

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 (junio 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 recuperar el Mar Menor. Sub-Actuación 8.1. Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico (MITERD).
- Proyecto THINKING AZUL. IEO-CSIC.

Equipo de trabajo IEO-CSIC:

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

Eugenio Fraile, CO Canarias

Marijn Oosterbaan, CO Canarias (contratado DMMEM)

Patricia Pérez, CO Murcia (contratada BELICH)

Virginia Sandoval, CO Murcia (contratada BELICH)

Victor Orenes, CO Murcia (contratado BELICH)

Pedro Martínez, CO Murcia (contratado BELICH)

Roberto González CO Murcia (contratado BELICH)

Antonio Ortolano (contratado BELICH)

Rocío García, CO Murcia

Jesús M. Mercado, CO Málaga

Isabel Ferrera, CO Málaga

Francisco Gómez Jakobsen, CO Málaga

Lidia Yebra, CO Málaga

Ana María Cabello, CO Málaga (contratada BELICH)

Soluna Salles, CO Málaga (contratada BELICH)

Guillermo Domínguez-Huerta, CO 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 (JUNIO 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 abril de 2024, que se resumen a continuación a modo de conclusiones provisionales:

- La temperatura del Mar Menor se encuentra en un periodo ascendente, propio de la época primaveral, alcanzando, a mediados de junio valores de 26°C; valores equivalentes a los registrados a mediados de 2023. La temperatura media anual continua su tendencia ascendente desde 1982 (Apartado 4.1).

- La salinidad durante la primavera de 2024 ha aumentado 0.1 unidades respecto al invierno, reflejando el patrón estacional típico. No obstante, tal y como ocurrió en otoño e invierno, ha sido la primavera más salina de los últimos años con valores medios de 43,3-44,3, siendo los valores máximos registrados desde el invierno de 2019, lo que consolida la tendencia ascendente de esta variable desde su disminución a partir de la DANA de 2019. 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 a excepción de la estación M, que ha registrado un pico de 3,95 mg/m³ a finales de abril de 2024, tras el cual, los valores de clorofila vuelven a los obtenidos en esta estación en los meses anteriores. Los valores de clorofila en la estación M son más elevados y variables que los registrados en el resto de la laguna (Apartado 4.3).

- El algoritmo BELA desarrollado para estimar concentraciones de clorofila sigue demostrando que reproduce adecuadamente los valores reales o al menos los patrones de variabilidad espacial y temporal de esta variable clave en la laguna. En este informe se muestran 29 mapas obtenidos durante los meses de marzo y abril de 2024, que reflejan las tendencias temporales de esta variable observadas en las estaciones del programa de monitorización (punto anterior), (Apartado 4.3.1). Además, como novedad en este informe, se muestra el análisis realizado para la "mancha blanca", donde se muestra el análisis de clorofila a través de los satélites Sentinel 3A/3B con el "índice BG", lo que muestra la evolución mensual de la probabilidad de aparición de la mancha desde mediados de 2022 hasta abril de 2024 (Apartado 4.3.1.1).

- Se han registrado altos valores de turbidez en la estación M a mediados de mayo de 2024. Además, en esta estación, la radiación PAR disponible (%I₀) se recupera tras las lluvias de mediados de mayo, pero vuelve a disminuir por debajo del umbral mínimo crítico para el crecimiento de las comunidades de macrófitos tras el cese de las lluvias, retornando a los niveles de finales de abril y mayo. Estos bajos niveles de radiación PAR que 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 laguna. En el resto de la albufera, los niveles de luz PAR que alcanzan el fondo están por encima de los umbrales críticos la mayor parte del tiempo, por lo que se consideran óptimos para el desarrollo de la vegetación bentónica (Apartado 4.4).

- Los niveles de oxígeno llegaron a su máximo anual en marzo de 2024, llegando a valores máximos de 9,7 mg/l, seguido del inicio de una tendencia descendente propia de la época primaveral. Son, en general, valores que indican una buena oxigenación del agua y no se han detectado indicios ni riesgo de hipoxia, ni de anoxia, ni siquiera en la zona de blanqueamiento del agua (estación M), donde los valores medios de esta variable son iguales a los observados en el resto de la laguna (Apartado 4.5)

- Los valores de pH se han mantenido entre 8,4 y 8,5 en los últimos meses, alcanzando valores máximos a mediados de mayo (8.49 unidades). La estación M, que experimentó a principios de año una bajada de pH en superficie, ha recuperado los niveles de pH hasta alcanzar los niveles del resto de la laguna. Igualmente, los valores medios de pH son superiores a los registrados al principio de la serie temporal, lo que mantiene la tendencia general positiva de +0,07 unidades por año en el Mar Menor, en todo el periodo de estudio (Apartado 4.6).

- Respecto al resto de las variables analizadas (nutrientes y potencial redox) no se ha añadido nueva información, por lo que se mantienen las mismas conclusiones que en el informe de abril de 2024, con carácter provisional hasta nueva actualización (Apartados 4.7 y 4.8).

- Se ha continuado con la toma de muestras de zooplancton en los muestreos *in situ*, en futuros informes se realizará la actualización de los resultados.

2. Antecedentes y objeto del informe

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

De manera complementaria a estos programas de seguimiento científico, en el marco del proyecto europeo SMARTLAGOON, liderado por la Universitat Politècnica de València (UPV), Uppsala University y la empresa VIELCA Ingenieros, S.A. (Grant Agreement Nº 101017861), en

octubre de 2022, se instaló una boya piloto de monitorización oceanográfica (a partir de ahora “boya piloto” o SMLG). Esta boya sirve de prueba y aprendizaje para la instalación del futuro sistema de monitorización del proyecto BELICH (subactuación 8.1 del MAPMM). Además, la tarea 1.1 de BELICH incluye el mantenimiento de esta boya piloto y el control de la calidad de los datos obtenidos de la misma, tarea que el IEO desarrolla desde marzo de 2023. En el Anexo I de este informe se indican las características técnicas de esta boya y los sensores instalados.

Por otro lado, las tareas que el IEO-CSIC realiza en el ámbito del proyecto THINKING AZUL financiado por fondos PRTR del programa de Planes complementarios de CARM y MITECO, son complementarias a las realizadas en el proyecto BELICH.

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

3. Marco de trabajo

3.1. Variables de estudio

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

Temperatura (°C): factor clave para la mayoría de los procesos físico-químicos y biológicos que rigen el funcionamiento del ecosistema lagunar. En su estado actual, el ecosistema marino del Mar Menor es mucho más vulnerable, tanto a los efectos de los impactos antropogénicos locales, como a los relacionados con el cambio climático, entre ellos el calentamiento global. Por ello no solo importa la temperatura en términos absolutos, sino en la intensidad y frecuencia de las olas de calor (Olivier et al., 2021).

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

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

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

pH: indica la acidez o alcalinidad del agua, en base a las concentraciones de iones de hidrógeno (H^+) e hidroxilo (OH^-). El agua marina es ligeramente alcalina (8,1 - 8,3). El pH es un parámetro crucial para evaluar la salud de los ecosistemas marinos, ya que influye en sus procesos químicos, utilizándose como indicador de la calidad del agua. La contaminación, ya sea atmosférica o por eutrofización del agua, tiende a aumentar la concentración de CO_2 , cuya absorción por el sistema tampón de bicarbonato del agua tiende a disminuir el pH, proceso conocido como acidificación (Doney et al., 2009). Otros procesos biológicos, como la fotosíntesis tienden a aumentar el pH, al igual que los aportes continentales ricos en carbonatos y calcio.

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 los valores de esta variable adoptan valores positivos entre 0 y +200 y en ambientes reductores (hipóxicos o anóxicos) los valores son negativos pudiendo alcanzar valores entre -100 y -200. Es un indicador temprano de procesos de agotamiento de oxígeno como los observados en algunos episodios registrados en el Mar Menor (Ruiz et al 2020).

Nutrientes (μM): la concentración total de nitrógeno y fósforo (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/m³): indicador de la calidad del agua en ecosistemas marinos costeros, especialmente en aguas eutrofizadas como las del Mar Menor (Ouaissa et al., 2023), ya que es indicadora de la productividad fitoplanctónica. Por tanto, esta variable es clave para explicar las propiedades ópticas de la columna de agua y puede ser empleada para evaluar la calidad del agua mediante sensores remotos multiespectrales e hiperespectrales (imágenes de satélite).

Comunidades microbianas y de fitoplancton: el análisis de las comunidades microbianas y de fitoplancton es fundamental para determinar el estado del ecosistema lagunar y su relación con las variables ambientales que gobiernan su funcionamiento (Ouaissa et al., 2023). El estudio de su composición del fitoplancton es también fundamental para el desarrollo de herramientas basadas en teledetección (satélites y drones).

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

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

3.2. Fuentes de datos

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

3.2.1. Muestreos *in situ*

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

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

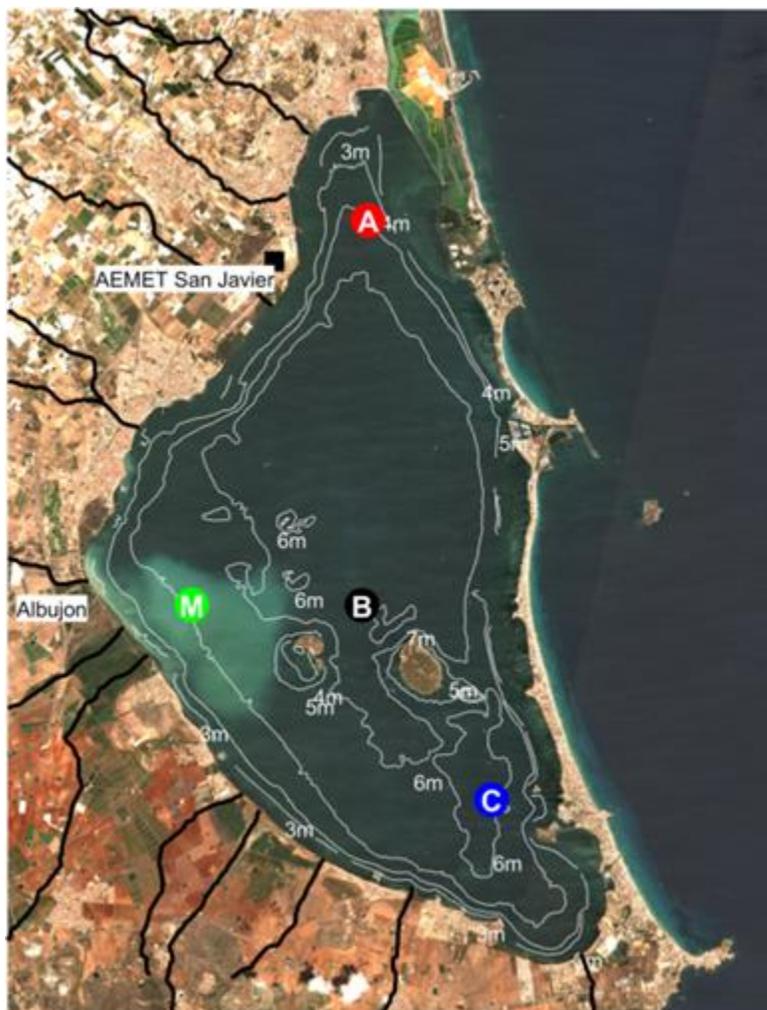


Figura 1: Ubicación de las estaciones de muestreo (A, B, C y M) mostrada sobre una imagen de satélite Sentinel2 obtenida el 03/08/2023. La ubicación de la boya piloto SMLG coincide con B.

3.2.2. Boya piloto SMLG

La boya piloto SMLG, instalada en el centro de la laguna, concretamente en la estación de muestreo B (Figura 1), se instaló en octubre de 2022. En ella se colocaron sensores de medición

para las variables de estudio a varias profundidades, permitiendo obtener datos en continuo y a tiempo casi real. Estos datos son calibrados con los datos obtenidos en los muestreos *in situ*.

3.2.3. Datos satelitales

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

Las imágenes satelitales nos permiten analizar la temperatura y la clorofila-*a*. La temperatura se obtiene de satélite, a través de "*Copernicus Mediterranean Sea – High Resolution L4 Sea Surface Temperature Reprocessed 0,05 deg resolution*" (Nardelli et al., 2013).

Hasta octubre de 2023, la concentración de clorofila-*a* superficial se ha obtenido desde el producto "*Mediterranean Sea Ocean Colour Plankton MY L4 daily gapfree observations and climatology and monthly observations*" del portal marino de Copernicus (CMEMS). Sin embargo, en octubre de 2023, se desarrolló un algoritmo específico para estimar la concentración de la clorofila-*a* en la laguna. Para diseñar este algoritmo, se han analizado los datos de los satélites y sensores del color del océano recogidos en la Tabla 1, junto con los datos de clorofila-*a* procedentes de los muestreos *in situ* recopilados en el Mar Menor desde 2016.

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

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

3.2.4. Sensores de luz PAR

Los sensores PAR (Photosynthetically Active Radiation), también conocidos como sensores de radiación fotosintéticamente activa ($\mu\text{moles} \times \text{m}^{-2} \times \text{s}^{-1}$), son dispositivos utilizados para medir

las longitudes de onda correspondientes a la luz visible, que es crucial para los procesos fotosintéticos en las plantas y otros organismos fotosintéticos.

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

4. Resultados

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

4.1. Temperatura

A partir de los datos de la serie temporal completa de temperaturas medias (media total), medidos *in situ* en las estaciones de muestreo desde 2016 (Figura 2), se puede observar un patrón estacional normal, con temperaturas medias mínimas en invierno [$10-14^{\circ}\text{C}$] y máximas en verano [$28-30^{\circ}\text{C}$] (Tabla 2). Algunos aspectos relevantes de la serie temporal muestran que, la temperatura en primavera y verano de 2023 estuvo por encima de los valores obtenidos en años anteriores, con valores máximos medios de $28,6^{\circ}\text{C}$ y $31,2^{\circ}\text{C}$ en primavera y verano, respectivamente. El otoño, en cambio, fue ligeramente más frío que en 2022, con una temperatura media de $18,3^{\circ}\text{C}$ en 2023 respecto a los $18,7^{\circ}\text{C}$ del otoño de 2022. En términos anuales, la temperatura media de la laguna en 2023 fue la más alta de los 4 años anteriores ($21,9^{\circ}\text{C}$), obteniendo valores muy bajos en invierno ($10,6^{\circ}\text{C}$ de temperatura mínima) y valores máximos en verano ($31,2^{\circ}\text{C}$) que nunca se habían alcanzado desde que se empezaron a realizar los muestreos *in situ*. Tanto el invierno como la primavera de 2024 han sido más fríos que los registrados en el año anterior (2023), con una diferencia de $-0,5^{\circ}\text{C}$ y $-1,9^{\circ}\text{C}$ de media en invierno y primavera respectivamente (Tabla 2).

Tabla 2: Valores medios, mínimos (Min) y máximos (Max) de temperatura por año en superficie (0,5 m) y fondo (4-6 m 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
	Anual	18,7	5,1	11,5	26,1	18,7	5,1	11,6	26,3

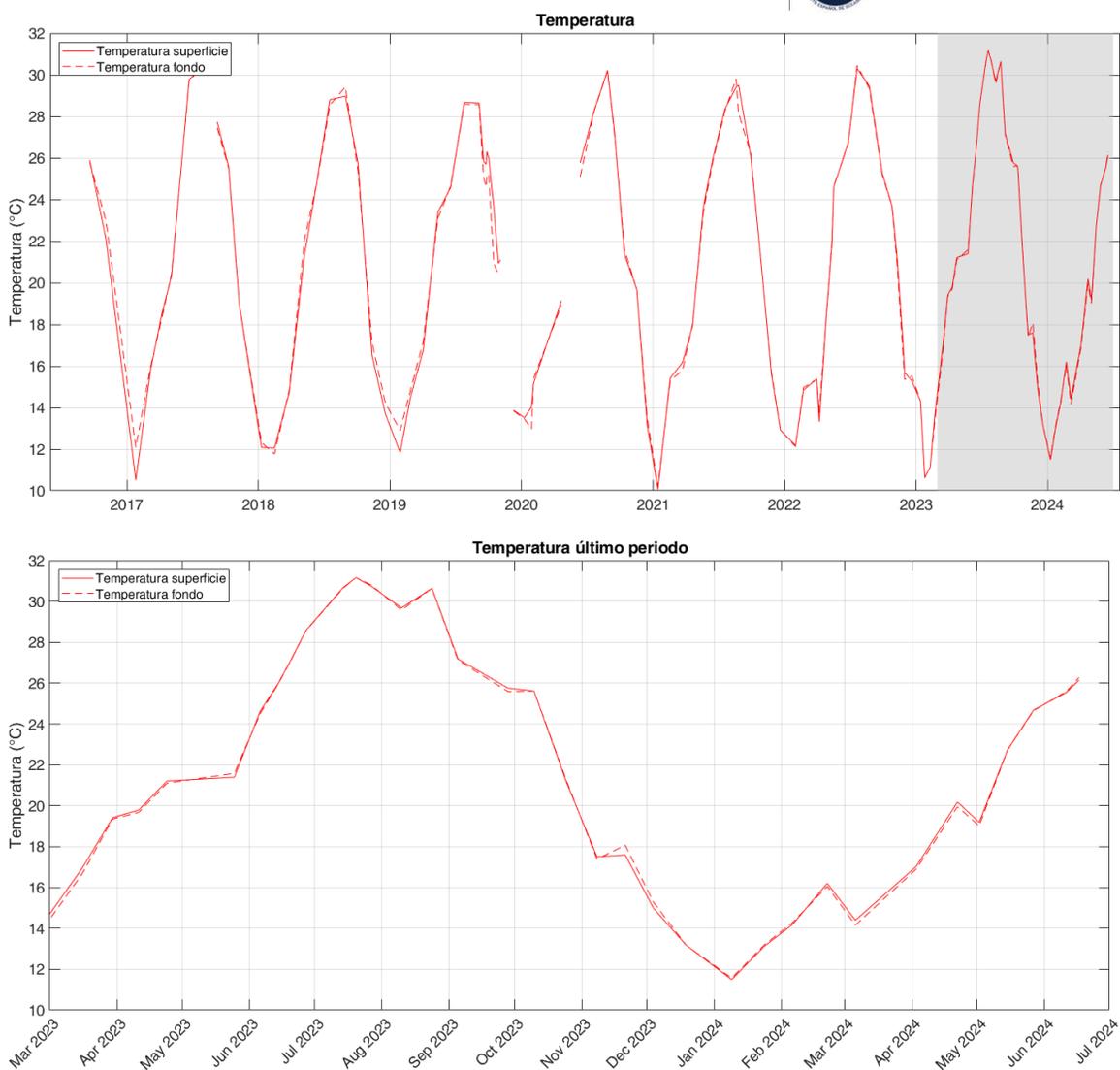


Figura 2: Temperatura media superficial (0,5 m; línea continua) y temperatura media del fondo (entre 4 y 6 m dependiendo de la estación, Figura 1; línea discontinua) registradas en el último año natural durante los muestreos in situ del proyecto DMMEM y BELICH en las estaciones de muestreo A, B, C y 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 indican que en el Mar Menor no se produce una estratificación térmica significativa. Hasta la fecha, el único episodio relevante de estratificación termo-halina de la columna de agua registrado en el Mar Menor fue el que estuvo asociado a eventos climatológicos extremos, como los que ocurrieron en septiembre de 2019, asociados a fenómenos de Depresión Aislada en Niveles Altos (DANA; ver Apartado 4.2). Gracias a la boya piloto SMLG, se dispone de series temporales de temperatura con muy alta resolución temporal (Figura 3), a partir de las cuales se confirma que como mucho se produce una leve estratificación térmica debido al leve calentamiento de las capas de agua más superficiales (0,5 metros de profundidad) durante días soleados.

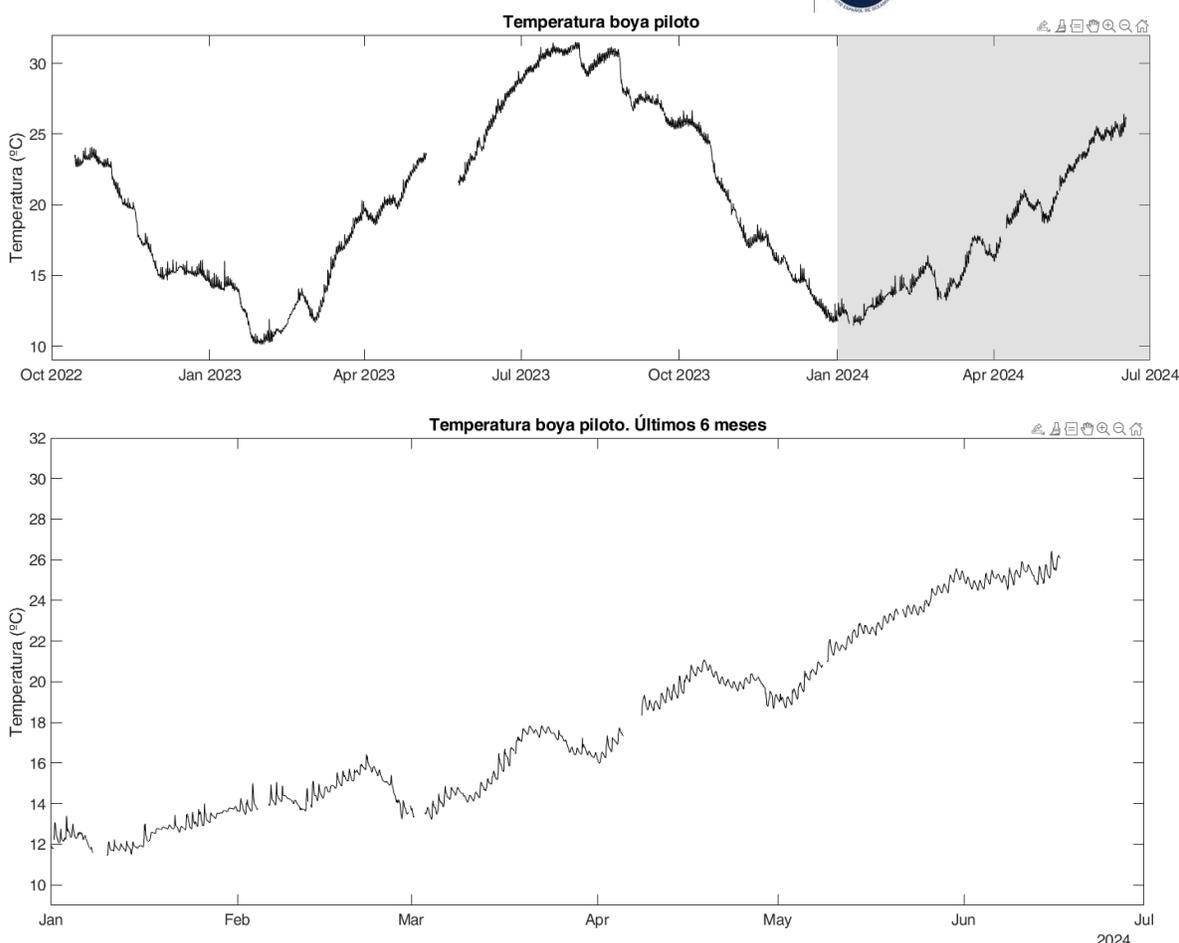


Figura 3: Serie temporal de temperatura media obtenida por los sensores térmicos de la boya piloto SMLG, calibrados con los datos de CTD obtenidos por el IEO-CSIC. En la parte superior se muestra la serie desde octubre de 2022 y en la parte inferior los últimos 6 meses.

La figura 3 muestra el rápido calentamiento del agua, entre febrero y principios de mayo de 2023, hasta valores máximos de 24°C, que son característicos del periodo primaveral. La ausencia de datos entre mayo y junio de 2023 se debe a la retirada del agua de la boya piloto para su limpieza y la sustitución de sensores (Figura 3). Una vez reinstalada en su posición inicial, los valores de temperatura continúan siendo algo más bajos que los del periodo precedente antes de sacarla del agua, lo que indica una pequeña disminución de la temperatura en ese intervalo (el muestreo *in situ* así lo confirmó, Figura 2). Esto es debido a un periodo de inestabilidad atmosférica que dio lugar a precipitaciones y a varios temporales. A partir de este momento, la temperatura del agua del Mar Menor comienza a subir progresivamente hasta valores de 31°C en julio y agosto, lo que es consistente con los datos mostrados en el apartado anterior (Tabla 2). La serie temporal muestra importantes descensos de temperatura a finales de agosto y finales de octubre (como es propio de la época otoñal), mostrando anomalías térmicas de hasta -2°C en apenas 2 días. Los

valores más bajos del invierno de 2024 se alcanzaron a principios de enero, mostrando desde entonces una tendencia ascendente de temperatura.

Por otro lado, a partir de los datos satelitales se han obtenido los promedios por año de la temperatura superficial del Mar Menor (Figura 4). Se aprecia claramente como existe una tendencia significativa positiva en las últimas cuatro décadas del orden de 2°C de calentamiento en total, con una tasa de cambio de +0,035°C por año.

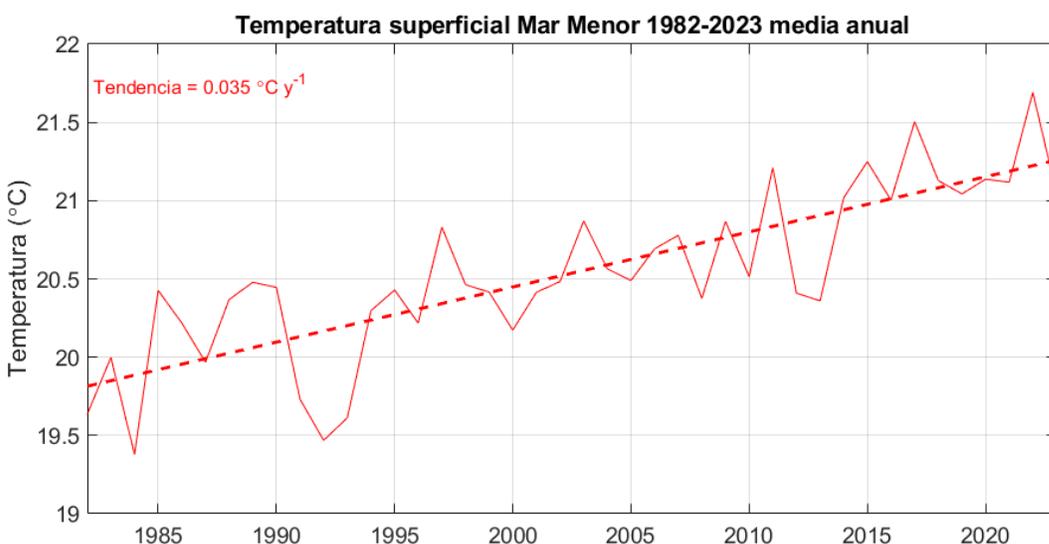


Figura 4: Serie temporal de temperatura superficial media anual desde 1982 hasta 2023 obtenida a partir de datos satelitales. La temperatura superficial mostró una tasa de cambio de +0.037°C por año en el periodo de estudio.

4.2. Salinidad

La Figura 5 combina la visualización de la serie temporal de la salinidad media junto con los datos de precipitación diaria procedentes de la estación meteorológica de *San Javier-Aeropuerto* (Agencia Estatal de Meteorología – AEMET). A los datos de precipitación se les aplicó una media móvil de una semana para ilustrar el patrón temporal de lluvia en el periodo considerado. 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 a valores medios superiores a 45 tras las lluvias torrenciales de 2017, lo que está relacionado con la menor intensidad de las precipitaciones en este periodo. Igualmente, tras la drástica caída de la salinidad a consecuencia de una serie de eventos torrenciales (DANAs) entre 2019 y 2020, esta variable se ha mantenido en valores bajos (no superiores a 43,2; Tabla 3) respecto a los rangos normalmente registrados en años anteriores (e históricamente) en la laguna (Ruiz *et al.*, 2020). Por norma general, no se produce estratificación halina en la laguna, habiendo

sido solo evidente durante eventos puntuales y muy intensos de lluvias torrenciales (>100 mm p.ej. enero 2017 y septiembre-octubre 2019).

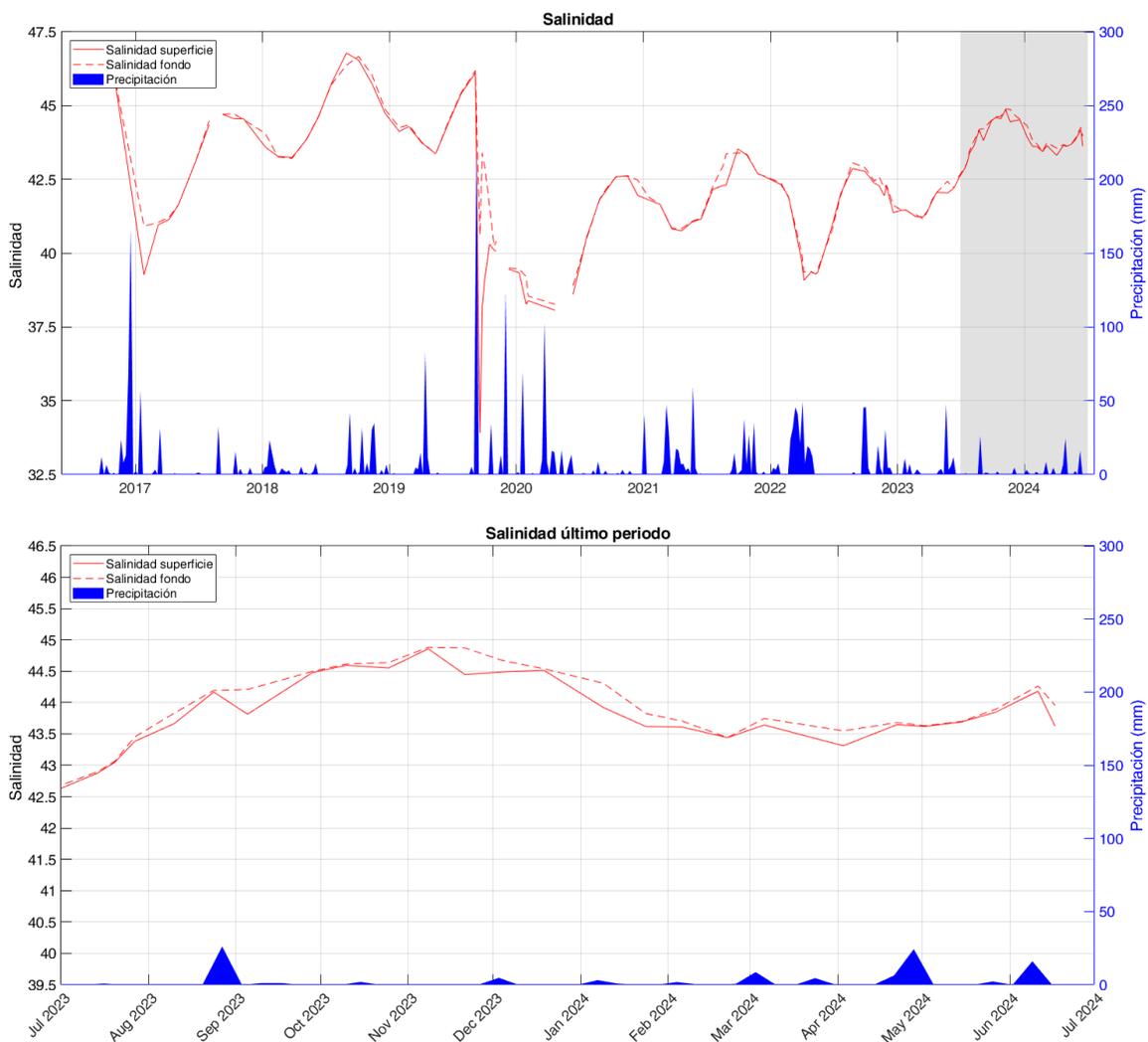


Figura 5: Datos de salinidad promedio en superficie (0,5 m; rojo continuo) y fondo (entre 4 y 6 m dependiendo de la estación, Figura 1; rojo discontinuo) en las estaciones de muestreo A, B, C y M de los muestreos del proyecto DMMEM y BELICH durante el último año natural. Datos de precipitación en el 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 (4-6 m 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	43,7	0,3	43,3	44,2	43,8	0,3	43,6	44,3
	Anual	43,7	0,2	43,3	44,2	43,8	0,3	43,4	44,3

En otoño de 2023 la salinidad alcanzó valores medios de casi 45, niveles que no se alcanzaban desde antes de las DANAs de 2019. De forma similar, los valores medios de salinidad invernal y primaveral de 2024 han superado los registrados en las mismas épocas de los últimos años (Tabla 3). Este hecho consolida la tendencia ascendente de esta variable desde su drástica disminución por la DANA de 2019. No obstante, tras las lluvias ocurridas a principios de junio, la salinidad bajó desde 44,2 a 43,6 (Figura 5), reflejando esa estrecha relación entre la variación temporal de esta variable y las precipitaciones.

4.3. Concentración de la clorofila-a

Con respecto a las medidas de clorofila-*a* tomadas *in situ*, desde otoño de 2022 los valores medios de clorofila-*a* han descendido gradualmente en toda la laguna y se mantienen dentro de valores promedio de 1,0-2,17 mg/m³, a excepción de la zona centro-oeste. En dicha zona, donde se encuentra la masa de agua blanquecina (Estación M), los valores medios de clorofila-*a* son consistentemente más elevados (valores máximos de 7,3 en otoño de 2023; Figura 6. Tabla 4) que en el resto de estaciones de muestreo. En octubre y diciembre de 2023 se observaron dos máximos de clorofila en la estación M, alcanzando valores de 7,3 mg/m³ y 3,8 mg/m³, respectivamente. En el resto de estaciones, en cambio, los valores máximos no superaron valores medios de 2,9 mg/m³ en octubre. Desde entonces, los valores medios de esta variable se han mantenido bastante estables, excepto en la estación M, donde se registró un máximo de 3,95 mg/m³ en abril de 2024 (Figura 6), tras el cual la concentración de clorofila en esta estación volvió a disminuir hasta valores encontrados al principio del año 2024.

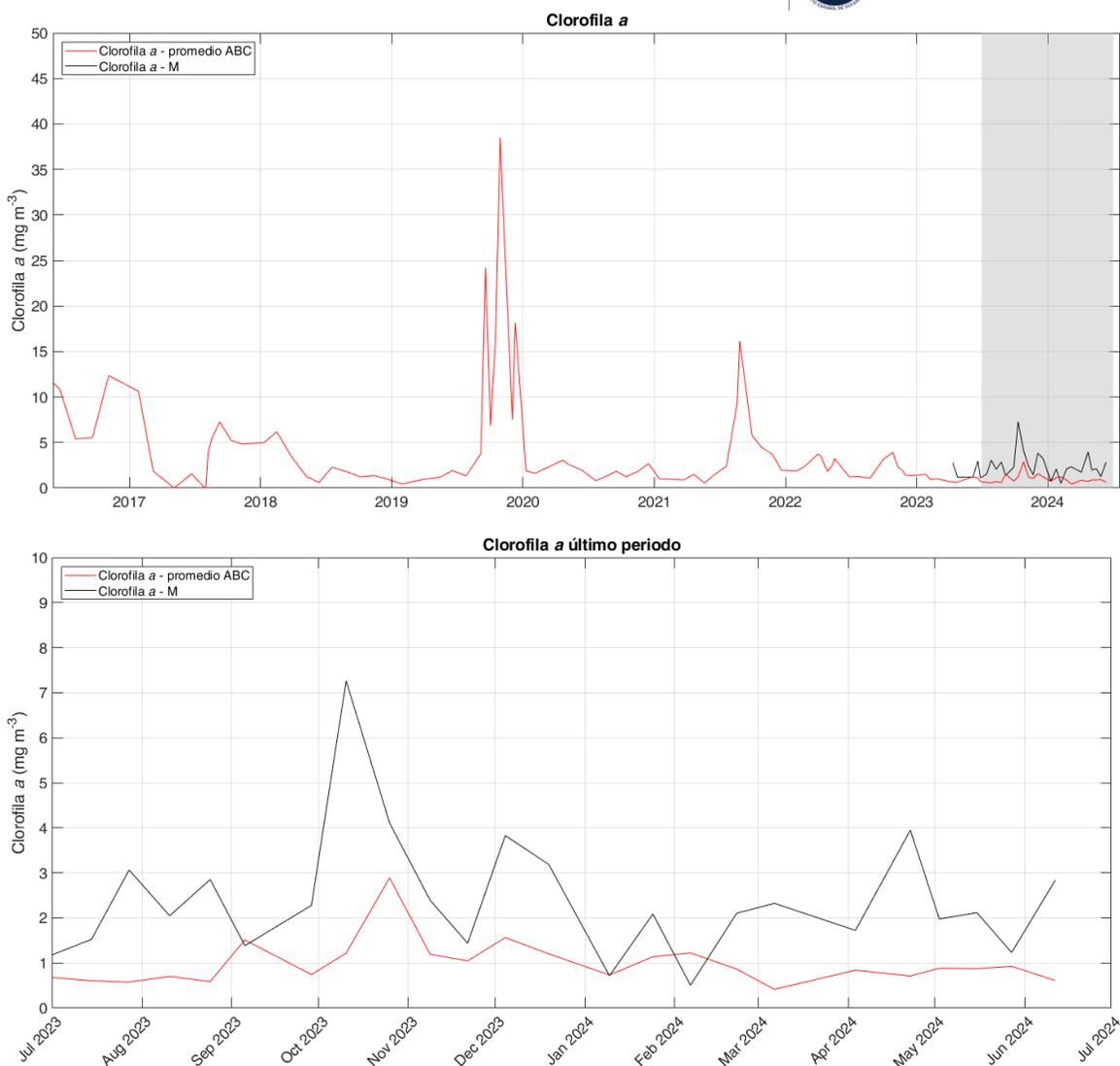


Figura 6: Datos de clorofila-a obtenidos en los muestreos del proyecto DMMEM y BELICH durante el último año en las estaciones de muestreo A, B, C y M de la laguna del Mar Menor. En la parte superior se muestra la serie desde 2016 y en la parte inferior el último año.

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

Clorofila-a (mg/m ³)		4 m profundidad			
Año	Estación	Media	Std	Min	Max
2016	Invierno	---	---	---	---
	Primavera	---	---	---	---



	Verano	5,46	0,11	5,38	5,54
	Otoño	12,33	0,00	12,33	12,33
	Anual	9,26	3,52	5,38	12,33
2017	Invierno	6,24	6,20	1,86	10,63
	Primavera	0,77	1,10	0,00	1,55
	Verano	4,15	3,13	0,00	7,27
	Otoño	5,02	0,28	4,83	5,22
	Anual	4,07	3,37	0,00	10,63
2018	Invierno	4,86	1,36	3,45	6,16
	Primavera	0,92	0,44	0,61	1,23
	Verano	2,01	0,39	1,74	2,29
	Otoño	1,18	0,19	0,98	1,35
	Anual	2,40	1,87	0,61	6,16
2019	Invierno	0,55	0,18	0,42	0,69
	Primavera	1,36	0,49	0,97	1,91
	Verano	9,77	12,59	1,31	24,24
	Otoño	20,00	13,02	6,84	38,52
	Anual	11,03	12,87	0,42	38,52
2020	Invierno	1,74	0,16	1,62	1,86
	Primavera	2,56	0,54	1,99	3,06
	Verano	1,35	0,54	0,78	1,85
	Otoño	1,91	0,72	1,24	2,67
	Anual	1,91	0,67	0,78	3,06
2021	Invierno	0,94	0,06	0,87	1,00
	Primavera	1,15	0,53	0,53	1,49
	Verano	8,43	5,89	2,39	16,16
	Otoño	3,37	1,30	1,93	4,48
	Anual	3,85	4,47	0,53	16,16
2022	Invierno	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	1,18	0,18	1,00	1,52
	Anual	1,12	0,22	0,73	1,52

4.3.1. Clorofila satelital

En general, se ha comprobado que el algoritmo BELA funciona correctamente en la mayor parte de la extensión de la laguna. Sin embargo, hay dos factores que deben tenerse en cuenta y ser revisados de forma operacional. El primero tiene que ver con la masa de agua blanquecina de la laguna, que aunque se representa bien en los mapas de clorofila (debido a sus valores más elevados respecto al resto de la laguna, ver apartado anterior), es necesario realizar una evaluación cruzada del algoritmo BELA y el índice BGI (ver siguiente apartado) para refinar su funcionamiento en esta situación. El segundo factor está relacionado con dos zonas someras de la orilla oriental de la laguna donde es recurrente la aparición de elevados valores de clorofila según las estimaciones del algoritmo; lo que podría estar relacionado con una interferencia de las densas praderas del alga *Caulerpa prolifera*. Serían 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 (Figuras 7 y 8). En consecuencia, se está trabajando para considerar estos dos fenómenos con vistas a implementar la versión operativa del algoritmo BELA.

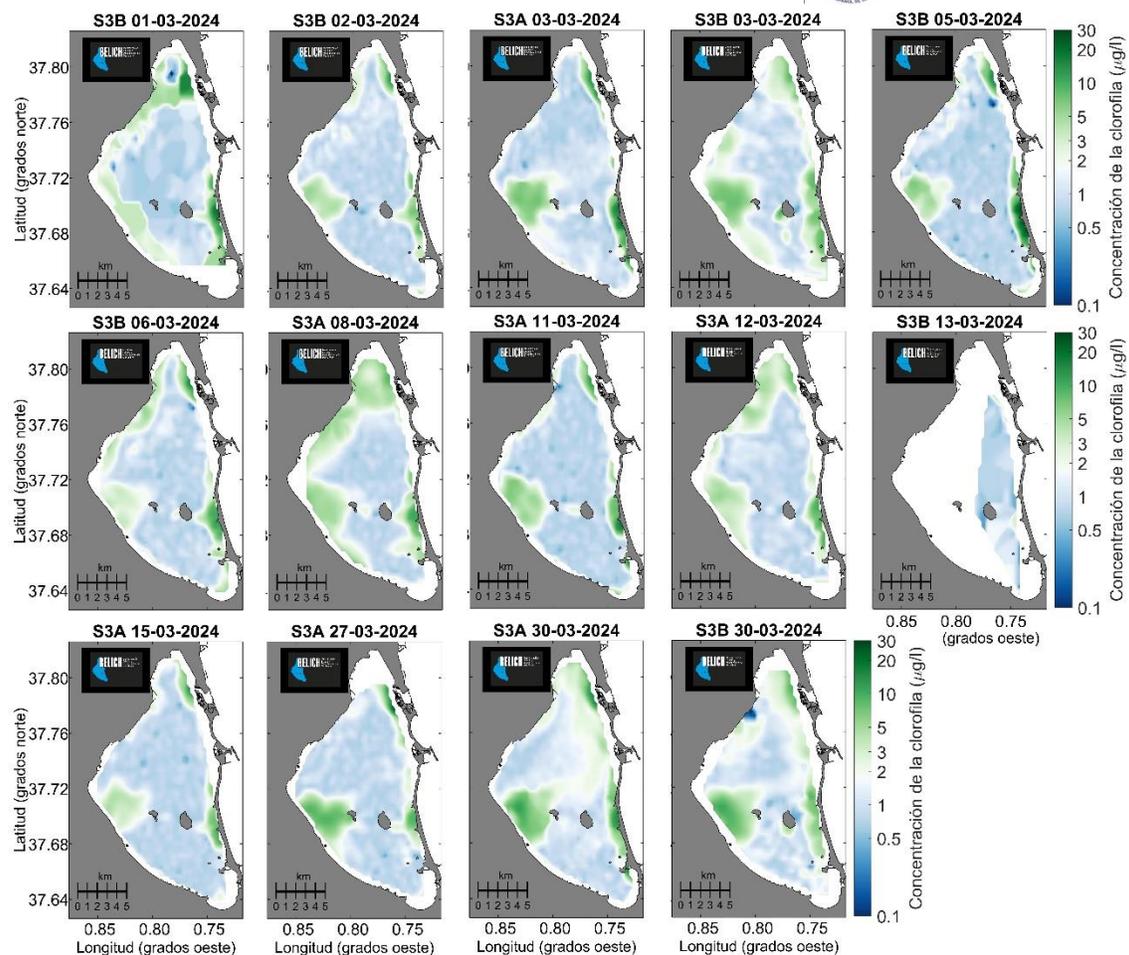


Figura 7. Concentración de la clorofila superficial para imágenes diarias válidas de Sentinel3A y Sentinel3B de marzo de 2024.

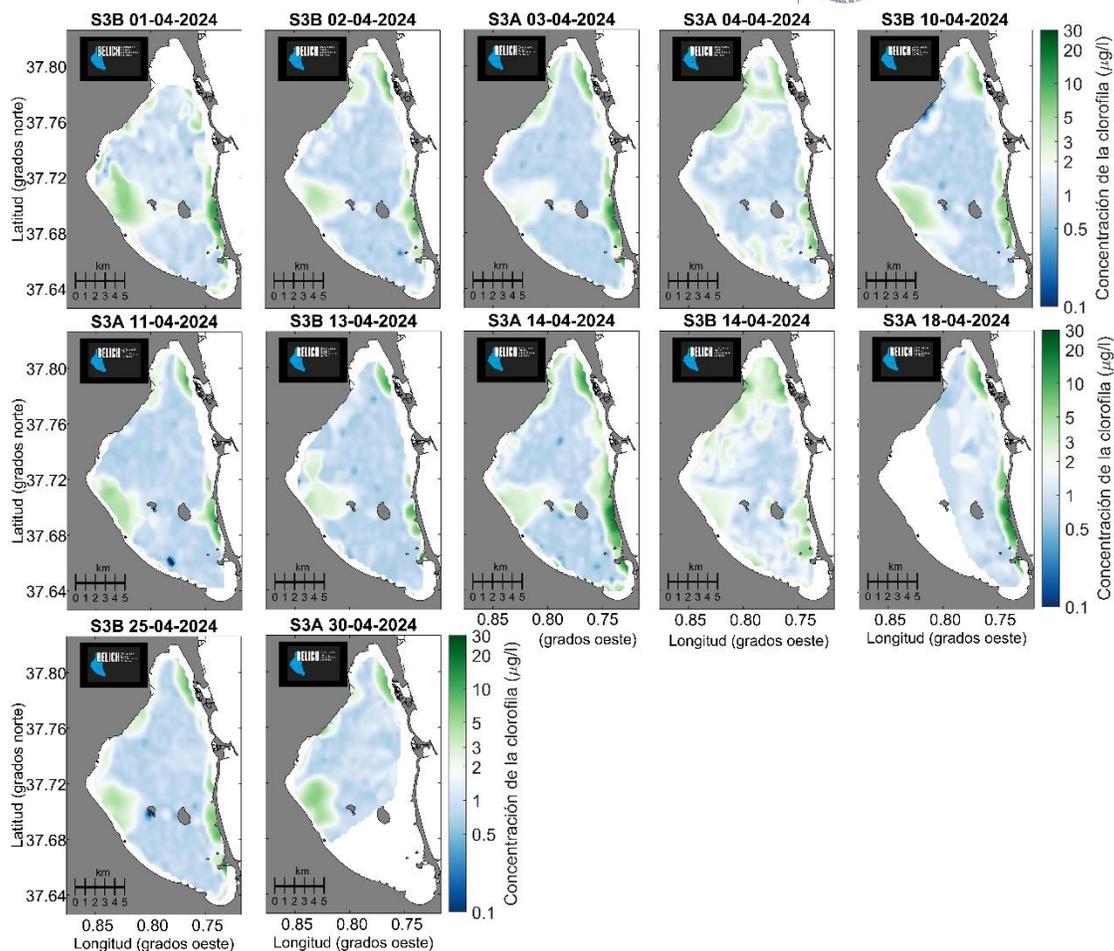


Figura 8. Concentración de la clorofila superficial para imágenes diarias válidas de Sentinel3A y Sentinel3B de abril de 2024.

4.3.1.1 Análisis de satélite de clorofila para 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 la mancha en la superficie de agua de la laguna de El Mar Menor. La composición de imágenes mensuales permite apreciar por un lado la evolución de la forma promedio de la mancha blanca, y por otro la posición y persistencia de la misma cada mes. Se han presentado mapas de probabilidad desde julio de 2022 a abril de 2024, tanto para el satélite Sentinel 3A como para el Sentinel3B (Figuras 9, 10, 11 y 12). Su diferente composición de días válidos de una y otra plataforma explica las pequeñas diferencias entre las dos observaciones, aunque por lo general presentan resultados muy similares.

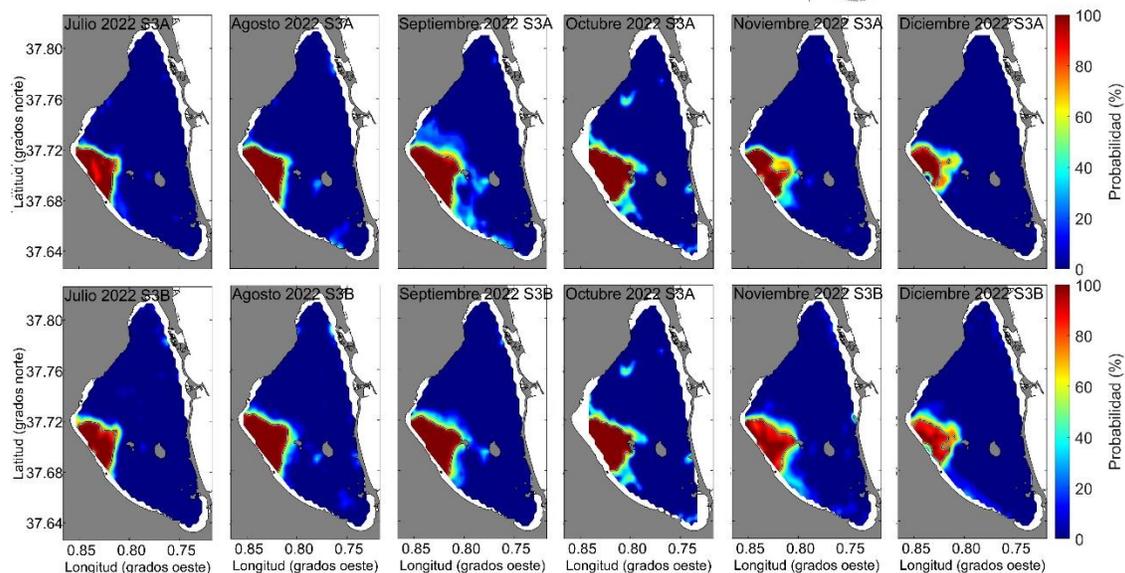


Figura 9. Probabilidad mensual de encontrar la mancha blanca entre julio y diciembre de 2022.

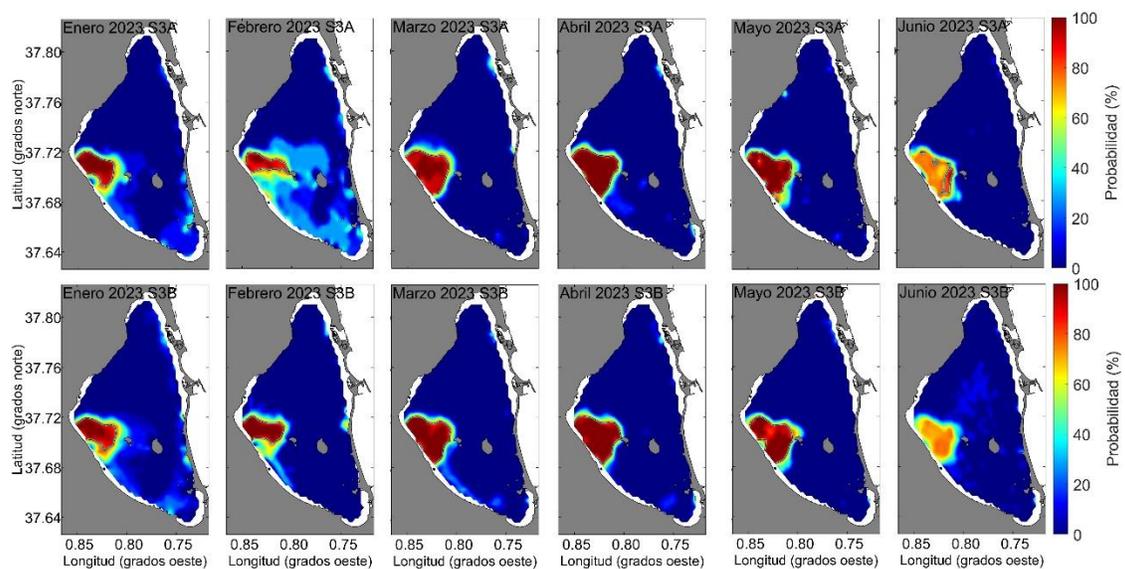


Figura 10. Probabilidad mensual de encontrar la mancha blanca entre enero y junio de 2023.

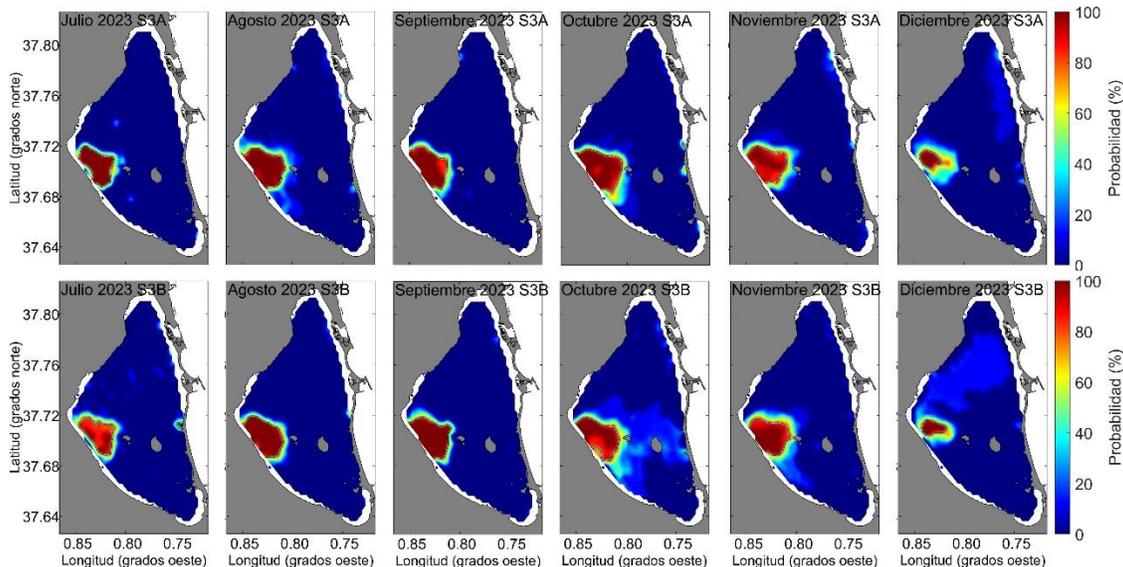


Figura 11. Probabilidad mensual de encontrar la mancha blanca entre julio y diciembre de 2023.

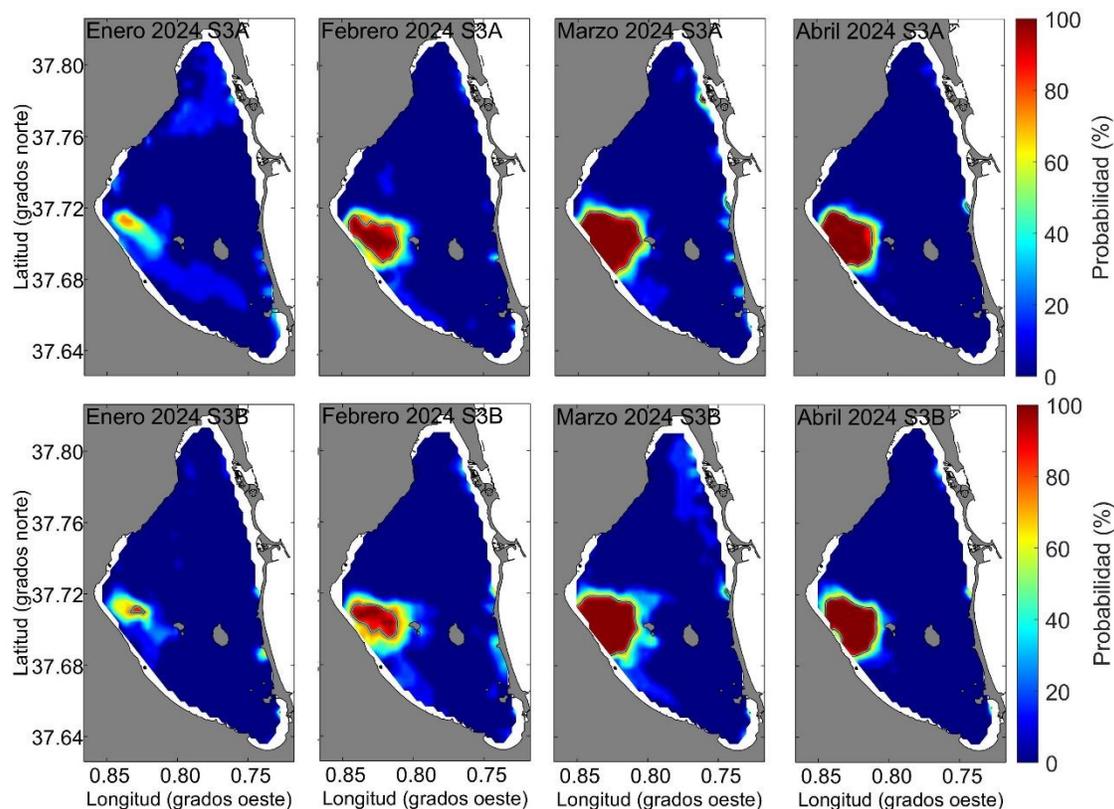


Figura 12. Probabilidad mensual de encontrar la mancha blanca entre enero y abril de 2024.

La evolución mensual de la probabilidad de aparición de la mancha desde mediados de 2022 indica que la mancha es bastante estable, similar tamaño y forma la mayoría de los meses, pero que en ciertos meses se debilita, apareciendo o bien más pequeña como en el caso de los meses de final de otoño e inicio del invierno (diciembre, enero y febrero). Como hipótesis se propone que las bajas temperaturas alcanzadas en estos meses invernales podrían explicar estas variaciones estacionales, en base a la estrecha relación entre la temperatura y la precipitación de carbonatos°C.

4.4. Turbidez

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

Los valores máximos de K_d en 2023 se observaron en octubre ($1,15 \text{ m}^{-1}$ en el punto M y $0,6 \text{ m}^{-1}$ en los puntos A, B y C. Figura 13. Tabla 5), aunque no estuvieron relacionados con las precipitaciones sino más bien con el máximo de clorofila observado en este mes del año (ver apartado anterior). En 2024, los valores de kd se han mantenido estables en toda la laguna, excepto en la estación M, donde hubo un aumento a finales de febrero y a finales de abril. Estos aumentos coinciden con el aumento de los niveles de clorofila, tal y como hemos visto en el apartado anterior (Figura 8). Tal y como ocurriera en septiembre del 2023, tras el periodo de lluvias ocurrido a finales de abril del 2024, los niveles de kd en la estación M se igualaron a los del resto de la laguna, coincidiendo con la bajada de clorofila comentada en el apartado anterior (Figura 13).

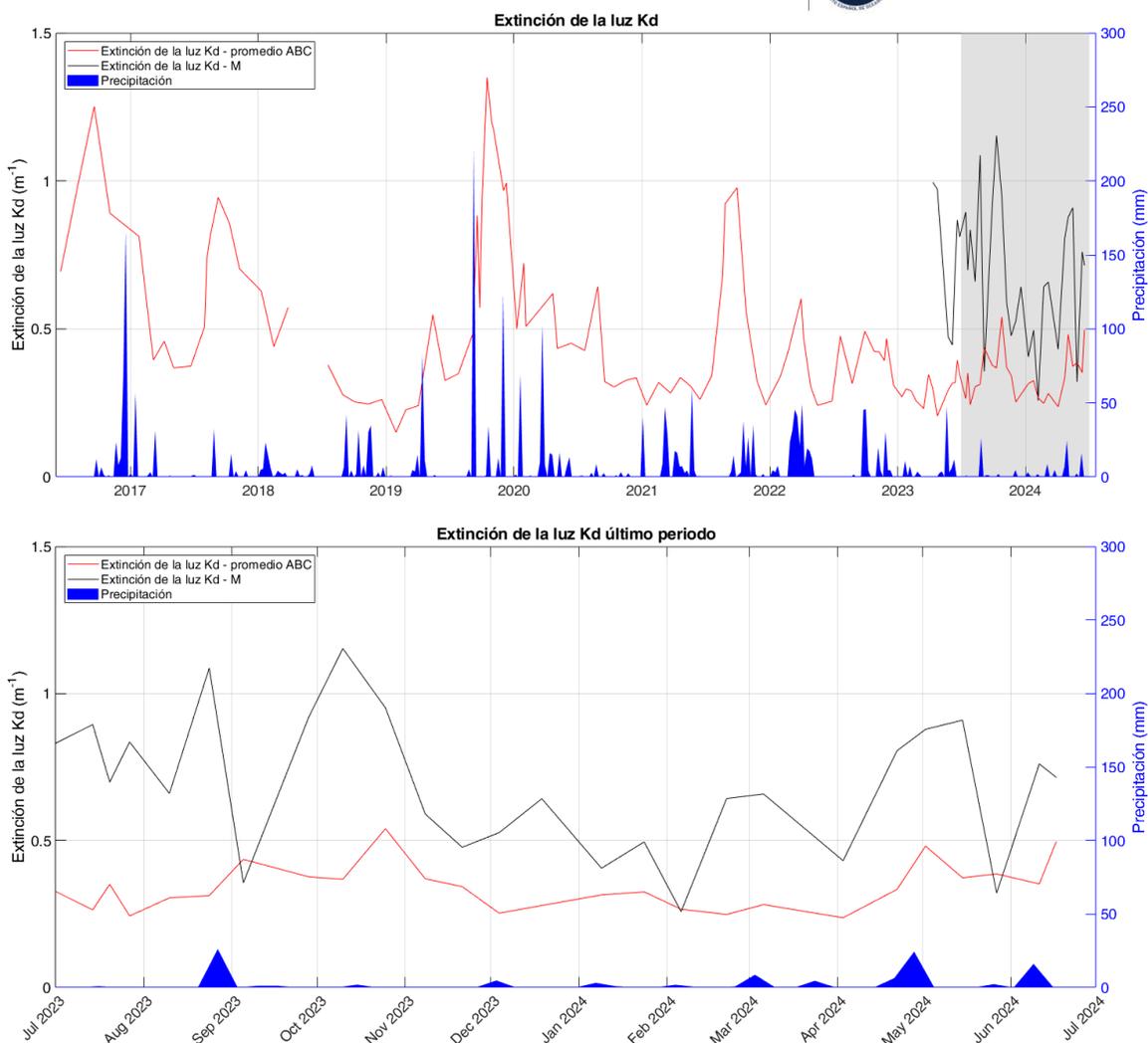


Figura 13: Coeficiente de extinción de la luz a partir de los datos obtenidos en los muestreos del proyecto DMMEM y BELICH en las estaciones de muestreo A, B, C y M, comparado con la precipitación en el aeropuerto de San Javier obtenido a partir de los datos de la AEMET. En la parte superior se muestra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

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

Extinción de luz Kd (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	0,46	0,11	0,29	0,58
	Anual	0,41	0,10	0,26	0,58

A partir de los datos de irradiancia PAR obtenidos en los muestreos *in situ*, también se puede determinar la proporción de luz que queda disponible para los organismos fotosintéticos del fondo (%I₀), macroalgas y angiospermas marinas. Como se aprecia en la Figura 13, en la estación M se han registrado valores medios de irradiancia PAR en el fondo, que el 75% del tiempo se encuentran por debajo de los niveles críticos para el crecimiento fotosintético de los macrófitos bentónicos (<10% respecto a la radiación superficial), debido a la turbidez extrema registrada. Esta observación es consistente con la casi total ausencia de vegetación bentónica en el área de la superficie ocupada por la mancha blanca (datos no incluidos en este informe).

Durante el mes de octubre de 2023, se observó una disminución en la luz PAR disponible en el resto de la laguna, alcanzando valores críticos a finales del mes. Esta disminución también se ha registrado en otoños de años anteriores, y al igual que ocurrió en dichos años, a partir de noviembre se revirtió esta tendencia. La luz PAR disponible en la estación M fue aumentando desde mediados de diciembre hasta febrero. A mediados de febrero, los niveles en la estación M volvieron a bajar a valores críticos para el crecimiento fotosintético (Figura 14). Esta turbidez tan extrema de la estación M disminuyó a finales de mayo de 2024, coincidiendo con un periodo de lluvias comentado en apartado anteriores. No obstante, la masa de agua blanquecina recuperó su extensión, forma y color previos inmediatamente después de dicho evento, volviendo así a los valores de coeficiente de extinción de la luz observados antes de las lluvias (Figura 14). 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). Desde el inicio del 2024, el valor de irradiancia correspondiente a %I₀ ha mostrado una tendencia al aumento y con valores óptimos para el desarrollo de los macrófitos. Sin embargo, estos valores disminuyeron con las lluvias de abril y cayeron ocasionalmente por debajo de los niveles críticos (< 10% I₀) en algunas estaciones a principios de mayo y mediados de junio de 2024 (Figura 14).

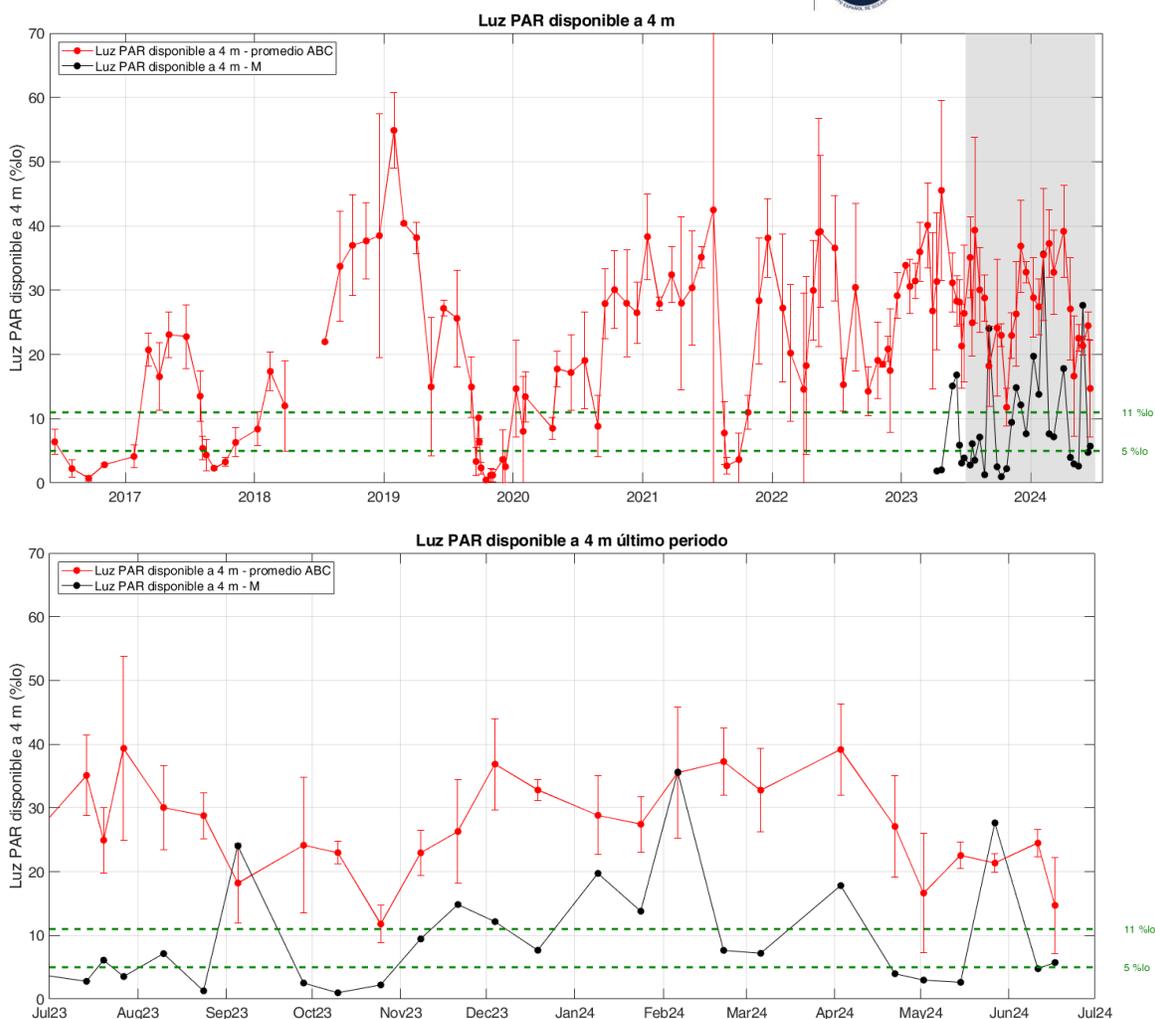


Figura 14: Evolución del porcentaje de radiación PAR que atraviesa la superficie del agua y que alcanza la profundidad de 4 metros. La línea negra muestra la media de la luz PAR que alcanza los 4 m en los puntos de muestreos A, B y C. La línea continua verde representa la luz PAR disponible a 4 m en la estación M. Las líneas verdes discontinuas representan los niveles de 11% y 5%, críticos para el crecimiento fotosintético de la vegetación bentónica. En la parte superior se muestra la serie desde 2016 y en la parte inferior el último año.

4.5. Oxígeno

En ausencia de eventos climáticos extremos (p.ej. DANA 2019), los valores medios 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 propia del periodo primaveral con valores medios de 7,5 mg/l, tanto en las capas superficiales como en las más profundas. Estos son valores normales para el Mar Menor y muy parecidos a los registrados en la mayoría de años anteriores de la serie temporal (Tabla 6; Figura 15). Tal y como se ha observado en años anteriores, se espera que esta tendencia descendente muestre sus

valores mínimos a medida que nos adentremos en el periodo estival, coincidiendo con las temperaturas máximas.

Esta variable tampoco muestra grandes diferencias entre las capas superficiales y profundas, lo que indica ausencia de procesos de estratificación termohalina en la columna de agua capaces de interferir en la difusión de oxígeno. De hecho, no se han apreciado síntomas de déficit de oxígeno críticos para el ecosistema lagunar (hipoxia, anoxia) desde el último evento registrado en 2021. No se produce ninguna alteración significativa de los patrones de variación natural de esta variable, ni siquiera en la estación M, donde se produce el fenómeno de blanqueamiento del agua.

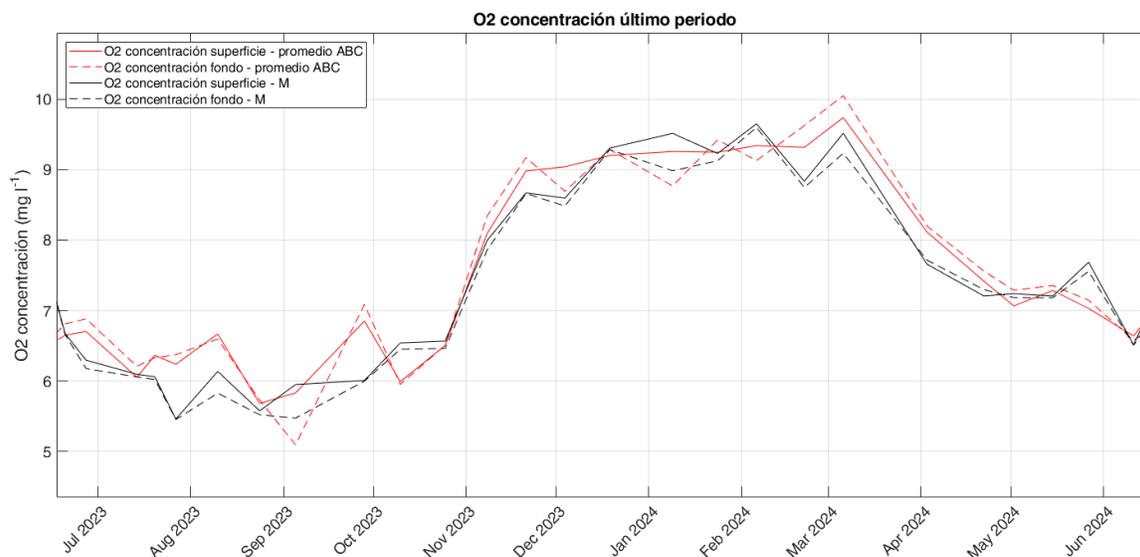
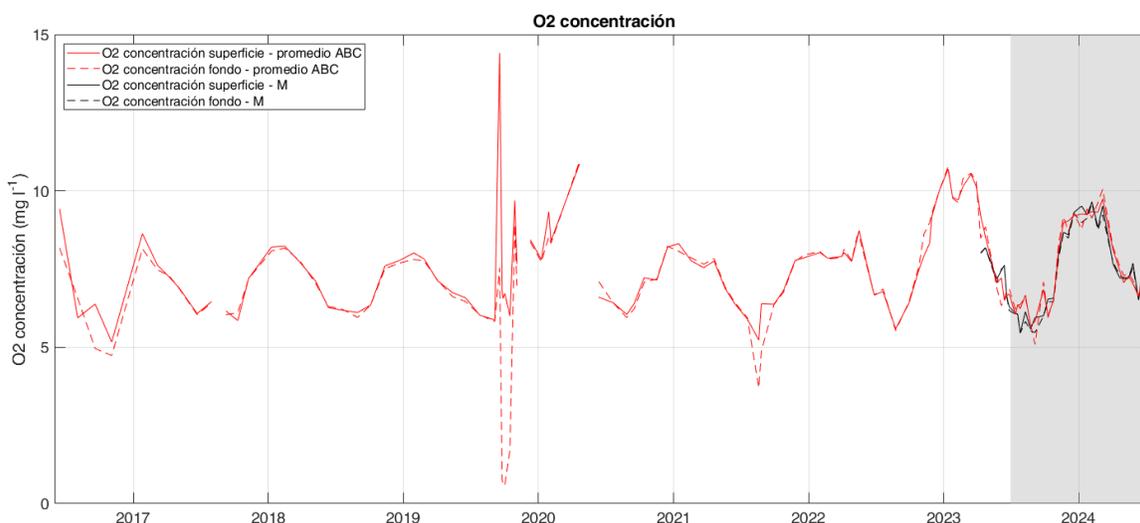


Figura 15: Series temporales promedio de oxígeno disuelto para las capas superficiales (0,5 m; línea continua) y de fondo (entre 4 y 6 m dependiendo de la estación, Figura 1; línea discontinua) de los muestreos del proyecto DMMEM y BELICH para las estaciones de muestreo A, B, C y M de la laguna del Mar Menor.

Tabla 6: Valores medios, mínimos (Min) y máximos (Max) de oxígeno disuelto por año medidos en superficie (0,5 m) y fondo (4-6 m 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
	Anual	8,1	1,2	6,6	9,7	8,1	1,2	6,6	9,8

4.6. pH

Los valores promedio del pH del Mar Menor se muestran en la Figura 16 y en la Tabla 7. Los valores muestran una tendencia general positiva del pH de +0,07 unidades por año, experimentando un incremento neto para todo el periodo de valores de 8 a 8,6 (+0,6). Dentro de esta tendencia general se observan fluctuaciones episódicas que pueden responder a diferentes fenómenos o perturbaciones. La última parte del episodio de “sopa verde” en 2017 y en 2021 muestran sendos eventos puntuales de acidificación, con una disminución de los valores de pH del orden de -0,5 unidades. Por el contrario, en marzo 2022, los valores de pH muestran un aumento considerablemente anómalo hasta alcanzar valores de 10 unidades en junio de 2022, para posteriormente disminuir rápidamente de nuevo hasta valores de pH más próximos al valor medio de entonces, en torno a 8,5 unidades en septiembre de 2022. Se desconoce la causa de este máximo eventual y excepcional. En 2023 se observa un pequeño aumento hasta mayo, seguido de una bajada progresiva hasta noviembre de 2023, momento a partir del cual aumenta y se mantiene más o menos estable en torno a 8,4 y 8,5. La estación M experimentó una disminución de pH en superficie a principios de enero de 2024, obteniendo valores de hasta 8,2 (0,2 puntos inferior al resto de la laguna) y se mantuvo hasta principios de marzo (Figura 16, Tabla 7). 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 mayo se alcanzaron los valores medios máximos (8.49 unidades) (Figura 16).



Figura 16: Valores de pH superficial (0,5 m; línea continua) y pH del fondo (entre 4 y 6 m 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 (4-6 m 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
	Invierno	8,10	0,04	8,05	8,14	8,07	0,07	8,01	8,14
2018	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
	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
2019	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
	Invierno	8,45	0,03	8,43	8,48	8,47	0,03	8,45	8,49
2021	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
	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
2022	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	8,42	0,03	8,39	8,48	8,43	0,02	8,42	8,48
	Anual	8,41	0,03	8,36	8,48	8,44	0,03	8,40	8,48

4.7. Potencial redox

Tal y como se puede observar en la Figura 17 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-diciembre 2023), 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.

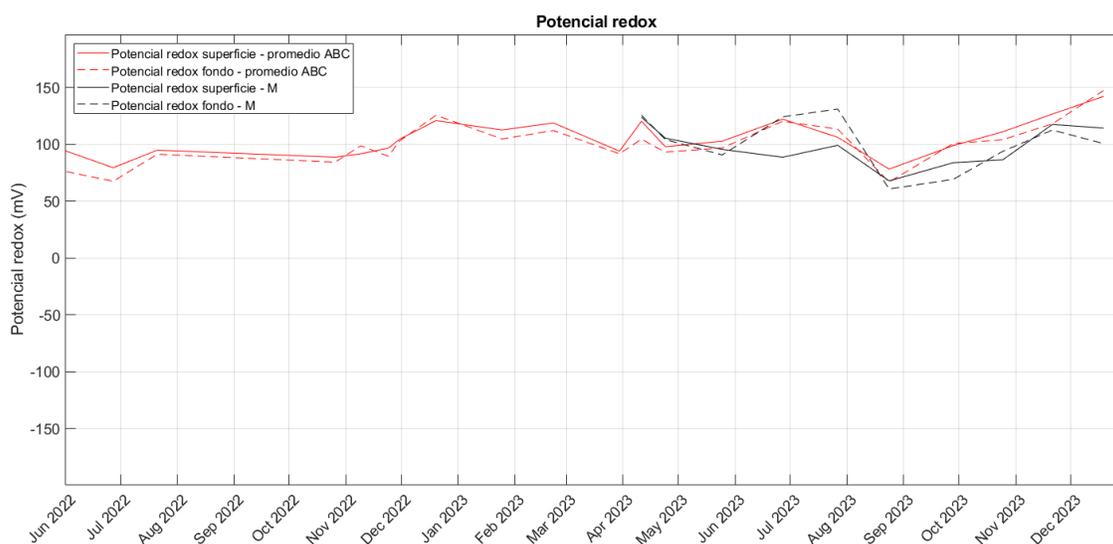


Figura 17: Valores de redox superficial (0,5 m) y fondo (4-6 m dependiendo de la estación, Figura 1; línea discontinua) de los muestreos in situ del proyecto DMMEM y BELICH en las estaciones de muestreo A, B, C y M de la laguna del Mar Menor.

Tabla 8: Valores medios, mínimos (Min) y máximos (Max) de potencial redox por año, medidos en superficie (0,5 m) y fondo (4-6 m 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

4.8. Nutrientes

4.8.1 Nutrientes totales

La comparación de las concentraciones de nitrógeno total (NT), con los escasos datos publicados para aguas costeras mediterráneas, indica que, en promedio, las concentraciones en el Mar Menor son similares a las reportadas para esas otras áreas; sin embargo, los valores extremos obtenidos en la laguna entre julio de 2020 y junio de 2021 son muy elevados (Figura 18). En este periodo destaca la gran variabilidad tanto temporal como espacial (esto es, entre estaciones). Por el contrario, desde finales de 2022 hasta el último periodo mensual analizado, la concentración de NT se ha mantenido muy estable y similar en las tres estaciones de muestreo (A, B y C). En la estación M no se han obtenido diferencias significativas respecto a la de la estación B (la más próxima). Esta tendencia a la estabilización en los últimos meses coincide con la de la clorofila-*a*.

El patrón de variación temporal de fósforo total (PT) es algo diferente ya que, por un lado, la variabilidad es menor (salvo por un pico producido a principios de 2021) y por otro hay una tendencia creciente desde mediados de 2021 en las tres estaciones. Es de destacar que en general la razón molar entre el NT y el PT es muy alta, especialmente en el periodo de 2019-2021 (alrededor de 280). Posteriormente la ratio baja significativamente, aunque sigue siendo elevada (alrededor de 200). Estas razones molares se alejan de la que se considera óptima para el crecimiento del plancton (la denominada razón de Redfield 16:1), lo que en general indica que existe un exceso de N en el sistema (Figura 18).

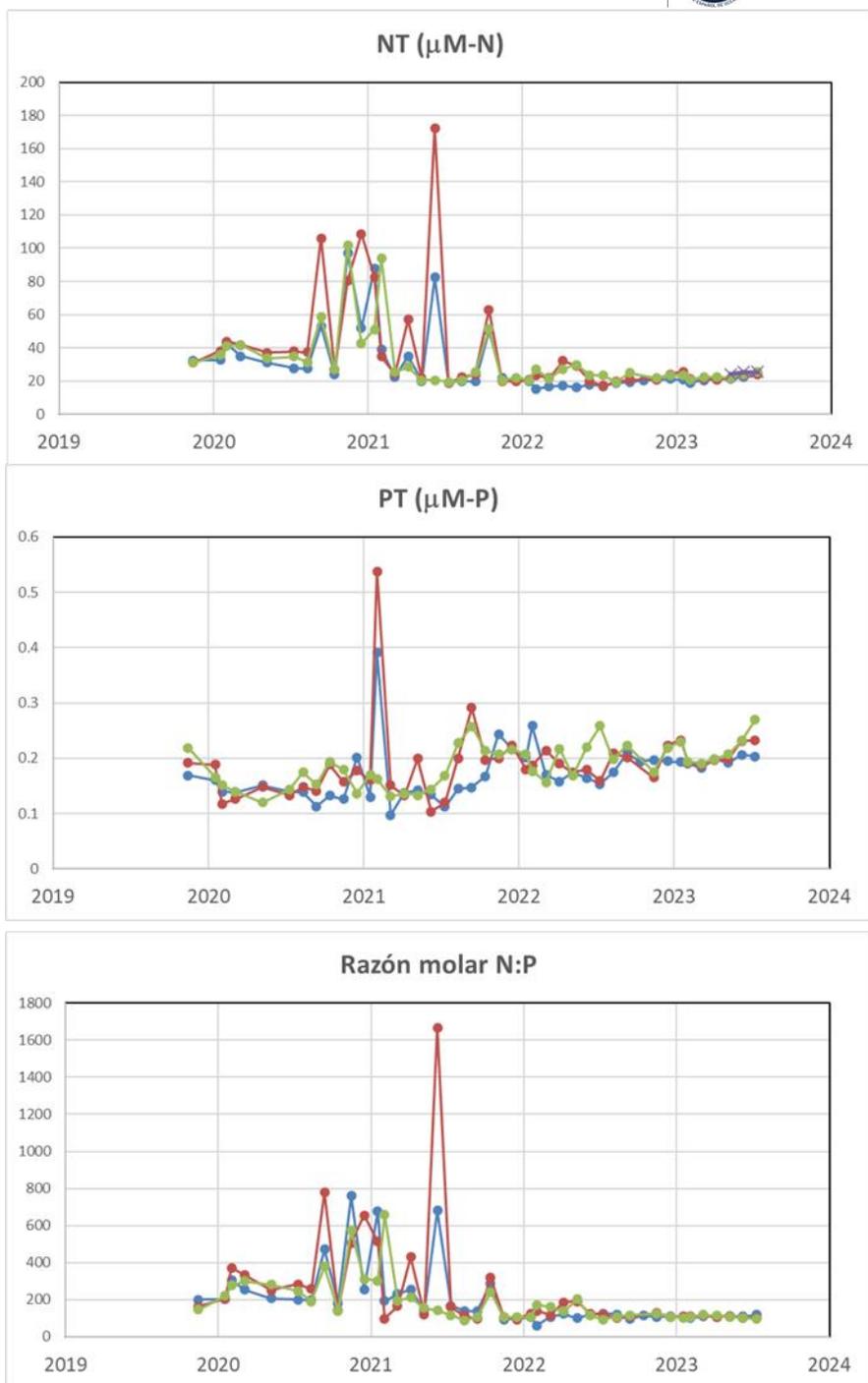


Figura 18: Variabilidad temporal de las concentraciones de nitrógeno (NT, μM) y fósforo (PT, μM) total en las tres estaciones de muestreo (azul: estación A; naranja: estación B; verde: estación C). Se muestra también la evolución temporal de la razón molar nitrógeno:fósforo (N:P) calculada a partir de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

4.8.2 Nutrientes inorgánicos disueltos

En las Figuras 19, 20, 21 y 22 se muestra la evolución temporal de las concentraciones de las diferentes formas de nitrógeno inorgánico disuelto (NID) analizadas desde 2016. Se muestran los promedios para las tres estaciones de muestreo (calculados a partir de al menos tres muestras recogidas a cuatro metros, aproximadamente). Las concentraciones de nitrato y nitrito siguen dinámicas similares, excepto por el máximo de nitrito recogido a mediados de 2018 que no correspondió con un máximo de nitrato. Las mayores concentraciones de nitrato fueron registradas en la laguna en 2017, 2020 y 2022; en estos últimos dos años se alcanzaron concentraciones por encima de 20 μM , que son valores difícilmente registrados antes de 2016. Desde que se produjo el pico de nitrato de 2022, las concentraciones han tendido a permanecer estables, aunque es de destacar que la concentración media en ese periodo (desde mediados de 2022 hasta finales de 2023) fue relativamente alta (unos 2,1 μM) en comparación con los mínimos registrados durante otros periodos de baja concentración (por ejemplo, a mediados de 2018 y 2019). La evolución temporal del amonio fue diferente a la del nitrato dado que las mayores concentraciones se obtuvieron entre mediados de 2020 y 2021, cuando la concentración de nitrato se mantuvo relativamente estable. Desde que se produjeron los máximos de amonio a mediados de 2021, la concentración se ha mantenido muy baja e inferior a la del nitrato (Tablas 9, 10, 11 y 12).

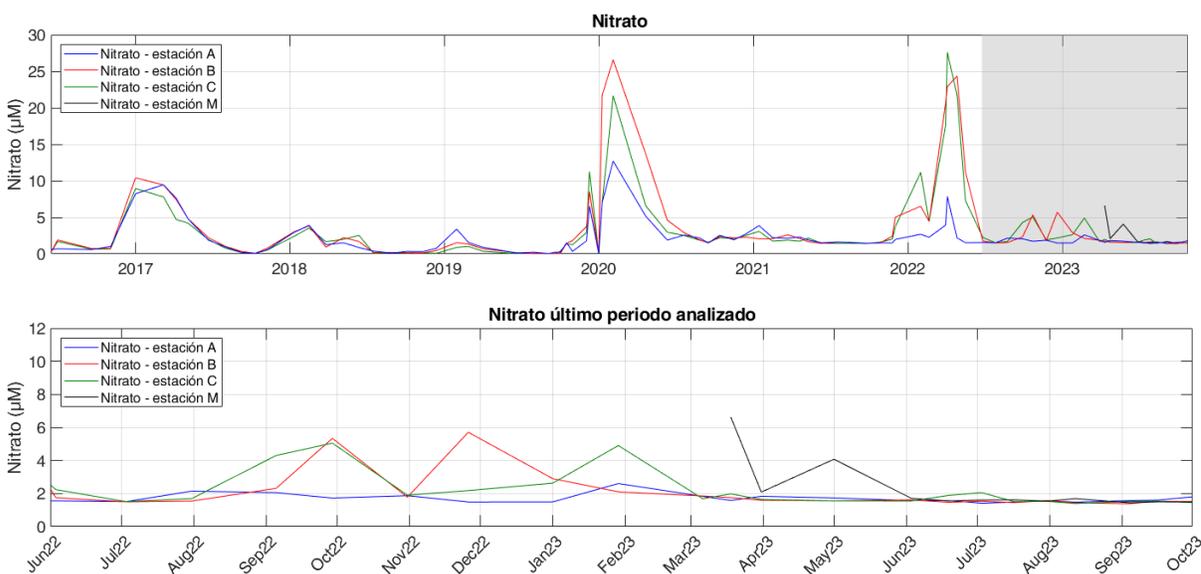


Figura 19: Variabilidad temporal de las concentraciones de nitrato en las tres estaciones de muestreo (azul: estación A; rojo: estación B; verde: estación C; negro: estación M). En la parte superior se muestra la serie desde 2016 y en la parte inferior el último periodo analizado.

Tabla 9: Valores medios, mínimos (Min) y máximos (Max) de nitratos por año, medidos durante los muestreos in situ. Std: desviación estándar.

Nitratos (μM)		4 m profundidad			
Año	Estación	Media	Std	Min	Max
2016	Invierno	---	---	---	---
	Primavera	0,35	0,00	0,35	0,35
	Verano	1,04	0,55	0,65	1,43
	Otoño	0,81	0,00	0,81	0,81
	Anual	0,81	0,45	0,35	1,43
2017	Invierno	9,05	0,21	8,90	9,20
	Primavera	4,41	2,29	2,03	6,59
	Verano	0,60	0,50	0,25	0,95
	Otoño	0,35	0,40	0,07	0,64
	Anual	3,69	3,73	0,07	9,20
2018	Invierno	2,60	1,25	1,28	3,76
	Primavera	1,81	0,15	1,70	1,91
	Verano	0,18	0,04	0,15	0,20
	Otoño	0,28	0,13	0,20	0,43
	Anual	1,26	1,26	0,15	3,76
2019	Invierno	1,62	0,45	1,31	1,94
	Primavera	0,38	0,38	0,12	0,65
	Verano	0,10	0,06	0,04	0,16
	Otoño	2,87	3,43	0,19	8,78
	Anual	1,56	2,44	0,04	8,78
2020	Invierno	10,76	10,19	0,04	20,32
	Primavera	5,81	3,76	3,15	8,47
	Verano	2,05	0,57	1,52	2,66
	Otoño	2,32	0,24	2,06	2,53
	Anual	5,18	6,09	0,04	20,32
2021	Invierno	2,41	0,53	2,01	3,00
	Primavera	1,80	0,30	1,47	2,05
	Verano	1,51	0,06	1,44	1,55
	Otoño	2,35	1,07	1,53	3,57



	Anual	2,02	0,66	1,44	3,57
2022	Invierno	8,19	5,31	3,72	14,06
	Primavera	11,02	8,16	1,85	19,46
	Verano	2,07	0,73	1,51	2,89
	Otoño	3,01	1,10	1,85	4,04
	Anual	6,45	6,09	1,51	19,46
2023	Invierno	2,45	0,71	1,79	3,21
	Primavera	2,16	0,61	1,61	2,99
	Verano	1,56	0,07	1,48	1,66
	Otoño	1,56	0,02	1,54	1,57
	Anual	1,89	0,55	1,48	3,21

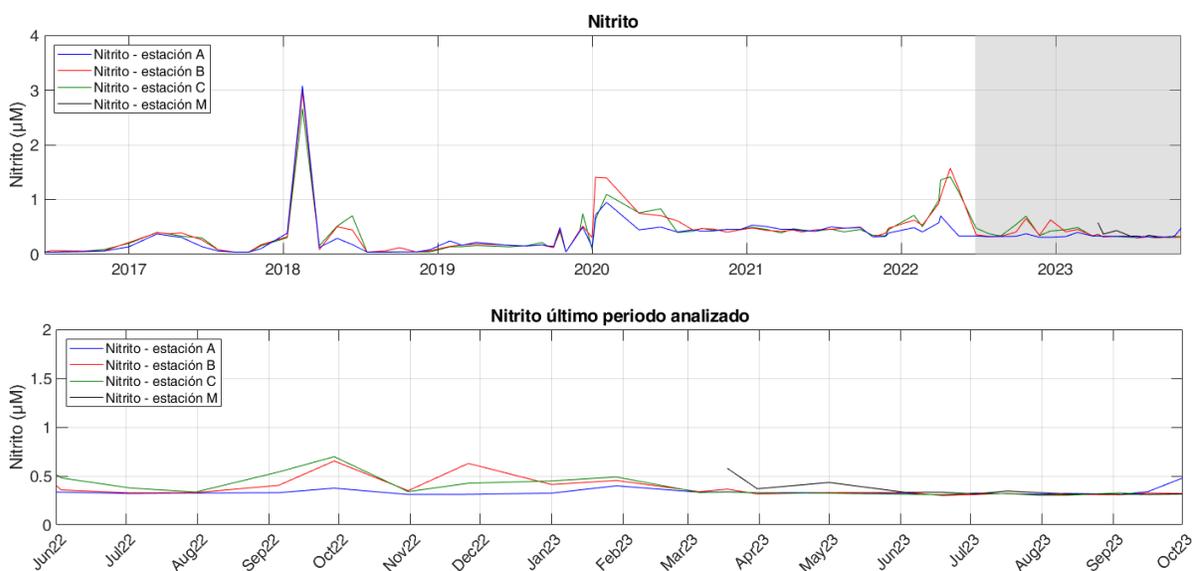


Figura 20: Variabilidad temporal de las concentraciones de nitrito en las tres estaciones de muestreo (azul: estación A; rojo: estación B; verde: estación C; negro: estación M). En la parte superior se muestra la serie desde 2016 y en la parte inferior el último periodo analizado.



Tabla 10: Valores medios, mínimos (Min) y máximos (Max) de nitritos por año, medidos durante los muestreos in situ. Std: desviación estándar.

Nitritos (μM)		4 m profundidad			
Año	Estación	Media	Std	Min	Max
2016	Invierno	---	---	---	---
	Primavera	0,04	0,00	0,04	0,04
	Verano	0,05	0,00	0,05	0,06
	Otoño	0,07	0,00	0,07	0,07
	Anual	0,05	0,01	0,04	0,07
2017	Invierno	0,29	0,14	0,19	0,39
	Primavera	0,31	0,07	0,24	0,36
	Verano	0,06	0,02	0,04	0,07
	Otoño	0,09	0,07	0,04	0,15
	Anual	0,20	0,14	0,04	0,39
2018	Invierno	1,12	1,55	0,12	2,90
	Primavera	0,44	0,00	0,44	0,44
	Verano	0,04	0,01	0,04	0,05
	Otoño	0,06	0,01	0,04	0,07
	Anual	0,45	0,88	0,04	2,90
2019	Invierno	0,17	0,01	0,16	0,18
	Primavera	0,17	0,02	0,16	0,19
	Verano	0,16	0,02	0,15	0,19
	Otoño	0,33	0,23	0,04	0,58
	Anual	0,23	0,16	0,04	0,58
2020	Invierno	0,75	0,51	0,18	1,15
	Primavera	0,66	0,02	0,65	0,68
	Verano	0,46	0,02	0,44	0,47
	Otoño	0,44	0,01	0,44	0,45
	Anual	0,57	0,27	0,18	1,15
2021	Invierno	0,46	0,04	0,42	0,50
	Primavera	0,44	0,02	0,43	0,46
	Verano	0,47	0,01	0,45	0,48
	Otoño	0,37	0,06	0,33	0,44
	Anual	0,44	0,05	0,33	0,50
2022	Invierno	0,64	0,18	0,48	0,83



	Primavera	0,87	0,34	0,39	1,16
	Verano	0,37	0,05	0,33	0,43
	Otoño	0,45	0,12	0,33	0,58
	Anual	0,61	0,28	0,33	1,16
2023	Invierno	0,39	0,06	0,33	0,45
	Primavera	0,36	0,04	0,33	0,41
	Verano	0,32	0,01	0,31	0,33
	Otoño	0,34	0,03	0,32	0,36
	Anual	0,35	0,04	0,31	0,45

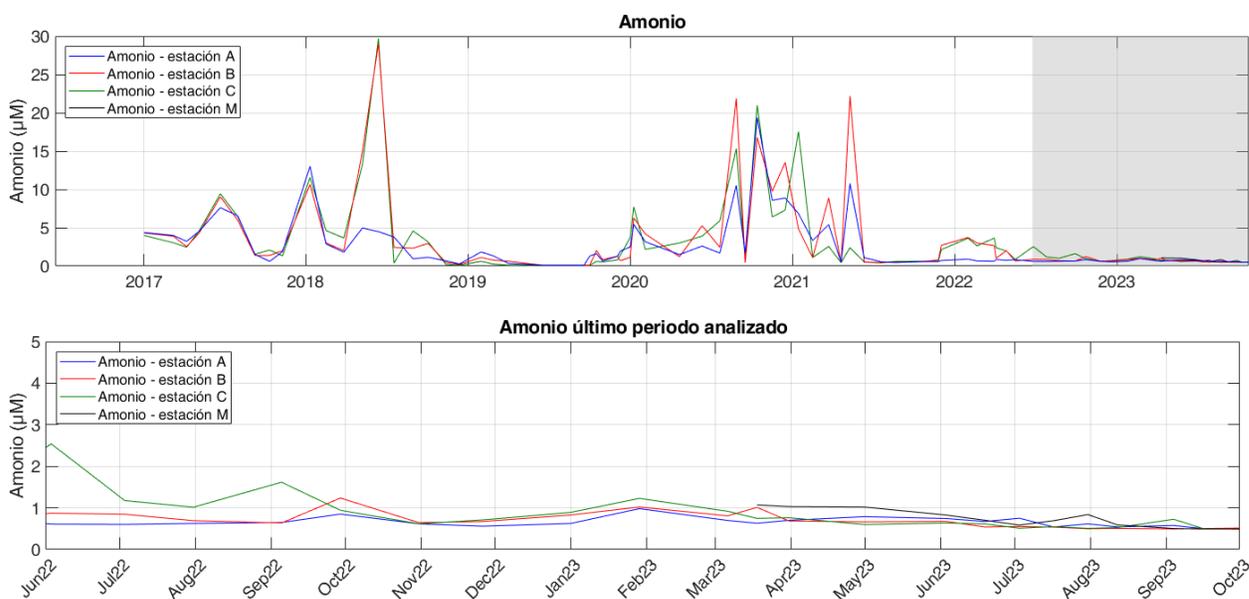


Figura 21: Variabilidad temporal de las concentraciones de amonio en las tres estaciones de muestreo (azul: estación A; rojo: estación B; verde: estación C; negro: estación M). En la parte superior se muestra la serie desde 2016 y en la parte inferior el último periodo analizado.

Tabla 11: Valores medios, mínimos (Min) y máximos (Max) de amonio por año, medidos durante los muestreos in situ. Std: desviación estándar.

Amonio (μM)		4 m profundidad			
Año	Estación	Media	Std	Min	Max
2017	Invierno	3,94	0,42	3,64	4,23
	Primavera	5,30	3,06	2,74	8,70
	Verano	3,91	3,44	1,48	6,34
	Otoño	1,55	0,27	1,36	1,74
	Anual	3,86	2,44	1,36	8,70
2018	Invierno	5,92	5,07	2,49	11,75
	Primavera	16,05	7,08	11,04	21,06
	Verano	2,41	0,30	2,20	2,62
	Otoño	1,02	1,21	0,20	2,41
	Anual	5,77	6,72	0,20	21,06
2019	Invierno	0,99	0,29	0,79	1,19
	Primavera	0,23	0,17	0,11	0,36
	Verano	0,11	0,00	0,11	0,11
	Otoño	1,02	0,41	0,51	1,42
	Anual	0,66	0,51	0,11	1,42
2020	Invierno	4,03	2,15	2,45	6,48
	Primavera	2,92	1,43	1,91	3,93
	Verano	6,74	8,02	0,98	15,90
	Otoño	12,40	5,82	8,24	19,05
	Anual	6,85	5,95	0,98	19,05
2021	Invierno	5,74	3,95	1,84	9,75
	Primavera	4,32	6,47	0,46	11,79
	Verano	0,52	0,04	0,47	0,56
	Otoño	1,05	0,71	0,61	1,86
	Anual	2,91	3,97	0,46	11,79
2022	Invierno	2,39	0,33	2,10	2,75
	Primavera	1,28	0,34	0,78	1,57
	Verano	0,87	0,09	0,78	0,97
	Otoño	0,76	0,22	0,63	1,01
	Anual	1,32	0,69	0,63	2,75
2023	Invierno	0,89	0,16	0,78	1,08
	Primavera	0,79	0,06	0,72	0,87

	Verano	0,59	0,03	0,54	0,63
	Otoño	0,50	0,00	0,50	0,50
	Anual	0,69	0,16	0,50	1,08

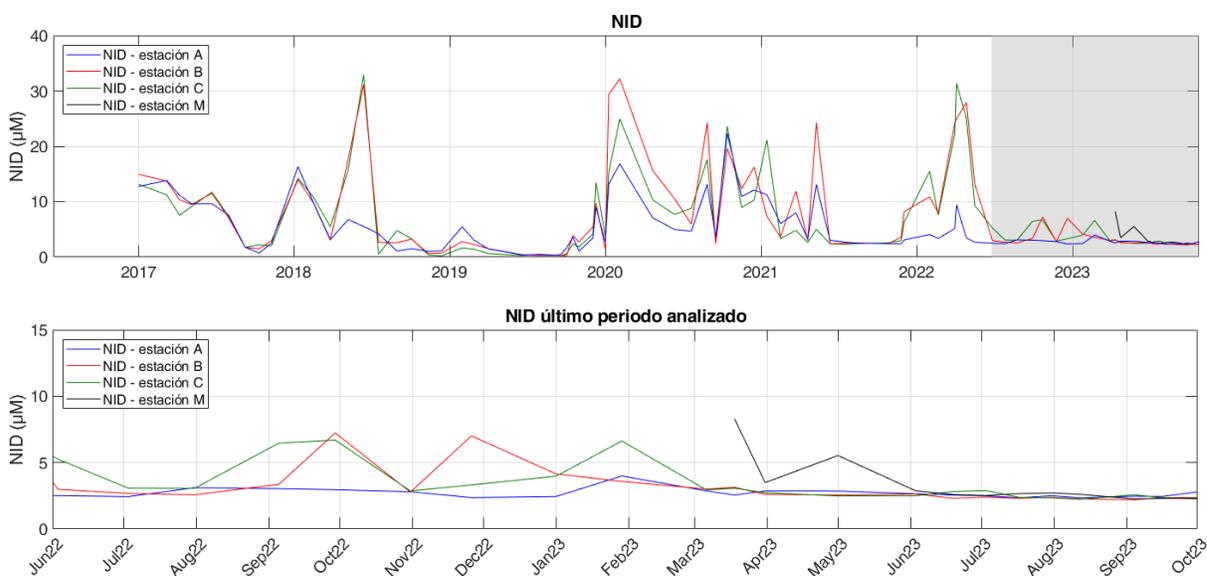


Figura 22: Variabilidad temporal de las concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto (NID) en las tres estaciones de muestreo (azul: estación A; rojo: estación B; verde: estación C; negro: estación M). En la parte superior se muestra la serie desde 2016 y en la parte inferior el último periodo analizado.

Tabla 12: Valores medios, mínimos (Min) y máximos (Max) de nitrógeno inorgánico disuelto (NID) por año, medidos durante los muestreos in situ. Std: desviación estándar.

Nitrógeno inorgánico disuelto (µM)		4 m profundidad			
Año	Estación	Media	Std	Min	Max
2017	Invierno	13,27	0,49	12,93	13,62
	Primavera	10,02	0,83	9,41	10,96
	Verano	4,57	3,96	1,77	7,37
	Otoño	2,00	0,74	1,47	2,53
	Anual	7,75	4,75	1,47	13,62
2018	Invierno	9,64	5,50	3,90	14,85
	Primavera	18,30	6,94	13,39	23,20
	Verano	2,64	0,27	2,45	2,83



	Otoño	1,36	1,16	0,69	2,70
	Anual	7,49	7,59	0,69	23,20
2019	Invierno	2,78	0,74	2,25	3,30
	Primavera	0,79	0,58	0,38	1,20
	Verano	0,37	0,05	0,34	0,42
	Otoño	4,22	3,88	0,84	10,72
	Anual	2,45	2,94	0,34	10,72
2020	Invierno	15,54	11,46	2,67	24,64
	Primavera	9,40	2,32	7,76	11,03
	Verano	9,25	8,04	2,96	18,31
	Otoño	15,16	5,90	10,74	21,86
	Anual	12,60	7,53	2,67	24,64
2021	Invierno	8,61	4,48	4,32	13,25
	Primavera	6,56	6,55	2,61	14,12
	Verano	2,49	0,01	2,48	2,51
	Otoño	3,77	1,83	2,47	5,87
	Anual	5,36	4,27	2,47	14,12
2022	Invierno	11,22	5,53	6,30	17,21
	Primavera	13,17	8,63	3,58	21,92
	Verano	3,31	0,85	2,72	4,28
	Otoño	4,22	1,41	2,81	5,63
	Anual	8,38	6,68	2,72	21,92
2023	Invierno	3,73	0,92	2,93	4,73
	Primavera	3,30	0,70	2,66	4,26
	Verano	2,46	0,09	2,36	2,57
	Otoño	2,40	0,04	2,36	2,43
	Anual	2,93	0,73	2,36	4,73

La dinámica del fósforo inorgánico soluble es también diferente a la del NID, dado que, en general, los picos máximos registrados son menores en proporción a la media de toda la serie y son además menos frecuentes (Figura 23, Tabla 13). No obstante, se observa una estabilización (o ausencia de picos) desde 2021. Es de destacar que, a lo largo de toda la serie, hay una tendencia monótonica a aumentar desde concentraciones en torno a 0,16 μM en promedio en 2016-2017 hasta 0,36 μM en 2021-2023. Esta tendencia coincide con la del nitrato que varía en promedio desde 0,15 μM en 2016-2017 a 0,47 μM en 2021-2023.

La dinámica y tendencia observada tanto con el N como con el P a escala lagunar es bastante compleja y requiere de un análisis más detallado para determinar los procesos por los que se rigen sus variaciones a corto, medio y largo plazo. A priori, y en base a los datos disponibles de nutrientes medidos en los aportes desde cuenca (principalmente Confederación Hidrográfica del Segura), los cambios a medio plazo en los nutrientes parece que estén relacionados con los cambios tendenciales encontrados en otras variables ambientales, como la temperatura, o el pH. Procesos generales implicados en la circulación y transformación de los nutrientes en la laguna podrían estar implicados, como por ejemplo la remineralización de la materia orgánica, los flujos bentónicos o la productividad fitoplanctónica.

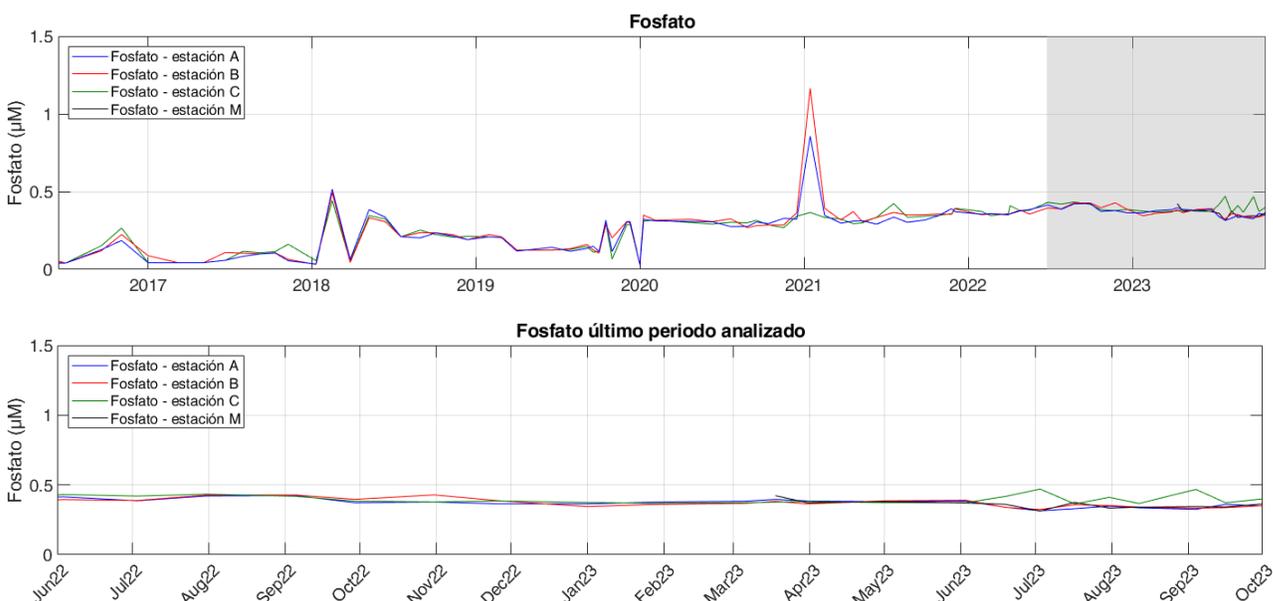


Figura 23: Variabilidad temporal de las concentraciones de fosfato en las tres estaciones de muestreo (azul: estación A; rojo: estación B; verde: estación C; negro: estación M). En la parte superior se muestra la serie desde 2016 y en la parte inferior el último periodo analizado.

Tabla 13: Valores medios, mínimos (Min) y máximos (Max) de fosfato por año, medidos durante los muestreos in situ. Std: desviación estándar.

Fosfatos (μM)		4 m profundidad			
Año	Estación	Media	Std	Min	Max
2016	Invierno	0,05	0,00	0,05	0,05
	Primavera	0,05	0,00	0,05	0,05
	Verano	0,09	0,07	0,04	0,13
	Otoño	0,23	0,00	0,23	0,23
	Anual	0,11	0,09	0,04	0,23
2017	Invierno	0,05	0,01	0,04	0,06
	Primavera	0,05	0,02	0,04	0,08
	Verano	0,10	0,00	0,10	0,10
	Otoño	0,10	0,01	0,09	0,11
	Anual	0,07	0,03	0,04	0,11
2018	Invierno	0,19	0,25	0,04	0,48
	Primavera	0,34	0,02	0,32	0,35
	Verano	0,22	0,01	0,21	0,23
	Otoño	0,21	0,02	0,20	0,23
	Anual	0,23	0,13	0,04	0,48
2019	Invierno	0,21	0,01	0,21	0,21
	Primavera	0,13	0,01	0,12	0,13
	Verano	0,13	0,01	0,13	0,15
	Otoño	0,23	0,10	0,11	0,30
	Anual	0,18	0,08	0,11	0,30
2020	Invierno	0,22	0,17	0,03	0,33
	Primavera	0,31	0,01	0,30	0,31
	Verano	0,29	0,01	0,28	0,30
	Otoño	0,31	0,03	0,29	0,34
	Anual	0,28	0,09	0,03	0,34
2021	Invierno	0,49	0,27	0,31	0,80
	Primavera	0,32	0,01	0,31	0,33
	Verano	0,35	0,02	0,33	0,38
	Otoño	0,37	0,02	0,35	0,38
	Anual	0,38	0,13	0,31	0,80
2022	Invierno	0,36	0,00	0,35	0,36
	Primavera	0,39	0,02	0,37	0,41



2023	Verano	0,42	0,02	0,40	0,43
	Otoño	0,39	0,01	0,38	0,39
	Anual	0,39	0,02	0,35	0,43
	Invierno	0,37	0,01	0,36	0,38
	Primavera	0,38	0,01	0,38	0,39
	Verano	0,36	0,01	0,35	0,37
	Otoño	0,36	0,01	0,35	0,37
	Anual	0,37	0,01	0,35	0,39

En contraste con lo que se encuentra para NID y fosfato, el silicato describió un claro patrón de variación estacional con concentraciones más altas en verano y valores mínimos en invierno y principios de primavera (Figura 24, Tabla 14). Es llamativo que estos cambios estacionales se hayan producido incluso en los periodos de agravamiento de la crisis distrófica. Probablemente son consecuencia de la variación en el ciclo hidrológico anual de la laguna, reflejando periodos en los que el balance de aportes de agua desde fuera de la laguna no compensa la propia evaporación. Si esta hipótesis es correcta, y el silicato por tanto puede considerarse como un elemento indicador del balance hídrico, el hecho de que NID y fosfato varíen con independencia del mismo indica que sus concentraciones son afectadas por procesos algo más complejos.

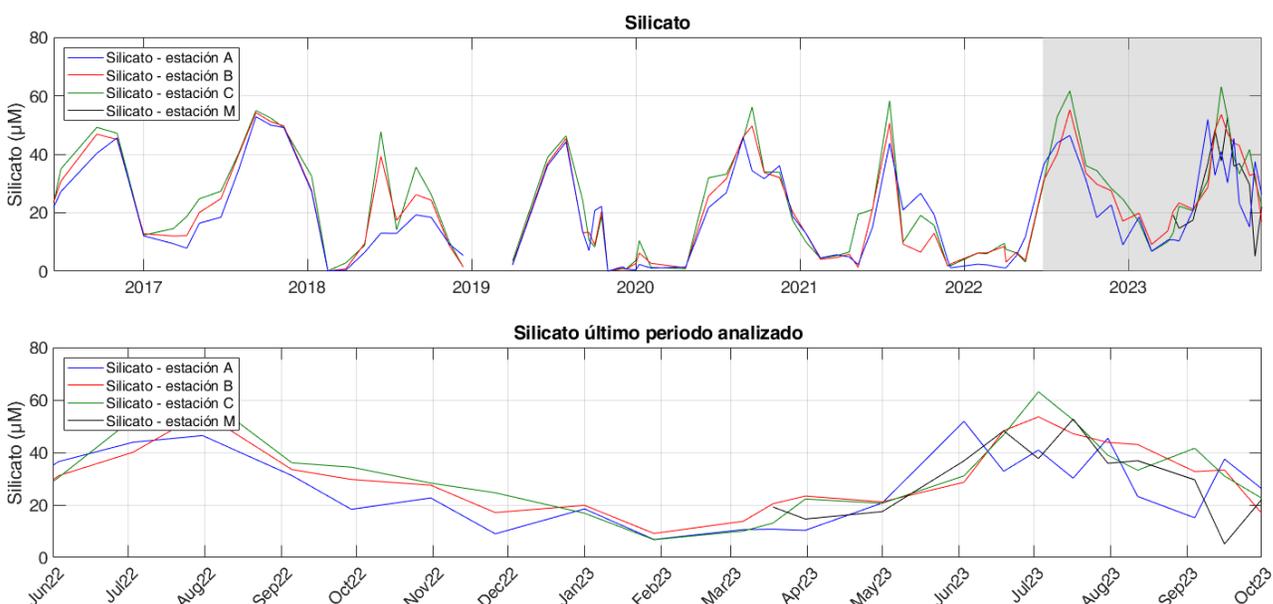


Figura 24: Variabilidad temporal de las concentraciones de silicato en las tres estaciones de muestreo (azul: estación A; rojo: estación B; verde: estación C; negro: estación M). En la parte superior se muestra la serie desde 2016 y en la parte inferior el último periodo analizado.

Tabla 14: Valores medios, mínimos (Min) y máximos (Max) de silicato por año, medidos durante los muestreos in situ. Std: desviación estándar.

Silicatos (μM)		4 m profundidad			
Año	Estación	Media	Std	Min	Max
2016	Invierno				
	Primavera	23,09	0,00	23,09	23,09
	Verano	38,25	10,23	31,01	45,48
	Otoño	45,94	0,00	45,94	45,94
	Anual	36,38	11,25	23,09	45,94
2017	Invierno	12,23	0,30	12,02	12,44
	Primavera	18,97	5,47	12,92	23,56
	Verano	46,06	11,23	38,12	54,00
	Otoño	50,22	1,32	49,28	51,15
	Anual	30,44	17,73	12,02	54,00
2018	Invierno	10,19	16,39	0,13	29,10
	Primavera	20,83	17,71	8,30	33,36
	Verano	20,93	8,62	14,84	27,02
	Otoño	11,74	10,29	2,81	23,00
	Anual	14,93	12,37	0,13	33,36
2019	Invierno	1,21	0,52	0,85	1,58
	Primavera	20,03	24,48	2,72	37,34
	Verano	24,22	18,55	10,33	45,29
	Otoño	7,03	9,16	0,05	20,49
	Anual	12,52	15,24	0,05	45,29
2020	Invierno	3,43	2,55	1,71	6,36
	Primavera	13,81	17,88	1,17	26,45
	Verano	40,97	9,01	30,59	46,74
	Otoño	28,66	8,49	18,87	33,99
	Anual	22,44	17,37	1,17	46,74
2021	Invierno	7,16	4,13	4,35	11,90
	Primavera	10,89	7,24	5,78	19,18
	Verano	27,24	20,58	13,41	50,89
	Otoño	6,83	7,98	1,88	16,03
	Anual	13,03	13,32	1,88	50,89
2022	Invierno	5,39	0,86	4,81	6,38



	Primavera	12,23	13,71	3,92	32,74
	Verano	44,55	10,45	33,60	54,43
	Otoño	23,54	5,76	16,94	27,50
	Anual	20,72	17,25	3,92	54,43
2023	Invierno	12,51	5,47	7,61	18,42
	Primavera	22,68	9,77	15,91	37,12
	Verano	40,56	7,27	29,77	48,82
	Otoño	24,35	3,40	21,94	26,75
	Anual	28,02	13,17	7,61	48,82

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.

IEO-CSIC. (2024). Origen, naturaleza, causas y consecuencias del fenómeno de Mancha Blanca del Mar Menor. Proyecto BELICH: Monitorización, estudio y modelización del Mar Menor (MAPMM-MITECO).

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 My Ocean 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.

Kd: Coeficiente de extinción de la luz.

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

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

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 25 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 25: 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 26 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.

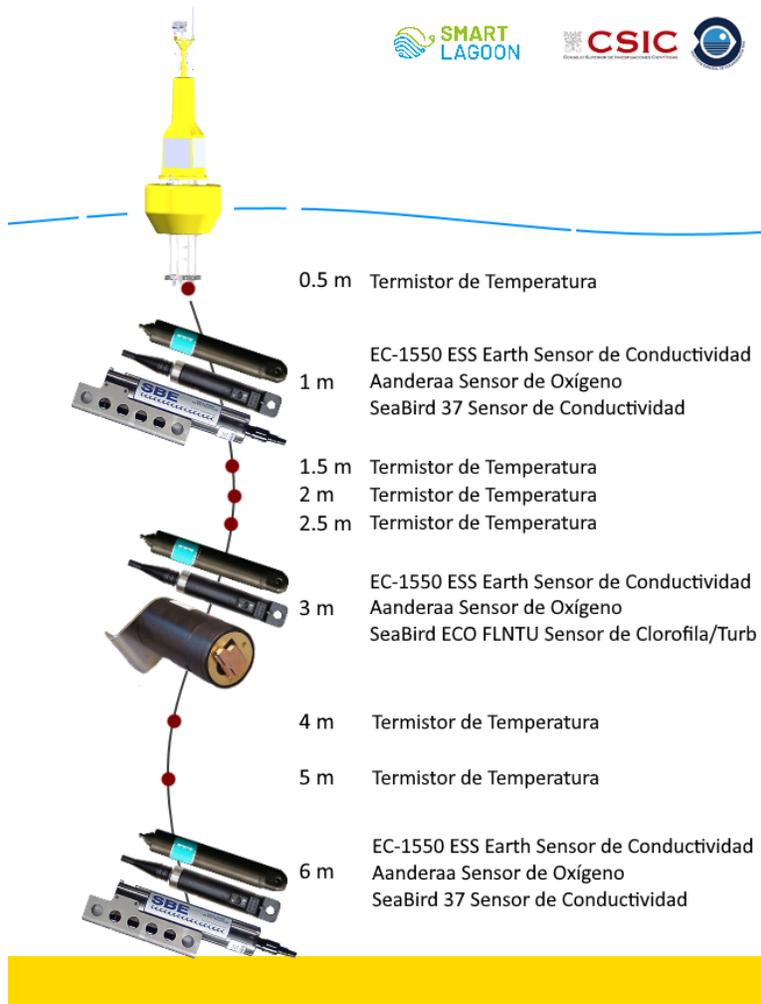


Figura 26: Esquema de los sensores instalados en la boya piloto SMLG con los nuevos sensores de temperatura, conductividad y presión a 1 y 6 metros de profundidad (Seabird-37).

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 (0,5 m, 1,5 m, 2 m, 2,5 m, 4m y 5 m. Figura 26. Anexo I), en continuo (cada 5 minutos) y en tiempo casi real.
- 1982 – actualidad: Datos del satélite Copernicus Mediterranean Sea – High Resolution L4 Sea Surface Temperature Reprocessed 0,05 deg resolution (Nardelli et al., 2013).

Todas estas fuentes de datos son de suma importancia para llevar a cabo un análisis espacial y temporal de la temperatura del agua de la laguna. La presencia del sensor HOBO y los sensores de la boya piloto SMLG han permitido mantener una serie continua de Temperatura Superficial del Mar (SST) desde el año 2012, así como datos a diferentes profundidades, permitiendo obtener series del perfil vertical de la columna de agua. Además, ambas fuentes de datos son complementarias, ya que han posibilitado la realización de una intercalibración entre los sensores. Los muestreos con sondas multiparamétricas nos han permitido, a su vez, realizar un análisis espacial de la SST en las cuatro estaciones de muestreo. Por último, los datos satelitales del satélite Copernicus Mediterranean Sea – High Resolution L4 Sea Surface Temperature Reprocessed, con una resolución de 0,05 grados (disponible en <https://doi.org/10.48670/moi-00173>), han ampliado la disponibilidad de datos SST en el Mar Menor más allá del año 2012. Estos datos también han sido sometidos a un proceso de intercalibración con el sensor HOBO y los sensores de la boya piloto SMLG.

7.2.2. Clorofila-*a*

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

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

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

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

7.2.3. Turbidez

La turbidez se evalúa de dos formas: mediante irradiancia PAR, y como proporción de luz dispersada (backscatter). La irradiancia PAR mide la cantidad de radiación integrada en el rango de longitudes de onda que son capaces de producir actividad fotosintética activa (400-700 nm). A partir de esta medición, se estima la transparencia como coeficiente de extinción de la luz (K_d , m^{-1}). La turbidez también se puede calcular midiendo la proporción de luz dispersada cuando un rayo de luz atraviesa la muestra de agua, expresándose en valores de NTU (unidad nefelométrica de turbidez). Por último, a partir del coeficiente de extinción de la luz, se ha determinado la proporción de luz que queda disponible para los organismos fotosintéticos del fondo (% I_0) (Kirk, 1994). Los datos de turbidez se obtienen de las siguientes fuentes:

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

Estas múltiples mediciones son esenciales para mantener una serie temporal precisa y de calidad. El sensor en la boya piloto SMLG y los sensores PAR proporcionan una serie continua de datos de

la laguna a diversas profundidades, mientras que los muestreos *in situ* permiten calibrar los sensores de monitoreo continuo y obtener mediciones altamente precisas de la turbidez.

7.2.4. Oxígeno disuelto

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

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

- Mayo 2016 – actualidad: Se mide a partir de muestreos *in situ* en todas las estaciones de muestreo (Figura 1). Estos se realizan con frecuencia mensual, y en ocasiones semanal, dependiendo de las circunstancias de la laguna en cada momento. Desde octubre de 2022, estos muestreos se están realizando a través de perfiles verticales con el CTD modelo JFE AAQ176 (este dispositivo tiene incorporado un sensor de oxígeno disuelto).
- Octubre de 2022 – actualidad: en la boya piloto SMLG se instalaron 3 sensores de oxígeno Aanderaa Optode 4531 a diferentes profundidades (1m, 3m y 6 m), 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

7.2.6.1 Nutrientes totales

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.

7.2.6.2 Nutrientes inorgánicos disueltos

Desde 2016 se viene analizando la concentración de nutrientes inorgánicos disueltos (nitrito, nitrato, amonio, silicato y fosfato) en las muestras recogidas mensualmente. Estos análisis se realizan a partir de muestras prefiltradas por filtros de 0,7 μm , por tanto, incluyen sólo la fracción disuelta. Los análisis son realizados en autonalizador de flujo segmentado QuAAtro de AxFlow, utilizando los métodos colorimétricos descritos en Ramírez et al. (2005).

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

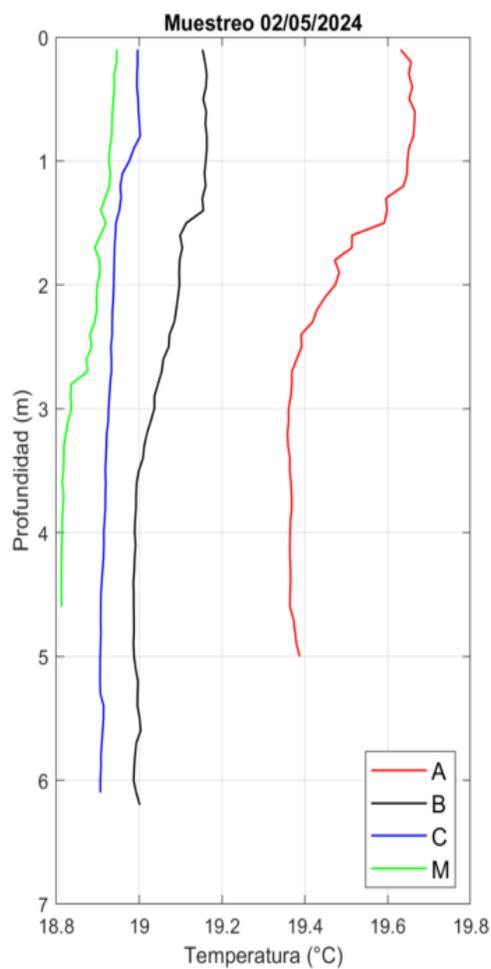


Figura 27. Perfiles de Temperatura obtenidos el día 02/05/24 con el CTD.

Tabla 15. Datos de Temperatura de los perfiles de CTD obtenidos el día 02/05/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	19,37 °C	19,67 °C	19,54 °C	0,11 °C
A	3-7 m	19,36 °C	19,39 °C	19,37 °C	0,01 °C
B	0-3 m	19,04 °C	19,16 °C	19,12 °C	0,04 °C
B	3-7 m	18,99 °C	19,04 °C	19,00 °C	0,01 °C
C	0-3 m	18,93 °C	19,00 °C	18,96 °C	0,03 °C
C	3-7 m	18,91 °C	18,93 °C	18,91 °C	0,01 °C

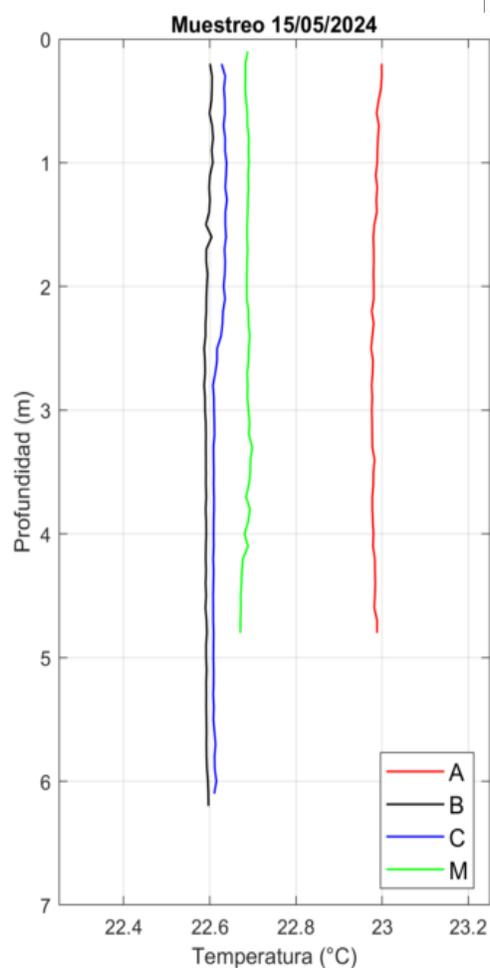


Figura 28. Perfiles de Temperatura obtenidos el día 15/05/24 con el CTD.

Tabla 16. Datos de Temperatura de los perfiles de CTD obtenidos el día 15/05/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	22,97 °C	23,00 °C	22,98 °C	0,01 °C
A	3-7 m	22,98 °C	22,99 °C	22,98 °C	0,00 °C
B	0-3 m	22,59 °C	22,61 °C	22,60 °C	0,01 °C
B	3-7 m	22,59 °C	22,60 °C	22,59 °C	0,00 °C
C	0-3 m	22,61 °C	22,64 °C	22,63 °C	0,01 °C
C	3-7 m	22,61 °C	22,62 °C	22,61 °C	0,00 °C

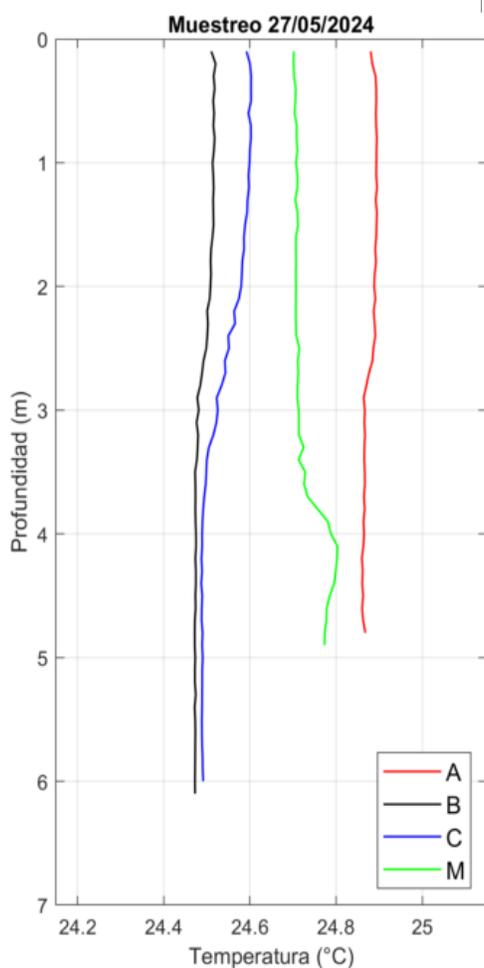


Figura 29. Perfiles de Temperatura obtenidos el día 27/05/24 con el CTD.

Tabla 17. Datos de Temperatura de los perfiles de CTD obtenidos el día 27/05/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	24,86 °C	24,90 °C	24,89 °C	0,01 °C
A	3-7 m	24,86 °C	24,87 °C	24,86 °C	0,00 °C
B	0-3 m	24,48 °C	24,52 °C	24,51 °C	0,01 °C
B	3-7 m	24,47 °C	24,48 °C	24,47 °C	0,00 °C
C	0-3 m	24,52 °C	24,60 °C	24,58 °C	0,02 °C
C	3-7 m	24,49 °C	24,53 °C	24,49 °C	0,01 °C

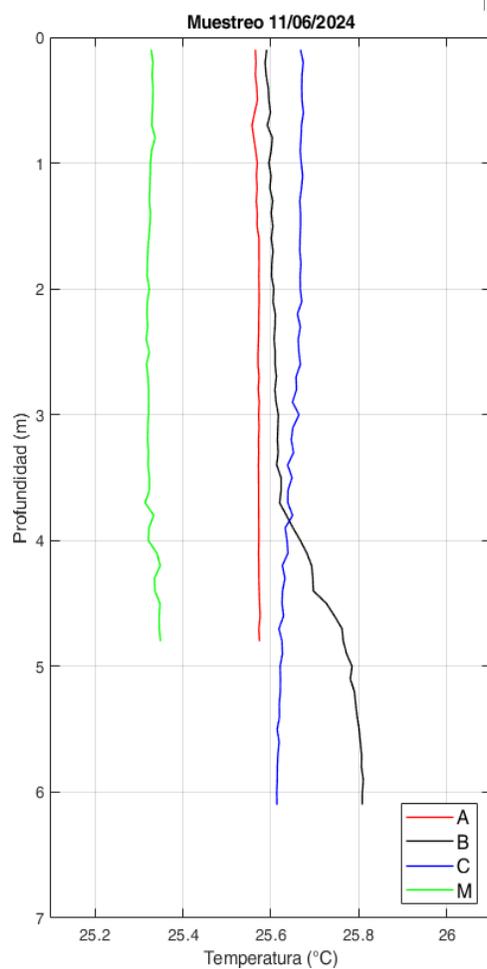


Figura 30. Perfiles de Temperatura obtenidos el día 11/06/24 con el CTD.

Tabla 18. Datos de Temperatura de los perfiles de CTD obtenidos el día 11/06/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	25,56 °C	25,57 °C	25,57 °C	0,00 °C
A	3-7 m	25,57 °C	25,58 °C	25,57 °C	0,00 °C
B	0-3 m	25,59 °C	25,61 °C	25,60 °C	0,01 °C
B	3-7 m	25,61 °C	25,81 °C	25,72 °C	0,08 °C
C	0-3 m	25,65 °C	25,67 °C	25,67 °C	0,01 °C
C	3-7 m	25,61 °C	25,66 °C	25,63 °C	0,01 °C

7.3.2. Salinidad

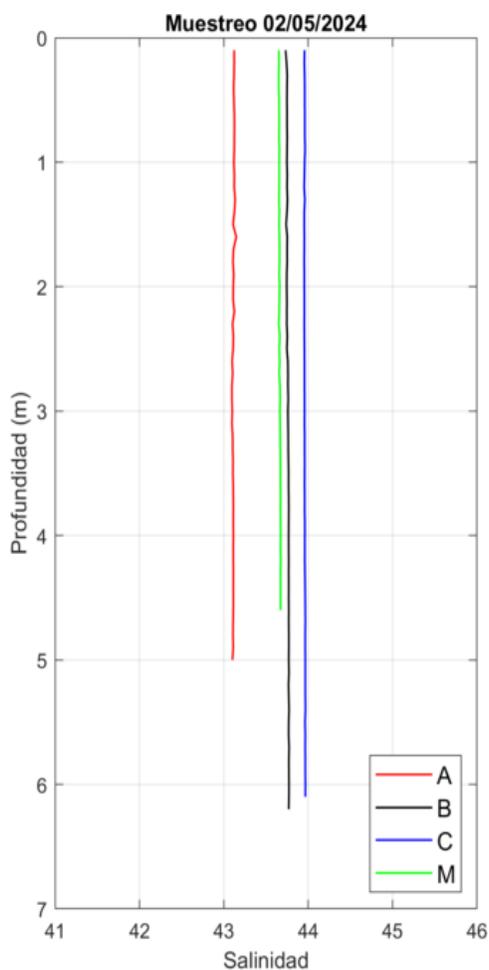


Figura 31. Perfiles de Salinidad obtenidos el día 02/05/24 con el CTD.

Tabla 19. Datos de Salinidad de los perfiles de CTD obtenidos el día 02/05/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	43,10	43,15	43,12	0,01
A	3-7 m	43,10	43,11	43,11	0,00
B	0-3 m	43,73	43,76	43,75	0,01
B	3-7 m	43,76	43,77	43,77	0,00
C	0-3 m	43,95	43,96	43,96	0,00
C	3-7 m	43,96	43,97	43,96	0,00

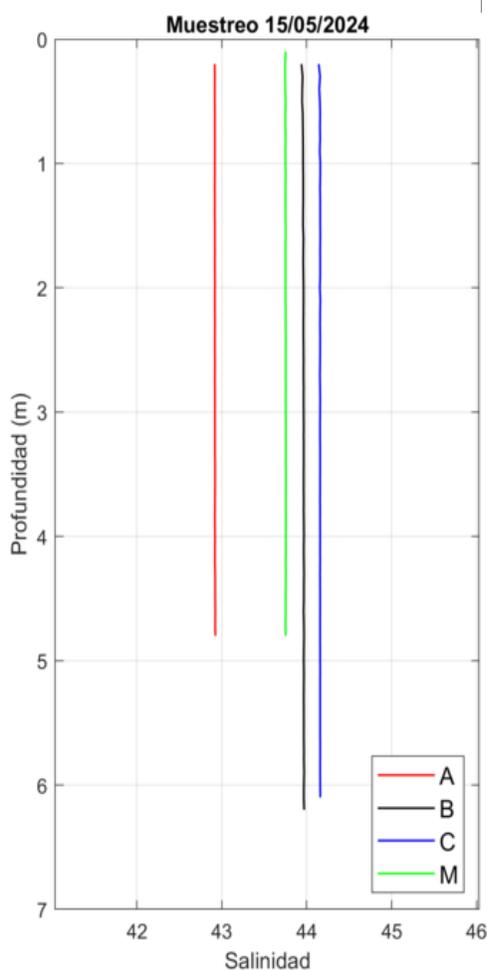


Figura 32. Perfiles de Salinidad obtenidos el día 15/05/24 con el CTD.

Tabla 20. Datos de Salinidad de los perfiles de CTD obtenidos el día 15/05/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	42,92	42,92	42,92	0,00
A	3-7 m	42,92	42,92	42,92	0,00
B	0-3 m	43,94	43,96	43,96	0,01
B	3-7 m	43,96	43,97	43,97	0,00
C	0-3 m	44,14	44,16	44,16	0,00
C	3-7 m	44,16	44,16	44,16	0,00

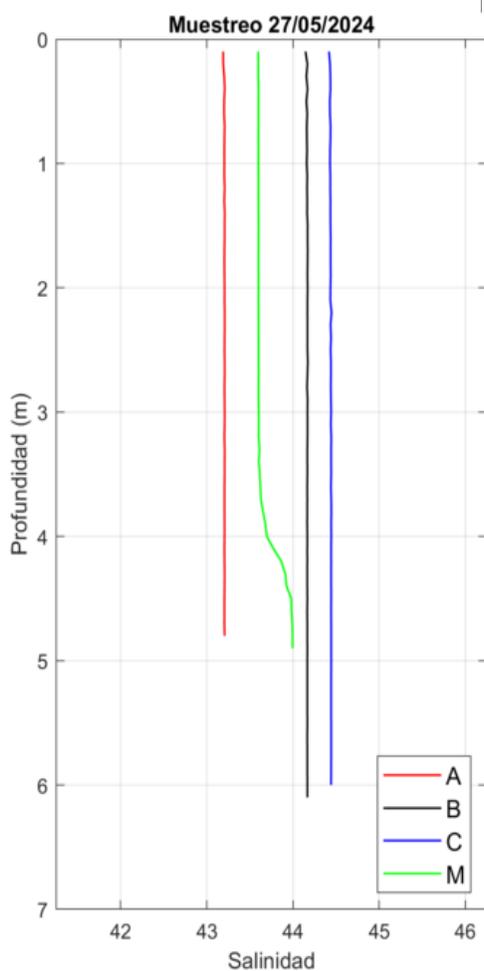


Figura 33. Perfiles de Salinidad obtenidos el día 27/05/24 con el CTD.

Tabla 21. Datos de Salinidad de los perfiles de CTD obtenidos el día 27/05/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	43,19	43,21	43,20	0,00
A	3-7 m	43,20	43,21	43,21	0,00
B	0-3 m	44,15	44,17	44,17	0,01
B	3-7 m	44,17	44,17	44,17	0,00
C	0-3 m	44,42	44,45	44,44	0,01
C	3-7 m	44,44	44,45	44,44	0,00

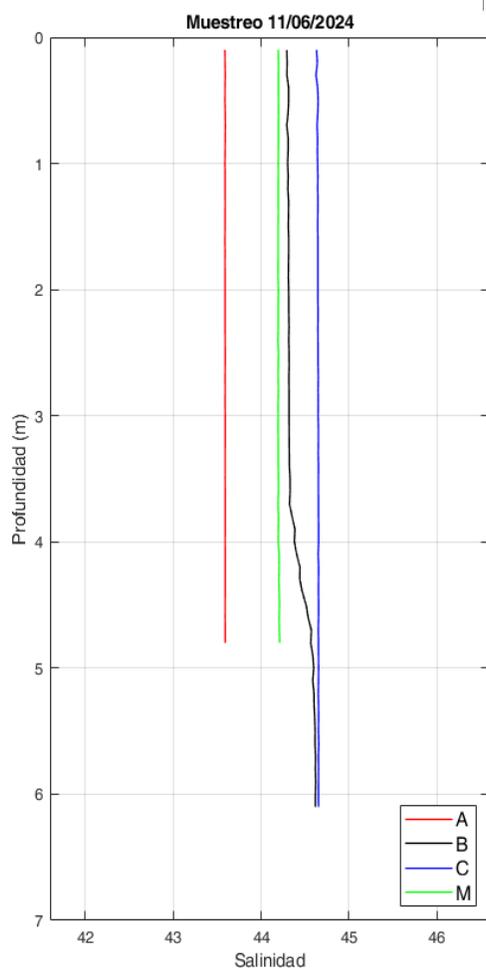


Figura 34. Perfiles de Salinidad obtenidos el día 11/06/24 con el CTD.

Tabla 22. Datos de Salinidad de los perfiles de CTD obtenidos el día 11/06/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	43,59	43,59	43,59	0,00
A	3-7 m	43,59	43,59	43,59	0,00
B	0-3 m	44,29	44,32	44,31	0,01
B	3-7 m	44,32	44,62	44,49	0,12
C	0-3 m	44,62	44,65	44,64	0,01
C	3-7 m	44,65	44,66	44,65	0,00

7.3.3. Saturación de O2

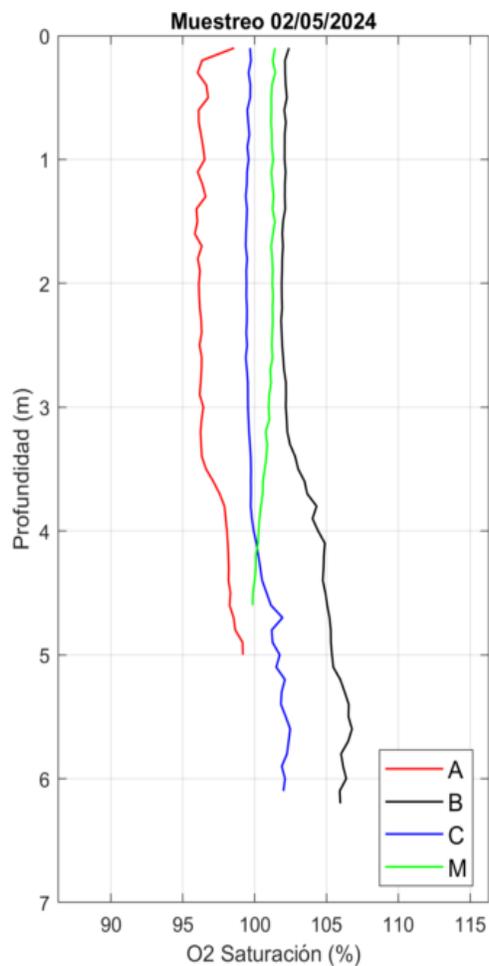


Figura 35. Perfiles de Saturación de O2 obtenidos el día 02/05/24 con el CTD.

Tabla 23. Datos de Saturación de O2 de los perfiles de CTD obtenidos el día 02/05/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	95,83 %	98,57 %	96,32 %	0,48 %
A	3-7 m	96,23 %	99,18 %	97,70 %	0,97 %
B	0-3 m	101,84 %	102,39 %	102,05 %	0,13 %
B	3-7 m	102,17 %	106,78 %	104,84 %	1,40 %
C	0-3 m	99,38 %	99,74 %	99,50 %	0,10 %
C	3-7 m	99,54 %	102,48 %	100,90 %	1,06 %

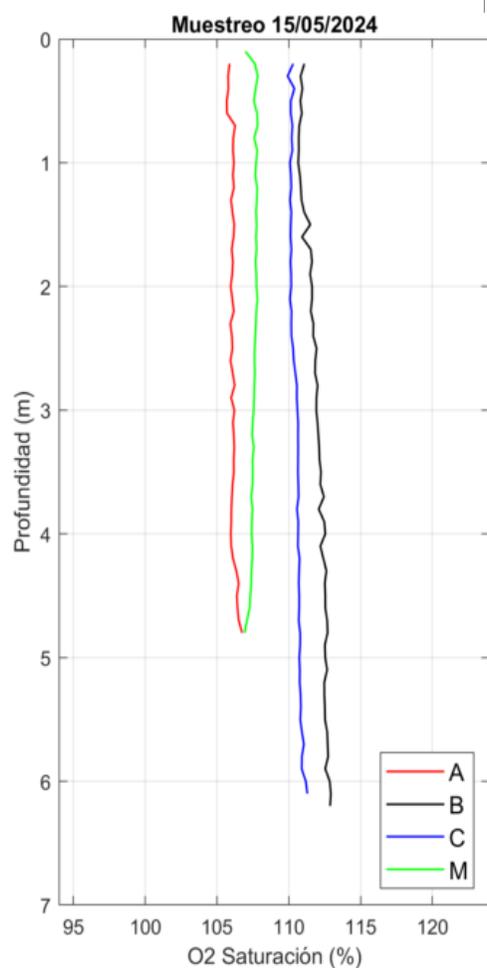


Figura 36. Perfiles de Saturación de O2 obtenidos el día 15/05/24 con el CTD.

Tabla 24. Datos de Saturación de O2 de los perfiles de CTD obtenidos el día 15/05/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	105,68 %	106,26 %	106,03 %	0,16 %
A	3-7 m	105,96 %	106,75 %	106,22 %	0,22 %
B	0-3 m	110,65 %	112,01 %	111,27 %	0,46 %
B	3-7 m	111,92 %	112,93 %	112,47 %	0,26 %
C	0-3 m	109,92 %	110,57 %	110,22 %	0,14 %
C	3-7 m	110,57 %	111,29 %	110,77 %	0,16 %

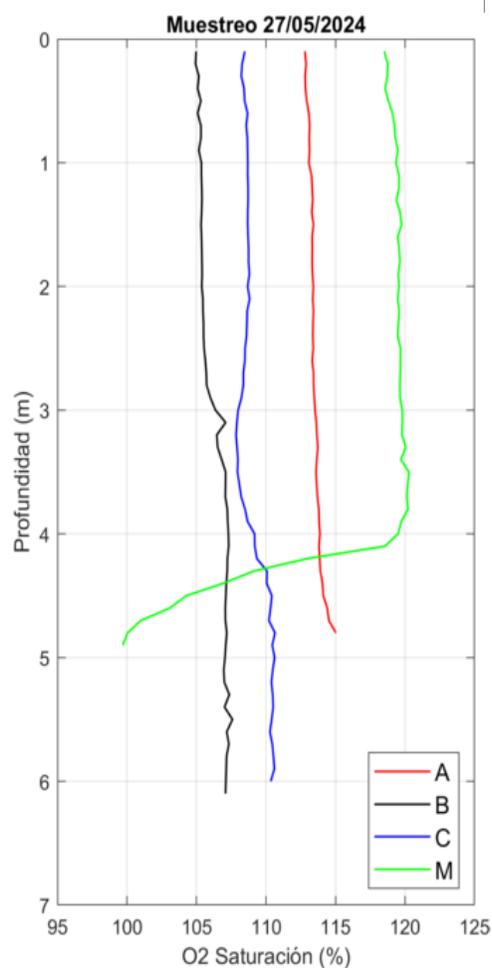


Figura 37. Perfiles de Saturación de O2 obtenidos el día 27/05/24 con el CTD.

Tabla 25. Datos de Saturación de O2 de los perfiles de CTD obtenidos el día 27/05/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	112,80 %	113,47 %	113,24 %	0,21 %
A	3-7 m	113,53 %	115,03 %	113,92 %	0,38 %
B	0-3 m	104,93 %	106,00 %	105,38 %	0,22 %
B	3-7 m	106,36 %	107,59 %	107,08 %	0,25 %
C	0-3 m	108,22 %	108,82 %	108,58 %	0,17 %
C	3-7 m	107,84 %	110,65 %	109,55 %	1,09 %

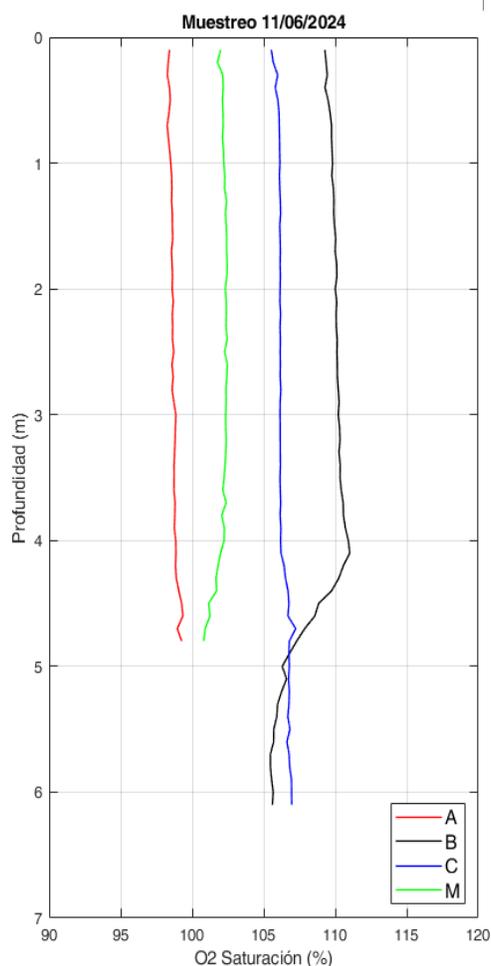


Figura 38. Perfiles de Saturación de O2 obtenidos el día 11/06/24 con el CTD.

Tabla 26. Datos de Saturación de O2 de los perfiles de CTD obtenidos el día 11/06/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	98,26 %	98,72 %	98,54 %	0,13 %
A	3-7 m	98,73 %	99,35 %	98,90 %	0,19 %
B	0-3 m	109,27 %	110,27 %	109,88 %	0,28 %
B	3-7 m	105,46 %	111,02 %	108,32 %	2,18 %
C	0-3 m	105,53 %	106,20 %	106,08 %	0,16 %
C	3-7 m	106,14 %	107,24 %	106,55 %	0,33 %

7.3.4. Concentración de O₂

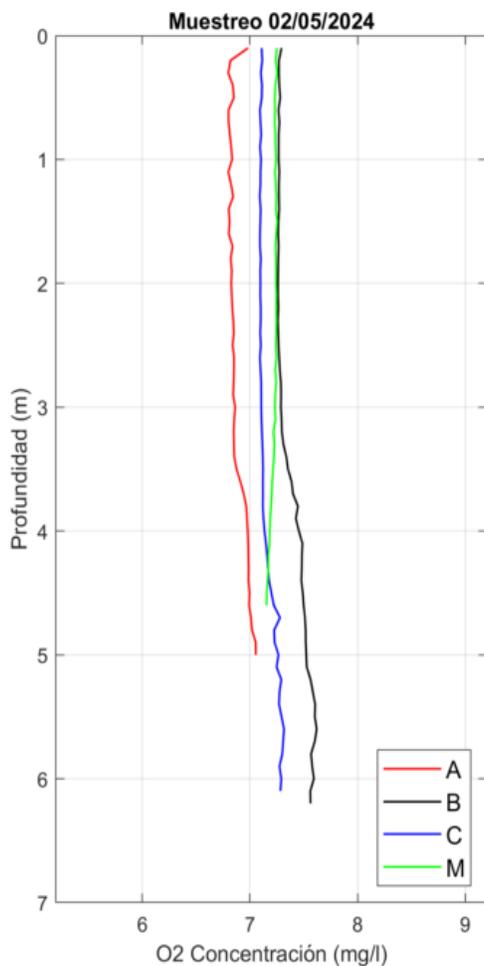


Figura 39. Perfiles de Concentración de O₂ obtenidos el día 02/05/24 con el CTD.

Tabla 27. Datos de Concentración de O₂ de los perfiles de CTD obtenidos el día 02/05/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	6,80 mg/l	6,98 mg/l	6,83 mg/l	0,03 mg/l
A	3-7 m	6,85 mg/l	7,06 mg/l	6,95 mg/l	0,07 mg/l
B	0-3 m	7,26 mg/l	7,29 mg/l	7,27 mg/l	0,01 mg/l
B	3-7 m	7,29 mg/l	7,62 mg/l	7,48 mg/l	0,10 mg/l
C	0-3 m	7,09 mg/l	7,12 mg/l	7,10 mg/l	0,01 mg/l
C	3-7 m	7,11 mg/l	7,32 mg/l	7,20 mg/l	0,08 mg/l

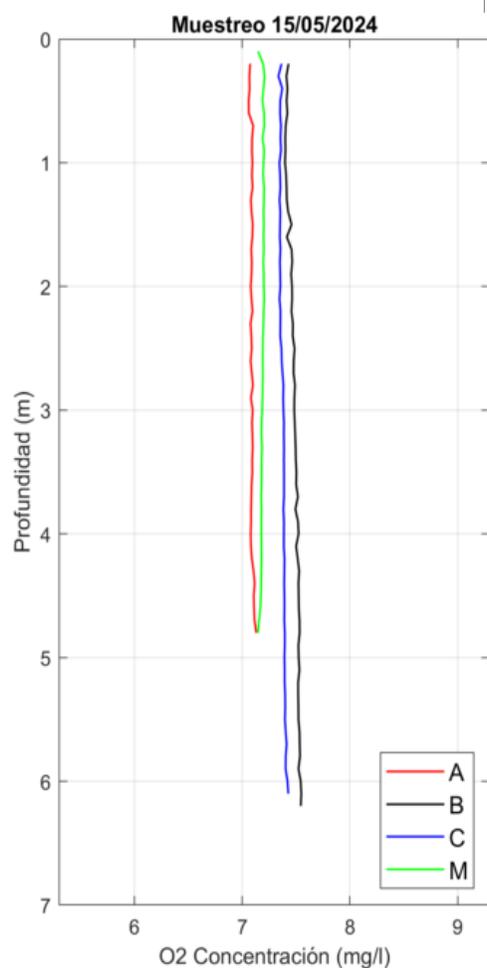


Figura 40. Perfiles de Concentración de O2 obtenidos el día 15/05/24 con el CTD.

Tabla 28. Datos de Concentración de O2 de los perfiles de CTD obtenidos el día 15/05/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	7,06 mg/l	7,10 mg/l	7,09 mg/l	0,01 mg/l
A	3-7 m	7,08 mg/l	7,13 mg/l	7,10 mg/l	0,01 mg/l
B	0-3 m	7,40 mg/l	7,49 mg/l	7,44 mg/l	0,03 mg/l
B	3-7 m	7,48 mg/l	7,55 mg/l	7,52 mg/l	0,02 mg/l
C	0-3 m	7,34 mg/l	7,38 mg/l	7,36 mg/l	0,01 mg/l
C	3-7 m	7,38 mg/l	7,43 mg/l	7,40 mg/l	0,01 mg/l

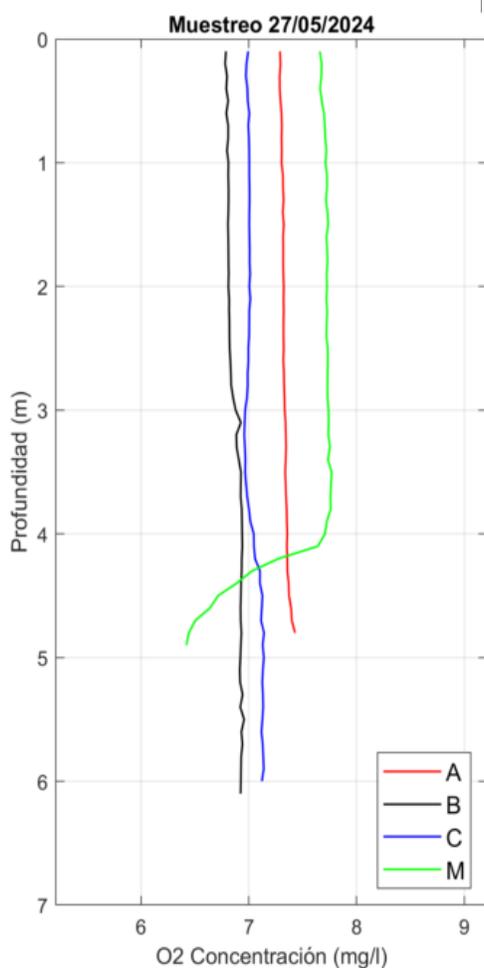


Figura 41. Perfiles de Concentración de O2 obtenidos el día 27/05/24 con el CTD.

Tabla 29. Datos de Concentración de O2 de los perfiles de CTD obtenidos el día 27/05/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	7,29 mg/l	7,33 mg/l	7,31 mg/l	0,01 mg/l
A	3-7 m	7,33 mg/l	7,43 mg/l	7,36 mg/l	0,02 mg/l
B	0-3 m	6,78 mg/l	6,85 mg/l	6,81 mg/l	0,02 mg/l
B	3-7 m	6,88 mg/l	6,96 mg/l	6,92 mg/l	0,02 mg/l
C	0-3 m	6,97 mg/l	7,02 mg/l	7,00 mg/l	0,01 mg/l
C	3-7 m	6,96 mg/l	7,14 mg/l	7,07 mg/l	0,07 mg/l

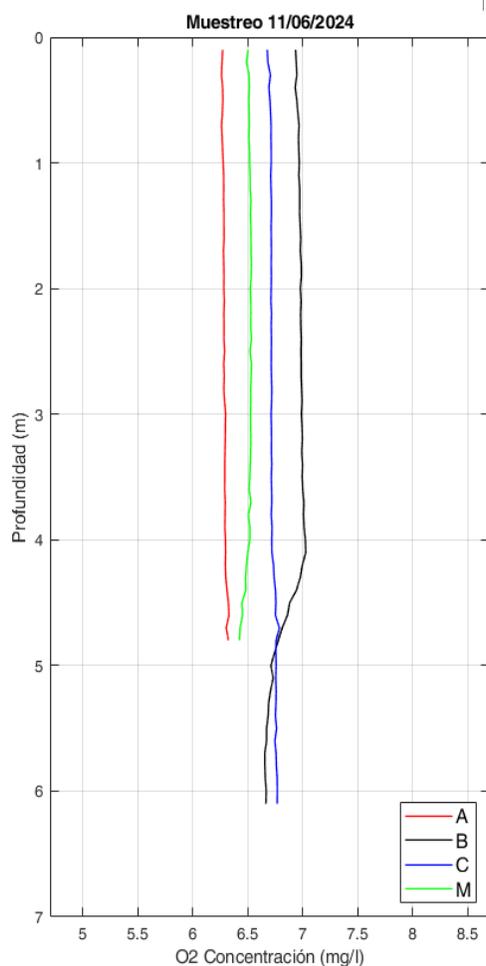


Figura 42. Perfiles de Concentración de O2 obtenidos el día 11/06/24 con el CTD.

Tabla 30. Datos de Concentración de O2 de los perfiles de CTD obtenidos el día 11/06/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	6,26 mg/l	6,29 mg/l	6,28 mg/l	0,01 mg/l
A	3-7 m	6,29 mg/l	6,33 mg/l	6,30 mg/l	0,01 mg/l
B	0-3 m	6,93 mg/l	6,99 mg/l	6,97 mg/l	0,02 mg/l
B	3-7 m	6,65 mg/l	7,03 mg/l	6,85 mg/l	0,15 mg/l
C	0-3 m	6,68 mg/l	6,72 mg/l	6,71 mg/l	0,01 mg/l
C	3-7 m	6,71 mg/l	6,79 mg/l	6,74 mg/l	0,02 mg/l

7.3.5. Turbidez

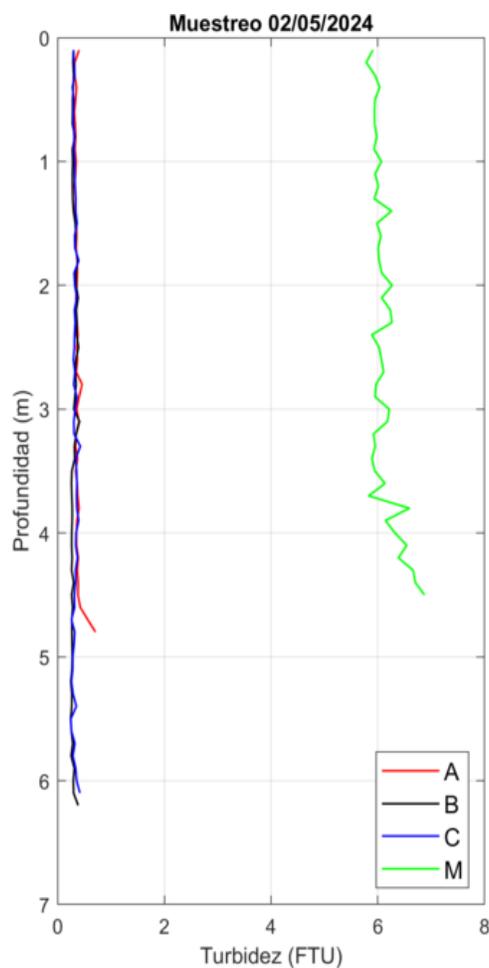


Figura 43. Perfiles de Turbidez obtenidos el día 02/05/24 con el CTD.

Tabla 31. Datos de Turbidez de los perfiles de CTD obtenidos el día 02/05/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	0,31 FTU	0,46 FTU	0,35 FTU	0,03 FTU
A	3-7 m	0,34 FTU	0,71 FTU	0,40 FTU	0,09 FTU
B	0-3 m	0,28 FTU	0,39 FTU	0,32 FTU	0,04 FTU
B	3-7 m	0,25 FTU	0,41 FTU	0,29 FTU	0,04 FTU
C	0-3 m	0,28 FTU	0,40 FTU	0,32 FTU	0,03 FTU
C	3-7 m	0,25 FTU	0,43 FTU	0,33 FTU	0,04 FTU

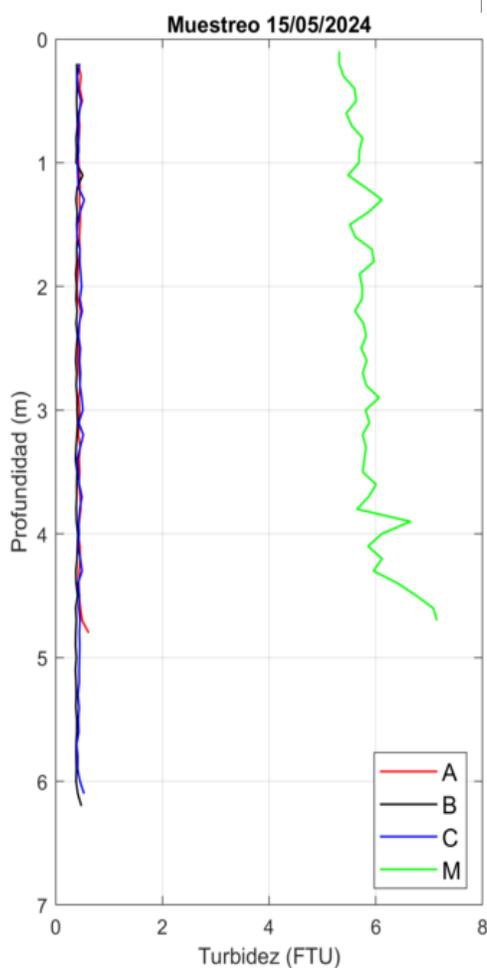


Figura 44. Perfiles de Turbidez obtenidos el día 15/05/24 con el CTD.

Tabla 32. Datos de Turbidez de los perfiles de CTD obtenidos el día 15/05/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	0,40 FTU	0,50 FTU	0,44 FTU	0,02 FTU
A	3-7 m	0,42 FTU	0,62 FTU	0,46 FTU	0,04 FTU
B	0-3 m	0,38 FTU	0,51 FTU	0,40 FTU	0,02 FTU
B	3-7 m	0,37 FTU	0,48 FTU	0,39 FTU	0,02 FTU
C	0-3 m	0,40 FTU	0,54 FTU	0,45 FTU	0,03 FTU
C	3-7 m	0,39 FTU	0,53 FTU	0,45 FTU	0,03 FTU

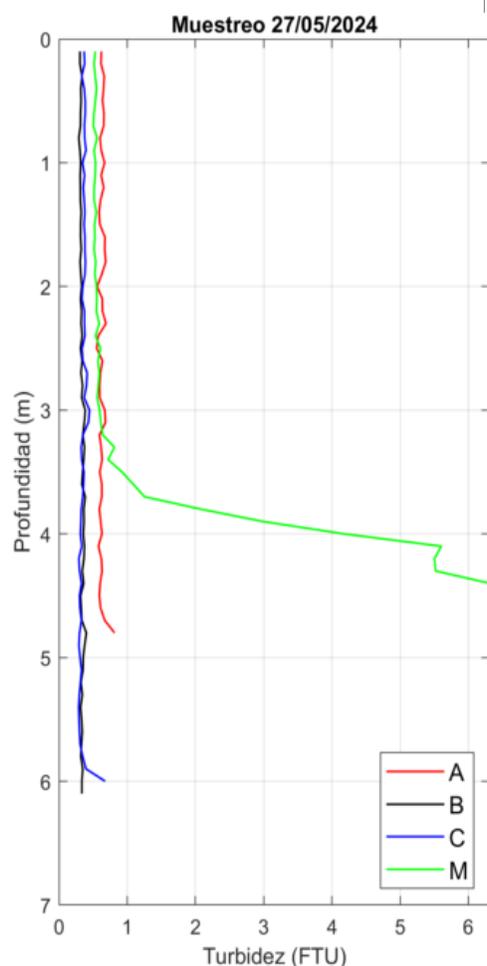


Figura 45. Perfiles de Turbidez obtenidos el día 27/05/24 con el CTD.

Tabla 33. Datos de Turbidez de los perfiles de CTD obtenidos el día 27/05/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	0,55 FTU	0,69 FTU	0,63 FTU	0,04 FTU
A	3-7 m	0,58 FTU	0,81 FTU	0,63 FTU	0,05 FTU
B	0-3 m	0,29 FTU	0,35 FTU	0,32 FTU	0,01 FTU
B	3-7 m	0,32 FTU	0,40 FTU	0,35 FTU	0,02 FTU
C	0-3 m	0,33 FTU	0,41 FTU	0,37 FTU	0,02 FTU
C	3-7 m	0,29 FTU	0,68 FTU	0,34 FTU	0,07 FTU

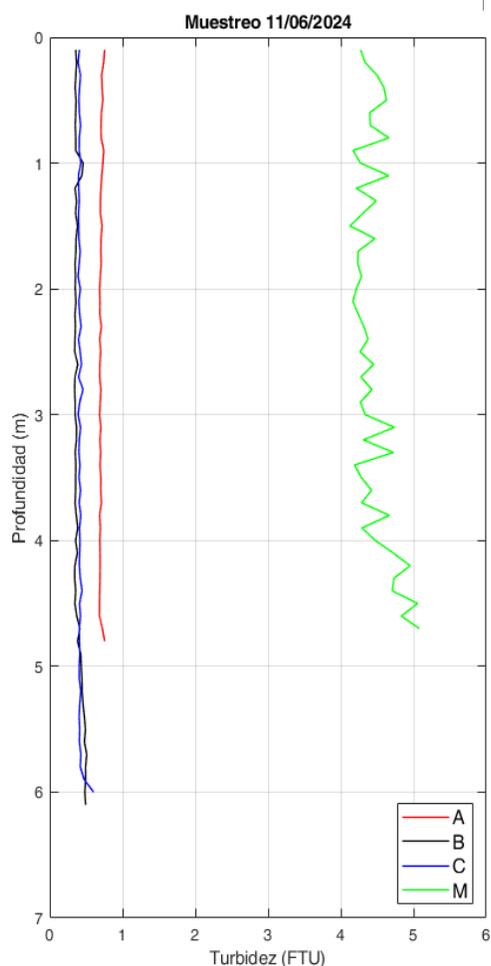


Figura 46. Perfiles de Turbidez obtenidos el día 11/06/24 con el CTD.

Tabla 34. Datos de Turbidez de los perfiles de CTD obtenidos el día 11/06/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	0,68 FTU	0,75 FTU	0,71 FTU	0,02 FTU
A	3-7 m	0,68 FTU	0,76 FTU	0,70 FTU	0,02 FTU
B	0-3 m	0,34 FTU	0,46 FTU	0,36 FTU	0,03 FTU
B	3-7 m	0,34 FTU	0,51 FTU	0,41 FTU	0,06 FTU
C	0-3 m	0,39 FTU	0,46 FTU	0,41 FTU	0,02 FTU
C	3-7 m	0,39 FTU	0,60 FTU	0,42 FTU	0,04 FTU

7.3.6. pH

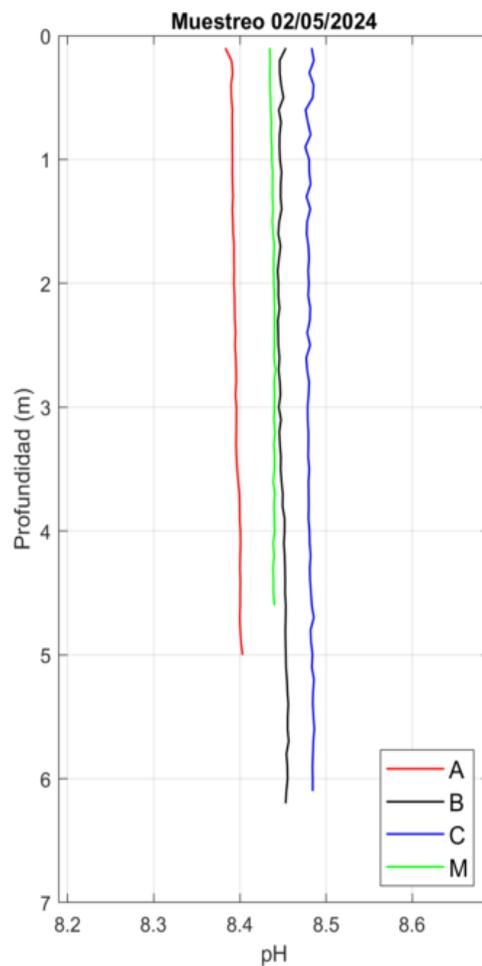


Figura 47. Perfiles de pH obtenidos el día 02/05/24 con el CTD.

Tabla 35. Datos de pH de los perfiles de CTD obtenidos el día 02/05/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	8,38	8,40	8,39	0,00
A	3-7 m	8,40	8,40	8,40	0,00
B	0-3 m	8,44	8,45	8,45	0,00
B	3-7 m	8,44	8,46	8,45	0,00
C	0-3 m	8,48	8,49	8,48	0,00
C	3-7 m	8,48	8,49	8,48	0,00

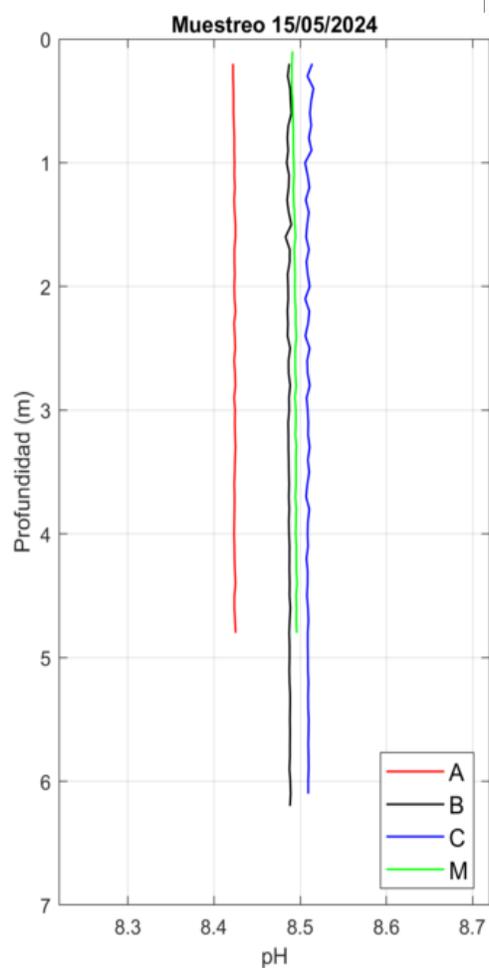


Figura 48. Perfiles de pH obtenidos el día 15/05/24 con el CTD.

Tabla 36. Datos de pH de los perfiles de CTD obtenidos el día 15/05/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	8,42	8,42	8,42	0,00
A	3-7 m	8,42	8,43	8,42	0,00
B	0-3 m	8,48	8,49	8,49	0,00
B	3-7 m	8,49	8,49	8,49	0,00
C	0-3 m	8,51	8,52	8,51	0,00
C	3-7 m	8,51	8,51	8,51	0,00

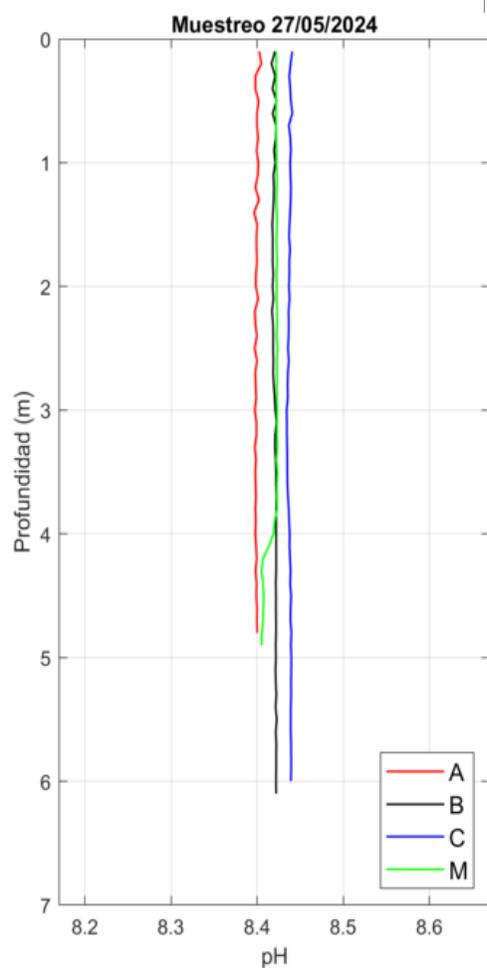


Figura 49. Perfiles de pH obtenidos el día 27/05/24 con el CTD.

Tabla 37. Datos de pH de los perfiles de CTD obtenidos el día 27/05/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	8,40	8,40	8,40	0,00
A	3-7 m	8,40	8,40	8,40	0,00
B	0-3 m	8,42	8,42	8,42	0,00
B	3-7 m	8,42	8,42	8,42	0,00
C	0-3 m	8,44	8,44	8,44	0,00
C	3-7 m	8,43	8,44	8,44	0,00

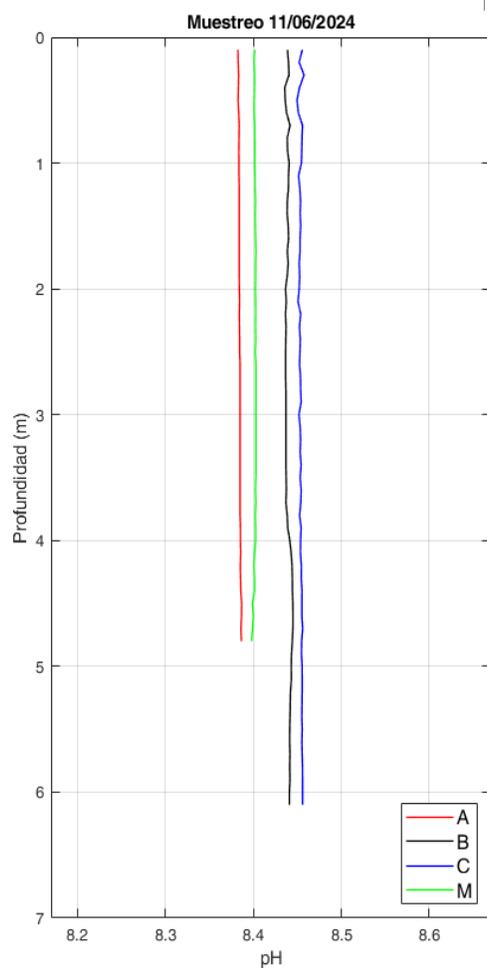


Figura 50. Perfiles de pH obtenidos el día 11/06/24 con el CTD.

Tabla 38. Datos de pH de los perfiles de CTD obtenidos el día 11/06/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	8,38	8,39	8,38	0,00
A	3-7 m	8,38	8,39	8,39	0,00
B	0-3 m	8,44	8,44	8,44	0,00
B	3-7 m	8,44	8,45	8,44	0,00
C	0-3 m	8,45	8,46	8,45	0,00
C	3-7 m	8,45	8,46	8,45	0,00

7.3.7. Luz PAR

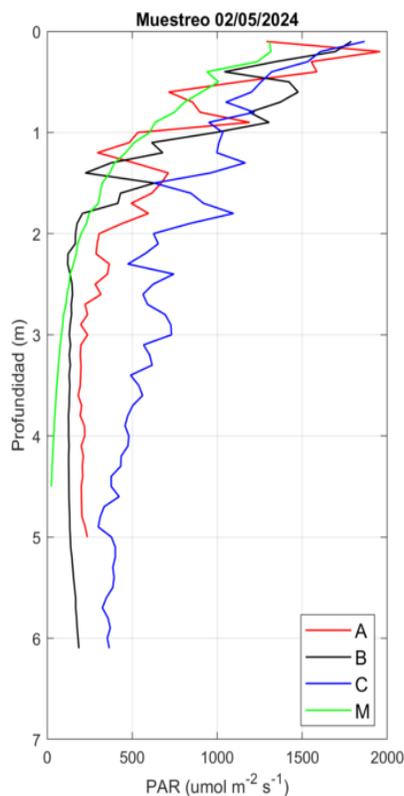


Figura 51. Perfiles de Luz PAR obtenidos el día 02/05/24 con el CTD.

Tabla 39. Datos de Luz PAR de los perfiles de CTD obtenidos el día 02/05/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	197,59 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	1956,78 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	668,66 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	464,37 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$
	3-7 m	182,54 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	237,93 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	206,81 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	13,98 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$
B	0-3 m	120,89 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	1788,64 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	648,48 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	567,23 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$
	3-7 m	125,36 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	186,50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	141,77 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	18,71 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$
C	0-3 m	475,04 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	1867,23 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	957,60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	343,20 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$
	3-7 m	300,44 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	731,26 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	436,16 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	100,01 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$

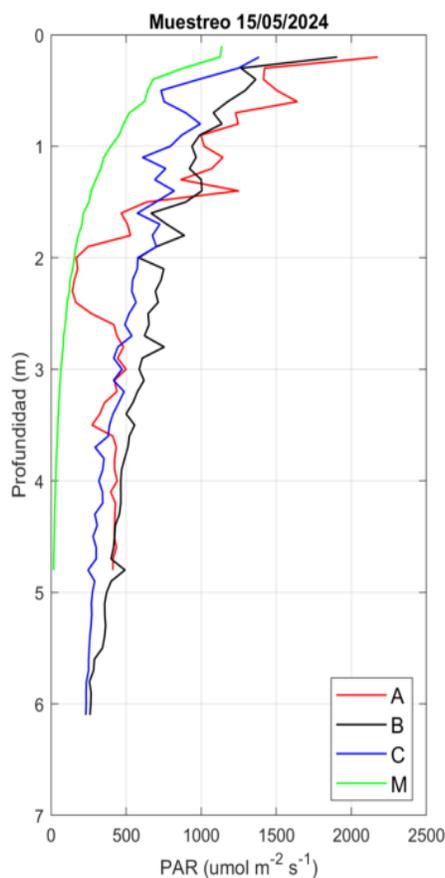


Figura 52. Perfiles de Luz PAR obtenidos el día 15/05/24 con el CTD.

Tabla 40. Datos de Luz PAR de los perfiles de CTD obtenidos el día 15/05/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	142,88 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	2177,91 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	794,08 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	549,66 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
	3-7 m	273,12 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	499,25 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	410,92 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	47,96 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
B	0-3 m	584,07 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	1906,33 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	919,05 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	295,22 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
	3-7 m	256,25 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	619,27 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	423,71 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	103,40 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
C	0-3 m	417,50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	1385,81 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	719,13 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	227,52 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
	3-7 m	231,59 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	486,95 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	314,42 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	72,67 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

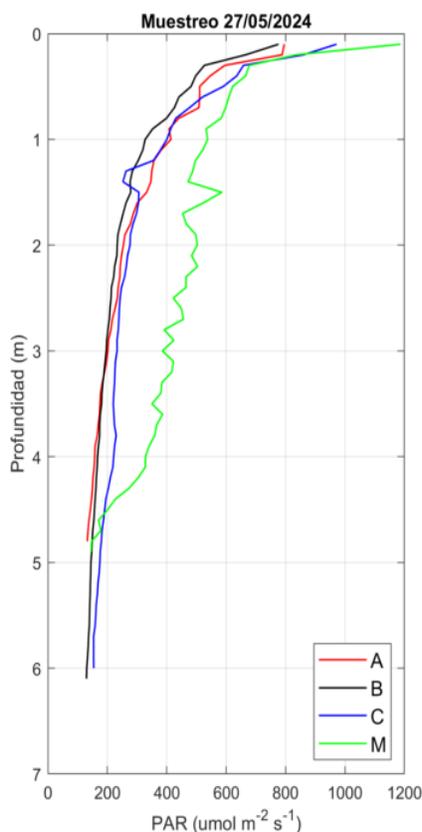


Figura 53. Perfiles de Luz PAR obtenidos el día 27/05/24 con el CTD.

Tabla 41. Datos de Luz PAR de los perfiles de CTD obtenidos el día 27/05/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	203,64 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	795,47 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	369,81 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	161,91 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$
A	3-7 m	132,54 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	201,70 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	163,24 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	20,74 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$
B	0-3 m	197,89 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	776,35 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	327,75 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	145,90 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$
B	3-7 m	129,82 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	196,30 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	157,96 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	19,51 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$
C	0-3 m	232,49 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	971,62 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	385,69 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	192,43 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$
C	3-7 m	153,74 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	232,82 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	193,42 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	28,41 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$

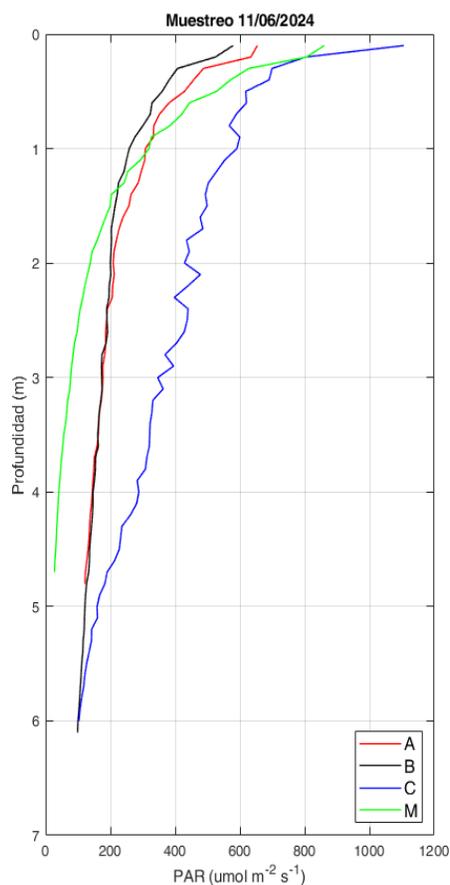


Figura 54. Perfiles de Luz PAR obtenidos el día 11/06/24 con el CTD.

Tabla 42. Datos de Luz PAR de los perfiles de CTD obtenidos el día 11/06/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	176,67 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	653,75 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	297,24 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	128,74 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$
A	3-7 m	121,54 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	177,20 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	148,50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	17,77 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$
B	0-3 m	172,79 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	578,90 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	262,33 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	102,88 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$
B	3-7 m	99,04 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	174,77 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	135,50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	23,33 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$
C	0-3 m	368,80 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	1106,02 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	535,14 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	151,15 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$
C	3-7 m	103,07 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	363,15 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	223,99 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$	85,83 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^1$

7.3.8. Clorofila

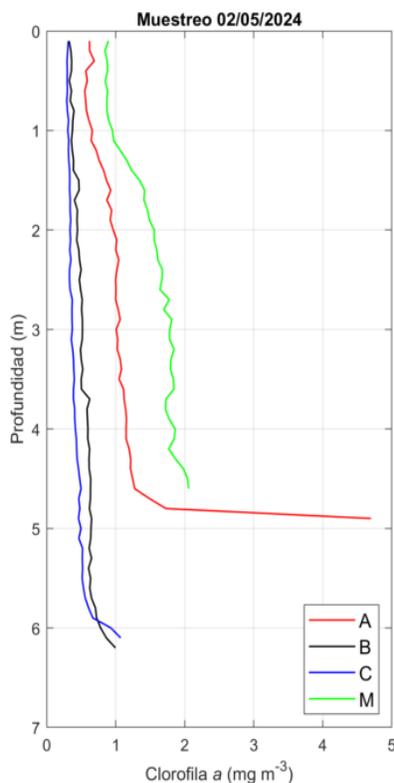


Figura 55. Perfiles de Clorofila obtenidos el día 02/05/24 con el CTD.

Tabla 43. Datos de Clorofila de los perfiles de CTD obtenidos el día 02/05/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	0,55 mg/m ³	1,06 mg/m ³	0,82 mg/m ³	-0,03 mg/m ³
A	3-7 m	1,01 mg/m ³	4,70 mg/m ³	1,36 mg/m ³	0,59 mg/m ³
B	0-3 m	0,33 mg/m ³	0,52 mg/m ³	0,42 mg/m ³	-0,15 mg/m ³
B	3-7 m	0,49 mg/m ³	1,00 mg/m ³	0,63 mg/m ³	-0,11 mg/m ³
C	0-3 m	0,29 mg/m ³	0,37 mg/m ³	0,33 mg/m ³	-0,19 mg/m ³
C	3-7 m	0,36 mg/m ³	1,07 mg/m ³	0,50 mg/m ³	-0,06 mg/m ³

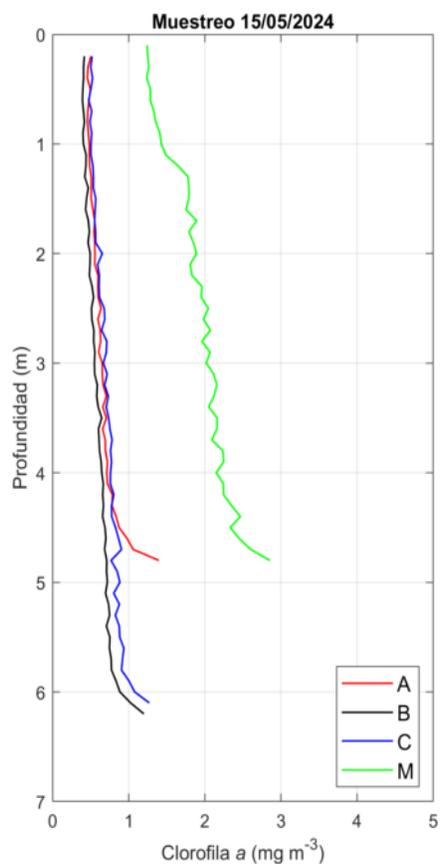


Figura 56. Perfiles de Clorofila obtenidos el día 15/05/24 con el CTD.

Tabla 44. Datos de Clorofila de los perfiles de CTD obtenidos el día 15/05/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	0,46 mg/m ³	0,64 mg/m ³	0,53 mg/m ³	-0,15 mg/m ³
A	3-7 m	0,65 mg/m ³	1,40 mg/m ³	0,79 mg/m ³	-0,03 mg/m ³
B	0-3 m	0,39 mg/m ³	0,56 mg/m ³	0,46 mg/m ³	-0,16 mg/m ³
B	3-7 m	0,55 mg/m ³	1,20 mg/m ³	0,71 mg/m ³	-0,08 mg/m ³
C	0-3 m	0,47 mg/m ³	0,71 mg/m ³	0,57 mg/m ³	-0,14 mg/m ³
C	3-7 m	0,67 mg/m ³	1,27 mg/m ³	0,83 mg/m ³	-0,09 mg/m ³

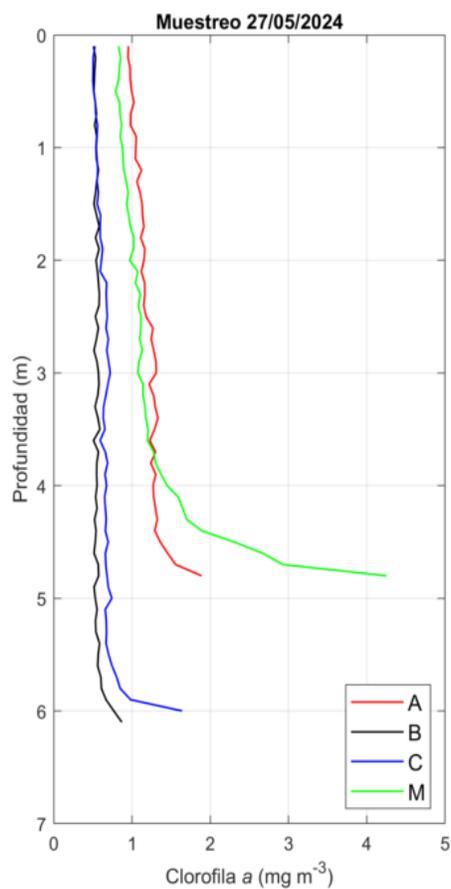


Figura 57. Perfiles de Clorofila obtenidos el día 27/05/24 con el CTD.

Tabla 45. Datos de Clorofila de los perfiles de CTD obtenidos el día 27/05/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	0,95 mg/m^3	1,31 mg/m^3	1,10 mg/m^3	-0,10 mg/m^3
A	3-7 m	1,22 mg/m^3	1,89 mg/m^3	1,34 mg/m^3	-0,05 mg/m^3
B	0-3 m	0,51 mg/m^3	0,58 mg/m^3	0,54 mg/m^3	-0,18 mg/m^3
B	3-7 m	0,51 mg/m^3	0,87 mg/m^3	0,57 mg/m^3	-0,13 mg/m^3
C	0-3 m	0,50 mg/m^3	0,70 mg/m^3	0,59 mg/m^3	-0,14 mg/m^3
C	3-7 m	0,59 mg/m^3	1,64 mg/m^3	0,72 mg/m^3	-0,02 mg/m^3

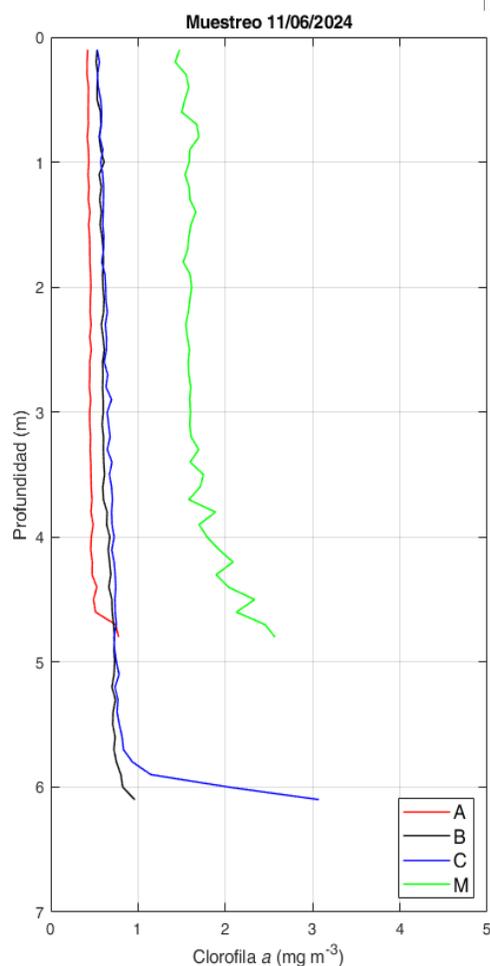


Figura 58. Perfiles de Clorofila obtenidos el día 11/06/24 con el CTD.

Tabla 46. Datos de Clorofila de los perfiles de CTD obtenidos el día 11/06/24.

Punto	Capa	Mínimo	Máximo	Media	STD
A	0-3 m	0,42 mg/m ³	0,46 mg/m ³	0,44 mg/m ³	0,01 mg/m ³
A	3-7 m	0,45 mg/m ³	0,78 mg/m ³	0,50 mg/m ³	0,09 mg/m ³
B	0-3 m	0,52 mg/m ³	0,61 mg/m ³	0,58 mg/m ³	0,03 mg/m ³
B	3-7 m	0,59 mg/m ³	0,96 mg/m ³	0,69 mg/m ³	0,08 mg/m ³
C	0-3 m	0,53 mg/m ³	0,70 mg/m ³	0,60 mg/m ³	0,04 mg/m ³
C	3-7 m	0,65 mg/m ³	3,07 mg/m ³	0,86 mg/m ³	0,47 mg/m ³