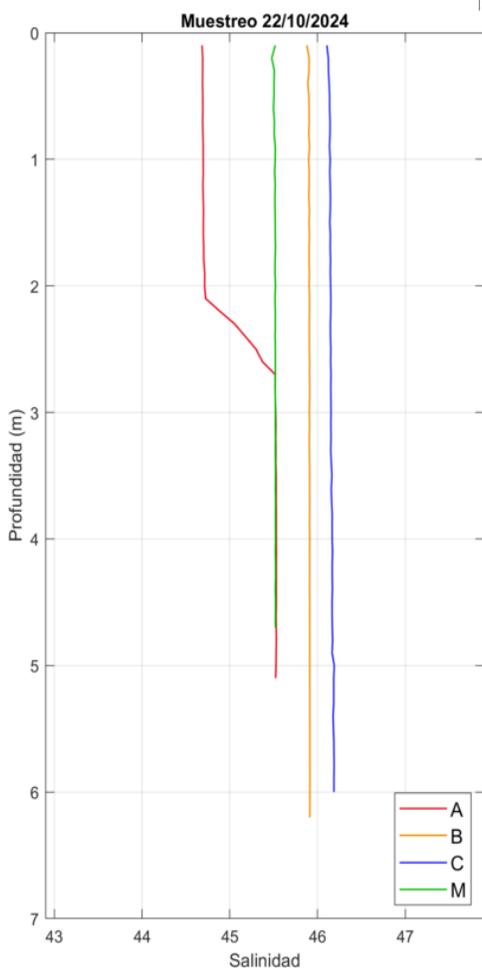


Figura 35. Perfiles de Salinidad obtenidos el día 22/10/24 con el CTD.

Tabla 18. Datos de Salinidad de los perfiles de CTD obtenidos el día 22/10/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	44,68	45,52	44,86	0,30
A	3-7 m	45,52	45,53	45,53	0,00
B	0-3 m	45,88	45,91	45,90	0,01
B	3-7 m	45,91	45,91	45,91	0,00
C	0-3 m	46,11	46,15	46,14	0,01
C	3-7 m	46,15	46,19	46,17	0,01
M	0-3 m	45,48	45,52	45,51	0,01
M	3-7 m	45,52	45,52	45,52	0,00

7.3.3. Saturación de O₂

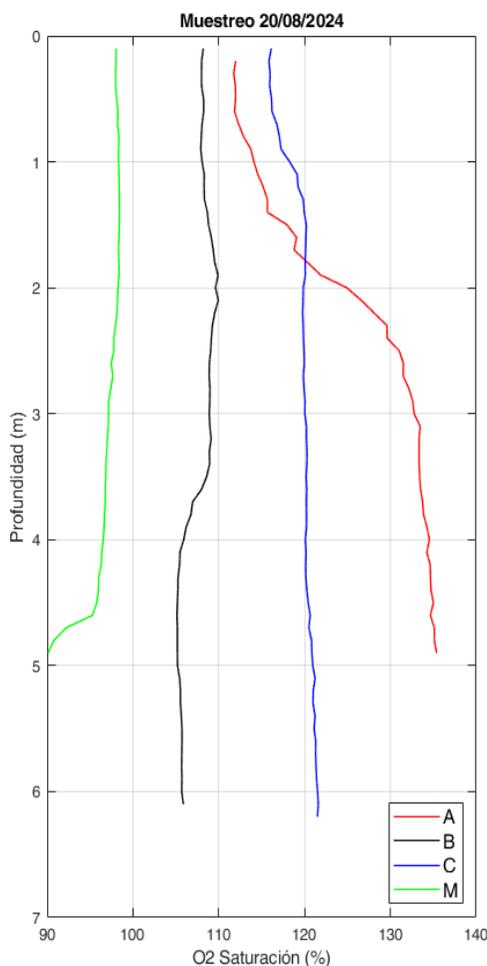


Figura 36. Perfiles de Saturación de O₂ obtenidos el día 20/08/24 con el CTD.

Tabla 19. Datos de Saturación de O₂ de los perfiles de CTD obtenidos el día 20/08/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	111,74 %	132,59 %	120,33 %	7,75 %
A	3-7 m	132,76 %	135,39 %	134,15 %	0,76 %
B	0-3 m	107,90 %	109,95 %	108,73 %	0,64 %
B	3-7 m	105,14 %	109,11 %	106,31 %	1,39 %
C	0-3 m	115,85 %	120,20 %	118,73 %	1,68 %
C	3-7 m	120,02 %	121,59 %	120,68 %	0,52 %
M	0-3 m	97,17 %	98,42 %	98,10 %	0,34 %
M	3-7 m	90,12 %	97,17 %	95,71 %	2,09 %

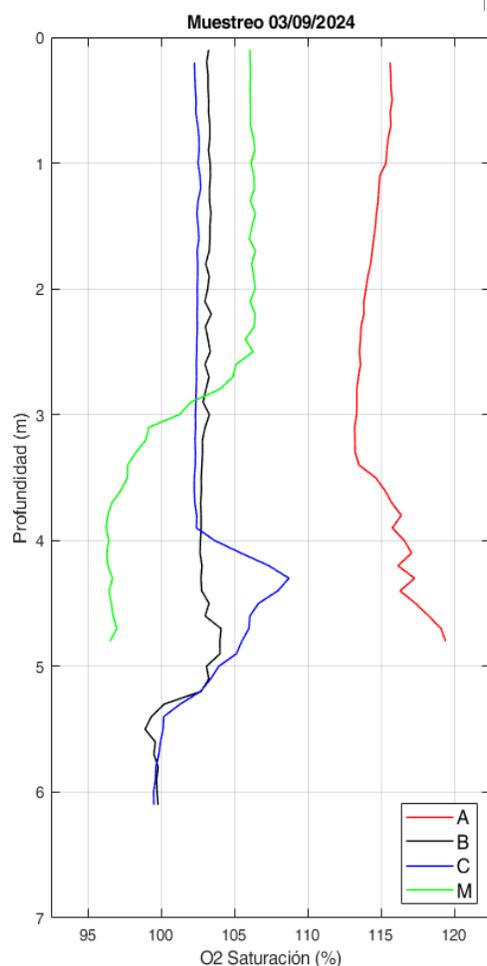


Figura 37. Perfiles de Saturación de O2 obtenidos el día 03/09/24 con el CTD.

Tabla 20. Datos de Saturación de O2 de los perfiles de CTD obtenidos el día 03/09/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	113,36 %	115,77 %	114,57 %	0,85 %
A	3-7 m	113,21 %	119,41 %	115,89 %	1,98 %
B	0-3 m	102,88 %	103,43 %	103,23 %	0,14 %
B	3-7 m	98,92 %	104,10 %	102,07 %	1,61 %
C	0-3 m	102,29 %	102,71 %	102,48 %	0,10 %
C	3-7 m	99,50 %	108,73 %	102,99 %	2,64 %
M	0-3 m	102,04 %	106,45 %	105,91 %	0,91 %
M	3-7 m	96,25 %	101,24 %	97,31 %	1,31 %

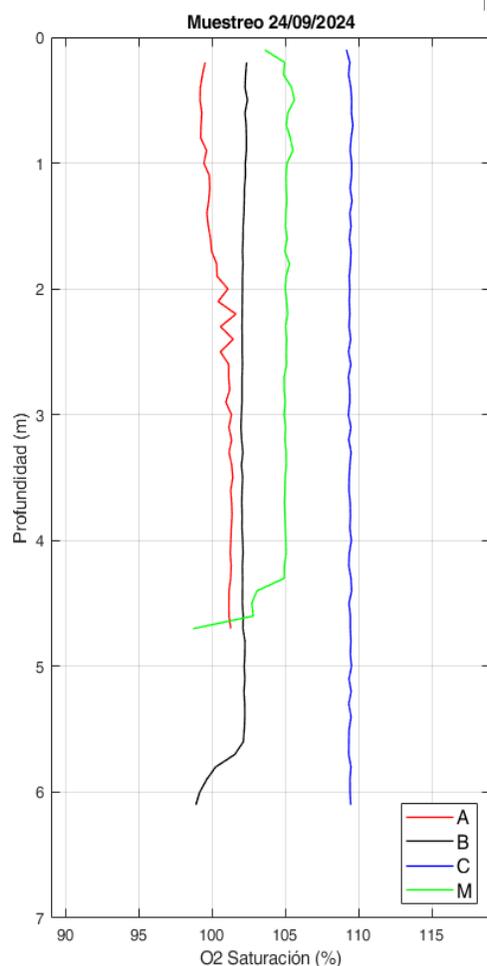


Figura 38. Perfiles de Saturación de O2 obtenidos el día 24/09/24 con el CTD.

Tabla 21. Datos de Saturación de O2 de los perfiles de CTD obtenidos el día 24/09/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	99,17 %	101,61 %	100,11 %	0,76 %
A	3-7 m	101,13 %	101,40 %	101,25 %	0,08 %
B	0-3 m	102,03 %	102,40 %	102,16 %	0,12 %
B	3-7 m	98,88 %	102,23 %	101,75 %	0,90 %
C	0-3 m	109,15 %	109,59 %	109,41 %	0,09 %
C	3-7 m	109,28 %	109,50 %	109,40 %	0,07 %
M	0-3 m	103,58 %	105,60 %	105,04 %	0,33 %
M	3-7 m	98,71 %	105,05 %	104,27 %	1,61 %

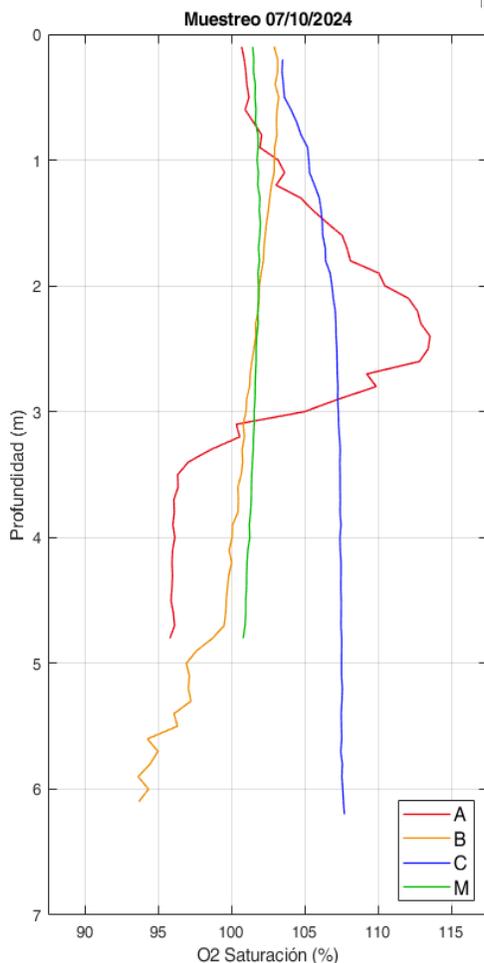


Figura 39. Perfiles de Saturación de O2 obtenidos el día 07/10/24 con el CTD.

Tabla 22. Datos de Saturación de O2 de los perfiles de CTD obtenidos el día 07/10/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	100,71 %	113,56 %	106,42 %	4,58 %
A	3-7 m	95,82 %	104,98 %	97,18 %	2,38 %
B	0-3 m	101,05 %	103,24 %	102,35 %	0,69 %
B	3-7 m	93,65 %	101,01 %	98,35 %	2,47 %
C	0-3 m	103,46 %	107,28 %	105,88 %	1,32 %
C	3-7 m	107,30 %	107,72 %	107,49 %	0,09 %
M	0-3 m	101,46 %	101,99 %	101,76 %	0,14 %
M	3-7 m	100,82 %	101,57 %	101,24 %	0,23 %

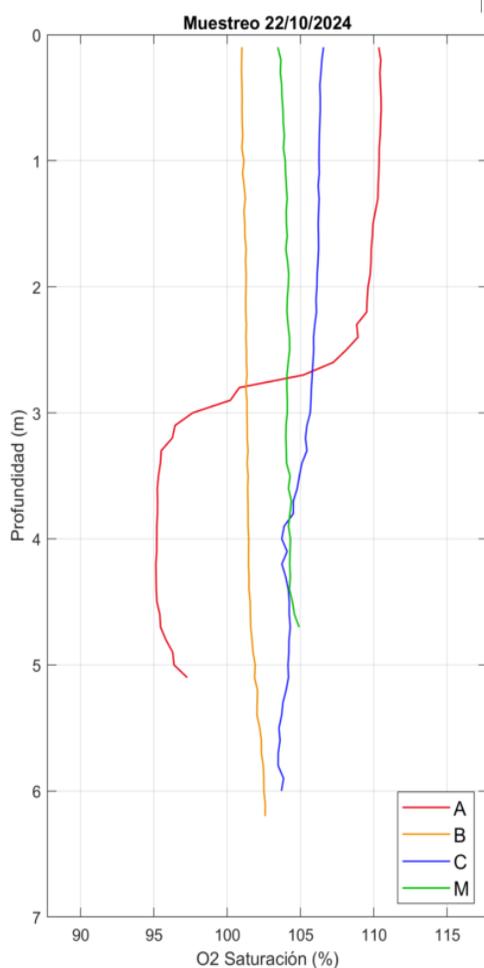


Figura 40. Perfiles de Saturación de O2 obtenidos el día 22/10/24 con el CTD.

Tabla 23. Datos de Saturación de O2 de los perfiles de CTD obtenidos el día 22/10/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	100,22 %	110,51 %	109,06 %	2,63 %
A	3-7 m	95,14 %	97,66 %	95,69 %	0,72 %
B	0-3 m	100,98 %	101,36 %	101,18 %	0,13 %
B	3-7 m	101,35 %	102,60 %	101,79 %	0,43 %
C	0-3 m	105,72 %	106,58 %	106,17 %	0,22 %
C	3-7 m	103,48 %	105,67 %	104,26 %	0,62 %
M	0-3 m	103,46 %	104,26 %	103,99 %	0,20 %
M	3-7 m	104,00 %	104,91 %	104,28 %	0,22 %

7.3.4. Concentración de O₂

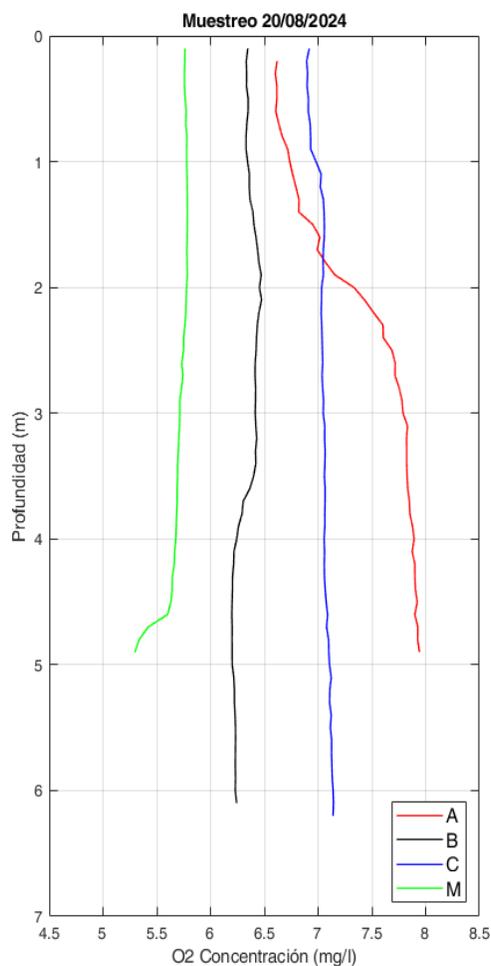


Figura 41. Perfiles de Concentración de O₂ obtenidos el día 20/08/24 con el CTD.

Tabla 24. Datos de Concentración de O₂ de los perfiles de CTD obtenidos el día 20/08/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	6,60 mg/l	7,78 mg/l	7,08 mg/l	0,44 mg/l
A	3-7 m	7,79 mg/l	7,94 mg/l	7,87 mg/l	0,04 mg/l
B	0-3 m	6,33 mg/l	6,47 mg/l	6,39 mg/l	0,05 mg/l
B	3-7 m	6,20 mg/l	6,43 mg/l	6,27 mg/l	0,08 mg/l
C	0-3 m	6,89 mg/l	7,06 mg/l	7,00 mg/l	0,06 mg/l
C	3-7 m	7,05 mg/l	7,14 mg/l	7,09 mg/l	0,03 mg/l
M	0-3 m	5,71 mg/l	5,78 mg/l	5,77 mg/l	0,02 mg/l
M	3-7 m	5,30 mg/l	5,71 mg/l	5,63 mg/l	0,12 mg/l

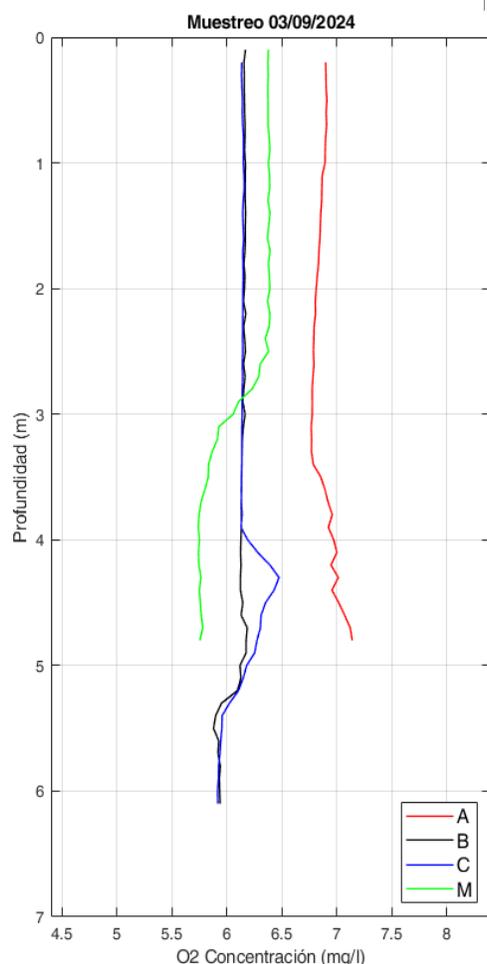


Figura 42. Perfiles de Concentración de O2 obtenidos el día 03/09/24 con el CTD.

Tabla 25. Datos de Concentración de O2 de los perfiles de CTD obtenidos el día 03/09/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	6,78 mg/l	6,91 mg/l	6,84 mg/l	0,05 mg/l
A	3-7 m	6,77 mg/l	7,14 mg/l	6,93 mg/l	0,12 mg/l
B	0-3 m	6,14 mg/l	6,17 mg/l	6,16 mg/l	0,01 mg/l
B	3-7 m	5,88 mg/l	6,18 mg/l	6,08 mg/l	0,10 mg/l
C	0-3 m	6,13 mg/l	6,16 mg/l	6,14 mg/l	0,01 mg/l
C	3-7 m	5,92 mg/l	6,47 mg/l	6,14 mg/l	0,16 mg/l
M	0-3 m	6,11 mg/l	6,39 mg/l	6,36 mg/l	0,06 mg/l
M	3-7 m	5,74 mg/l	6,06 mg/l	5,80 mg/l	0,08 mg/l

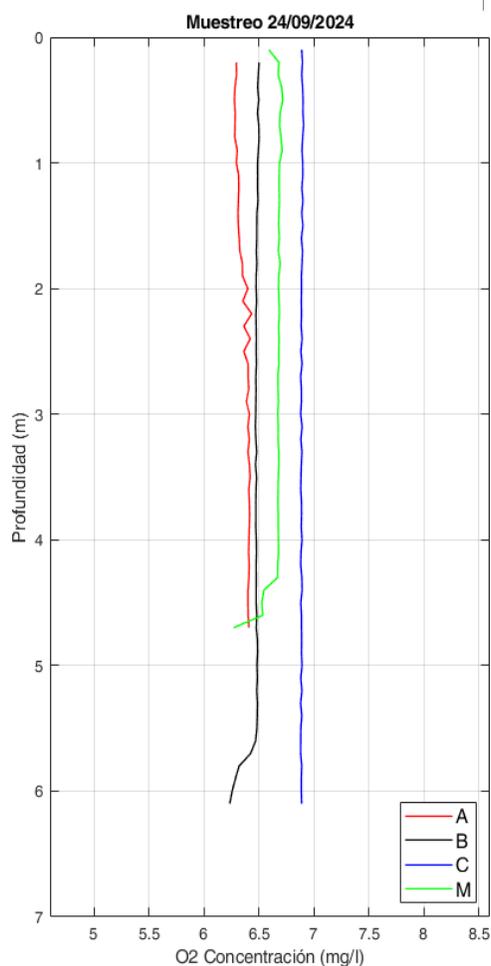


Figura 43. Perfiles de Concentración de O2 obtenidos el día 24/09/24 con el CTD.

Tabla 26. Datos de Concentración de O2 de los perfiles de CTD obtenidos el día 24/09/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	6,28 mg/l	6,43 mg/l	6,34 mg/l	0,05 mg/l
A	3-7 m	6,40 mg/l	6,42 mg/l	6,41 mg/l	0,01 mg/l
B	0-3 m	6,47 mg/l	6,50 mg/l	6,48 mg/l	0,01 mg/l
B	3-7 m	6,23 mg/l	6,49 mg/l	6,45 mg/l	0,07 mg/l
C	0-3 m	6,88 mg/l	6,91 mg/l	6,89 mg/l	0,01 mg/l
C	3-7 m	6,88 mg/l	6,89 mg/l	6,89 mg/l	0,00 mg/l
M	0-3 m	6,59 mg/l	6,72 mg/l	6,68 mg/l	0,02 mg/l
M	3-7 m	6,27 mg/l	6,68 mg/l	6,63 mg/l	0,10 mg/l

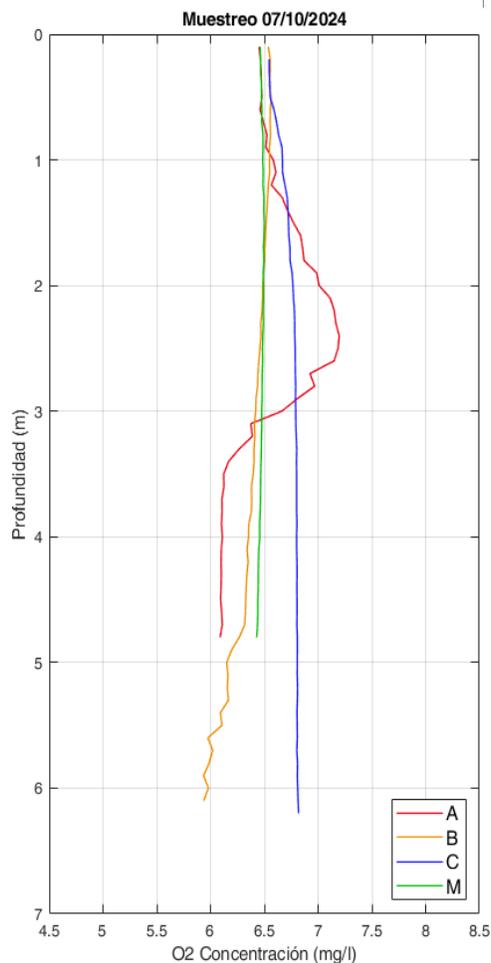


Figura 44. Perfiles de Concentración de O2 obtenidos el día 07/10/24 con el CTD.

Tabla 27. Datos de Concentración de O2 de los perfiles de CTD obtenidos el día 07/10/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	6,45 mg/l	7,20 mg/l	6,77 mg/l	0,27 mg/l
A	3-7 m	6,09 mg/l	6,66 mg/l	6,18 mg/l	0,15 mg/l
B	0-3 m	6,42 mg/l	6,56 mg/l	6,51 mg/l	0,04 mg/l
B	3-7 m	5,94 mg/l	6,42 mg/l	6,24 mg/l	0,16 mg/l
C	0-3 m	6,54 mg/l	6,79 mg/l	6,70 mg/l	0,09 mg/l
C	3-7 m	6,79 mg/l	6,82 mg/l	6,80 mg/l	0,01 mg/l
M	0-3 m	6,46 mg/l	6,50 mg/l	6,49 mg/l	0,01 mg/l
M	3-7 m	6,43 mg/l	6,48 mg/l	6,46 mg/l	0,01 mg/l

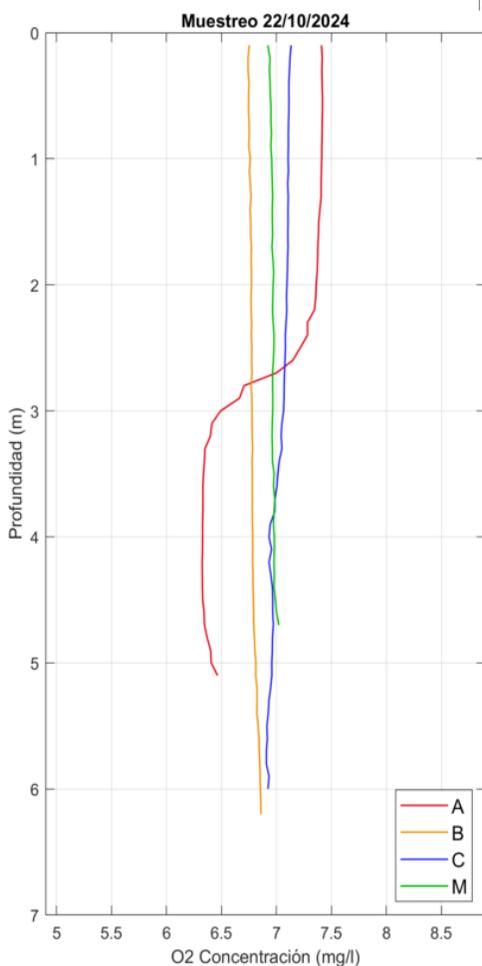


Figura 45. Perfiles de Concentración de O2 obtenidos el día 22/10/24 con el CTD.

Tabla 28. Datos de Concentración de O2 de los perfiles de CTD obtenidos el día 22/10/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	6,66 mg/l	7,42 mg/l	7,31 mg/l	0,20 mg/l
A	3-7 m	6,32 mg/l	6,49 mg/l	6,36 mg/l	0,05 mg/l
B	0-3 m	6,74 mg/l	6,78 mg/l	6,76 mg/l	0,01 mg/l
B	3-7 m	6,78 mg/l	6,86 mg/l	6,81 mg/l	0,03 mg/l
C	0-3 m	7,07 mg/l	7,13 mg/l	7,10 mg/l	0,02 mg/l
C	3-7 m	6,91 mg/l	7,06 mg/l	6,97 mg/l	0,04 mg/l
M	0-3 m	6,92 mg/l	6,98 mg/l	6,96 mg/l	0,01 mg/l
M	3-7 m	6,96 mg/l	7,02 mg/l	6,98 mg/l	0,02 mg/l

7.3.5. Turbidez

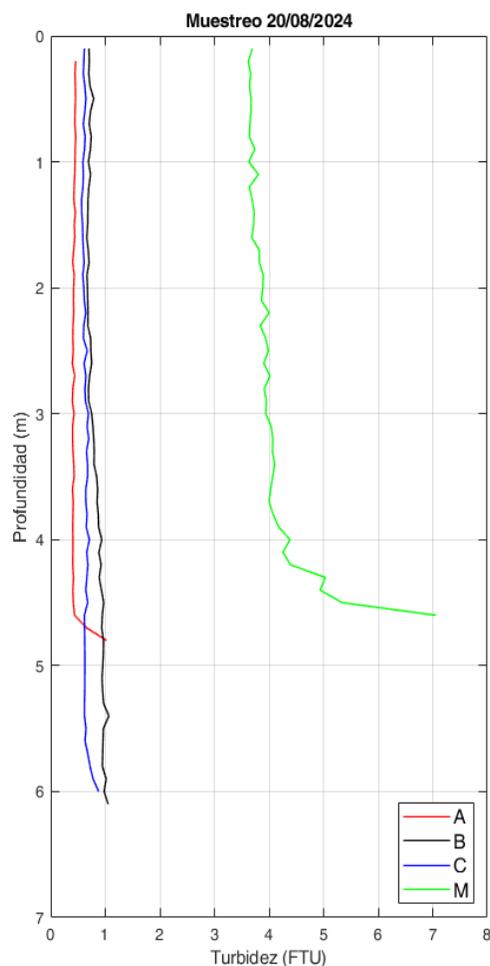


Figura 46. Perfiles de Turbidez obtenidos el día 20/08/24 con el CTD.

Tabla 29. Datos de Turbidez de los perfiles de CTD obtenidos el día 20/08/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	0,40 FTU	0,46 FTU	0,43 FTU	0,02 FTU
A	3-7 m	0,40 FTU	1,02 FTU	0,46 FTU	0,15 FTU
B	0-3 m	0,66 FTU	0,79 FTU	0,70 FTU	0,03 FTU
B	3-7 m	0,75 FTU	1,07 FTU	0,92 FTU	0,08 FTU
C	0-3 m	0,57 FTU	0,67 FTU	0,61 FTU	0,02 FTU
C	3-7 m	0,62 FTU	0,88 FTU	0,67 FTU	0,05 FTU
M	0-3 m	3,62 FTU	4,02 FTU	3,78 FTU	0,13 FTU
M	3-7 m	3,94 FTU	7,06 FTU	4,47 FTU	0,78 FTU

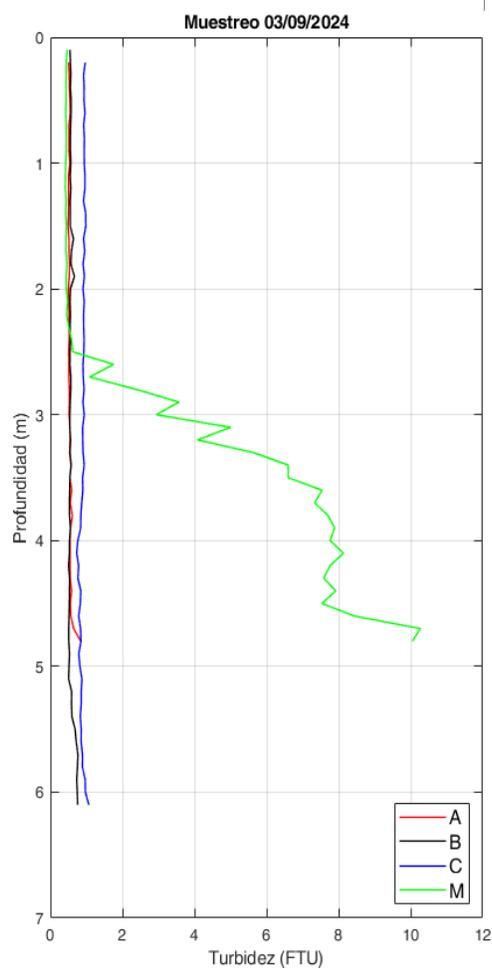


Figura 47. Perfiles de Turbidez obtenidos el día 03/09/24 con el CTD.

Tabla 30. Datos de Turbidez de los perfiles de CTD obtenidos el día 03/09/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	0,49 FTU	0,55 FTU	0,52 FTU	0,01 FTU
A	3-7 m	0,52 FTU	0,84 FTU	0,58 FTU	0,07 FTU
B	0-3 m	0,54 FTU	0,67 FTU	0,56 FTU	0,03 FTU
B	3-7 m	0,51 FTU	0,76 FTU	0,58 FTU	0,09 FTU
C	0-3 m	0,91 FTU	0,98 FTU	0,94 FTU	0,02 FTU
C	3-7 m	0,73 FTU	1,07 FTU	0,86 FTU	0,07 FTU
M	0-3 m	0,41 FTU	3,57 FTU	0,70 FTU	0,71 FTU
M	3-7 m	2,94 FTU	10,27 FTU	7,20 FTU	1,80 FTU

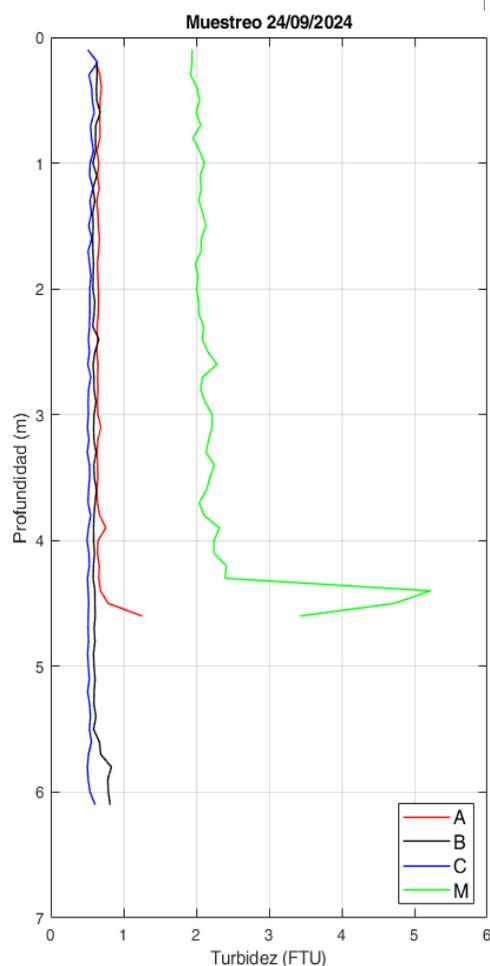


Figura 48. Perfiles de Turbidez obtenidos el día 24/09/24 con el CTD.

Tabla 31. Datos de Turbidez de los perfiles de CTD obtenidos el día 24/09/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	0,62 FTU	0,70 FTU	0,65 FTU	0,02 FTU
A	3-7 m	0,64 FTU	1,26 FTU	0,70 FTU	0,15 FTU
B	0-3 m	0,58 FTU	0,68 FTU	0,61 FTU	0,03 FTU
B	3-7 m	0,58 FTU	0,83 FTU	0,63 FTU	0,07 FTU
C	0-3 m	0,51 FTU	0,64 FTU	0,55 FTU	0,03 FTU
C	3-7 m	0,50 FTU	0,61 FTU	0,52 FTU	0,02 FTU
M	0-3 m	1,92 FTU	2,28 FTU	2,05 FTU	0,07 FTU
M	3-7 m	2,04 FTU	5,22 FTU	2,61 FTU	0,94 FTU

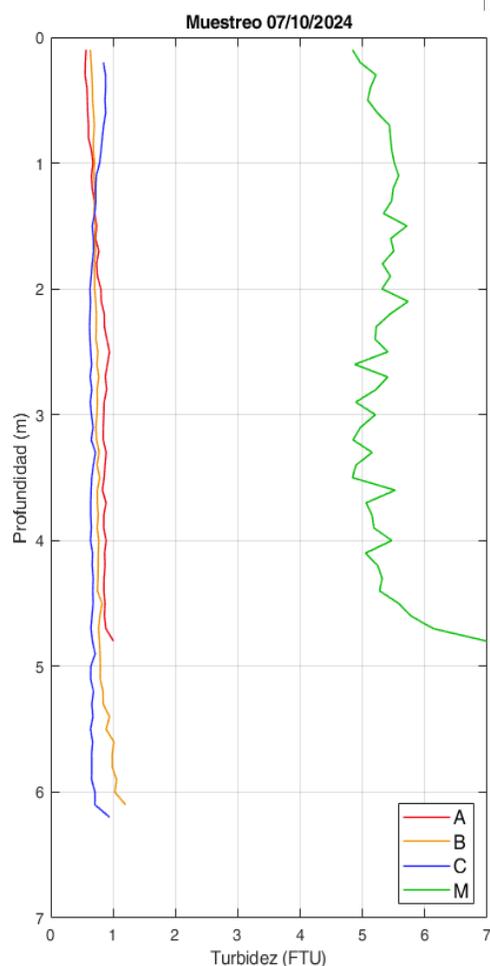


Figura 49. Perfiles de Turbidez obtenidos el día 07/10/24 con el CTD.

Tabla 32. Datos de Turbidez de los perfiles de CTD obtenidos el día 07/10/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	0,55 FTU	0,94 FTU	0,73 FTU	0,12 FTU
A	3-7 m	0,83 FTU	1,01 FTU	0,87 FTU	0,04 FTU
B	0-3 m	0,63 FTU	0,77 FTU	0,71 FTU	0,03 FTU
B	3-7 m	0,72 FTU	1,20 FTU	0,83 FTU	0,12 FTU
C	0-3 m	0,62 FTU	0,88 FTU	0,72 FTU	0,09 FTU
C	3-7 m	0,64 FTU	0,95 FTU	0,67 FTU	0,05 FTU
M	0-3 m	4,84 FTU	5,73 FTU	5,32 FTU	0,23 FTU
M	3-7 m	4,84 FTU	6,99 FTU	5,35 FTU	0,52 FTU

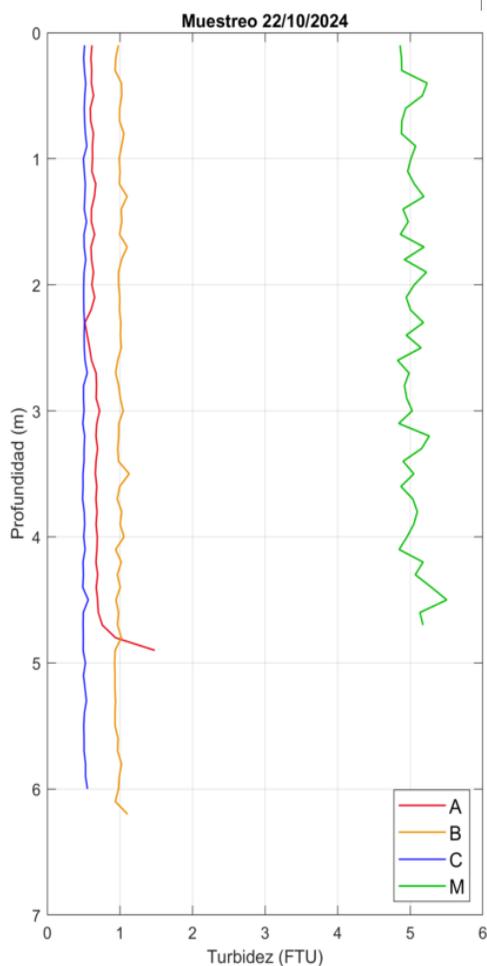


Figura 50. Perfiles de Turbidez obtenidos el día 22/10/24 con el CTD.

Tabla 33. Datos de Turbidez de los perfiles de CTD obtenidos el día 22/10/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	0,52 FTU	0,68 FTU	0,62 FTU	0,04 FTU
A	3-7 m	0,66 FTU	1,48 FTU	0,74 FTU	0,18 FTU
B	0-3 m	0,93 FTU	1,10 FTU	1,00 FTU	0,04 FTU
B	3-7 m	0,93 FTU	1,13 FTU	0,99 FTU	0,05 FTU
C	0-3 m	0,50 FTU	0,55 FTU	0,52 FTU	0,01 FTU
C	3-7 m	0,49 FTU	0,57 FTU	0,51 FTU	0,02 FTU
M	0-3 m	4,83 FTU	5,23 FTU	5,00 FTU	0,12 FTU
M	3-7 m	4,84 FTU	5,50 FTU	5,08 FTU	0,17 FTU

7.3.6. pH

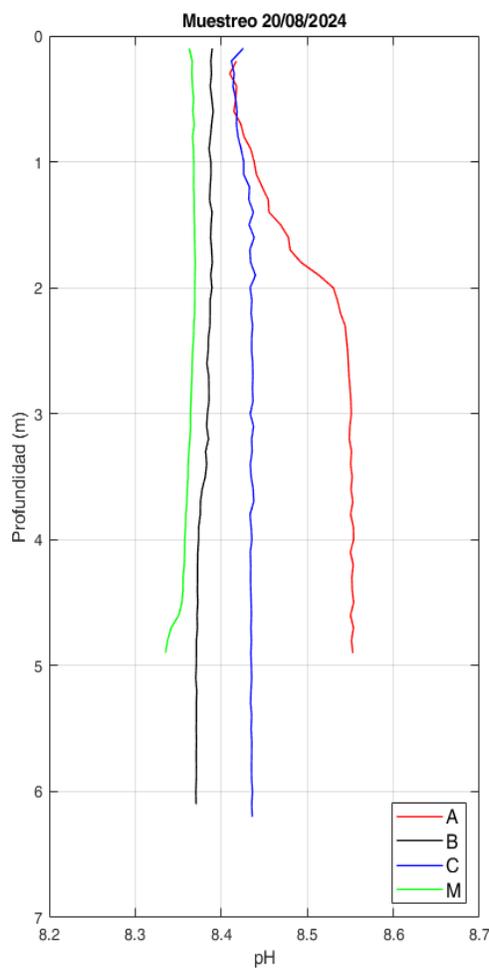


Figura 51. Perfiles de pH obtenidos el día 20/08/24 con el CTD.

Tabla 34. Datos de pH de los perfiles de CTD obtenidos el día 20/08/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	8,41	8,55	8,48	0,05
A	3-7 m	8,55	8,55	8,55	0,00
B	0-3 m	8,38	8,39	8,39	0,00
B	3-7 m	8,37	8,39	8,37	0,00
C	0-3 m	8,41	8,44	8,43	0,01
C	3-7 m	8,43	8,44	8,44	0,00
M	0-3 m	8,36	8,37	8,37	0,00
M	3-7 m	8,34	8,36	8,36	0,01

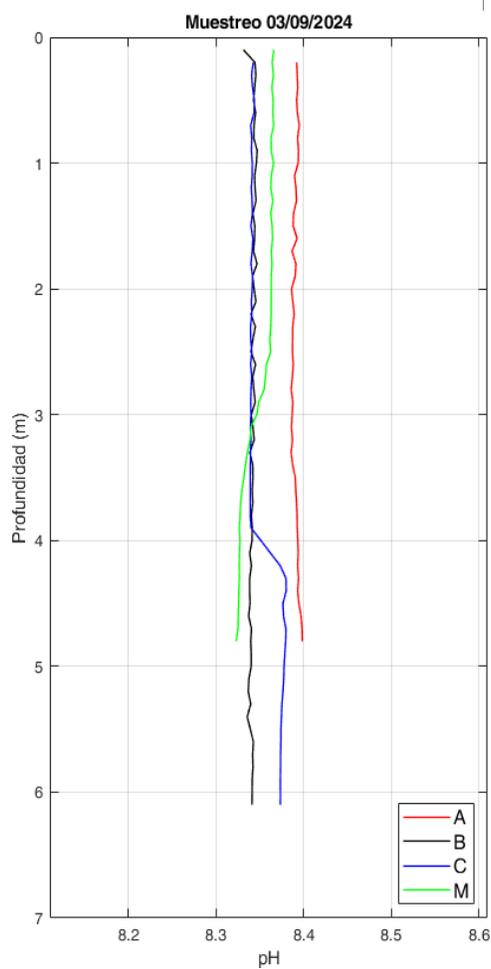


Figura 52. Perfiles de pH obtenidos el día 03/09/24 con el CTD.

Tabla 35. Datos de pH de los perfiles de CTD obtenidos el día 03/09/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	8,39	8,40	8,39	0,00
A	3-7 m	8,39	8,40	8,39	0,00
B	0-3 m	8,33	8,35	8,34	0,00
B	3-7 m	8,34	8,34	8,34	0,00
C	0-3 m	8,34	8,34	8,34	0,00
C	3-7 m	8,34	8,38	8,36	0,02
M	0-3 m	8,35	8,37	8,36	0,00
M	3-7 m	8,32	8,35	8,33	0,01

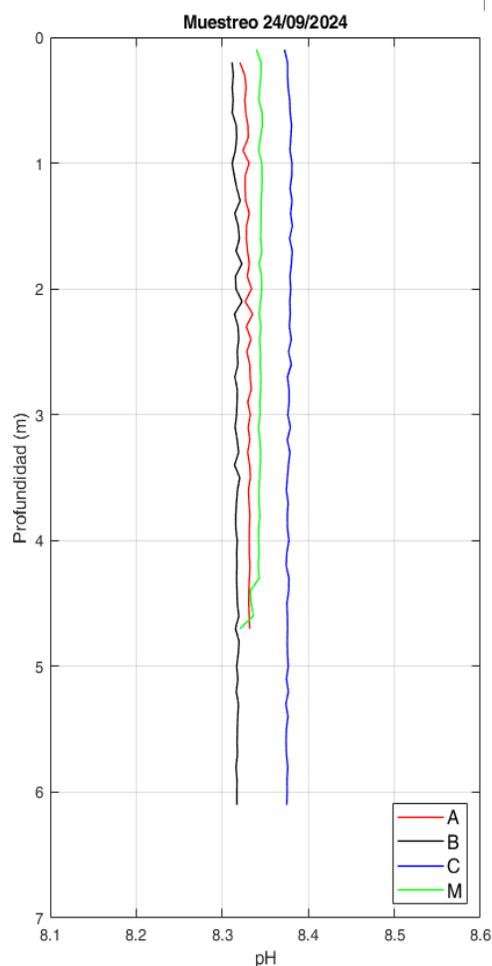


Figura 53. Perfiles de pH obtenidos el día 24/09/24 con el CTD.

Tabla 36. Datos de pH de los perfiles de CTD obtenidos el día 24/09/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	8,32	8,34	8,33	0,00
A	3-7 m	8,33	8,33	8,33	0,00
B	0-3 m	8,31	8,32	8,32	0,00
B	3-7 m	8,31	8,32	8,32	0,00
C	0-3 m	8,37	8,38	8,38	0,00
C	3-7 m	8,37	8,38	8,38	0,00
M	0-3 m	8,34	8,35	8,34	0,00
M	3-7 m	8,32	8,34	8,34	0,01

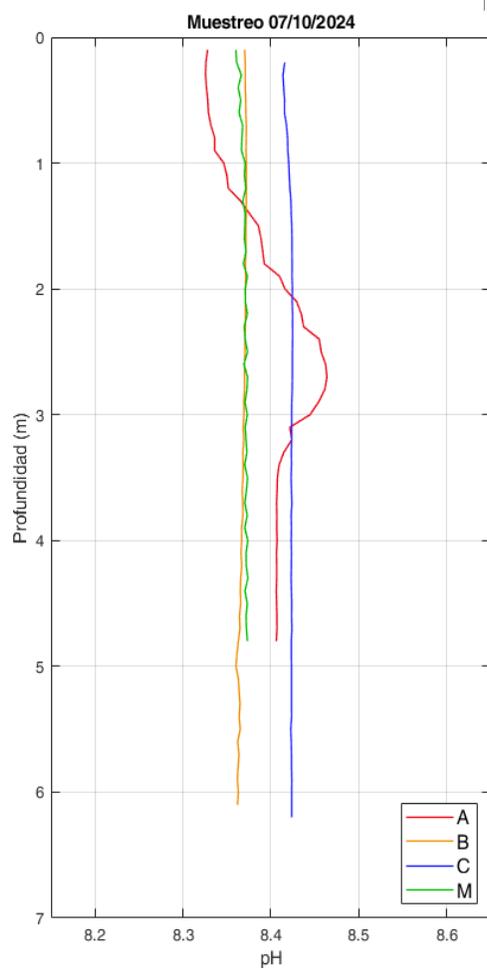


Figura 54. Perfiles de pH obtenidos el día 07/10/24 con el CTD.

Tabla 37. Datos de pH de los perfiles de CTD obtenidos el día 07/10/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	8,33	8,46	8,39	0,05
A	3-7 m	8,41	8,44	8,41	0,01
B	0-3 m	8,37	8,37	8,37	0,00
B	3-7 m	8,36	8,37	8,37	0,00
C	0-3 m	8,41	8,42	8,42	0,00
C	3-7 m	8,42	8,42	8,42	0,00
M	0-3 m	8,36	8,37	8,37	0,00
M	3-7 m	8,37	8,37	8,37	0,00

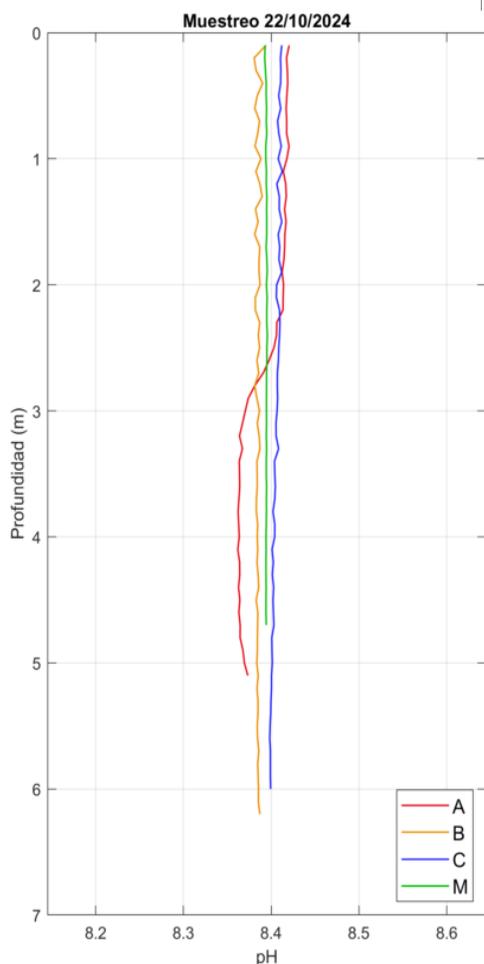


Figura 55. Perfiles de pH obtenidos el día 22/10/24 con el CTD.

Tabla 38. Datos de pH de los perfiles de CTD obtenidos el día 22/10/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	8,37	8,42	8,41	0,01
A	3-7 m	8,36	8,37	8,37	0,00
B	0-3 m	8,38	8,39	8,38	0,00
B	3-7 m	8,38	8,39	8,38	0,00
C	0-3 m	8,41	8,41	8,41	0,00
C	3-7 m	8,40	8,41	8,40	0,00
M	0-3 m	8,39	8,40	8,39	0,00
M	3-7 m	8,39	8,39	8,39	0,00

7.3.7. Luz PAR

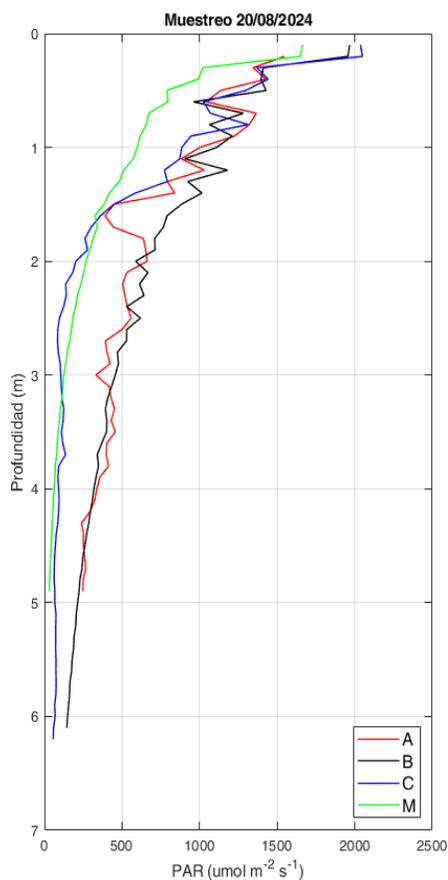


Figura 56. Perfiles de Luz PAR obtenidos el día 20/08/24 con el CTD.

Tabla 39. Datos de Luz PAR de los perfiles de CTD obtenidos el día 20/08/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	390,50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	1546,84 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	805,57 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	370,09 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$
A	3-7 m	239,67 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	456,71 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	340,35 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	78,71 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$
B	0-3 m	470,05 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	1967,50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	942,74 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	407,57 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$
B	3-7 m	143,76 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	456,16 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	271,62 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	93,98 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$
C	0-3 m	84,19 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	2049,92 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	667,37 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	589,69 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$
C	3-7 m	56,94 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	135,31 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	84,59 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	21,32 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$
M	0-3 m	137,99 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	1665,21 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	520,03 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	401,92 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$
M	3-7 m	30,63 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	124,18 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	70,01 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	29,79 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$

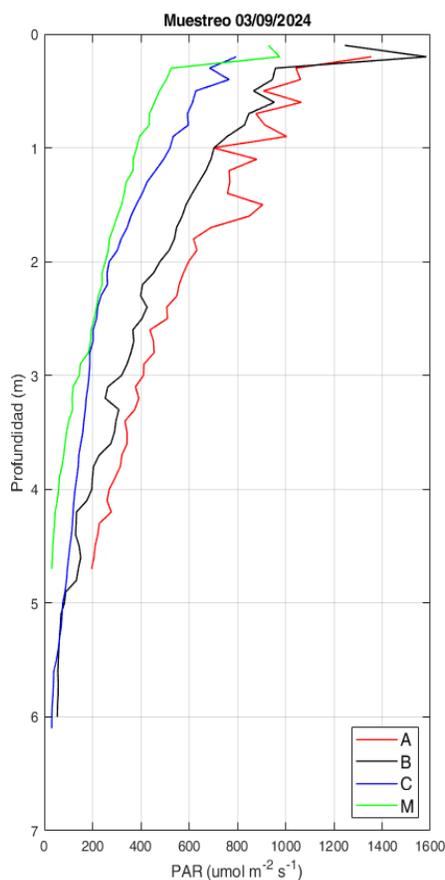


Figura 57. Perfiles de Luz PAR obtenidos el día 03/09/24 con el CTD.

Tabla 40. Datos de Luz PAR de los perfiles de CTD obtenidos el día 03/09/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	412,81 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	1355,11 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	744,99 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	235,82 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$
A	3-7 m	195,86 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	411,10 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	298,59 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	68,66 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$
B	0-3 m	342,83 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	1583,63 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	657,94 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	287,97 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$
B	3-7 m	53,88 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	320,36 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	153,12 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	89,49 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$
C	0-3 m	188,56 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	795,40 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	409,77 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	185,25 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$
C	3-7 m	30,75 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	185,81 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	102,61 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	49,11 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$
M	0-3 m	149,07 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	975,32 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	360,99 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	193,64 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$
M	3-7 m	30,57 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	144,97 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	73,89 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	35,14 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$

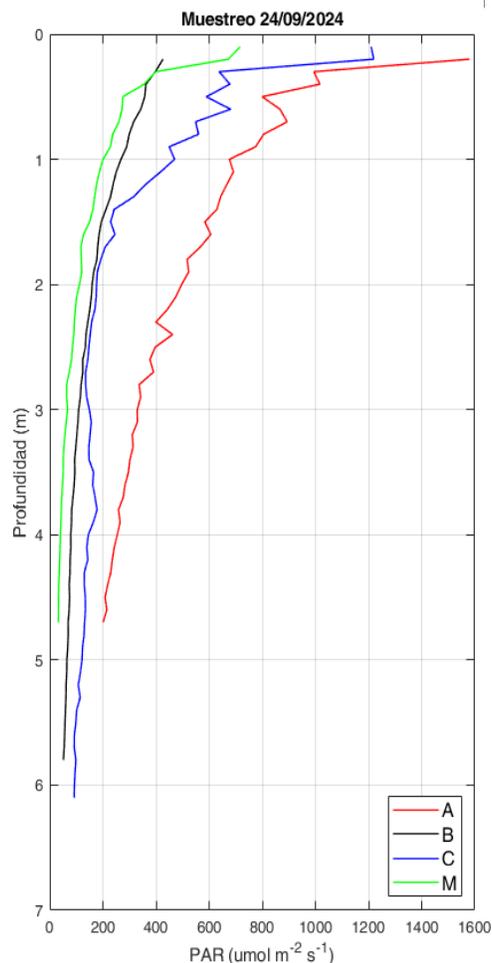


Figura 58. Perfiles de Luz PAR obtenidos el día 24/09/24 con el CTD.

Tabla 41. Datos de Luz PAR de los perfiles de CTD obtenidos el día 24/09/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	336,52 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	1580,03 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	641,17 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	267,22 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
A	3-7 m	200,96 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	329,87 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	264,99 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	42,30 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
B	0-3 m	115,28 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	426,43 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	223,40 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	92,76 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
B	3-7 m	51,55 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	108,93 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	76,44 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	16,12 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
C	0-3 m	135,09 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	1219,41 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	378,12 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	295,47 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
C	3-7 m	92,07 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	178,01 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	129,82 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	25,89 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
M	0-3 m	63,50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	716,50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	200,22 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	161,82 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
M	3-7 m	32,60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	67,12 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	44,72 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	10,39 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

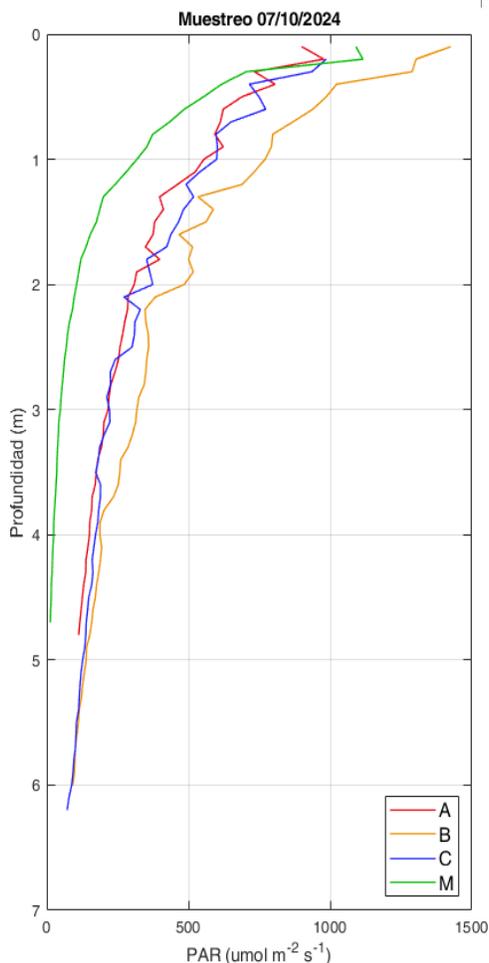


Figura 59. Perfiles de Luz PAR obtenidos el día 07/10/24 con el CTD.

Tabla 42. Datos de Luz PAR de los perfiles de CTD obtenidos el día 07/10/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	219,71 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	977,41 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	460,30 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	212,89 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
A	3-7 m	112,85 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	216,40 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	157,18 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	30,88 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
B	0-3 m	325,22 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	1425,33 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	653,66 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	317,91 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
B	3-7 m	91,97 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	317,85 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	179,93 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	68,29 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
C	0-3 m	212,03 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	985,86 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	481,67 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	212,11 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
C	3-7 m	72,11 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	222,62 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	144,98 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	41,47 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
M	0-3 m	50,61 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	1115,53 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	289,67 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	289,50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
M	3-7 m	12,82 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	47,99 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	27,85 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	10,75 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

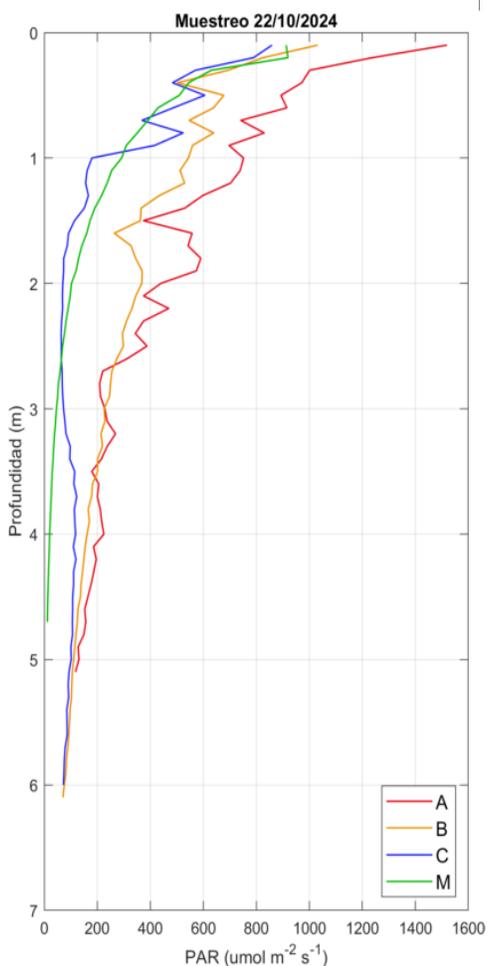


Figura 60. Perfiles de Luz PAR obtenidos el día 22/10/24 con el CTD.

Tabla 43. Datos de Luz PAR de los perfiles de CTD obtenidos el día 22/10/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	208,73 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$	1519,15 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$	624,51 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$	310,52 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$
A	3-7 m	117,58 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$	269,03 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$	189,62 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$	39,87 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$
B	0-3 m	246,28 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$	1031,67 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$	453,19 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$	192,35 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$
B	3-7 m	70,62 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$	228,80 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$	139,62 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$	47,66 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$
C	0-3 m	63,70 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$	859,31 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$	242,38 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$	240,81 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$
C	3-7 m	72,26 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$	122,44 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$	97,96 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$	15,50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$
M	0-3 m	50,71 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$	919,50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$	264,10 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$	240,52 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$
M	3-7 m	11,78 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$	45,98 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$	25,19 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$	10,63 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$

7.3.8. Clorofila

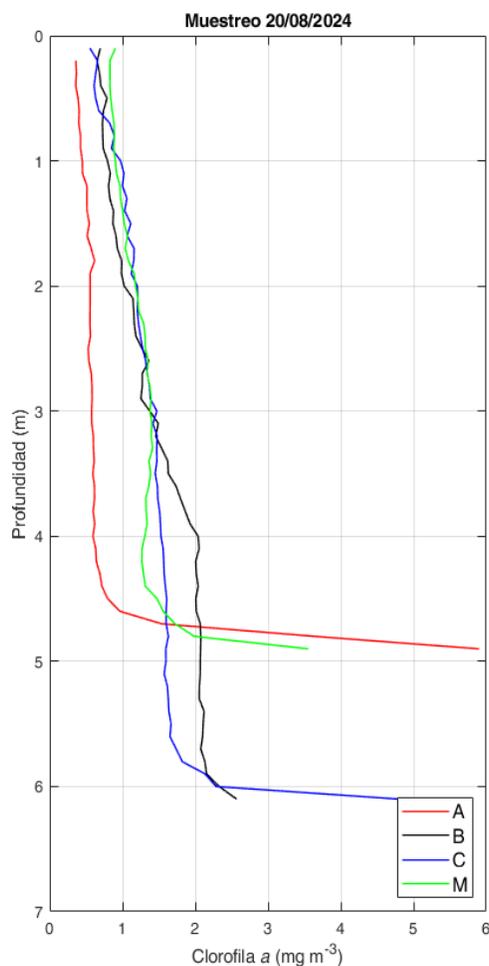


Figura 61. Perfiles de Clorofila obtenidos el día 20/08/24 con el CTD.

Tabla 44. Datos de Clorofila de los perfiles de CTD obtenidos el día 20/08/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	0,36 mg/m ³	0,62 mg/m ³	0,50 mg/m ³	0,08 mg/m ³
A	3-7 m	0,58 mg/m ³	5,90 mg/m ³	1,11 mg/m ³	1,32 mg/m ³
B	0-3 m	0,65 mg/m ³	1,36 mg/m ³	0,94 mg/m ³	0,22 mg/m ³
B	3-7 m	1,38 mg/m ³	2,57 mg/m ³	1,96 mg/m ³	0,26 mg/m ³
C	0-3 m	0,55 mg/m ³	1,38 mg/m ³	1,03 mg/m ³	0,25 mg/m ³
C	3-7 m	1,42 mg/m ³	4,78 mg/m ³	1,71 mg/m ³	0,59 mg/m ³
M	0-3 m	0,83 mg/m ³	1,39 mg/m ³	1,06 mg/m ³	0,20 mg/m ³
M	3-7 m	1,27 mg/m ³	3,56 mg/m ³	1,52 mg/m ³	0,51 mg/m ³

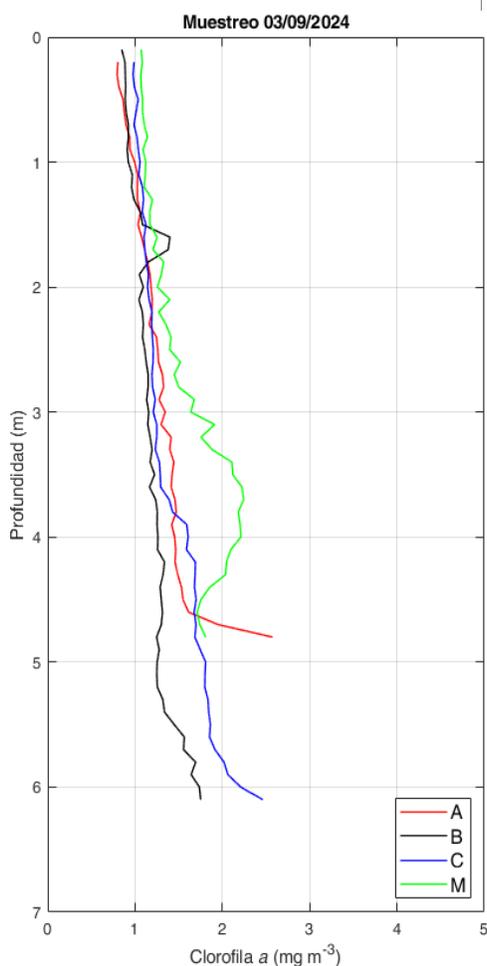


Figura 62. Perfiles de Clorofila obtenidos el día 03/09/24 con el CTD.

Tabla 45. Datos de Clorofila de los perfiles de CTD obtenidos el día 03/09/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	0,80 mg/m ³	1,33 mg/m ³	1,07 mg/m ³	0,16 mg/m ³
A	3-7 m	1,30 mg/m ³	2,58 mg/m ³	1,54 mg/m ³	0,29 mg/m ³
B	0-3 m	0,85 mg/m ³	1,40 mg/m ³	1,04 mg/m ³	0,14 mg/m ³
B	3-7 m	1,15 mg/m ³	1,75 mg/m ³	1,33 mg/m ³	0,17 mg/m ³
C	0-3 m	0,98 mg/m ³	1,23 mg/m ³	1,11 mg/m ³	0,08 mg/m ³
C	3-7 m	1,21 mg/m ³	2,46 mg/m ³	1,67 mg/m ³	0,30 mg/m ³
M	0-3 m	1,07 mg/m ³	1,68 mg/m ³	1,24 mg/m ³	0,16 mg/m ³
M	3-7 m	1,64 mg/m ³	2,24 mg/m ³	1,98 mg/m ³	0,20 mg/m ³

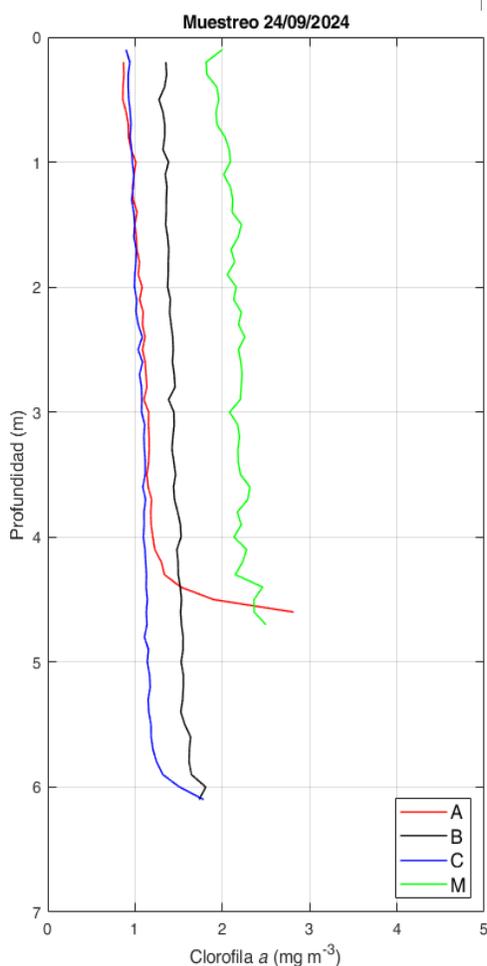


Figura 63. Perfiles de Clorofila obtenidos el día 24/09/24 con el CTD.

Tabla 46. Datos de Clorofila de los perfiles de CTD obtenidos el día 24/09/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	0,86 mg/m^3	1,14 mg/m^3	1,01 mg/m^3	0,09 mg/m^3
A	3-7 m	1,14 mg/m^3	2,82 mg/m^3	1,35 mg/m^3	0,42 mg/m^3
B	0-3 m	1,27 mg/m^3	1,46 mg/m^3	1,38 mg/m^3	0,04 mg/m^3
B	3-7 m	1,42 mg/m^3	1,81 mg/m^3	1,53 mg/m^3	0,09 mg/m^3
C	0-3 m	0,90 mg/m^3	1,09 mg/m^3	0,99 mg/m^3	0,05 mg/m^3
C	3-7 m	1,07 mg/m^3	1,79 mg/m^3	1,17 mg/m^3	0,14 mg/m^3
M	0-3 m	1,81 mg/m^3	2,26 mg/m^3	2,09 mg/m^3	0,12 mg/m^3
M	3-7 m	2,08 mg/m^3	2,50 mg/m^3	2,25 mg/m^3	0,11 mg/m^3

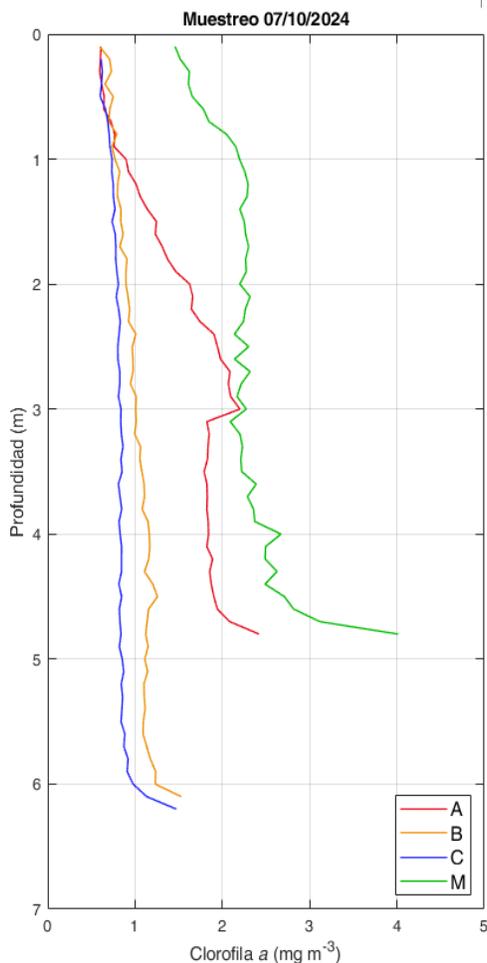


Figura 64. Perfiles de Clorofila obtenidos el día 07/10/24 con el CTD.

Tabla 47. Datos de Clorofila de los perfiles de CTD obtenidos el día 07/10/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	0,60 mg/m ³	2,10 mg/m ³	1,25 mg/m ³	0,53 mg/m ³
A	3-7 m	1,79 mg/m ³	2,42 mg/m ³	1,91 mg/m ³	0,16 mg/m ³
B	0-3 m	0,60 mg/m ³	1,01 mg/m ³	0,84 mg/m ³	0,11 mg/m ³
B	3-7 m	1,00 mg/m ³	1,53 mg/m ³	1,14 mg/m ³	0,09 mg/m ³
C	0-3 m	0,60 mg/m ³	0,83 mg/m ³	0,75 mg/m ³	0,07 mg/m ³
C	3-7 m	0,81 mg/m ³	1,47 mg/m ³	0,88 mg/m ³	0,12 mg/m ³
M	0-3 m	1,46 mg/m ³	2,32 mg/m ³	2,09 mg/m ³	0,27 mg/m ³
M	3-7 m	2,09 mg/m ³	4,01 mg/m ³	2,53 mg/m ³	0,44 mg/m ³

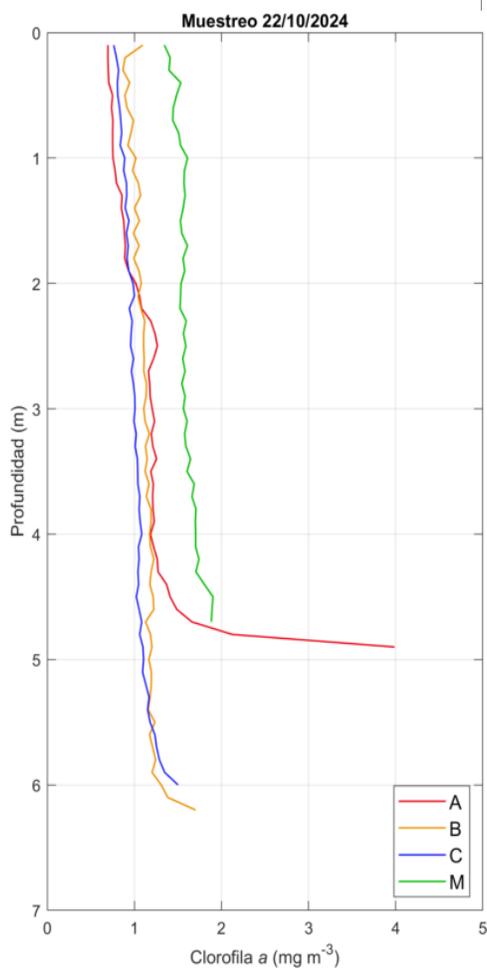


Figura 65. Perfiles de Clorofila obtenidos el día 22/10/24 con el CTD.

Tabla 48. Datos de Clorofila de los perfiles de CTD obtenidos el día 22/10/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	0,70 mg/m^3	1,26 mg/m^3	0,92 mg/m^3	0,19 mg/m^3
A	3-7 m	1,19 mg/m^3	3,99 mg/m^3	1,46 mg/m^3	0,64 mg/m^3
B	0-3 m	0,87 mg/m^3	1,14 mg/m^3	1,03 mg/m^3	0,08 mg/m^3
B	3-7 m	1,11 mg/m^3	1,70 mg/m^3	1,20 mg/m^3	0,10 mg/m^3
C	0-3 m	0,76 mg/m^3	1,00 mg/m^3	0,91 mg/m^3	0,07 mg/m^3
C	3-7 m	0,99 mg/m^3	1,50 mg/m^3	1,11 mg/m^3	0,11 mg/m^3
M	0-3 m	1,34 mg/m^3	1,61 mg/m^3	1,53 mg/m^3	0,07 mg/m^3
M	3-7 m	1,56 mg/m^3	1,90 mg/m^3	1,70 mg/m^3	0,11 mg/m^3