



Financiado por
la Unión Europea
NextGenerationEU



Plan de Recuperación,
Transformación
y Resiliencia



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN



Marco de Actuaciones
Prioritarias para Recuperar
el Mar Menor



Informe de actualización de resultados del sistema de monitorización oceanográfica del Mar Menor del IEO-CSIC: junio 2026

Instituto Español de Oceanografía (IEO-CSIC)



CSIC

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS





Informe de actualización de resultados del sistema de monitorización oceanográfica del Mar Menor del IEO-CSIC: junio 2026

Informe del proyecto BELICH (2023-2026):
Monitorización, Estudio y Modelación del Mar Menor

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).
- MRR EU Next Generation y Presupuestos Generales del Estado del MITERD.

Este informe debe citarse de la siguiente forma:

IEO-CSIC (2026). Informe de actualización de resultados del programa de seguimiento del Mar Menor: junio 2026. Proyecto BELICH: Monitorización, Estudio y Modelización del Mar Menor (MAPMM-MITECO). IEO-CSIC. <https://belich.ieo.csic.es/publicaciones/>

Está absolutamente prohibido el uso de contenido de este informe sin autorización previa de los autores y las entidades financiadoras del proyecto. Los datos contenidos en este informe no pueden ser empleados en ningún tipo de publicación científica y técnica sin autorización expresa de los autores.

Equipo de trabajo

Dirección y coordinación: Juan M. Ruiz, Centro Oceanográfico (CO) de Murcia

Eugenio Fraile, CO de Canarias

Patricia Pérez, CO de Murcia (contratada BELICH)

Virginia Sandoval, CO de Murcia (contratada BELICH)

Victor Orenes, CO de Murcia (contratado BELICH)

Pedro Martínez, CO de Murcia (contratado BELICH)

Antonio Ortolano, CO de Murcia (contratado BELICH)

Ana Ramírez, CO de Murcia (contratada BELICH)

Esperanza Moreno, CO de Murcia (contratada BELICH)

Pedro Portalés, CO de Canarias (contratado BELICH)

Rocío García, CO de Murcia

ÍNDICE

1. Antecedentes y objeto del informe	4
2. Marco de trabajo	6
2.1. Variables de estudio	7
2.2. Fuentes de datos	9
2.2.1. Estaciones de monitorización y muestreos in situ	9
2.2.2. Datos satelitales	10
2.3. Representación e interpretación de indicadores	12
3. Resultados	13
3.1. Temperatura	14
3.2. Salinidad.....	16
3.3. Concentración de la clorofila-a	20
3.4. Turbidez e irradiancia PAR	24
3.5. Oxígeno	27
3.6. pH	30
3.7. Mancha blanca.....	32
4. Síntesis y conclusiones	36
5. Bibliografía	38
6. Anexos	39
6.1. Anexo I: Estaciones de monitorización BELICH	40
6.2. Anexo II: Metodología	43
6.2.1. Temperatura.....	43
6.2.2. Clorofila-a	44
6.2.3. Turbidez.....	45
6.2.4. Oxígeno disuelto.....	46
6.2.5. pH.....	46
6.3. Anexo III: Tablas valores históricos.....	48

1. Antecedentes y objeto del informe



El presente informe presenta los resultados y avances del programa de seguimiento científico desarrollado para evaluar el estado del ecosistema marino del Mar Menor, comprendiendo el periodo entre el 1 de abril y el 15 de junio de 2026.

Este programa se puso en marcha en el año 2016 para obtener conocimiento fiable y objetivo sobre el estado y la evolución del Mar Menor a partir del episodio de "sopa verde" ocurrido ese mismo año. Dicho programa de seguimiento se realizó en un principio como parte del proyecto DMMEM, financiado por el IEO-CSIC. Sin embargo, desde enero del año 2023 estas actividades de monitorización están integradas dentro del proyecto BELICH, que está financiado por el Marco de Actuaciones Prioritarias para la Recuperación del Mar Menor (MAPMM) del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD).

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

A partir de febrero de 2023 el programa de monitorización del proyecto BELICH empezó a reportar resultados en informes periódicos. Estos informes, y otros realizados ad hoc para evaluar el impacto en la laguna de eventos atmosféricos extremos, pueden consultarse en la página web del proyecto <https://belich.ieo.csic.es/publicaciones/>. El presente informe tiene como objetivo la actualización de los datos generados por el sistema de monitorización oceanográfica del proyecto BELICH, proporcionando una fuente de datos en continuo y en tiempo casi real.



2. Marco de trabajo





2.1. Variables de estudio

En este programa de seguimiento se monitorizan diversas variables físico-químicas necesarias para evaluar el estado general de la columna de agua del Mar Menor. Los detalles completos sobre la metodología empleada para medir estas variables, así como otras fuentes de datos utilizadas se encuentran ampliamente descritos en el Anexo I. 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.

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

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

pH: indica la acidez o alcalinidad del agua, en base a la actividad de los iones de hidrógeno (H⁺) e hidroxilo (OH⁻) que contiene. El agua marina es ligeramente alcalina (8,1 - 8,3). El pH es un factor crucial para evaluar la salud de los ecosistemas marinos, ya que influye en sus procesos químicos, utilizándose como indicador de la calidad del agua. La contaminación, ya sea atmosférica o por eutrofización del agua, tiende a aumentar la concentración de materia orgánica cuya mineralización produce CO₂, en especial en el fondo de la columna de agua. El exceso de CO₂ desplaza el equilibrio del sistema tampón de bicarbonato del agua hacia la producción de protones que tienden a disminuir el pH, proceso conocido como acidificación (Doney et al., 2009). Otros procesos biológicos, como la fotosíntesis pueden tener el efecto contrario al aumentar el pH, al igual que los aportes continentales ricos en carbonatos y calcio.

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 un estimador de la biomasa de fitoplancton y por tanto de su productividad. Además, esta variable es clave para explicar las propiedades ópticas de la columna de agua y puede ser empleada para evaluar la calidad del agua mediante sensores remotos multiespectrales e hiperespectrales (imágenes de satélite). Los valores de referencia para los niveles de clorofila-a en el Mar Menor, publicados en el Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, establecen un umbral de 1,8 µg/L para la clasificación entre los estados "bueno" y "moderado", y de 1,1 µg/L para el límite entre los estados "muy bueno" y "bueno". No obstante, actualmente se está trabajando en la revisión y adaptación de estos umbrales utilizando los datos obtenidos del sistema de monitoreo descrito en este informe, junto con series históricas recopiladas en proyectos previos desarrollados por el Instituto Español de Oceanografía (IEO).

Balance hídrico Mar Menor – Mediterráneo: El volumen de intercambio hídrico entre el Mediterráneo y el Mar Menor constituye una variable crítica para la determinación del balance hídrico de la laguna. Para cuantificar este flujo en los canales

de El Estacio y Marchamalo, se ha realizado una estimación basada en la caracterización batimétrica de sus secciones y en el análisis de los perfiles de velocidad medidos en toda la columna de agua.

2.2. Fuentes de datos

El origen y el tratamiento de los datos para cada variable de estudio ha ido variando a través del transcurso de la serie histórica documentada en función de las herramientas y recursos disponibles en cada momento. Las fuentes de datos empleadas para cada variable en cada periodo temporal se detallan en el Anexo I. No obstante, estas fuentes se dividen en tres categorías principales: 1) estaciones de monitorización y 2) muestreos in situ, y 3) datos satelitales.

2.2.1. Estaciones de monitorización y muestreos in situ

Desde finales de enero de 2025, el Mar Menor cuenta con un sistema de monitorización oceanográfica continua en tiempo casi real. El sistema consta de 6 estaciones, tres de ellas están compuestas por una boya oceanográfica en superficie y un

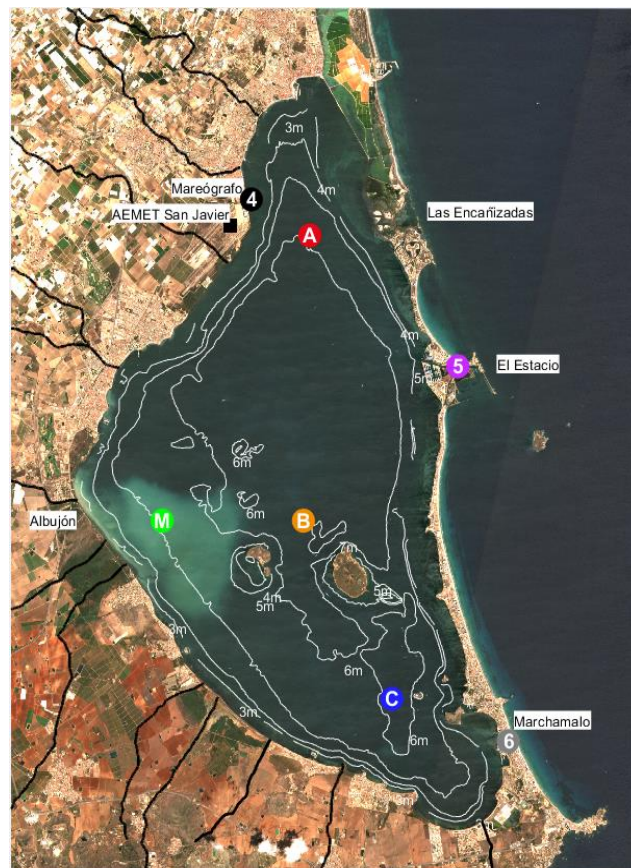


Figura 1: Ubicación de las estaciones de monitorización en real time; A, B, C, Mareógrafo (est. 4), El Estacio (est. 5), y Marchamalo (est. 6). Y de muestreo in situ (A, B, C y M). Mostrada sobre una imagen de satélite Sentinel2 obtenida el 03/08/2023.



lander en el fondo – coincidentes con las ubicaciones del muestreo in situ A, B y C – dos landers en las golas de El Estacio y Marchamalo, y una última estación en la base militar de San Javier, que complementa el sistema de monitoreo con un mareógrafo y una estación meteorológica (Figura 1). El esquema de las boyas, landers y mareógrafo se puede ver en el Anexo I.

Adicionalmente, el sistema consta con sensores de luz PAR instalados cerca de los landers de las tres boyas de monitorización. 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. Estos sensores permiten obtener una serie temporal de alta resolución del coeficiente de extinción de la luz (Kd) y compararla con la obtenida en los muestreos periódicos in situ.

Desde 2016 se realizan muestreos periódicos in situ para evaluar el estado ecológico del Mar Menor. Originalmente, estos muestreos se realizaban con periodicidad mensual, pero desde la entrada en funcionamiento del proyecto BELICH, en enero de 2023, la frecuencia de muestreo se duplicó y actualmente es quincenal. Además, inicialmente estos muestreos se realizaban en tres estaciones de muestreo (A, B, C), pero en abril de 2023 se agregó una nueva estación situada en el interior de una zona de la laguna, localizada en el centro-oeste debido a que comenzó a ser visible una masa de agua turbia blanca, que presenta un aspecto blanquecino. Este fenómeno, conocido como "mancha blanca", corresponde a un evento de "whiting" caracterizado por la precipitación de carbonato cálcico, que genera una elevada turbidez en el agua. Estudios recientes sugieren que este fenómeno podría estar vinculado a descargas subterráneas con alto contenido en bicarbonatos, las cuales favorecen la sobresaturación y posterior precipitación de carbonatos. Esta estación se ha denominado "M" y desde entonces está incluida en todos los muestreos in situ junto al resto de estaciones (Figura 1).

2.2.2. Datos satelitales

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



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

Hasta la fecha, la concentración superficial de clorofila-a en la laguna se obtenía utilizando el producto "*Mediterranean Sea Ocean Colour Plankton MY L4 daily gap-free observations and climatology and monthly observations*" del portal marino de Copernicus (CMEMS). Sin embargo, desde febrero de 2024 se utiliza un algoritmo específico para el Mar Menor que ha sido diseñado a partir del análisis de datos de los satélites y sensores del color del océano y datos de clorofila-a procedentes de los muestreos *in situ* recopilados en el Mar Menor desde 2016.



2.3. Representación e interpretación de indicadores

Consideraciones para la interpretación de los indicadores:

- Los indicadores del estado físico-químico del agua de la laguna del presente informe recogen los meses completos de abril y mayo de 2026.
- Los datos utilizados en el periodo del presente informe proceden del sistema de monitorización oceanográfica en las estaciones A, B y C en promedio.
- Se representan en base a una barra horizontal, a escala, en la que el valor de la variable aumenta de izquierda (signo negativo y color azul muy claro) a derecha (signo positivo y color azul muy intenso). A lo largo de esta barra se indica la posición de descriptores estadísticos de datos actuales e históricos que sirvan de referencia para ubicar los valores mensuales.
- De los valores mensuales se muestra la media (punto rojo) y rango (rectángulo de línea roja, delimitado por máximo y mínimo semanal).
- Se muestran los descriptores estadísticos de la serie temporal del IEO-CSIC desde 2016 (post-colapso): mediana y percentiles 25 y 75. El mínimo y máximo de la serie se indica en pie de figura, junto con valores de hitos conocidos de este periodo como la DANA de 2019 o los blooms de fitoplancton. Estos valores se encuentran normalmente fuera de la escala a la que se representa el indicador.
- Para las variables de las que el IEO-CSIC dispone de datos históricos (desde la década de 1980) se muestra la media de décadas anteriores al colapso (2016).
- Se muestra el valor medio de la "mancha blanca" (Estación M).
- Para las variables que tienen un patrón de variación temporal estacional (clorofila, oxígeno y salinidad) los estadísticos se han calculado para dos periodos por separado: enero-junio y julio-diciembre. La clorofila se refiere a una profundidad media de la laguna (unos 4 m), mientras que las otras variables se consideran dos profundidades: somera (-1 m) y profunda (-4 a -5m).



3. Resultados



Fotografía OLAS



3.1. Temperatura

La temperatura es uno de los principales factores que regulan los procesos biológicos, químicos y físicos en los ecosistemas acuáticos. En aguas costeras y lagunas con intercambio limitado con el mar abierto, condiciona el metabolismo de los organismos, la productividad biológica y la disponibilidad de oxígeno, influyendo directamente en la dinámica y el estado de salud del ecosistema.

El primer trimestre de 2026 destacó por una marcada inestabilidad meteorológica, caracterizada por frecuentes episodios de precipitación (IEO-CSIC, 2026b). Esta dinámica provocó que la media de temperatura de la laguna durante este invierno (enero - marzo) fuera la más baja desde que se inició el seguimiento continuo del sistema de monitorización, registrando 12,8 °C (DE = 1,3 °C; ver Tabla 1, Anexo III). Tras el descenso térmico inicial hasta mínimos de 11,6 °C, coincidente con la borrasca "Francis" en la primera semana de enero, el sistema inició una recuperación progresiva que alcanzó medias máximas invernales de 14,9 °C a finales de marzo, situándose dentro de los rangos esperados para la época del año (Figura 2).

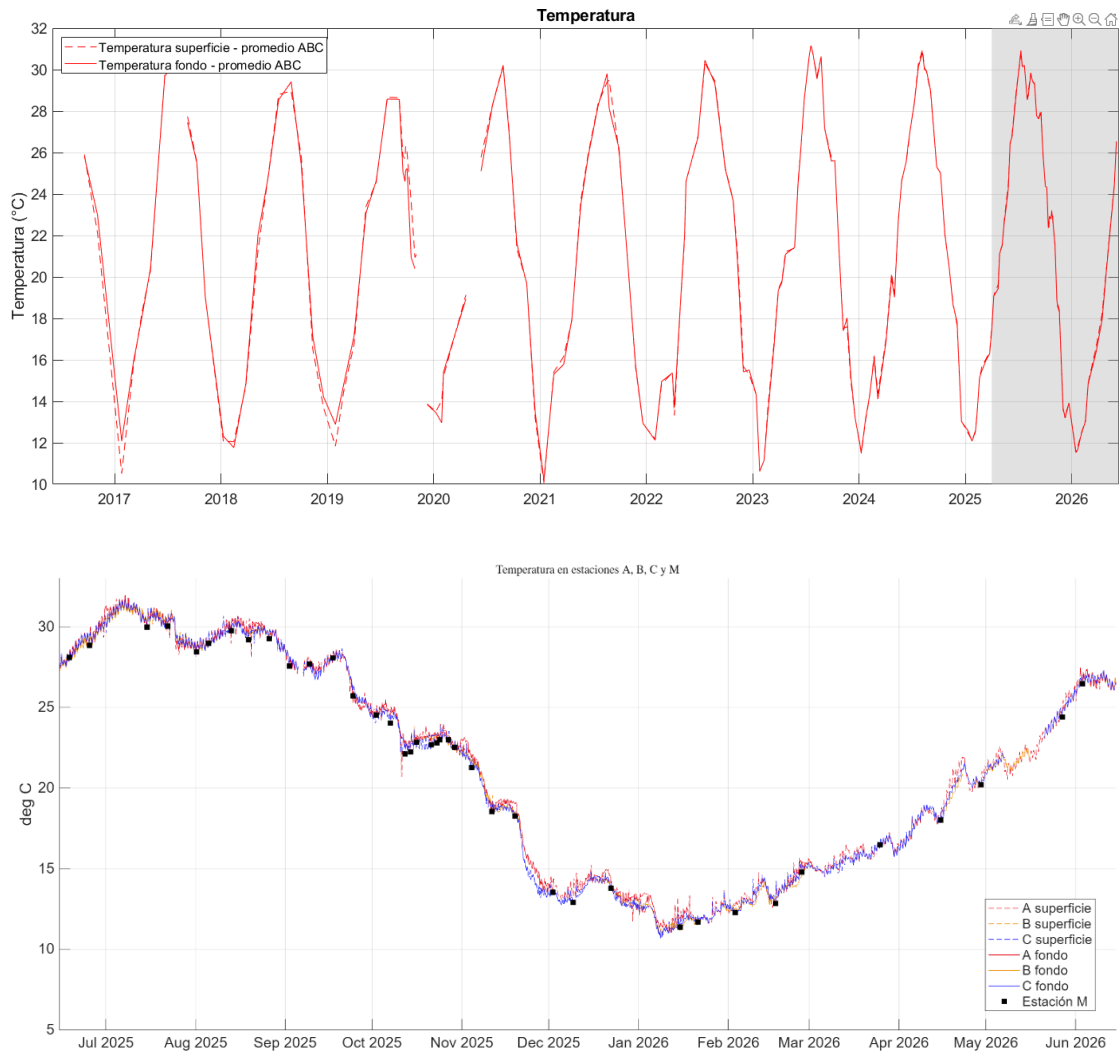


Figura 2 En la parte superior se muestra la temperatura media superficial (0,5 m; línea discontinua) y temperatura media del fondo (entre 4 y 6m dependiendo de la estación; línea continua) durante los muestreos in situ del proyecto DMMEM y BELICH en las estaciones A, B, C y M (ver Figura 1). En la parte inferior se muestran las series temporales de temperatura registradas por las boyas y landers de monitoreo continuo en las estaciones A (rojo), B (amarillo) y C (azul), distinguiendo superficie (línea continua) y fondo (línea discontinua) en el último año.

Durante los meses de abril y mayo, la laguna ha experimentado una tendencia ascendente, siguiendo el ciclo estacional típico de esta variable, hasta superar los 26,5 °C hacia finales de mayo, manteniéndose en estos valores en la primera quincena de junio (Figura 3).

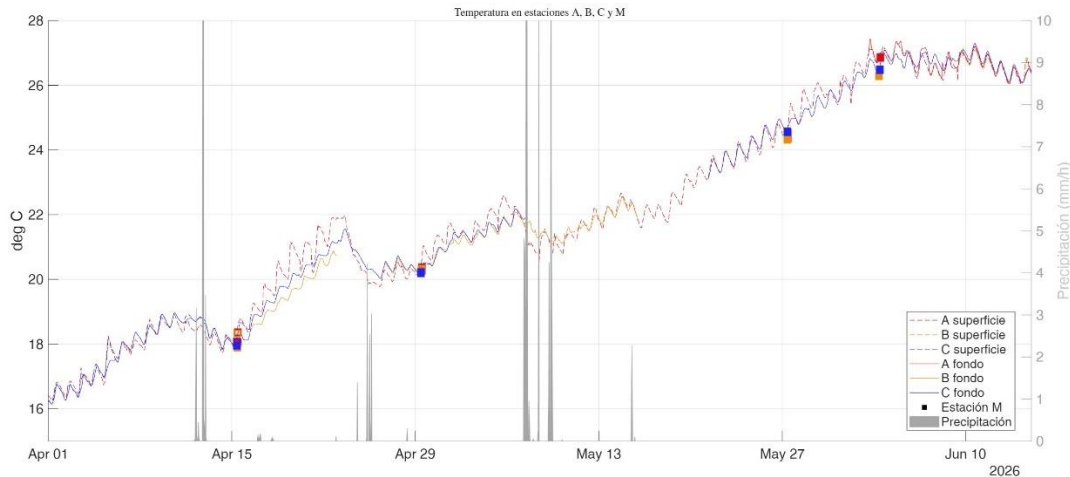


Figura 3 Series temporales de temperatura registradas por las boyas y landers de monitoreo continuo en las estaciones A (rojo), B (amarillo) y C (azul), distinguiendo superficie (línea discontinua) y fondo (línea continua) del periodo del presente informe. En gris se muestran las precipitaciones registradas por la estación meteorológica (Estación 4). Se muestran con un cuadrado los valores obtenidos en los muestreos in situ.

3.2. Salinidad

La salinidad es una variable ambiental fundamental que en el ecosistema lagunar condiciona la composición, estructura y dinámica de las comunidades biológicas que lo constituyen. En lagunas costeras semicerradas como el Mar Menor, con muy escasa tasa de renovación, las variaciones de la salinidad a diferentes escalas espacio-temporales son amplias por lo que predominan especies euribiontes capaces de persistir ante los efectos de entradas de agua dulce y estratificación de la columna de agua, o incrementos estacionales de la salinidad de hasta 4-5 puntos debido a la fuerte evaporación en el periodo estival. Otras especies como la *Nacra* pueden ser más vulnerables a los cambios de salinidad de la laguna. Es por ello que esta variable desempeña un papel clave en el funcionamiento y la estabilidad del ecosistema.

En el Mar Menor, la serie temporal de salinidad media en superficie y fondo desde 2016 permite observar cómo este parámetro, estrechamente ligado al balance hídrico, disminuye de forma acusada tras eventos de precipitaciones torrenciales, como los registrados en 2016 y 2019, para posteriormente recuperar sus valores de forma progresiva (Figura 4). Esa paulatina recuperación se culminó en 2024, donde se alcanzaron niveles previos al colapso de 2016; sin embargo, esta dinámica se vio interrumpida por las lluvias de marzo de 2025 y la posterior entrada

masiva de agua dulce durante la DANA "Alice" en otoño de ese mismo año (Figura 4; IEO-CSIC, 2026a).

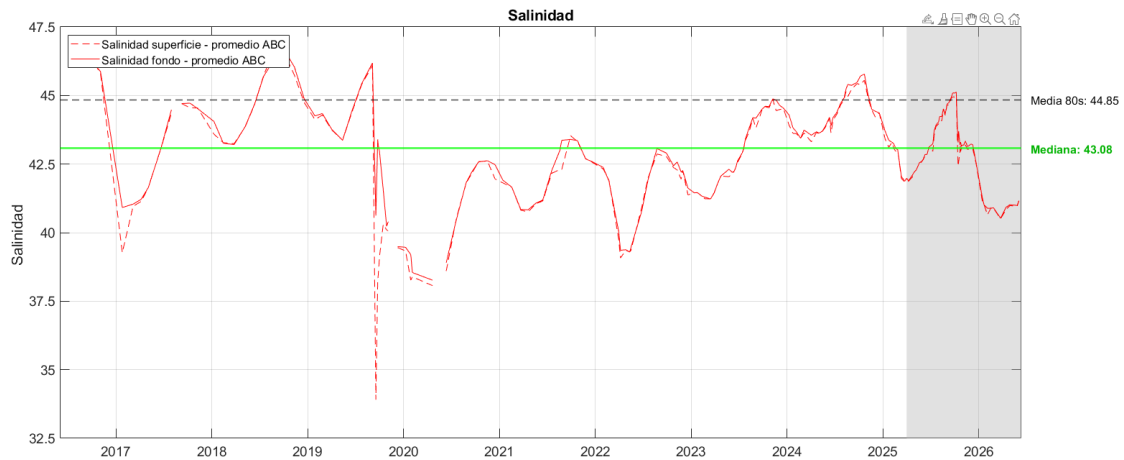


Figura 4: Datos de salinidad promedio en superficie (0,5m; rojo discontinuo) y fondo (entre 4 y 6m dependiendo de la estación, Figura 1; rojo continuo) en las estaciones A, B, C de los muestreos in situ del proyecto DMMEM y BELICH desde 2016. Se muestra la media de salinidad medida en la laguna en la década de 1980 (línea discontinua negra) y la mediana del periodo analizado (2016-2025) (línea verde)

La tendencia a la disminución de la salinidad, iniciada en marzo de 2025 y consolidada durante el primer trimestre de 2026 como consecuencia de la elevada frecuencia de precipitaciones (IEO-CSIC, 2026b), ha continuado a lo largo de gran parte del periodo de estudio del presente informe. Este proceso de dulcificación ha estado favorecido por las aportaciones de agua dulce procedentes de la cuenca vertiente, tanto mediante escorrentía superficial como por flujos subterráneos, así como por la dinámica de intercambio hídrico a través de las golas.

En este sentido, los registros obtenidos en el canal de Marchamalo muestran, durante los últimos meses, un flujo neto entrante desde el Mediterráneo de aproximadamente $12 \times 10^6 \text{ m}^3$ (Figura 5). Este intercambio, unido a las entradas de agua dulce al sistema, parece haber contribuido al mantenimiento de los bajos niveles de salinidad observados durante el periodo analizado, reflejando una situación hidrológica diferente a la registrada en años anteriores.

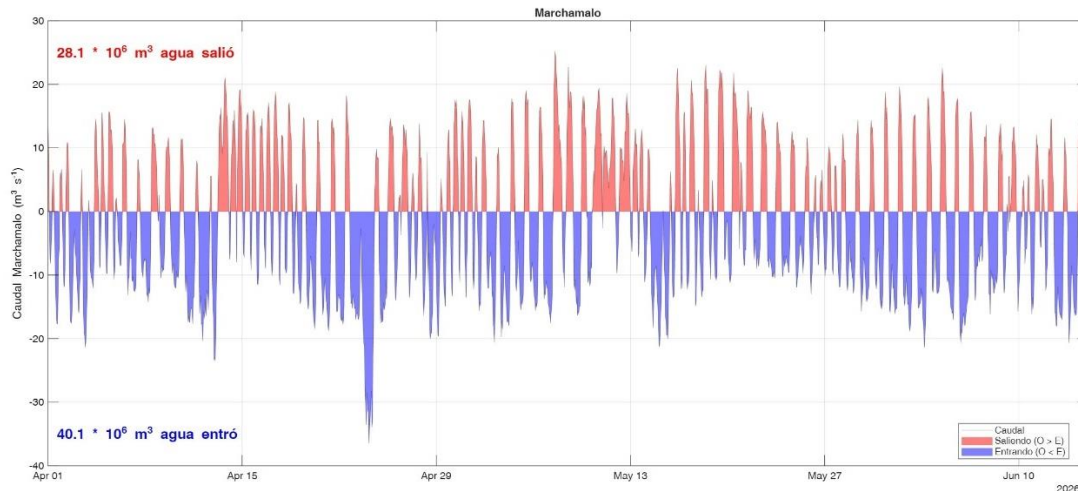


Figura 5: Entradas (azul) y salidas (rojo) de agua a través de la gola de Marchamalo. En los márgenes izquierdos, superior e inferior, se indican los totales de flujo de salida (hacia el Mediterráneo) y entrada (hacia la laguna) de agua (m^3), respectivamente.

Los efectos de los episodios de precipitación fueron especialmente evidentes durante la segunda quincena de abril y los primeros días de mayo de 2026, cuando se registraron descensos puntuales de la salinidad superficial (Figura 6). Sin embargo, tras estos eventos, el sistema mostró una recuperación gradual hacia condiciones más homogéneas, sin evidencias de una estratificación halina persistente. Esta rápida tendencia a la mezcla sugiere una elevada capacidad de redistribución de las masas de agua a escala lagunar, a pesar de las aportaciones episódicas de agua dulce.

Como resultado, durante los meses de abril y mayo de 2026 la salinidad media alcanzó valores de 41,0 (DE = 0,2) tanto en superficie como en fondo, inferiores a los registrados en el mismo periodo de 2024 (43,8–43,9) y 2025 (42,4–42,5) (Tabla 2, Anexo III). Asimismo, los valores mínimos y máximos observados se situaron en el extremo inferior de la distribución histórica, alejándose de la media registrada durante la década de 1980 (44,85), lo que confirma la persistencia de un escenario de salinidad relativamente baja en comparación con las condiciones características del sistema (Figura 7).

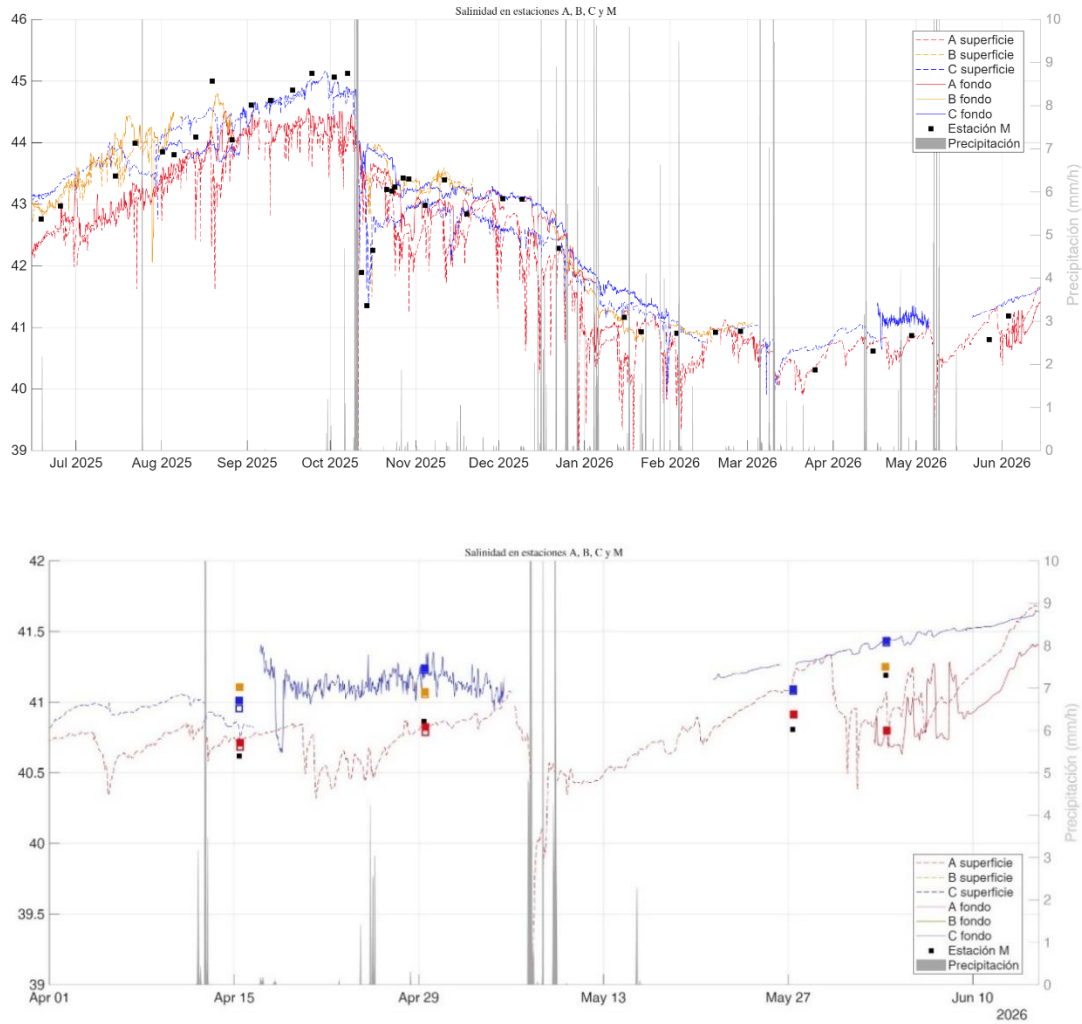


Figura 6: Series temporales de salinidad registradas por las boyas y landers de monitoreo continuo en las estaciones A (rojo), B (amarillo) y C (azul), distinguiendo superficie (línea discontinua) y fondo (línea continua). En gris se muestran las precipitaciones registradas por la estación meteorológica (Estación 4). En la parte superior se muestra la serie temporal del último año, y en la parte inferior el periodo del presente informe (1 abril-15 de junio de 2026). Se muestran con un cuadrado los valores obtenidos en los muestreos in situ.

No obstante, durante la primera quincena de junio se ha observado una inversión parcial de esta tendencia, registrándose un incremento progresivo de la salinidad. Este aumento parece estar asociado al incremento estacional de la evapotranspiración, característico de esta época del año, favorecido por un ascenso de la temperatura del agua superior a 10 °C respecto a los meses previos y por el aumento de la irradiancia solar, que intensifica el calentamiento de la columna de agua y las pérdidas de agua por evaporación. La ausencia de precipitaciones significativas en este periodo ha derivado el balance hídrico hacia las pérdidas por evapotranspiración y, por tanto, al incremento de la salinidad. El último episodio de lluvia registrado por la estación meteorológica de la red de monitorización tuvo lugar el 15 de

mayo y apenas alcanzó los 2 mm de precipitación. En conjunto, estos factores han favorecido una progresiva recuperación de la salinidad, aunque los valores continúan situándose por debajo de los registrados históricamente para el sistema, como se muestra gráficamente en el sistema indicador de la figura 7.

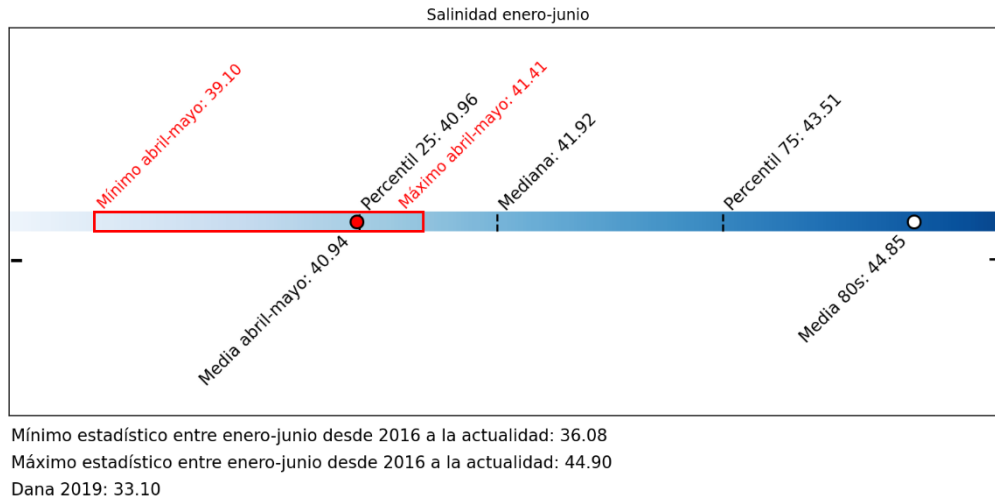


Figura 7: Indicador de salinidad obtenido de datos procedentes del sistema de monitorización oceanográfica. Se representan los descriptores estadísticos de datos actuales e históricos. Para su interpretación ver subapartado: Consideraciones para la interpretación de los indicadores (En: Marco de trabajo).

3.3. Concentración de la clorofila-a

La concentración de clorofila-a constituye uno de los principales indicadores de la productividad fitoplanctónica y del estado trófico de los ecosistemas acuáticos. En lagunas semicerradas como el Mar Menor, esta variable refleja de forma sensible los cambios en la disponibilidad de nutrientes, la calidad del agua y las condiciones ambientales. Por ello, la clorofila-a es considerada un indicador universal de la salud de los ecosistemas acuáticos. Incrementos sostenidos de su concentración pueden estar asociados a procesos de eutrofización, alteraciones en las redes tróficas y otros episodios de deterioro ambiental. No obstante, las relaciones entre la clorofila, la disponibilidad de nutrientes y el estado del ecosistema no es lineal y su interpretación debe realizarse con cierta cautela. A esto hay que añadir que los procesos que regulan la abundancia fitoplanctónica (y por tanto la clorofila a) puede ser tanto de tipo "bottom-up" (p.e. nutrientes) como "top-down" (p.e. predación por microzooplanton).

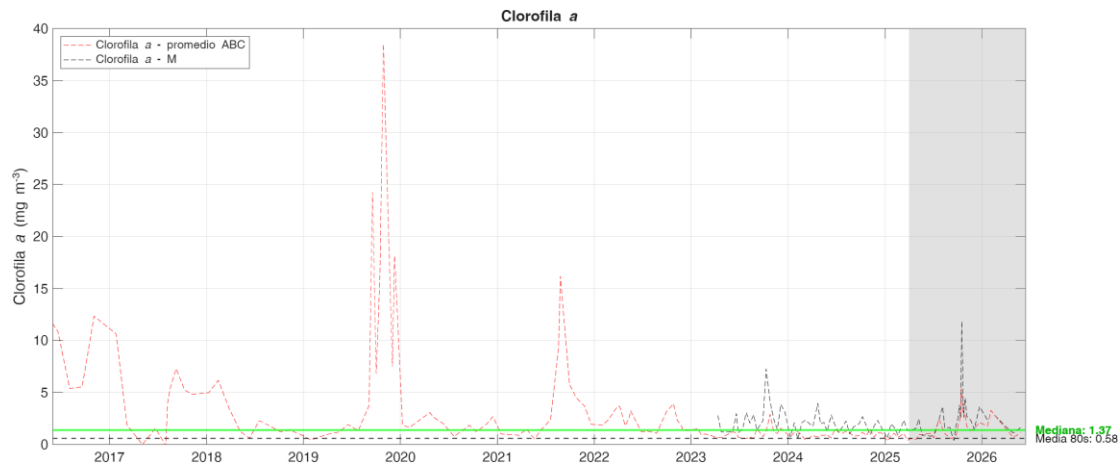


Figura 8: Datos de clorofila-a promedio en las estaciones A, B y C (línea roja, ver Figura 1) y en la estación M (línea negra) durante los muestreos in situ del proyecto DMMEM y BELICH desde 2016 (con el último periodo sombreado). Se incluye como indicador de referencia la media de la década de los 80 (línea horizontal discontinua) y la mediana de la serie (línea horizontal continua en color verde).

Durante el primer trimestre (invierno) de 2026, la concentración media de clorofila-a se situó en $2,4 \text{ mg/m}^3$ ($DE = 0,7 \text{ mg/m}^3$), un valor que duplica la mediana de la serie histórica desde 2016 y supera significativamente los registros de años precedentes (Figura 8 y Tabla 3, Anexo III; IEO-CSIC, 2026b). Los sensores de las boyas y landers del sistema de monitoreo registraron un pico máximo de concentración de $9,2 \text{ mg/m}^3$ el 14 de febrero, coincidiendo con un evento de fuertes vientos de componente noroeste que provocó una resuspensión de sedimentos del fondo que afectó de igual forma a la turbidez. Estos valores son especialmente llamativos si consideramos que los valores de clorofila-a suelen alcanzar sus mínimos anuales durante el invierno debido a la reducción de la irradiancia solar y de la temperatura del agua, factores que limitan la actividad fotosintética y el crecimiento del fitoplancton.

Desde finales de febrero, los niveles de clorofila-a han ido descendiendo hacia niveles más bajos respecto a los meses anteriores. En el periodo temporal que ocupa al presente informe, los valores promedio de clorofila medidos in situ para toda la laguna han sido de $1,05 \text{ mg/m}^3$ ($DE: 0,76 \text{ mg/m}^3$), con máximo de $1,64 \text{ mg/m}^3$ y mínimo de $0,55 \text{ mg/m}^3$ (Figura 9). A pesar del descenso de las concentraciones de clorofila-a registrado durante abril, mayo y la primera mitad de junio, los valores observados continúan situándose en niveles relativamente elevados para esta época del año. Este escenario implica que el sistema afronta el inicio del verano desde una situación de productividad fitoplanctónica superior a la habitual,

en un contexto de aumento de la temperatura del agua, elevada irradiación solar y estabilidad de la columna de agua.

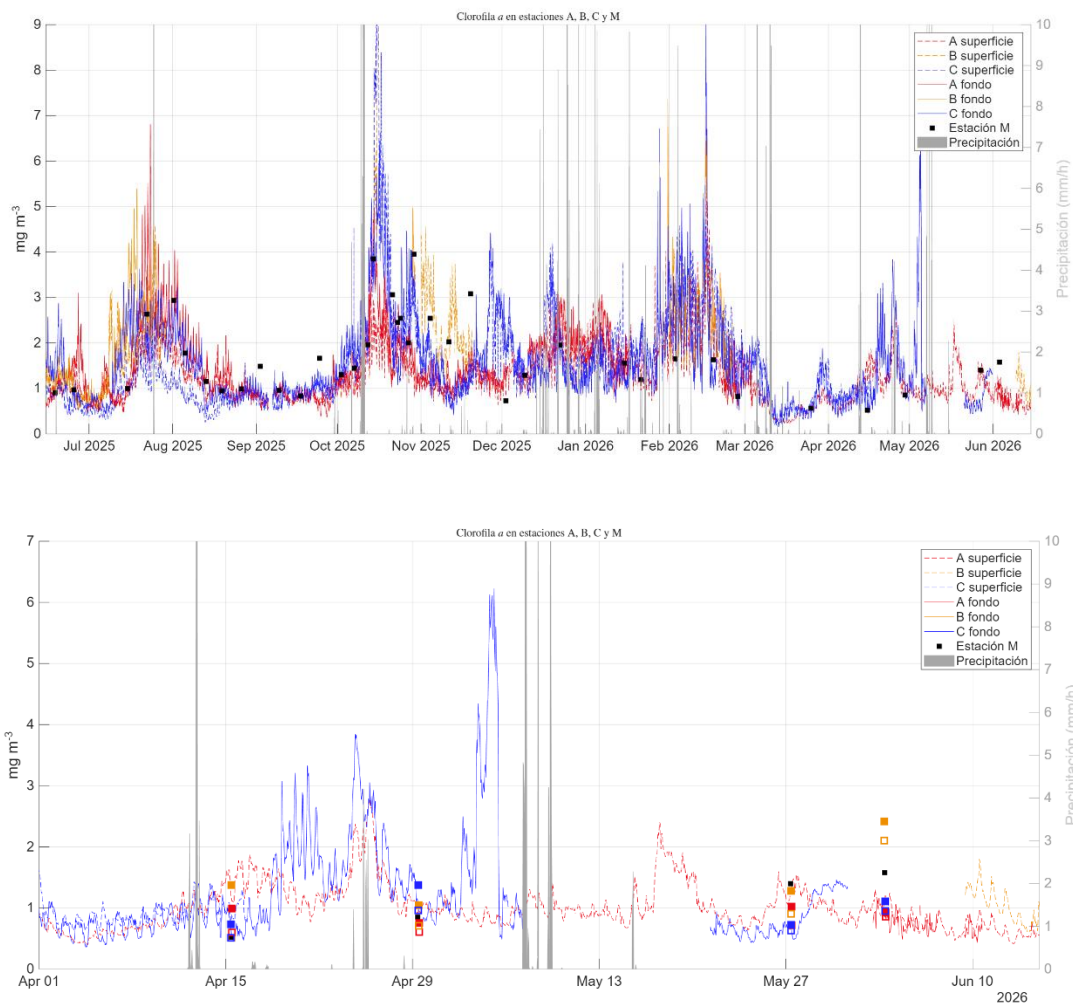


Figura 9: Series temporales de clorofila-a registradas por las boyas y landers de monitoreo continuo en las estaciones A (rojo), B (amarillo) y C (azul), distinguiendo superficie (línea discontinua) y fondo (línea continua) del periodo del presente informe. En gris se muestran las precipitaciones registradas por la estación meteorológica (Estación 4). En la parte superior se muestra la serie temporal del último año, y en la parte inferior el periodo del presente informe. Se muestran con un cuadrado los valores obtenidos en los muestreos in situ.

Observando la Figura 9, se aprecia que, en un contexto temporal más amplio (Figuras 8 y 10), la concentración de clorofila-a durante los meses de abril y mayo ha mantenido en general valores bajos, con una media de $1,06 \mu\text{g/L}$, situándose ligeramente por encima del percentil 25 ($0,96 \mu\text{g/L}$) y próxima a la mediana histórica ($1,23 \mu\text{g/L}$). En este entorno estadístico, y teniendo en cuenta que el valor mínimo del rango es de $0,36 \mu\text{g/L}$, se puede afirmar que la variable clorofila-a se encuentra en valores medios correspondientes a una abundancia fitoplanctónica baja-moderada.

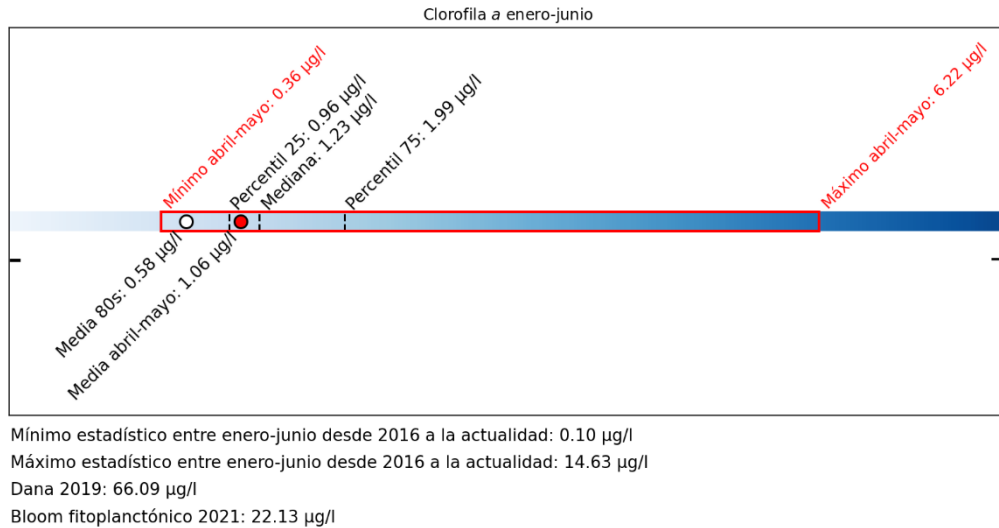


Figura 10: Indicador de clorofila-a obtenido de datos procedentes del sistema de monitorización oceanográfica. Se representan los descriptores estadísticos de datos actuales e históricos. Para su interpretación ver subapartado: Consideraciones para la interpretación de los indicadores (En: Marco de trabajo).

No obstante, se registró un incremento puntual y de corta duración entre los días 2 y 5 de mayo, durante el cual la clorofila en la estación C alcanzó valores máximos de hasta 6,22 µg/L. Este episodio no parece corresponder a un aumento real de biomasa fitoplanctónica, sino a un artefacto asociado a condiciones hidrodinámicas específicas. En esos días se registraron vientos persistentes de intensidad moderada con componente noreste-suroeste, que habrían favorecido la resuspensión de sedimentos en la cubeta sur, incrementando de forma simultánea la turbidez de la columna de agua y la disponibilidad de nutrientes en la columna de agua (Figura 11).

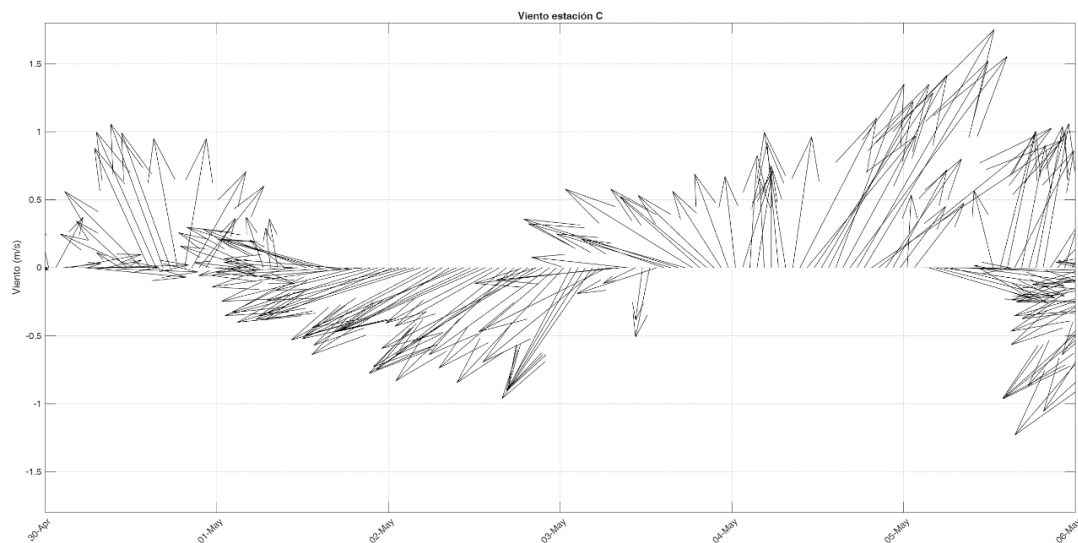


Figura 11: Velocidad (m/s) y dirección del viento medidos en la estación oceanográfica C.



3.4. Turbidez e irradiancia PAR

La turbidez constituye una variable ambiental clave en lagunas costeras dominadas por comunidades de macrófitos bentónicos, ya que condiciona directamente la disponibilidad de luz en la columna de agua y, por tanto, la distribución y el funcionamiento de estas comunidades. Además, en sistemas someros y con elevada interacción sedimento-agua, la turbidez actúa como un indicador sensible de procesos de resuspensión, hidrodinámica y estabilidad del sedimento, integrando tanto forzamientos físicos (viento, oleaje) como biogeoquímicos. Por ello, su seguimiento resulta esencial para interpretar adecuadamente la dinámica ecológica y la calidad ambiental de este tipo de ecosistemas.

Su interpretación se complementa con el coeficiente de atenuación de la luz (K_d), que cuantifica la pérdida exponencial de luz con la profundidad en la columna de agua y, por tanto, permite estimar de forma más precisa la transparencia del medio. Mientras la turbidez (medida en FTU) proporciona una medida indirecta de la materia en suspensión, el K_d integra el efecto combinado de partículas, fitoplancton y sustancias coloreadas disueltas sobre la penetración de la luz, y tiene una relación con la distribución vertical (en profundidad) de las comunidades de macrófitos bentónicos, por lo que es un parámetro más relevante y significativo para el estado del ecosistema lagunar. En conjunto, turbidez, K_d e I_z son indicadores complementarios que proporcionan una información bastante completa de las propiedades ópticas de la columna de agua y su relación con el estado del ecosistema.

Durante 2025, el Mar Menor experimentó un deterioro progresivo de la transparencia del agua (IEO-CSIC, 2026a), con unos valores altos y sostenidos del coeficiente de atenuación (K_d). El K_d pasó de valores medios de $0,3 \text{ m}^{-1}$ los primeros meses del año pasó a duplicarse en el último trimestre, lo que representó un cambio de aguas transparentes a aguas típicamente turbias (Figura 12).

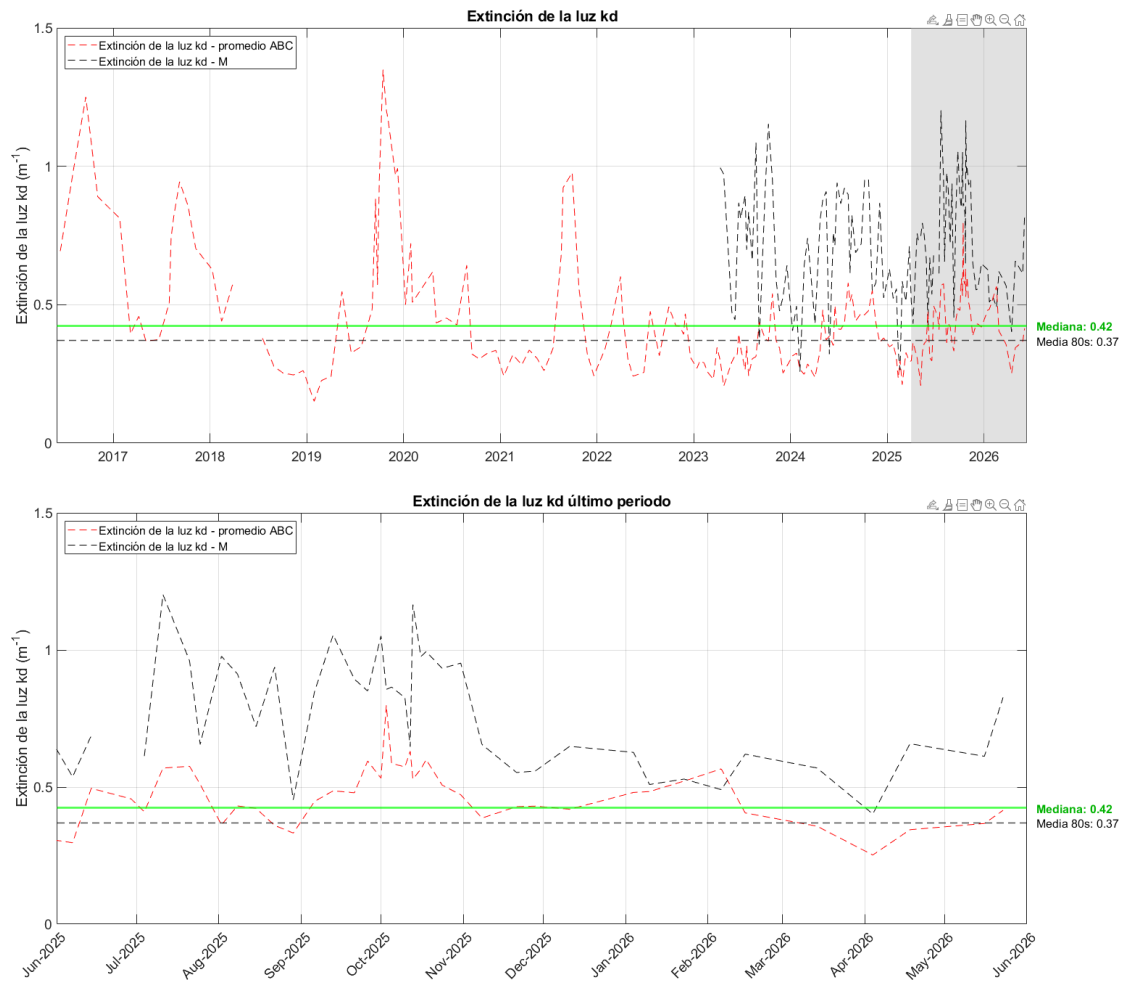


Figura 12: Coeficiente de extinción de la luz a partir de los datos obtenidos en los muestreos del proyecto DMMEM y BELICH. La línea roja discontinua muestra el promedio de las estaciones A, B, C (ver Figura 1), y la línea negra los valores de la estación M. En la parte superior se muestra la serie desde 2016 (con el último periodo sombreado) y en la parte inferior los registros detallados de ese último periodo. Se incluye como indicador de referencia la media de la década de los 80 (línea horizontal discontinua) y la mediana de la serie (línea horizontal continua en color verde).

Si bien a finales de 2025 se observó una cierta recuperación, el primer trimestre de 2026 estuvo marcado por un periodo de inestabilidad atmosférica, caracterizado por eventos frecuentes de resuspensión de sedimentos por acción del viento y aportes pluviales (IEO-CSIC, 2026b). Estos fenómenos, aunque de carácter puntual, generaron un efecto acumulativo que favoreció el desarrollo invernal fitoplanctónico (ver apartado previo) y una elevación de los valores medios de K_d ($0,51 \text{ m}^{-1}$) respecto a años anteriores (Tabla 4, Anexo III, Figura 12).

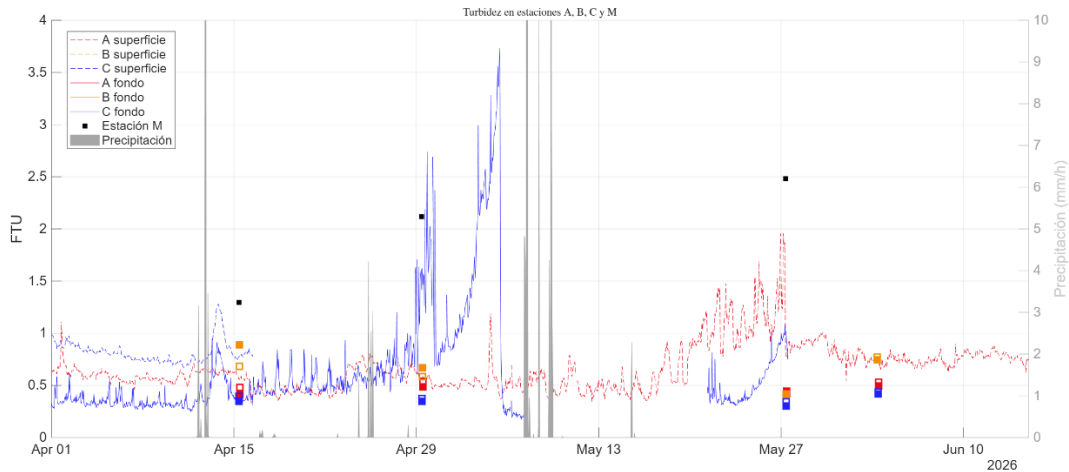


Figura 13: Series temporales de turbidez (en valores de FTU) registradas por las boyas y landers de monitoreo continuo en las estaciones A (rojo), B (amarillo) y C (azul), distinguiendo superficie (línea discontinua) y fondo (línea continua) del periodo del presente informe. En gris se muestran las precipitaciones registradas por la estación meteorológica (Estación 4). Se muestran con un cuadrado los valores obtenidos en los muestreos in situ.

No obstante, a partir de finales de febrero, la progresiva estabilización de las condiciones meteorológicas favoreció una mejora sostenida de la transparencia del agua, permitiendo que el periodo objeto de estudio finalizara con valores del coeficiente de atenuación de la luz (K_d) inferiores a los registrados en 2025. Tras la inestabilidad característica de los meses invernales, el inicio de la primavera consolidó un escenario de mayor calma hidrodinámica, reflejado en niveles de turbidez generalmente inferiores a 1,5 FTU durante la mayor parte del periodo analizado (Figura 13). Únicamente se registraron incrementos puntuales asociados a procesos de resuspensión de sedimentos en la cubeta sur, provocados por episodios persistentes de vientos moderados (véase apartado previo; Figura 11).

Esta reducción de la turbidez se tradujo en una disminución sostenida de K_d , que presentó un valor medio de $0,41 \text{ m}^{-1}$ ($DE = 0,09 \text{ m}^{-1}$) (Tabla 4, Anexo III), favoreciendo una mayor penetración de la radiación fotosintéticamente activa hacia el fondo lagunar. Como consecuencia, la disponibilidad de luz en el bentos (I_z) experimentó una recuperación notable en las estaciones A, B y C (Figura 12), alcanzando un valor medio del 14,86 % y superando frecuentemente el 18–20 % en condiciones de elevada estabilidad. Estos niveles se consideran óptimos para el mantenimiento y desarrollo de las comunidades de vegetación bentónica (Figura 14), lo que indica que, al menos durante este trimestre, las condiciones ambientales resultaron

favorables para los productores primarios bentónicos y para la consolidación de los procesos de recuperación ecológica observados en el sistema.

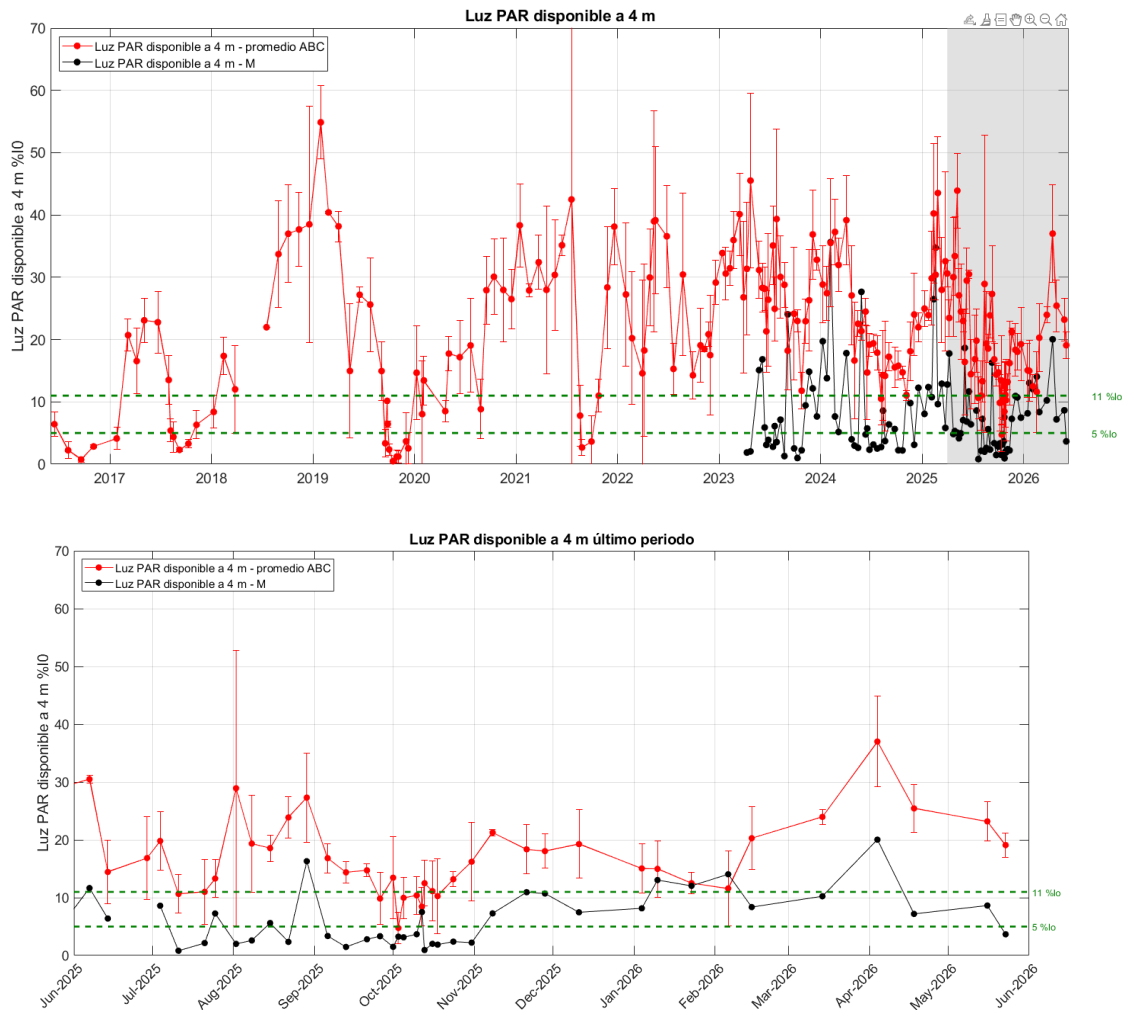


Figura 14: Evolución del porcentaje de radiación PAR que atraviesa la superficie y alcanza los 4 metros de profundidad. La línea roja muestra el promedio de la luz PAR que alcanza los 4 m en las estaciones A, B y C (ver Figura 1), mientras que la línea negra representa la estación M. Las líneas verdes discontinuas indican 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.

3.5. Oxígeno

El oxígeno disuelto es una de las variables más importantes para evaluar el estado ecológico de los ecosistemas acuáticos costeros, ya que integra el balance entre los procesos de producción y consumo de materia orgánica. Su concentración está estrechamente ligada a la actividad fotosintética, la respiración de los organismos, la descomposición de la materia orgánica y los procesos de intercambio con la atmósfera. En lagunas costeras someras y con intercambio limitado con el mar abierto, las fluctuaciones del oxígeno pueden ser especialmente acusadas, por lo

que su alteración puede derivar fácilmente en situaciones de estrés ecológico, desequilibrios metabólicos o episodios potenciales de hipoxia que puedan comprometer el funcionamiento del ecosistema y la supervivencia de las comunidades biológicas.

Tras los episodios de agotamiento de oxígeno registrados en 2025 en respuesta a la ola de calor y la DANA "Alice" (IEO-CSIC, 2026a), el sistema inició un proceso de recuperación que se consolidó durante el primer trimestre de 2026 (IEO-CSIC, 2026b). En este periodo, las concentraciones de oxígeno se mantuvieron estables y elevadas (media de 8,5 mg/L), superando la mediana histórica y situándose en niveles comparables a los registros de las décadas previas al colapso del ecosistema (Figura 15 y Tabla 5, Anexo III).



Figura 15: Series temporales de oxígeno disuelto promedio superficial (0,5 m; línea discontinua) y media del fondo (entre 4 y 6 m dependiendo de la estación; línea continua) a partir de los datos obtenidos en los muestreos del proyecto DMMEM y BELICH. La línea roja muestra el promedio de las estaciones A, B, C (ver Figura 1), y la línea negra los valores de la estación M. En la parte superior se muestra la serie desde 2016 (con el último periodo sombreado) y en la parte inferior los registros detallados de ese último

periodo. Se incluye como indicador de referencia la media de la década de los 80 (línea horizontal discontinua) y la mediana de la serie (línea horizontal continua en color verde).

Durante el periodo primaveral, la dinámica del oxígeno disuelto se ha caracterizado por una elevada estabilidad, registrándose valores medios de 8,54 mg/L (DE = 0,5) durante los meses de abril y mayo (Figura 16). Estos niveles reflejan unas condiciones de oxigenación favorables en el conjunto de la laguna, sin evidencias de episodios de déficit de oxígeno ni de una elevada variabilidad espacial o temporal. Asimismo, la ausencia de aportes continentales masivos, característicos de episodios de precipitación torrencial, ha limitado la entrada de nutrientes, materia orgánica y partículas en suspensión al sistema. En consecuencia, no se han producido procesos intensos de degradación biológica ni incrementos significativos de la demanda de oxígeno, minimizando el riesgo de descensos acusados en su concentración. La comparación con la serie temporal histórica (Figura 17) confirma que, pese al progresivo incremento de la temperatura asociado a la transición hacia el periodo estival, las concentraciones de oxígeno disuelto se han mantenido ampliamente por encima de los umbrales considerados de riesgo para la biota acuática. En conjunto, estos resultados evidencian una situación de estabilidad metabólica del ecosistema y unas condiciones de oxigenación compatibles con el adecuado funcionamiento de las comunidades biológicas durante el periodo analizado.

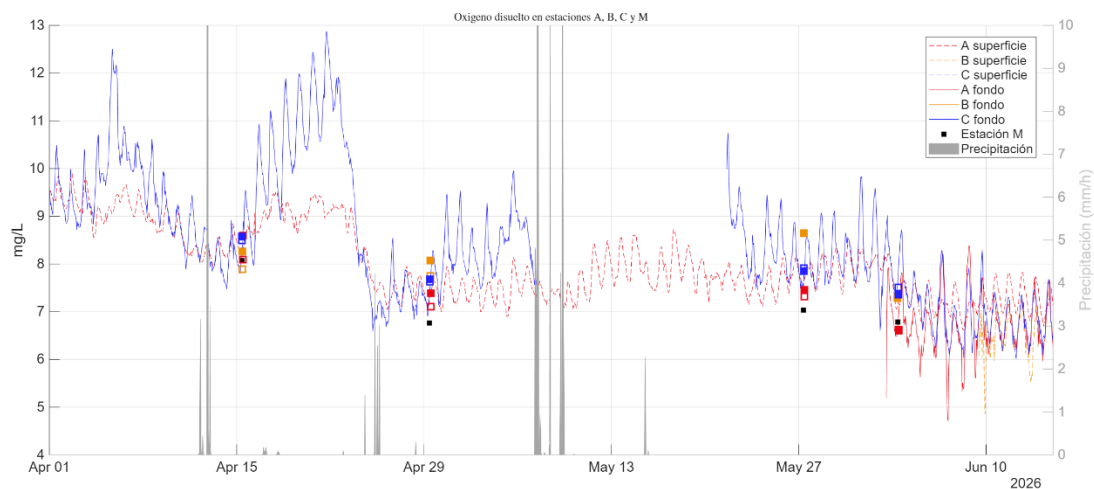
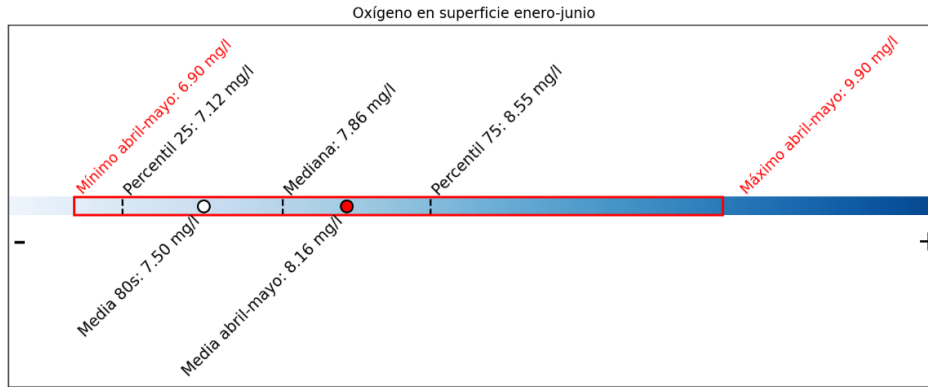
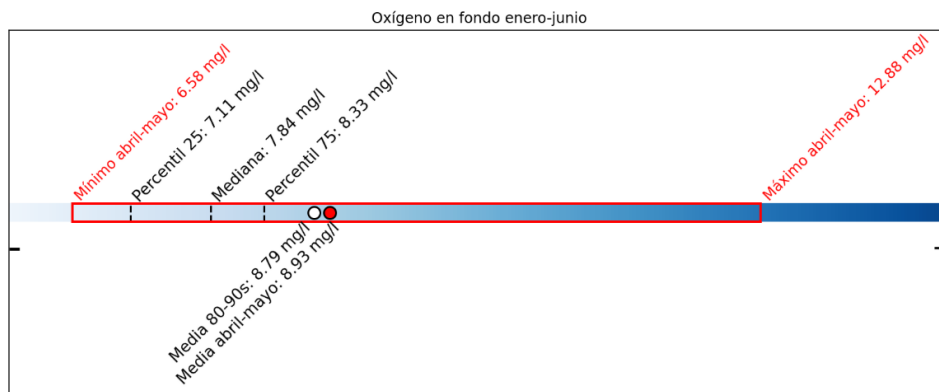


Figura 16: Series temporales de oxígeno disuelto registradas por las boyas y landers de monitoreo continuo en las estaciones A (rojo), B (amarillo) y C (azul), distinguiendo superficie (línea discontinua) y fondo (línea continua) del periodo del presente informe. En gris se muestran las precipitaciones registradas por la estación meteorológica (Estación 4).



Mínimo estadístico entre enero-junio desde 2016 a la actualidad: 5.54 mg/l
Máximo estadístico entre enero-junio desde 2016 a la actualidad: 18.60 mg/l
Bloom fitoplanctónico 2021: 4.50 mg/l



Mínimo estadístico entre enero-junio desde 2016 a la actualidad: 5.50 mg/l
Máximo estadístico entre enero-junio desde 2016 a la actualidad: 18.70 mg/l
Bloom fitoplanctónico 2021: 2.30 mg/l
Dana 2019: 0.26 mg/l

Figura 17: Indicador de oxígeno disuelto obtenido de datos procedentes del sistema de monitorización oceanográfica. Se representan los descriptores estadísticos de datos actuales e históricos. Para su interpretación ver subapartado: Consideraciones para la interpretación de los indicadores (En: Marco de trabajo).

3.6. pH

El pH es una variable fundamental y muy fuertemente regulada en los ecosistemas acuáticos, del que dependen numerosos procesos biogeoquímicos y el metabolismo de los organismos. En lagunas como el Mar Menor con tiempos de residencia del agua muy elevados, el pH puede verse sujeto a variaciones relacionadas con la actividad fotosintética o con los efectos acumulativos de compuestos químicos susceptibles de alterar los componentes que determinan el pH (p.e. alcalinidad, carbonatos, CO₂). Un cambio del pH del ecosistema puede representar, por tanto, una alteración particularmente relevante del estado y funcionamiento del ecosistema.

En este contexto, el incremento sostenido de los valores de pH observado desde 2016 sugiere una progresiva intensificación de las condiciones alcalinas del sistema. Sin embargo, durante la segunda mitad de 2025, el sistema experimentó una transición desde valores próximos a 8,6 hacia niveles de 8,2 (Figura 18), un descenso vinculado a los procesos de senescencia y degradación de los blooms fitoplanctónicos acontecidos y a la consiguiente remineralización de materia orgánica, que favorece la acidificación del medio por acumulación de CO₂ (IEO-CSIC, 2026a). A inicios de 2026, el sistema inició una fase de recuperación, estabilizando sus valores medios en torno a 8,4 hacia finales del primer trimestre (IEO-CSIC, 2026b), lo cual marca la pauta de estabilidad química (también mostrada en las demás variables de estudio) que se analiza en el presente periodo primaveral (Figura 18).



Figura 18: Valores de pH promedio en las estaciones A, B y C (líneas rojas) y en la estación M de la mancha blanca (líneas negras) (ver Figura 1). Se muestran los valores medios obtenidos en la capa superficial (0,5 m; línea discontinua) y en el fondo (línea continua). En la parte superior se muestra la serie



temporal completa desde 2016 y en la parte inferior los registros del periodo enero-marzo de 2026 (zona sombreada en el gráfico superior). La línea discontinua de color negro representa la tendencia del pH.

Tras el periodo de acidificación descrito en 2025, a partir de marzo de 2026 se produce una tendencia creciente y consistente del pH, hasta valores actuales de 8,76, que son los máximos alcanzados en la serie temporal (Figura 18; Tabla 6, Anexo III). En consecuencia, se mantiene y refuerza la tendencia creciente de esta variable observada desde 2016 (2016). Las causas del aumento del pH en la laguna como se ha comentado son complejas y forma parte de los retos de conocimiento a los que los científicos de éste y otros equipos se encuentran enfrentándose en la actualidad. Dilucidar el mecanismo por el que aumenta el pH en la laguna es prioritario ya que puede estar muy relacionado con el proceso general de deterioro del Mar Menor y de fenómenos concretos como la mancha blanca (ver siguiente apartado).

Ante la persistencia del incremento del pH observado en los últimos años y la complejidad de los procesos que regulan esta variable, se ha impulsado una línea de trabajo específica orientada a mejorar la comprensión de los mecanismos físicos, químicos y biológicos implicados. Este enfoque multidisciplinar busca esclarecer las causas de esta tendencia y evaluar sus implicaciones sobre el funcionamiento biogeoquímico y la evolución ecológica del ecosistema.

3.7. Mancha blanca

Desde comienzos de 2022, el Mar Menor presenta un fenómeno conocido localmente como “mancha blanca”, caracterizado por la presencia persistente de una coloración blanquecina de la columna de agua en el sector occidental de la laguna. Este proceso, asociado a episodios de precipitación de carbonato cálcico (whiting events), se ha mantenido de forma prácticamente continua durante cerca de cuatro años, convirtiéndose en uno de los cambios más relevantes observados recientemente en la dinámica biogeoquímica del ecosistema. Su persistencia temporal y extensión espacial sugieren que no se trata de un episodio puntual, sino de una nueva condición del sistema cuya evolución y factores desencadenantes continúan siendo objeto de investigación.

El fenómeno de precipitación masiva de carbonato cálcico, caracterizado por una turbidez extrema que limita drásticamente la irradiancia en el fondo y, por consiguiente, la supervivencia de la vegetación bentónica, parece presentar una estrecha relación con las dinámicas de descarga del acuífero (IEO-CSIC, 2026a).

Durante el primer trimestre de 2026, la superficie ocupada por la mancha blanca experimentó una expansión notable, alcanzando áreas superiores a los 50 km², en contraste con los 11 km² registrados en el periodo 2022-2025 (IEO-CSIC, 2026b). Sin embargo, durante el presente periodo primaveral de 2026, la extensión de la mancha blanca ha sufrido una importante disminución, tal y como se observa en la Figura 19. Este retroceso en la superficie afectada marca un punto de inflexión respecto a la anterior tendencia expansiva. El análisis de esta expansión y posterior reducción sugiere una interacción compleja entre los componentes de respuesta rápida y lenta del acuífero (estaciones SM13 y PA 12279), si bien los factores determinantes de su persistencia siguen siendo objeto de estudio. Por otro lado, la gráfica de la figura 19 se refiere a la situación hasta el 15 de junio. Si tenemos en cuenta nuevas imágenes posteriores (Figura 20), parece que, a pesar de las fluctuaciones, la forma expandida de la mancha podría ser bastante más estable de lo que parece.

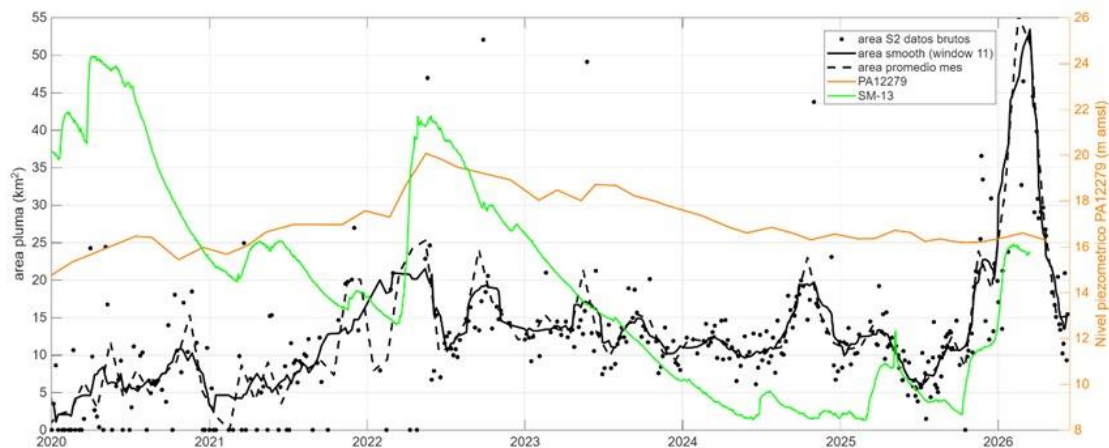


Figura 19: Evolución de la extensión de la mancha blanca (km²; puntos y línea negra) determinada mediante el índice BG a partir de imágenes de satélite (Oosterbaan et al. 2025). Los puntos negros corresponden al tamaño de la mancha para cada imagen satelital, la línea negra discontinua el promedio mensual y la línea continua el promedio suavizado (se promedia haciendo uso de las cinco imágenes anteriores y posteriores). Las líneas de color verde y naranja indican el nivel piezométrico (m) en distintas localidades de la Confederación Hidrográfica del Segura.

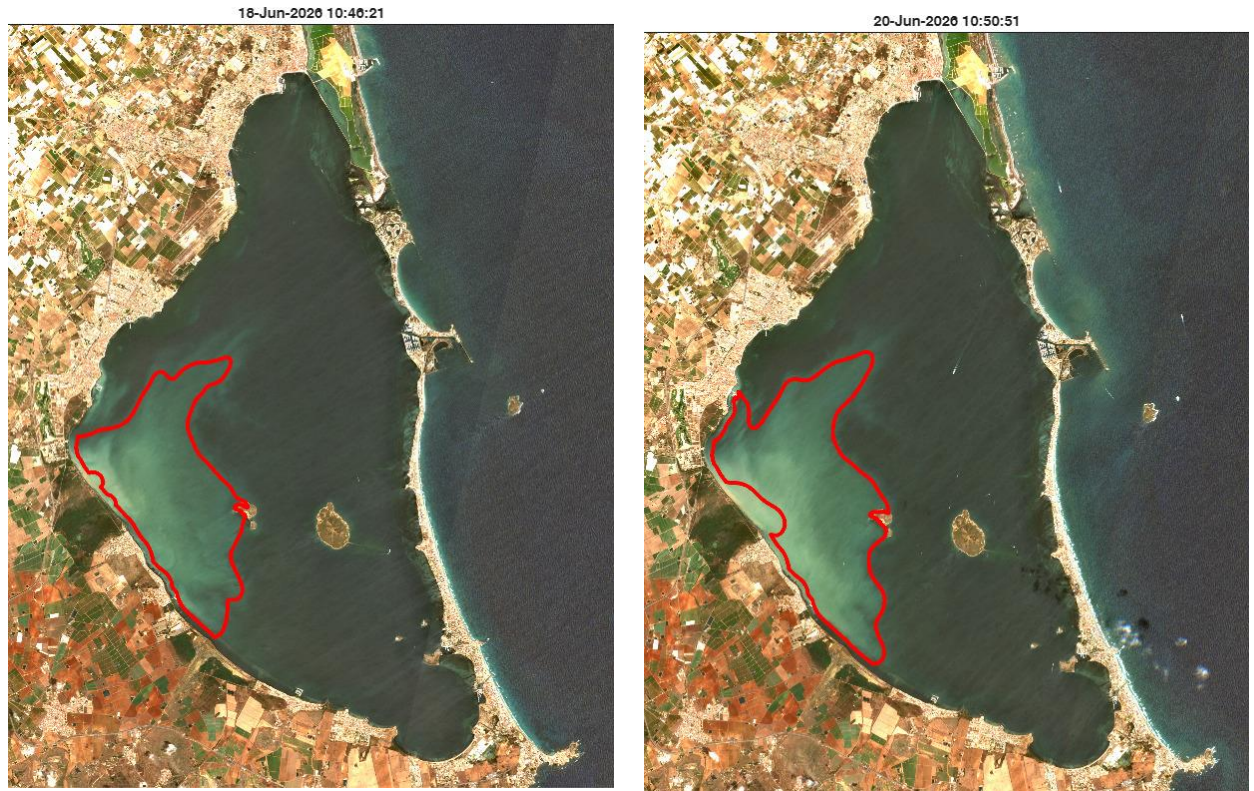


Figura 20: Extensión actual de la mancha blanca los días 18 y 20 de junio de 2026.

De las imágenes de los días 18 y 20 de junio se comprueba que la superficie de la mancha no llega a ser tan grande como a principios de este año, pero es actualmente mucho mayor que su forma original descrita. Concretamente, la mancha ocupa una superficie de 23,6 km², algo más del doble que su superficie inicia en 2022. Cambios en el nivel del freático o incluso el calentamiento del agua podrían estar detrás de estas variaciones, pero los factores y mecanismos detrás de este fenómeno y su dinámica están todavía por determinar.

Esta dinámica expansiva de la mancha es bastante preocupante debido a sus demostrados efectos negativos sobre las comunidades biológicas del fondo, que conlleva la pérdida parcial o total de la pradera marina y un deterioro muy significativo de la biodiversidad bentónica. Por tanto, de continuar esta dinámica expansiva podría conducir al ecosistema lagunar a un nuevo episodio de colapso.



Dada la complejidad del fenómeno y su potencial para agravar el estado del ecosistema lagunar (*Oosterbaan et al. 2025*), se ha constituido un equipo de trabajo multidisciplinar que integra expertos en hidrogeología, oceanografía, ecología, microbiología y biogeoquímica. El objetivo fundamental de esta colaboración es avanzar en la comprensión de los mecanismos de origen del whiting para diseñar estrategias de mitigación efectivas basadas en una visión integral de la laguna y su cuenca vertiente.



4. Síntesis y conclusiones



Fotografía OLAS



La evolución de las variables físico-químicas registradas durante la primavera de 2026 en el Mar Menor pone de manifiesto un sistema que, tras un periodo de elevada inestabilidad durante los meses invernales, el sistema ha mostrado una tendencia hacia un estado de mayor estabilidad y condiciones normales, a excepción del pH, que continua con su tendencia de aumento en la laguna.

Fuera del área ocupada por la mancha blanca, los valores de clorofila-a han descendido en la laguna respecto a los valores elevados del primer trimestre de 2026, relacionados con los efectos de las precipitaciones y la resuspensión de sedimentos. Esta tendencia descendente de la clorofila y la turbidez se ha reflejado en un incremento significativo de la disponibilidad de irradiancia en el fondo lo que favorece el crecimiento y desarrollo de las praderas marinas.

En conjunto, la dinámica observada durante el trimestre primaveral evidencia unas buenas condiciones físico-químicas del sistema reflejo de las condiciones de mayor estabilidad meteorológica en primavera. Con la transición hacia el periodo estival los esfuerzos de monitorización deben poner especial atención a la aparición de anomalías térmicas que puedan derivar en olas de calor, cuyo potencial para activar procesos de desarrollo explosivos del fitoplancton y causar el agotamiento del oxígeno a niveles críticos ha sido puesto en evidencia por el sistema de monitorización del IEO-CSIC en verano de 2025 (IEO-CSIC 2026a). En base a los índices climáticos globales, el riesgo de ola de calor en la zona mediterránea del Levante español es muy elevado, por lo que se prestará especial atención al análisis de anomalías térmicas (y de otras variables) a partir de los datos en continuo proporcionados en tiempo casi real por boyas y landers del sistema de monitorización del IEO-CSIC

La expansión de la mancha blanca y sus efectos en el ecosistema lagunar es uno de los aspectos que suscita mayor preocupación a los equipos científicos y gestores, siendo actualmente la investigación de sus causas uno de los principales retos que es necesario resolver. Para ello la colaboración entre grupos de investigación multidisciplinar ya que pueden estar implicados procesos a niveles muy diferentes del ecosistema, tanto en laguna como en cuenca.



5. Bibliografía

- 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.
- 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 (2026a). Informe de resultados del sistema de monitorización oceanográfica del Mar Menor: síntesis 2025. Proyecto BELICH: Monitorización, Estudio y Modelización del Mar Menor (MAPMM-MITECO). IEO-CSIC. <https://belich.ieo.csic.es/publicaciones/>
- IEO-CSIC (2026b). Informe de resultados del sistema de monitorización oceanográfica del Mar Menor: Marzo 2026. Proyecto BELICH: Monitorización, Estudio y Modelización del Mar Menor (MAPMM-MITECO). IEO-CSIC. <https://belich.ieo.csic.es/publicaciones/>
- 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.
- Mercado, J. M., Yebra, L., Gómez-Jakobsen, F., García-Gómez, C., Salles, S., Ouaisa, S., & Ferrera, I. (2023). Biodiversity of protists in coastal areas of the Mediterranean Sea affected by nutrient pollution. ASLO meeting, Palma de Mallorca, June 2023.
- Nardelli, B. B., Tronconi, C., Pisano, A., & Santoleri, R. (2013). High and ultra-high resolution processing of satellite Sea Surface Temperature data over Southern European Seas in the framework of MyOcean project. *Remote Sensing of Environment*, 129, 1-16.
- 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.

6. Anexos



Fotografía J. Murcia

6.1. Anexo I: Estaciones de monitorización BELICH

Configuración boya con lander

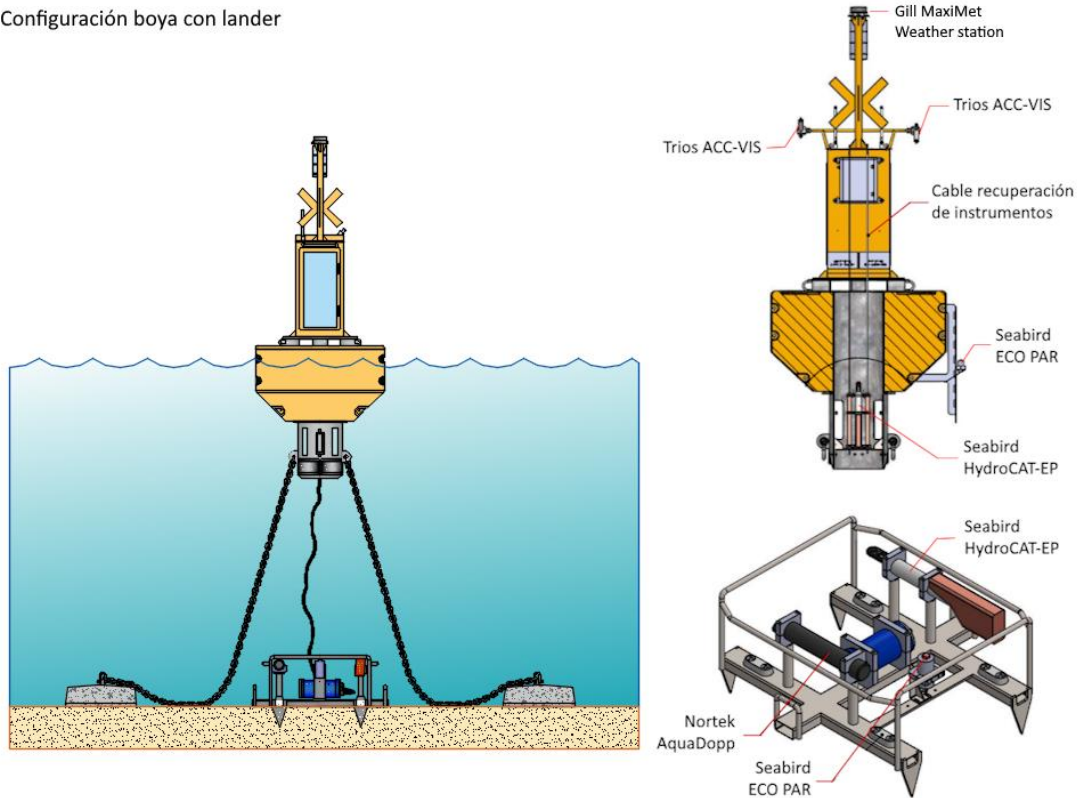


Figura 20: Esquema boya y lander (fondeo) de las estaciones de monitorización A, B, y C. Las estaciones de Estacio y Marchamalo (5 y 6) solo tienen la parte profunda (lander).

La Figura 20 muestra el esquema de los sensores instalados en las estaciones de monitorización BELICH (Figura 1). Las estaciones de El Estacio y Marchamalo (5 y 6) están equipadas con landers (fondeos), debido a la presencia de tráfico marítimo en estos canales, mientras que las estaciones A, B y C tienen sendas boyas oceanográficas en la superficie.

Las estaciones han sido diseñadas para obtener datos de alta resolución temporal, tanto de aguas superficiales como profundas, con el objetivo de identificar episodios de estratificación en la columna de agua. La boya incorpora una unidad central de procesamiento (data logger) CR100x de Campbell Scientific, que se encarga de registrar y transmitir datos de los diferentes tipos de sensores en tiempo real.



Tanto la boya como el lander están equipados con un sensor Seabird HydroCAT-EP, capaz de medir oxígeno disuelto, temperatura, salinidad, concentración de clorofila, ph y turbidez. Además, la boya cuenta con una estación meteorológica (Gill MaxiMet Weather Station), que proporciona información sobre la dirección y velocidad del viento, temperatura del aire, humedad e irradiancia solar. Por su parte, el lander incorpora también un sensor AquaDopp, que mide la velocidad y dirección de la corriente a diferentes profundidades.

Finalmente, la boya de la Estación B incluye además dos sensores Seabird ECO-PAR (en superficie y fondo) y 3 Trios (dos tipos ARC y uno tipo ACC). Los sensores PAR permiten medir la radiación fotosintéticamente activa (PAR) tanto sub-superficial como en el fondo, mientras que los sensores Trios proporcionan mediciones de radiancia e irradiancia solar.

La Figura 21 muestra el esquema de los sensores instalados en la estación de monitorización 4, en el puerto de San Pedro del Pinatar. La estación mide con alta resolución el nivel del mar con un mareógrafo, y también la radiación y factores meteorológicos como el viento, la temperatura y las precipitaciones.

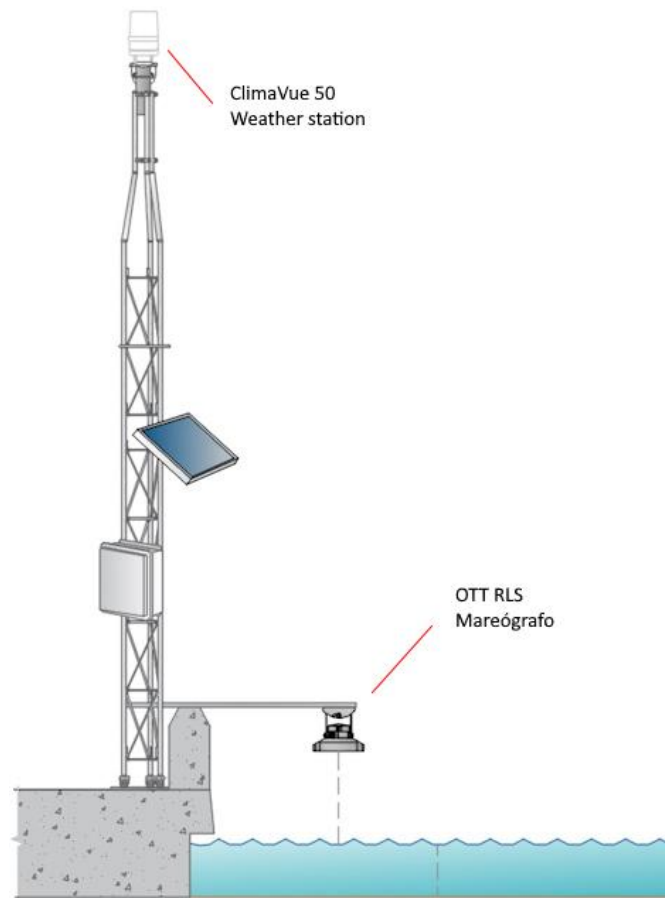


Figura 21: Esquema de los sensores instalados en la estación 4 en el puerto de San Pedro del Pinatar.



6.2. Anexo II: Metodología

6.2.1. 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).
- Enero de 2025 – actualidad: Empleo de sensores en las boyas oceanográficas del proyecto BELICH (Sensores de temperatura de la sonda multiparamétrica Seabird HydroCAT-EP). Estos sensores proporcionan datos de temperatura a 2 profundidades (superficie y fondo) en continuo (cada 10 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.

6.2.2. 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).
- Enero de 2025 – actualidad: Empleo de sensores en las boyas oceanográficas del proyecto BELICH (Sensores de clorofila de la sonda multiparamétrica Sea-bird HydroCAT-EP). Estos sensores proporcionan datos de temperatura a 2 profundidades (superficie y fondo) en continuo (cada 10 minutos) y en tiempo casi real. 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.



6.2.3. 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 (%lo) (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).
- Enero de 2025 – actualidad: Empleo de sensores en las boyas oceanográficas del proyecto BELICH (Sensores de turbidez de la sonda multiparamétrica Seabird HydroCAT-EP). Estos sensores proporcionan datos de temperatura a 2 profundidades (superficie y fondo) en continuo (cada 10 minutos) y en tiempo casi real. 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 en superficie. 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.

6.2.4. 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).

Enero de 2025 – actualidad: Empleo de sensores en las boyas oceanográficas del proyecto BELICH (Sensores de oxígeno disuelto de la sonda multiparamétrica Sea-bird HydroCAT-EP). Estos sensores proporcionan datos de temperatura a 2 profundidades (superficie y fondo) en continuo (cada 10 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.

6.2.5. 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.

6.3. Anexo III: Tablas valores históricos

Tabla 1: Valores medios, mínimos (Mín) y máximos (Máx) de temperatura por año en superficie (0,5m) y fondo (4-6m dependiendo de la estación) (Invierno: ene-mar, Primavera: abr-jun; Verano: jul-sep; Otoño: oct-dic). (Figura 1), medidos durante los muestreos in situ DMMEM. DE: desviación estándar.

Tª (°C)		Superficie				Fondo			
Año	Estación	Media	DE	Mín	Máx	Media	DE	Mín	Máx
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	---	---	---	---	---	---	---	---
2017	Invierno	13,2	3,7	10,5	15,8	14,0	2,7	12,1	16,0
	Primavera	22,9	6,1	18,5	29,8	22,8	6,1	18,3	29,7
	Verano	29,1	1,9	27,7	30,4	29,0	2,1	27,5	30,5
	Otoño	22,3	4,6	19,0	25,5	22,3	4,6	19,0	25,5
	Anual	22,0	6,8	10,5	30,4	22,1	6,5	12,1	30,5
2018	Invierno	13,0	1,5	12,1	14,7	13,0	1,6	11,8	14,8
	Primavera	23,1	2,5	21,3	24,9	23,4	2,0	22,0	24,8
	Verano	28,9	0,1	28,8	29,0	29,0	0,6	28,5	29,4
	Otoño	18,7	6,3	13,7	25,8	18,9	5,8	14,2	25,4
	Anual	19,9	6,8	12,1	29,0	20,0	6,8	11,8	29,4
2019	Invierno	13,1	1,8	11,8	14,4	13,8	1,3	12,9	14,8
	Primavera	21,6	4,2	16,8	24,6	21,6	3,9	17,2	24,6
	Verano	27,0	1,5	25,7	28,7	26,4	2,0	24,6	28,6
	Otoño	21,1	4,5	13,9	26,0	20,1	4,7	13,8	25,2
	Anual	22,1	5,5	11,8	28,7	21,8	5,3	12,9	28,6
2020	Invierno	14,2	0,9	13,5	15,2	13,9	1,3	13,0	15,4
	Primavera	22,5	4,7	19,1	25,8	22,0	4,4	18,9	25,1
	Verano	28,5	1,6	27,1	30,2	28,5	1,6	27,0	30,2
	Otoño	18,1	4,3	13,2	21,4	18,3	4,2	13,5	21,6
	Anual	20,7	6,3	13,2	30,2	20,6	6,3	13,0	30,2
2021	Invierno	13,9	3,3	10,1	16,2	13,8	3,1	10,2	15,8
	Primavera	22,5	4,1	17,9	25,9	22,4	4,0	18,0	25,8
	Verano	28,3	1,6	26,0	29,5	28,1	1,5	26,2	29,8
	Otoño	16,7	4,4	12,9	21,4	16,7	4,3	12,9	21,4
	Anual	20,9	6,7	10,1	29,5	20,8	6,5	10,2	29,8
2022	Invierno	14,1	1,7	12,2	15,4	14,1	1,8	12,1	15,4
	Primavera	21,0	5,3	13,3	26,8	21,1	5,1	13,7	26,7
	Verano	28,3	2,7	25,3	30,3	28,3	2,8	25,2	30,4
	Otoño	18,7	3,7	15,3	23,7	18,5	3,7	15,3	23,7
	Anual	20,4	5,8	12,2	30,3	20,3	5,8	12,1	30,4
2023	Invierno	14,4	3,4	10,6	19,4	14,3	3,3	10,6	19,4
	Primavera	24,1	3,3	19,8	28,6	24,1	3,3	19,7	28,6
	Verano	29,4	2,1	25,8	31,2	29,4	2,2	25,6	31,2
	Otoño	18,3	4,5	13,2	25,6	18,5	4,4	13,2	25,6



	Anual	21,9	6,6	10,6	31,2	21,9	6,6	10,6	31,2
2024	Invierno	13,9	1,7	11,5	16,2	13,8	1,6	11,6	16,1
	Primavera	22,2	3,5	17,0	26,1	22,2	3,6	16,9	26,3
	Verano	29,1	1,9	25,3	31,0	29,1	1,8	25,4	30,8
	Otoño	19,5	4,1	13,0	25,0	19,5	4,1	13,0	25,0
	Anual	22,0	6,1	11,5	31,0	22,0	6,1	11,6	30,8
2025	Invierno	14,3	1,7	12,1	16,4	14,2	1,7	12,1	16,3
	Primavera	23,3	3,7	17,6	29,1	23,2	3,7	17,5	28,9
	Verano	28,9	1,4	25,9	30,7	28,9	1,4	25,9	30,9
	Otoño	21,1	3,5	13,3	24,4	21,1	3,5	13,2	24,4
	Anual	22,5	5,6	12,1	30,72	22,4	5,6	12,1	30,9
2026	Invierno	12,8	1,3	11,6	14,9	12,7	1,3	11,5	14,8
	Primavera*	22,4	3,8	18,2	26,5	22,3	3,9	17,9	26,5
	Anual*	17,0	5,3	11,6	26,5	16,9	5,3	11,5	26,5

*Hasta 15/06/26

Tabla 2 Valores medios, mínimos (Mín) y máximos (Máx) de salinidad por año en superficie (0,5m) y fondo (4-6m dependiendo de la estación) (Invierno: ene-mar, Primavera: abr-jun; Verano: jul-sep; Otoño: oct-dic). (Figura 1), medidos durante los muestreos in situ DMMEM. DE: desviación estándar.

Salinidad (-)		Superficie				Fondo			
Año	Estación	Media	DE	Mín	Máx	Media	DE	Mín	Máx
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	---	---	---	---	---	---	---	---
2017	Invierno	45,3	1,5	43,6	46,5	45,3	1,5	43,6	46,4
	Primavera	40,1	1,2	39,3	41,0	41,0	0,1	40,9	41,0
	Verano	42,0	1,0	41,1	43,1	42,0	1,0	41,2	43,1
	Otoño	44,5	0,3	44,3	44,7	44,6	0,2	44,5	44,7
	Anual	44,6	0,0	44,5	44,6	44,6	0,1	44,5	44,7
2018	Invierno	42,7	2,0	39,3	44,7	42,9	1,7	40,9	44,7
	Primavera	43,4	0,2	43,2	43,6	43,5	0,5	43,2	44,1
	Verano	44,2	0,6	43,9	44,6	44,3	0,6	43,9	44,7
	Otoño	46,3	0,7	45,7	46,8	46,0	0,5	45,7	46,4
	Anual	45,7	0,9	44,7	46,5	45,9	0,9	44,9	46,7
2019	Invierno	44,8	1,3	43,2	46,8	44,9	1,3	43,2	46,7
	Primavera	44,2	0,1	44,1	44,3	44,3	0,1	44,3	44,3
	Verano	43,8	0,5	43,4	44,4	43,8	0,5	43,4	44,4
	Otoño	40,4	5,2	33,9	46,1	43,8	2,2	40,6	46,2
	Anual	39,8	0,5	39,1	40,3	40,9	1,3	39,5	42,9
2020	Invierno	41,4	3,4	33,9	46,1	42,9	2,0	39,5	46,2
	Primavera	38,7	0,6	38,3	39,3	39,1	0,5	38,5	39,5
	Verano	38,3	0,4	38,1	38,6	38,6	0,4	38,3	38,9
	Otoño	41,5	0,8	40,5	42,1	41,5	0,9	40,5	42,2



	Anual	42,4	0,4	42,0	42,6	42,6	0,1	42,5	42,6
2021	Invierno	40,4	1,9	38,1	42,6	40,6	1,8	38,3	42,6
	Primavera	41,4	0,5	40,8	41,8	41,5	0,6	40,8	41,9
	Verano	41,0	0,2	40,8	41,2	41,0	0,2	40,8	41,2
	Otoño	42,6	0,6	42,2	43,5	43,0	0,5	42,3	43,4
	Anual	42,9	0,4	42,6	43,3	42,9	0,4	42,6	43,4
2022	Invierno	42,0	0,9	40,8	43,5	42,2	1,0	40,8	43,4
	Primavera	41,3	1,4	39,8	42,3	41,4	1,2	40,0	42,4
	Verano	39,6	0,8	39,1	40,9	39,7	0,6	39,3	40,8
	Otoño	42,5	0,5	42,0	42,9	42,6	0,6	41,9	43,1
	Anual	42,1	0,4	41,4	42,4	42,2	0,4	41,6	42,6
2023	Invierno	41,2	1,4	39,1	42,9	41,4	1,4	39,3	43,1
	Primavera	41,4	0,1	41,2	41,5	41,4	0,1	41,2	41,5
	Verano	42,2	0,3	41,8	42,6	42,3	0,3	41,8	42,6
	Otoño	43,6	0,6	42,9	44,5	43,7	0,6	42,9	44,5
	Anual	44,6	0,1	44,4	44,9	44,7	0,1	44,5	44,9
2024	Invierno	43,6	0,2	43,4	43,9	43,8	0,3	43,4	44,3
	Primavera	43,8	0,3	43,3	44,2	43,9	0,3	43,6	44,3
	Verano	44,9	0,4	44,3	45,4	45,1	0,4	44,4	45,6
	Otoño	44,8	0,6	44,2	45,6	45,0	0,7	44,4	45,8
	Anual	44,3	0,7	43,3	45,6	44,5	0,8	43,4	45,8
2025	Invierno	42,8	0,6	41,8	43,4	43,0	0,6	41,9	43,7
	Primavera	42,4	0,4	41,89	43,1	42,5	0,4	41,9	43,1
	Verano	44,2	0,6	43,0	45,0	44,3	0,5	43,2	45,1
	Otoño	43,2	0,7	42,4	45,0	43,5	0,6	43,1	45,1
	Anual	43,2	0,9	41,8	45,0	43,4	0,9	41,9	45,1
2026	Invierno	40,9	0,2	40,6	41,1	41,0	0,2	40,9	41,2
	Primavera*	41,0	0,1	40,8	41,2	41,0	0,1	40,9	41,2
	Anual*	40,9	0,2	40,5	41,2	41,0	0,2	40,5	41,2

* Hasta 15/06/26

Tabla 3 Valores medios, mínimos (Mín) y máximos (Máx) de clorofila-a por año en superficie (0,5m) y fondo (4-6m dependiendo de la estación) (Invierno: ene-mar, Primavera: abr-jun; Verano: jul-sep; Otoño: oct-dic). (Figura 1), medidos durante los muestreos in situ DMMEM. DE: desviación estándar.

Clorofila-a (mg/m ³)		4 m profundidad			
Año	Estación	Media	DE	Mín	Máx
2016	Invierno	---	---	---	---
	Primavera	---	---	---	---
	Verano	5,46	0,11	5,38	5,54
	Otoño	12,33	0,00	12,33	12,33
	Anual	---	---	---	---
2017	Invierno	6,24	6,20	1,86	10,63
	Primavera	0,77	1,10	0,00	1,55
	Verano	4,15	3,13	0,00	7,27
	Otoño	5,02	0,28	4,83	5,22



	Anual	4,07	3,37	0,00	10,63
2018	Invierno	4,86	1,36	3,45	6,16
	Primavera	0,92	0,44	0,61	1,23
	Verano	2,01	0,39	1,74	2,29
	Otoño	1,18	0,19	0,98	1,35
	Anual	2,40	1,87	0,61	6,16
2019	Invierno	0,55	0,18	0,42	0,69
	Primavera	1,36	0,49	0,97	1,91
	Verano	9,77	12,59	1,31	24,24
	Otoño	20,00	13,02	6,84	38,52
	Anual	11,03	12,87	0,42	38,52
2020	Invierno	1,74	0,16	1,62	1,86
	Primavera	2,56	0,54	1,99	3,06
	Verano	1,35	0,54	0,78	1,85
	Otoño	1,91	0,72	1,24	2,67
	Anual	1,91	0,67	0,78	3,06
2021	Invierno	0,94	0,06	0,87	1,00
	Primavera	1,15	0,53	0,53	1,49
	Verano	8,43	5,89	2,39	16,16
	Otoño	3,37	1,30	1,93	4,48
	Anual	3,85	4,47	0,53	16,16
2022	Invierno	2,64	0,96	1,86	3,71
	Primavera	2,49	0,99	1,22	3,61
	Verano	1,82	1,13	1,07	3,12
	Otoño	2,17	1,05	1,34	3,91
	Anual	2,29	0,97	1,07	3,91
2023	Invierno	1,00	0,30	0,71	1,50
	Primavera	1,11	0,33	0,78	1,57
	Verano	1,14	0,21	0,83	1,48
	Otoño	2,06	0,78	1,14	3,19
	Anual	1,35	0,63	0,71	3,19
2024	Invierno	1,04	0,25	0,73	1,37
	Primavera	1,24	0,22	1,00	1,57
	Verano	1,19	0,17	1,01	1,51
	Otoño	1,3	0,2	1,0	1,5
	Anual	1,2	0,2	0,7	1,6
2025	Invierno	0,9	0,4	0,4	1,4
	Primavera	1,0	0,2	0,8	1,3
	Verano	1,2	0,7	0,6	2,4
	Otoño	3,1	1,6	1,6	6,5
	Anual*	1,78	1,4	0,4	6,5
2026	Invierno	2,4	0,7	1,9	3,3
	Primavera*	1,1	0,2	0,8	1,2
	Anual*	1,7	1,0	0,8	3,3

* Hasta 15/06/26

Tabla 4: Valores medios, mínimos (Mín) y máximos (Máx) de coeficiente de extinción de la luz por año en superficie (0,5m) y fondo (4-6m dependiendo de la estación) (Invierno: ene-mar, Primavera: abr-jun; Verano: jul-sep; Otoño: oct-dic). (Figura 1), medidos durante los muestreos in situ DMMEM. DE: desviación estándar.

Extinción de luz Kd (m ⁻¹)		4 m profundidad			
Año	Estación	Media	DE	Mín	Máx
2016	Invierno	---	---	---	---
	Primavera	---	---	---	---
	Verano	1,12	0,19	0,98	1,25
	Otoño	0,89	0,00	0,89	0,89
	Anual	0,95	0,23	0,69	1,25
2017	Invierno	0,60	0,30	0,39	0,81
	Primavera	0,40	0,05	0,37	0,46
	Verano	0,75	0,18	0,51	0,94
	Otoño	0,78	0,11	0,70	0,86
	Anual	0,63	0,22	0,37	0,94
2018	Invierno	0,55	0,10	0,44	0,63
	Primavera				
	Verano	0,33	0,07	0,28	0,38
	Otoño	0,25	0,01	0,25	0,26
	Anual	0,38	0,15	0,25	0,63
2019	Invierno	0,19	0,05	0,15	0,23
	Primavera	0,37	0,16	0,24	0,55
	Verano	0,59	0,20	0,35	0,88
	Otoño	1,10	0,16	0,95	1,35
	Anual	0,69	0,39	0,15	1,35
2020	Invierno	0,58	0,13	0,50	0,72
	Primavera	0,50	0,10	0,43	0,62
	Verano	0,46	0,16	0,32	0,64
	Otoño	0,32	0,02	0,30	0,33
	Anual	0,47	0,14	0,30	0,72
2021	Invierno	0,28	0,04	0,24	0,32
	Primavera	0,30	0,04	0,26	0,34
	Verano	0,73	0,29	0,34	0,98
	Otoño	0,37	0,16	0,24	0,56
	Anual	0,45	0,26	0,24	0,98
2022	Invierno	0,46	0,13	0,34	0,60
	Primavera	0,31	0,09	0,24	0,47
	Verano	0,43	0,10	0,32	0,49
	Otoño	0,40	0,06	0,31	0,47
	Anual	0,39	0,10	0,24	0,60
2023	Invierno	0,28	0,04	0,23	0,35
	Primavera	0,42	0,07	0,34	0,51
	Verano	0,44	0,05	0,39	0,51
	Otoño	0,45	0,13	0,32	0,64

	Anual	0,40	0,10	0,23	0,64
2024	Invierno	0,34	0,04	0,26	0,38
	Primavera	0,47	0,10	0,29	0,58
	Verano	0,56	0,05	0,50	0,66
	Otoño	0,52	0,07	0,42	0,60
	Anual	0,48	0,10	0,26	0,66
2025	Invierno	0,35	0,06	0,26	0,42
	Primavera	0,4	0,1	0,3	0,5
	Verano	0,5	0,1	0,4	0,7
	Otoño	0,6	0,1	0,5	0,8
	Anual	0,5	0,1	0,2	0,8
2026	Invierno	0,51	0,03	0,46	0,55
	Primavera*	0,41	0,09	0,29	0,52
	Anual*	0,46	0,08	0,29	0,55

* Hasta 15/06/26

Tabla 5: Valores medios, mínimos (Min) y máximos (Máx) de oxígeno disuelto por año en superficie (0,5m) y fondo (4-6m dependiendo de la estación) (Invierno: ene-mar, Primavera: abr-jun; Verano: jul-sep; Otoño: oct-dic). (Figura 1), medidos durante los muestreos in situ DMMEM. DE: desviación estándar.

Oxígeno disuelto (mg/l)		Superficie				Fondo			
Año	Estación	Media	DE	Mín	Máx	Media	DE	Mín	Máx
2016	Invierno	---	---	---	---	---	---	---	---
	Primavera	---	---	---	---	---	---	---	---
	Verano	6,2	0,3	5,9	6,4	5,8	1,1	5,0	6,6
	Otoño	5,2	0,0	5,2	5,2	4,7	0,0	4,7	4,7
	Anual	6,7	1,9	5,2	9,4	6,1	1,6	4,7	8,2
2017	Invierno	8,1	0,7	7,6	8,6	7,8	0,5	7,5	8,1
	Primavera	6,7	0,6	6,1	7,2	6,7	0,6	6,0	7,3
	Verano	6,3	0,2	6,2	6,5	6,2	0,3	6,0	6,4
	Otoño	6,5	0,9	5,9	7,2	6,6	0,8	6,1	7,2
	Anual	6,9	0,9	5,9	8,6	6,8	0,7	6,0	8,1
2018	Invierno	8,1	0,3	7,7	8,2	8,0	0,2	7,8	8,2
	Primavera	6,7	0,6	6,3	7,1	6,7	0,5	6,3	7,1
	Verano	6,1	0,1	6,1	6,2	6,1	0,2	6,0	6,2
	Otoño	7,2	0,8	6,3	7,8	7,2	0,7	6,3	7,7
	Anual	7,2	0,9	6,1	8,2	7,1	0,8	6,0	8,2
2019	Invierno	7,9	0,1	7,8	8,0	7,8	0,0	7,8	7,8
	Primavera	6,8	0,3	6,6	7,1	6,7	0,4	6,5	7,1
	Verano	7,9	3,6	5,9	14,4	4,2	3,2	0,6	7,5
	Otoño	7,7	1,4	6,0	9,7	5,3	3,9	0,6	8,9
	Anual	7,6	2,1	5,9	14,4	5,5	3,0	0,6	8,9
2020	Invierno	8,5	0,8	7,8	9,3	8,2	0,4	7,7	8,5
	Primavera	8,7	3,0	6,6	10,9	9,0	2,7	7,1	10,9
	Verano	6,3	0,2	6,0	6,4	6,2	0,2	5,9	6,4
	Otoño	7,5	0,6	7,1	8,2	7,5	0,6	7,1	8,2
	Anual	7,7	1,5	6,0	10,9	7,6	1,4	5,9	10,9

2021	Invierno	7,9	0,4	7,5	8,3	7,9	0,2	7,7	8,1
	Primavera	7,0	0,7	6,4	7,8	7,1	0,7	6,4	7,8
	Verano	6,0	0,5	5,2	6,4	5,2	1,2	3,7	6,4
	Otoño	7,5	0,6	6,8	7,9	7,5	0,6	6,8	8,0
	Anual	7,0	0,9	5,2	8,3	6,8	1,3	3,7	8,1
2022	Invierno	7,9	0,1	7,8	8,0	7,9	0,1	7,8	8,1
	Primavera	7,9	0,8	6,7	8,7	7,9	0,8	6,7	8,6
	Verano	6,3	0,6	5,6	6,8	6,3	0,7	5,5	6,9
	Otoño	8,6	1,0	7,5	10,0	8,9	0,9	7,6	10,0
	Anual	7,8	1,1	5,6	10,0	7,9	1,1	5,5	10,0
2023	Invierno	10,2	0,4	9,7	10,7	10,2	0,5	9,6	10,8
	Primavera	7,4	0,9	6,6	8,9	7,3	0,9	6,6	8,7
	Verano	6,2	0,4	5,7	6,6	6,1	0,5	5,2	6,8
	Otoño	8,0	1,3	6,1	9,2	8,0	1,4	6,1	9,3
	Anual	7,8	1,7	5,7	10,7	7,8	1,7	5,2	10,8
2024	Invierno	9,4	0,2	9,2	9,7	9,3	0,4	8,8	9,8
	Primavera	7,2	0,4	6,6	8,0	7,2	0,5	6,6	8,1
	Verano	6,4	0,2	6,1	6,7	6,5	0,3	6,0	6,8
	Otoño	7,4	0,8	6,5	8,5	7,4	0,9	6,3	8,5
	Anual	7,4	1,0	6,1	9,4	7,4	1,0	6,0	9,4
2025	Invierno	8,5	0,3	8,0	8,8	8,5	0,3	8,0	8,9
	Primavera	7,2	0,9	6,0	8,3	7,3	0,8	6,0	8,3
	Verano	6,1	0,2	5,45	6,3	6,0	0,3	5,5	6,3
	Otoño	6,8	0,8	5,9	8,3	6,6	0,8	5,7	8,4
	Anual	7,0	1,0	5,5	8,8	6,9	1,1	5,5	8,9
2026	Invierno	8,5	0,4	8,0	8,9	8,5	0,4	7,9	9,0
	Primavera*	7,6	0,5	7,0	8,1	7,5	0,4	7,0	8,0
	Anual*	8,1	0,6	7,0	8,9	8,1	0,6	7,0	9,0

* Hasta 15/06/26

Tabla 6: Valores medios, mínimos (Min) y máximos (Máx) de pH por año en superficie (0,5m) y fondo (4-6m dependiendo de la estación) (Invierno: ene-mar, Primavera: abr-jun; Verano: jul-sep; Otoño: oct-dic). (Figura 1), medidos durante los muestreos in situ DMMEM. DE: desviación estándar.

pH		Superficie				Fondo			
Año	Estación	Media	DE	Min	Máx	Media	DE	Min	Máx
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	---	---	---	---	---	---	---	---
2017	Invierno	8,13	0,10	8,06	8,20	8,13	0,08	8,08	8,19
	Primavera	7,78	0,24	7,50	7,93	7,90	0,02	7,88	7,93
	Verano	8,08	0,03	8,06	8,10	8,07	0,03	8,05	8,09
	Otoño	8,04	0,01	8,03	8,05	8,03	0,02	8,01	8,04
	Anual	7,98	0,20	7,50	8,20	8,02	0,10	7,88	8,19



2018	Invierno	8,10	0,04	8,05	8,14	8,07	0,07	8,01	8,14
	Primavera	8,00	0,01	7,99	8,01	8,00	0,03	7,98	8,02
	Verano	8,17	0,02	8,16	8,19	8,16	0,01	8,15	8,16
	Otoño	8,26	0,06	8,19	8,30	8,25	0,06	8,18	8,29
	Anual	8,14	0,11	7,99	8,30	8,13	0,11	7,98	8,29
2019	Invierno	8,19	0,06	8,15	8,23	8,18	0,06	8,14	8,22
	Primavera	8,23	0,07	8,15	8,29	8,22	0,08	8,13	8,29
	Verano	8,46	0,21	8,22	8,70	8,18	0,15	7,92	8,28
	Otoño	8,45	0,06	8,35	8,51	8,18	0,34	7,78	8,49
	Anual	8,38	0,17	8,15	8,70	8,19	0,20	7,78	8,49
2020	Invierno	8,29	0,02	8,26	8,31	8,28	0,01	8,26	8,28
	Primavera	8,30	0,00	8,30	8,30	8,31	0,00	8,31	8,31
	Verano	8,24	0,02	8,22	8,26	8,23	0,01	8,22	8,25
	Otoño	8,50	0,03	8,46	8,52	8,50	0,06	8,44	8,55
	Anual	8,34	0,12	8,22	8,52	8,33	0,12	8,22	8,55
2021	Invierno	8,45	0,03	8,43	8,48	8,47	0,03	8,45	8,49
	Primavera	8,49	0,11	8,37	8,56	8,50	0,10	8,39	8,56
	Verano	8,22	0,15	8,07	8,42	8,15	0,23	7,88	8,41
	Otoño	8,38	0,05	8,35	8,44	8,38	0,05	8,34	8,43
	Anual	8,37	0,14	8,07	8,56	8,36	0,20	7,88	8,56
2022	Invierno	8,43	0,11	8,31	8,54	8,43	0,14	8,30	8,57
	Primavera	8,96	0,58	8,53	9,95	8,99	0,60	8,53	10,03
	Verano	8,85	0,25	8,58	9,07	8,88	0,25	8,61	9,08
	Otoño	8,40	0,04	8,36	8,45	8,43	0,04	8,38	8,48
	Anual	8,66	0,41	8,31	9,95	8,69	0,43	8,30	10,03
2023	Invierno	8,49	0,08	8,40	8,59	8,51	0,08	8,41	8,62
	Primavera	8,54	0,08	8,47	8,69	8,55	0,09	8,47	8,71
	Verano	8,42	0,04	8,36	8,45	8,42	0,04	8,37	8,45
	Otoño	8,36	0,07	8,27	8,44	8,37	0,07	8,28	8,46
	Anual	8,45	0,10	8,27	8,69	8,46	0,10	8,28	8,71
2024	Invierno	8,39	0,03	8,36	8,43	8,44	0,03	8,40	8,47
	Primavera	8,43	0,03	8,39	8,48	8,43	0,02	8,42	8,48
	Verano	8,42	0,05	8,34	8,46	8,42	0,05	8,34	8,48
	Otoño	8,38	0,05	8,31	8,47	8,39	0,05	8,33	8,48
	Anual	8,41	0,04	8,31	8,48	8,42	0,04	8,33	8,48
2025	Invierno	8,44	0,03	8,37	8,47	8,45	0,04	8,37	8,49
	Primavera	8,51	0,05	8,41	8,57	8,51	0,05	8,40	8,57
	Verano	8,40	0,04	8,33	8,46	8,39	0,05	8,32	8,47
	Otoño	8,27	0,05	8,20	8,36	8,26	0,05	8,20	8,38
	Anual	8,39	0,10	8,20	8,57	8,39	0,11	8,20	8,57
2026	Invierno	8,26	0,04	8,20	8,32	8,30	0,05	8,24	8,34
	Primavera*	8,68	0,08	8,57	8,75	8,69	0,08	8,59	8,76
	Anual*	8,45	0,22	8,20	8,75	8,47	0,20	8,24	8,76

* Hasta 15/06/26