

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

Instituto Español de Oceanografía (IEO-CSIC)



*Cangrejo verde o Mediterráneo (Carcinus aestuarii) Fotografía: Juan M. Ruiz*

## Informe de actualización de resultados del programa de seguimiento del estado del Mar Menor (junio 2023)

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

### Fuentes de Financiación:

- Proyecto DMMEM. IEO-CSIC.
- Proyecto BELICH, IEO-CSIC: Marco de Actuaciones de prioritarias para recuperar el Mar Menor. Sub-Actuación 8.1. Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico (MITERD).
- Financiado por Unión Europea Next Generation EU. Plan de Recuperación Transformación y Resiliencia

### Equipo de trabajo IEO-CSIC:

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

Eugenio Fraile Nuez, CO Canarias

Marijn Oosterbaan, CO Canarias (contratado DMMEM)

Patricia Pérez Tórtola, CO Murcia (contratada DMMEM)

Rocío García Muñoz, CO Murcia

Jesús M. Mercado, CO Málaga

Isabel Ferrera, CO Málaga

Francisco Gómez Jakobsen, CO Málaga

Lidia Yebra, CO Málaga

### Colaboradores externos:

José María Cecilia, Universidad Politécnica de Valencia e IP del WP2 del proyecto SMARTLAGOON.

Jose María Gili, Instituto de Ciencias del Mar, ICM-CSIC.

# Informe de actualización de resultados del programa de seguimiento del estado del Mar Menor (junio 2023)

### Este informe debe citarse de la siguiente forma:

*IEO-CSIC (2023). Informe de actualización de resultados del programa de seguimiento del Mar Menor (Junio de 2023). Proyecto BELICH: Monitorización, Estudio y Modelización del Mar Menor. IEO-CSIC. [http://www.ieo.es/es\\_ES/web/ieo/mar-menor](http://www.ieo.es/es_ES/web/ieo/mar-menor).*

## Índice

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| <b>1.</b> | <b>ANTECEDENTES Y OBJETO DEL INFORME .....</b>   | <b>4</b>  |
|           | <i>Boya de monitorización SMARTLAGOON .....</i>  | <i>6</i>  |
| <b>2.</b> | <b>TEMPERATURA .....</b>   | <b>8</b>  |
|           | <i>Muestras in situ .....</i>  | <i>9</i>  |
|           | <i>Boya piloto SMLG .....</i>  | <i>11</i> |
| <b>3.</b> | <b>SALINIDAD (CONDUCTIVIDAD) .....</b>   | <b>12</b> |
|           | <i>Muestras in situ .....</i>  | <i>12</i> |
| <b>4.</b> | <b>CLOROFILA A Y TURBIDEZ .....</b>  | <b>14</b> |
|           | <i>Muestras in situ .....</i>  | <i>15</i> |
|           | <i>Sensores PAR permanentes .....</i>  | <i>19</i> |
|           | <i>Boya piloto SMLG .....</i>  | <i>20</i> |
|           | <i>Series temporales de clorofila a del Mar Menor (datos satelitales).....</i>                     | <i>21</i> |
| <b>5.</b> | <b>OXÍGENO DISUELTOS Y PH.....</b>   | <b>23</b> |
|           | <i>Muestras in situ .....</i>  | <i>23</i> |
| <b>6.</b> | <b>SÍNTESIS DE RESULTADOS.....</b>   | <b>27</b> |
| <b>7.</b> | <b>VALORACIÓN DEL EVENTO DE DESARROLLO MASIVO DE LA MEDUSA <i>COTYLORIZA TUBERCULATA</i> .....</b> | <b>30</b> |
|           | <b>ANEXO I: CALIBRACIONES.....</b>   | <b>33</b> |
|           | <b>ANEXO II: PERFILES CTD.....</b>   | <b>42</b> |
|           | <i>Temperatura.....</i>  | <i>42</i> |
|           | <i>Salinidad .....</i>   | <i>47</i> |
|           | <i>Clorofila a .....</i>   | <i>52</i> |
|           | <i>Turbidez .....</i>  | <i>57</i> |
|           | <i>Concentración de Oxígeno.....</i>   | <i>62</i> |
|           | <i>pH .....</i>  | <i>67</i> |

## 1. Antecedentes y objeto del informe

El actual programa de seguimiento del estado del Mar Menor se pone en marcha en 2016 para obtener conocimiento fiable y objetivo sobre el estado y evolución del Mar Menor a partir del episodio de “sopa verde” ocurrido ese mismo año. Este programa formaba parte del proyecto DMMEM financiado por IEO-CSIC y sus resultados han sido publicados en diferentes informes desde entonces, como puede consultarse en la página web del IEO ([http://www.ieo.es/es\\_ES/web/ieo/mar-menor](http://www.ieo.es/es_ES/web/ieo/mar-menor)). Los muestreos de este programa empezaron a realizarse en las estaciones A, B y C de la Figura 1, y en estos informes haremos referencia a ellos como muestreos periódicos *in situ* (en contraposición con las mediciones remotas realizadas con satélites o drones).

A partir del 2023, estas actividades de monitorización se enmarcan en el proyecto BELICH, financiado por el Marco de Actuaciones para la recuperación del Mar Menor (MAPMM) del MITERD. Como novedad, en 2023 se ha duplicado la frecuencia de muestreo para las variables básicas, pasando de una vez al mes a cada 15 días. Igualmente, a partir de 2023 se incorporan en estos informes los datos obtenidos con la boya oceanográfica diseñada, desarrollada e instalada por la Universitat Politècnica de València (UPV), Uppsala University y la empresa VIELCA Ingenieros, S.A. en el contexto del proyecto europeo SMARTLAGOON (Grant Agreement Nº 101017861). Esta boya oceanográfica está contemplada como boya piloto del sistema de monitorización planteado en BELICH en la Tarea 1.3 permitiendo establecer las bases para el mantenimiento, gestión y control del sistema completo de observación oceanográfica planteado en dicha tarea y en la subactuación 8.1 del MAPMM. Es, por tanto, que la tarea 1.1 de BELICH incluye el mantenimiento de esta boya piloto y el control de la calidad de los datos obtenidos de la misma.

A partir de febrero de 2023, el programa de monitorización del proyecto BELICH ha empezado a reportar resultados en informes periódicos que serán actualizados cada 2 meses. De acuerdo con esto, el presente informe tiene como objetivo la actualización de los datos obtenidos y mostrados en el informe anterior, tanto a partir de los muestreos *in situ* en las estaciones monitorizadas desde 2016, como a partir de la boya piloto SMARTLAGOON, en adelante “boya piloto SMLG”), instalada precisamente el 14 de octubre de 2022 (Figura 1). El informe resume la información disponible para el conjunto de variables físico-químicas básicas medidas *in situ* necesarias para evaluar el estado general de la columna de agua: temperatura, salinidad, clorofila-a, transparencia (como  $K_d$ , coeficiente de extinción de la luz), oxígeno disuelto y pH en relación al estado ecológico del Mar Menor, tanto en el contexto actual (post-colapso - 2016-2023), como a largo plazo (escala temporal decenal), y en línea con los análisis realizados en informes anteriores. Desde octubre de 2022 se realizan mediciones también mediante CTD, que además de las variables mencionadas proporciona datos de turbidez (NTU), Fluorescencia e irradiancia PAR. Los datos de clorofila obtenidos a partir de muestras de agua son empleados para calibrar los datos de fluorescencia del CTD, así como de la boya SMLG (ver siguientes apartados y Anexo).

Como se presentó en el último informe (abril 2023), se ha agregado una nueva ubicación a las estaciones de muestreo ya establecidas, justo en el medio de una masa de agua blanquecina localizada en la zona centro-oeste de la laguna. Esta estación (M) ya forma parte del programa de seguimiento periódico y está incluida en las figuras y promedios como las otras estaciones (A, B, C) (Fig. 1).



Figura 1: Ubicación de las estaciones de muestreo (A, B, C y M) mostrada en una imagen de satélite Sentinel2 del 19/06/2023. La ubicación de la boya piloto SMARTLAGOON coincide con B.

## Boya de monitorización SMARTLAGOON

La Figura 2 muestra la boya oceanográfica de monitorización, a partir de ahora Boya piloto *SMARTLAGOON* (*SMLG*). Esta boya ha sido diseñada para obtener datos de alta resolución a varias profundidades con el objetivo de identificar episodios de estratificación de la columna de agua. La boya dispone de una unidad central de procesamiento (data logger) CR100x de *Campbell Scientific*, que registra y transmite datos de diferentes tipos de sensores en tiempo real mediante el uso de dos tecnologías de comunicaciones basadas en *General Packet Radio Service* (GPRS) y LoRa. En concreto, la UPV ha diseñado un protocolo de comunicaciones propietario basado en LoRa que permite el envío punto a punto desde la boya piloto al Centro Oceanográfico de Murcia del IEO-CSIC en San Pedro del Pinatar.



Figura 2: Boya piloto de monitorización SMARTLAGOON.

En la parte subaérea, la boya de monitorización SMARTLAGOON tiene un sensor *E+E Elektronik EE181* que mide la temperatura y la humedad del aire, además de un anemómetro *RM Young Wind Sentry* para medir la velocidad del viento. La Figura 3 contiene un esquema actualizado de la boya, así como la disposición en la vertical de cada uno de sus sensores. Durante este último mantenimiento (mayo 2023), el IEO-CSIC instaló dos nuevos CTDs con sensores de temperatura, conductividad y presión de alta resolución y precisión (*SeaBird-37*) a 1 y 6 metros de profundidad.

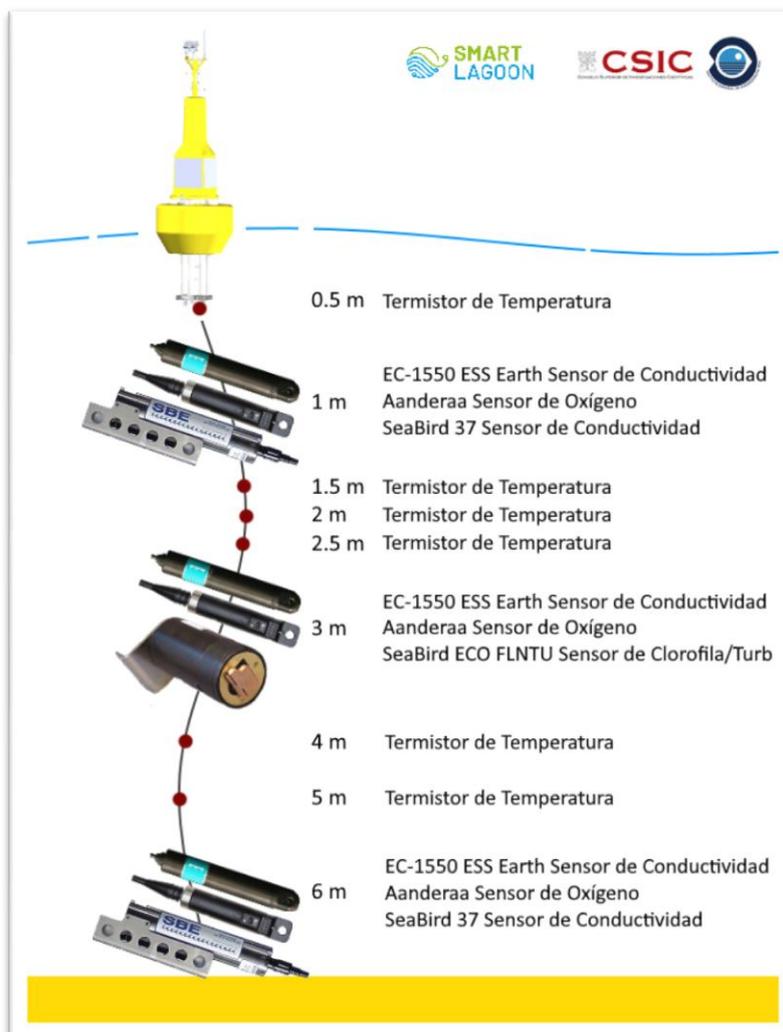


Figura 3: Esquema de los sensores instalados en la boya piloto SMARTLAGOON con los nuevos sensores de temperatura, conductividad y presión a 1 y 6 metros de profundidad (Seabird-37).

## 2. Temperatura

La temperatura es un 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, se está trabajando en diferentes y complementarias fuentes de datos que permitan conocer la variación espacio-temporal de esta variable con alta resolución, así como su tendencia a corto, medio y largo plazo. Dichas fuentes son las siguientes:

- 1.- Sensor sumergido a 1.5 metros: provee series temporales continuas de la variable desde el año 2012.
- 2.- Muestreos con sondas multiparamétricas (proyecto DMMEM; proyecto BELICH desde 2023): datos desde 2016 con frecuencia semanal hasta mensual, dependiendo del estado de la laguna.
- 3.- Perfiles verticales con CTD desde octubre de 2022 (proyecto BELICH)
- 4.- Sensores boya SMLG: proveen datos de temperatura a diferentes profundidades en continuo y tiempo casi-real a diferentes profundidades desde octubre de 2022.
- 5.- Datos satelitales: incrementan la resolución espacial y temporal de las series generadas.

En este informe no se muestran los datos satelitales (ver informe de Febrero 2023), ya que se está trabajando en una nueva calibración y actualización de los mismos para lo que se necesita un año entero de datos de la boya de monitorización.

## Muestreos *in situ*

La Figura 4 muestra la serie temporal completa de las temperaturas medias (media total) obtenidas para el Mar Menor desde 2016 en las estaciones de muestreo (Figura 1). Se puede observar un patrón estacional normal con temperaturas medias mínimas en invierno [10-14°C] y máximas en verano [28-30°C] (más información en la Tabla 1). Algunos aspectos relevantes de la serie temporal, muestran que el invierno de 2023 ha sido considerablemente más frío que el invierno anterior (2022), con una diferencia de -1.5°C, alcanzando temperaturas mínimas alrededor de los 10.6°C aunque, ligeramente superiores a las registradas en los inviernos de 2017 y 2021 (10.1-10.2°C). Partiendo de un invierno relativamente frío, la temperatura media en primavera (y el rango) de 2023 ha estado por encima de los valores obtenidos en años anteriores, con un valor máximo medio de 28,6 (Tabla 1). Los valores más parecidos los observamos en 2017, año particularmente cálido de la serie temporal del Mar Menor (ver informes anteriores).

Los datos indican que apenas existe estratificación térmica en la columna de agua del Mar Menor, excepto eventos muy puntuales y de muy corta duración (p.e. DANAs).

Desde octubre de 2022, y con el objetivo de realizar calibraciones y ajustes de deriva de los sensores de la boya SMLG, se vienen realizando, en la ubicación B (justo al lado de esta boya), perfiles verticales de variables físico-químicas: temperatura, conductividad, fluorescencia, oxígeno disuelto, turbidez, pH, utilizando un CTD AAQ-RINKO modelo AAQ176. Los resultados de las calibraciones pueden ser consultados en el Anexo I de este informe.

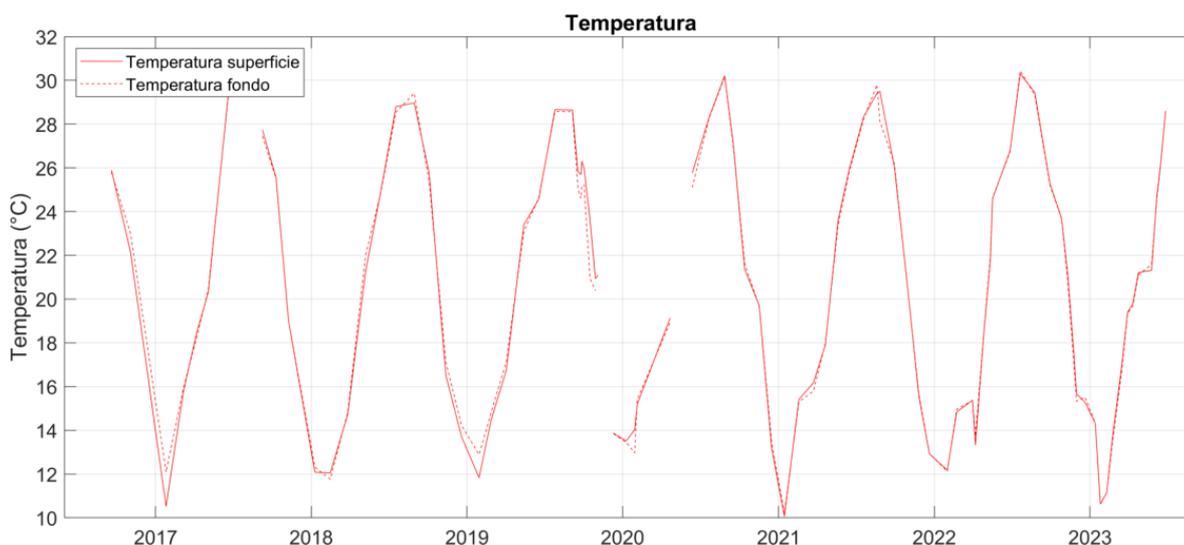


Figura 4: Serie temporal de la temperatura media superficial (línea continua) y temperatura media del fondo (línea discontinua) durante los muestreos *in situ* del proyecto DMMEM en las posiciones A, B, C y M (ver Figura 1).

Tabla 1: Valores mínimos y máximos de temperatura medidos durante los muestreos *in situ* DMMEM por año.

| Temperatura Muestreo (°C) |           | Superficie |     |      |      | Fondo |     |      |      |
|---------------------------|-----------|------------|-----|------|------|-------|-----|------|------|
| Año                       | Estación  | Media      | Std | Min  | Max  | Media | Std | Min  | Max  |
| 2016                      | Invierno  | ---        | --- | ---  | ---  | ---   | --- | ---  | ---  |
|                           | Primavera | ---        | --- | ---  | ---  | ---   | --- | ---  | ---  |
|                           | Verano    | 25.9       | 0.0 | 25.9 | 25.9 | 25.8  | 0.0 | 25.8 | 25.8 |
|                           | Otoño     | 22.1       | 0.0 | 22.1 | 22.1 | 23.0  | 0.0 | 23.0 | 23.0 |
|                           | Anual     | 25.2       | 2.8 | 22.1 | 27.5 | 25.5  | 2.4 | 23.0 | 27.8 |
| 2017                      | Invierno  | 13.2       | 3.7 | 10.5 | 15.8 | 14.0  | 2.7 | 12.1 | 16.0 |
|                           | Primavera | 22.9       | 6.1 | 18.5 | 29.8 | 22.8  | 6.1 | 18.3 | 29.7 |
|                           | Verano    | 29.1       | 1.9 | 27.7 | 30.4 | 29.0  | 2.1 | 27.5 | 30.5 |
|                           | Otoño     | 22.3       | 4.6 | 19.0 | 25.5 | 22.3  | 4.6 | 19.0 | 25.5 |
|                           | Anual     | 22.0       | 6.8 | 10.5 | 30.4 | 22.1  | 6.5 | 12.1 | 30.5 |
| 2018                      | Invierno  | 13.0       | 1.5 | 12.1 | 14.7 | 13.0  | 1.6 | 11.8 | 14.8 |
|                           | Primavera | 23.1       | 2.5 | 21.3 | 24.9 | 23.4  | 2.0 | 22.0 | 24.8 |
|                           | Verano    | 28.9       | 0.1 | 28.8 | 29.0 | 29.0  | 0.6 | 28.5 | 29.4 |
|                           | Otoño     | 18.7       | 6.3 | 13.7 | 25.8 | 18.9  | 5.8 | 14.2 | 25.4 |
|                           | Anual     | 19.9       | 6.8 | 12.1 | 29.0 | 20.0  | 6.8 | 11.8 | 29.4 |
| 2019                      | Invierno  | 13.1       | 1.8 | 11.8 | 14.4 | 13.8  | 1.3 | 12.9 | 14.8 |
|                           | Primavera | 21.6       | 4.2 | 16.8 | 24.6 | 21.6  | 3.9 | 17.2 | 24.6 |
|                           | Verano    | 27.0       | 1.5 | 25.7 | 28.7 | 26.4  | 2.0 | 24.6 | 28.6 |
|                           | Otoño     | 21.1       | 4.5 | 13.9 | 26.0 | 20.1  | 4.7 | 13.8 | 25.2 |
|                           | Anual     | 22.1       | 5.5 | 11.8 | 28.7 | 21.8  | 5.3 | 12.9 | 28.6 |
| 2020                      | Invierno  | 14.2       | 0.9 | 13.5 | 15.2 | 13.9  | 1.3 | 13.0 | 15.4 |
|                           | Primavera | 22.5       | 4.7 | 19.1 | 25.8 | 22.0  | 4.4 | 18.9 | 25.1 |
|                           | Verano    | 28.5       | 1.6 | 27.1 | 30.2 | 28.5  | 1.6 | 27.0 | 30.2 |
|                           | Otoño     | 18.1       | 4.3 | 13.2 | 21.4 | 18.3  | 4.2 | 13.5 | 21.6 |
|                           | Anual     | 20.7       | 6.3 | 13.2 | 30.2 | 20.6  | 6.3 | 13.0 | 30.2 |
| 2021                      | Invierno  | 13.9       | 3.3 | 10.1 | 16.2 | 13.8  | 3.1 | 10.2 | 15.8 |
|                           | Primavera | 22.5       | 4.1 | 17.9 | 25.9 | 22.4  | 4.0 | 18.0 | 25.8 |
|                           | Verano    | 28.3       | 1.6 | 26.0 | 29.5 | 28.1  | 1.5 | 26.2 | 29.8 |
|                           | Otoño     | 16.7       | 4.4 | 12.9 | 21.4 | 16.7  | 4.3 | 12.9 | 21.4 |
|                           | Anual     | 20.9       | 6.7 | 10.1 | 29.5 | 20.8  | 6.5 | 10.2 | 29.8 |
| 2022                      | Invierno  | 14.1       | 1.7 | 12.2 | 15.4 | 14.1  | 1.8 | 12.1 | 15.4 |
|                           | Primavera | 21.0       | 5.3 | 13.3 | 26.8 | 21.1  | 5.1 | 13.7 | 26.7 |
|                           | Verano    | 28.3       | 2.7 | 25.3 | 30.3 | 28.3  | 2.8 | 25.2 | 30.4 |
|                           | Otoño     | 18.7       | 3.7 | 15.3 | 23.7 | 18.5  | 3.7 | 15.3 | 23.7 |
|                           | Anual     | 20.4       | 5.8 | 12.2 | 30.3 | 20.3  | 5.8 | 12.1 | 30.4 |
| 2023                      | Invierno  | 14.3       | 3.4 | 10.6 | 19.4 | 14.3  | 3.3 | 10.6 | 19.4 |
|                           | Primavera | 24.1       | 3.4 | 19.8 | 28.6 | 24.1  | 3.4 | 19.7 | 28.6 |
|                           | Verano    | ---        | --- | ---  | ---  | ---   | --- | ---  | ---  |
|                           | Otoño     | ---        | --- | ---  | ---  | ---   | --- | ---  | ---  |
|                           | Anual     | ---        | --- | ---  | ---  | ---   | --- | ---  | ---  |

## Boya piloto SMLG

Debido a la reciente instalación de la boya piloto de monitorización SMARTLAGOON en el Mar Menor, los datos suministrados por sus sensores cubren todavía un periodo de tiempo corto. No obstante, en la laguna se dispone de una serie temporal continua desde 2012 obtenida con sensores sumergibles HOBO instalados por el Centro Oceanográfico de Murcia de forma permanente a 1.5 de profundidad. Ambas fuentes de datos son complementarias y nos ha permitido reconstruir la evolución de la temperatura a largo plazo y con muy elevada resolución temporal, lo que ha permitido además una intercalibración con datos satelitales de temperatura superficial (SST) y realizar así un análisis a largo plazo (decenal) de las olas de calor en la laguna (ver resultados en informe febrero 2023).

Con la instalación de la boya SMLG se dispone de datos de temperatura a varias profundidades (Figura 5) permitiendo obtener estas series de alta resolución temporal a lo largo del perfil vertical de la columna de agua. Como ya se ha comentado, en general en el Mar Menor no se produce una estratificación térmica significativa (ausencia de termoclina), pero en los datos recogidos por la boya SMLG se puede apreciar un leve calentamiento de la capa más superficial (0.5 metros de profundidad) durante ciertos días (días soleados).

Como es propio de la época invernal, tanto a mitad de noviembre del 2022 como a mitad de enero de 2023, la serie muestra importantes descensos de la temperatura en toda la columna de agua, con una anomalía térmica de hasta  $-2.5^{\circ}\text{C}$ . La segunda de ellas, en la segunda mitad de enero de 2023, coincidió con el final de una larga ola de calor (en relación a la temperatura media histórica del mismo mes), como se explicó en el informe anterior. Entre febrero y el principio de mayo (cuando la boya fue sacada del agua para su mantenimiento), la gráfica muestra el rápido calentamiento del agua hasta valores máximos de  $24^{\circ}\text{C}$ , característico del periodo primaveral. El hueco de datos existente en la serie temporal entre mayo-junio de 2023 coincide con la retirada de la boya piloto para su limpieza y sustitución de sensores. Una vez reinstalada en su posición inicial, los valores de temperatura continúan siendo algo más bajos que los que les precedía antes de sacarla del agua, lo que corresponde con una pequeña disminución de la temperatura en este periodo (el muestreo *in situ* lo confirma, Figura 4), a consecuencia de un periodo de inestabilidad atmosférica que dio lugar a precipitaciones y varios temporales. A partir de este momento, la temperatura del agua del Mar Menor comienza a subir progresivamente de nuevo hasta valores de  $28^{\circ}\text{C}$  a finales de junio, lo que es consistente con los datos mostrados en el apartado anterior (Tabla 1).

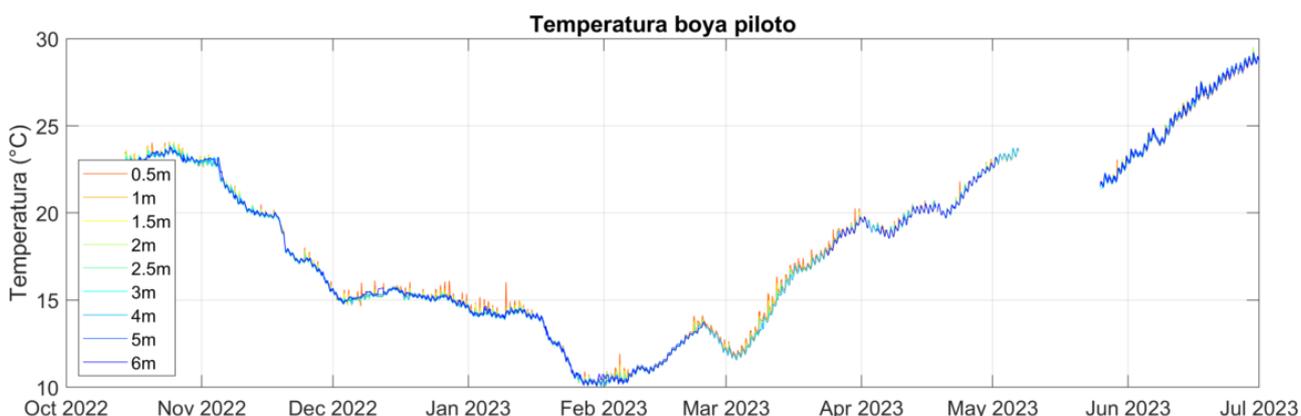


Figura 5: Serie temporal de temperatura obtenida a cada profundidad por los sensores de la boya SMLG, calibrados con los datos de CTD obtenidos por el IEO-CSIC.

### 3. Salinidad (Conductividad)

Al igual que la temperatura, la salinidad es una variable clave para entender la composición y dinámica del ecosistema lagunar, pero también un indicador del balance hídrico resultante de tres procesos fundamentales: la evaporación, los aportes continentales y el intercambio con el Mediterráneo.

En este programa de seguimiento la salinidad, como variable derivada, se determina a partir de los datos de conductividad del mar, de la temperatura y de la presión. Se han obtenido datos desde 2016 con frecuencia semanal hasta mensual, dependiendo del estado de la laguna.

#### Muestreos *in situ*

La Figura 6 combina la visualización de la serie temporal de la salinidad media junto con los datos de precipitación diaria procedente de la estación meteorológica de San Javier Aeropuerto (AEMET). A los datos de precipitación se le aplicó una media móvil de una semana para ilustrar el patrón temporal de lluvia en el periodo considerado. Tras su drástica caída a consecuencia de una serie de eventos torrenciales (DANAS) entre 2019 y 2020, esta variable se ha mantenido en valores bajos (no superiores a 43.2; Tabla 2) respecto a los rangos normalmente registrados años anteriores (e históricamente) en la laguna (Ruiz et al. 2020). En comparación, la tendencia plurianual de esta variable sí mostró una recuperación a valores medios superiores a 45 tras las lluvias torrenciales de 2017, pero en estos años el régimen de precipitaciones fue menos intenso. No obstante, la salinidad media de primavera de 2023 (42.1-42.2, Tabla 1) es ligeramente superior a la de los años precedentes, mostrando cierta tendencia al aumento desde 2020. Por otro lado, como se muestra en la Figura 6 con los datos de salinidad de superficie y fondo, en ningún momento del periodo 2021-23 se ha observado algún tipo de estratificación halina (ver Tabla 2 para más información). Dicha estratificación tan solo ha sido evidente durante eventos puntuales de lluvias torrenciales (enero 2017 y septiembre-octubre de 2019).

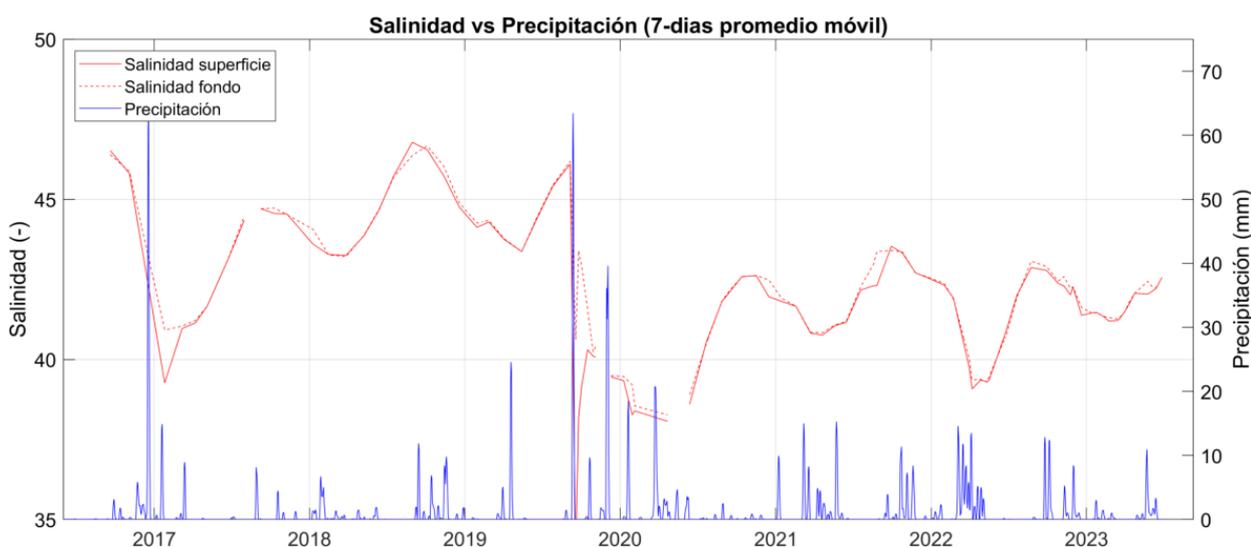


Figura 6: Serie temporal de la salinidad promedio en superficie (rojo continuo) y fondo (rojo discontinuo) en las posiciones A, B, C y M de los muestreos del proyecto DMMEM. Datos de precipitación en el aeropuerto de San Javier obtenidos de la AEMET (azul).

Tabla 2: Valores mínimos y máximos de salinidad medidos durante los muestreos cada año.

| Salinidad Muestreo (-) |           | Superficie |     |      |      | Fondo |     |      |      |
|------------------------|-----------|------------|-----|------|------|-------|-----|------|------|
| Año                    | Estación  | Media      | Std | Min  | Max  | Media | Std | Min  | Max  |
| 2016                   | Invierno  | ---        | --- | ---  | ---  | ---   | --- | ---  | ---  |
|                        | Primavera | ---        | --- | ---  | ---  | ---   | --- | ---  | ---  |
|                        | Verano    | 46.5       | 0.0 | 46.5 | 46.5 | 46.4  | 0.0 | 46.4 | 46.4 |
|                        | Otoño     | 45.8       | 0.0 | 45.8 | 45.8 | 45.9  | 0.0 | 45.9 | 45.9 |
|                        | Anual     | 45.3       | 1.5 | 43.6 | 46.5 | 45.3  | 1.5 | 43.6 | 46.4 |
| 2017                   | Invierno  | 40.1       | 1.2 | 39.3 | 41.0 | 41.0  | 0.1 | 40.9 | 41.0 |
|                        | Primavera | 42.0       | 1.0 | 41.1 | 43.1 | 42.0  | 1.0 | 41.2 | 43.1 |
|                        | Verano    | 44.5       | 0.3 | 44.3 | 44.7 | 44.6  | 0.2 | 44.5 | 44.7 |
|                        | Otoño     | 44.6       | 0.0 | 44.5 | 44.6 | 44.6  | 0.1 | 44.5 | 44.7 |
|                        | Anual     | 42.7       | 2.0 | 39.3 | 44.7 | 42.9  | 1.7 | 40.9 | 44.7 |
| 2018                   | Invierno  | 43.4       | 0.2 | 43.2 | 43.6 | 43.5  | 0.5 | 43.2 | 44.1 |
|                        | Primavera | 44.2       | 0.6 | 43.9 | 44.6 | 44.3  | 0.6 | 43.9 | 44.7 |
|                        | Verano    | 46.3       | 0.7 | 45.7 | 46.8 | 46.0  | 0.5 | 45.7 | 46.4 |
|                        | Otoño     | 45.7       | 0.9 | 44.7 | 46.5 | 45.9  | 0.9 | 44.9 | 46.7 |
|                        | Anual     | 44.8       | 1.3 | 43.2 | 46.8 | 44.9  | 1.3 | 43.2 | 46.7 |
| 2019                   | Invierno  | 44.2       | 0.1 | 44.1 | 44.3 | 44.3  | 0.1 | 44.3 | 44.3 |
|                        | Primavera | 43.8       | 0.5 | 43.4 | 44.4 | 43.8  | 0.5 | 43.4 | 44.4 |
|                        | Verano    | 40.4       | 5.2 | 33.9 | 46.1 | 43.8  | 2.2 | 40.6 | 46.2 |
|                        | Otoño     | 39.8       | 0.5 | 39.1 | 40.3 | 40.9  | 1.3 | 39.5 | 42.9 |
|                        | Anual     | 41.4       | 3.4 | 33.9 | 46.1 | 42.9  | 2.0 | 39.5 | 46.2 |
| 2020                   | Invierno  | 38.7       | 0.6 | 38.3 | 39.3 | 39.1  | 0.5 | 38.5 | 39.5 |
|                        | Primavera | 38.3       | 0.4 | 38.1 | 38.6 | 38.6  | 0.4 | 38.3 | 38.9 |
|                        | Verano    | 41.5       | 0.8 | 40.5 | 42.1 | 41.5  | 0.9 | 40.5 | 42.2 |
|                        | Otoño     | 42.4       | 0.4 | 42.0 | 42.6 | 42.6  | 0.1 | 42.5 | 42.6 |
|                        | Anual     | 40.4       | 1.9 | 38.1 | 42.6 | 40.6  | 1.8 | 38.3 | 42.6 |
| 2021                   | Invierno  | 41.4       | 0.5 | 40.8 | 41.8 | 41.5  | 0.6 | 40.8 | 41.9 |
|                        | Primavera | 41.0       | 0.2 | 40.8 | 41.2 | 41.0  | 0.2 | 40.8 | 41.2 |
|                        | Verano    | 42.6       | 0.6 | 42.2 | 43.5 | 43.0  | 0.5 | 42.3 | 43.4 |
|                        | Otoño     | 42.9       | 0.4 | 42.6 | 43.3 | 42.9  | 0.4 | 42.6 | 43.4 |
|                        | Anual     | 42.0       | 0.9 | 40.8 | 43.5 | 42.2  | 1.0 | 40.8 | 43.4 |
| 2022                   | Invierno  | 41.3       | 1.4 | 39.8 | 42.3 | 41.4  | 1.2 | 40.0 | 42.4 |
|                        | Primavera | 39.6       | 0.8 | 39.1 | 40.9 | 39.7  | 0.6 | 39.3 | 40.8 |
|                        | Verano    | 42.5       | 0.5 | 42.0 | 42.9 | 42.6  | 0.6 | 41.9 | 43.1 |
|                        | Otoño     | 42.1       | 0.4 | 41.4 | 42.4 | 42.2  | 0.4 | 41.6 | 42.6 |
|                        | Anual     | 41.2       | 1.4 | 39.1 | 42.9 | 41.4  | 1.4 | 39.3 | 43.1 |
| 2023                   | Invierno  | 41.4       | 0.1 | 41.2 | 41.5 | 41.4  | 0.1 | 41.3 | 41.5 |
|                        | Primavera | 42.2       | 0.3 | 41.7 | 42.6 | 42.2  | 0.3 | 41.8 | 42.6 |
|                        | Verano    | ---        | --- | ---  | ---  | ---   | --- | ---  | ---  |
|                        | Otoño     | ---        | --- | ---  | ---  | ---   | --- | ---  | ---  |
|                        | Anual     | ---        | --- | ---  | ---  | ---   | --- | ---  | ---  |

## 4. Clorofila $a$ y turbidez

La clorofila  $a$  y la turbidez son dos indicadores clave de la calidad del agua en ecosistemas marinos costeros. La primera es indicadora de la productividad fitoplanctónica y la segunda contribuye a la extinción de la luz solar incidente entre la superficie y el fondo (Kirk 1983). Ambas variables se encuentran íntimamente relacionadas ya que las células fitoplanctónicas absorben luz para la fotosíntesis, contribuyendo al aumento de la turbidez (disminución de la transparencia), si bien esta depende también de otras variables como las partículas en suspensión tanto orgánicas como inorgánicas, zooplancton, bacterias y las denominadas “substancias amarillas”, que son 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 vientos y oleaje, aportes terrígenos, procesos de descomposición de la materia orgánica, etc.). Ambas variables son clave también para explicar las propiedades ópticas de las masas de agua y pueden ser empleadas para controlar la calidad del agua mediante sensores remotos multiespectrales (imágenes de satélite).

### Metodología:

- Desde mayo 2016 ambas variables son determinadas a partir de muestreos *in situ* en las estaciones de muestreo (Figura 1). La clorofila  $a$  se determina a partir de muestras de agua tomadas a 3-4 m de profundidad con periodicidad mínima mensual; las muestras se filtran en laboratorio y se mide la concentración de clorofila  $a$  mediante métodos espectrofotométricos. La transparencia se estima como coeficiente de extinción de la luz ( $k$ ,  $m^{-1}$ ) a partir de mediciones de irradiancia PAR en superficie y fondo mediante un sensor LiCor plano ( $2\pi$ ), realizadas en las mismas estaciones de muestreo.
- A partir del 26 de octubre 2022 se están realizando mediante CTD perfiles verticales de fluorescencia de clorofila  $a$  y turbidez (tanto NTU como a partir de irradiancia PAR) en las mismas estaciones de muestreo.
- A partir del 14 de octubre 2022 se están obteniendo además series temporales de muy alta resolución de estas variables a partir del sensor de fluorescencia y turbidez (NTU) de la boya piloto SMLG. La medición de la turbidez como NTU (unidad nefelométrica de turbidez) se basa en la proporción de luz dispersada o *backscatter*.
- A lo anterior hay que añadir la instalación de dos sensores PAR fondeados de forma permanente a 6 m de profundidad en el punto B (aprovechando la estructura sumergida de la boya piloto SMLG y a 1 m de profundidad en el nordeste de la laguna), lo que nos permite obtener una serie temporal de alta resolución del coeficiente de extinción de la luz ( $k$ ) y compararla con la obtenida en los muestreos periódicos *in situ* con menor resolución temporal.
- Los valores obtenidos tanto a partir de los sensores del CTD como de la boya SMLG se están intercalibrando con las determinaciones espectrofotométricas de clorofila  $a$ , mucho más precisas y reales que las obtenidas a partir de fluorescencia. El resto de variables también son controladas por sus correspondientes calibraciones. Los resultados de esta calibración se muestran en el Anexo I de este informe.

A continuación, se resumen los resultados obtenidos de estas variables mediante las diferentes aproximaciones mencionadas.

## Muestreos *in situ*

En 2022, la clorofila *a* ha mostrado un comportamiento relativamente variable en la laguna del Mar Menor, alcanzando sus valores medios niveles de  $5 \text{ mg/m}^3$  en al menos dos ocasiones (abril y mayo de 2022; Figura 7; Tabla 3). Estos valores medios máximos se alcanzan siempre en la parte central y sur de la laguna, mientras que en la parte norte se han mantenido siempre por debajo de  $2.9 \text{ mg/m}^3$ . En la cubeta sur la tendencia de esta variable fue claramente ascendente hasta mayo, con un incremento neto de 3.6 veces respecto a la media de enero, pero esta dinámica ascendente se truncó drásticamente en junio, cuando se registraron valores medios similares a los de enero ( $0.74\text{-}0.88 \text{ mg/m}^3$ ). A finales de septiembre se ha registrado un leve incremento en esta zona hasta valores medios en torno a  $1.5 \text{ mg/m}^3$ , manteniéndose por debajo de valores máximos de  $2\text{-}3 \text{ mg/m}^3$ . En general, los valores medios observados en este periodo son similares a los obtenidos en los mismos meses en años anteriores en los que no se produjo *bloom* fitoplanctónico (p.e. 2018 y 2020). Desde invierno de 2023 los valores medios han descendido gradualmente en toda la laguna y se encuentran estabilizados en el entorno de  $1 \text{ mg/m}^3$ , a excepción de la zona centro-oeste en que se ha detectado la masa de agua blanquecina (Estación M) donde los valores medios de clorofila han llegado a ser cuatro veces más elevados respecto al resto de estaciones. A excepción de estos máximos, desde abril hasta junio, en la estación M se han registrado por lo general valores del orden de  $2 \text{ mg/m}^3$ , consistentemente más elevado que los valores registrados en las otras estaciones de muestreo.

La transparencia de la columna de agua (coeficiente de extinción de la luz; Tabla 3 y Figura 8) muestra una dinámica general similar a la clorofila *a*, pero mucho más variable en determinados momentos. Si bien los máximos de clorofila se mantienen por debajo de los observados en eventos anteriores de la serie temporal, en 2022 los máximos de transparencia alcanzan valores medios muy elevados en toda la laguna y propios de aguas turbias ( $0,5 \text{ m}^{-1}$ ), muy similar en magnitud al registrado durante el *bloom* fitoplanctónico de verano de 2021. Este estado puede responder a múltiples factores, no solo relacionados con las precipitaciones o la evolución de la clorofila. En 2023, los valores medios se reducen casi consistentemente a la mitad durante los meses de invierno ( $0,2 \text{ m}^{-1}$ ) y aumenta hacia valores medios de  $0,4$  en primavera, probablemente por la influencia de fuertes lluvias torrenciales y temporales a finales de mayo (Figuras 8 y 9; Tabla 3). En general, los efectos de estas precipitaciones en las condiciones de la laguna han sido bastante moderados y de duración relativamente corta.

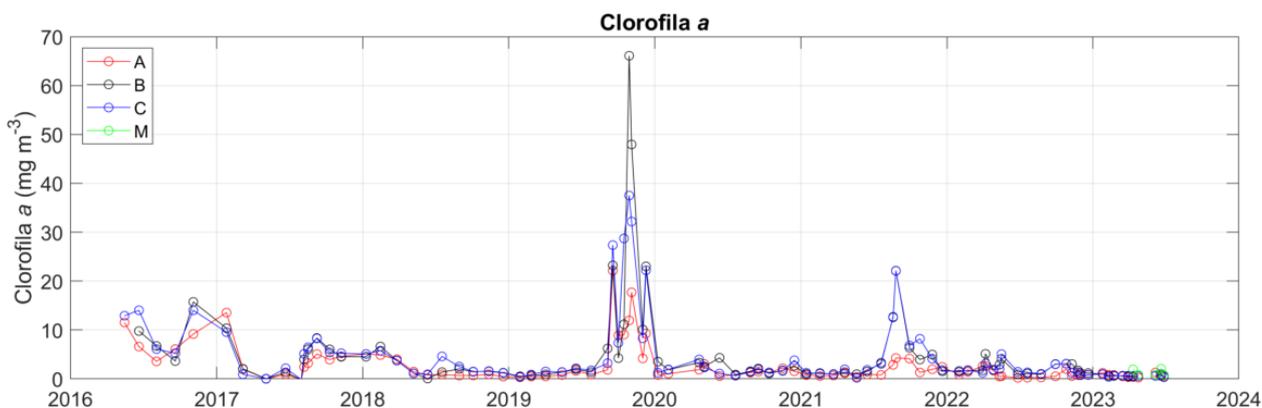


Figura 7: Serie temporal de clorofila *a* de los muestreos del proyecto DMMEM en las ubicaciones A, B, C y M de la Laguna del Mar Menor.

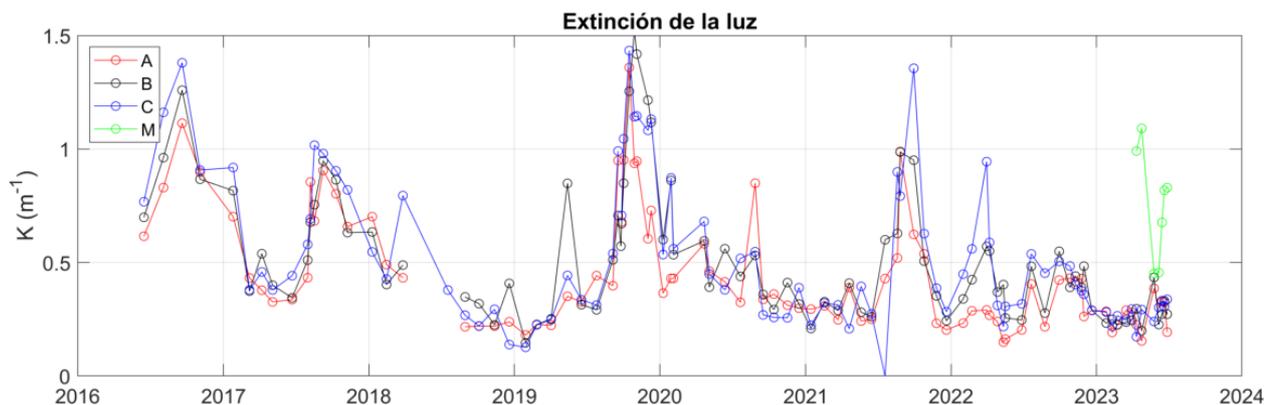


Figura 8: Serie temporal completa de la extinción de la luz para los muestreos del proyecto DMMEM en las ubicaciones A, B, C y M.

A diferencia de lo descrito anteriormente, en la estación M se alcanzan valores extremadamente altos del coeficiente de extinción de la luz de hasta 1 orden de magnitud mayor ( $> 1 m^{-1}$ ). Nótese que los valores del coeficiente de extinción de mayo de 2023 en la estación M, disminuyen a niveles similares a los de las estaciones A, B y C, coincidiendo con un periodo de fuertes lluvias (Figura 9). Este efecto de posible dilución o disipación se muestra además claramente en las imágenes de satélite (Figura 10). Una vez concluido el periodo de lluvias, la masa de agua blanquecina pareció recuperar su extensión, forma y color previos, disminuyendo su transparencia a los valores previos a las precipitaciones.

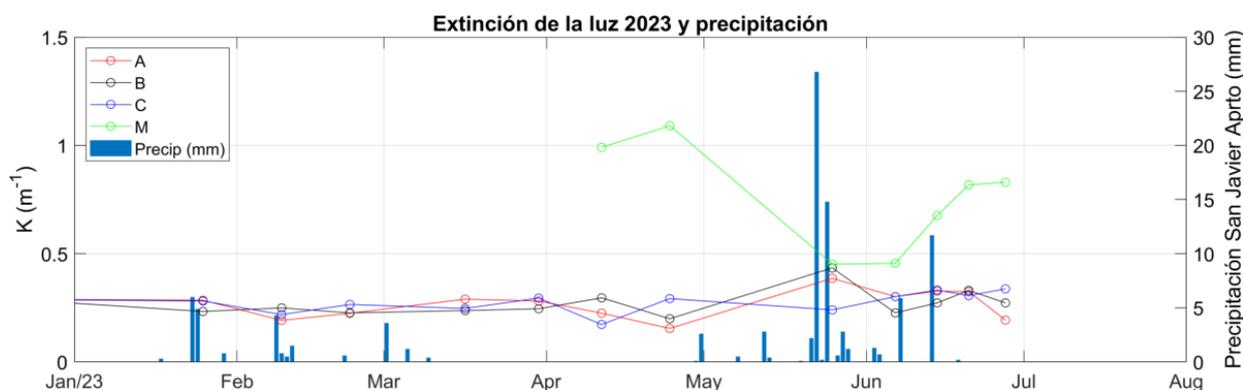


Figura 9: Serie temporal completa de la extinción de la luz para los muestreos del proyecto DMMEM en las ubicaciones A, B, C y M en el año 2023.

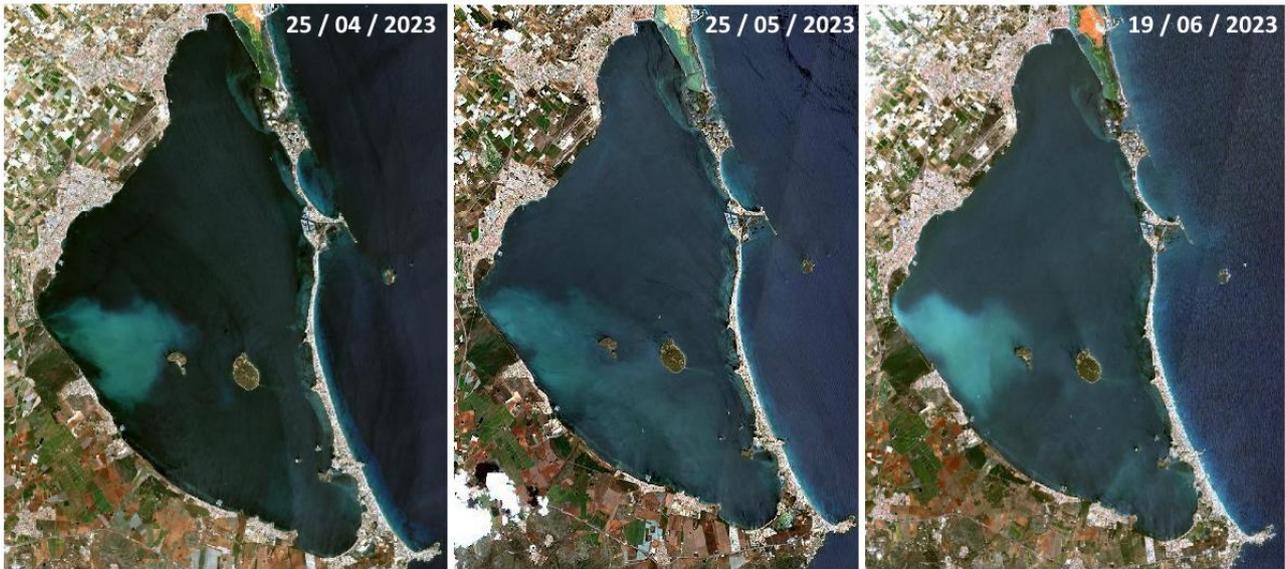


Figura 10: Imágenes de satélite (Sentinel-2) del Mar Menor antes y después las fuertes lluvias entre mayo y junio de 2023.

Tabla 3: Valores mínimos y máximos de clorofila *a* y extinción de la luz medidos durante los muestreos *in situ* de cada año.

| 4 m profundidad |           | Clorofila <i>a</i> (mg/m <sup>3</sup> ) |       |       |       | Extinción de luz K (m <sup>-1</sup> ) |      |      |      |
|-----------------|-----------|---|-------|-------|-------|---------------------------------------|------|------|------|
| Año             | Estación  | Media                                   | Std   | Min   | Max   | Media                                 | Std  | Min  | Max  |
| 2016            | Invierno  | ---                                     | ---   | ---   | ---   | ---                                   | ---  | ---  | ---  |
|                 | Primavera | ---                                     | ---   | ---   | ---   | ---                                   | ---  | ---  | ---  |
|                 | Verano    | 5.46                                    | 0.11  | 5.38  | 5.54  | 1.12                                  | 0.19 | 0.98 | 1.25 |
|                 | Otoño     | 12.33                                   | 0.00  | 12.33 | 12.33 | 0.89                                  | 0.00 | 0.89 | 0.89 |
|                 | Anual     | 9.26                                    | 3.52  | 5.38  | 12.33 | 0.95                                  | 0.23 | 0.69 | 1.25 |
| 2017            | Invierno  | 6.24                                    | 6.20  | 1.86  | 10.63 | 0.60                                  | 0.30 | 0.39 | 0.81 |
|                 | Primavera | 0.77                                    | 1.10  | 0.00  | 1.55  | 0.40                                  | 0.05 | 0.37 | 0.46 |
|                 | Verano    | 4.15                                    | 3.13  | 0.00  | 7.27  | 0.75                                  | 0.18 | 0.51 | 0.94 |
|                 | Otoño     | 5.02                                    | 0.28  | 4.83  | 5.22  | 0.78                                  | 0.11 | 0.70 | 0.86 |
|                 | Anual     | 4.07                                    | 3.37  | 0.00  | 10.63 | 0.63                                  | 0.22 | 0.37 | 0.94 |
| 2018            | Invierno  | 4.86                                    | 1.36  | 3.45  | 6.16  | 0.55                                  | 0.10 | 0.44 | 0.63 |
|                 | Primavera | 0.92                                    | 0.44  | 0.61  | 1.23  |                                       |      |      |      |
|                 | Verano    | 2.01                                    | 0.39  | 1.74  | 2.29  | 0.33                                  | 0.07 | 0.28 | 0.38 |
|                 | Otoño     | 1.18                                    | 0.19  | 0.98  | 1.35  | 0.25                                  | 0.01 | 0.25 | 0.26 |
|                 | Anual     | 2.40                                    | 1.87  | 0.61  | 6.16  | 0.38                                  | 0.15 | 0.25 | 0.63 |
| 2019            | Invierno  | 0.55                                    | 0.18  | 0.42  | 0.69  | 0.19                                  | 0.05 | 0.15 | 0.23 |
|                 | Primavera | 1.36                                    | 0.49  | 0.97  | 1.91  | 0.37                                  | 0.16 | 0.24 | 0.55 |
|                 | Verano    | 9.77                                    | 12.59 | 1.31  | 24.24 | 0.59                                  | 0.20 | 0.35 | 0.88 |
|                 | Otoño     | 20.00                                   | 13.02 | 6.84  | 38.52 | 1.10                                  | 0.16 | 0.95 | 1.35 |
|                 | Anual     | 11.03                                   | 12.87 | 0.42  | 38.52 | 0.69                                  | 0.39 | 0.15 | 1.35 |
| 2020            | Invierno  | 1.74                                    | 0.16  | 1.62  | 1.86  | 0.58                                  | 0.13 | 0.50 | 0.72 |
|                 | Primavera | 2.56                                    | 0.54  | 1.99  | 3.06  | 0.50                                  | 0.10 | 0.43 | 0.62 |
|                 | Verano    | 1.35                                    | 0.54  | 0.78  | 1.85  | 0.46                                  | 0.16 | 0.32 | 0.64 |
|                 | Otoño     | 1.91                                    | 0.72  | 1.24  | 2.67  | 0.32                                  | 0.02 | 0.30 | 0.33 |
|                 | Anual     | 1.91                                    | 0.67  | 0.78  | 3.06  | 0.47                                  | 0.14 | 0.30 | 0.72 |
| 2021            | Invierno  | 0.94                                    | 0.06  | 0.87  | 1.00  | 0.28                                  | 0.04 | 0.24 | 0.32 |
|                 | Primavera | 1.15                                    | 0.53  | 0.53  | 1.49  | 0.30                                  | 0.04 | 0.26 | 0.34 |
|                 | Verano    | 8.43                                    | 5.89  | 2.39  | 16.16 | 0.73                                  | 0.29 | 0.34 | 0.98 |
|                 | Otoño     | 3.37                                    | 1.30  | 1.93  | 4.48  | 0.37                                  | 0.16 | 0.24 | 0.56 |
|                 | Anual     | 3.85                                    | 4.47  | 0.53  | 16.16 | 0.45                                  | 0.26 | 0.24 | 0.98 |
| 2022            | Invierno  | 1.60                                    | 0.28  | 1.30  | 1.86  | 0.46                                  | 0.13 | 0.34 | 0.60 |
|                 | Primavera | 2.26                                    | 1.14  | 0.85  | 3.61  | 0.31                                  | 0.09 | 0.24 | 0.47 |
|                 | Verano    | 1.27                                    | 0.79  | 0.75  | 2.18  | 0.43                                  | 0.10 | 0.32 | 0.49 |
|                 | Otoño     | 1.52                                    | 0.74  | 0.94  | 2.73  | 0.38                                  | 0.06 | 0.29 | 0.44 |
|                 | Anual     | 1.72                                    | 0.86  | 0.75  | 3.61  | 0.38                                  | 0.10 | 0.24 | 0.60 |
| 2023            | Invierno  | 0.70                                    | 0.21  | 0.50  | 1.05  | 0.25                                  | 0.02 | 0.22 | 0.27 |
|                 | Primavera | 0.78                                    | 0.23  | 0.55  | 1.10  | 0.40                                  | 0.04 | 0.32 | 0.44 |
|                 | Verano    | ---                                     | ---   | ---   | ---   | ---                                   | ---  | ---  | ---  |
|                 | Otoño     | ---                                     | ---   | ---   | ---   | ---                                   | ---  | ---  | ---  |
|                 | Anual     | ---                                     | ---   | ---   | ---   | ---                                   | ---  | ---  | ---  |

A partir de los datos de irradiancia PAR obtenidos en los muestreos *in situ*, también se puede determinar la proporción de luz que queda disponible para los organismos fotosintéticos del fondo (%I<sub>0</sub>; Figura 12), macroalgas y angiospermas marinas. Como se aprecia en la figura 12, coincidiendo con los máximos del coeficiente de extinción de la luz registrados en 2021 y 2022 y en la estación M en 2023, se han registrado valores medios de irradiancia PAR en el fondo muy próximos a los niveles críticos para el crecimiento fotosintético de los macrófitos bentónicos (Figura 12).

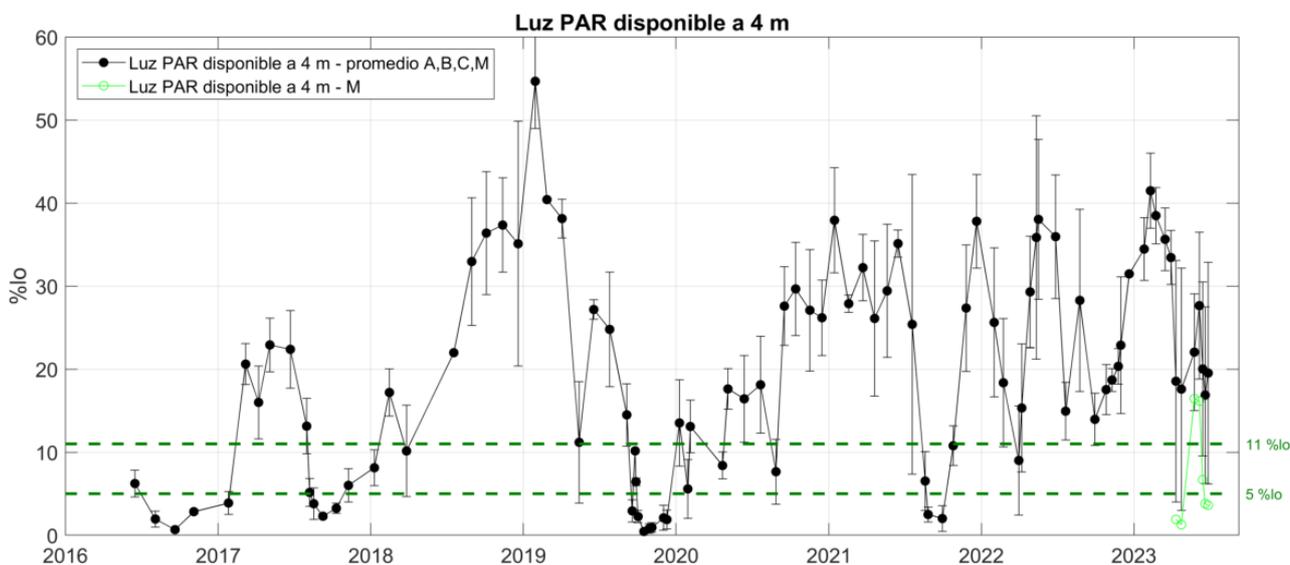


Figura 11: Evolución del porcentaje de radiación PAR que atraviesa la superficie del agua y que alcanza la profundidad de 4 metros. La línea verde representa la estación M. Los niveles de 11% y 5% son críticos para el crecimiento fotosintético de la vegetación bentónica.

## Sensores PAR permanentes

Además de los muestreos periódicos *in situ*, se instalaron dos sensores PAR independientes (superficial y profundo) en la estación B (en la boya piloto SMLG). Estos sensores tienen una alta frecuencia de muestreo (cada minuto) y de manera conjunta, dan información detallada de los niveles de radiación submarina PAR y el coeficiente de extinción de la luz de la columna de agua. La Figura 12 muestra esa serie de extinción de la luz comparado con la serie obtenida con los muestreos periódicos. Se observa que el muestreo periódico capturó todos los eventos significativos, a excepción de un periodo de aguas muy claras en septiembre 2022. En general se puede considerar que la serie temporal de esta variable obtenida a partir de los muestreos periódicos *in situ* (cada 15-30 días) es bastante consistente con la situación descrita por la serie temporal de mayor resolución temporal obtenida a partir de los sensores PAR instalados de forma permanente, aunque por la mayor resolución temporal de estos últimos el patrón de variabilidad es mucho más realista. De hecho, en la serie temporal de los sensores sumergibles se aprecia con mayor claridad la reducción de la turbidez del agua (menores valores de  $k$ ) en 2023 respecto a 2022. Los episodios de lluvias torrenciales de finales de primavera no parece que tuvieron un efecto intenso y duradero en la disponibilidad de luz en el fondo.

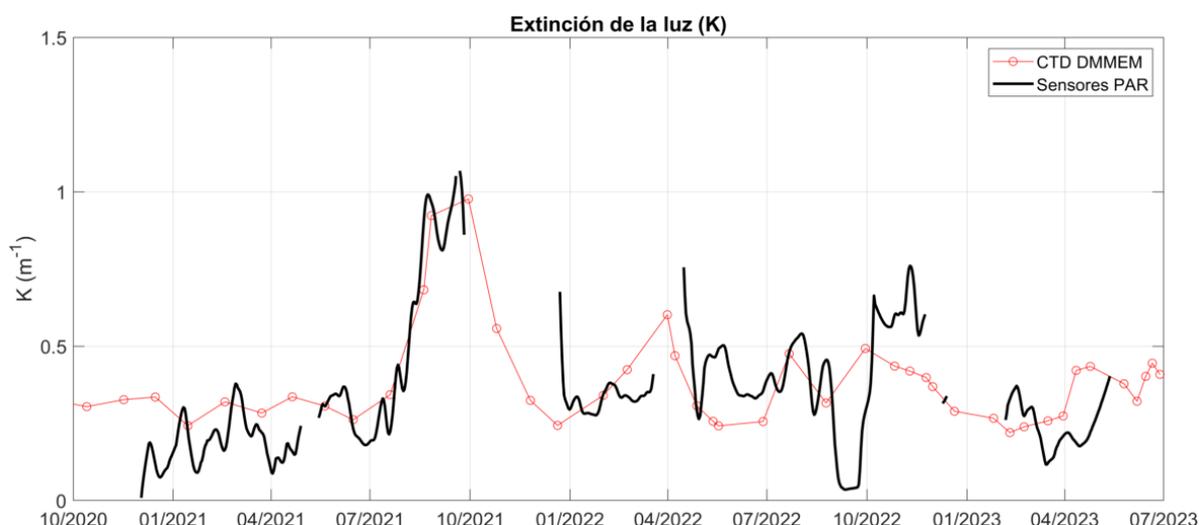


Figura 12: Comparación de las series temporales de extinción de la luz (K) obtenido con el muestreo periódico y con sensores PAR instalados en dos puntos en la laguna del Mar Menor.

## Boya piloto SMLG

La boya SMLG mide la concentración de clorofila *a* y turbidez NTU a una profundidad de 3 metros (ver Figura 13). De momento, la turbidez de la boya no está calibrada con muestras *in situ*, aunque se prevé hacerlo en próximas campañas. Estas medidas son de mayor resolución temporal por lo que pueden reflejar eventos no registrados por el muestreo periódico *in situ* y permitir estudiar con más detalle la relaciones entre ambas variables y éstas con otras variables ambientales (p.e. precipitaciones).

En general, se observa que la clorofila *a* varía diariamente con valores que aumentan durante el día y disminuyen al atardecer, siguiendo los ciclos de actividad nictemeral propia de los organismos fotosintéticos del plancton. A finales de octubre de 2022, la boya SMLG reportó un pico de turbidez que claramente correspondía con un pico de clorofila *a* en la laguna. Durante la segunda semana de noviembre de 2022 se observó de nuevo un pico de clorofila y turbidez, aunque sin relación entre ambos. Tampoco parece estar relacionado con las precipitaciones ya que éstas se registran en la estación de San Javier con cierto retraso temporal. Entre enero y junio de 2023 se suceden varios picos de turbidez. De acuerdo con los datos obtenidos a partir del muestreo periódico *in situ* (ver apartados anteriores), el episodio de lluvias torrenciales de finales de mayo no parece que haya afectado de forma intensa a la calidad del agua. Durante este evento la boya SMLG estaba fuera del agua por tareas de mantenimiento, pero los registros obtenidos *a posteriori* de dicho evento indican que la laguna recuperó completamente los niveles anteriores de clorofila y turbidez, que experimentaron muy poca variación a pesar de los sucesivos eventos de precipitaciones.

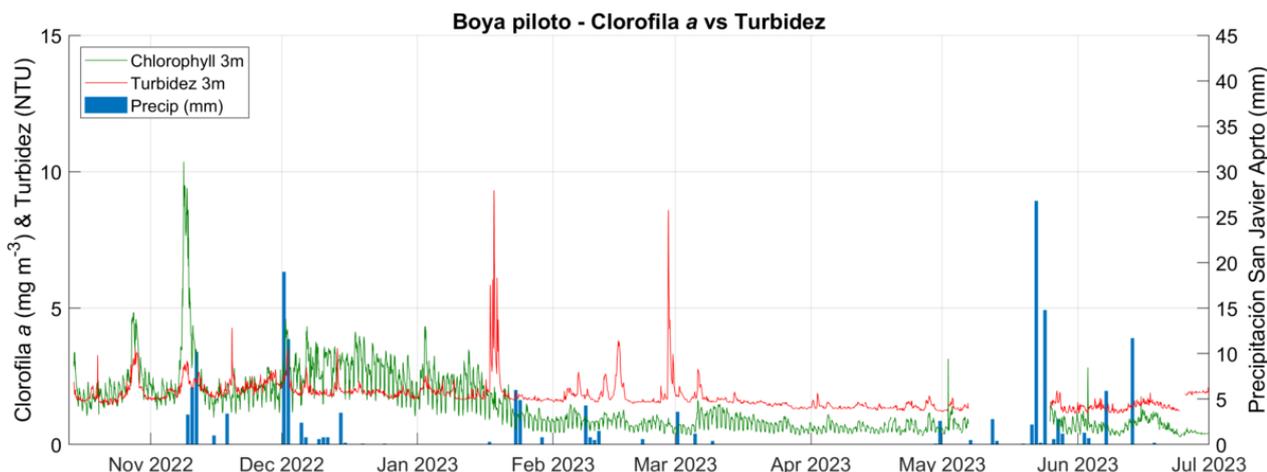


Figura 13: Series temporales completas de clorofila  $a$  y turbidez NTU de la boya SMARTLAGOON, comparado con la precipitación en el aeropuerto de San Javier obtenido a partir de los datos de la AEMET.

### Series temporales de clorofila $a$ del Mar Menor (datos satelitales)

La Figura 14 muestra la serie temporal de datos de clorofila  $a$  de satélite (azul) obtenidos de Copernicus (producto *Mediterranean Sea Ocean Colour Plankton MY L4 daily gapfree observations and climatology and monthly observations*), calibrados con los datos de clorofila del proyecto DMMEM (rojo) así como el promedio mensual de los datos de clorofila  $a$  de la boya SMLG (negro) (Anexo I).

Los valores satelitales de clorofila  $a$  promedios por mes correlacionan relativamente bien con los valores de clorofila  $a$  del muestreo *in situ* del proyecto DMMEM, pero debido a la heterogeneidad de la dinámica del desarrollo fitoplanctónico y al desacoplamiento de la clorofila  $a$  con la turbidez, este archivo de datos satelitales mensuales debe ser y será reemplazado por un algoritmo específico para la laguna que está en preparación.

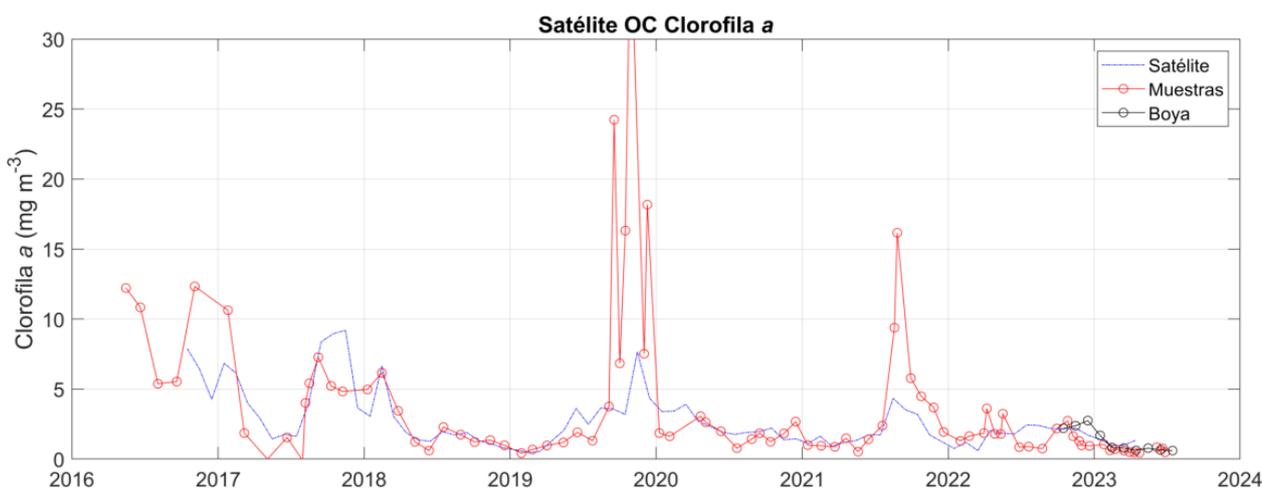


Figura 14: Comparación de las series temporales de clorofila  $a$  de los datos satelitales, muestreos DMMEM y boya SMLG.

Desde un punto de vista más metodológico, este desacoplamiento entre clorofila *a* y turbidez propio de la dinámica lagunar es probablemente la causa de la falta de correlación entre los datos obtenidos en los muestreos *in situ* y la concentración calculada a partir de las imágenes de satélite (Anexos). Este bajo rendimiento del satélite puede ser corregido mediante la producción de algoritmos empíricos específicos para el Mar Menor con el fin de obtener valores adecuados de concentración de clorofila satelital que permitan componer mapas y series temporales de alta resolución.

## 5. Oxígeno disuelto y pH

La **concentración de oxígeno disuelto (mg/l)** 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.

El **pH** indica la acidez o alcalinidad del agua, en base a las concentraciones de iones de hidrógeno ( $H^+$ ) e hidroxilo ( $OH^-$ ). El agua marina es ligeramente alcalina (8.1-8.3). La contaminación, ya sea atmosférica o por eutrofización del agua, tiende a aumentar la concentración de  $CO_2$ , cuya absorción por el sistema tampón de bicarbonato del agua tiende a disminuir el pH, proceso conocido como acidificación.

Ambas variables se miden regularmente en la laguna desde 2016 con frecuencia mensual, y en ocasiones semanal, dependiendo de las circunstancias de la laguna en cada momento, en las estaciones de muestreo (Figura 1), tanto en superficie como en fondo. Desde octubre 2022 las mediciones de ambas variables se realizan con un sensor incorporado al CTD (pH en escala NBS, sin corrección de temperatura) para obtener así, los perfiles verticales.

### Muestreos *in situ*

En 2022, los valores de oxígeno se han mantenido altos y normales (8.5-8.9 mg/l) en las zonas de muestreo (A, B y C en 2022), experimentando una disminución generalizada en junio (27/06/2022) hasta valores medios de 6.66 mg/l en las capas superficiales y 6.67 mg/l en las capas más profundas (Figura 15, Tabla 4). En agosto se alcanzaron valores medios mínimos entre 5.4 y 5.8 mg/l. Estos son valores normales para el Mar Menor en verano, aunque algo más bajo de lo habitual de acuerdo con la serie temporal (Figura 15), probablemente por las elevadas temperaturas alcanzadas este año. No obstante, otros factores pudieron contribuir a la variabilidad de la concentración de oxígeno, como las fluctuaciones del material orgánico particulado.

A partir de septiembre de 2022 los valores aumentan hasta alcanzar máximos entre 10 y 12 mg/l en febrero de 2023. Estas variaciones siguen el patrón de variación estacional de la variable, pero los valores alcanzados son más elevados que los registrados en años anteriores en los que no tuvo lugar algún tipo de evento extremo tendente a causar variaciones anómalas (p.e. 2019-2020; Figura 15). Tras el mencionado máximo, los valores de oxígeno han comenzado a disminuir de acuerdo con su dinámica estacional y el incremento de las temperaturas en primavera. Esta variable tampoco muestra diferencias significativas entre las capas superficiales y profundas, lo que indica ausencia de procesos de estratificación termohalina en la columna de agua capaces de interferir en la difusión de oxígeno. De hecho, **no se han apreciado síntomas de déficit de oxígeno críticos para el ecosistema lagunar (hipoxia, anoxia) desde el último evento registrado en 2021**. Como muestran los perfiles de CTD (Anexos), las lluvias de mayo-junio de 2023 tan solo causaron una muy leve disminución de los niveles de oxígeno en el fondo a consecuencia de una leve estratificación termohalina (ver apartados anteriores) de muy corta duración. Esta leve y momentánea reducción de oxígeno en el fondo se refleja en la serie temporal (Figura 15), pero no se produce ninguna alteración significativa de los patrones de variación natural de esta variable, ni siquiera en la estación M donde se produce el fenómeno de blanqueamiento del agua.

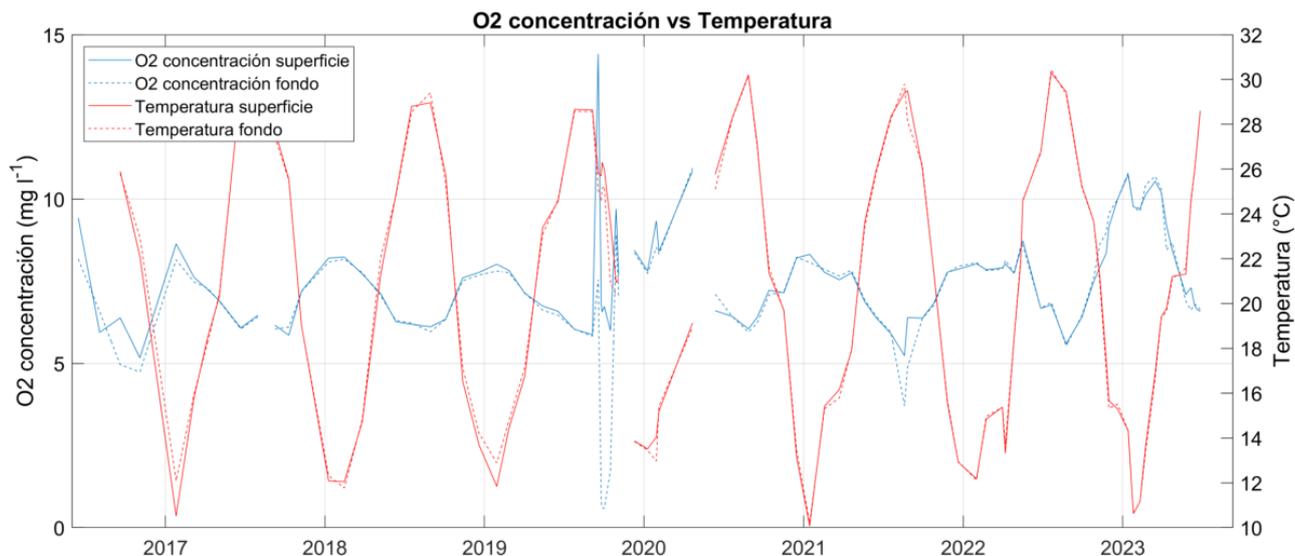


Figura 15: Series temporales promedio de oxígeno disuelto (azul) y temperatura (rojo) para las capas superficiales (línea continua) y de fondo (línea discontinua) de los muestreos del proyecto DMMEM para las ubicaciones A, B, C y M de la laguna del Mar Menor.

Los valores promedio del pH del Mar Menor se muestran en la Figura 16 (Tabla 5). Los valores muestran una tendencia general positiva del pH de +0.1 unidades por año, experimentando un incremento neto para todo el periodo de valores de 8 a 8.6 (+0.6). La última parte del episodio de “sopa verde” en 2017 y en 2021 muestran sendos eventos puntuales de acidificación, con una disminución de los valores de pH del orden de -0.5 unidades. Por el contrario, en marzo 2022, los valores de pH muestran un aumento considerablemente anómalo hasta alcanzar valores de 10 unidades en junio de 2022, para posteriormente disminuir rápidamente de nuevo hasta valores de pH más próximos al valor medio de entonces, en torno a 8.5 unidades en septiembre de 2022. **Las mediciones más recientes realizadas hasta primavera de 2023 siguen corroborando la tendencia de aumento del pH** ya que los valores medios máximos registrados esta época del año han sido superiores a los de los años anteriores de toda la serie temporal (excepto en 2022; Figura 16, Tablas 4 y 5).

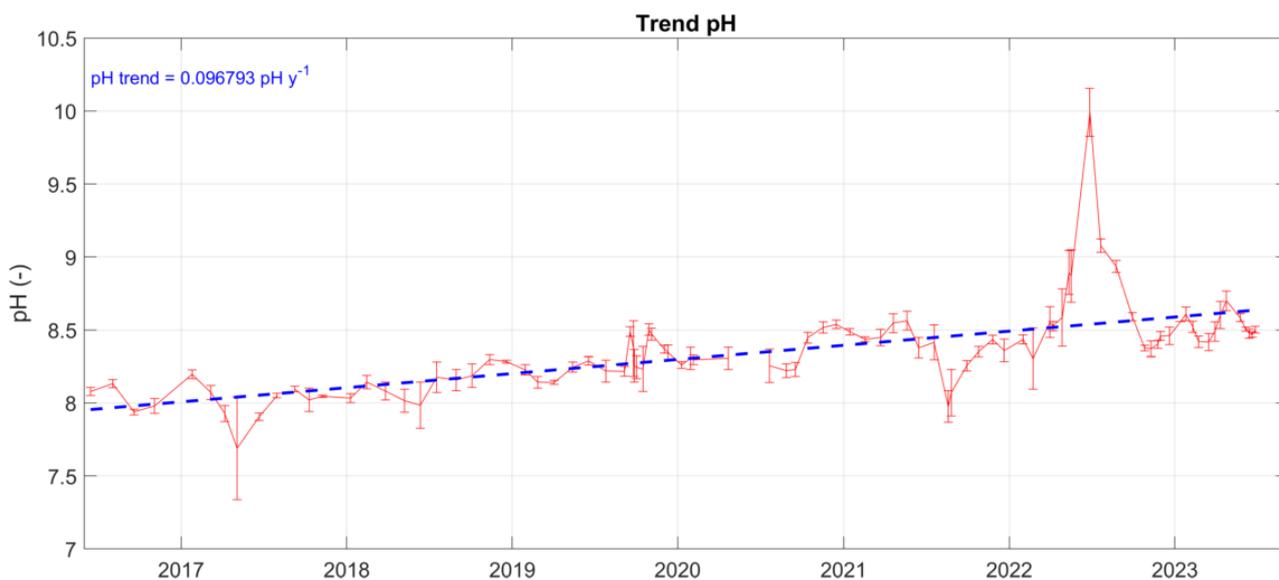


Figura 16: Serie temporal promedio de pH de los muestreos del proyecto DMMEM en las ubicaciones A, B, C y M de la

laguna del Mar Menor.

Tabla 4: Valores mínimos y máximos de oxígeno disuelto medidos durante los muestreos cada año.

| Oxígeno disuelto (mg/l) |           | Superficie |     |     |      | Fondo |     |     |      |
|-------------------------|-----------|------------|-----|-----|------|-------|-----|-----|------|
| Año                     | Estación  | Media      | Std | Min | Max  | Media | Std | Min | Max  |
| 2016                    | Invierno  | ---        | --- | --- | ---  | ---   | --- | --- | ---  |
|                         | Primavera | ---        | --- | --- | ---  | ---   | --- | --- | ---  |
|                         | Verano    | 6.2        | 0.3 | 5.9 | 6.4  | 5.8   | 1.1 | 5.0 | 6.6  |
|                         | Otoño     | 5.2        | 0.0 | 5.2 | 5.2  | 4.7   | 0.0 | 4.7 | 4.7  |
|                         | Anual     | 6.7        | 1.9 | 5.2 | 9.4  | 6.1   | 1.6 | 4.7 | 8.2  |
| 2017                    | Invierno  | 8.1        | 0.7 | 7.6 | 8.6  | 7.8   | 0.5 | 7.5 | 8.1  |
|                         | Primavera | 6.7        | 0.6 | 6.1 | 7.2  | 6.7   | 0.6 | 6.0 | 7.3  |
|                         | Verano    | 6.3        | 0.2 | 6.2 | 6.5  | 6.2   | 0.3 | 6.0 | 6.4  |
|                         | Otoño     | 6.5        | 0.9 | 5.9 | 7.2  | 6.6   | 0.8 | 6.1 | 7.2  |
|                         | Anual     | 6.9        | 0.9 | 5.9 | 8.6  | 6.8   | 0.7 | 6.0 | 8.1  |
| 2018                    | Invierno  | 8.1        | 0.3 | 7.7 | 8.2  | 8.0   | 0.2 | 7.8 | 8.2  |
|                         | Primavera | 6.7        | 0.6 | 6.3 | 7.1  | 6.7   | 0.5 | 6.3 | 7.1  |
|                         | Verano    | 6.1        | 0.1 | 6.1 | 6.2  | 6.1   | 0.2 | 6.0 | 6.2  |
|                         | Otoño     | 7.2        | 0.8 | 6.3 | 7.8  | 7.2   | 0.7 | 6.3 | 7.7  |
|                         | Anual     | 7.2        | 0.9 | 6.1 | 8.2  | 7.1   | 0.8 | 6.0 | 8.2  |
| 2019                    | Invierno  | 7.9        | 0.1 | 7.8 | 8.0  | 7.8   | 0.0 | 7.8 | 7.8  |
|                         | Primavera | 6.8        | 0.3 | 6.6 | 7.1  | 6.7   | 0.4 | 6.5 | 7.1  |
|                         | Verano    | 7.9        | 3.6 | 5.9 | 14.4 | 4.2   | 3.2 | 0.6 | 7.5  |
|                         | Otoño     | 7.7        | 1.4 | 6.0 | 9.7  | 5.3   | 3.9 | 0.6 | 8.9  |
|                         | Anual     | 7.6        | 2.1 | 5.9 | 14.4 | 5.5   | 3.0 | 0.6 | 8.9  |
| 2020                    | Invierno  | 8.5        | 0.8 | 7.8 | 9.3  | 8.2   | 0.4 | 7.7 | 8.5  |
|                         | Primavera | 8.7        | 3.0 | 6.6 | 10.9 | 9.0   | 2.7 | 7.1 | 10.9 |
|                         | Verano    | 6.3        | 0.2 | 6.0 | 6.4  | 6.2   | 0.2 | 5.9 | 6.4  |
|                         | Otoño     | 7.5        | 0.6 | 7.1 | 8.2  | 7.5   | 0.6 | 7.1 | 8.2  |
|                         | Anual     | 7.7        | 1.5 | 6.0 | 10.9 | 7.6   | 1.4 | 5.9 | 10.9 |
| 2021                    | Invierno  | 7.9        | 0.4 | 7.5 | 8.3  | 7.9   | 0.2 | 7.7 | 8.1  |
|                         | Primavera | 7.0        | 0.7 | 6.4 | 7.8  | 7.1   | 0.7 | 6.4 | 7.8  |
|                         | Verano    | 6.0        | 0.5 | 5.2 | 6.4  | 5.2   | 1.2 | 3.7 | 6.4  |
|                         | Otoño     | 7.5        | 0.6 | 6.8 | 7.9  | 7.5   | 0.6 | 6.8 | 8.0  |
|                         | Anual     | 7.0        | 0.9 | 5.2 | 8.3  | 6.8   | 1.3 | 3.7 | 8.1  |
| 2022                    | Invierno  | 7.9        | 0.1 | 7.8 | 8.0  | 7.9   | 0.1 | 7.8 | 8.1  |
|                         | Primavera | 7.9        | 0.8 | 6.7 | 8.7  | 7.9   | 0.8 | 6.7 | 8.6  |
|                         | Verano    | 6.3        | 0.6 | 5.6 | 6.8  | 6.3   | 0.7 | 5.5 | 6.9  |
|                         | Otoño     | 8.6        | 1.0 | 7.5 | 10.0 | 8.9   | 0.9 | 7.6 | 10.0 |
|                         | Anual     | 7.8        | 1.1 | 5.6 | 10.0 | 7.9   | 1.2 | 5.5 | 10.0 |
| 2023                    | Invierno  | 10.2       | 0.4 | 9.7 | 10.7 | 10.3  | 0.5 | 9.6 | 10.8 |
|                         | Primavera | 7.4        | 1.0 | 6.6 | 9.2  | 7.3   | 0.9 | 6.6 | 8.7  |
|                         | Verano    | ---        | --- | --- | ---  | ---   | --- | --- | ---  |
|                         | Otoño     | ---        | --- | --- | ---  | ---   | --- | --- | ---  |
|                         | Anual     | ---        | --- | --- | ---  | ---   | --- | --- | ---  |

Tabla 5: Valores medios, mínimos y máximos de pH medidos durante los muestreos cada año.

| pH (-) |           | Superficie |     |     |     | Fondo |     |     |      |
|--------|-----------|------------|-----|-----|-----|-------|-----|-----|------|
| Año    | Estación  | Media      | Std | Min | Max | Media | Std | Min | Max  |
| 2016   | Invierno  | ---        | --- | --- | --- | ---   | --- | --- | ---  |
|        | Primavera | ---        | --- | --- | --- | ---   | --- | --- | ---  |
|        | Verano    | 8.1        | 0.1 | 8.0 | 8.1 | 8.0   | 0.2 | 7.9 | 8.1  |
|        | Otoño     | 8.0        | 0.0 | 8.0 | 8.0 | 7.9   | 0.0 | 7.9 | 7.9  |
|        | Anual     | 8.1        | 0.1 | 8.0 | 8.1 | 8.0   | 0.1 | 7.9 | 8.1  |
| 2017   | Invierno  | 8.1        | 0.1 | 8.1 | 8.2 | 8.1   | 0.1 | 8.1 | 8.2  |
|        | Primavera | 7.8        | 0.2 | 7.5 | 7.9 | 7.9   | 0.0 | 7.9 | 7.9  |
|        | Verano    | 8.1        | 0.0 | 8.1 | 8.1 | 8.1   | 0.0 | 8.0 | 8.1  |
|        | Otoño     | 8.0        | 0.0 | 8.0 | 8.0 | 8.0   | 0.0 | 8.0 | 8.0  |
|        | Anual     | 8.0        | 0.2 | 7.5 | 8.2 | 8.0   | 0.1 | 7.9 | 8.2  |
| 2018   | Invierno  | 8.1        | 0.0 | 8.1 | 8.1 | 8.1   | 0.1 | 8.0 | 8.1  |
|        | Primavera | 8.0        | 0.0 | 8.0 | 8.0 | 8.0   | 0.0 | 8.0 | 8.0  |
|        | Verano    | 8.2        | 0.0 | 8.2 | 8.2 | 8.2   | 0.0 | 8.2 | 8.2  |
|        | Otoño     | 8.3        | 0.1 | 8.2 | 8.3 | 8.3   | 0.1 | 8.2 | 8.3  |
|        | Anual     | 8.1        | 0.1 | 8.0 | 8.3 | 8.1   | 0.1 | 8.0 | 8.3  |
| 2019   | Invierno  | 8.2        | 0.1 | 8.1 | 8.2 | 8.2   | 0.1 | 8.1 | 8.2  |
|        | Primavera | 8.2        | 0.1 | 8.2 | 8.3 | 8.2   | 0.1 | 8.1 | 8.3  |
|        | Verano    | 8.5        | 0.2 | 8.2 | 8.7 | 8.2   | 0.1 | 7.9 | 8.3  |
|        | Otoño     | 8.5        | 0.1 | 8.4 | 8.5 | 8.2   | 0.3 | 7.8 | 8.5  |
|        | Anual     | 8.4        | 0.2 | 8.1 | 8.7 | 8.2   | 0.2 | 7.8 | 8.5  |
| 2020   | Invierno  | 8.3        | 0.0 | 8.3 | 8.3 | 8.3   | 0.0 | 8.3 | 8.3  |
|        | Primavera | 8.3        | 0.0 | 8.3 | 8.3 | 8.3   | 0.0 | 8.3 | 8.3  |
|        | Verano    | 8.2        | 0.0 | 8.2 | 8.3 | 8.2   | 0.0 | 8.2 | 8.2  |
|        | Otoño     | 8.5        | 0.0 | 8.5 | 8.5 | 8.5   | 0.1 | 8.4 | 8.6  |
|        | Anual     | 8.3        | 0.1 | 8.2 | 8.5 | 8.3   | 0.1 | 8.2 | 8.6  |
| 2021   | Invierno  | 8.5        | 0.0 | 8.4 | 8.5 | 8.5   | 0.0 | 8.4 | 8.5  |
|        | Primavera | 8.5        | 0.1 | 8.4 | 8.6 | 8.5   | 0.1 | 8.4 | 8.6  |
|        | Verano    | 8.2        | 0.1 | 8.1 | 8.4 | 8.1   | 0.2 | 7.9 | 8.4  |
|        | Otoño     | 8.4        | 0.1 | 8.3 | 8.4 | 8.4   | 0.0 | 8.3 | 8.4  |
|        | Anual     | 8.4        | 0.1 | 8.1 | 8.6 | 8.4   | 0.2 | 7.9 | 8.6  |
| 2022   | Invierno  | 8.4        | 0.1 | 8.3 | 8.5 | 8.4   | 0.1 | 8.3 | 8.6  |
|        | Primavera | 9.0        | 0.6 | 8.5 | 9.9 | 9.0   | 0.6 | 8.5 | 10.0 |
|        | Verano    | 8.9        | 0.3 | 8.6 | 9.1 | 8.9   | 0.2 | 8.6 | 9.1  |
|        | Otoño     | 8.4        | 0.0 | 8.4 | 8.5 | 8.4   | 0.0 | 8.4 | 8.5  |
|        | Anual     | 8.7        | 0.4 | 8.3 | 9.9 | 8.7   | 0.4 | 8.3 | 10.0 |
| 2023   | Invierno  | 8.5        | 0.1 | 8.4 | 8.6 | 8.5   | 0.1 | 8.4 | 8.6  |
|        | Primavera | 8.5        | 0.1 | 8.5 | 8.7 | 8.6   | 0.1 | 8.5 | 8.7  |
|        | Verano    | ---        | --- | --- | --- | ---   | --- | --- | ---  |
|        | Otoño     | ---        | --- | --- | --- | ---   | --- | --- | ---  |
|        | Anual     | ---        | --- | --- | --- | ---   | --- | --- | ---  |

## 6. Síntesis de resultados

Los resultados del programa de seguimiento indican una tendencia general de estabilización de las condiciones ambientales en la laguna. Se observa una mejora general en la transparencia del agua, una adecuada oxigenación y bajas concentraciones de clorofila *a*. Estos resultados contrastan con las continuas y masivas entradas de agua y nutrientes de origen antropogénico, lo que sugiere que el ecosistema lagunar cuenta aún con efectivos mecanismos de transformación y control que tamponan los efectos directos de estas entradas. Sin embargo, es importante destacar que si se analiza la serie temporal completa, existe una débil correlación entre estas variables de estado y los aportes continentales después de episodios de lluvias torrenciales. Por lo tanto, esta tendencia aparente de estabilización del ecosistema basada en los bajos niveles de clorofila *a* o de nutrientes disueltos en el agua (p.e. nitratos) obtenidos en los últimos meses, no debería interpretarse aún como un síntoma de buen estado ambiental. Como se ha encontrado en los episodios de agravamiento severo de la eutrofización que han ocurrido previamente en la propia laguna, estos mecanismos de transformación y control de los aportes no impiden que bajo determinadas condiciones no bien entendidas todavía, se movilicen los nutrientes en el ecosistema dando lugar a *blooms* fitoplanctónicos y episodios de agravamiento de la eutrofización. **En consecuencia, si bien existen indicadores de mejora en la calidad del agua del Mar Menor en los últimos meses, estos periodos podrían reflejar la complejidad de los procesos y mecanismos que responden a la eutrofización, en lugar de ser una señal clara de una mejora del estado general del ecosistema.**

En todo caso, la aparente estabilidad comentada anteriormente no se aplica a una extensa área de la laguna en la zona centro-oeste, que abarca desde la isla Perdiguera hasta el tramo de costa entre Los Alcázares y Los Urrutias. Es en esta zona donde se ha observado el **fenómeno de blanqueamiento del agua** descrito en el informe previo. Los datos más recientes de este informe indican que la intensidad de dicho fenómeno se suavizó debido a un efecto de dilución causado por la entrada de agua dulce durante las lluvias. Sin embargo, después de las lluvias, las características de la masa de agua blanquecina y su extensión volvieron a restablecerse.

Es evidente que este **fenómeno está relacionado con los aportes antropogénicos puntuales y difusos de agua y nutrientes** desde la cuenca vertiente en esa zona. Un análisis retrospectivo basado en imágenes de satélite revela que en esa misma área son frecuentes los cambios en las propiedades ópticas de la masa de agua debido a afloramientos fitoplanctónicos y aportes de sedimentos terrígenos. Sin embargo, también se observa que estos cambios difieren considerablemente del aspecto blanquecino adoptado en los últimos años. Esto sugiere que algún cambio en el entorno ambiental podría haber inducido la formación de algún tipo de partícula orgánica y/o inorgánica capaz de reflejar la luz solar incidente, impidiendo que esta llegue adecuadamente al fondo de la laguna en esa zona. **Fenómenos similares se han descrito en otras partes del mundo (p.e. “whiting events”)** y, al igual que en esos casos, se requieren análisis y pruebas adicionales (actualmente en proceso) para comprender mejor su origen y naturaleza. En cuanto a los efectos en el ecosistema lagunar, lo más preocupante es la reducción extrema de la luz. **En la zona afectada, prácticamente no llega luz al fondo y es posible que la vegetación bentónica esté desapareciendo en un parte significativa del fondo marino. Igualmente preocupante sería la persistencia del fenómeno y un posible aumento de la superficie que ocupa, que hasta ahora ha sido muy delimitada y estable. Continuaremos con los trabajos de monitorización para comprobar estos aspectos.**

Durante el invierno y primavera de 2023, **no se han observado** en ninguna zona de la laguna **procesos de estratificación vertical** en la columna de agua que representen un riesgo de **anoxia extrema** en el fondo de la laguna, lo cual podría desencadenar eventos de mortalidad de especies animales y vegetales.

A pesar de la aparente estabilidad del sistema mencionada anteriormente, existen claros indicios de que otras propiedades importantes están experimentando cambios. Una de ellos es **la temperatura del agua**, que ha mostrado **una tendencia ascendente** tanto en sus valores promedio y máximos, como en el número e intensidad de las olas de calor extremas, según se ha analizado en informes anteriores. A juzgar por las temperaturas actuales, parece que esta tendencia continua, aunque se proporcionará un análisis más actualizado en el próximo informe. Otro parámetro que están cambiando es **el pH**, el cual también **muestra una tendencia ascendente y ha experimentado un incremento neto de 0.5 puntos desde 2016**. Este incremento es altamente significativo para un parámetro que está estrictamente controlado por el sistema de carbonatos del ecosistema.

Tanto en el caso de la temperatura como del pH, existe una alta probabilidad de que se alcancen umbrales de tolerancia fisiológica de alguna de las especies clave del ecosistema, como las que forman las praderas marinas de la laguna. De continuar con esta dinámica, podrían producirse nuevos cambios en la estructura, composición y distribución de las comunidades biológicas, tanto planctónicas como bentónicas. Estaremos atentos a detectar y evaluar estos cambios gracias al programa de monitorización. No obstante, se requerirán estudios más específicos para determinar las posibles relaciones entre estos cambios y los procesos relacionados con la eutrofización, así como con el estado y funcionamiento del ecosistema (producción primaria, blanqueamiento de la masa de agua, *blooms* algales, actividad y abundancia de poblaciones de especies filtradoras y suspensívoras, etc.).

Otra variable ambiental que ha experimentado cierto cambio es **la salinidad**, que se ha mantenido siempre por debajo de 44 desde los episodios extremos de lluvias torrenciales ocurridos en el periodo 2019-2020. Estos valores se encuentran dentro de los rangos normales para el Mar Menor, aunque en la parte más baja de ese rango. El mantenimiento de esta salinidad reducida podría deberse a la descarga casi continua del agua acumulada después de las intensas lluvias torrenciales de 2019-2020, hipótesis que esperamos pueda ser contrastada con los resultados de los estudios hidrogeológicos en curso. Aunque no se disponga de estudios específicos que lo demuestren, esta **disminución general de la salinidad** (y su interacción con otros factores) podría explicar, al menos en parte, algunos procesos biológicos observados en este periodo. Por ejemplo, se han observado desarrollos masivos de algas oportunistas “ovas”, así como un declive de la población de Nacra (*Pinna nobilis*) o la expansión de especies de afinidad mediterránea, como la sepia (*Sepia officinalis*), que se encuentra con mayor frecuencia en las capturas de pesca de la laguna.

Aunque se requieren estudios más específicos para determinar el origen y dinámica de estos fenómenos, ambos casos son síntomas de la elevada inestabilidad del debilitado ecosistema lagunar desde su colapso en 2016, como consecuencia del proceso de eutrofización inducido por los excesos de aportes de nutrientes antropogénicos.

La actividad de las comunidades microbianas, el desarrollo de enormes biomasas de algas filamentosas “ovas”, la elevada capacidad de asimilación de nutrientes de las macroalgas (*Caulerpa prolifera*) y la actividad del zooplancton son mecanismos conocidos de transformación y movilización de los nutrientes del medio, los cuales pueden contribuir a la aparente estabilidad del sistema. Sin embargo, cuando estos

mecanismos dejen de actuar o lo hagan en condiciones de menor intensidad y eficacia debido, por ejemplo, a cambios en las condiciones ambientales (tanto en el ámbito marino como terrestre), los nutrientes que entran en la laguna de forma continua y masiva podrán estar de nuevo disponibles para el fitoplancton y desencadenar eventos extremos de agotamiento de oxígeno, tal y como pudimos comprobar en verano de 2021.

Como se ha sugerido, el calentamiento progresivo de las aguas de la laguna puede actuar (o más bien, de acuerdo con nuevas evidencias científicas, está ya actuando) erosionando y mermando la eficacia de dichos mecanismos de control a nivel ecosistémico. Por el contrario, si el actual estado aparente de estabilidad se mantiene a largo plazo, la mayor temperatura y disponibilidad de luz en el fondo podrían traducirse en la aparición de síntomas de recuperación de algunos componentes clave del ecosistema, como las praderas marinas. No es posible predecir el balance neto de estos procesos a nivel ecosistémico, pero si podrá ser determinado en base a las actividades del proyecto BELICH y de otros proyectos relacionados en curso.

## 7. Valoración del evento de desarrollo masivo de la medusa *Cotylorhiza tuberculata*

Juan M. Ruiz (IEO-CSIC) y J.M. Gili (ICM-CSIC)

En las últimas semanas del mes de junio se ha producido en el Mar Menor un episodio de crecimiento explosivo y masivo de la medusa popularmente conocida como “huevo frito” (*Cotylorhiza tuberculata*). Este programa de monitorización incluye la caracterización de la composición y abundancia de zooplancton (datos no disponibles), pero no del plancton gelatinoso, que incluye al grupo de las medusas. No obstante, en base al conocimiento científico disponible, se comentan a continuación una serie de cuestiones básicas necesarias para interpretar la naturaleza, causas y consecuencias de este fenómeno.

1. En primer lugar, **se trata de un fenómeno ya conocido en el Mar Menor**. Es necesario recordar que las medusas *Cotylorhiza tuberculata* (huevo frito) y *Rhizostoma pulmo* fueron registradas por primera vez en la albufera tras el ensanche del canal del Estacio en la década de 1970. Ambas especies comenzaron a protagonizar desarrollos explosivos masivos (como los observados estas últimas semanas) a partir de 1993; desde entonces fue un fenómeno recurrente hasta principios de los 2000. Durante estos episodios se llegaban a alcanzar cada año densidades extremadamente elevadas de *Rhizostoma* (hasta 2 individuos/100m<sup>3</sup> en mayo-junio) y de *Cotylorhiza* (hasta 9 individuos/100m<sup>3</sup> en julio-septiembre) (Mas, 1999; Pages, 2001). A mediados del verano de 1997, se estimó que la población de medusas en la laguna era de unos 40 millones de individuos (Pérez-Ruzafa et al., 2002). En la década de los 2000 la abundancia de medusas se reduce a niveles más bajos, manteniéndose en este estado durante las últimas dos décadas con cierta variabilidad interanual. Sólo en 2011 y 2012 se vuelven a registrar episodios masivos de magnitud similar a los de décadas anteriores protagonizados por *C. tuberculata* (Fernández-Alias y Pérez-Ruzafa 2023). El episodio observado en junio de 2023 muestra unas densidades máximas que, estando por encima de las registradas en años anteriores, están muy por debajo de las características de estos eventos (a falta de recibir datos más recientes del fenómeno).
2. **No se puede atribuir a las medusas un papel de filtradores/depuradores de agua**. Las medusas son organismos marinos cuya morfología se encuentra diseñada para capturar los animales microscópicos del zooplancton, no poseen órganos filtradores (como musculatura para bombear agua hacia el interior de la cavidad gástrica), como es el caso de los moluscos bivalvos (ostra, berberecho o nacra), las esponjas o las ascidias, cuya eficiencia en retirar el material particulado del agua es más que conocida. Por tanto, el mayor control que ejercen estos organismos sobre las cadenas tróficas pelágicas se produce a nivel de zooplancton y no a nivel del fitoplancton (aunque pueden capturar ocasionalmente células de fitoplancton que entran en la cavidad gástrica). En el caso de *C. tuberculata*, es una especie con microalgas endosimbiontes, como los corales. Estas algas simbiotes obtienen parte de los nutrientes del hospedador (la medusa) y del medio externo (nutrientes orgánicos e inorgánicos del agua), pero en ningún caso se les puede atribuir una capacidad “depuradora” del agua comparable a la de otros organismos con demostrada capacidad y eficiencia en retirar nutrientes del medio como las algas y praderas marinas que colonizan el fondo. No se dispone de estimas de la capacidad de *C. tuberculata* de retirar nutrientes del medio, pero teniendo en cuenta que la biomasa de algas simbiotes es del orden del 1% del total de cada medusa, es previsible que dicha capacidad sea muy reducida.

3. **Causas del actual evento de *C. tuberculata*.** Es muy difícil correlacionar este tipo de fenómenos bruscos y masivos con cambios ambientales concretos; por lo tanto, cualquier explicación adolecerá de un carácter altamente especulativo. En cualquier caso, hay que diferenciar dos cuestiones muy diferentes: (1) las condiciones ambientales que favorecen la aparición y crecimiento de las medusas a partir de su fase de pólipo, y (2) qué relación tiene la aparición de las medusas con el estado de salud del ecosistema y su recuperación. Como se ha descrito a partir de los datos presentados en este informe, las condiciones del estado de la columna de agua del Mar Menor se mantienen desde hace un tiempo en una situación relativamente estable caracterizada por unos bajos niveles de clorofila *a*, una elevada transparencia y una elevada disponibilidad de luz para los organismos fotosintéticos del fondo. Por otro lado, otro tipo de observaciones ponen de manifiesto la elevada disponibilidad de alimento para aquellos organismos que, al igual que las medusas, explotan los recursos presentes en el agua (bivalvos, poliquetos, ascidias, etc.). Buena parte de este alimento está formado por zooplancton, que es el recurso principal de las medusas. Por último, existe evidencia de que el aumento de la temperatura favorece el desarrollo de estas especies de medusas. Teniendo en cuenta que el Mar Menor está sometido claramente a un importante proceso de calentamiento (ver informes anteriores), y que hay suficiente luz y alimento disponibles, es bastante plausible plantear que la aparición de este nuevo *bloom* de *C. tuberculata* se encuentre relacionado con esta confluencia de buenas condiciones para el desarrollo de las medusas a partir de sus pólipos.

Ahora bien, la elevada disponibilidad de alimento se encuentra relacionada con el proceso de eutrofización, que ha provocado el colapso y deterioro del ecosistema, por lo que no es posible considerar la presencia masiva de medusas como un indicador del buen estado de salud del ecosistema. De hecho, los episodios registrados en la década de 1990 se atribuyeron a los fuertes cambios ambientales experimentados por la laguna causados por la intensa actividad antropogénica, entre los cuales se destacó el incremento de las cantidades de nutrientes aportadas a la laguna (Pérez-Ruzafa, 1997; Payés, 2001).

Hay dos aspectos a tener en cuenta también. Por un lado, la ausencia de proliferaciones masivas de medusas estos últimos años podría deberse a la acumulación de eventos ambientales extremos (reducción de la luz, anoxia), ya que dichas condiciones pueden impedir el desarrollo de las medusas a partir de las éfiras (de 1 mm de tamaño). Sin embargo, dichas condiciones no tienen que afectar a la supervivencia de los pólipos fijados al fondo a partir de los cuales se liberan las éfiras. Por otro lado, estas poblaciones de pólipos son resistentes a las condiciones ambientales y pueden mantenerse latentes durante años y no producir medusas mientras las condiciones ambientales son adversas para el crecimiento de las mismas. De esta forma, con los años, se puede ir formando una amplia población de pólipos (mucho mayor de lo pensado en base a la escasez de medusas) y al darse las condiciones óptimas han generado una gran cantidad de medusas. De esta forma se explicaría la aparición masiva y repentina de medusas tras periodos de varios años con muy escasas abundancias de medusas.

4. **¿Qué consecuencias puede tener a nivel ecosistémico?**

El ciclo de vida de las medusas costeras como *Cotyloriza* se caracteriza por una fase pólipo bentónica que perdura años si no son depredados y una fase planctónica sexual. Las medusas adultas una vez alcanzan la madurez sexual se reproducen y mueren (son senescentes). Por un lado, una vez completado el ciclo de vida, la biomasa acumulada de las medusas muertas podría causar algún episodio de deterioro de la

calidad del agua y del sedimento en alguna zona de la laguna. Pero por otro lado, al morir son una fuente de alimento fundamental para muchas especies de peces, crustáceos y otros organismos. Son una fuente de proteínas (especialmente colágeno) muy importante para el ecosistema y su impacto puede ser muy positivo para el ecosistema. Como ya se ha explicado, el principal impacto de la actividad de las medusas vivas va a tener lugar a nivel de zooplancton en la cadena trófica, pero también puede afectar a otros componentes del ecosistema al incluir en su captura larvas y estadios juveniles de diversas especies de invertebrados e incluso peces. Todo esto es bastante especulativo y solo será posible realizar un balance a partir de los resultados del seguimiento del fenómeno y las condiciones del ecosistema.

## 5. Medidas a adoptar

La retirada de medusas mediante pesca se realiza para evitar la llegada a las playas y reducir la afectación hacia los bañistas, aunque su efectividad está realmente en entredicho. En teoría, cuantas más medusas se saquen del medio (esto es, mayor número de progenitores) habrá menor número de huevos fecundados y larvas que darán lugar a futuros pólipos. De esta manera se pueden controlar en cierta medida las posibles proliferaciones de años venideros, pero los datos disponibles en el Mar Menor no permiten conocer la efectividad real de esta relación causa-efecto.

Las redes antimedusas no son eficaces ya que las medusas se enganchan en las redes, se rompen y los trozos de la medusa, especialmente de los tentáculos, causan picaduras igualmente. Al no ver las medusas, las personas se confían y las picaduras no se pueden evitar. También tiene un elevado coste el mantenimiento de las redes y muchas otras especies pueden quedar retenidas con lo que el impacto sobre el ecosistema es muy elevado.

Los periodos de años con muchas medusas son cíclicos, antes se observaron cada 6-8 años, pero recientemente debido al incremento de la temperatura del agua del mar estos periodos se han reducido a unos tres años o posiblemente menos. Además, el hecho de que la temperatura elevada del agua persiste más tiempo parece que no solo adelanta el periodo de liberación de las medusas por los pólipos, sino que los pólipos dan más de un episodio de liberación de medusas, hecho que hace que se incremente el número de progenitores y, por tanto, incluso de pólipos, y que las medusas sean más persistentes en el tiempo. Actuar sobre este fenómeno es mucho más complejo, ya que el calentamiento del Mar Menor y del Mediterráneo adyacente responde a un fenómeno de calentamiento global frente al cual solo cabe actuar a nivel global, sobre las políticas de uso y gestión y control de las energías basadas en el carbono.

## ANEXO I: Calibraciones

### Calibraciones de los datos de temperatura de la boya SMARTLAGOON con perfiles CTD próximos a la boya

Durante el último mantenimiento intensivo en mayo 2023, se han incorporado medidas *anti-fouling*, como cubiertas de cobre, en los sensores de temperatura. Debido a esto, los coeficientes de calibración se calculan para el período antes y después de este mantenimiento y se implementan de la misma manera.

#### Termistores (sensores de temperatura) – 14/10/2022 a 07/05/2023

Fecha de la última calibración, el 27/04/2023

resultando en la fórmula:

$$CAST = -0.13054 + 0.98925 * BUOY. R^2: 0.9981$$

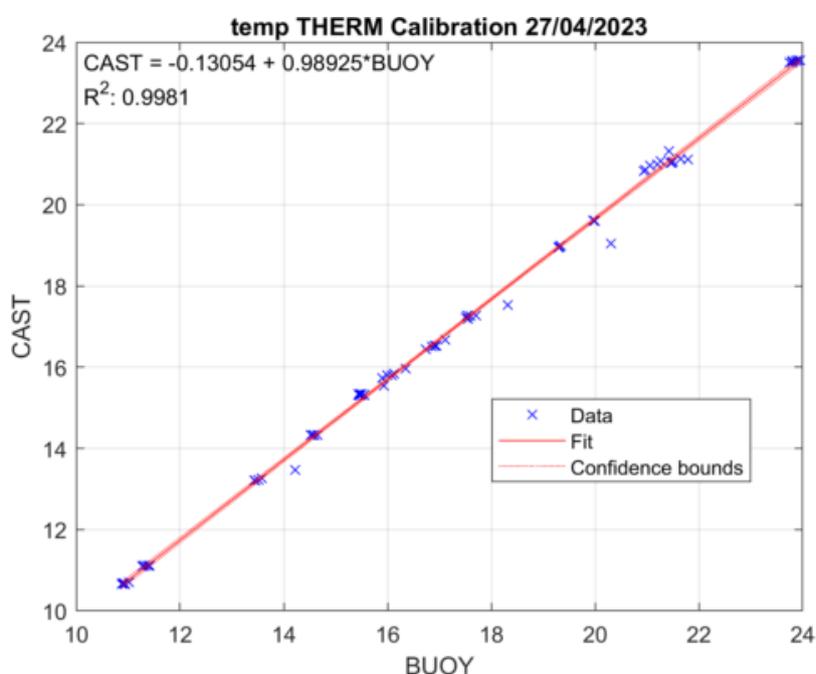


Figura 17: Calibración de los datos de temperatura de los Termistores de la boya SMLG - 14/10/2023 a 07/05/2023.

**Termistores (sensores de temperatura) – 25/05/2023 a hoy**

Fecha de la última calibración, el 22/06/2023

resultando en la fórmula:

$$CAST = -0.18069 + 0.99397 * BUOY. R^2: 0.9973$$

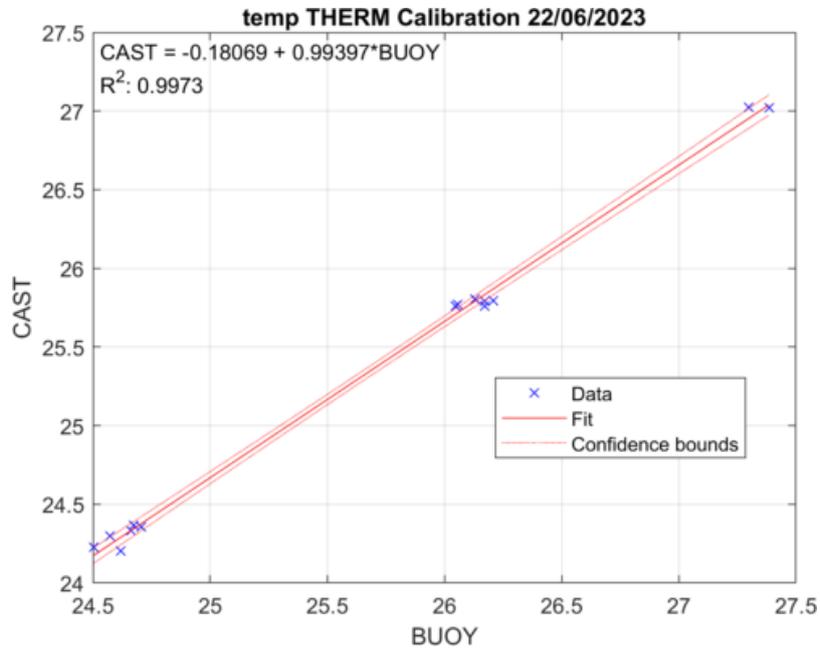


Figura 18: Calibración de los datos de temperatura de los Termistores de la boya SMLG - 25/05/2023 a hoy.

### Temperatura del sensor de oxígeno (Aanderaa) – 14/10/2022 a 07/05/2023

Fecha de la última calibración, el 27/04/2023

resultando en la fórmula:

$$CAST = -0.09689 + 0.99902 * BUOY. R^2: 0.9987$$

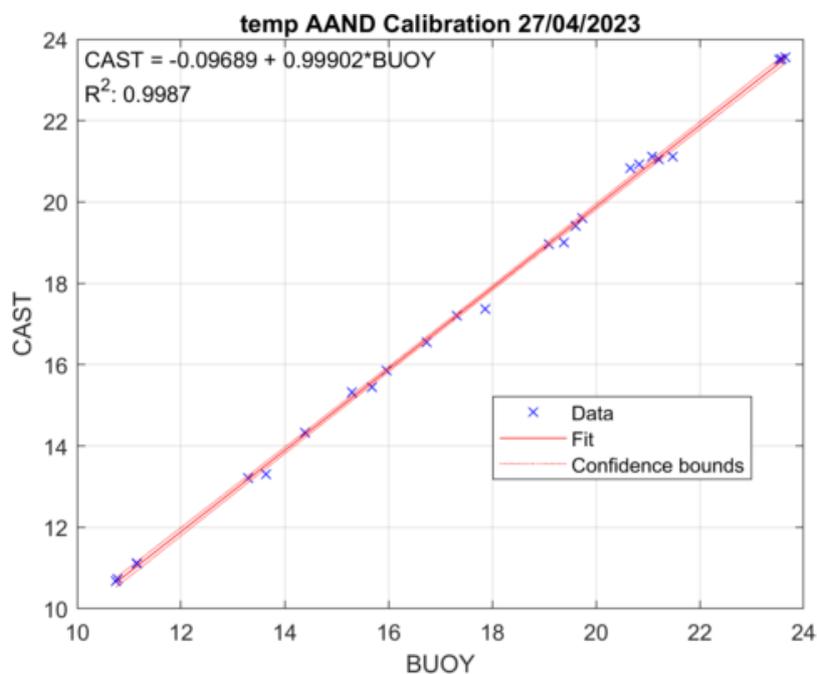


Figura 19: Calibración de los datos de temperatura de los sensores de oxígeno Aanderaa de la boya SMLG - 14/10/2023 a 07/05/2023.

### Temperatura del sensor de oxígeno (Aanderaa) – 25/05/2023 a hoy

Fecha de la última calibración, el 22/06/2023

resultando en la fórmula:

$$CAST = 0.51648 + 0.9757 * BUOY. R^2: 0.9971$$

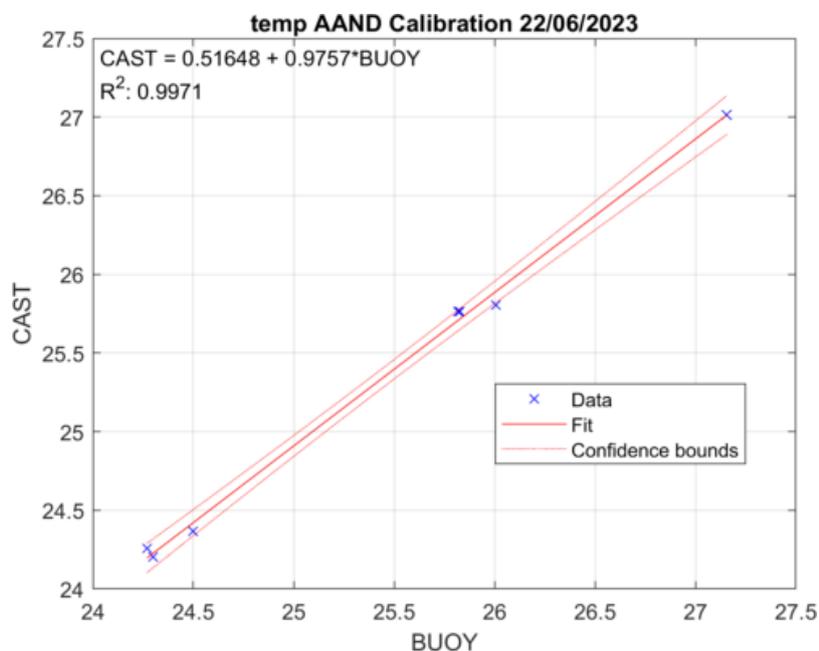


Figura 20: Calibración de los datos de temperatura de los sensores de oxígeno Aanderaa de la boya SMLG - 25/05/2023 a hoy.

### Temperatura del sensor de Conductividad (EC-1550) – 14/10/2022 a 07/05/2023

Fecha de la última calibración, el 27/04/2023

resultando en la fórmula:

$$CAST = 0.11296 + 0.99541 * BUOY. R^2: 0.9989$$

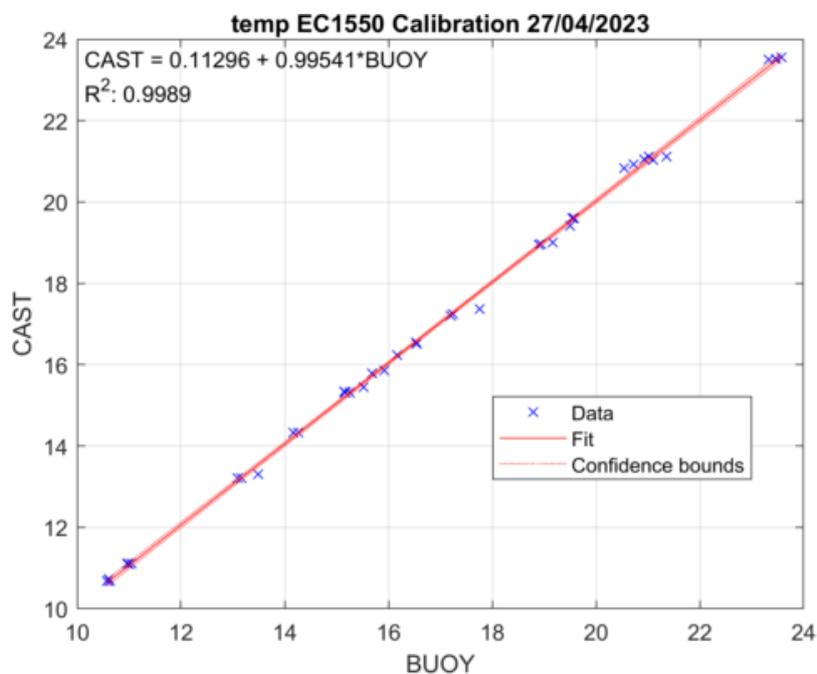


Figura 21: Calibración de la temperatura del sensor de conductividad (EC-1550) de la boya SMLG - 14/10/2023 a 07/05/2023.

### Temperatura del sensor de Conductividad (EC-1550) – 25/05/2023 a hoy

Fecha de la última calibración, el 22/06/2023

resultando en la fórmula:

$$CAST = 0.64392 + 0.97805 * BUOY. R^2: 0.9951$$

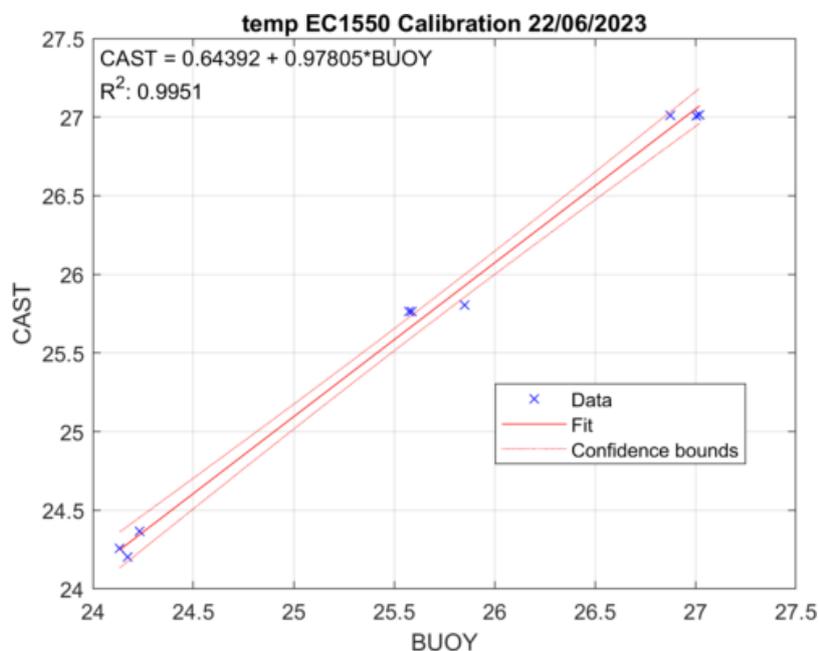


Figura 22: Calibración de la temperatura del sensor de conductividad (EC-1550) de la boya SMLG - 25/05/2023 a hoy.

### Calibraciones de Clorofila *a*

Convertimos la fluorescencia del CTD in situ (CAST) a Clorofila *a* con las muestras (SAMPLES) in situ en cada punto de muestreo DMMEM.

Fecha de la última calibración, el 22/06/2023

resultando en la fórmula:

$$SAMPLES (mg m^{-3}) = -0.094247 + 0.97697 * CAST (ppb). R^2: 0.8329$$

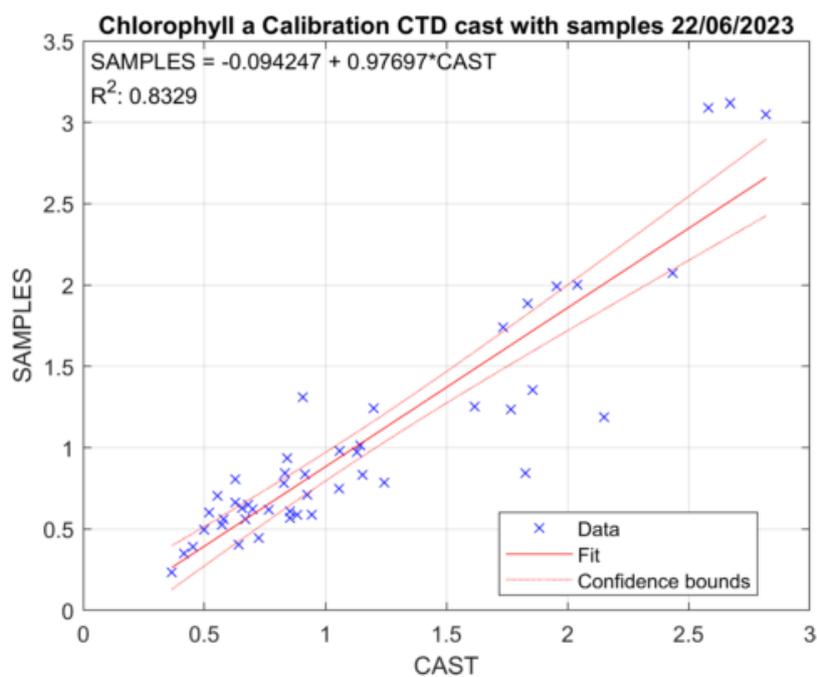


Figura 23: Calibración de la fluorescencia del CTD a Clorofila *a* con las muestras *in situ* en cada punto de muestreo DMMEM.

Calibramos la fluorescencia de la boya SMARTLAGOON (BUOY) con la Clorofila *a* obtenido de la fluorescencia del CTD (CAST).

Fecha de la última calibración, el 22/06/2023

resultando en la fórmula:

$$CAST \text{ (mg m}^{-3}\text{)} = -0.033277 + 0.96625 \cdot BUOY \text{ (ppb)}. R^2: 0.8892$$

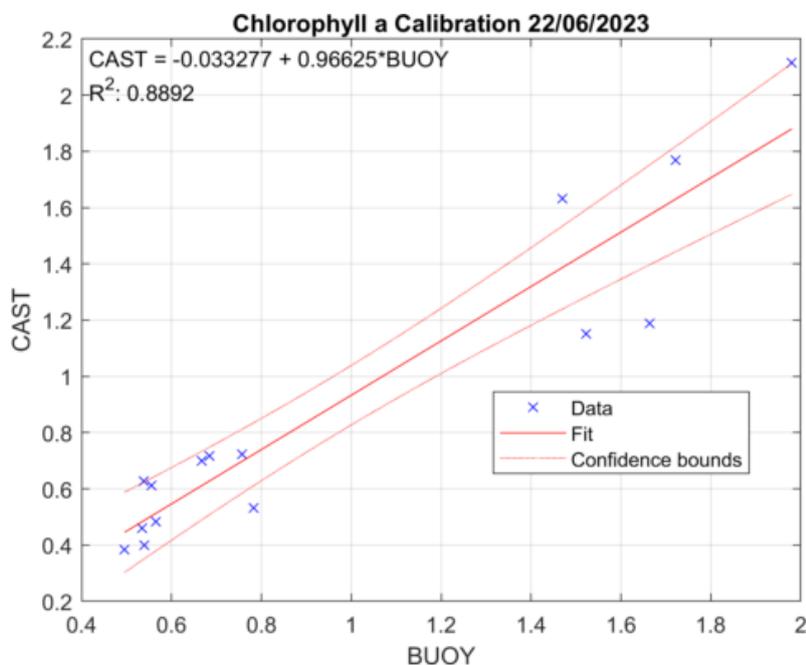


Figura 24: Calibración de la fluorescencia de la boya SMARTLAGOON con la Clorofila *a* obtenido de la fluorescencia del CTD.

### Clorofila *a* satelital

Usando datos de varios satélites, Buongiorno Nardelli et al. (2018) crearon un set de datos de clorofila *a* (Mediterranean Sea Ocean Colour Plankton MY L4 daily gapfree observations and climatology and monthly observations) desde el año 2016 hasta hoy. La Figura 26 muestra los datos de clorofila *a* con una resolución espacial de 300x300 dentro Mar Menor. Con estos datos, se puede calcular un valor promedio mensual de la concentración de clorofila *a* para toda la laguna del Mar Menor.

Los datos satelitales de clorofila *a* han sido calibrados (Figura 25) con los datos de clorofila *a* de los muestreos in situ del proyecto DMMEM en las ubicaciones A, B y C.

Última calibración realizada el 20/02/2023. Resultando en la fórmula:

$$SAMPLES = -0.65296 + 0.25056 * OC. R^2: 0.5620$$

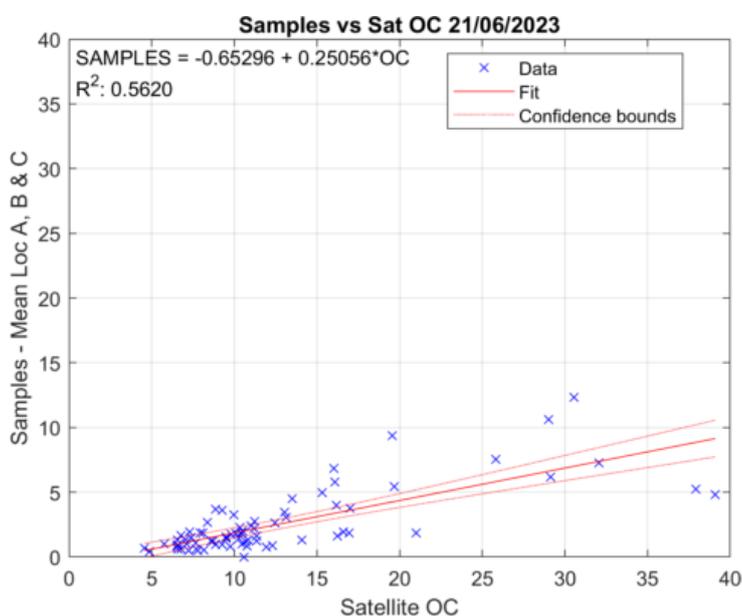


Figura 25: Calibración de la clorofila *a* satelital usando los datos de clorofila *a* de los muestreos del proyecto DMMEM.

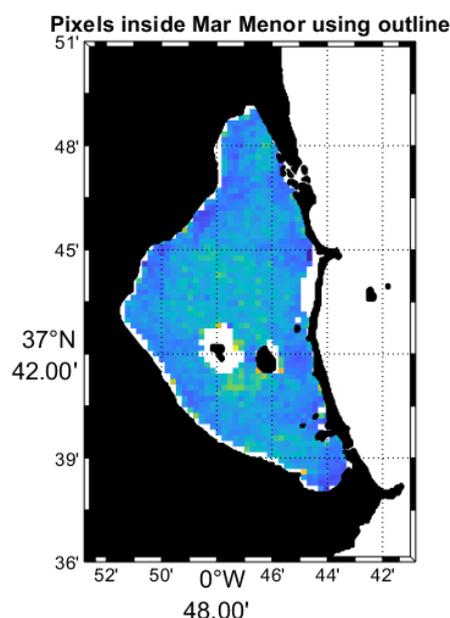


Figura 26: Mapa del Mar Menor con los datos satelitales de clorofila *a* de la Mediterranean Sea Ocean Colour Plankton MY L4 daily gapfree observations and climatology and monthly observations. Resolución espacial de 300x300.

## ANEXO II: Perfiles CTD

### Temperatura

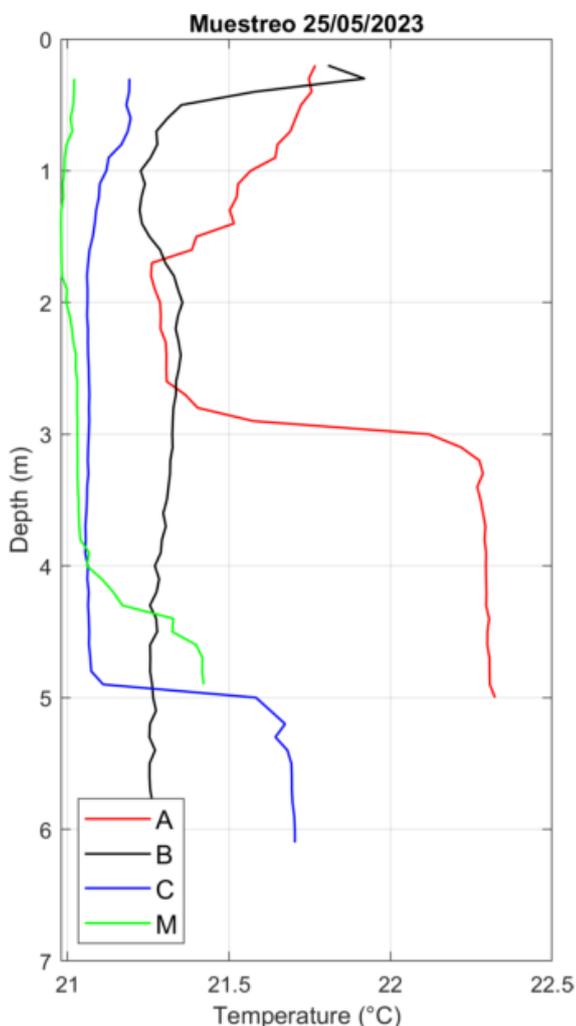


Figura 27: Perfiles de Temperatura obtenidos el día 25/05/2023 con el CTD.

Tabla 6: Datos de Temperatura de los perfiles CTD obtenidos el día 25/05/2023.

| Localización | Prof. (m) | Min (°C) | Max (°C) | Media (°C) | STD (°C) |
|--------------|-----------|----------|----------|------------|----------|
| A            | 0         | 21.74    | 21.80    | 21.77      | 0.03     |
|              | 2         | 21.24    | 21.30    | 21.27      | 0.02     |
|              | 4.5       | 22.30    | 22.31    | 22.30      | 0.01     |
| B            | 0         | 21.74    | 22.14    | 21.90      | 0.15     |
|              | 4         | 21.26    | 21.29    | 21.27      | 0.02     |
|              | 6         | 21.25    | 21.27    | 21.27      | 0.01     |
| C            | 0         | 21.19    | 21.19    | 21.19      | 0.00     |
|              | 4         | 21.06    | 21.07    | 21.07      | 0.00     |
|              | 6         | 21.70    | 21.70    | 21.70      | 0.00     |
| M            | 0         | 21.02    | 21.02    | 21.02      | 0.00     |
|              | 2         | 20.99    | 21.01    | 21.00      | 0.01     |
|              | 4         | 21.05    | 21.05    | 21.05      | 0.00     |

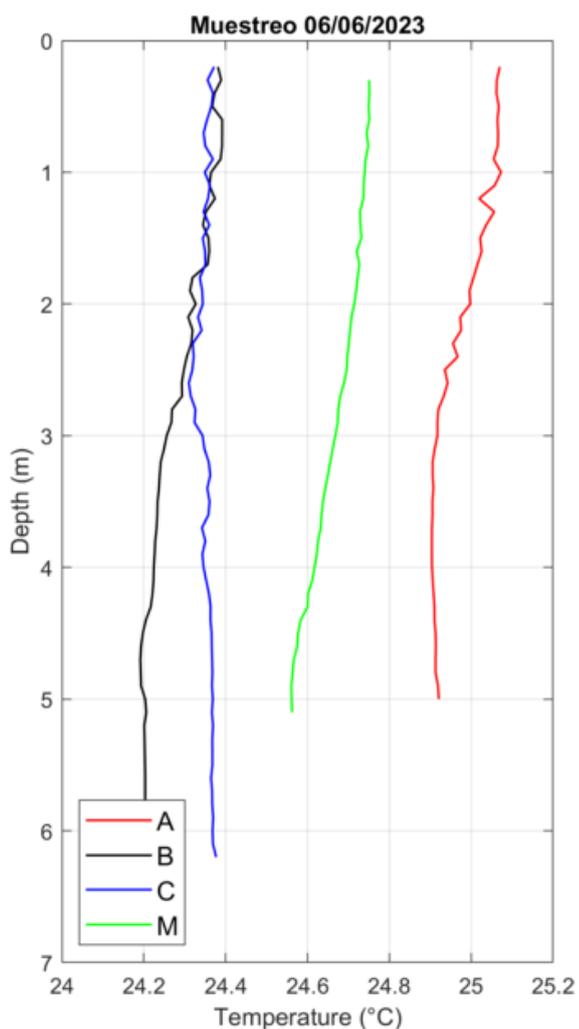


Figura 28: Perfiles de Temperatura obtenidos el día 06/06/2023 con el CTD.

Tabla 7: Datos de Temperatura de los perfiles CTD obtenidos el día 06/06/2023.

| Localización | Prof. (m) | Min (°C) | Max (°C) | Media (°C) | STD (°C) |
|--------------|-----------|----------|----------|------------|----------|
| A            | 0         | 25.07    | 25.07    | 25.07      | 0.00     |
|              | 2         | 24.98    | 25.00    | 25.00      | 0.01     |
|              | 4.5       | 24.91    | 24.91    | 24.91      | 0.00     |
| B            | 0         | 24.37    | 24.38    | 24.37      | 0.00     |
|              | 4         | 24.22    | 24.23    | 24.22      | 0.00     |
|              | 6         | 24.20    | 24.20    | 24.20      | 0.00     |
| C            | 0         | 24.37    | 24.37    | 24.37      | 0.00     |
|              | 4         | 24.34    | 24.35    | 24.35      | 0.00     |
|              | 6         | 24.37    | 24.37    | 24.37      | 0.00     |
| M            | 0         | 24.75    | 24.75    | 24.75      | 0.00     |
|              | 2         | 24.71    | 24.72    | 24.72      | 0.00     |
|              | 4         | 24.61    | 24.63    | 24.62      | 0.01     |

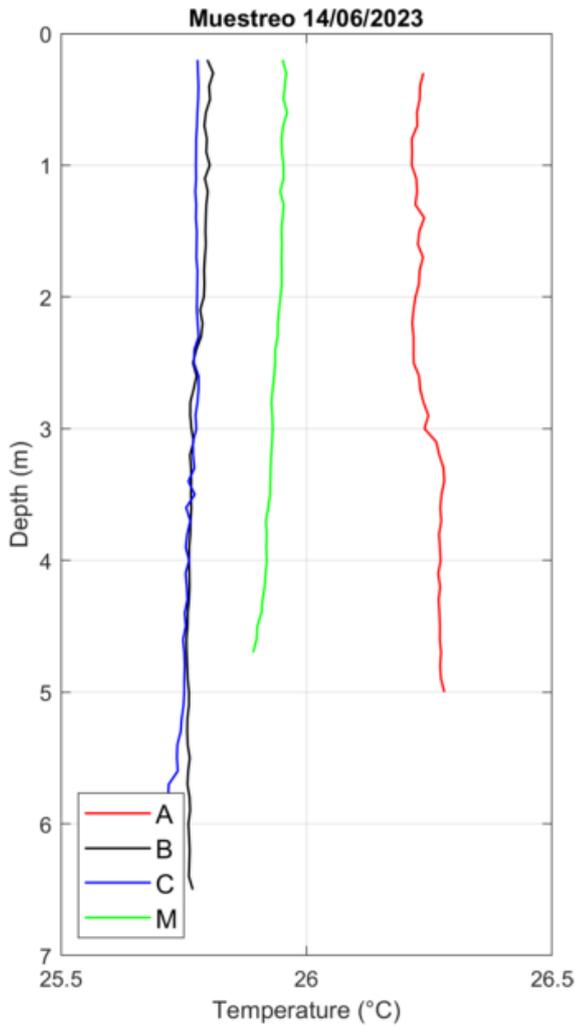


Figura 29: Perfiles de Temperatura obtenidos el día 14/06/2023 con el CTD.

Tabla 8: Datos de Temperatura de los perfiles CTD obtenidos el día 14/06/2023.

| Localización | Prof. (m) | Min (°C) | Max (°C) | Media (°C) | STD (°C) |
|--------------|-----------|----------|----------|------------|----------|
| A            | 0         | 26.24    | 26.24    | 26.24      | 0.00     |
|              | 2         | 26.21    | 26.23    | 26.22      | 0.00     |
|              | 4.5       | 26.27    | 26.27    | 26.27      | 0.00     |
| B            | 0         | 25.79    | 25.80    | 25.80      | 0.00     |
|              | 4         | 25.76    | 25.76    | 25.76      | 0.00     |
|              | 6         | 25.76    | 25.76    | 25.76      | 0.00     |
| C            | 0         | 25.78    | 25.78    | 25.78      | 0.00     |
|              | 4         | 25.76    | 25.76    | 25.76      | 0.00     |
|              | 6         | 25.71    | 25.71    | 25.71      | 0.00     |
| M            | 0         | 25.95    | 25.95    | 25.95      | 0.00     |
|              | 2         | 25.94    | 25.95    | 25.95      | 0.00     |
|              | 4         | 25.92    | 25.92    | 25.92      | 0.00     |

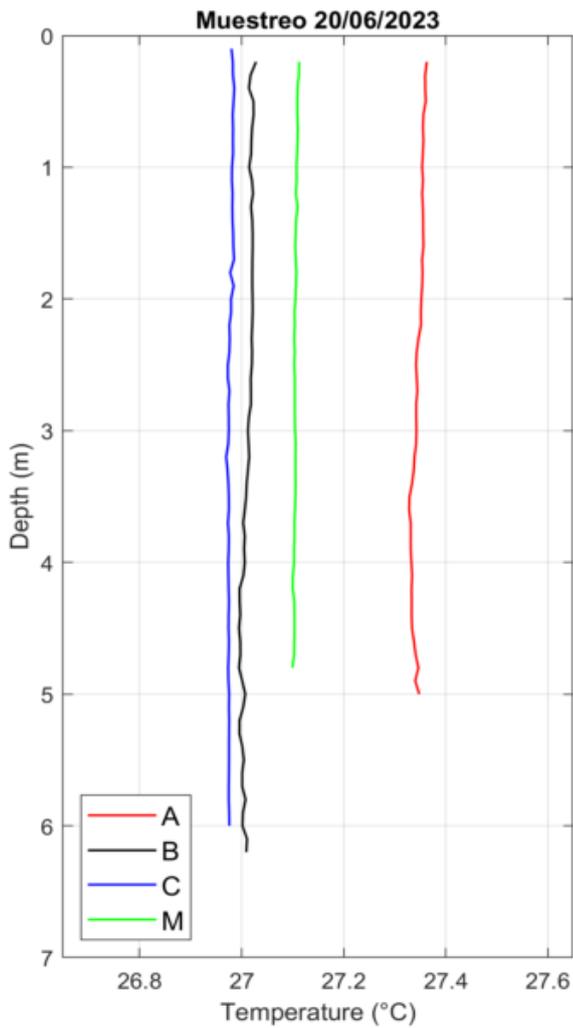


Figura 30: Perfiles de Temperatura obtenidos el día 20/06/2023 con el CTD.

Tabla 9: Datos de Temperatura de los perfiles CTD obtenidos el día 20/06/2023.

| Localización | Prof. (m) | Min (°C) | Max (°C) | Media (°C) | STD (°C) |
|--------------|-----------|----------|----------|------------|----------|
| A            | 0         | 27.35    | 27.36    | 27.36      | 0.00     |
|              | 2         | 27.35    | 27.35    | 27.35      | 0.00     |
|              | 4.5       | 27.33    | 27.34    | 27.33      | 0.00     |
| B            | 0         | 27.03    | 27.03    | 27.03      | 0.00     |
|              | 4         | 27.00    | 27.01    | 27.01      | 0.00     |
|              | 6         | 27.00    | 27.01    | 27.01      | 0.00     |
| C            | 0         | 26.98    | 26.98    | 26.98      | 0.00     |
|              | 4         | 26.97    | 26.98    | 26.97      | 0.00     |
|              | 6         | 26.98    | 26.98    | 26.98      | 0.00     |
| M            | 0         | 27.11    | 27.11    | 27.11      | 0.00     |
|              | 2         | 27.10    | 27.11    | 27.11      | 0.00     |
|              | 4         | 27.10    | 27.10    | 27.10      | 0.00     |

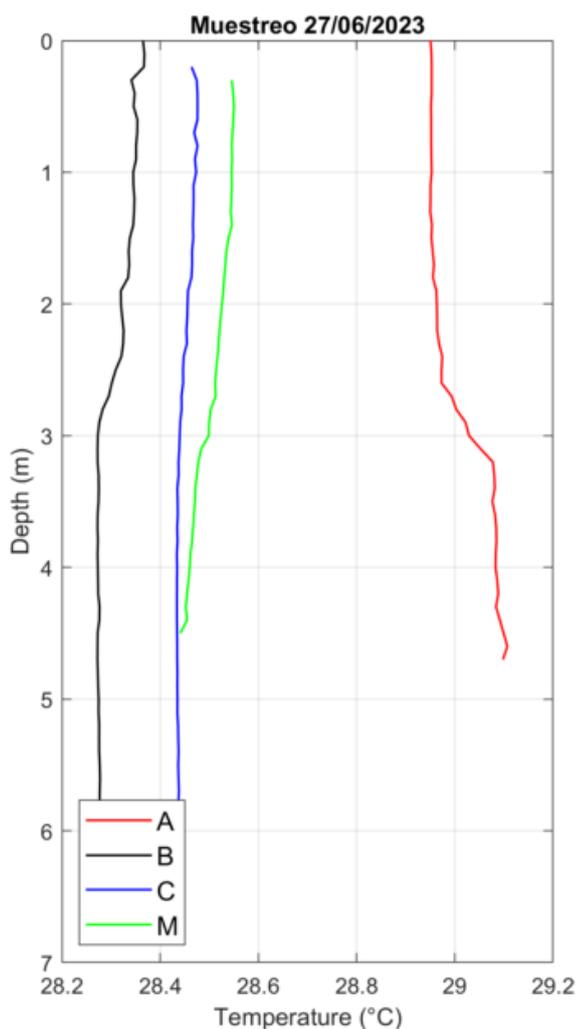


Figura 31: Perfiles de Temperatura obtenidos el día 27/06/2023 con el CTD.

Tabla 10: Datos de Temperatura de los perfiles CTD obtenidos el día 27/06/2023.

| Localización | Prof. (m) | Min (°C) | Max (°C) | Media (°C) | STD (°C) |
|--------------|-----------|----------|----------|------------|----------|
| A            | 0         | 28.94    | 28.96    | 28.95      | 0.01     |
|              | 2         | 28.96    | 28.96    | 28.96      | 0.00     |
|              | 4.5       | 29.09    | 29.11    | 29.10      | 0.01     |
| B            | 0         | 28.33    | 28.37    | 28.35      | 0.01     |
|              | 4         | 28.27    | 28.28    | 28.27      | 0.00     |
|              | 6         | 28.27    | 28.29    | 28.28      | 0.01     |
| C            | 0         | 28.46    | 28.47    | 28.46      | 0.00     |
|              | 4         | 28.43    | 28.43    | 28.43      | 0.00     |
|              | 6         | -        | -        | -          | -        |
| M            | 0         | 28.54    | 28.55    | 28.55      | 0.00     |
|              | 2         | 28.52    | 28.53    | 28.53      | 0.00     |
|              | 4         | 28.45    | 28.47    | 28.46      | 0.01     |

## Salinidad

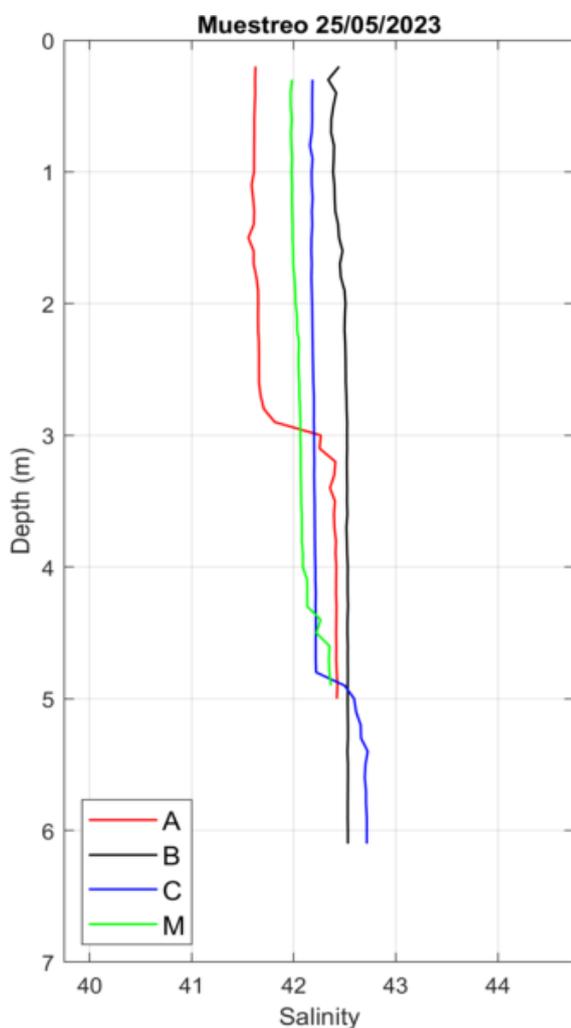


Figura 32: Perfiles de Salinidad obtenidos el día 25/05/2023 con el CTD.

Tabla 11: Datos de Salinidad de los perfiles CTD obtenidos el día 25/05/2023.

| Localización | Prof. (m) | Min (-) | Max (-) | Media (-) | STD (-) |
|--------------|-----------|---------|---------|-----------|---------|
| A            | 0         | 41.60   | 41.64   | 41.62     | 0.01    |
|              | 2         | 41.64   | 41.67   | 41.65     | 0.01    |
|              | 4.5       | 42.41   | 42.42   | 42.42     | 0.00    |
| B            | 0         | 42.30   | 42.49   | 42.41     | 0.06    |
|              | 4         | 42.52   | 42.54   | 42.53     | 0.01    |
|              | 6         | 42.53   | 42.53   | 42.53     | 0.00    |
| C            | 0         | 42.18   | 42.18   | 42.18     | 0.00    |
|              | 4         | 42.21   | 42.22   | 42.21     | 0.00    |
|              | 6         | 42.71   | 42.72   | 42.72     | 0.00    |
| M            | 0         | 41.97   | 41.99   | 41.99     | 0.01    |
|              | 2         | 42.01   | 42.03   | 42.02     | 0.01    |
|              | 4         | 42.08   | 42.10   | 42.09     | 0.00    |

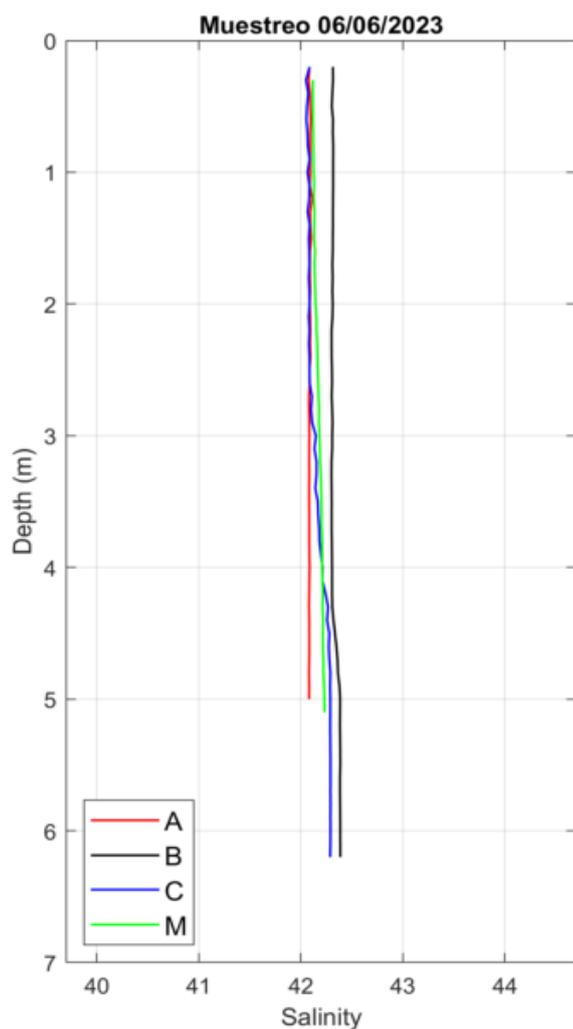


Figura 33: Perfiles de Salinidad obtenidos el día 06/06/2023 con el CTD.

Tabla 12: Datos de Salinidad de los perfiles CTD obtenidos el día 06/06/2023.

| Localización | Prof. (m) | Min (-) | Max (-) | Media (-) | STD (-) |
|--------------|-----------|---------|---------|-----------|---------|
| A            | 0         | 42.08   | 42.09   | 42.09     | 0.00    |
|              | 2         | 42.07   | 42.10   | 42.08     | 0.01    |
|              | 4.5       | 42.08   | 42.09   | 42.08     | 0.00    |
| B            | 0         | 42.31   | 42.31   | 42.31     | 0.00    |
|              | 4         | 42.30   | 42.31   | 42.31     | 0.00    |
|              | 6         | 42.38   | 42.39   | 42.39     | 0.00    |
| C            | 0         | 42.09   | 42.09   | 42.09     | 0.00    |
|              | 4         | 42.19   | 42.23   | 42.21     | 0.01    |
|              | 6         | 42.29   | 42.29   | 42.29     | 0.00    |
| M            | 0         | 42.12   | 42.12   | 42.12     | 0.00    |
|              | 2         | 42.14   | 42.15   | 42.14     | 0.00    |
|              | 4         | 42.20   | 42.21   | 42.21     | 0.00    |

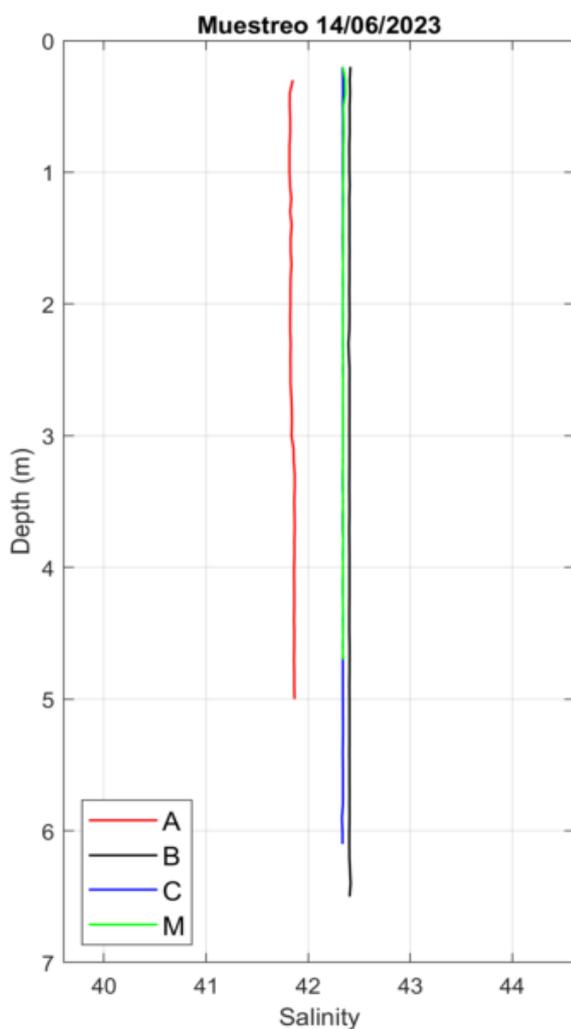


Figura 34: Perfiles de Salinidad obtenidos el día 14/06/2023 con el CTD.

Tabla 13: Datos de Salinidad de los perfiles CTD obtenidos el día 14/06/2023.

| Localización | Prof. (m) | Min (-) | Max (-) | Media (-) | STD (-) |
|--------------|-----------|---------|---------|-----------|---------|
| A            | 0         | 41.83   | 41.92   | 41.84     | 0.03    |
|              | 2         | 41.82   | 41.84   | 41.83     | 0.01    |
|              | 4.5       | 41.86   | 41.87   | 41.86     | 0.00    |
| B            | 0         | 42.41   | 42.42   | 42.41     | 0.00    |
|              | 4         | 42.40   | 42.41   | 42.40     | 0.00    |
|              | 6         | 42.40   | 42.40   | 42.40     | 0.00    |
| C            | 0         | 42.34   | 42.34   | 42.34     | 0.00    |
|              | 4         | 42.34   | 42.34   | 42.34     | 0.00    |
|              | 6         | 42.33   | 42.34   | 42.34     | 0.01    |
| M            | 0         | 42.33   | 42.34   | 42.34     | 0.00    |
|              | 2         | 42.34   | 42.34   | 42.34     | 0.00    |
|              | 4         | 42.34   | 42.34   | 42.34     | 0.00    |

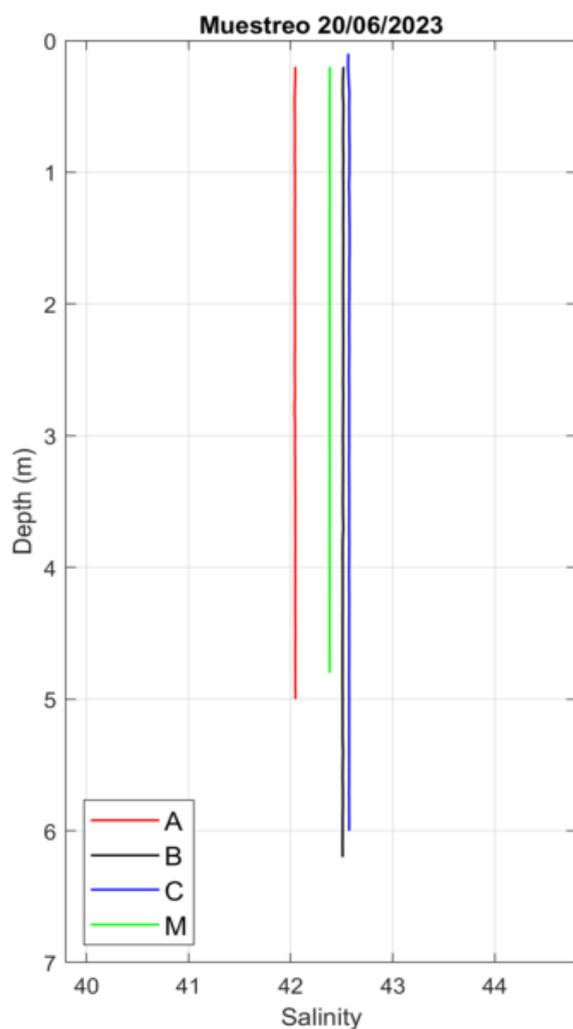


Figura 35: Perfiles de Salinidad obtenidos el día 20/06/2023 con el CTD.

Tabla 14: Datos de Salinidad de los perfiles CTD obtenidos el día 20/06/2023.

| Localización | Prof. (m) | Min (-) | Max (-) | Media (-) | STD (-) |
|--------------|-----------|---------|---------|-----------|---------|
| A            | 0         | 42.04   | 42.05   | 42.05     | 0.00    |
|              | 2         | 42.04   | 42.04   | 42.04     | 0.00    |
|              | 4.5       | 42.05   | 42.05   | 42.05     | 0.00    |
| B            | 0         | 42.52   | 42.52   | 42.52     | 0.00    |
|              | 4         | 42.51   | 42.51   | 42.51     | 0.00    |
|              | 6         | 42.51   | 42.51   | 42.51     | 0.00    |
| C            | 0         | 42.56   | 42.57   | 42.57     | 0.00    |
|              | 4         | 42.57   | 42.57   | 42.57     | 0.00    |
|              | 6         | 42.57   | 42.58   | 42.57     | 0.00    |
| M            | 0         | 42.38   | 42.39   | 42.39     | 0.00    |
|              | 2         | 42.38   | 42.38   | 42.38     | 0.00    |
|              | 4         | 42.38   | 42.38   | 42.38     | 0.00    |

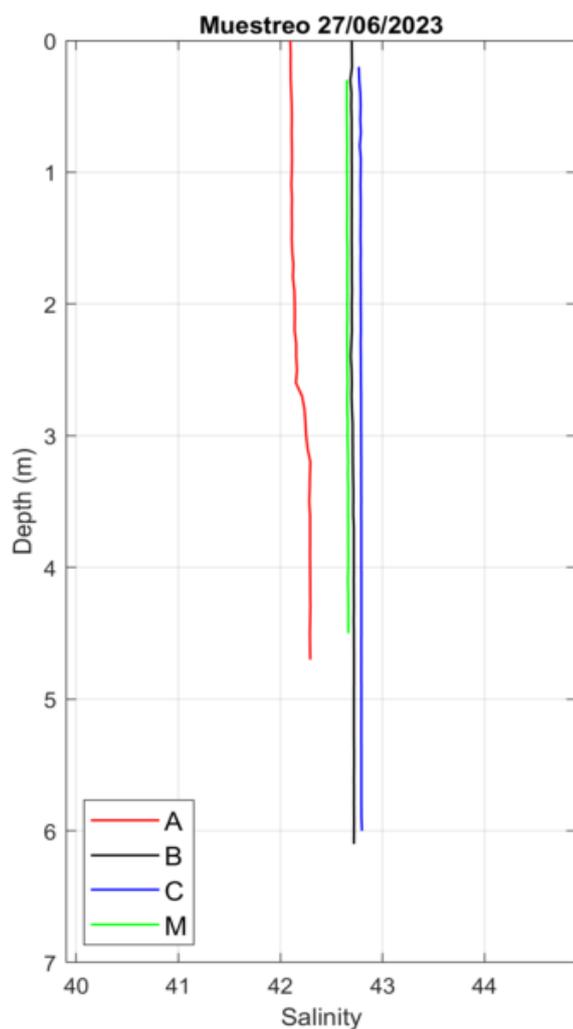


Figura 36: Perfiles de Salinidad obtenidos el día 27/06/2023 con el CTD.

Tabla 15: Datos de Salinidad de los perfiles CTD obtenidos el día 27/06/2023.

| Localización | Prof. (m) | Min (-) | Max (-) | Media (-) | STD (-) |
|--------------|-----------|---------|---------|-----------|---------|
| A            | 0         | 42.09   | 42.10   | 42.10     | 0.00    |
|              | 2         | 42.14   | 42.14   | 42.14     | 0.00    |
|              | 4.5       | 42.29   | 42.29   | 42.29     | 0.00    |
| B            | 0         | 42.67   | 42.70   | 42.69     | 0.01    |
|              | 4         | 42.72   | 42.72   | 42.72     | 0.00    |
|              | 6         | 42.72   | 42.73   | 42.72     | 0.00    |
| C            | 0         | 42.76   | 42.78   | 42.77     | 0.01    |
|              | 4         | 42.79   | 42.80   | 42.79     | 0.00    |
|              | 6         | -       | -       | -         | -       |
| M            | 0         | 42.65   | 42.65   | 42.65     | 0.00    |
|              | 2         | 42.65   | 42.66   | 42.66     | 0.00    |
|              | 4         | 42.66   | 42.67   | 42.66     | 0.00    |

## Clorofila *a*

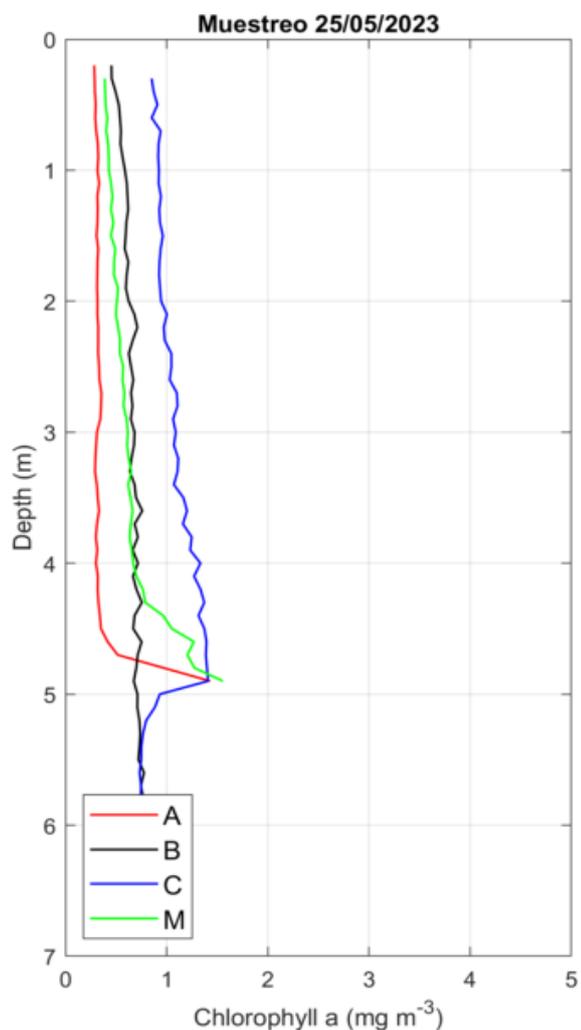


Figura 37: Perfiles de clorofila *a* obtenidos el día 25/05/2023 con el CTD (Fluorescencia calibrado con muestras).

Tabla 16: Datos de clorofila *a* de los perfiles CTD obtenidos el día 25/05/2023.

| Localización | Prof. (m) | Min (mg/m <sup>3</sup> ) | Max (mg/m <sup>3</sup> ) | Media (mg/m <sup>3</sup> ) | STD (mg/m <sup>3</sup> ) |
|--------------|-----------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|
| A            | 0         | 0.27                     | 0.32                     | 0.29                       | 0.01                     |
|              | 2         | 0.29                     | 0.35                     | 0.32                       | 0.02                     |
|              | 4.5       | 0.33                     | 0.38                     | 0.35                       | 0.01                     |
| B            | 0         | 0.43                     | 0.46                     | 0.45                       | 0.01                     |
|              | 4         | 0.64                     | 0.80                     | 0.72                       | 0.06                     |
|              | 6         | 0.78                     | 0.96                     | 0.87                       | 0.05                     |
| C            | 0         | 0.87                     | 0.99                     | 0.92                       | 0.04                     |
|              | 4         | 1.27                     | 1.45                     | 1.35                       | 0.06                     |
|              | 6         | 0.69                     | 0.96                     | 0.81                       | 0.10                     |
| M            | 0         | 0.37                     | 0.41                     | 0.39                       | 0.01                     |
|              | 2         | 0.46                     | 0.52                     | 0.50                       | 0.02                     |
|              | 4         | 0.63                     | 0.77                     | 0.69                       | 0.04                     |

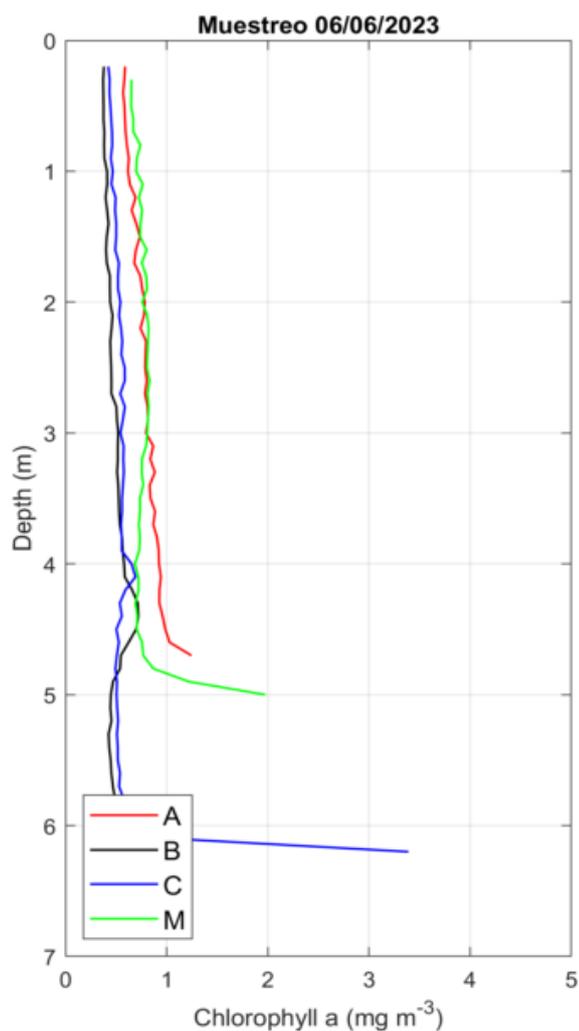


Figura 38: Perfiles de clorofila *a* obtenidos el día 06/06/2023 con el CTD (Fluorescencia calibrado con muestras).

Tabla 17: Datos de clorofila *a* de los perfiles CTD obtenidos el día 06/06/2023.

| Localización | Prof. (m) | Min (mg/m <sup>3</sup> ) | Max (mg/m <sup>3</sup> ) | Media (mg/m <sup>3</sup> ) | STD (mg/m <sup>3</sup> ) |
|--------------|-----------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|
| A            | 0         | 0.56                     | 0.65                     | 0.59                       | 0.03                     |
|              | 2         | 0.75                     | 0.83                     | 0.79                       | 0.03                     |
|              | 4.5       | 0.91                     | 1.02                     | 0.97                       | 0.03                     |
| B            | 0         | 0.38                     | 0.40                     | 0.39                       | 0.01                     |
|              | 4         | 0.55                     | 0.65                     | 0.58                       | 0.03                     |
|              | 6         | 0.52                     | 0.57                     | 0.56                       | 0.01                     |
| C            | 0         | 0.41                     | 0.43                     | 0.42                       | 0.01                     |
|              | 4         | 0.53                     | 0.88                     | 0.74                       | 0.12                     |
|              | 6         | 0.57                     | 0.78                     | 0.67                       | 0.07                     |
| M            | 0         | 0.61                     | 0.67                     | 0.63                       | 0.02                     |
|              | 2         | 0.73                     | 0.87                     | 0.80                       | 0.04                     |
|              | 4         | 0.67                     | 0.73                     | 0.69                       | 0.02                     |

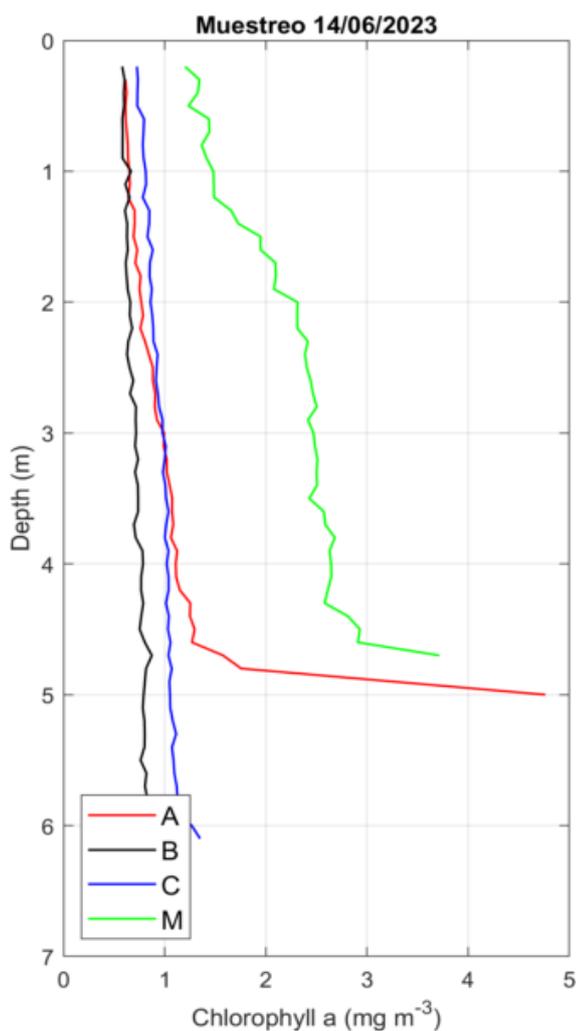


Figura 39: Perfiles de clorofila *a* obtenidos el día 14/06/2023 con el CTD (Fluorescencia calibrado con muestras).

Tabla 18: Datos de clorofila *a* de los perfiles CTD obtenidos el día 14/06/2023.

| Localización | Prof. (m) | Min (mg/m <sup>3</sup> ) | Max (mg/m <sup>3</sup> ) | Media (mg/m <sup>3</sup> ) | STD (mg/m <sup>3</sup> ) |
|--------------|-----------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|
| A            | 0         | 0.60                     | 0.64                     | 0.62                       | 0.01                     |
|              | 2         | 0.69                     | 0.82                     | 0.76                       | 0.04                     |
|              | 4.5       | 1.23                     | 1.39                     | 1.32                       | 0.06                     |
| B            | 0         | 0.55                     | 0.61                     | 0.58                       | 0.02                     |
|              | 4         | 0.76                     | 0.87                     | 0.81                       | 0.04                     |
|              | 6         | 0.78                     | 0.99                     | 0.90                       | 0.09                     |
| C            | 0         | 0.68                     | 0.74                     | 0.71                       | 0.02                     |
|              | 4         | 0.98                     | 1.07                     | 1.02                       | 0.03                     |
|              | 6         | 1.19                     | 1.20                     | 1.20                       | 0.01                     |
| M            | 0         | 1.14                     | 1.24                     | 1.20                       | 0.03                     |
|              | 2         | 2.19                     | 2.42                     | 2.30                       | 0.07                     |
|              | 4         | 2.48                     | 2.69                     | 2.61                       | 0.07                     |

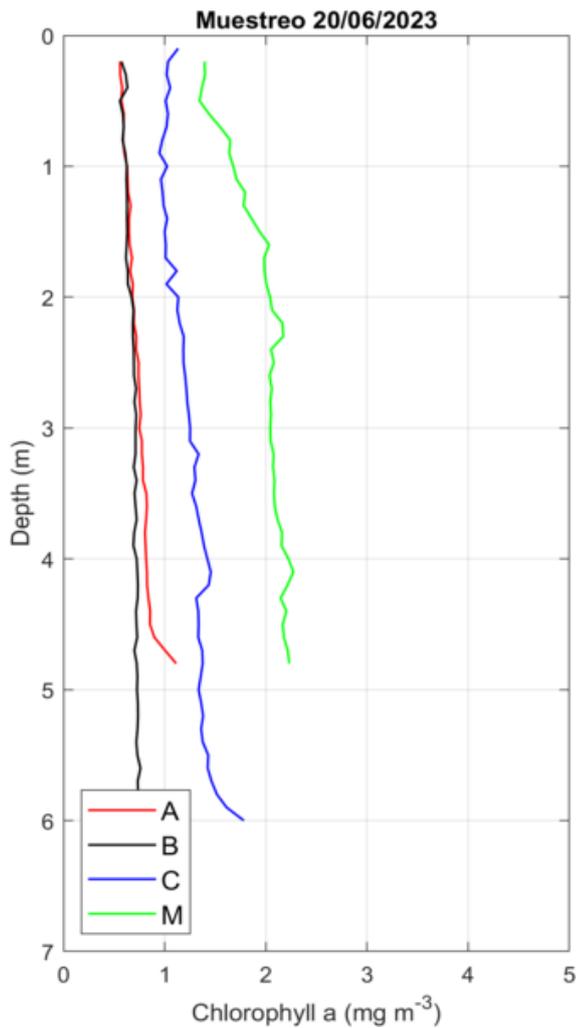


Figura 40: Perfiles de clorofila *a* obtenidos el día 20/06/2023 con el CTD (Fluorescencia calibrado con muestras).

Tabla 19: Datos de clorofila *a* de los perfiles CTD obtenidos el día 20/06/2023.

| Localización | Prof. (m) | Min (mg/m <sup>3</sup> ) | Max (mg/m <sup>3</sup> ) | Media (mg/m <sup>3</sup> ) | STD (mg/m <sup>3</sup> ) |
|--------------|-----------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|
| A            | 0         | 0.54                     | 0.58                     | 0.56                       | 0.01                     |
|              | 2         | 0.65                     | 0.70                     | 0.68                       | 0.02                     |
|              | 4.5       | 0.80                     | 0.92                     | 0.86                       | 0.04                     |
| B            | 0         | 0.54                     | 0.73                     | 0.61                       | 0.08                     |
|              | 4         | 0.70                     | 0.75                     | 0.72                       | 0.02                     |
|              | 6         | 0.82                     | 0.88                     | 0.85                       | 0.02                     |
| C            | 0         | 1.08                     | 1.17                     | 1.12                       | 0.03                     |
|              | 4         | 1.30                     | 1.93                     | 1.39                       | 0.19                     |
|              | 6         | 1.69                     | 2.07                     | 1.86                       | 0.12                     |
| M            | 0         | 1.34                     | 1.48                     | 1.39                       | 0.04                     |
|              | 2         | 1.80                     | 2.22                     | 2.04                       | 0.11                     |
|              | 4         | 2.08                     | 2.35                     | 2.22                       | 0.09                     |

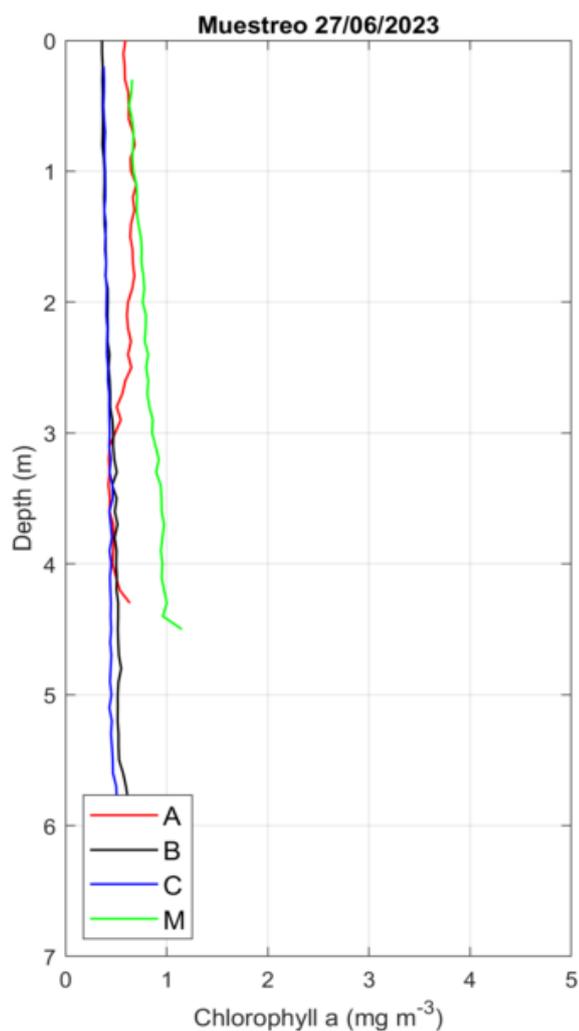


Figura 41: Perfiles de clorofila *a* obtenidos el día 27/06/2023 con el CTD (Fluorescencia calibrado con muestras).

Tabla 20: Datos de clorofila *a* de los perfiles CTD obtenidos el día 27/06/2023.

| Localización | Prof. (m) | Min (mg/m <sup>3</sup> ) | Max (mg/m <sup>3</sup> ) | Media (mg/m <sup>3</sup> ) | STD (mg/m <sup>3</sup> ) |
|--------------|-----------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|
| A            | 0         | 0.59                     | 0.61                     | 0.60                       | 0.01                     |
|              | 2         | 0.57                     | 0.68                     | 0.64                       | 0.06                     |
|              | 4.5       | -                        | -                        | -                          | -                        |
| B            | 0         | 0.35                     | 0.38                     | 0.36                       | 0.01                     |
|              | 4         | 0.49                     | 0.52                     | 0.50                       | 0.01                     |
|              | 6         | 0.72                     | 0.79                     | 0.75                       | 0.02                     |
| C            | 0         | 0.36                     | 0.38                     | 0.37                       | 0.01                     |
|              | 4         | 0.42                     | 0.46                     | 0.44                       | 0.01                     |
|              | 6         | -                        | -                        | -                          | -                        |
| M            | 0         | 0.61                     | 0.68                     | 0.65                       | 0.03                     |
|              | 2         | 0.74                     | 0.82                     | 0.77                       | 0.03                     |
|              | 4         | 0.92                     | 1.01                     | 0.96                       | 0.03                     |

## Turbidez

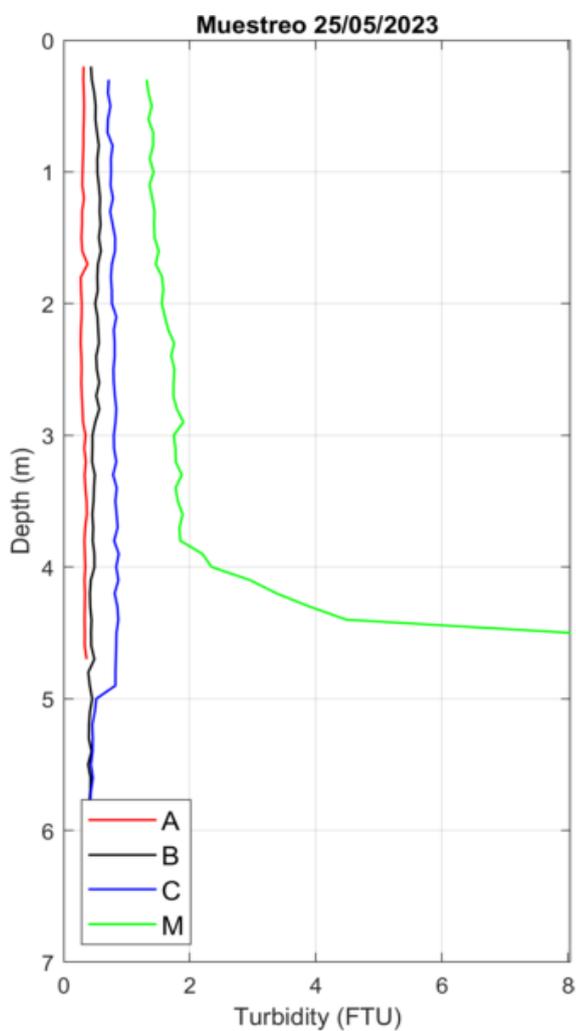


Figura 42: Perfiles de Turbidez obtenidos el día 25/05/2023 con el CTD.

Tabla 21: Datos de Turbidez de los perfiles CTD obtenidos el día 25/05/2023.

| Localización | Prof. (m) | Min (FTU) | Max (FTU) | Media (FTU) | STD (FTU) |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------|
| A            | 0         | 0.29      | 0.34      | 0.31        | 0.02      |
|              | 2         | 0.25      | 0.29      | 0.28        | 0.01      |
|              | 4.5       | 0.31      | 0.36      | 0.33        | 0.02      |
| B            | 0         | 0.38      | 0.45      | 0.43        | 0.02      |
|              | 4         | 0.36      | 0.57      | 0.48        | 0.07      |
|              | 6         | 0.38      | 0.54      | 0.46        | 0.05      |
| C            | 0         | 0.67      | 0.81      | 0.74        | 0.04      |
|              | 4         | 0.76      | 0.83      | 0.79        | 0.02      |
|              | 6         | 0.47      | 0.55      | 0.51        | 0.03      |
| M            | 0         | 1.18      | 1.51      | 1.33        | 0.11      |
|              | 2         | 1.51      | 1.73      | 1.60        | 0.06      |
|              | 4         | 2.29      | 2.61      | 2.40        | 0.09      |

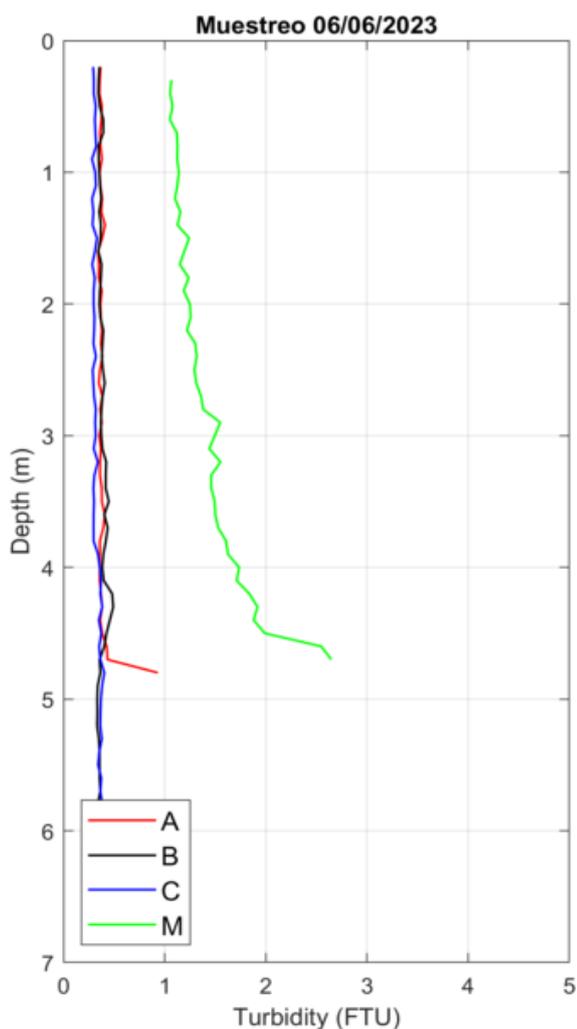


Figura 43: Perfiles de Turbidez obtenidos el día 06/06/2023 con el CTD.

Tabla 22: Datos de Turbidez de los perfiles CTD obtenidos el día 06/06/2023.

| Localización | Prof. (m) | Min (FTU) | Max (FTU) | Media (FTU) | STD (FTU) |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------|
| A            | 0         | 0.34      | 0.39      | 0.37        | 0.02      |
|              | 2         | 0.35      | 0.44      | 0.38        | 0.03      |
|              | 4.5       | 0.35      | 0.42      | 0.38        | 0.02      |
| B            | 0         | 0.32      | 0.36      | 0.35        | 0.02      |
|              | 4         | 0.38      | 0.54      | 0.42        | 0.05      |
|              | 6         | 0.31      | 0.35      | 0.33        | 0.01      |
| C            | 0         | 0.26      | 0.32      | 0.29        | 0.02      |
|              | 4         | 0.31      | 0.45      | 0.38        | 0.04      |
|              | 6         | 0.39      | 0.70      | 0.48        | 0.11      |
| M            | 0         | 1.02      | 1.09      | 1.05        | 0.03      |
|              | 2         | 1.12      | 1.41      | 1.20        | 0.09      |
|              | 4         | 1.56      | 1.84      | 1.70        | 0.10      |

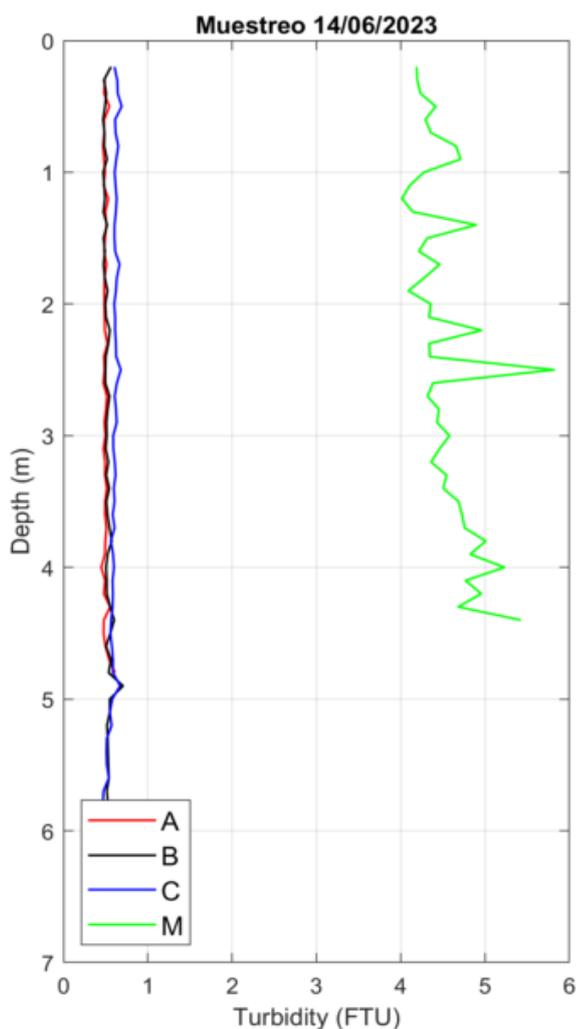


Figura 44: Perfiles de Turbidez obtenidos el día 14/06/2023 con el CTD.

Tabla 23: Datos de Turbidez de los perfiles CTD obtenidos el día 14/06/2023.

| Localización | Prof. (m) | Min (FTU) | Max (FTU) | Media (FTU) | STD (FTU) |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------|
| A            | 0         | 0.41      | 0.49      | 0.45        | 0.03      |
|              | 2         | 0.41      | 0.63      | 0.50        | 0.06      |
|              | 4.5       | 0.41      | 0.51      | 0.46        | 0.03      |
| B            | 0         | 0.41      | 0.77      | 0.51        | 0.11      |
|              | 4         | 0.44      | 0.55      | 0.49        | 0.04      |
|              | 6         | 0.49      | 0.61      | 0.55        | 0.04      |
| C            | 0         | 0.52      | 0.61      | 0.56        | 0.03      |
|              | 4         | 0.54      | 0.66      | 0.59        | 0.04      |
|              | 6         | 0.44      | 0.49      | 0.47        | 0.04      |
| M            | 0         | 3.75      | 4.61      | 4.04        | 0.29      |
|              | 2         | 3.82      | 4.80      | 4.30        | 0.42      |
|              | 4         | 4.74      | 5.34      | 5.09        | 0.26      |

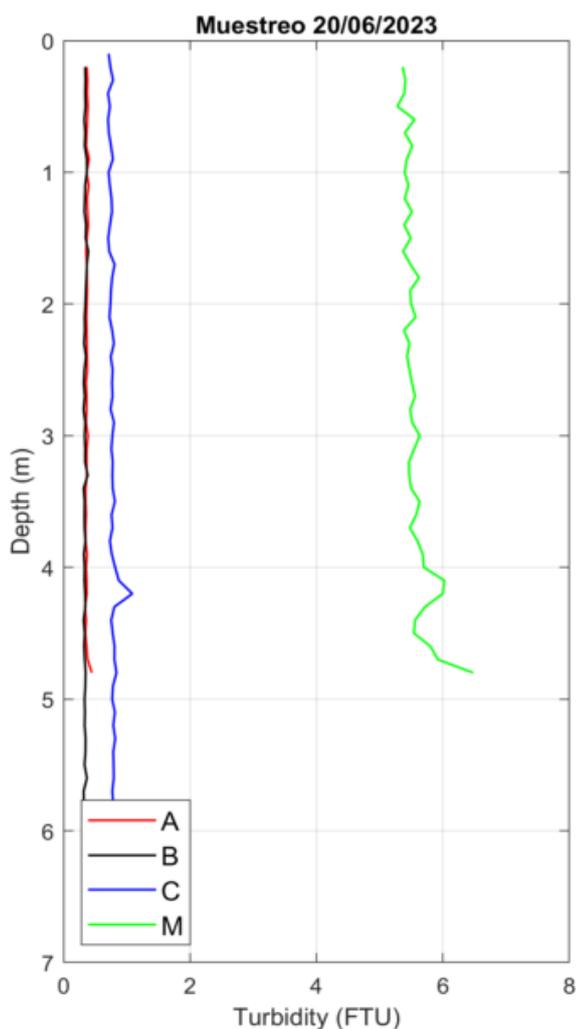


Figura 45: Perfiles de Turbidez obtenidos el día 20/06/2023 con el CTD.

Tabla 24: Datos de Turbidez de los perfiles CTD obtenidos el día 20/06/2023.

| Localización | Prof. (m) | Min (FTU) | Max (FTU) | Media (FTU) | STD (FTU) |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------|
| A            | 0         | 0.35      | 0.42      | 0.39        | 0.02      |
|              | 2         | 0.31      | 0.39      | 0.35        | 0.03      |
|              | 4.5       | 0.29      | 0.38      | 0.34        | 0.03      |
| B            | 0         | 0.29      | 0.36      | 0.33        | 0.02      |
|              | 4         | 0.29      | 0.38      | 0.32        | 0.03      |
|              | 6         | 0.29      | 0.39      | 0.33        | 0.03      |
| C            | 0         | 0.61      | 0.79      | 0.69        | 0.06      |
|              | 4         | 0.68      | 1.15      | 0.82        | 0.13      |
|              | 6         | 0.84      | 0.99      | 0.88        | 0.05      |
| M            | 0         | 5.18      | 5.66      | 5.36        | 0.15      |
|              | 2         | 5.08      | 5.92      | 5.47        | 0.36      |
|              | 4         | 5.34      | 6.30      | 5.78        | 0.28      |

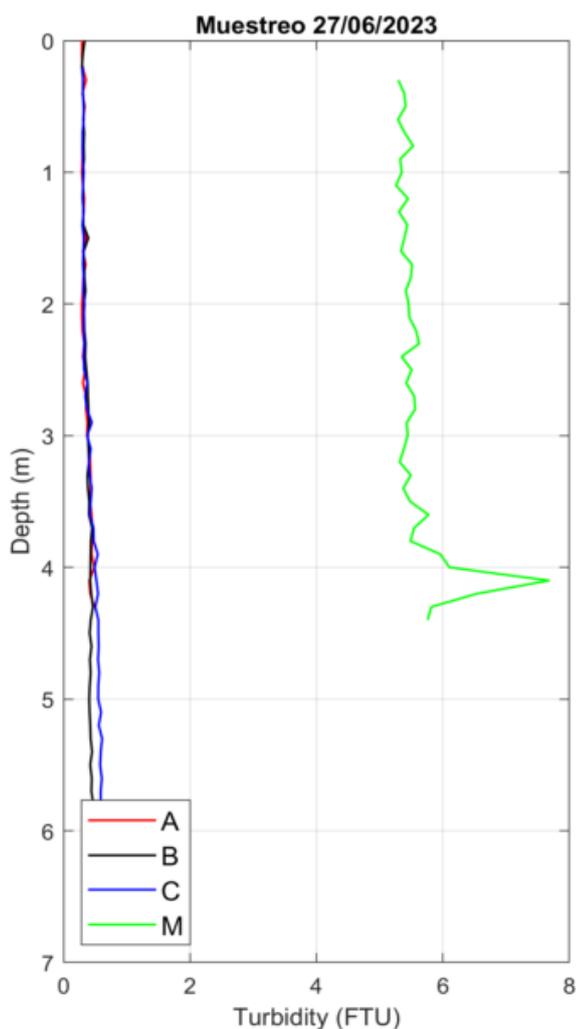


Figura 46: Perfiles de Turbidez obtenidos el día 27/06/2023 con el CTD.

Tabla 25: Datos de Turbidez de los perfiles CTD obtenidos el día 27/06/2023.

| Localización | Prof. (m) | Min (FTU) | Max (FTU) | Media (FTU) | STD (FTU) |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------|
| A            | 0         | 0.28      | 0.31      | 0.29        | 0.01      |
|              | 2         | 0.28      | 0.31      | 0.29        | 0.01      |
|              | 4.5       | -         | -         | -           | -         |
| B            | 0         | 0.29      | 0.35      | 0.31        | 0.02      |
|              | 4         | 0.38      | 0.45      | 0.42        | 0.02      |
|              | 6         | 0.41      | 0.51      | 0.45        | 0.03      |
| C            | 0         | 0.29      | 0.34      | 0.31        | 0.02      |
|              | 4         | 0.42      | 0.60      | 0.50        | 0.05      |
|              | 6         | -         | -         | -           | -         |
| M            | 0         | 5.18      | 5.40      | 5.28        | 0.08      |
|              | 2         | 5.19      | 5.95      | 5.55        | 0.25      |
|              | 4         | 5.19      | 7.30      | 6.13        | 0.87      |

## Concentración de Oxígeno

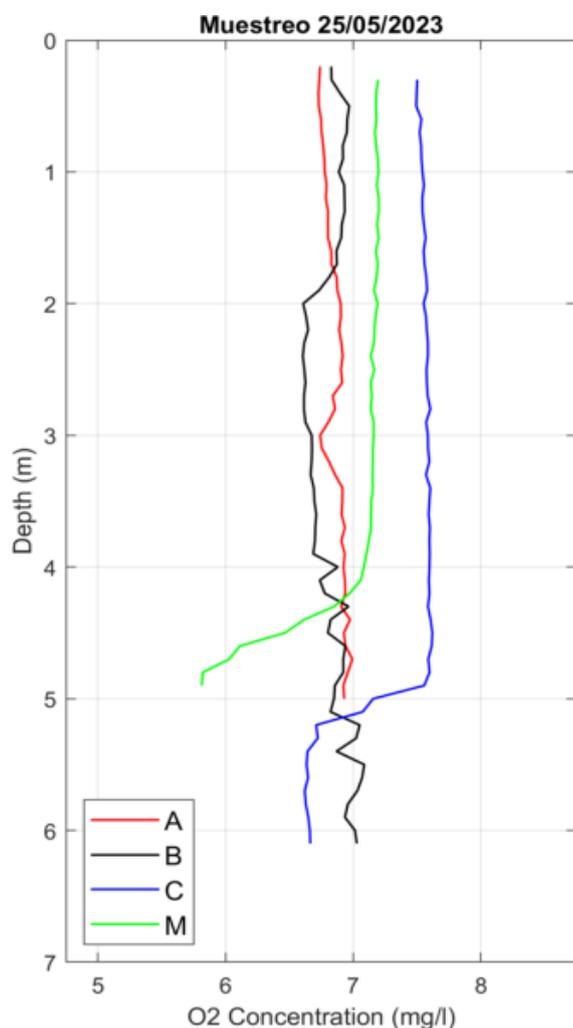


Figura 47: Perfiles de Concentración de Oxígeno obtenidos el día 25/05/2023 con el CTD.

Tabla 26: Datos de Concentración de Oxígeno de los perfiles CTD obtenidos el día 25/05/2023.

| Localización | Prof. (m) | Min (mg/l) | Max (mg/l) | Media (mg/l) | STD (mg/l) |
|--------------|-----------|------------|------------|--------------|------------|
| A            | 0         | 6.70       | 6.78       | 6.74         | 0.03       |
|              | 2         | 6.86       | 6.91       | 6.89         | 0.02       |
|              | 4.5       | 6.89       | 7.02       | 6.93         | 0.05       |
| B            | 0         | 6.82       | 6.84       | 6.83         | 0.01       |
|              | 4         | 6.67       | 7.04       | 6.90         | 0.18       |
|              | 6         | 6.84       | 7.08       | 6.87         | 0.08       |
| C            | 0         | 7.44       | 7.46       | 7.45         | 0.01       |
|              | 4         | 7.56       | 7.63       | 7.61         | 0.02       |
|              | 6         | 6.61       | 6.70       | 6.67         | 0.04       |
| M            | 0         | 7.16       | 7.21       | 7.19         | 0.02       |
|              | 2         | 7.15       | 7.22       | 7.19         | 0.03       |
|              | 4         | 7.06       | 7.08       | 7.07         | 0.01       |

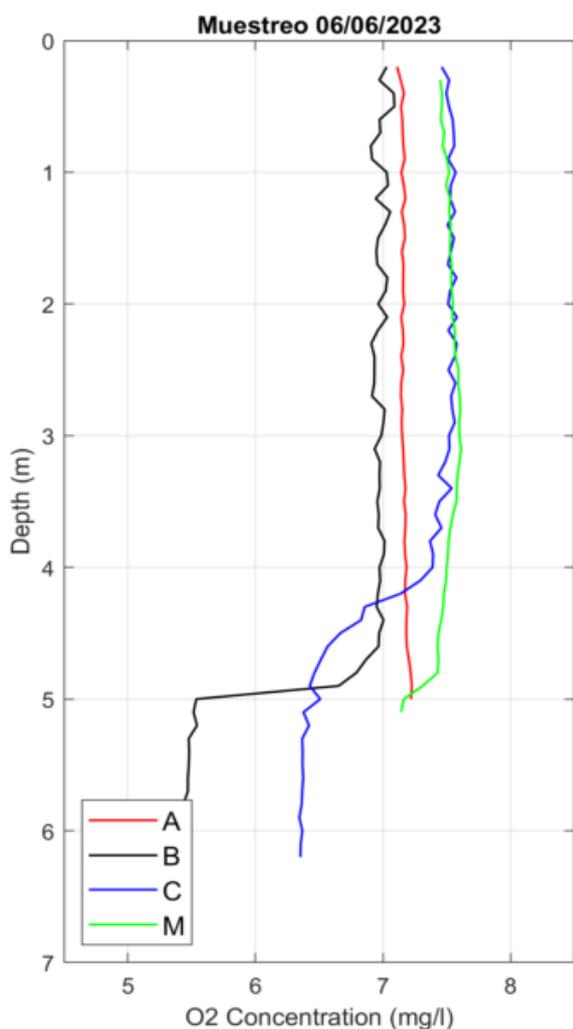


Figura 48: Perfiles de Concentración de Oxígeno obtenidos el día 06/06/2023 con el CTD.

Tabla 27: Datos de Concentración de Oxígeno de los perfiles CTD obtenidos el día 06/06/2023.

| Localización | Prof. (m) | Min (mg/l) | Max (mg/l) | Media (mg/l) | STD (mg/l) |
|--------------|-----------|------------|------------|--------------|------------|
| A            | 0         | 7.10       | 7.13       | 7.11         | 0.01       |
|              | 2         | 7.15       | 7.18       | 7.17         | 0.01       |
|              | 4.5       | 7.16       | 7.21       | 7.18         | 0.02       |
| B            | 0         | 7.07       | 7.09       | 7.08         | 0.01       |
|              | 4         | 6.92       | 7.02       | 6.94         | 0.03       |
|              | 6         | 5.44       | 5.44       | 5.44         | 0.00       |
| C            | 0         | 7.45       | 7.47       | 7.46         | 0.01       |
|              | 4         | 7.34       | 7.42       | 7.37         | 0.04       |
|              | 6         | 6.34       | 6.38       | 6.36         | 0.02       |
| M            | 0         | 7.42       | 7.49       | 7.43         | 0.02       |
|              | 2         | 7.52       | 7.56       | 7.55         | 0.01       |
|              | 4         | 7.48       | 7.52       | 7.50         | 0.01       |

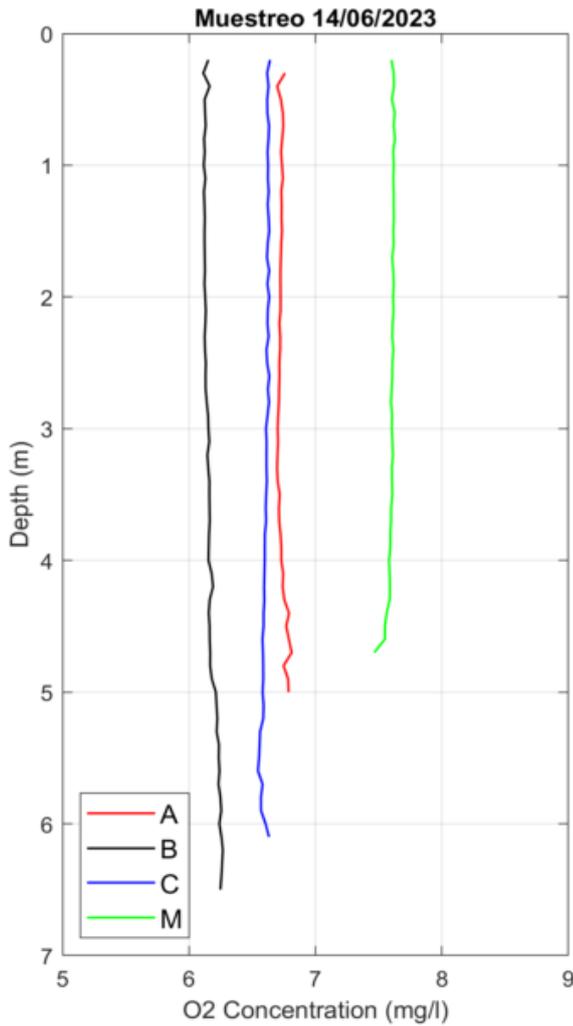


Figura 49: Perfiles de Concentración de Oxígeno obtenidos el día 14/06/2023 con el CTD.

Tabla 28: Datos de Concentración de Oxígeno de los perfiles CTD obtenidos el día 14/06/2023.

| Localización | Prof. (m) | Min (mg/l) | Max (mg/l) | Media (mg/l) | STD (mg/l) |
|--------------|-----------|------------|------------|--------------|------------|
| A            | 0         | 6.74       | 6.82       | 6.76         | 0.02       |
|              | 2         | 6.72       | 6.73       | 6.72         | 0.00       |
|              | 4.5       | 6.75       | 6.80       | 6.76         | 0.02       |
| B            | 0         | 6.14       | 6.16       | 6.15         | 0.01       |
|              | 4         | 6.14       | 6.16       | 6.15         | 0.00       |
|              | 6         | 6.22       | 6.26       | 6.24         | 0.01       |
| C            | 0         | 6.64       | 6.65       | 6.65         | 0.01       |
|              | 4         | 6.59       | 6.61       | 6.60         | 0.01       |
|              | 6         | 6.58       | 6.61       | 6.59         | 0.02       |
| M            | 0         | 7.58       | 7.61       | 7.60         | 0.01       |
|              | 2         | 7.61       | 7.63       | 7.61         | 0.01       |
|              | 4         | 7.57       | 7.59       | 7.58         | 0.01       |

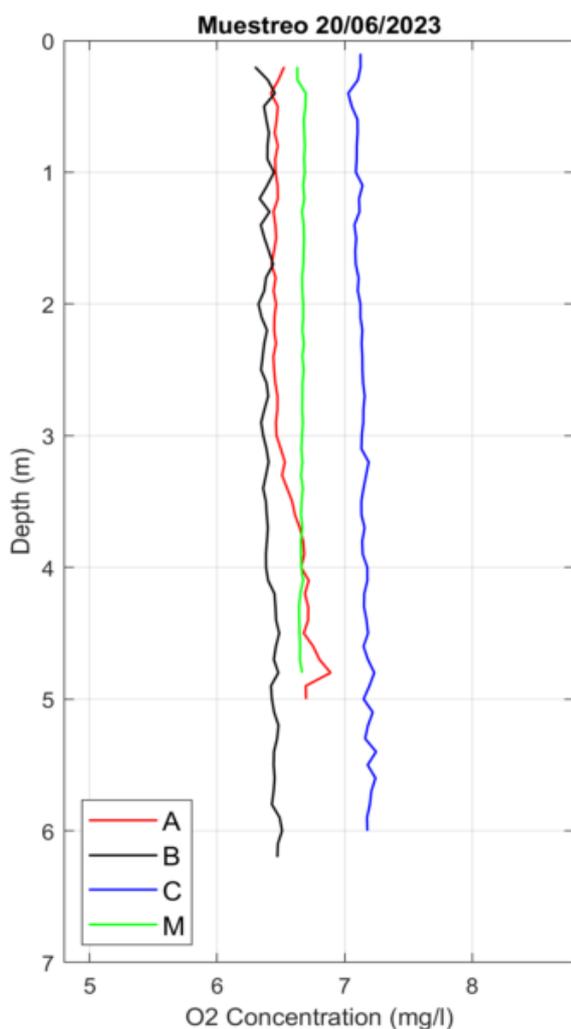


Figura 50: Perfiles de Concentración de Oxígeno obtenidos el día 20/06/2023 con el CTD.

Tabla 29: Datos de Concentración de Oxígeno de los perfiles CTD obtenidos el día 20/06/2023.

| Localización | Prof. (m) | Min (mg/l) | Max (mg/l) | Media (mg/l) | STD (mg/l) |
|--------------|-----------|------------|------------|--------------|------------|
| A            | 0         | 6.51       | 6.54       | 6.52         | 0.01       |
|              | 2         | 6.46       | 6.49       | 6.48         | 0.01       |
|              | 4.5       | 6.63       | 6.80       | 6.70         | 0.07       |
| B            | 0         | 6.29       | 6.30       | 6.29         | 0.01       |
|              | 4         | 6.36       | 6.39       | 6.37         | 0.01       |
|              | 6         | 6.43       | 6.51       | 6.48         | 0.02       |
| C            | 0         | 7.12       | 7.14       | 7.13         | 0.01       |
|              | 4         | 7.11       | 7.23       | 7.20         | 0.03       |
|              | 6         | 7.15       | 7.23       | 7.17         | 0.02       |
| M            | 0         | 6.62       | 6.64       | 6.63         | 0.01       |
|              | 2         | 6.64       | 6.70       | 6.67         | 0.02       |
|              | 4         | 6.64       | 6.69       | 6.66         | 0.02       |

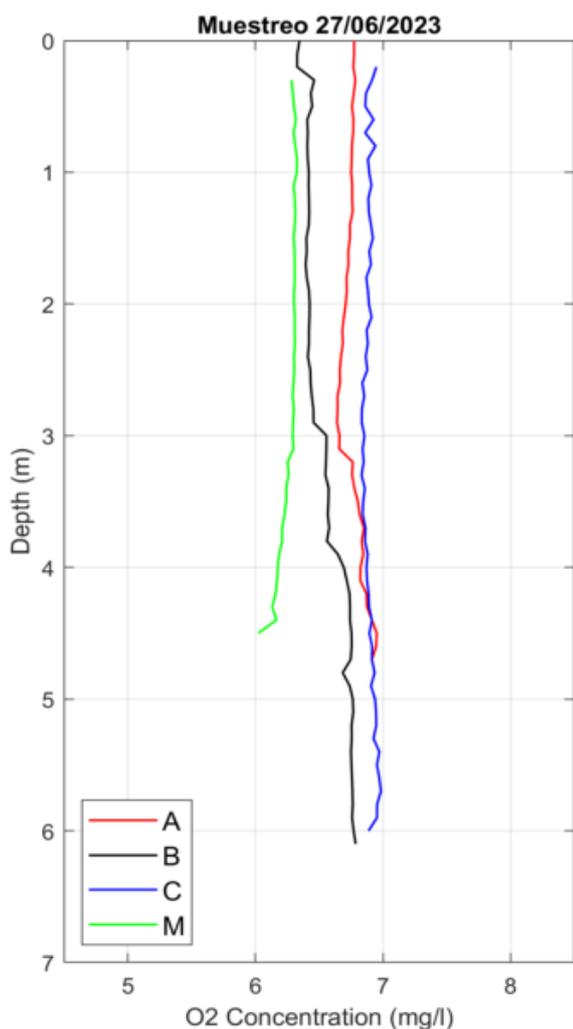


Figura 51: Perfiles de Concentración de Oxígeno obtenidos el día 27/06/2023 con el CTD.

Tabla 30: Datos de Concentración de Oxígeno de los perfiles CTD obtenidos el día 27/06/2023.

| Localización | Prof. (m) | Min (mg/l) | Max (mg/l) | Media (mg/l) | STD (mg/l) |
|--------------|-----------|------------|------------|--------------|------------|
| A            | 0         | 6.73       | 6.82       | 6.79         | 0.05       |
|              | 2         | 6.70       | 6.74       | 6.72         | 0.02       |
|              | 4.5       | 6.92       | 6.98       | 6.95         | 0.04       |
| B            | 0         | 6.33       | 6.48       | 6.41         | 0.07       |
|              | 4         | 6.61       | 6.71       | 6.68         | 0.04       |
|              | 6         | 6.72       | 6.78       | 6.77         | 0.02       |
| C            | 0         | 6.94       | 6.97       | 6.95         | 0.01       |
|              | 4         | 6.83       | 6.91       | 6.88         | 0.03       |
|              | 6         | -          | -          | -            | -          |
| M            | 0         | 6.26       | 6.32       | 6.29         | 0.02       |
|              | 2         | 6.28       | 6.32       | 6.30         | 0.02       |
|              | 4         | 6.13       | 6.21       | 6.17         | 0.04       |

## pH

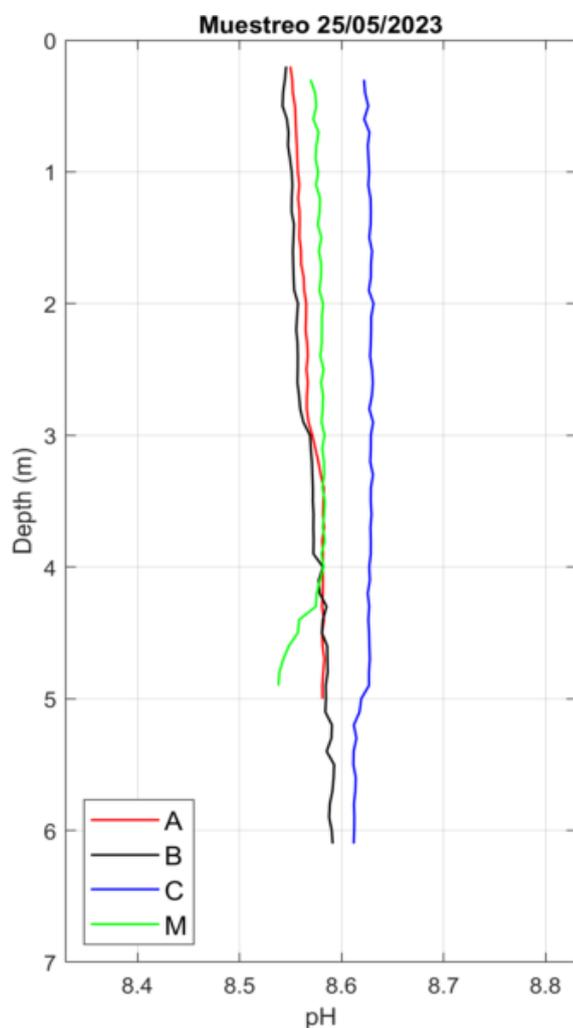


Figura 52: Perfiles de pH obtenidos el día 25/05/2023 con el CTD.

Tabla 31: Datos de pH de los perfiles CTD obtenidos el día 25/05/2023.

| Localización | Prof. (m) | Min (-) | Max (-) | Media (-) | STD (-) |
|--------------|-----------|---------|---------|-----------|---------|
| A            | 0         | 8.55    | 8.55    | 8.55      | 0.00    |
|              | 2         | 8.56    | 8.57    | 8.56      | 0.00    |
|              | 4.5       | 8.58    | 8.59    | 8.58      | 0.00    |
| B            | 0         | 8.54    | 8.55    | 8.55      | 0.00    |
|              | 4         | 8.57    | 8.59    | 8.58      | 0.01    |
|              | 6         | 8.59    | 8.59    | 8.59      | 0.00    |
| C            | 0         | 8.63    | 8.63    | 8.63      | 0.00    |
|              | 4         | 8.63    | 8.63    | 8.63      | 0.00    |
|              | 6         | 8.61    | 8.61    | 8.61      | 0.00    |
| M            | 0         | 8.57    | 8.58    | 8.57      | 0.01    |
|              | 2         | 8.58    | 8.58    | 8.58      | 0.00    |
|              | 4         | 8.58    | 8.58    | 8.58      | 0.00    |

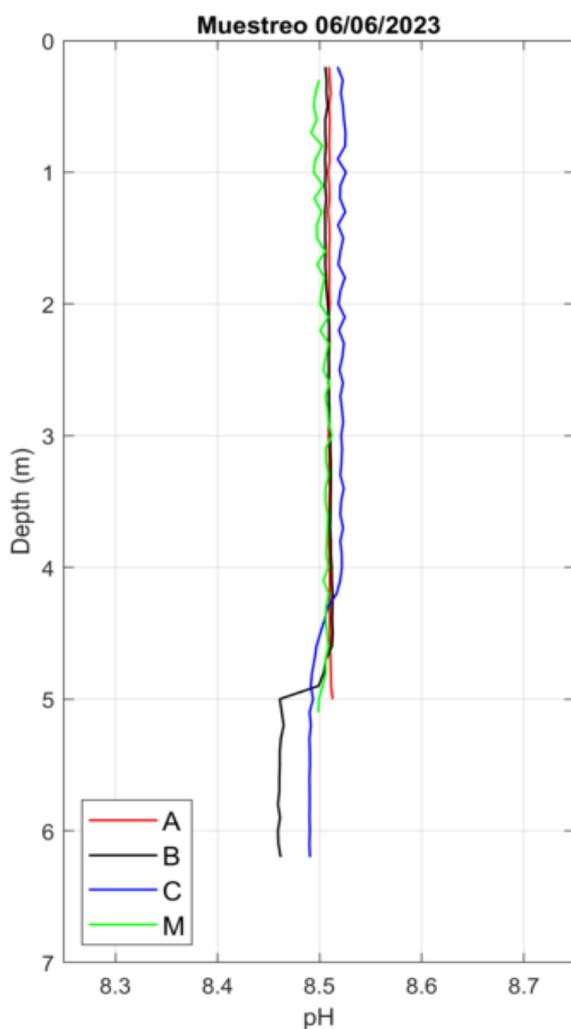


Figura 53: Perfiles de pH obtenidos el día 06/06/2023 con el CTD.

Tabla 32: Datos de pH de los perfiles CTD obtenidos el día 06/06/2023.

| Localización | Prof. (m) | Min (-) | Max (-) | Media (-) | STD (-) |
|--------------|-----------|---------|---------|-----------|---------|
| A            | 0         | 8.51    | 8.51    | 8.51      | 0.00    |
|              | 2         | 8.51    | 8.51    | 8.51      | 0.00    |
|              | 4.5       | 8.51    | 8.51    | 8.51      | 0.00    |
| B            | 0         | 8.50    | 8.51    | 8.50      | 0.00    |
|              | 4         | 8.51    | 8.51    | 8.51      | 0.00    |
|              | 6         | 8.46    | 8.46    | 8.46      | 0.00    |
| C            | 0         | 8.52    | 8.52    | 8.52      | 0.00    |
|              | 4         | 8.52    | 8.52    | 8.52      | 0.00    |
|              | 6         | 8.49    | 8.49    | 8.49      | 0.00    |
| M            | 0         | 8.49    | 8.50    | 8.50      | 0.01    |
|              | 2         | 8.50    | 8.51    | 8.50      | 0.00    |
|              | 4         | 8.50    | 8.51    | 8.51      | 0.00    |

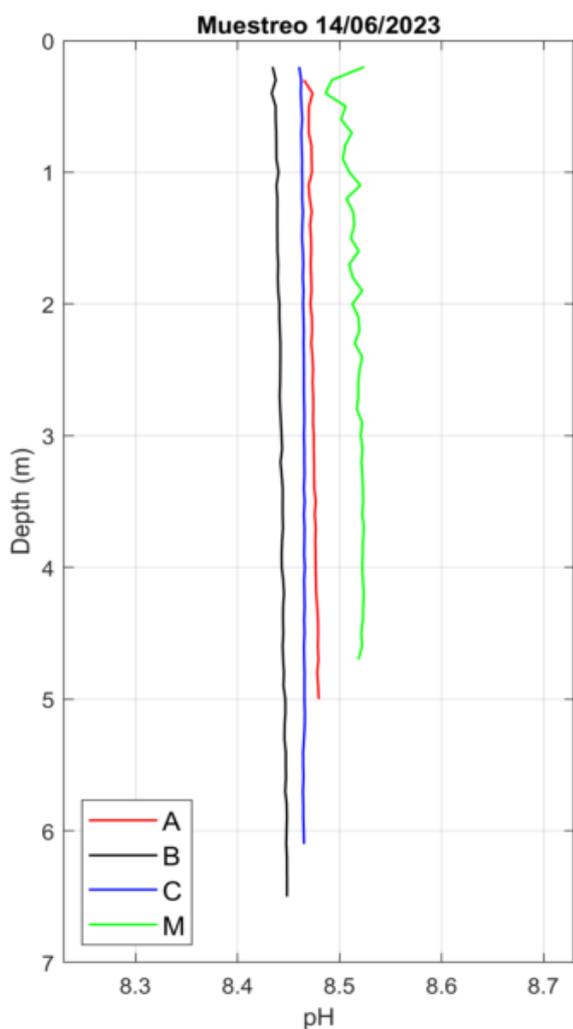


Figura 54: Perfiles de pH obtenidos el día 14/06/2023 con el CTD.

Tabla 33: Datos de pH de los perfiles CTD obtenidos el día 14/06/2023.

| Localización | Prof. (m) | Min (-) | Max (-) | Media (-) | STD (-) |
|--------------|-----------|---------|---------|-----------|---------|
| A            | 0         | 8.46    | 8.47    | 8.46      | 0.00    |
|              | 2         | 8.47    | 8.47    | 8.47      | 0.00    |
|              | 4.5       | 8.48    | 8.48    | 8.48      | 0.00    |
| B            | 0         | 8.43    | 8.44    | 8.43      | 0.00    |
|              | 4         | 8.44    | 8.44    | 8.44      | 0.00    |
|              | 6         | 8.45    | 8.45    | 8.45      | 0.00    |
| C            | 0         | 8.46    | 8.46    | 8.46      | 0.00    |
|              | 4         | 8.47    | 8.47    | 8.47      | 0.00    |
|              | 6         | 8.46    | 8.46    | 8.46      | 0.00    |
| M            | 0         | 8.52    | 8.52    | 8.52      | 0.00    |
|              | 2         | 8.51    | 8.53    | 8.51      | 0.00    |
|              | 4         | 8.52    | 8.53    | 8.52      | 0.00    |

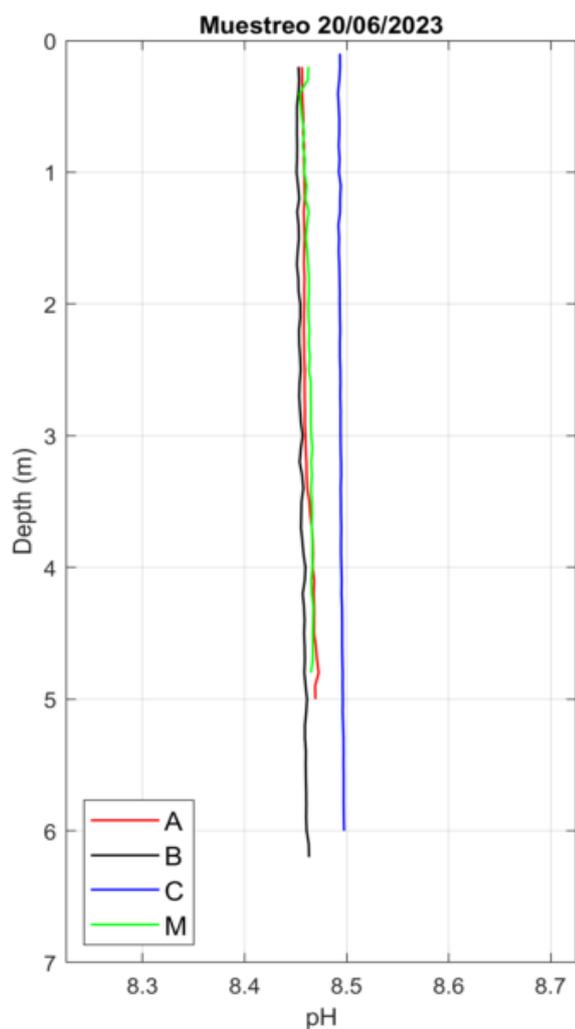


Figura 55: Perfiles de pH obtenidos el día 20/06/2023 con el CTD.

Tabla 34: Datos de pH de los perfiles CTD obtenidos el día 20/06/2023.

| Localización | Prof. (m) | Min (-) | Max (-) | Media (-) | STD (-) |
|--------------|-----------|---------|---------|-----------|---------|
| A            | 0         | 8.46    | 8.46    | 8.46      | 0.00    |
|              | 2         | 8.46    | 8.46    | 8.46      | 0.00    |
|              | 4.5       | 8.47    | 8.47    | 8.47      | 0.00    |
| B            | 0         | 8.45    | 8.46    | 8.45      | 0.00    |
|              | 4         | 8.46    | 8.46    | 8.46      | 0.00    |
|              | 6         | 8.46    | 8.46    | 8.46      | 0.00    |
| C            | 0         | 8.49    | 8.49    | 8.49      | 0.00    |
|              | 4         | 8.49    | 8.49    | 8.49      | 0.00    |
|              | 6         | 8.50    | 8.50    | 8.50      | 0.00    |
| M            | 0         | 8.46    | 8.46    | 8.46      | 0.00    |
|              | 2         | 8.46    | 8.46    | 8.46      | 0.00    |
|              | 4         | 8.46    | 8.47    | 8.47      | 0.00    |

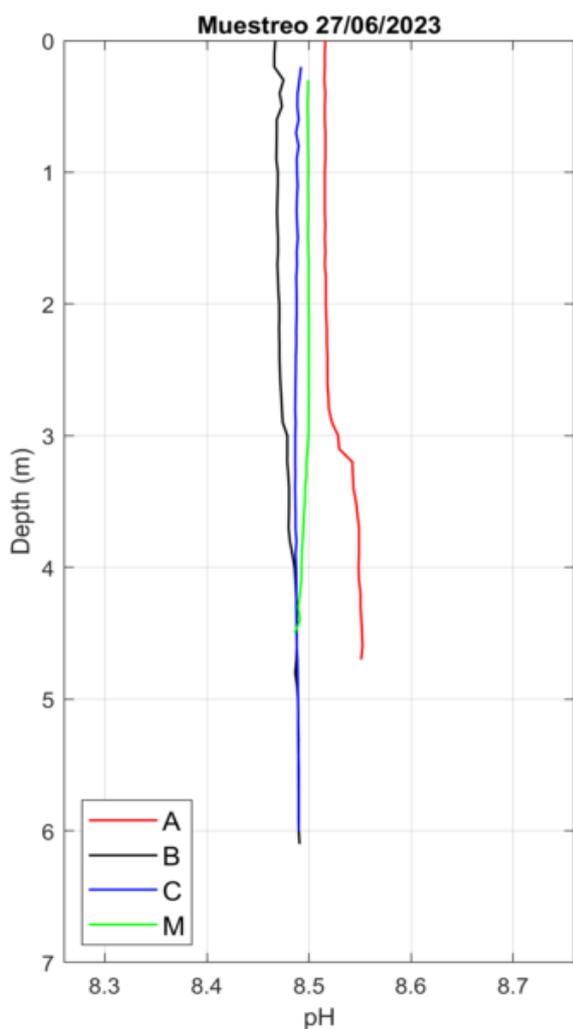


Figura 56: Perfiles de pH obtenidos el día 27/06/2023 con el CTD.

Tabla 35: Datos de pH de los perfiles CTD obtenidos el día 27/06/2023.

| Localización | Prof. (m) | Min (-) | Max (-) | Media (-) | STD (-) |
|--------------|-----------|---------|---------|-----------|---------|
| A            | 0         | 8.52    | 8.52    | 8.52      | 0.00    |
|              | 2         | 8.52    | 8.52    | 8.52      | 0.00    |
|              | 4.5       | 8.55    | 8.55    | 8.55      | 0.00    |
| B            | 0         | 8.47    | 8.48    | 8.47      | 0.00    |
|              | 4         | 8.48    | 8.49    | 8.49      | 0.00    |
|              | 6         | 8.49    | 8.49    | 8.49      | 0.00    |
| C            | 0         | 8.49    | 8.49    | 8.49      | 0.00    |
|              | 4         | 8.49    | 8.49    | 8.49      | 0.00    |
|              | 6         | -       | -       | -         | -       |
| M            | 0         | 8.50    | 8.50    | 8.50      | 0.00    |
|              | 2         | 8.50    | 8.50    | 8.50      | 0.00    |
|              | 4         | 8.49    | 8.49    | 8.49      | 0.00    |