



**BELICH** Monitorización  
Estudio y  
Modelización del  
Mar Menor

# Informe de resultados del sistema de monitorización oceanográfica del Mar Menor del IEO-CSIC: marzo 2026

Instituto Español de Oceanografía (IEO-CSIC)



**CSIC**

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



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 resultados del sistema de monitorización oceanográfica del Mar Menor del IEO-CSIC: marzo 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 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/>

**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)

Víctor Orenes, CO de Murcia (contratado BELICH)

Pedro Martínez, CO de Murcia (contratado BELICH)

Roberto González, CO de Murcia (contratado BELICH)

Antonio Ortolano, CO de Murcia (contratado BELICH)

Ana Ramírez, CO de Murcia (contratada BELICH)

Marijn Oosterbaan, CO de Canarias (contratado BELICH)

Esperanza Moreno, CO de Murcia (contratada BELICH)

Pedro Portalés, CO de Canarias (contratado BELICH)

Rocío García, CO de Murcia

Gonzalo González, CEBAS-CSIC

# ÍNDICE

<b>1. Antecedentes y objeto del informe.....</b>	<b>5</b>
<b>2. Marco de trabajo.....</b>	<b>7</b>
2.1 Variables de estudio.....	8
2.2 Fuentes de datos.....	9
3.2.1 Estaciones de monitorización <i>in situ</i> .....	10
3.2.3 Datos satelitales.....	11
<b>3. Resultados.....</b>	<b>12</b>
3.1. Temperatura.....	13
3.2. Salinidad.....	17
3.3. Concentración de la clorofila-a.....	21
3.4. Turbidez e irradiancia PAR.....	26
3.5. Oxígeno.....	31
3.6. pH.....	36
3.7. Mancha blanca.....	39
<b>4. Síntesis y conclusiones.....</b>	<b>43</b>
<b>5. Bibliografía.....</b>	<b>46</b>
<b>6. Anexos.....</b>	<b>47</b>
6.1. Anexo I: Estaciones de monitorización BELICH.....	48
6.2. Anexo II: Metodología.....	50
6.2.1. Temperatura.....	50
6.2.2. Clorofila-a.....	51
6.2.3. Turbidez.....	52
6.2.4. Oxígeno disuelto.....	53
6.2.5. pH.....	54
6.2.6. Balance hídrico Mar Menor – Mediterráneo:.....	54
6.3. Anexo III: Mapas satelitales.....	55
6.3.1 Mapas clorofila-a.....	55
6.3.2 Mapas turbidez.....	58
6.3.3 Mapas % <sub>o</sub> .....	61

# 1. Antecedentes y objeto del informe



Fotografía J. Murcia

El presente informe presenta los resultados y avances, ocurridos durante el primer trimestre de 2026 (01 enero-31 marzo), del programa de seguimiento científico desarrollado para evaluar el estado del ecosistema marino del Mar Menor.

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

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 gracias al cual ya se dispone de una fuente de datos en continuo y en tiempo casi real, que es uno de los objetivos principales del proyecto BELICH.

## 2. Marco de trabajo



Fotografía OLAS

## 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. Por ello no sólo es importante la temperatura en términos absolutos, sino también la intensidad y frecuencia de las olas de calor (Oliver et al. 2021).

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

**Turbidez:** la turbidez (NTU) y el coeficiente de extinción de luz ( $K_d$ ,  $m^{-1}$ ) 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 hiperespectrales (imágenes de satélite).

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

**pH:** indica la acidez o alcalinidad del agua, en base a la actividad de los iones de hidrógeno (H<sup>+</sup>) e hidroxilo (OH<sup>-</sup>) que contiene. El agua marina es ligeramente alcalina (8,1 - 8,3). El pH es un factor crucial para evaluar la salud de los ecosistemas marinos, ya que influye en sus procesos químicos, utilizándose como indicador de la calidad del agua. La contaminación, ya sea atmosférica o por eutrofización del agua, tiende a aumentar la concentración de materia orgánica cuya mineralización produce CO<sub>2</sub>, en especial en el fondo de la columna de agua. El exceso de CO<sub>2</sub> 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/m<sup>3</sup>):** 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).

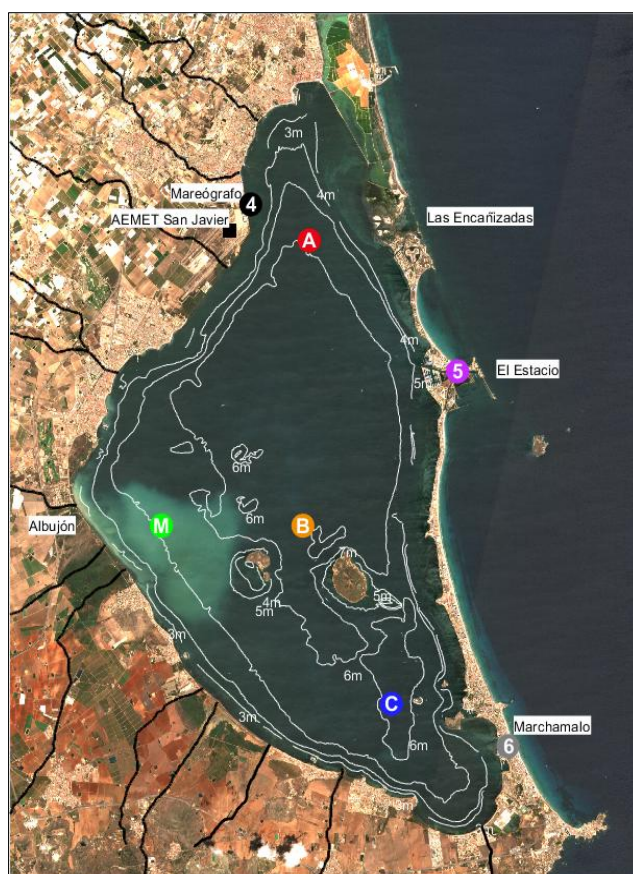
**Balance hídrico Mar Menor – Mediterráneo:** El volumen de intercambio hídrico entre el Mediterráneo y el Mar Menor constituye una variable crítica para la determinación del balance hídrico de la laguna. Para cuantificar este flujo en los canales de El Estacio y Marchamalo, se ha realizado una estimación 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 ligeramente a través del transcurso de la serie histórica documentada en función de las herramientas y recursos disponibles en cada momento. Las fuentes de datos empleadas para cada variable en cada periodo temporal se detallan en el Anexo I. No obstante, estas fuentes se dividen en tres categorías principales: muestreos y estaciones *in situ* y datos satelitales.

### 3.2.1. Estaciones de monitorización *in situ*

Desde finales de enero de 2025, se ha implementado un sistema de monitorización continua en tiempo casi real. El sistema consta de 6 estaciones, tres de ellas están compuestas por una boya oceanográfica en superficie y un 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.



**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.

Además, se han instalado sensores de luz PAR 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 ( $K_d$ ) y compararla con la obtenida en los muestreos periódicos *in situ*.

Desde 2016 se realizan muestreos periódicos para evaluar el estado ecológico del Mar Menor. Originalmente, estos muestreos se realizaban con periodicidad mensual, pero desde la entrada en funcionamiento del proyecto BELICH, en enero de 2023, la frecuencia de muestreo se duplicó y actualmente es quincenal. Además, inicialmente estos muestreos se realizaban en tres estaciones de muestreo (A, B, C), pero en abril de 2023 se agregó una nueva estación situada en el interior de una zona de la laguna, localizada en el centro-oeste 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 (Oosterbaan, et al. 2025). Esta estación se ha denominado "M" y desde entonces está incluida en todos los muestreos in situ junto al resto de estaciones (Figura 1).

### 3.2.3. Datos satelitales

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

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

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

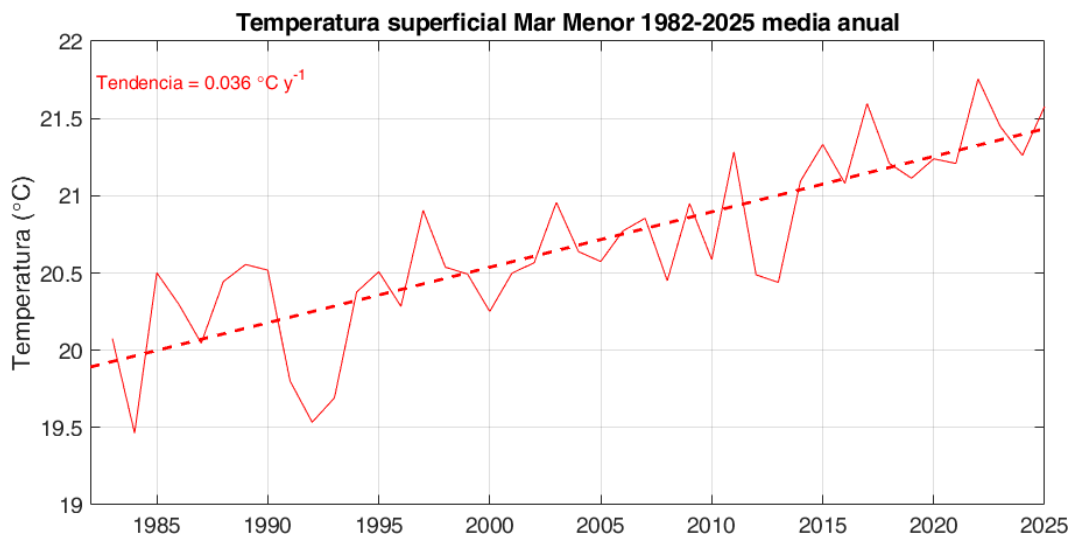
### 3. Resultados



Fotografía OLAS

### 3.1. Temperatura

El análisis de la serie temporal de temperatura a largo plazo, puso en evidencia que el año 2025 se situó como el segundo año más cálido registrado en la historia reciente del Mar Menor desde el inicio de las series de datos satelitales en 1982 (Figura 2). Este resultado se enmarca dentro de una tendencia sostenida de aumento de la temperatura en la laguna, que evidencia un proceso de calentamiento progresivo a largo plazo, repetidamente puesto de manifiesto en todos los informes publicados previamente.



**Figura 2.** Serie temporal de temperatura superficial media anual desde 1982 hasta 2025 obtenida a partir de datos satelitales. La temperatura superficial mostró una tasa de cambio de +0.036°C por año en el periodo de estudio.

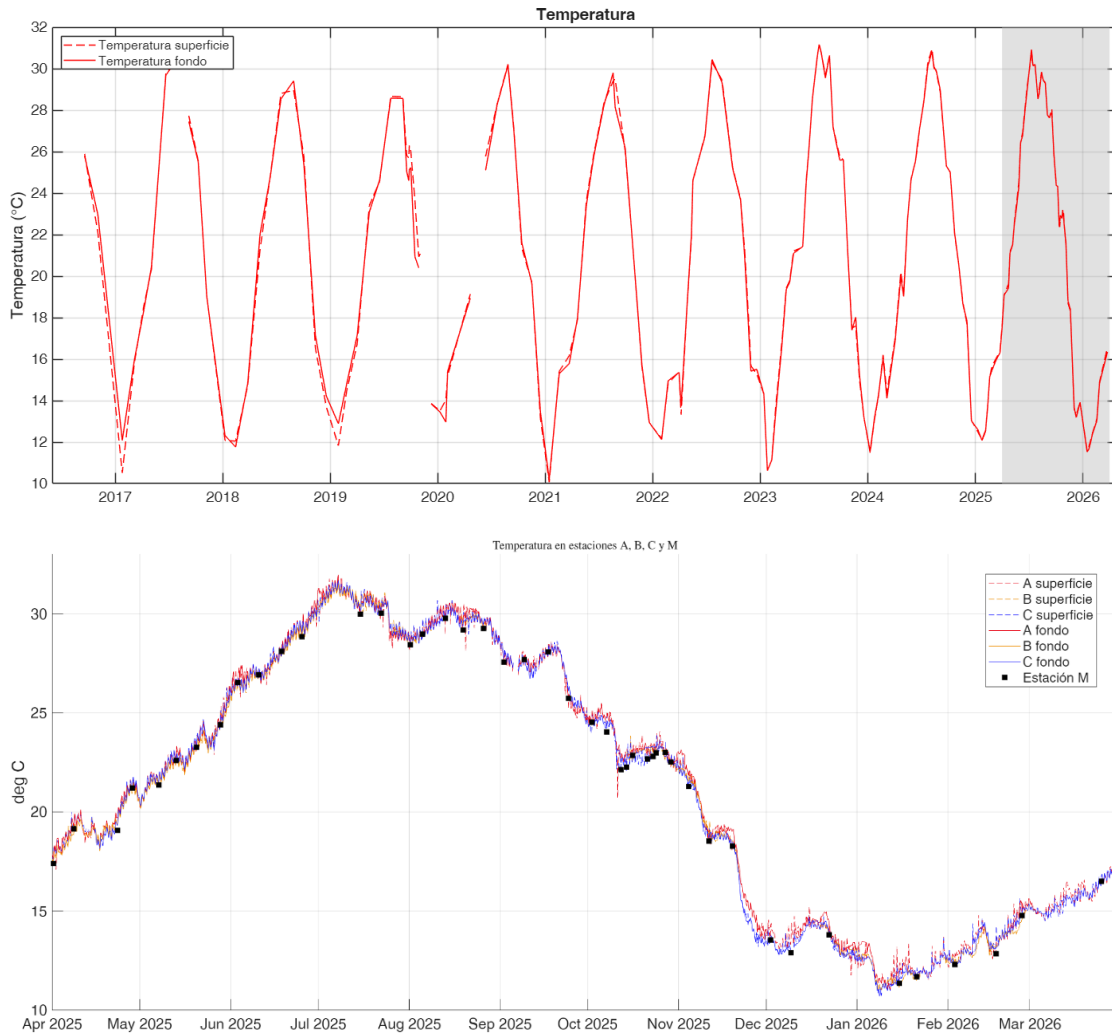


Figura 3 En la parte superior se muestra la temperatura media superficial (0,5 m; línea discontinua) y temperatura media del fondo (entre 4 y 6m dependiendo de la estación; línea continua) durante los muestreos in situ del proyecto DMMEM y BELICH en las estaciones A, B, C y M (ver Figura 1). En la parte 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.

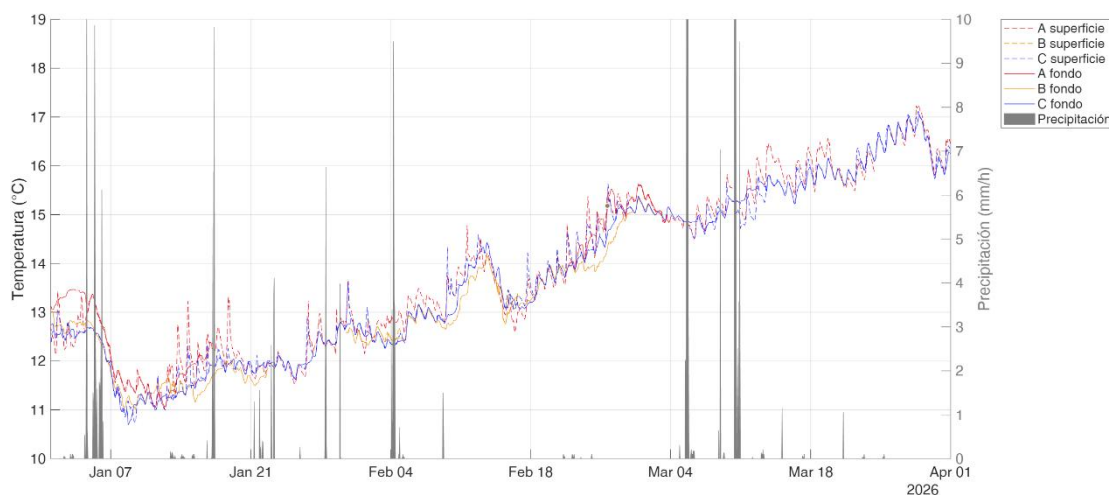
A partir de los datos de la serie temporal del último periodo de temperaturas medias (media total), medidas in situ en las estaciones de muestreo A, B, C y M (Figura 3), se observa un patrón estacional con un rango de temperaturas medias mínimas en invierno de 10°C a 14°C y máximas en verano de 28°C a 30°C, sin observarse apenas diferencias entre fondo y superficie (Tabla 1).

**Tabla 1:** Valores medios, mínimos (Min) y máximos (Max) de temperatura por año en superficie (0,5 m) y fondo (4-6m dependiendo de la estación. Figura 1), medidos durante los muestreos in situ DMMEM, considerando conjuntamente las estaciones A, B y C. DE: desviación estándar.

Tª (°C)		Superficie				Fondo			
Año	Estación	Media	DE	Min	Max	Media	DE	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	---	---	---	---	---	---	---	---
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
	Anual*	12,8	1,3	11,6	14,9	12,7	1,3	11,5	14,8

\*Hasta 31/03/26



**Figura 4** 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) del periodo del presente informe. En gris se muestran las precipitaciones registradas por la estación meteorológica (Estación 4).

En este contexto, y atendiendo al seguimiento continuo del sistema de monitorización oceanográfica (Figura 4), observamos como el primer trimestre del año 2026 ha estado marcado por la inestabilidad meteorológica con frecuentes precipitaciones (Figura 4), lo que podría explicar que la media de temperatura de la laguna durante este invierno (enero-marzo) sea la más baja ( $12,8^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{DE} = 1,3^{\circ}\text{C}$ ) para esta época del año desde que se comenzó el seguimiento "in situ" continuado en la laguna (Tabla 1).

En 2026, la temperatura experimentó una caída hasta valores mínimos de 11,6°C, tanto en superficie como fondo; coincidente con la llegada de la borrasca "Francis" durante la primera semana del año, que supuso un descenso generalizado de la temperatura atmosférica y la caída de fuertes precipitaciones (AEMET, 2026). En las semanas siguientes, se produjo un aumento progresivo de la temperatura del agua, propio de esta época del año, a pesar de los episodios de lluvias en febrero y marzo, hasta alcanzar medias máximas de 14,9°C a finales de marzo, valores normales para este mes (Figura 4).

### 3.2. Salinidad

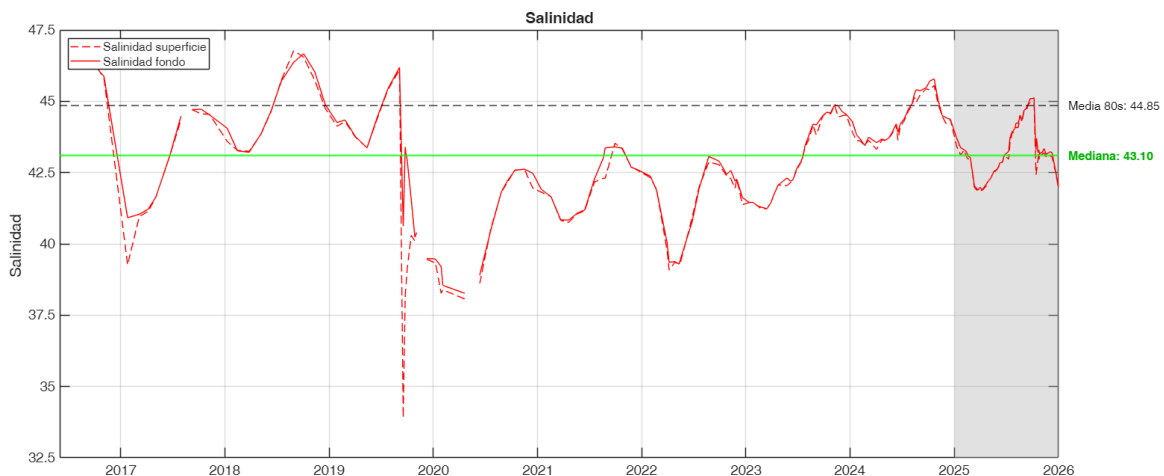
En la Figura 5 se muestra la serie temporal de la salinidad media en superficie y fondo desde 2016. Este parámetro, estrechamente relacionado con las precipitaciones, disminuye notablemente tras episodios de lluvias torrenciales (2016 y 2019), recuperándose después de forma progresiva. En general, el Mar Menor no presenta una estratificación halina persistente entre superficie y fondo, excepto en momento puntuales asociados a determinados eventos extremos (IEO-CSIC, 2026).

En 2024, la salinidad de la laguna se recuperaba hasta valores normales para la laguna en años previos al colapso de 2016, pero esta dinámica de recuperación se vio interrumpida a partir de las lluvias de marzo de 2025, que causaron una nueva caída de los valores de esta variable (IEO-CSIC, 2026) (Figura 5). Posteriormente, durante la DANA Alice en otoño de 2025, la entrada masiva de agua dulce contribuyó a mantener los valores de salinidad en la laguna en niveles por debajo de lo normal para esa época del año (Figura 5; IEO-CSIC, 2026).

La tendencia de disminución de la salinidad observada a finales de 2025 ha continuado su inercia durante el primer trimestre de 2026 a consecuencia de los frecuentes eventos de precipitaciones registrados entre enero y marzo (Figura 5; Figura 6).

Durante este periodo, la salinidad media registrada se situó en 40,9 en superficie (DE= 0,2) y 41 en el fondo (DE= 0,2), con valores mínimos que descendieron hasta 38,5 en superficie y 40,9 en fondo (Tabla 2; Figura 6). Éstos son valores que están por debajo de la mediana de la serie temporal desde 2026 (43,1), e inferiores a los valores registrados en la misma época en 2025 (42,8 en superficie y 43,8 en fondo) y 2024 (44,3

en superficie y 44,5 en fondo) (Tabla 2; Figura 5). A corto plazo, las precipitaciones causaron fluctuaciones transitorias (días) de la salinidad alcanzando valores por debajo de 39, sobre todo en las capas superficiales. En la zona norte de la laguna es donde dichas fluctuaciones fueron más frecuentes e intensas, debido al efecto adicional de la influencia de la entrada de agua Mediterránea característica de esta parte del Mar Menor. Estos aportes de agua Mediterránea en la zona norte no llegan a mezclarse totalmente con el agua lagunar de forma que causan cierto grado de estratificación, de mayor intensidad y persistencia que en el resto de la laguna. Además, esta entrada de agua Mediterránea se intensifica durante situaciones de inestabilidad atmosférica, como las que acompañan a eventos de precipitaciones (p.e., borrasca Francis a principios de enero; Figura 7), contribuyendo a la disminución de la salinidad no solo en el norte, sino en otras zonas de la laguna como la cubeta sur.



**Figura 8:** Datos de salinidad promedio en superficie (0,5m; rojo continuo) y fondo (entre 4 y 6m dependiendo de la estación, Figura 1; rojo discontinuo) en las estaciones A, B, C y M 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)

Como se ve en la Figura 8 y con mucho más detalle en la Figura 9, tras las precipitaciones de marzo de 2025, la salinidad tendió a recuperarse siguiendo la variación estacional característica, pero la DANA Alice de otoño volvió a disminuir bruscamente los valores de esta variable a valores por debajo de los rangos normales para la laguna en el periodo pre-colapso.

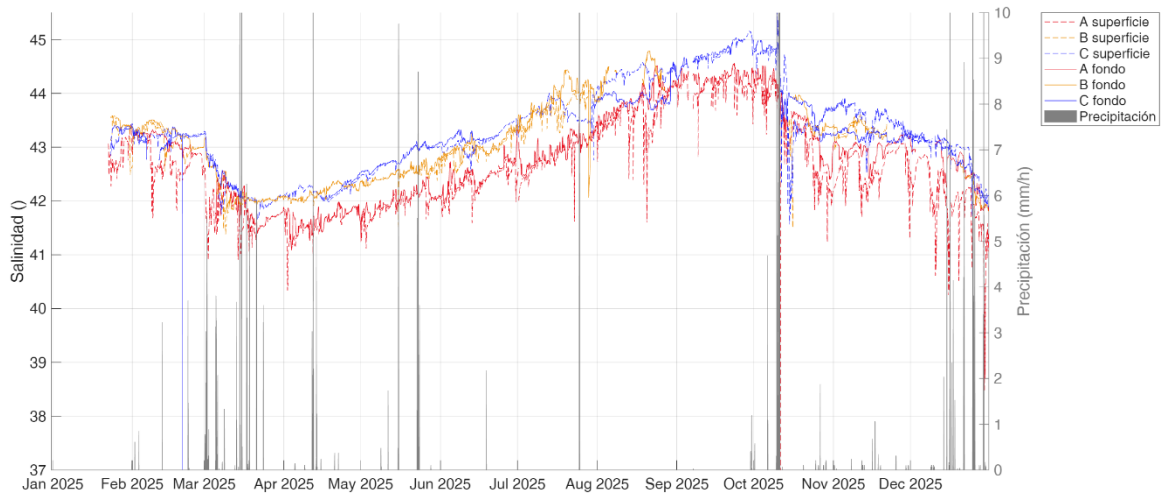
En general, la comparación entre superficie y fondo (Figuras 8 y 9) indica la ausencia de una estratificación halina persistente, observándose diferencias únicamente



puntuales y transitorias, asociadas a eventos muy intensos de lluvias torrenciales (>100 mm; p. ej., enero de 2017 y septiembre–octubre de 2019), tras los cuales la laguna tiende a homogeneizarse rápidamente.

Los datos proporcionados por los sensores de las boyas y landers tienen muy alta resolución temporal, como se muestra en la Figura 9. Esto permite, por primera vez, observar el comportamiento real y en continuo de la salinidad, lo que permite conocer con mucho más detalle el impacto de las precipitaciones en la laguna y la dinámica de recuperación. Así, por ejemplo, se comprueba que las lluvias del periodo febrero-marzo causaron una disminución de unos 2 PSU, pero sin causar apenas estratificación de la columna de agua (IEO-CSIC, 2025a), como es habitual en eventos de precipitación de intensidad leve o moderada (<100 mm). Durante el periodo febrero-marzo 2025 se alcanzaron valores de 43 PSU, inferiores a los registrados en la misma época en 2024 (Tabla 4).

En contraposición, la DANA Alice de otoño de ese mismo año, no solo provocó un brusco descenso de la salinidad, sino que también causó cierta estratificación, sucedida por el agotamiento progresivo de oxígeno hasta valores de hipoxia y, finalmente, anoxia (ver más adelante). Otra fuente de variación de la salinidad es la influencia de la corriente de agua mediterránea entrante en la parte norte de la laguna, registrada en los sensores de superficie de la boya norte (boya A; Figura 9). Esto se refleja en la menor salinidad registrada en la cubeta norte la mayor parte del año, y su mayor variabilidad temporal, en comparación con los registros de las zonas central y sur de la laguna. Este gradiente espacial de salinidad N-S se invierte a partir de la DANA Alice, debido a la acumulación de agua dulce en la zona sur (boya C; Figura 9), situación que persiste hasta final del año 2025.



**Figura 9:** 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 continua) y fondo (línea discontinua). En gris se muestran las precipitaciones registradas por la estación meteorológica (Estación 4).

**Tabla 4:** 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	---	---	---	---	---	---	---	---
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

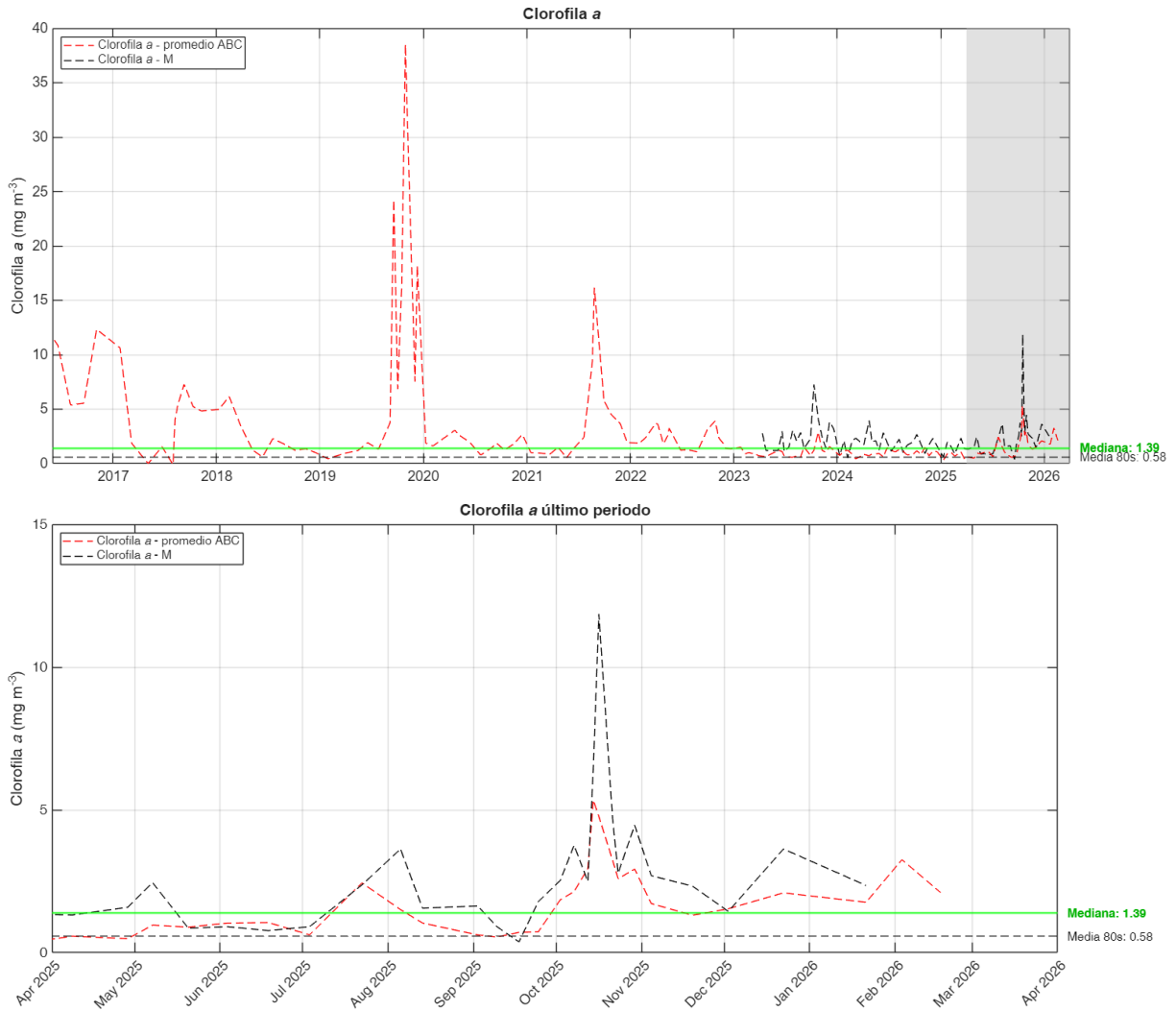
### 3.3. Concentración de la clorofila-a

Durante el primer trimestre del año 2026 (Figura 9) la concentración media de clorofila-a es de 2.4 mg/m<sup>3</sup> (DE = 0.7 mg/m<sup>3</sup>) (ver Tabla 3), valor que es casi el doble que la mediana de la serie temporal desde 2016 (1,39 mg/m<sup>3</sup>) y más del doble que los registrados durante el mismo periodo en años anteriores (ver Tabla 3). Durante el mes de enero los valores registrados por los sensores se ajustan a este valor medio, pero en febrero la variable experimenta mayor variabilidad e intensidad, sobrepasando con cierta frecuencia valores de 4 mg/m<sup>3</sup> (Figura 9). Como se aprecia en la tabla 3, estos valores no han sido registrados en esta época del año desde invierno de 2018,



coincidiendo con uno de los episodios de bloom fitoplanctónico que tuvieron lugar en ese periodo (Figura 8). Estos elevados valores podrían estar relacionados con los aportes asociados a las precipitaciones registradas durante el mes de enero y a principios de febrero (Figura 9), pero también a la resuspensión de sedimentos del fondo forzada por los intensos y frecuentes vientos registrados en este periodo, en particular en febrero. Un ejemplo bastante ilustrativo es el máximo de clorofila alcanzado puntualmente el 14 de febrero, con una concentración de  $9,2 \text{ mg/m}^3$ , coincidiendo con un evento de fuertes vientos de componente noroeste. El impacto que este evento tuvo en la clorofila y en la turbidez se aprecia claramente en los mapas de estas variables obtenidos a partir del análisis de las imágenes de satélite (p.e. Anexos Figura 8).

Tras este periodo inestable, y justo después de los episodios de precipitaciones de marzo, la clorofila se estabiliza hacia niveles mucho más bajos respecto a los meses anteriores, alcanzando valores medios de  $0,73 \text{ mg/m}^3$  durante ese mes, más propios de esta época del año (Figura 9; Tabla 3), aunque experimenta un nuevo aumento entre 1 y  $2 \text{ mg/m}^3$  a final de dicho mes.



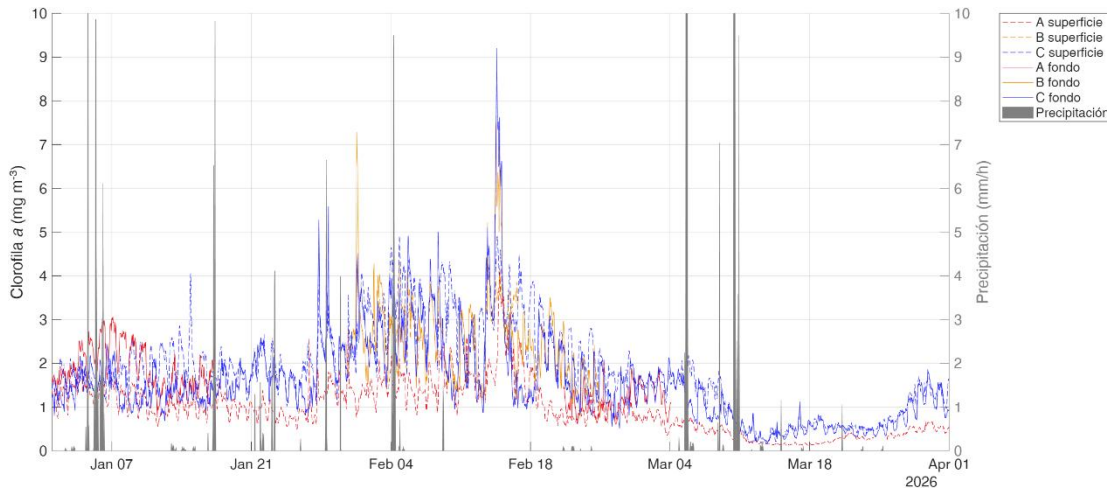
**Figura 8:** Datos de clorofila-a promedio superficial (0,5 m; línea discontinua) y media del fondo (entre 4 y 6 m dependiendo de la estación; línea continua) durante los muestreos in situ del proyecto DMMEM y BELICH en las estaciones A, B, C y M (ver Figura 1). En la parte superior se muestra la serie 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).

**Tabla 2** Valores medios, mínimos (Min.) y máximos (Máx.) de clorofila-a por año, medidos a 4m de profundidad durante los muestreos in situ, considerando conjuntamente las estaciones A, B y C. DE: desviación estándar.

Clorofila-a (mg/m <sup>3</sup> )		4 m profundidad			
Año	Estación	Media	DE	Min.	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
	Anual*	2,4	0,7	1,9	3,3

\*Hasta 31/03/26



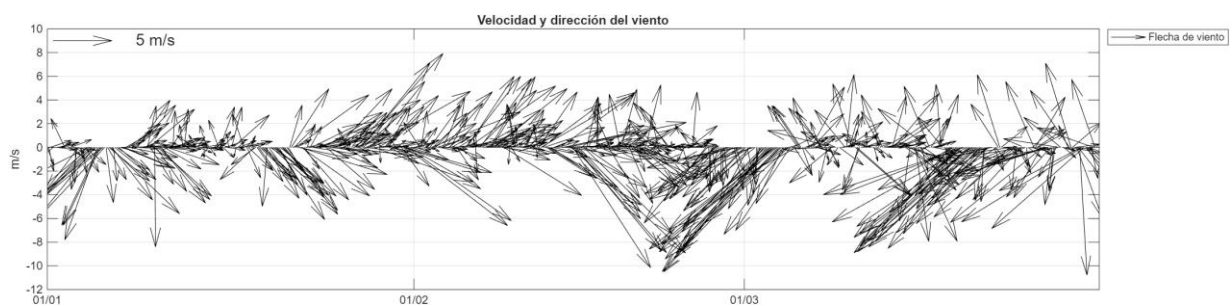
**Figura 9** Series temporales de clorofila-a registradas por las boyas y landers de monitoreo continuo en las estaciones A (rojo), B (amarillo) y C (azul), distinguiendo superficie (línea continua) y fondo (línea discontinua) del periodo del presente informe. En gris se muestran las precipitaciones registradas por la estación meteorológica (Estación 4).

Los mapas de clorofila ponen en evidencia otros patrones espaciales que podrían responder a otros procesos más locales, que no afectan a toda la laguna y, por tanto, no son registrados por los sensores de las boyas y landers del sistema de monitorización. El más frecuente y característico de estos procesos locales viene identificado por la recurrencia de altas concentraciones de clorofila una franja marina de hasta 1000 m de ancho frente al litoral noroeste, desde Santiago de La Rivera hasta Los Alcázares. Esta franja de clorofila aparece en los mapas de esta variable correspondientes a las imágenes del 8 y 12 de enero, 6, 9, 12, 19, 21y 22 de febrero y 17,18,27 y 30 de marzo), y se encuentra probablemente relacionado con un frente de descarga de aguas continentales subterráneas ricas en nutrientes (principalmente nitratos) identificadas en esta parte de la laguna a partir de evidencias empíricas obtenidas por los equipos especializados que trabajan a nivel de cuenca vertiente y el acuífero para la Dirección General del Agua (ver Informe de avances del Marco de

Actuaciones Prioritarias para la recuperación del Mar Menor. Informe de Avances. Mayo 2025). Igualmente se tiene constancia de la presencia en esta misma zona de diversos aportes puntuales de pluviales que probablemente contribuirán también a explicar este incremento local de la clorofila. Como se deduce de los mapas de chl-a, estos patrones espaciales locales no son permanentes, sino que aparecen de forma intermitente, probablemente en relación a la dinámica de carga-descarga del acuífero a corto y medio plazo asociada a eventos de precipitaciones. Otros patrones espaciales revelados por las imágenes de satélite son los relacionados con la mancha blanca, donde las concentraciones de clorofila son consistentemente más elevadas que en el resto de la laguna, tal y como se ha descrito desde su aparición en la laguna en 2022 (Figura 8).

### 3.4. Turbidez e irradiancia PAR

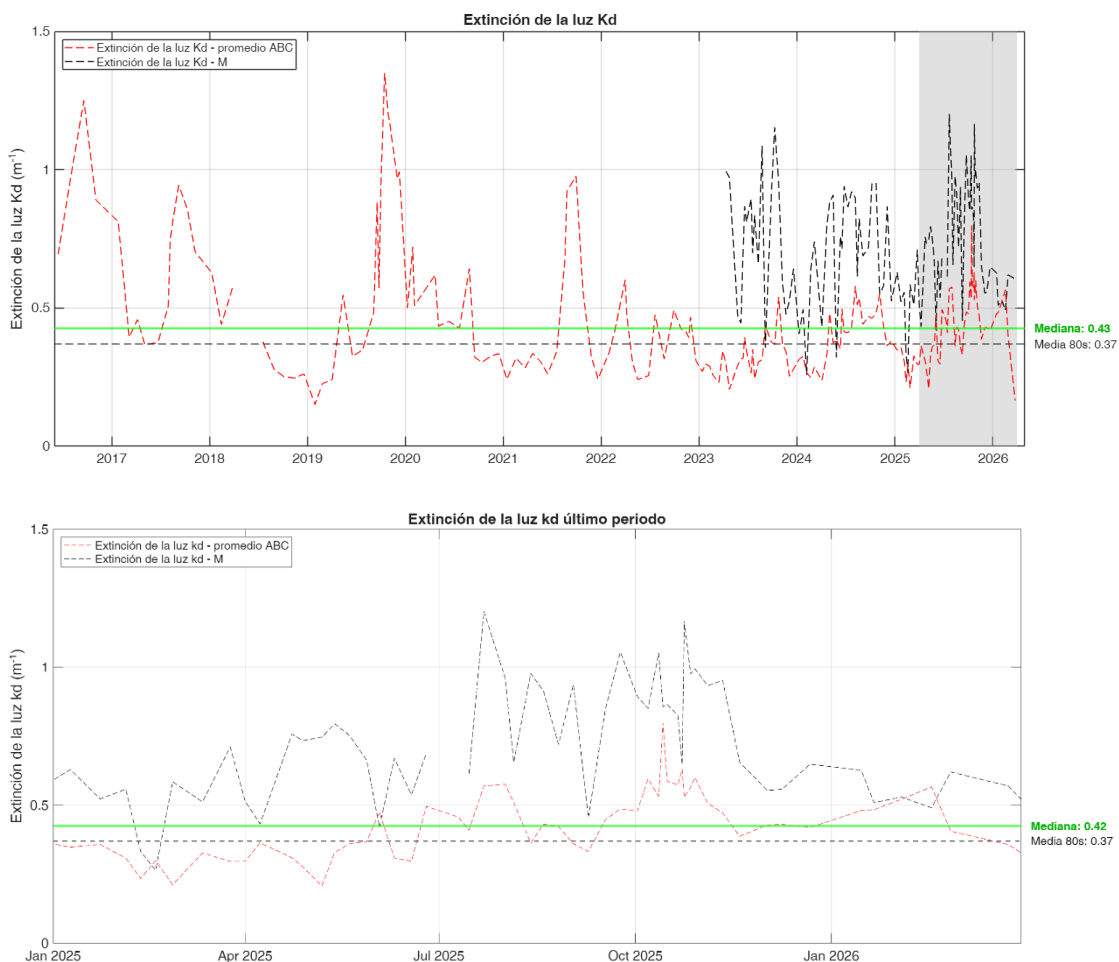
Como se explica en otros informes reciente (IEO-CSIC, 2026), en 2025 se produjo un claro deterioro de la transparencia del agua, reflejado en el aumento progresivo del coeficiente de atenuación de la luz ( $K_d$ ) desde valores propios de aguas claras a comienzos de año hasta valores superiores a  $5 \text{ m}^{-1}$  en el último trimestre, característicos de aguas turbias. Como consecuencia, la luz disponible en el fondo (% $I_0$ ) disminuyó de forma sostenida, alcanzando niveles limitantes para los productores bentónicos (Figura 11 y 12; IEO-CSIC, 2026).



**Figura 10:** serie temporal de intensidad y dirección del viento registrado por la estación meteorológica (Estación 4). El criterio seleccionado para la dirección del viento es hacia donde se dirige el mismo.

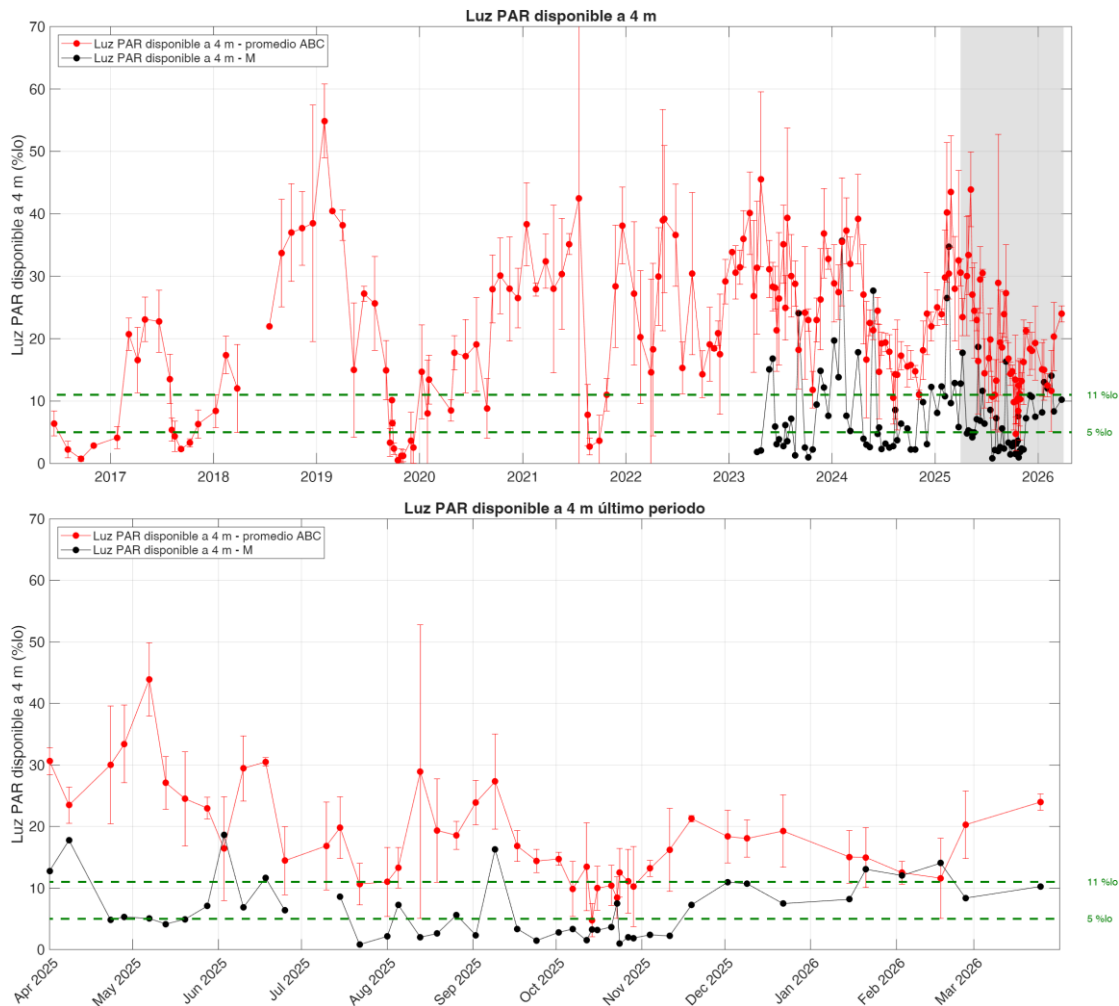
Aunque a finales de 2025 los niveles de  $K_d$  experimentaron cierta disminución, en el primer trimestre de 2026 volvió a registrarse un aumento progresivo de esta variable hasta mediados de marzo hasta valores medios de  $0,55 \text{ m}^{-1}$  propios de aguas turbias

(Figura 11). Esto coincide con la turbidez producida por eventos aislados de turbidez de baja intensidad en enero, pero sobre todo con las fluctuaciones particularmente intensas y frecuentes del periodo comprendido entre finales de enero y mediados de febrero, en el que se alcanzan máximos de hasta 41,3 FTU, que se asocia a la incidencia de vientos intensos (Figura 10). Estas fluctuaciones de la turbidez se producen de la misma forma tanto en superficie como en el fondo y en todas las zonas de la laguna, lo que es coherente con el efecto de mezcla y resuspensión de partículas del fondo por acción de los vientos. Comparativamente, los episodios aislados de precipitaciones causaron alteraciones mucho menos intensas de la turbidez ( $< 4$  FTU), o incluso no llegan a causar ningún efecto en esta variable (Figura 13).



**Figura 11:** 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).



**Figura 12:** 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.

En cualquier caso, los picos de turbidez de este periodo son de corta duración (días), y tras las lluvias o vientos se produce una vuelta relativamente rápida a valores más basales ( $< 1$  FTU; Figura 13). Esto contrasta con el mencionado incremento del coeficiente de extinción de la luz descrito en este mismo periodo (Figura 11) y el elevado valor medio de esta variable en invierno de 2026 ( $0,51 \text{ m}^{-1}$ ), superior al



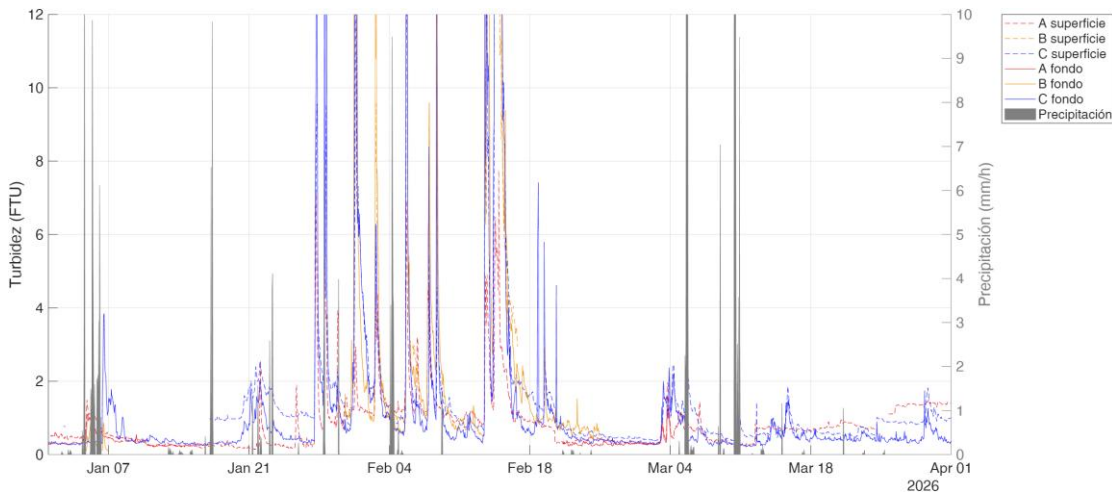
obtenido en años previos en esta misma época del año (p.e.,  $0,34 \text{ m}^{-1}$  en 2024 y  $0,35 \text{ m}^{-1}$  en 2025; Tabla 4). En este mismo periodo es precisamente cuando se observa también una tendencia de aumento de la clorofila (Figura 9), lo que podría reflejar un proceso de desarrollo fitoplanctónico alimentado por los efectos combinados de las precipitaciones y la resuspensión de sedimentos por vientos sobre la disponibilidad de nutrientes, lo que a su vez contribuiría a explicar el incremento sostenido del  $K_d$  en la columna de agua.

Este aparente desacoplamiento entre los eventos de turbidez (FTU) y las tendencias de la chl-a y  $K_d$  podría reflejar la forma en que la elevada frecuencia de eventos climáticos puntuales (lluvias, vientos) puede causar efectos acumulativos sobre la disponibilidad de nutrientes capaces de activar procesos de desarrollo fitoplanctónico y, en consecuencia, alterar la calidad del agua e intensificar la limitación de luz en el fondo de la laguna. De hecho, el incremento del  $K_d$  y de la clorofila en el periodo mencionado, se traduce en una disminución progresiva de la disponibilidad de luz en el fondo a partir de diciembre de 2025 (Figura 12), momento en el que los valores de %lo ya se habían recuperado tras el paso de la DANA Alice. No obstante, esta disminución de la disponibilidad de luz no llega a alcanzar valores limitantes para el desarrollo de la vegetación bentónica (Figura 12).

Tras este periodo más turbulento, a partir de finales de febrero la ausencia de eventos intensos de precipitaciones y vientos han favorecido condiciones de reposo, más estables, con valores turbidez inferiores a 2 FTU (Fig. 13). Ello se refleja en una disminución del  $K_d$  a finales de marzo y la consiguiente recuperación de la disponibilidad de luz en el fondo con valores medios de 14.86 %lo, óptimos para la vegetación bentónica.

A partir del análisis de los mapas de turbidez, obtenidos aplicando el algoritmo Nechard a las imágenes de satélite, y los de disponibilidad de luz (%lo), se puede comprobar que las variaciones de estas variables obtenidas en las estaciones de muestreo son representativas de lo que ocurre a nivel de toda la laguna, excepto en algunas zonas concretas en las que se detectan patrones espaciales más locales. Estas fuentes de variación a escala local están relacionadas con la franja de clorofila del litoral noroeste descrito en el apartado anterior, y con la mancha blanca. Esto evidencia la complementariedad entre las mediciones de alta resolución temporal de

las estaciones de muestreo con las mediciones de alta resolución espacial obtenidas a partir de las imágenes de satélite y, por tanto, el potencial de la combinación de ambas aproximaciones para obtener una imagen completa del estado del ecosistema lagunar.



**Figura 13:** Series temporales de turbidez 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) del periodo del presente informe. En gris se muestran las precipitaciones registradas por la estación meteorológica (Estación 4).

**Tabla 3:** Valores mínimos y máximos de luz PAR disponible a 4 m (%I<sub>0</sub>) por año medidos durante los muestreos in situ, considerando conjuntamente las estaciones A, B y C.. DE: desviación estándar.

Luz PAR disponible a 4 m (%I <sub>0</sub> )		4 m profundidad			
Año	Estación	Media	DE	Mín.	Máx.
2016	Invierno	---	---	---	---
	Primavera	6,42	0,00	6,42	6,42
	Verano	1,49	1,00	0,07	2,22
	Otoño	2,84	0,00	2,84	2,84
	Anual	3,05	2,41	0,07	6,42
2017	Invierno	12,42	11,73	4,13	20,72
	Primavera	20,80	3,69	16,55	23,09
	Verano	6,39	4,92	2,31	13,51
	Otoño	4,81	2,14	3,29	6,31
	Anual	11,13	8,34	2,31	23,09
2018	Invierno	12,59	4,52	8,39	17,37
	Primavera	---	---	---	---
	Verano	27,85	8,29	21,98	33,71
	Otoño	37,72	0,75	36,99	38,49
	Anual	25,83	12,36	8,39	38,49

2019	Invierno	47,64	10,23	40,41	54,87
	Primavera	26,79	11,61	14,97	38,18
	Verano	12,11	8,71	3,35	25,62
	Otoño	1,92	1,16	0,47	3,66
	Anual	15,48	16,92	0,47	54,87
2020	Invierno	12,05	3,53	8,04	14,68
	Primavera	14,48	5,17	8,52	17,74
	Verano	18,61	9,55	8,83	27,92
	Otoño	28,19	1,80	26,49	30,09
	Anual	18,33	8,09	8,04	30,09
2021	Invierno	32,88	5,23	27,89	38,33
	Primavera	31,17	3,64	27,98	35,14
	Verano	14,15	19,02	2,68	42,49
	Otoño	25,83	13,75	10,99	38,13
	Anual	25,10	13,90	2,68	42,49
2022	Invierno	20,68	6,33	14,27	30,43
	Primavera	32,59	8,83	18,26	39,17
	Verano	19,99	9,05	14,27	30,43
	Otoño	21,01	4,71	17,50	29,15
	Anual	24,38	8,71	14,27	39,16
2023	Invierno	33,13	4,63	26,78	40,12
	Primavera	24,48	5,61	16,77	34,65
	Verano	32,19	4,29	18,74	30,39
	Otoño	21,19	7,47	9,39	30,69
	Anual	25,37	6,90	9,39	40,12
2024	Invierno	28,26	4,61	24,03	35,54
	Primavera	19,40	7,01	11,72	33,83
	Verano	12,85	2,25	8,56	15,33
	Otoño	14,91	3,74	11,04	19,54
	Anual	18,30	7,24	8,56	15,33
2025	Invierno	27,54	6,17	20,75	36,79
	Primavera	22,62	5,49	12,43	34,18
	Verano	15,25	4,99	8,19	24,56
	Otoño	11,04	3,85	4,38	17,77
	Anual*	17,73	7,91	4,38	36,79
2026	Invierno	14,86	2,90	12,21	19,40
	Anual*	14,86	2,90	12,21	0,19

\*Hasta 31/03/26

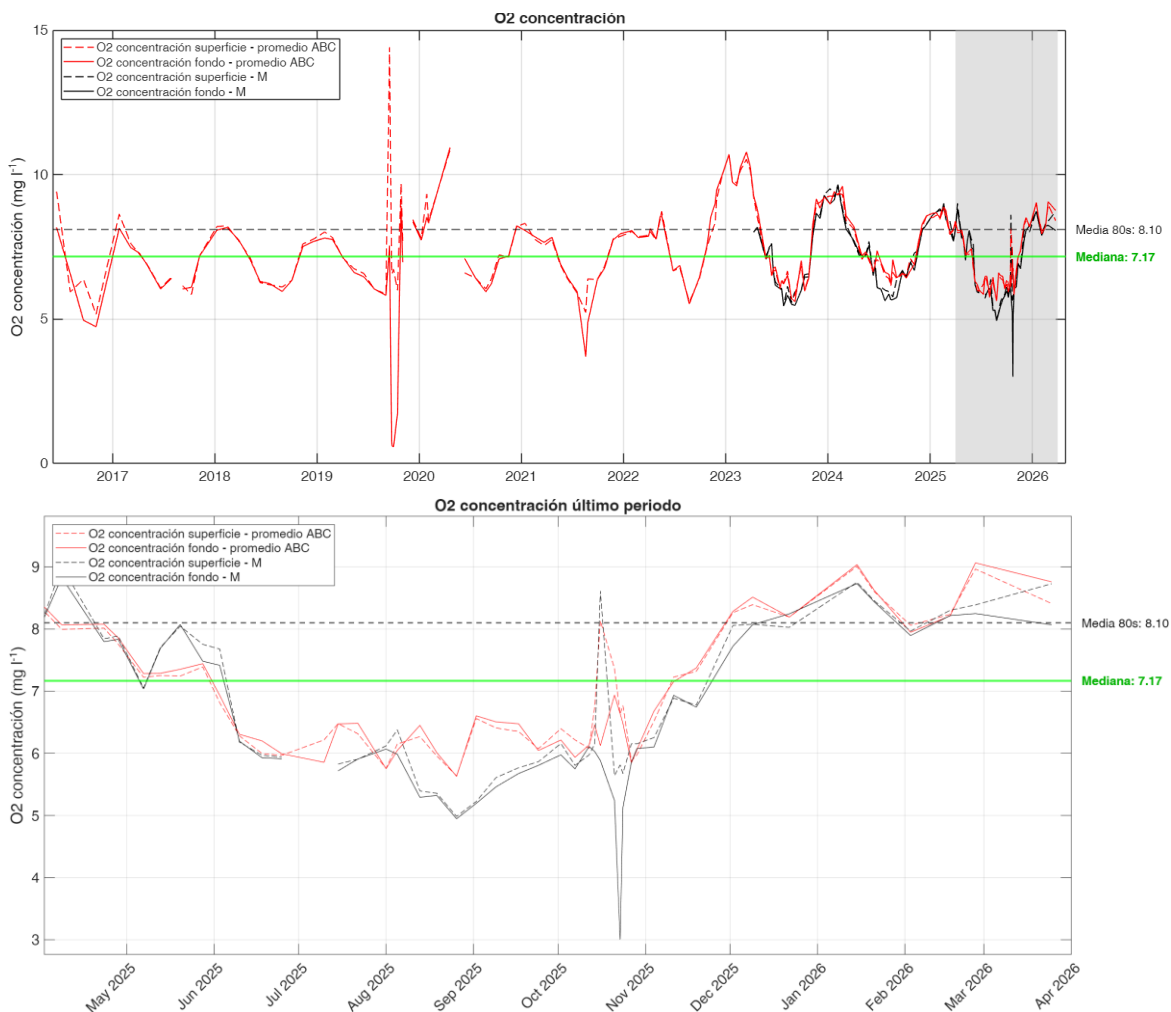
### 3.5. Oxígeno

El oxígeno disuelto presenta un patrón de variación estacional característico con niveles máximos en invierno y mínimos durante el periodo estival, situándose la mediana de la serie temporal post-colapso en 7,17 mg/l (Figura 14). Como es típico de



sistemas lagunares eutrofizados y alterados, los episodios extremos de precipitaciones, olas de calor y blooms fitoplanctónicos registrados en este periodo han sido responsables de anomalías substanciales de la concentración de oxígeno, que en ocasiones han llegado a situaciones de hipoxia e incluso anoxia, que a su vez han desembocado en episodios de mortalidad masiva de organismos marinos, como los ocurridos en 2019 y 2021.

El control de la evolución de esta variable en la laguna es, por tanto, clave para conocer y diagnosticar el estado del ecosistema lagunar. En este sentido, la posibilidad de disponer de datos en continuo y tiempo casi-real de esta variable por el sistema de monitorización de BELICH, representa sin duda un salto cualitativo y cuantitativo particularmente relevante en nuestra capacidad de detectar posibles alteraciones del estado del ecosistema lagunar, incluso en etapas tempranas, previas a que se alcance el estado alterado.



**Figura 14:** 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).

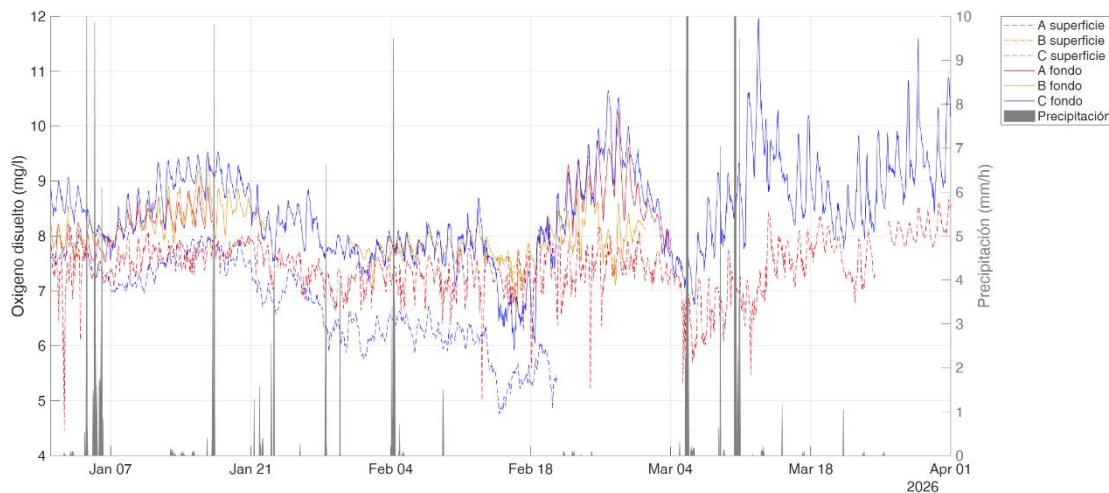
En línea con lo anterior, como se muestra en la Figura 14 y en el correspondiente informe (IEO-CSIC, 2026), en 2025 la ola de calor estival y la DANA Alice fueron capaces de causar importantes alteraciones de los niveles de oxígeno en la laguna, alcanzando incluso condiciones de anoxia en la zona sur. Tras la DANA, la concentración de oxígeno inició una tendencia ascendente hasta retomar los valores elevados y estables propios del periodo invernal.

**Tabla 4:** Valores medios, mínimos (Min) y máximos (Max) de oxígeno disuelto por año medidos en superficie (0,5 m) y fondo (4-6m dependiendo de la estación; Figura 1), durante los muestreos, considerando conjuntamente las estaciones A, B y C. DE: desviación estándar.

Oxígeno disuelto (mg/l)		Superficie				Fondo			
Año	Estación	Media	DE	Min	Max	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
	Anual*	8,5	0,4	8,0	8,9	8,5	0,4	7,9	9,0

\*Hasta 31/03/26



**Figura 15:** 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 continua) y fondo (línea discontinua) del periodo del presente informe. En azul se muestran las precipitaciones registradas por la estación meteorológica (Estación 4).

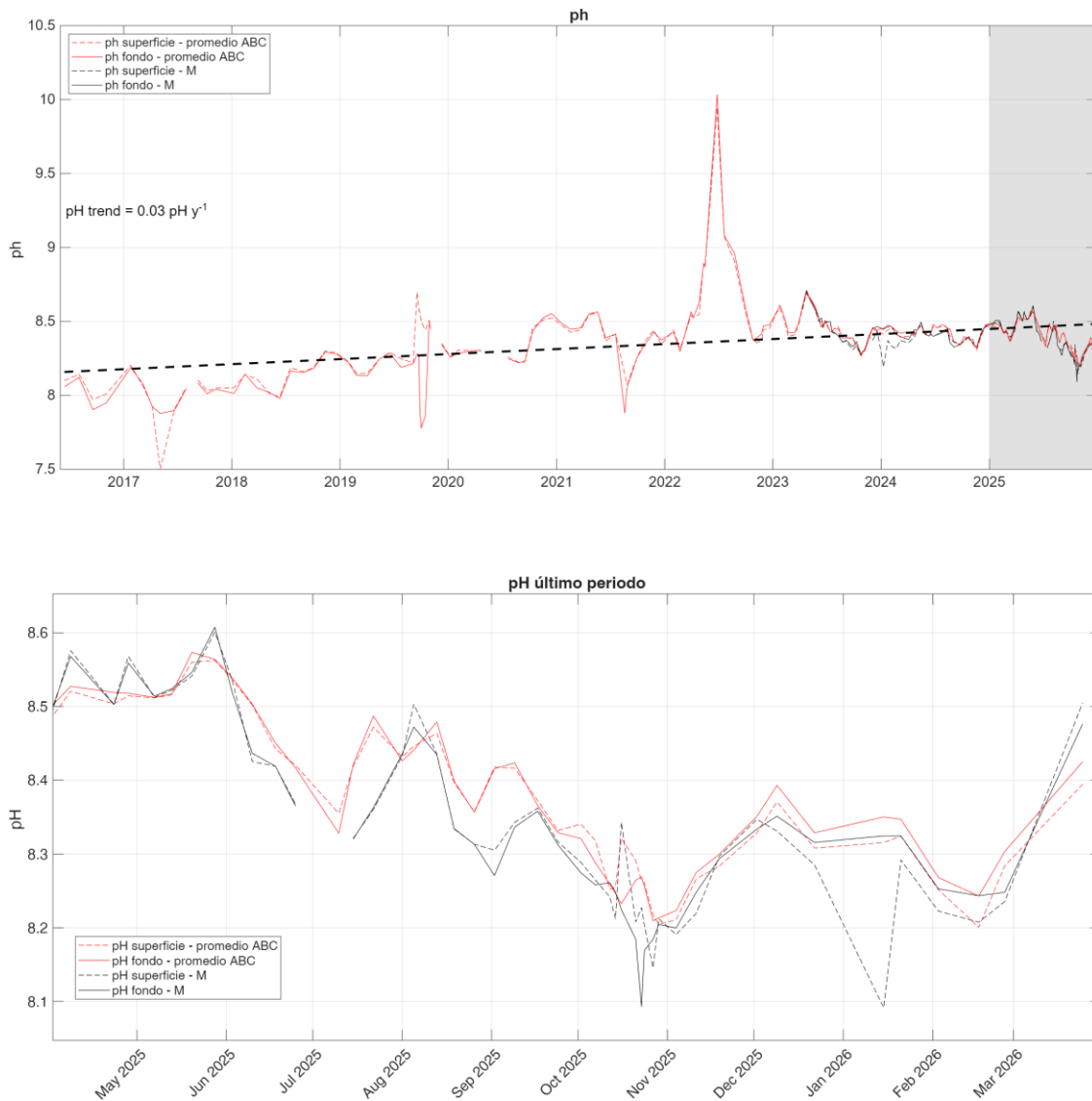
A diferencia de la inestabilidad observada en octubre de 2025, los episodios de precipitación registrados en el inicio de 2026, no han provocado desviaciones notables en los niveles de oxígeno. En los primeros meses de 2026 las concentraciones medias de oxígeno en la laguna (8,5 mg/l; DE=0,4mg/l) han sido superiores a la mediana de la serie temporal (7,17 mg/l), y similares a la media de décadas anteriores (p.e., años 80: 8,10 mg/l). Desde mediados de febrero, coincidiendo con la menor incidencia de los vientos, los niveles de oxígeno tienden incluso a aumentar llegando incluso a alcanzar concentraciones máximas de 12 mg/l (Figuras 14 y 15). Estos valores son



bastante homogéneos en la columna de agua, como se deduce de la similitud de los valores entre superficie y fondo, lo que es coherente con la ausencia de algún tipo de estratificación hidrográfica de la columna de agua. Estos resultados indican que las desviaciones de la salinidad, clorofila y turbidez, descritas en apartados anteriores, en relación con la incidencia de eventos meteorológicos, no tuvieron ningún efecto adverso en las concentraciones de oxígeno.

### 3.6. pH

El pH en el Mar menor experimenta desde 2016 una tendencia lineal de aumento, con variaciones interanuales relacionadas con eventos de precipitaciones y blooms fitoplanctónicos, entre otros procesos de los que existe muy escaso conocimiento (IEO-CSIC, 2026). A partir de los meses estivales de 2025 se produjo una disminución progresiva del pH desde un valor medio de 8,6 hasta un valor medio de 8,2. Este tipo de episodios, caracterizados por un rápido incremento de la biomasa fitoplanctónica, conllevan importantes alteraciones en la química del sistema, tendente a la acidificación. Durante la fase de proliferación, la intensa actividad fotosintética puede inducir incrementos puntuales del pH; sin embargo, a medida que el bloom entra en fase de senescencia y degradación, la respiración bacteriana y los procesos de remineralización de la materia orgánica generan un aumento de CO<sub>2</sub> disuelto, favoreciendo la acidificación del medio. Aunque con ciertas fluctuaciones, desde comienzos de noviembre hasta la actualidad, la evolución del pH en el Mar Menor ha mostrado una tendencia general de aumento hasta valores medios entorno a 8,4 (Figura 16; Tabla 6).



**Figura 16:** Valores de pH promedio en las estaciones A, B y C (líneas rojas) y en la estación M de la mancha blanca (líneas rojas) (ver Figura 1 para la localización de las estaciones de muestreo). 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.

**Tabla 5:** Valores medios, mínimos (Mín.) y máximos (Máx.) de pH por año medidos en superficie (0,5 m) y fondo (4-6m dependiendo de la estación. Figura 1), durante los muestreos, considerando conjuntamente las estaciones A, B y C. DE: desviación estándar.

pH		Superficie				Fondo			
Año	Estación	Media	DE	Mín.	Máx.	Media	DE	Mín.	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
	Anual*	8,26	0,04	8,20	8,32	8,30	0,05	8,24	8,34

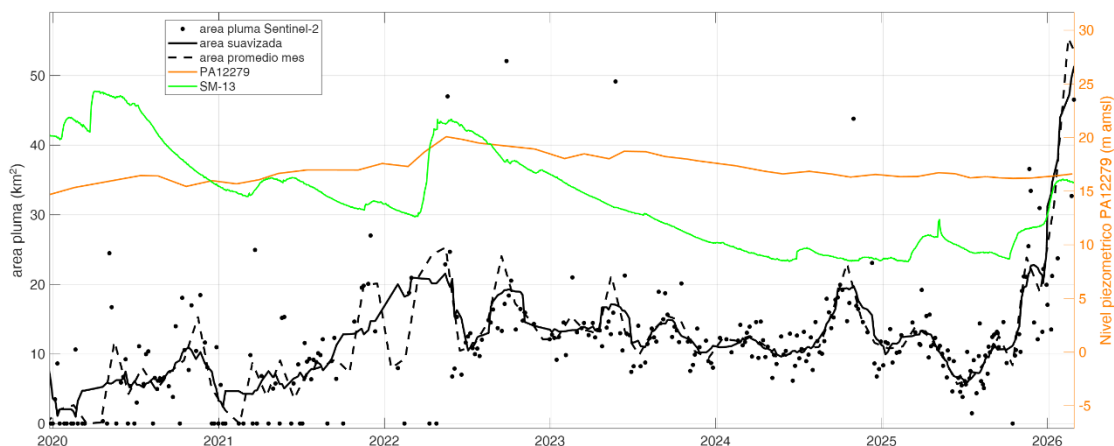
\*Hasta 31/03/26

### 3.7. Mancha blanca

Desde el otoño de 2022 se ha identificado un nuevo elemento disruptor en el ecosistema del Mar Menor, conocido como "mancha blanca" o "whiting", asociado a la precipitación masiva y sostenida de carbonato cálcico en la zona centro-occidental de la laguna (Oosterbaan et al., 2025). La dinámica de este fenómeno, tanto en su intensidad como en su extensión espacial, presenta una marcada variabilidad estacional y se encuentra fuertemente condicionada por episodios meteorológicos, aunque se desconoce el mecanismo que determina su aparición, ubicuidad y persistencia.

Como se ha explicado en informes y publicaciones, y se muestra en las gráficas de los apartados anteriores de este mismo informe, las principales características del fenómeno se mantienen hasta el momento actual. Éstas son la turbidez extrema, que impide la llegada de luz al fondo, lo que ha causado la desaparición total o parcial de la vegetación bentónica. La masa de agua de la mancha blanca tiene la misma salinidad, temperatura y oxígeno que en el resto de la laguna, pero presenta habitualmente mayor concentración de clorofila que el resto de la laguna, a consecuencia de las mayores concentraciones de nutrientes en esta misma zona (Oosterbaan et al., 2025). Tampoco existen diferencias en el pH de la mancha blanca respecto al resto de la laguna, debido al efecto tamponador de la precipitación autigénica de carbonatos.

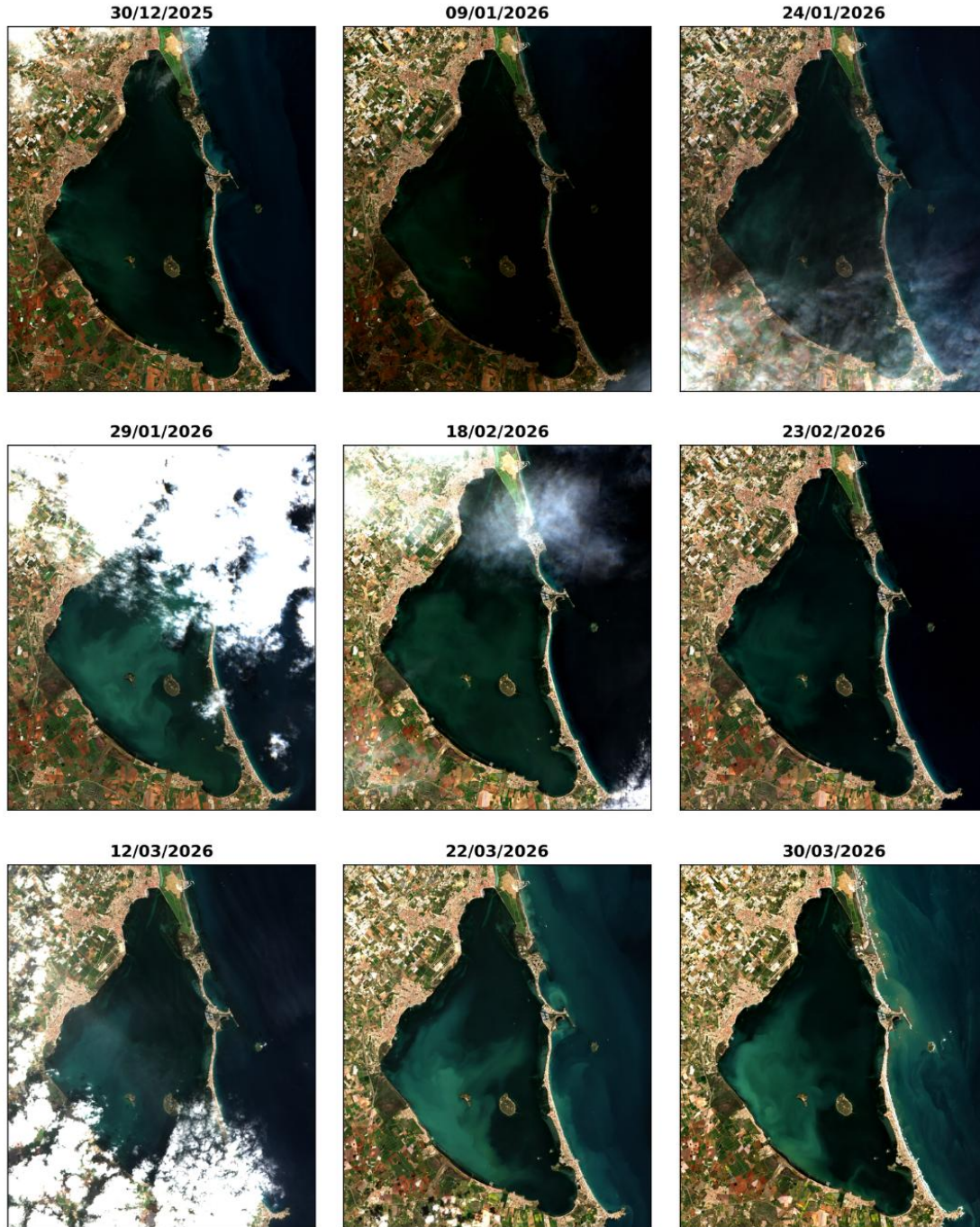
Durante los primeros meses de 2026, la mancha blanca ha mostrado una tendencia preocupante de incremento de su superficie, pasando de una extensión estimada de 11 km<sup>2</sup> en el periodo 2022-2025 a ocupar un área que ha llegado a superar los 50 km<sup>2</sup> (Figura 17). Aunque se ha constatado que su dinámica espacio-temporal está estrechamente vinculada a la interacción entre la laguna y el acuífero, los factores que explican los cambios en extensión no están claros. A largo plazo, la evolución de la mancha blanca parece estar correlacionada con la dinámica de respuesta lenta del acuífero, como la mostrada por el nivel piezométrico del punto de medición PA 12279 representada en la Figura 17. A corto plazo, la expansión reciente del área de la mancha se correlaciona más con la dinámica de respuesta rápida del acuífero, mostrada por el nivel piezométrico del punto de medición SM13 representado en la Figura 17, aunque los datos más recientes sugieren que el componente de respuesta lenta podría estar también contribuyendo a la dinámica expansiva de la mancha blanca. La falta de correlación con las variaciones del nivel piezométrico de la estación SM13 en el periodo previo indican que pueden haber implicados otros factores en la dinámica y evolución de la mancha blanca.



**Figura 17:** Evolución de la extensión de la mancha blanca (km<sup>2</sup>; puntos y línea negros) 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.



A raíz de estos últimos cambios experimentados por la mancha blanca, y dadas las severas repercusiones que el fenómeno tiene en el ecosistema lagunar, se ha vuelto a constituir un equipo multidisciplinar formado por diferentes equipos de expertos que actúan tanto en la laguna como en la cuenca vertiente, en las áreas de la hidrogeología, oceanografía, ecología, microbiología y biogeoquímica. El conocimiento de los mecanismos que determinan la dinámica y evolución de la mancha blanca es en estos momentos clave para identificar su origen y, por tanto, las medidas necesarias para su mitigación.



**Figura 17:** Evolución temporal del fenómeno de "mancha blanca" a lo largo del primer trimestre de 2026. Imágenes obtenidas por el satélite *Sentinel 2* del Programa Copernicus.



## 4. Síntesis y conclusiones



Fotografía OLAS



El primer trimestre de 2026 ha estado caracterizado por un periodo de elevada inestabilidad meteorológica debido a la sucesión y superposición de episodios de precipitaciones de baja intensidad y una elevada frecuencia de vientos intensos. Este régimen de perturbación ha contribuido a mantener el descenso de la salinidad (siguiendo la dinámica observada tras la DANA Alice en 2025) y ha causado una alteración moderada de la calidad del agua (aumento de clorofila y la turbidez), relacionada con el efecto acumulado de pulsos de alta disponibilidad de nutrientes inducidos por descargas continentales y la resuspensión de los sedimentos del fondo.

No obstante, en base a otros parámetros (p.e., oxígeno y disponibilidad de luz) se puede afirmar que el funcionamiento del ecosistema lagunar no se ha visto significativamente afectado por estas alteraciones, tal y como se refleja en los niveles óptimos de oxígeno y disponibilidad de luz en el fondo. Además, las mencionadas alteraciones han revertido inmediatamente tras el cese de las perturbaciones meteorológicas, de forma que al final del periodo los diferentes parámetros que definen el estado de la laguna se encuentran en valores basales, dentro de rangos normales (aguas transparentes, bien oxigenadas e iluminadas), a excepción de la salinidad y el pH, y obviamente, el área de la mancha blanca.

Precisamente, el episodio más notable registrado en este periodo ha sido el aumento de la superficie ocupada por la mancha blanca, que ha pasado de 11 km<sup>2</sup> a 50 km<sup>2</sup>. Este cambio preocupa a científicos y gestores dadas sus conocidas consecuencias negativas para el ecosistema lagunar. Los equipos del CSIC (IEO, CEBAS e IACT) y los de la DGA (Tragsa) han iniciado una investigación multidisciplinar para ahondar en los mecanismos causantes de la mancha blanca y su evolución posterior, aspecto clave para establecer las medidas de mitigación del fenómeno.

El sistema de monitorización demuestra su buen funcionamiento permitiendo caracterizar éstos y otros procesos relevantes de la dinámica del ecosistema con muy alta precisión, en continuo y en tiempo casi-real, proveyendo conocimiento científico básico para entender tales procesos y una herramienta extremadamente útil para el diagnóstico y la gestión. El sistema combina eficazmente datos de alta resolución temporal (sensores oceanográficos) con datos de alta resolución espacial



(datos satelitales) de forma que permite captar con precisión procesos que tienen lugar tanto a escala lagunar como a escala más local, permitiendo una imagen fiable y completa del estado de la laguna.



## 5. Bibliografía

- Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (2026). Borrascas y danas con gran impacto: Borrasca Francis. [https://www.aemet.es/es/conocerlas/borrascas/2025-2026/estudios\\_e\\_impactos/francis](https://www.aemet.es/es/conocerlas/borrascas/2025-2026/estudios_e_impactos/francis)
- Doney, S. C., Fabry, V. J., Feely, R. A., & Kleypas, J. A. (2009). Ocean acidification: the other CO<sub>2</sub> problem. *Annual Review of Marine Science*, 1, 169-192.
- IEO-CSIC (2026). 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/>
- 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
- Nardelli, B. B., Tronconi, C., Pisano, A., & Santoleri, R. (2013). High and ultra-high resolution processing of satellite Sea Surface Temperature data over Southern European Seas in the framework of MyOcean project. *Remote Sensing of Environment*, 129, 1-16.
- Oliver, E. C., Benthuisen, J. A., Darmaraki, S., Donat, M. G., Hobday, A. J., Holbrook, N. J., Schlegel, R. W., & Sen Gupta, A. (2021). Marine heatwaves. *Annual Review of Marine Science*, 13, 313-342.
- Oosterbaan, M., Gómez-Jakobsen, F., Barberá, G. G., Mercado, J. M., Ferrera, I., Yebra, L., Valero-Garcés, B., Delgado-Huertas, A., Álvarez, M., Marín-Guirao, L., Martínez Martínez, P., Orenes-Salazar, V., Galofré, M., Granados, A., Verdugo, C., Cabello, A. M., Camarena-Gómez, M. T., Gazulla, C. R., Ouaiassa, S., Pérez-Rubín, E., ... Ruiz, J. M. (2025). Characterization and potential causes of a whiting event in the Mar Menor coastal lagoon (Mediterranean, SE Spain). *Science of the Total Environment*, 978, 179391. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179391>
- Ouaiassa, 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.



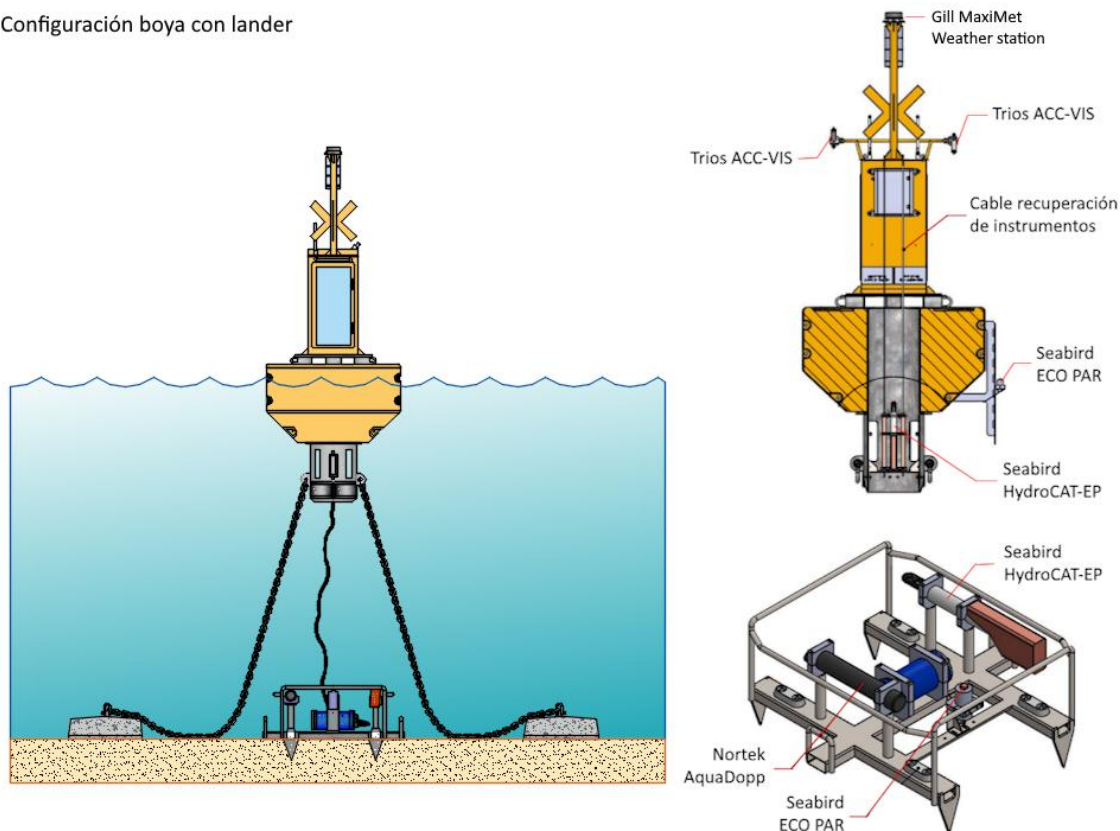
## 6. Anexos



Fotografía J. Murcia

## 6.1. Anexo I: Estaciones de monitorización BELICH

Configuración boya con lander



**Figura 18:** Esquema boya y lander (fondeo) de las estaciones de monitorización A, B, y C. Las estaciones de Estacion y Marchamalo (5 y 6) solo tienen la parte profunda (lander).

La Figura 18 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 28 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.

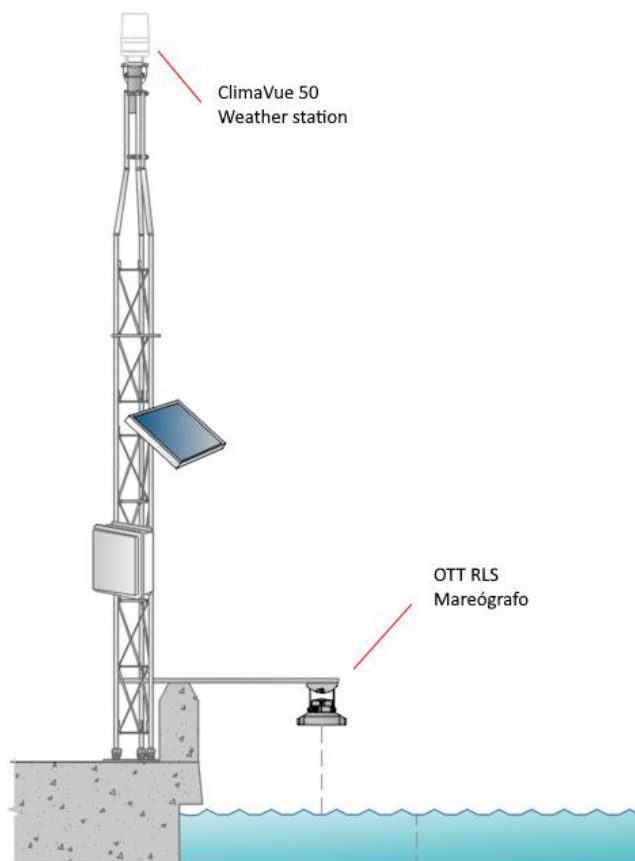


Figura 19: Esquema de los sensores instalados en la estación 4 en la base militar de San Javier.

## 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 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. 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 (% $I_0$ ) (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 ( $2\pi$ ). 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 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.

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<sup>+</sup>) en la muestra. Estas medidas se obtienen en escala NBS. Este tipo de sensores nos permiten tomar mediciones de pH precisas y en tiempo real.

Los datos de pH se obtienen de las siguientes fuentes:

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

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

### 6.2.6. Balance hídrico Mar Menor – Mediterráneo:

Para cuantificar el flujo de agua 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. Estas mediciones se obtuvieron mediante el correntímetro Aquadopp Profiler 2 MHz G2 de Nortek, configurando una resolución de celda vertical de 0,2 m para la obtención de los perfiles.

## 6.3. Anexo III: Mapas satelitales

### 6.3.1 Mapas clorofila-a

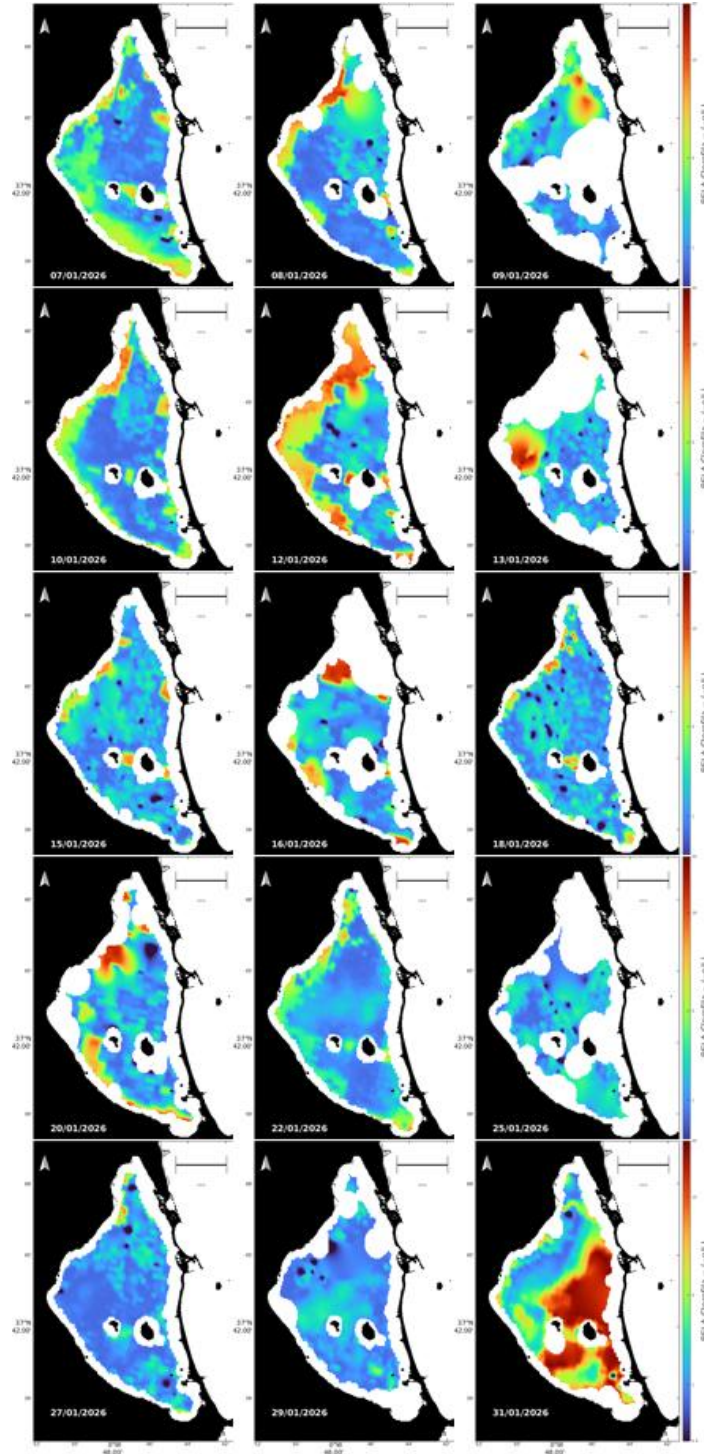


Figura 20: Mapas satelitales Sentinel-3 de clorofila-aplicando el algoritmo BELA obtenidos en enero de 2026.

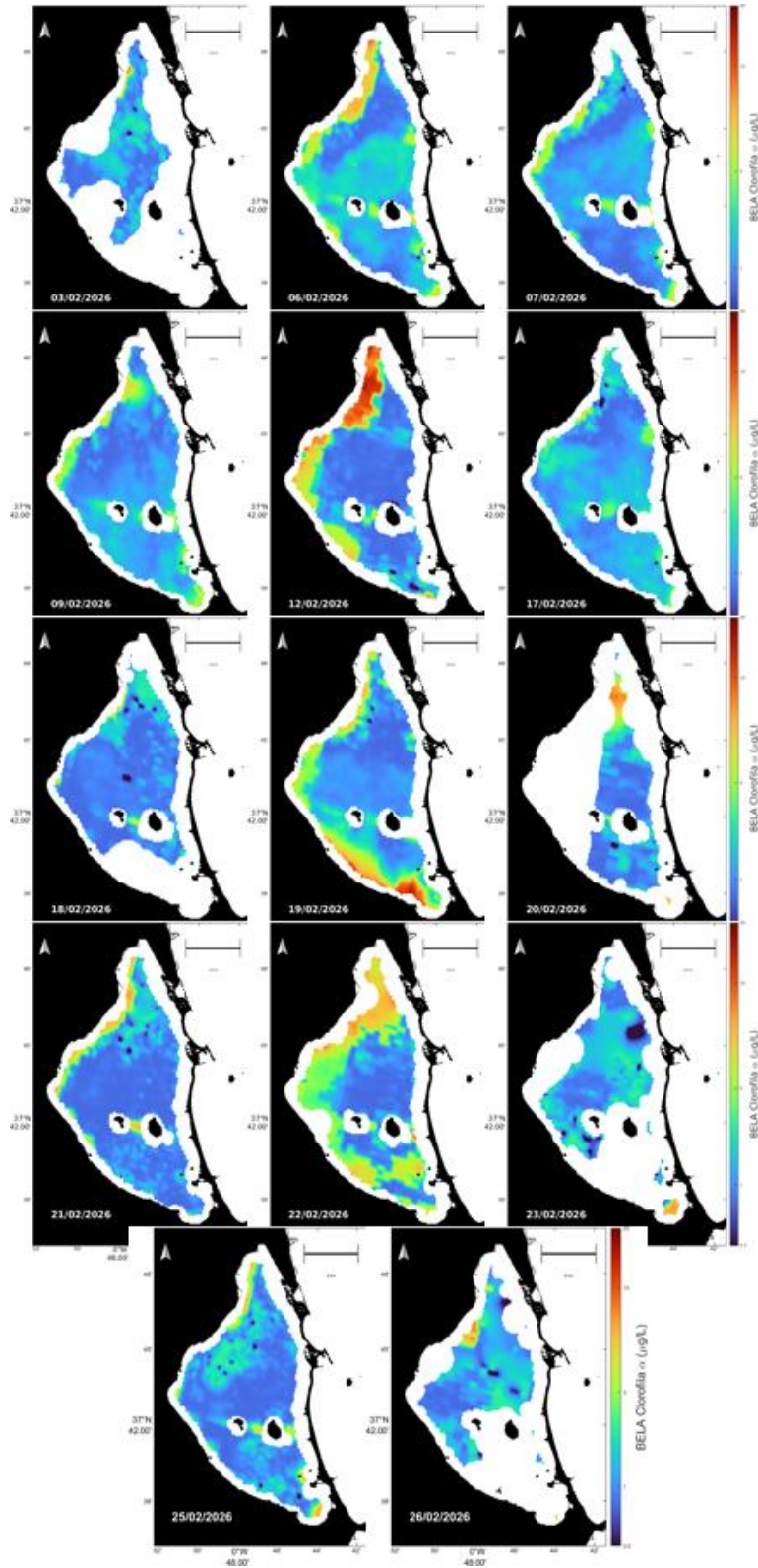


Figura 21: Mapas satelitales Sentinel-3 de clorofila-aplicando el algoritmo BELA obtenidos en febrero de 2026.

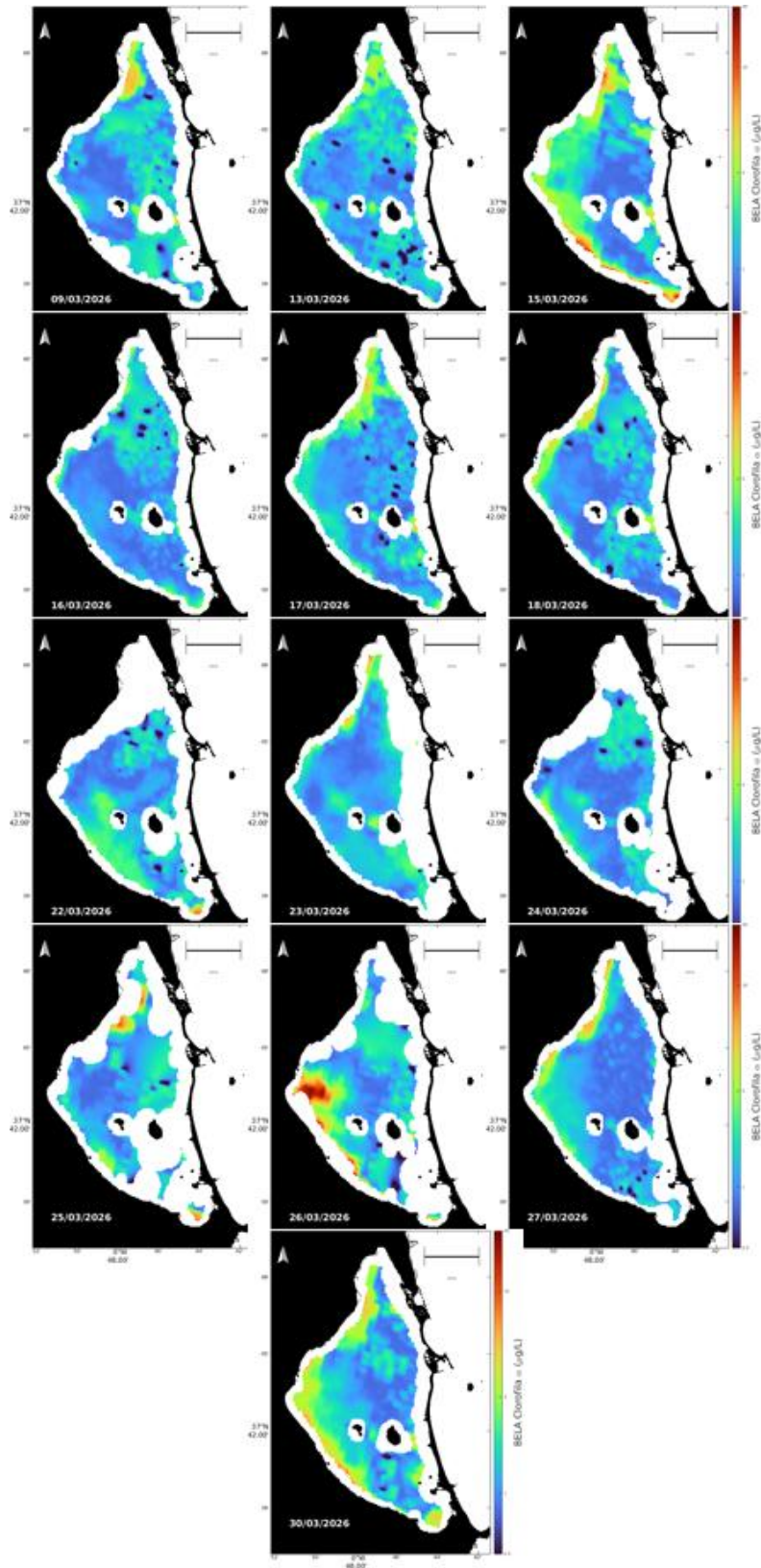


Figura 22: Mapas satelitales Sentinel-3 de clorofila-aplicando el algoritmo BELA obtenidos en marzo de 2026.

### 6.3.2 Mapas turbidez

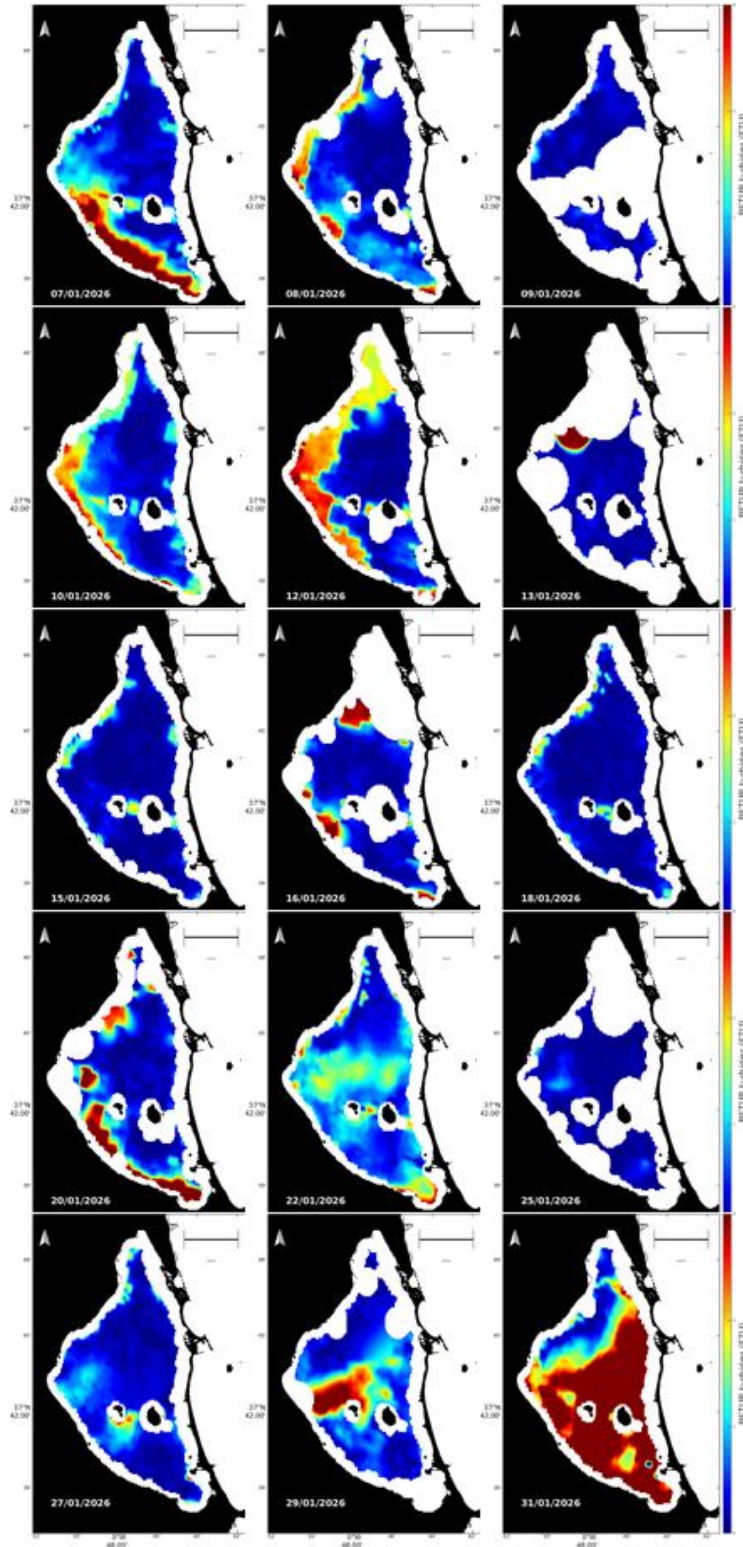


Figura 23: Mapas satelitales Sentinel-3 de turbidez aplicando el algoritmo Nechard obtenidos en enero de 2026.

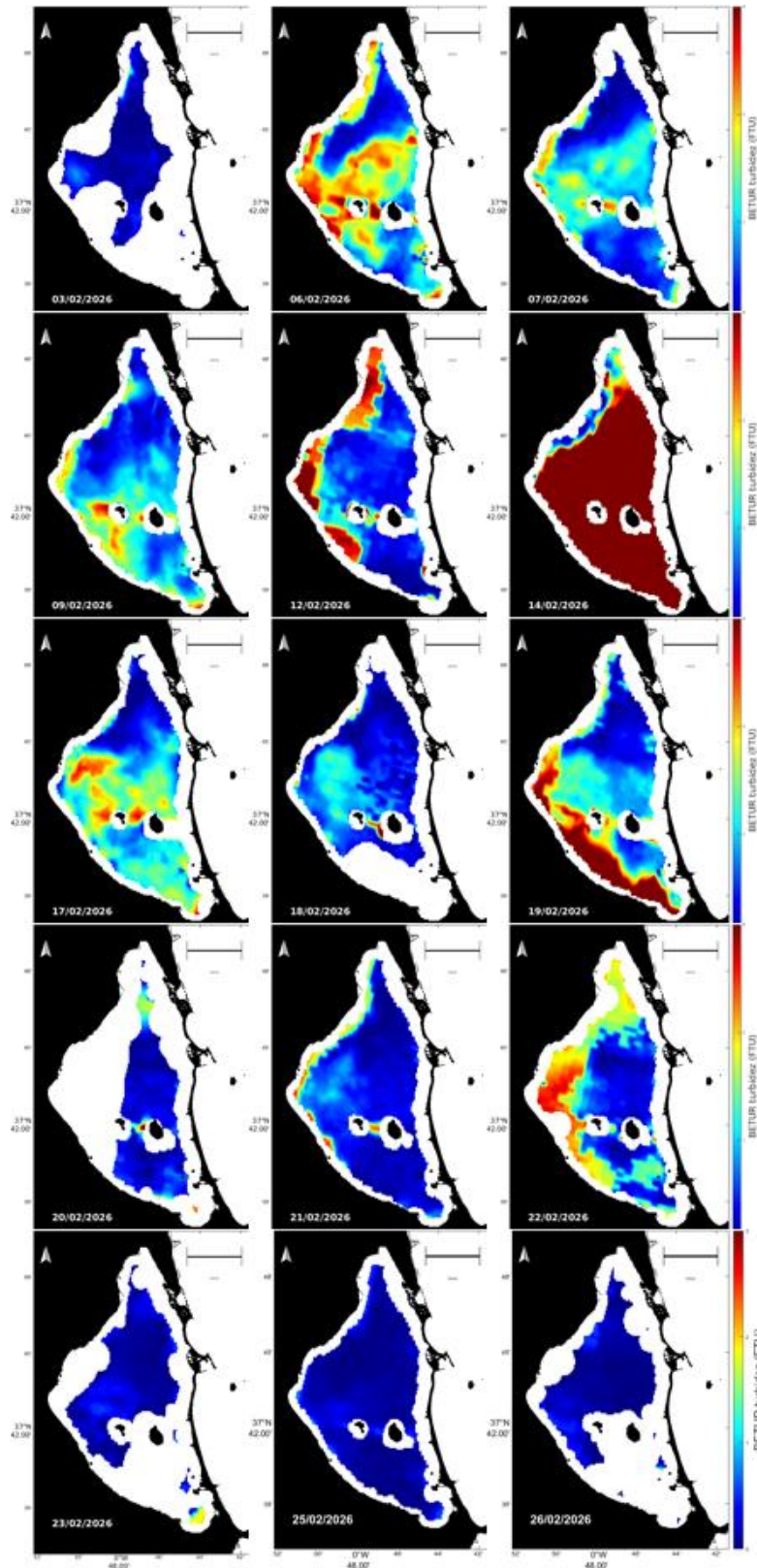


Figura 24: Mapas satelitales Sentinel-3 de turbidez aplicando el algoritmo Nechard obtenidos en febrero de 2026.

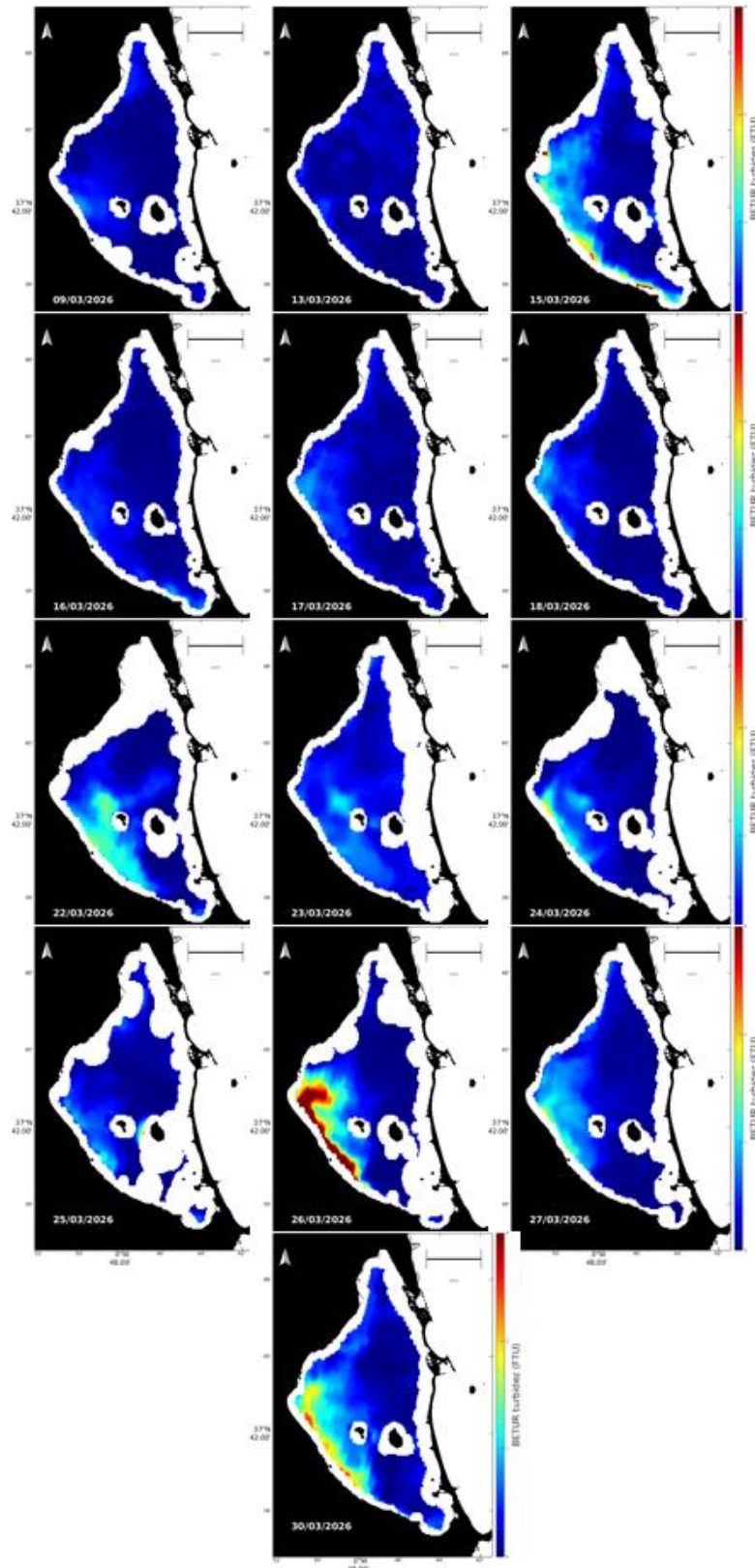


Figura 25 Mapas satelitales Sentinel-3 de turbidez aplicando el algoritmo Nechard obtenidos en marzo de 2026.

### 6.3.3 Mapas %<sub>o</sub>

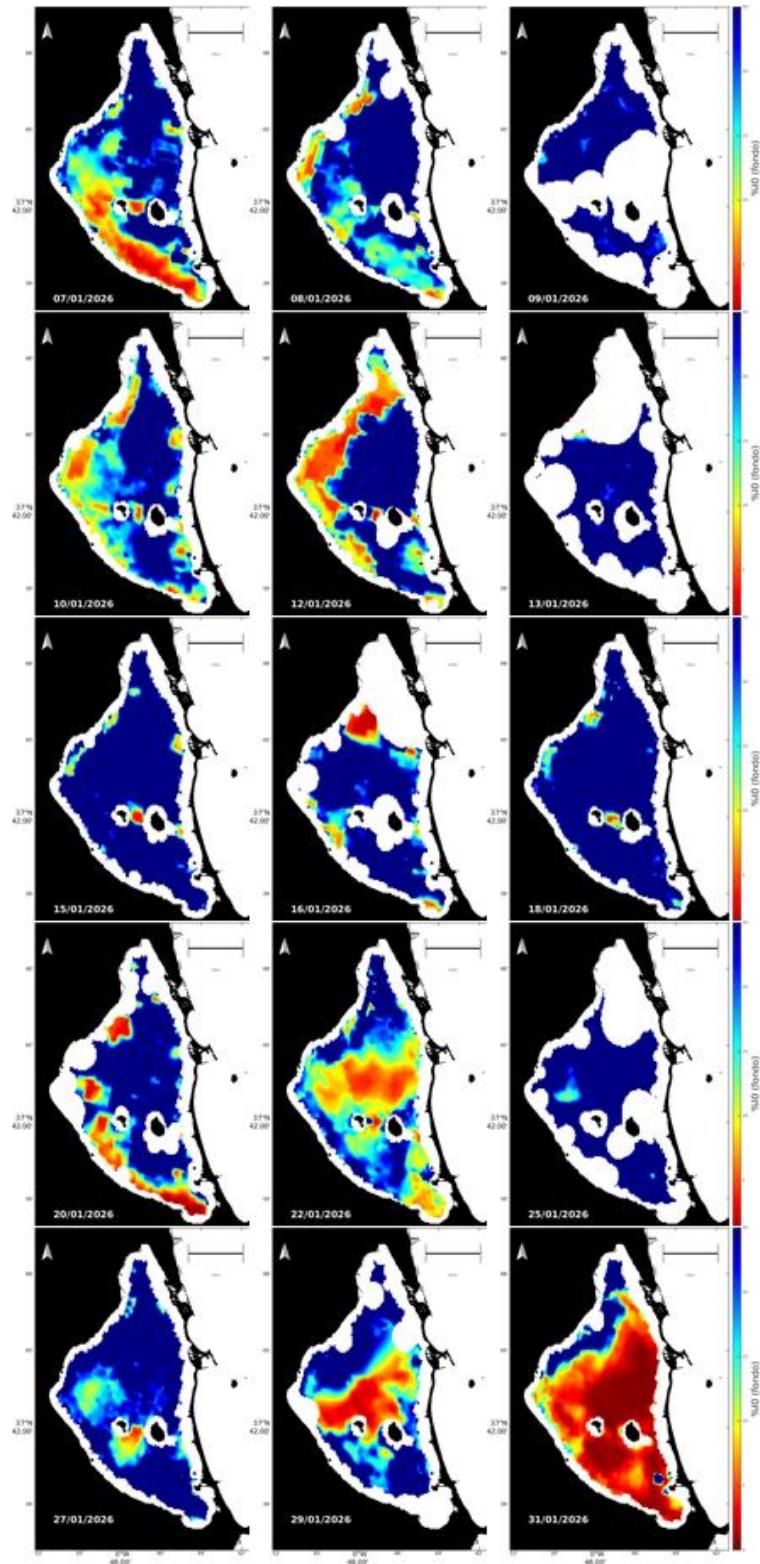


Figura 26: Mapas satelitales Sentinel-3 de %<sub>o</sub> obtenidos en enero de 2026.

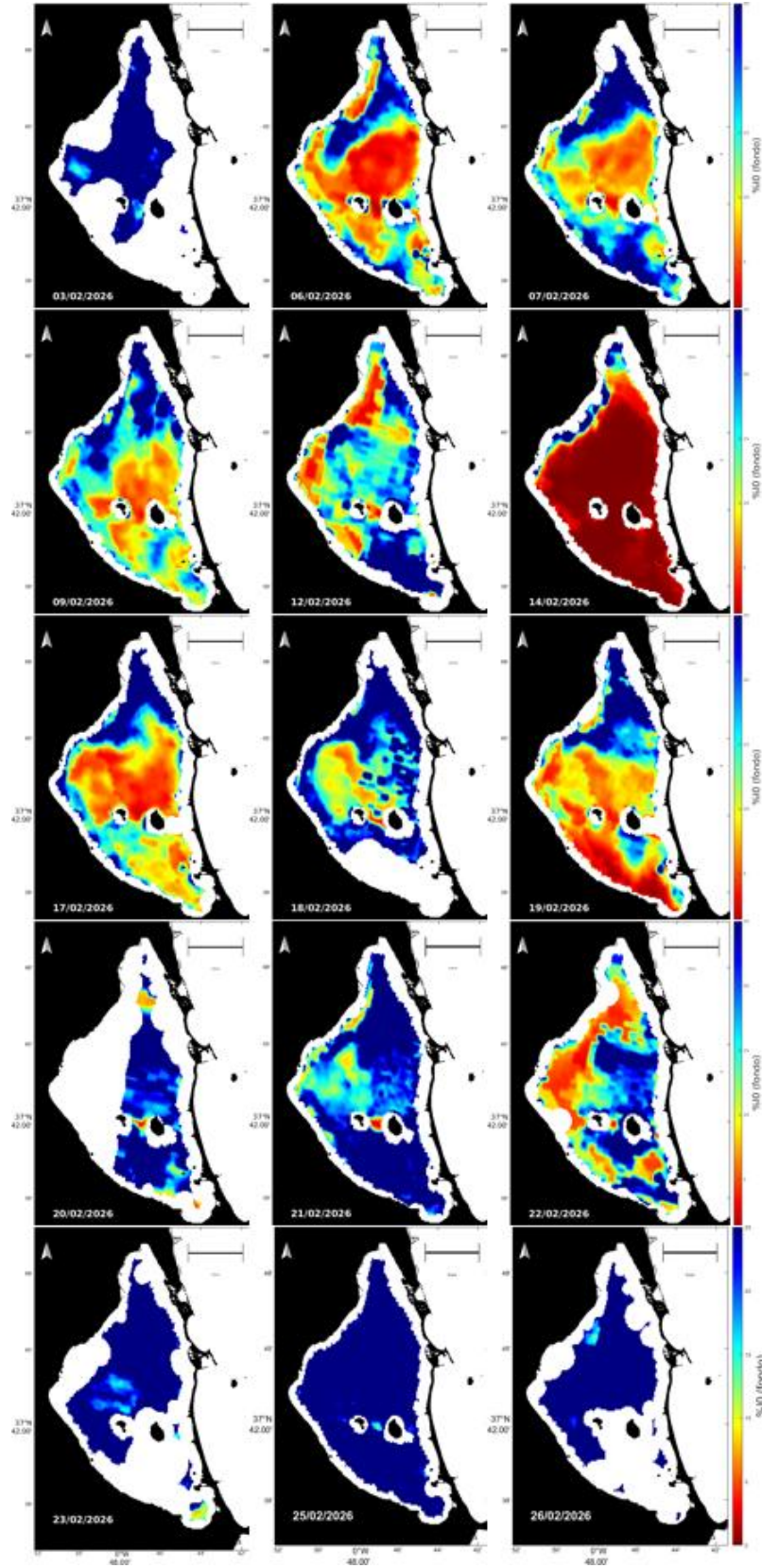


Figura 27: Mapas satelitales Sentinel-3 de %a0 obtenidos en febrero de 2026.

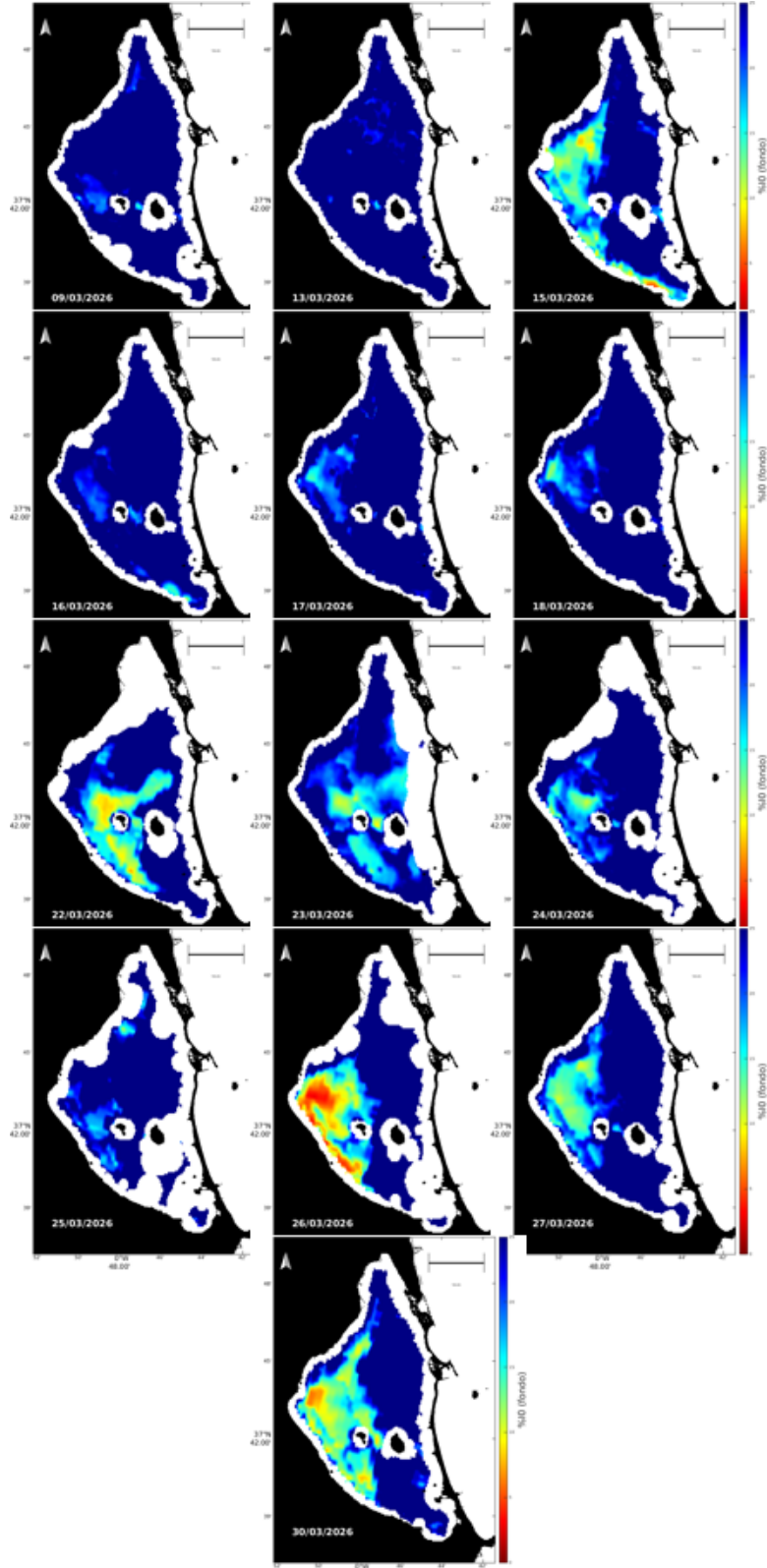


Figura 28: Mapas satelitales Sentinel-3 de %I0 obtenidos en febrero de 2026.