



Análisis del estado ecológico del Mar Menor. Informe trimestral de seguimiento (octubre de 2024)

Coordinador: Dr. Angel Pérez-Ruzafa

Equipo redactor:

Dra. Concepción Marcos, Dr. Alfredo Fernández Alías, Gdo. Marcos Lorente González, Gdo. Manuel Rosendo Conde Caño

Equipo de trabajo: Dr. Jhoni I. Quispe Becerra, Gdo. Antonio Sala Mirete, Gda. Olga Sánchez Fernández, Gda. Ana María Paco Vives, Gdo. Martín Vicente Ríos

Grupo de investigación Ecología y ordenación de Ecosistemas Marinos Costeros.
Departamento de Ecología e Hidrología

Universidad de Murcia



1. Introducción y resumen

En el inicio de 2024, y durante el invierno y la primavera, la evolución general del Mar Menor se ha mantenido en un estado de equilibrio, en la línea de como finalizó 2023 y con un comportamiento general semejante al de los últimos años en los correspondientes periodos estacionales. Sin embargo, como se viene advirtiendo en los informes periódicos emitidos, dicho estado es inestable ya que, a pesar de que las comunidades y los mecanismos de autorregulación aparecen recuperados, las presiones antrópicas, directas o indirectas, y las incidencias asociadas a la climatología siguen intactas y sin haberse desarrollado infraestructuras y mecanismos que permitan el control y la anticipación ante las incertidumbres asociadas a cambios como el climático. Actualmente, el estado ecológico del Mar Menor depende de que las lluvias recarguen en mayor o menor medida el acuífero, del consiguiente nivel freático y de los aportes por escorrentía superficial producidos por las lluvias y por los aportes superficiales o subsuperficiales del acuífero. Las únicas medidas compensatorias han sido las preventivas mediante la retirada de los excedentes de biomasa acumuladas en las playas. Esta medida está siendo eficaz y ha dado resultados resaltables en los tres últimos años, permitiendo mantener la calidad de baño y disfrute de las playas y reduciendo las cargas de materia orgánica en descomposición que pueden incrementar de manera crítica la demanda de oxígeno en los periodos sensibles del verano.

El hecho de que el nivel freático se haya mantenido relativamente bajo en estos meses de 2024, y la disminución de los aportes superficiales y subsuperficiales desde la cuenca vertiente, se ha traducido en niveles relativamente bajos de nutrientes, especialmente de nitratos. Sin embargo, el fósforo sigue teniendo un papel más protagonista que en periodos anteriores con entradas relativamente altas a finales de primavera, por la rambla del Abujón, y en los meses de verano por la ribera interna entre Los Urrutias y Los Nietos, con una dinámica muy parecida a la de 2023. Los niveles de clorofila se han mantenido bajos, con alguna acumulación puntual en zonas profundas que no ha dado lugar a situaciones preocupantes. Como consecuencia, la transparencia del agua se ha mantenido por encima de los cuatro metros y medio de visibilidad, con mejores condiciones que en 2023, y los niveles de oxígeno se han mantenido altos, con solo un descenso puntual y local frente a la rambla del Albuñón a finales de agosto. En ningún caso ha habido situaciones críticas.

La primavera y verano de 2024 se han caracterizado básicamente por una disminución de las entradas de agua dulce, un ascenso resaltable de la temperatura y ritmos estacionales y oscilaciones térmicas que muestran algunas diferencias con respecto a las de los últimos años. Dichos ritmos determinan las estrobilaciones de las distintas especies de medusas que habitan en el Mar Menor (véase el informe final de 2022 y el informe adicional sobre las mismas, Fernández-Alías & Pérez-Ruzafa, 2023), haciendo que la dinámica de las poblaciones este año haya sido algo distinta. Ello se ha traducido en que la única especie que ha mostrado proliferaciones en 2024 haya sido *Cotylorhiza tuberculata* (Macri, 1778), que ha alcanzado niveles altos durante todo el verano, alargándose su temporada con densidades altas hasta finales de septiembre.

El invierno tuvo temperaturas mínimas semejantes a las de años anteriores, por encima de los 11°C, pero las temperaturas máximas superaron los 20°C, dos más que el año anterior y cinco más que 2022. En primavera, la oscilación térmica ha sido la menor de los dos últimos años (< 10°C). Por su parte, el verano ha mantenido temperaturas máximas semejantes a las de 2022 y 2023, pero con una mayor oscilación térmica (> 6°C).

Por su parte, la salinidad, que empezó el año con valores mínimos de 40,5, alcanzó a finales de verano valores de 47, los más altos de los últimos ocho años, empezando el Mar Menor, de este modo, a recuperar su idiosincrasia y carácter como laguna hiperhalina.

El estado del Mar Menor durante el invierno, primavera y verano confirma la importancia de mantener el nivel freático bajo y la retirada de los excesos de biomasa acumulados en las playas, especialmente mientras no se contengan las entradas de aguas cargadas en nutrientes. El disponer de infraestructuras y mecanismos de regulación del agua del acuífero superficial es claramente la única posibilidad de mantener el estado ecológico del Mar Menor y la calidad de sus aguas sin depender de la climatología.

En la figura 1.1 se muestra la localización de las estaciones de muestreo utilizada en los trabajos de seguimiento que se vienen desarrollando.

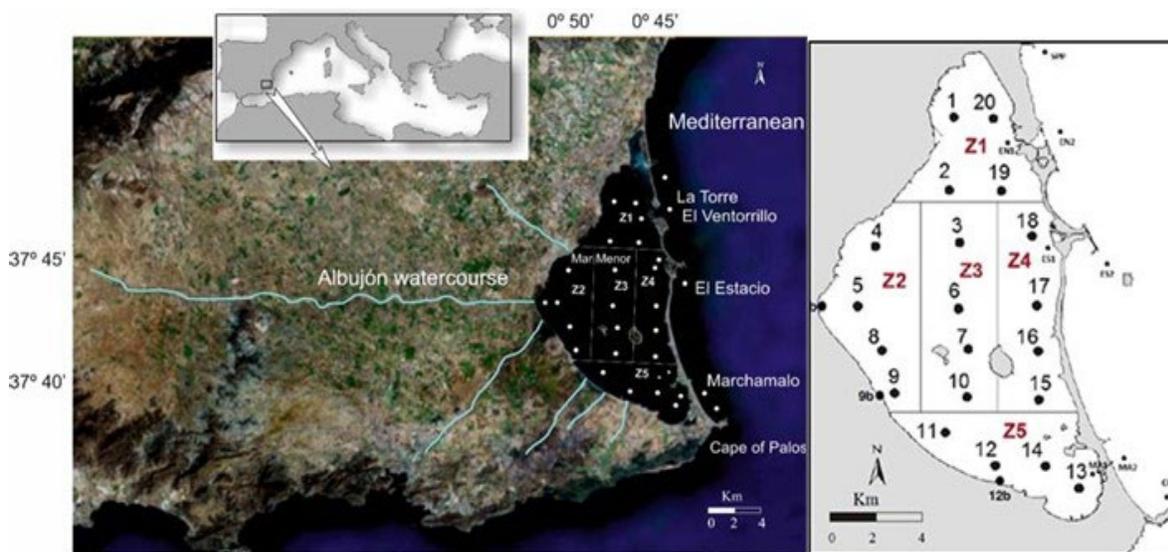


Figura 1.1. Ubicación del Mar Menor, su cuenca de drenaje y los principales cursos de agua que desembocan en la laguna. Los puntos representan la red de estaciones de muestreo utilizadas en la monitorización de la laguna, agrupadas en las cinco zonas funcionales representativas establecidas para los análisis.



2. Evolución de los parámetros fisicoquímicos

2.1. *Temperatura*

La temperatura del agua en el Mar Menor sigue respondiendo a la temperatura atmosférica y mostrando uniformidad en toda la columna de agua. Durante 2023, este parámetro osciló entre el mínimo de 9,83°C registrado en el fondo el 24 de enero y un máximo de 31,99°C en la capa superficial el 21 de agosto (Tabla 2.1.1). Los datos registrados se mantuvieron dentro de los valores normales en la laguna en las diferentes estaciones del año, sin evidencias de estratificación en la columna de agua (Fig. 2.1.1). En 2024 y hasta el mes de septiembre, la temperatura media del Mar Menor ha sido de $14,58 \pm 0,15^\circ\text{C}$, casi 1°C mayor que la de 2023 para el mismo periodo, y ha mantenido un ascenso progresivo, con pequeñas oscilaciones entre febrero y mayo, hasta alcanzar los 30,13°C el 20 de agosto. Sin embargo, la temperatura media del agua de agosto de 2024 ha sido aproximadamente 1,1°C menor que las del mismo mes en 2022 y 2023 (Figs. 2.1.2 y 2.1.3). Localmente, las máximas temperaturas del agua en la capa superficial y en el fondo se registraron en la estación E20 el 1 de agosto con valores de 36,06°C y 31,79°C, respectivamente. En resumen, el año 2024 ha sido un año con menor amplitud térmica, con un invierno y primavera menos fríos que los años anteriores y con un verano menos cálido.

Tabla 2.1.1. Estadísticas descriptivas de la temperatura del agua en superficie del Mar Menor desde 2023 hasta finales de septiembre de 2024.

Año	Estación	Media (s.e.)	Min.	Max.
2023	Invierno	13.77 ± 0.18	9.85	19.06
	Primavera	22.64 ± 0.23	16.40	28.83
	Verano	29.51 ± 0.14	23.99	31.99
	Otoño	19.05 ± 0.37	12.36	26.77
2024	Invierno	14.58 ± 0.15	11.56	20.08
	Primavera	22.58 ± 0.22	17.67	27.92
	Verano	28.87 ± 0.12	25.41	32.06

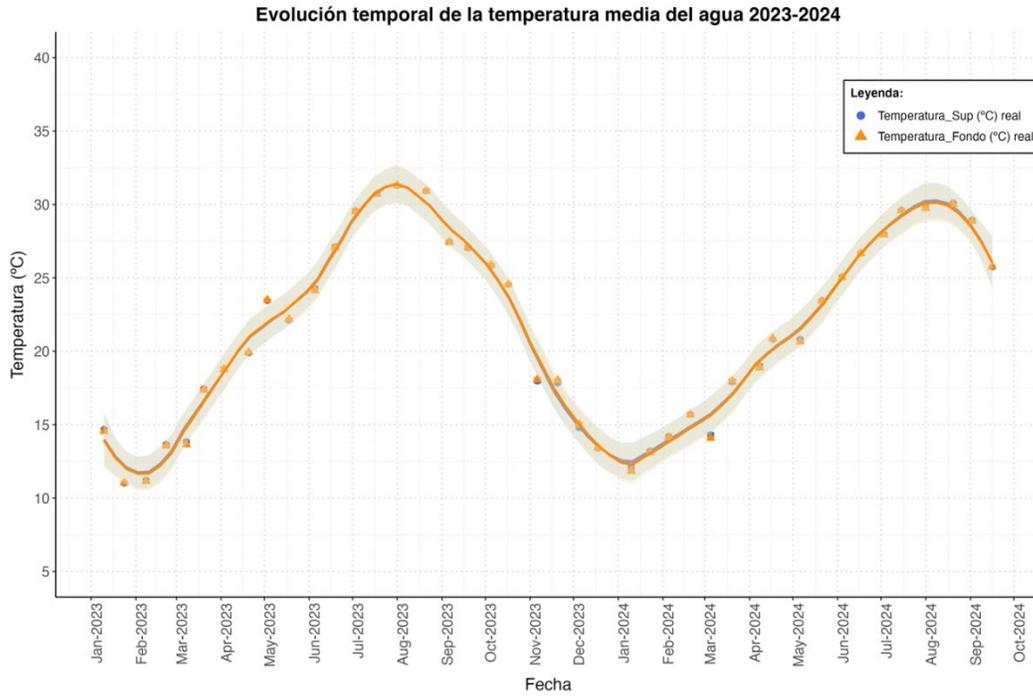


Figura 2.1.1. Temperatura media en la superficie y el fondo del Mar Menor desde 2023 hasta septiembre de 2024. Las líneas muestran el ajuste mediante el método loess (abreviación de 'local regression'), las barras el error estándar de los datos y el sombreado indica los intervalos (95%) de confianza.

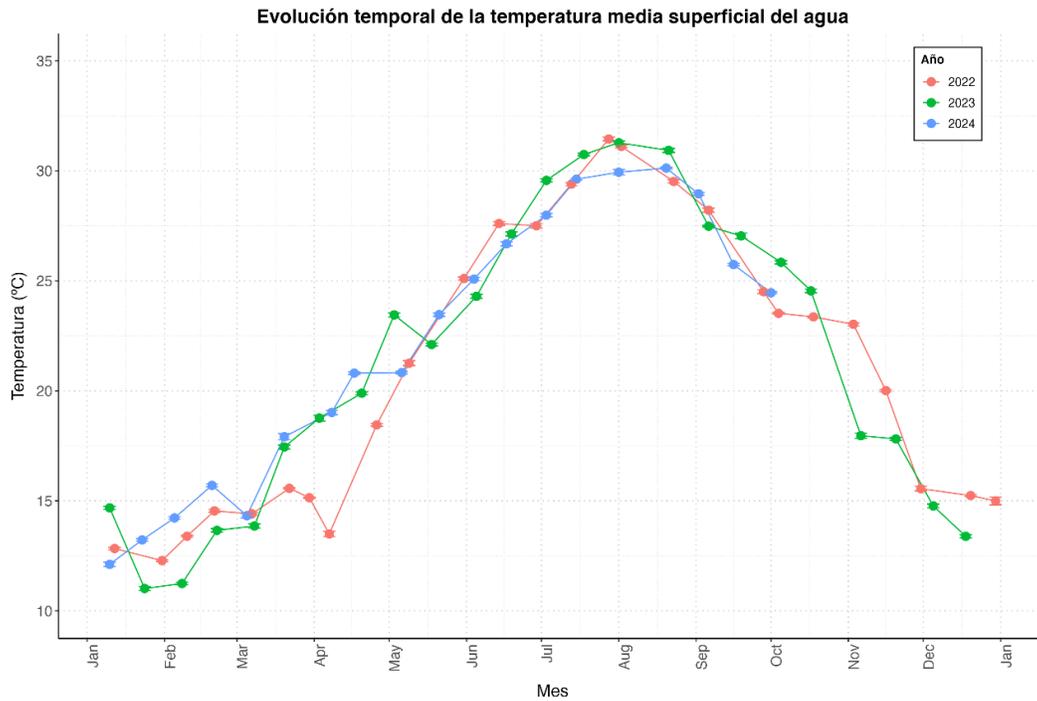


Figura 2.1.2. Temperatura media superficial del agua del Mar Menor en los últimos 3 años.

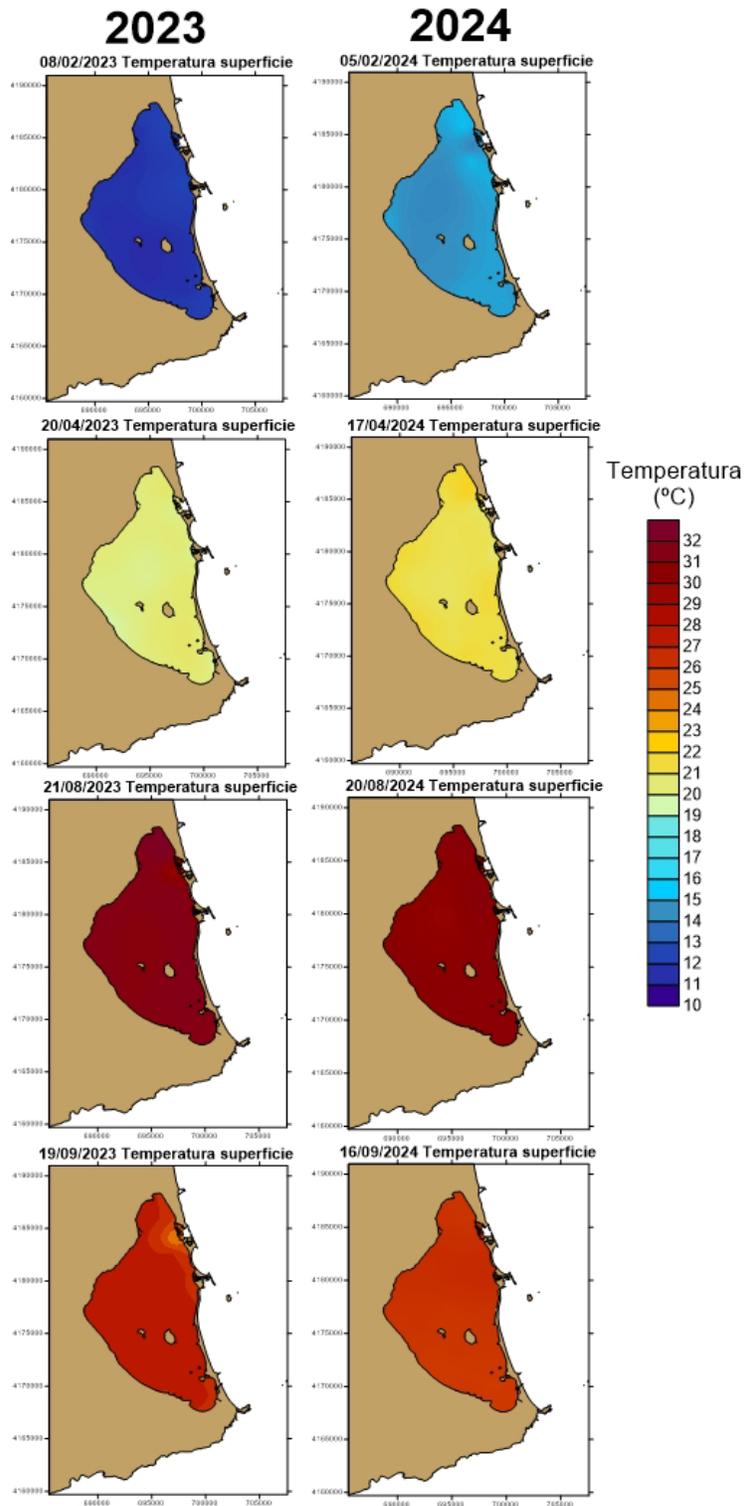


Figura 2.1.3. Evolución de la distribución espacial de la temperatura (°C) en superficie en 2023 (izquierda) y 2024 (derecha).

2.2. Salinidad

Por su parte, la salinidad media del Mar Menor ha mostrado una tendencia ascendente desde la primavera de 2023. Ese año aumentó progresivamente, desde finales de febrero hasta principios de diciembre, desde los 41 hasta los 45,82 registrados en el fondo el 5 de diciembre (Fig. 2.2.1). A partir de mediados de diciembre, la salinidad media comenzó a descender tanto en superficie como en fondo. Durante el invierno de 2024 y hasta finales de marzo de este mismo año la salinidad descendió hasta un mínimo relativo de 44,04 en la superficie mostrando una tendencia preocupante a la estratificación de la columna de agua (Fig. 2.2.1). Desde entonces, la salinidad media ha aumentado progresivamente, tanto en superficie como en fondo, hasta alcanzar los valores registrados en la campaña del 16 de septiembre, 46,90 en la capa superficial y 47,29 en el fondo. En este contexto, la salinidad media del Mar Menor actualmente es la mayor registrada en los últimos 5 años (Figs. 2.2.2 y 2.2.3).

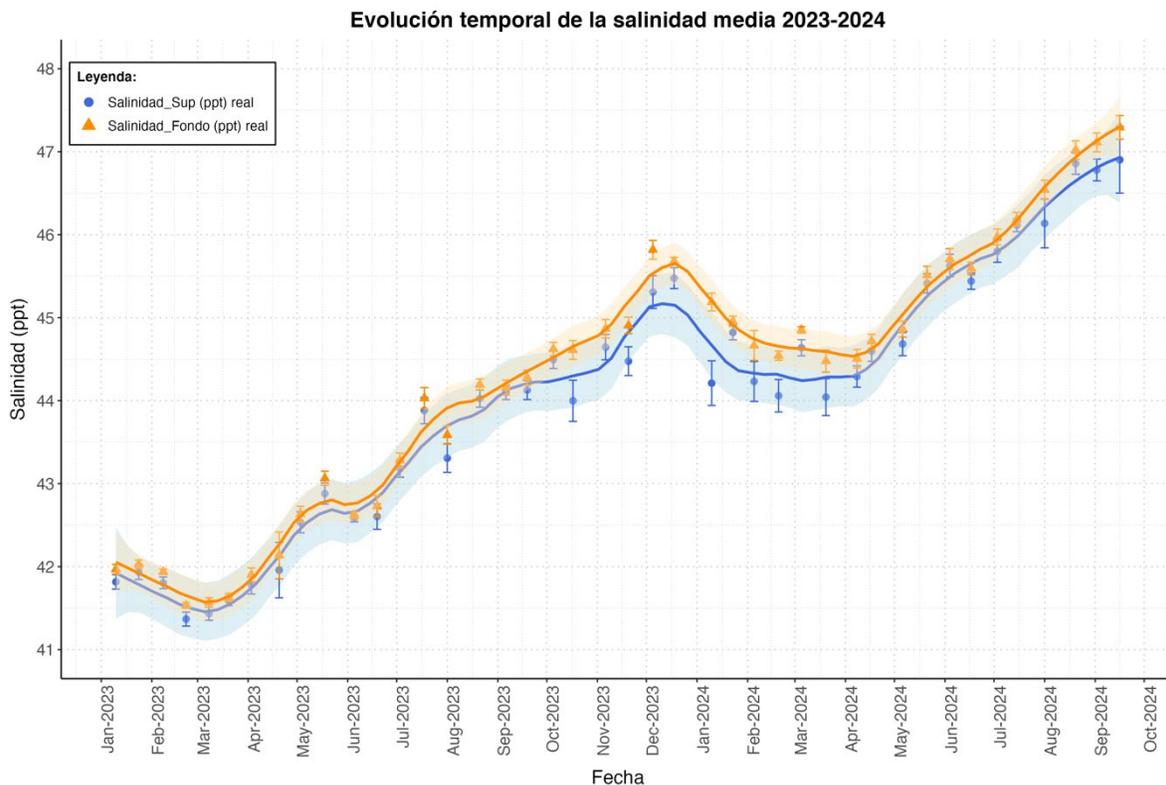


Figura 2.1.1. Salinidad media en la superficie y fondo del Mar Menor desde 2023 hasta septiembre de 2024. Las líneas muestran el ajuste mediante el método loess ('local regression'), las barras el error estándar de los datos y el sombreado indica los intervalos (95%) de confianza.

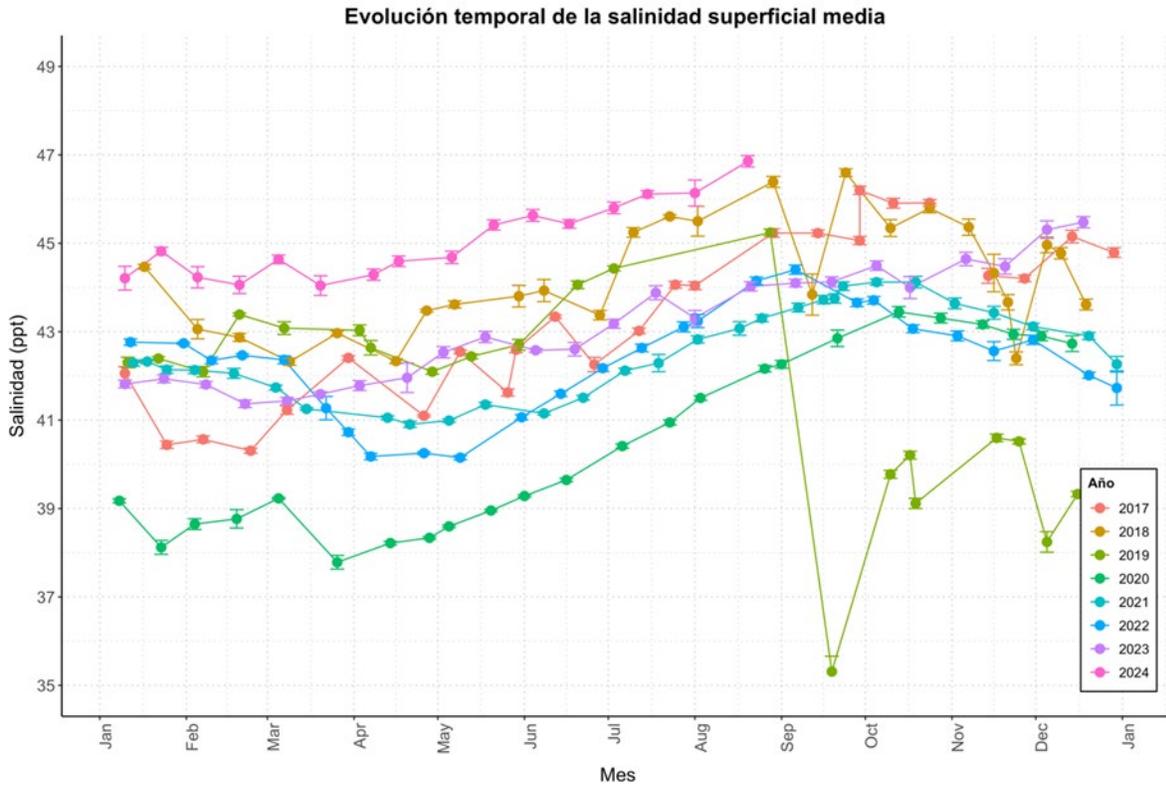


Figura 2.2.2. Salinidad media superficial del agua del Mar Menor en los últimos 8 años.

La salinidad muestra una gran heterogeneidad espacial, dependiendo de las zonas de entrada de agua dulce o salobre o de los intercambios con el Mediterráneo (como las fluctuaciones de salinidad observadas en la capa superficial en las estaciones MA1, ES1 y EN1, frente al interior de las golos o la observada el 16 de septiembre en la capa superficial en la estación E18 donde llegó hasta los 39,75) (Figs. 2.2.4 y 2.2.5). Durante 2024, aparte de en la desembocadura de El Albujón, se han detectado localmente algunas descargas de aguas salobres en algunos puntos ribereños como la estación E01 (frente a Santiago de la Ribera) donde la salinidad se mantuvo estable en torno a 44 hasta el día 1 de agosto, alcanzando un valor mínimo en superficie de 39,07, indicando la ocurrencia de un vertido directo semejante a los detectados en anteriores informes en esta localidad (Pérez-Ruzafa, 2023, 2024). Cabe resaltar también el descenso de la salinidad observado en la estación E09, frente a Los Urrutias, el 20 de marzo, llegando hasta los 40,52 en la superficie y 42,57 en el fondo.

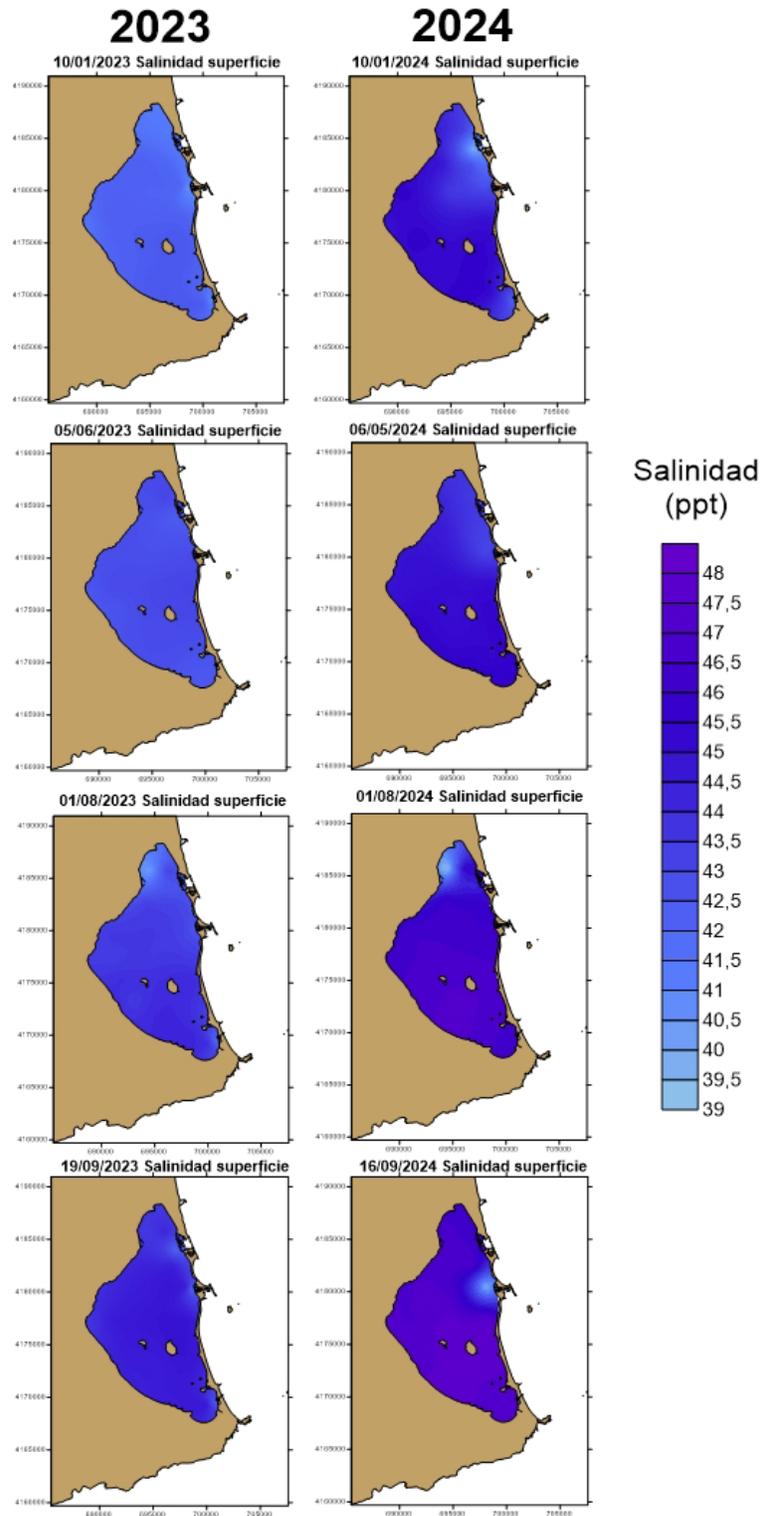


Figura 2.2.3. Evolución de la distribución espacial de la salinidad superficial en el Mar Menor en 2023 (izquierda) y 2024 (derecha).

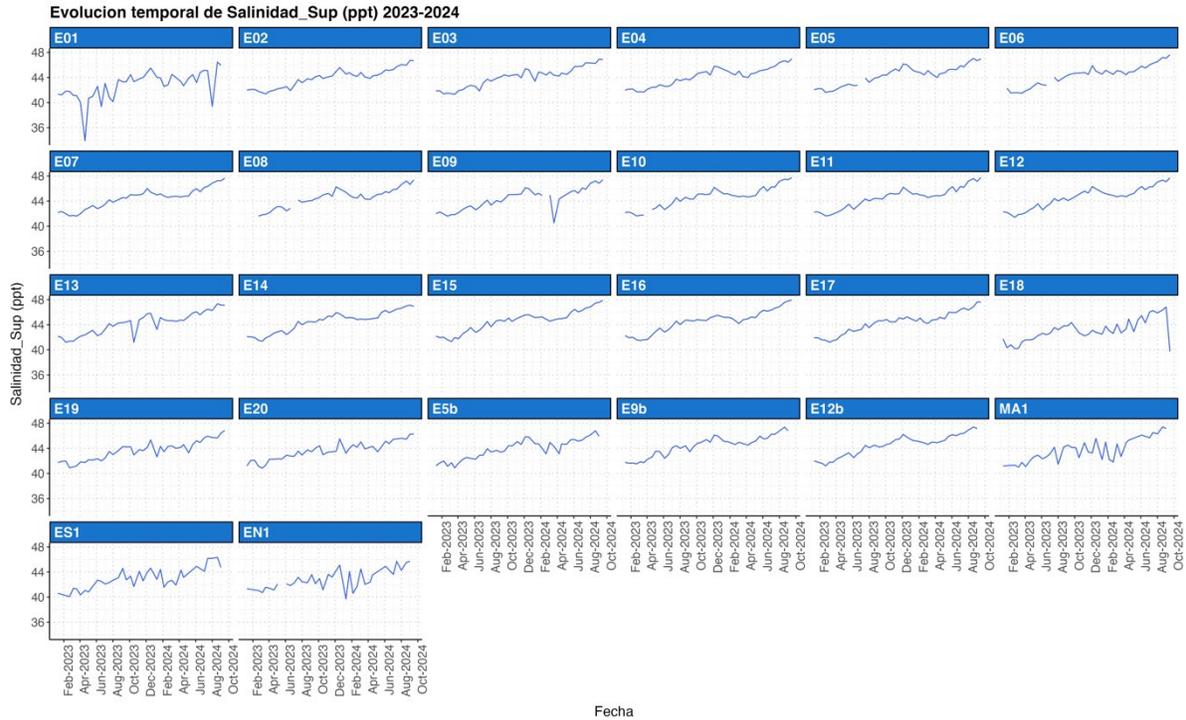


Figura 2.2.4. Evolución de la salinidad en la capa superficial en los distintos puntos de muestreo del Mar Menor desde 2023 hasta septiembre de 2024.

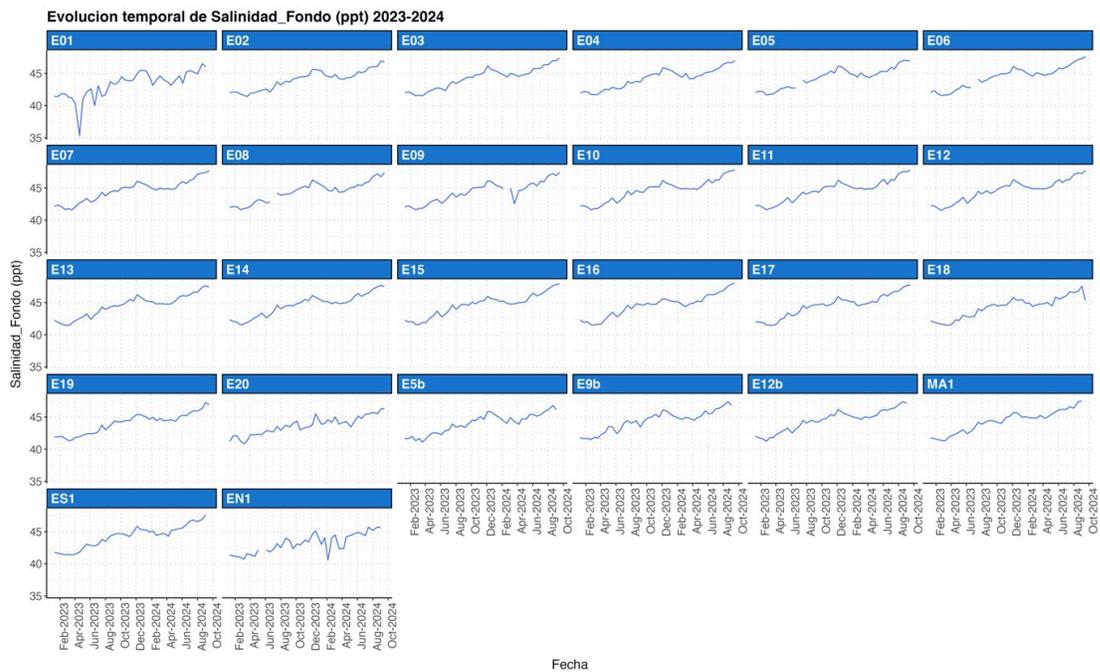


Figura 2.2.5. Evolución de la salinidad en el fondo en los distintos puntos de muestreo del Mar Menor desde 2023 hasta septiembre de 2024.



2.3. *Materiales en suspensión*

La concentración local de materiales en suspensión en la columna de agua suele ser muy dependiente de los aportes por lluvias torrenciales y del efecto de los temporales y oleaje sobre los sedimentos del fondo.

Durante 2023, los materiales en suspensión se mantuvieron en niveles bajos, con una concentración media de $0,009 \pm 2e^{-04}$ g/L, con un valor máximo de 0,046 g/L. Durante el periodo de enero a junio de 2023 la concentración presentó oscilaciones marcadas con valores máximos que rondaron los 0,0125 g/L de media en enero, abril, mayo y junio, seguidos de mínimos con valores generalmente menores a 0,01 g/L. Desde finales de junio hasta agosto 2023 se registró una pronunciada reducción en la concentración de sólidos en suspensión, pasando de una media mensual de $0,013 \pm 1e^{-03}$ a $0,007 \pm 4e^{-04}$ g/L, que se estabilizó en valores generalmente por debajo de 0,01 g/L hasta final del año (Fig. 1.3.1). Cabe resaltar un pequeño pico tardío de concentración media por encima de 0.01 g/L en noviembre.

2024 se inició con los valores medios mínimos del año anterior, con $0,0065 \pm 5e^{-04}$ g/L el 10 de enero, iniciándose a partir de ese momento un ascenso progresivo hasta alcanzar el máximo registrado en lo que va de año, el 5 de marzo, con $0,0161 \pm 2e^{-03}$ g/L. Desde entonces, la concentración media de materiales en suspensión ha presentado oscilaciones en torno a una media de 0,0126 g/L hasta finales de septiembre de 2024 (Fig. 2.3.1).

La concentración media de materiales en suspensión registrada durante el verano de 2024 ha sido 0,0046 g/L más alta que la de los veranos de 2022 y 2023 (Tabla 2.3.1 y Fig. 2.3.2), pero esta diferencia es lo suficientemente baja como para no suponer una alteración significativa en la transparencia de la columna de agua.

A escala local, durante la primera mitad de 2024 destaca el máximo de concentración registrado en la estación E14, en el centro de la cubeta sur, que alcanzó 0,04 g/L (Fig. 2.3.3). Además, se han registrado concentraciones de materiales en suspensión mayores a 0,03 g/L en distintas fechas en las estaciones E01, E5b, E12b y E15, frente a La Ribera, las ramblas de El Albuñón y la Carrasquilla y al sur de la isla del Barón junto a la Manga, respectivamente. Durante el verano de 2024, la concentración de materiales en suspensión se ha mantenido entre 0,01 y 0,02 g/L en todas las localidades (Fig. 2.3.4).

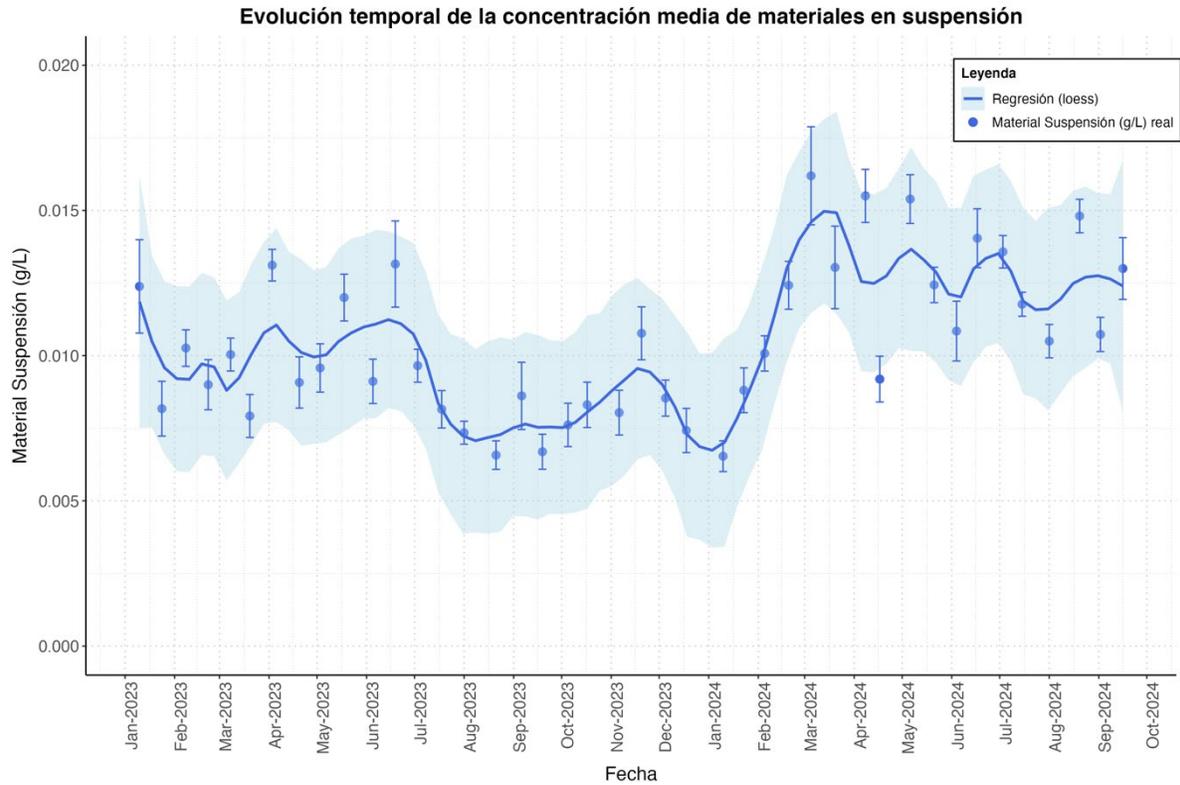


Figura 2.3.1. Evolución de la concentración de materiales en suspensión (g/L) en la columna de agua del Mar Menor desde 2023 hasta septiembre de 2024. Las líneas muestran el ajuste mediante el método loess ('local regression'), las barras el error estándar de los datos y el sombreado indica los intervalos (95%) de confianza.

Tabla 2.3.1. Concentración media y error estándar de la media mensual de los materiales en suspensión en agosto de los últimos 3 años.

	verano 2022	verano 2023	verano 2024
Material en Suspensión (g/L)	$0.0077 \pm 3e^{-04}$	$0.0078 \pm 3e^{-04}$	$0.0124 \pm 3e^{-04}$

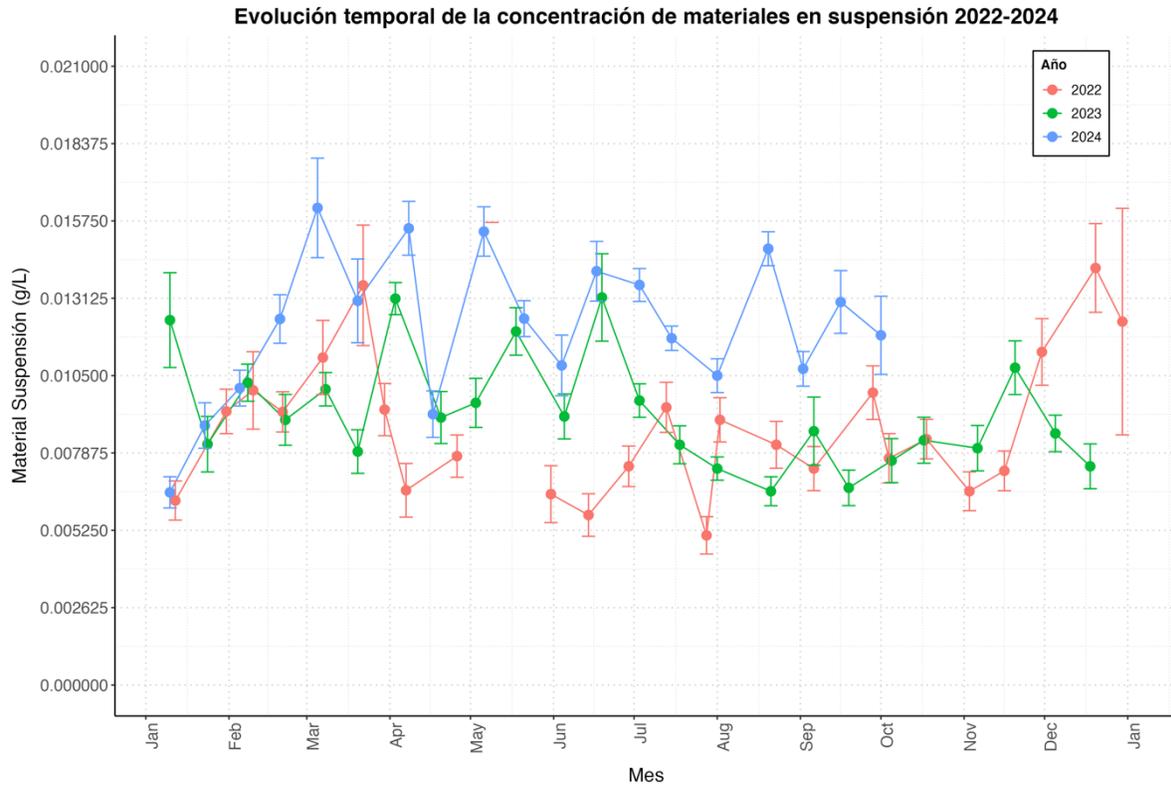


Figura 2.3.2. Concentración media de materiales en suspensión del agua del Mar Menor en los últimos 3 años.

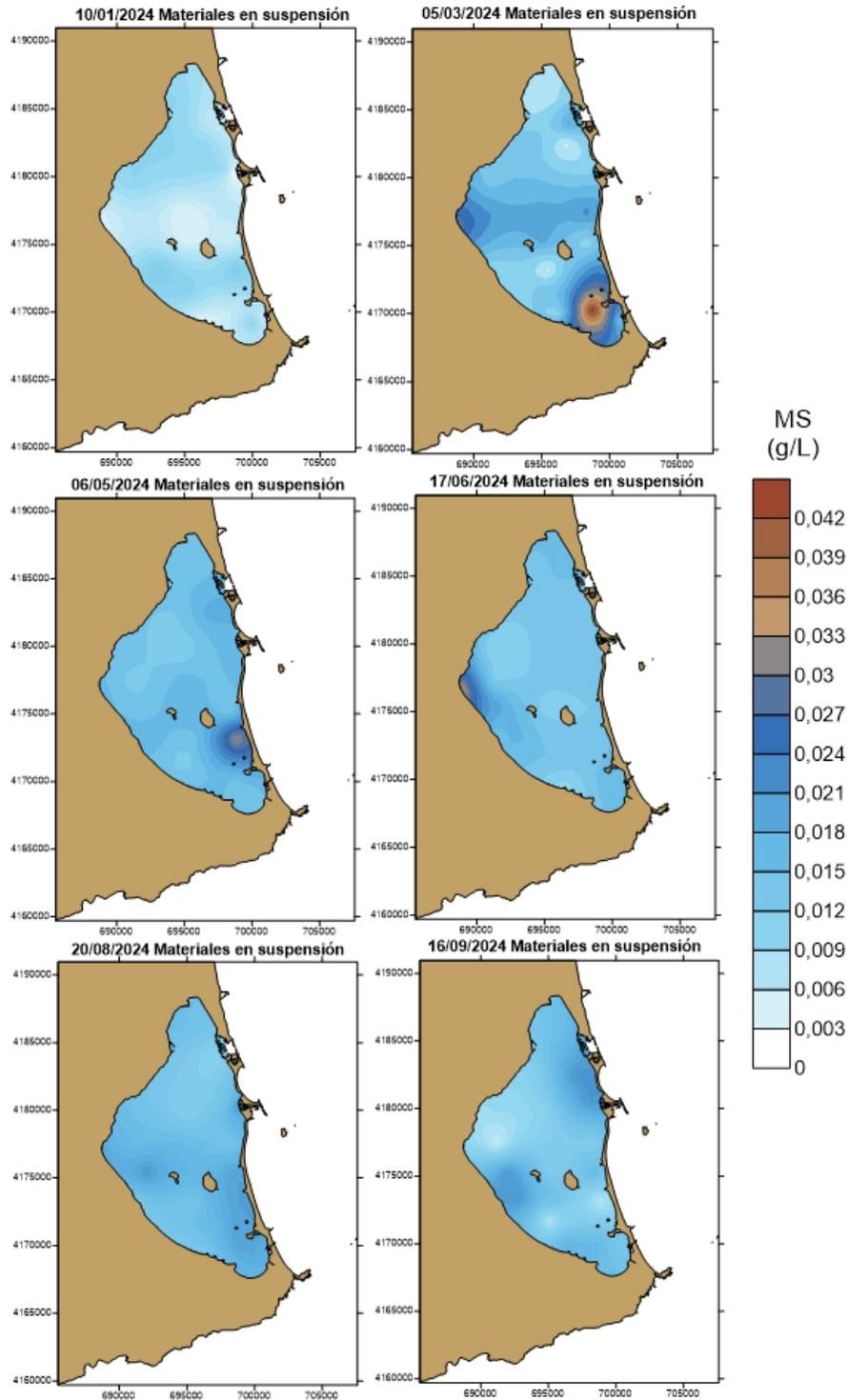


Figura 2.3.3. Evolución espacial de la concentración de materiales en suspensión (g/L) en el Mar Menor en 2024.

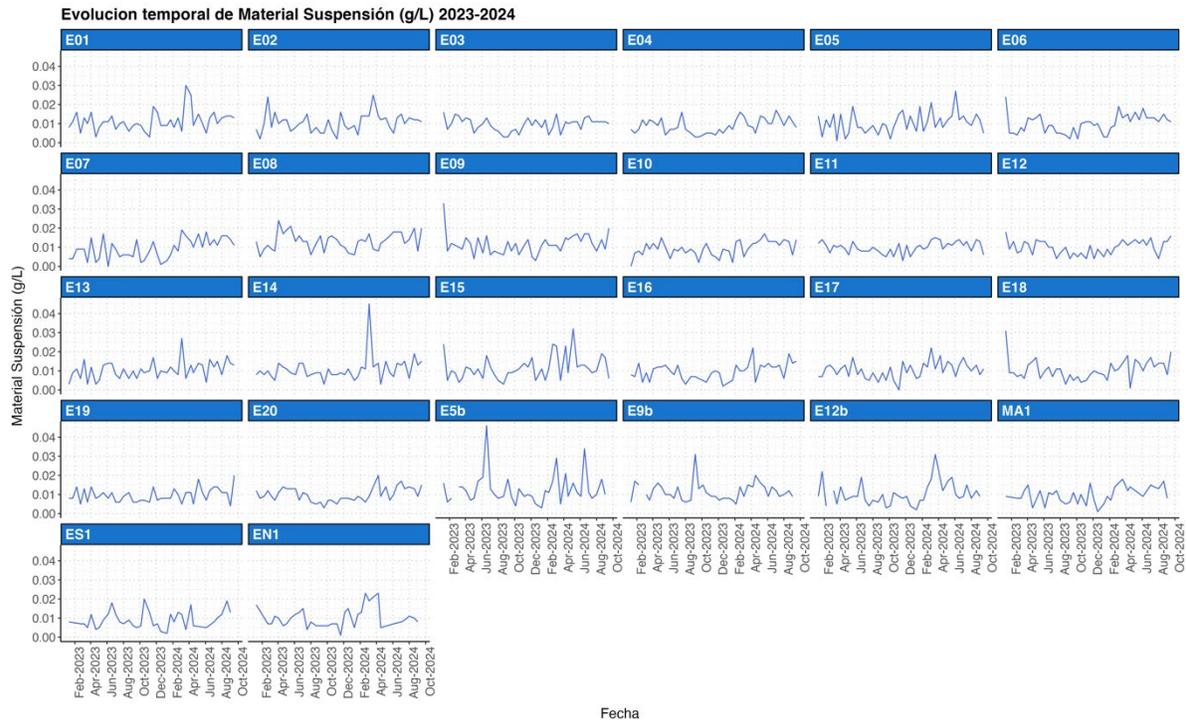


Figura 2.3.4. Evolución de la concentración de materiales en suspensión en los distintos puntos de muestreo del Mar Menor durante 2024.



3. Estado trófico: Nutrientes

La dependencia de los productores primarios, tanto planctónicos como bentónicos, de compuestos que contienen nitrógeno (N) (como nitrato (NO_3^-), amonio (NH_4^+) o nitrito (NO_2^-)), silicato (SiO_4^{4-}) y fosfatos (PO_4^{3-}) (Steele *et al.*, 2011), hace de estos nutrientes elementos clave de todo sistema de monitorización del estado trófico de los ecosistemas acuáticos.

El origen y la dinámica de entrada de cada tipo de nutriente puede ser diverso y estar determinado por la estacionalidad de las distintas actividades humanas que los producen y el régimen hidrológico y climático del sistema que favorece y vehiculiza su descarga a la laguna. Durante los más de 30 años que lleva activo el proceso de eutrofización en el Mar Menor la principal fuente de N ha sido las aguas de origen agrícola a través de vertidos de salmueras derivadas de la desalobración de las aguas subterráneas, muy concentradas en nitratos. Sin embargo, como se ha venido alertando en los informes de los últimos años, desde las restricciones a la extracción de aguas subterráneas, la desmantelación del salmuero y las prohibiciones al vertido de salmueras a los cauces, el nivel del freático en la cuenca lagunar ha ascendido rápidamente y ahora las descargas de agua dulce y nutrientes son más difusas y contienen también cada vez mayores concentraciones de fósforo (P), que suele ir vinculado a las aguas de origen urbano.

La dinámica de los nutrientes está determinada por los patrones de entrada, condicionados por el régimen de lluvias, los retardos introducidos por la recarga y flujos desde el freático, y la actividad biológica que determina la demanda y consumo o liberación de los mismos. Dicha dinámica tiene un patrón estacional, con una influencia importante de la temperatura, especialmente en los periodos en los que los días son más largos. En el caso del fósforo, se superpone un patrón estacional determinado por los periodos vacacionales y la mayor actividad urbana en primavera y verano.

Como ya se comentaba en informes anteriores, dicha dinámica responde a una combinación de factores que hace que algunos picos de lluvia no produzcan los mismos efectos que otros. En 2021, donde la primera entrada detectable de nutrientes ocurrió durante los meses de abril y mayo en la zona de influencia de la rambla de El Albuñón, esta descarga no desencadenó una proliferación masiva de fitoplancton presumiblemente debido al control *top-down* ejercido por los eslabones superiores de la red trófica, fundamentalmente por la medusa *Aurelia solida*, jugando estos organismos un papel importante en el mantenimiento de la transparencia de las aguas y regulando las proliferaciones de fitoplancton (Pérez-Ruzafa *et al.*, 2002; Fernández-Alías *et al.*, 2020). Igualmente, en 2023, aunque hubo floraciones algales de macrófitos en primavera, se observaron cuatro picos de entrada de nutrientes durante el año sin que ocurriera una proliferación masiva de fitoplancton, pudiendo suceder igual que en 2021 por la gran abundancia de las diferentes especies de medusas registradas durante todo el año.

A comienzos de 2023 se registraron los valores máximos de nitrato como consecuencia de la inercia en la entrada de aguas por las ramblas que mantenía el sistema tras las lluvias de 2022. La segunda

entrada especialmente importante de nutrientes, esta vez también de fosfato, tuvo lugar a mediados de mayo de 2023 principalmente a través de la rambla de El Albuji3n.

De manera general, los valores de los nutrientes analizados hasta septiembre de 2024 presentan una tendencia similar a los analizados para las mismas fechas en 2023, con valores medios m1s bajos. Sin embargo, en verano de 2024 ha habido un aumento de la concentraci3n de silicato con respecto al verano de 2023.

3.1. Nitratos

El nitrato es la forma de N dominante en la columna de agua durante la mayor parte del tiempo, solo sustituida por el amonio cuando las poblaciones de fitoplancton proliferan consumi3ndolo y las poblaciones de herb3voros comienzan a crecer a costa del fitoplancton produciendo compuestos de amonio.

Desde principio de a3os hasta final de septiembre de 2024 la concentraci3n media de nitrato en la laguna ha sido de $0,33 \pm 0,09 \mu\text{mol NO}_3^-/\text{L}$, notablemente m1s baja que para el mismo periodo de estudio de 2023 cuyo valor fue de $1,39 \pm 0,22 \mu\text{mol NO}_3^-/\text{L}$ (Fig. 3.1.1).

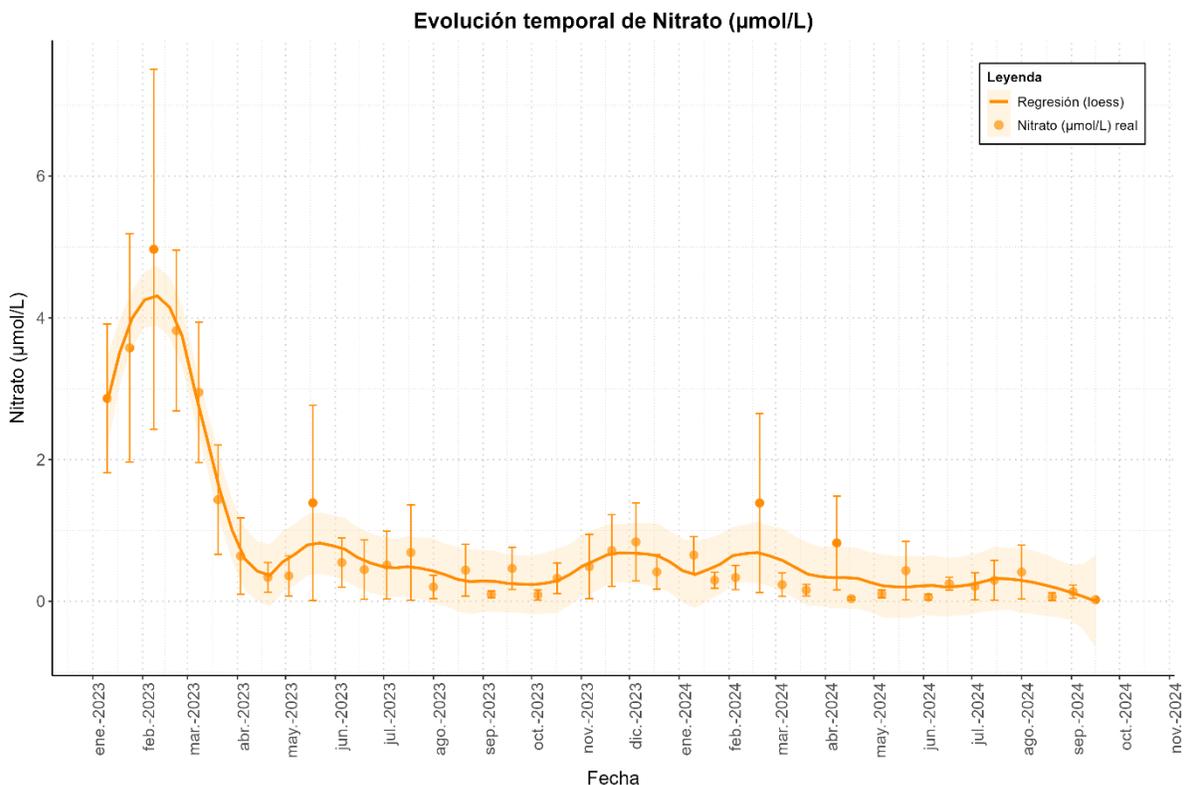


Figura 3.1.1. Concentraci3n promedio de nitrato ($\mu\text{mol NO}_3^-/\text{L}$) en la columna de agua del Mar Menor en las campa3as realizadas en 2023 y 2024. La barra indica el error est1ndar.



Durante el invierno de 2023, a principios de febrero, tuvo lugar un ligero aumento en la concentración media de nitratos, alcanzándose un pico de concentración media de $3,05 \pm 0,50 \mu\text{mol NO}_3^-/\text{L}$, con el valor más alto registrado durante este año de $57,18 \mu\text{mol NO}_3^-/\text{L}$ en la estación E09b, frente a Los Urrutias. En esta fecha también se alcanzaron concentraciones de nitratos de $19,18$ y $9,83 \mu\text{mol NO}_3^-/\text{L}$ en las estaciones E05b y E12b, frente a las ramblas de El Albuñón y la Carrasquilla, respectivamente. Con la llegada de la primavera, la concentración media se redujo hasta alcanzar valores inferiores a $1 \mu\text{mol NO}_3^-/\text{L}$. El 18 de mayo se registró una pequeña subida de concentración media hasta $1,44 \pm 0,01 \mu\text{mol NO}_3^-/\text{L}$ debido a un pico de concentración en la estación E05b, frente a la desembocadura de El Albuñón, con un valor local de $35,83 \mu\text{mol NO}_3^-/\text{L}$. Durante el verano de 2023, la concentración media de nitrato en la laguna ha sido inferior a los meses anteriores, oscilando sobre los $0,5 \mu\text{mol NO}_3^-/\text{L}$ debido principalmente a la entrada continuada de nitratos por la rambla de El Albuñón, con valores de $12,50$, $17,53$ y $9,50 \mu\text{mol NO}_3^-/\text{L}$ los días 3 y 18 de julio y el 21 de agosto de 2023, respectivamente, así como el 19 de septiembre con valores de $5,31 \mu\text{mol NO}_3^-/\text{L}$ en la estación E05b y $5,88 \mu\text{mol NO}_3^-/\text{L}$ en la estación E12b.

2024 se inició con concentraciones bajas de nitratos. En invierno, la concentración media dentro de la laguna fue de $0,51 \pm 0,22 \mu\text{mol NO}_3^-/\text{L}$, mucho menor que la concentración media registrada en invierno del 2023. Aunque los valores medidos en la columna de agua resultaran inferiores a los registrados el año anterior (Tabla 3.1.1) es importante resaltar que la entrada de este nutriente continúa siendo por la cuenca vertiente, principalmente a través de la rambla de El Albuñón y sus valores se mantienen por encima de $1 \mu\text{mol NO}_3^-/\text{L}$ frente a la desembocadura (estación E05b) durante prácticamente todo el periodo registrado de 2024. En dicha localidad, el 20 de febrero se registró el valor más alto de nitratos, que alcanzó $32,94 \mu\text{mol NO}_3^-/\text{L}$.

Tabla 3.1.1. Concentración de nitratos ($\mu\text{mol NO}_3^-/\text{L}$) en el Mar Menor durante las estaciones de 2023 y 2024.

Año	Estación	Media (s.e.)	Min.	Max.
2023	Invierno	3.05 ± 0.50	$3e^{-04}$	57.18
2023	Primavera	0.62 ± 0.27	$3e^{-03}$	35.83
2023	Verano	0.40 ± 0.16	$1e^{-04}$	17.53
2023	Otoño	0.48 ± 0.15	0	12.44
2024	Invierno	0.51 ± 0.22	$1e^{-03}$	32.94
2024	Primavera	0.28 ± 0.13	$1e^{-03}$	17.30
2024	Verano	0.19 ± 0.09	$7e^{-05}$	9.93

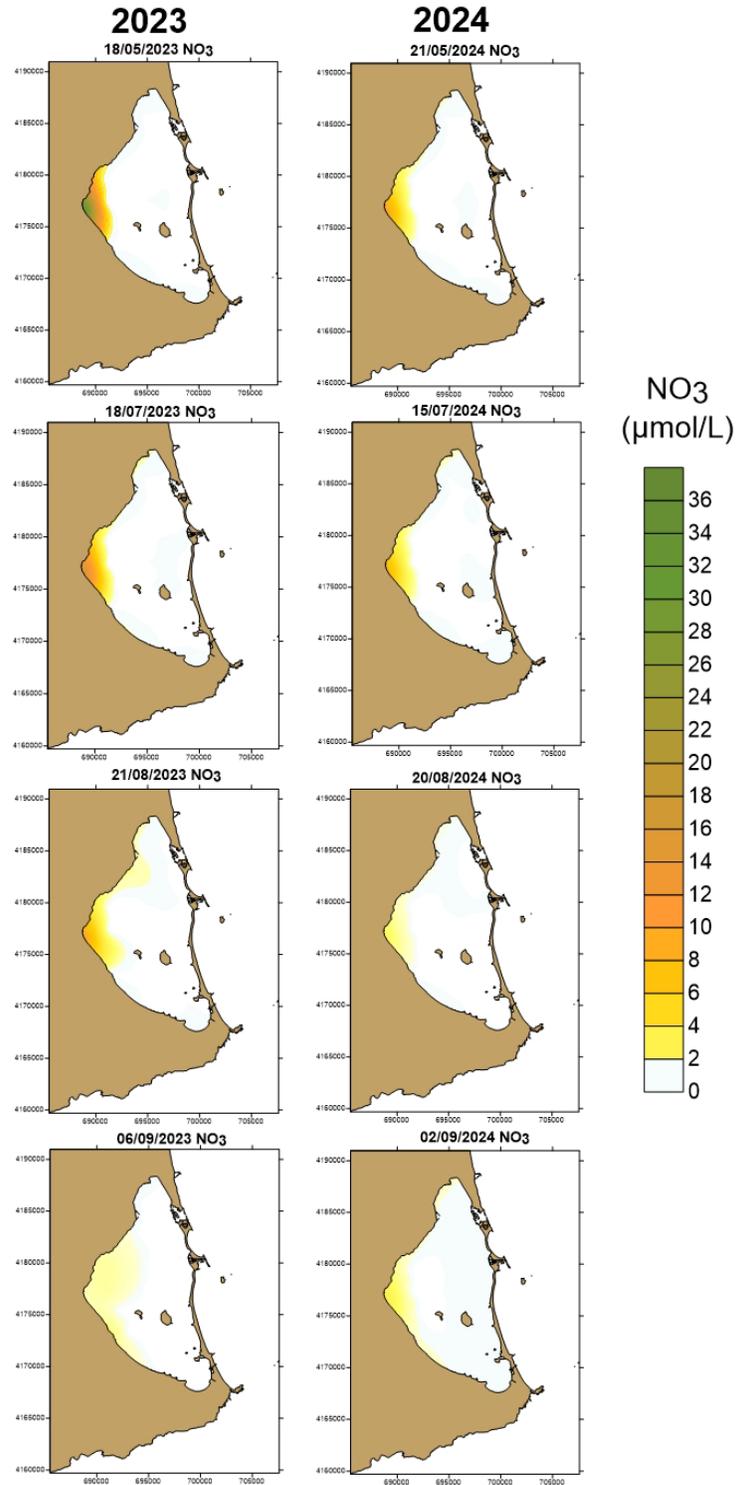


Figura 3.1.2. Evolución de la distribución espacial de las principales entradas de nitratos ($\mu\text{mol NO}_3^-/\text{L}$) en el Mar Menor en primavera y verano de 2023 (izquierda) y 2024 (derecha).



En la primavera de 2024, la concentración media continuó siendo inferior que la del mismo periodo de 2023, con valores de $0,28 \pm 0,13 \mu\text{mol NO}_3^-/\text{L}$ frente a los $0,62 \pm 0,27 \mu\text{mol NO}_3^-/\text{L}$, del año anterior. Entre marzo y junio se detectaron dos pulsos, el primero el 8 de abril y el segundo el 21 de mayo en la mencionada estación E05b frente a la rambla de El Albuñón, en los que se alcanzaron $17,30$ y $9,50 \mu\text{mol NO}_3^-/\text{L}$, respectivamente.

En verano de 2024 la concentración media de nitrato continuó con una tendencia descendente con respecto a 2023, con un valor medio de $0,19 \pm 0,09 \mu\text{mol NO}_3^-/\text{L}$ en 2024 frente a los $0,40 \pm 0,16 \mu\text{mol NO}_3^-/\text{L}$ que se alcanzaron en 2023. Nuevamente, debe resaltarse que, no obstante, se mantuvieron las entradas de nitratos por la rambla de El Albuñón, donde en la estación E05b se midieron valores de $7,31$ y $9,93 \mu\text{mol NO}_3^-/\text{L}$ los días 15 de julio y 1 de agosto de 2024, respectivamente (Fig. 3.1.2). A partir de la segunda mitad de agosto de 2024 la concentración media de nitrato en la laguna continuó disminuyendo por debajo de $0,15 \mu\text{mol NO}_3^-/\text{L}$, con valores también más bajos frente a la rambla de El Albuñón donde los datos más altos en los días 20 de agosto y 2 de septiembre fueron $1,42$ y $2,43 \mu\text{mol NO}_3^-/\text{L}$, respectivamente.

3.2. Nitritos

De la misma manera que ha ocurrido con el nitrato, la concentración media de nitritos en la laguna desde principio de año hasta septiembre de 2024 ha sido menor que para el mismo periodo de 2023, siendo estos valores $0,06 \pm 3e^{-03}$ y $0,08 \pm 6e^{-03} \mu\text{mol NO}_2^-/\text{L}$, respectivamente (Fig. 3.2.1). La dinámica estacional ha sido semejante a la mostrada por el nitrato, con los valores más altos en invierno ($0,1 \mu\text{mol NO}_2^-/\text{L}$ tanto para 2023 como para 2024) y más bajos en primavera ($0,08 \pm 0,01 \mu\text{mol NO}_2^-/\text{L}$ en 2023 y $0,04 \pm 3e^{-03} \mu\text{mol NO}_2^-/\text{L}$ en 2024) y en verano ($0,05 \pm 0,01 \mu\text{mol NO}_2^-/\text{L}$ tanto en 2023 como en 2024) (Tabla 3.2.1).

Tabla 3.2.1. Concentración de nitritos ($\mu\text{mol NO}_2^-/\text{L}$) en el Mar Menor durante las estaciones de 2023 y 2024.

Año	Estación	Media (s.e.)	Min.	Max.
2023	Invierno	0.10 ± 0.01	$2e^{-03}$	0.63
2023	Primavera	0.08 ± 0.01	0	1.47
2023	Verano	0.05 ± 0.01	0	0.84
2023	Otoño	$0.04 \pm 4e^{-03}$	$5e^{-04}$	0.41
2024	Invierno	$0.10 \pm 4e^{-03}$	$1e^{-03}$	0.28
2024	Primavera	$0.04 \pm 3e^{-03}$	0	0.23
2024	Verano	0.05 ± 0.01	$4e^{-03}$	0.4

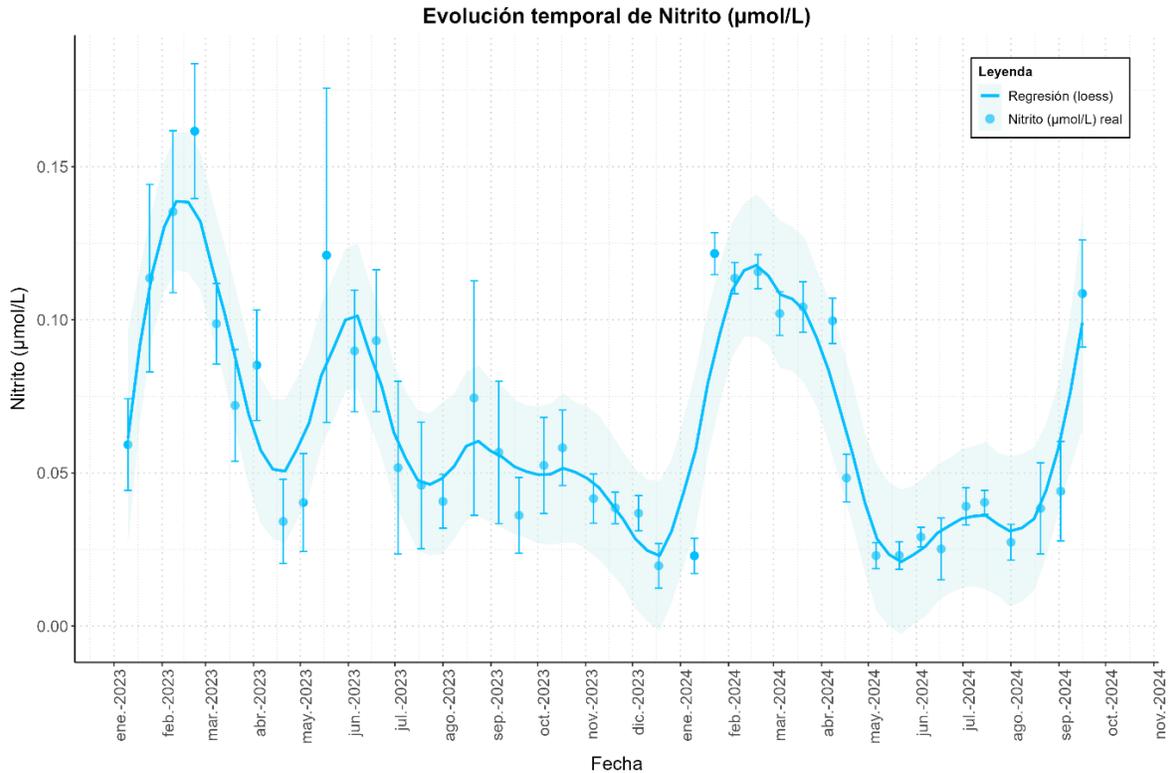


Figura 3.2.1. Evolución temporal de la concentración media de nitritos ($\mu\text{mol NO}_2^-/\text{L}$) en las campañas realizadas en el Mar Menor entre 2023 y 2024. La barra de error indica el error estándar.

2024 comenzó con un aumento brusco de la concentración media de nitritos en toda la laguna con respecto al otoño y el final de año de 2023, superando los $0,1 \mu\text{mol NO}_2^-/\text{L}$. Este pico se mantuvo hasta inicios de abril. En los meses de invierno, se observaron diversos picos locales de nitrito. El 23 de enero, en las estaciones E05b y E09b frente a la rambla de El Albuñón y frente a Los Urrutias se registraron valores de $0,25$ y $0,19 \mu\text{mol NO}_2^-/\text{L}$, respectivamente. El 5 de marzo se detectaron valores por encima de $0,2 \mu\text{mol NO}_2^-/\text{L}$ en E08 y E09b, y de $1,8 \mu\text{mol NO}_2^-/\text{L}$ en E05b. El 20 de marzo se alcanzaron $0,28 \mu\text{mol NO}_2^-/\text{L}$, nuevamente en la estación E05b frente a la rambla de El Albuñón.

En primavera, a principios de abril, la concentración media de la laguna comenzó a disminuir, oscilando finalmente alrededor de los $0,025 \mu\text{mol NO}_2^-/\text{L}$, detectándose un valor puntual alto de $0,23 \mu\text{mol NO}_2^-/\text{L}$ en la estación E05b el día 17 de junio.

En verano de 2024 la concentración media de nitritos aumentó levemente con respecto a la primavera. Este aumento es debido principalmente a los valores de las estaciones E05b y E08 que registraron concentraciones por encima de $0,1 \mu\text{mol NO}_2^-/\text{L}$ en los meses de julio y agosto, marcando el valor más alto para el periodo de estudio de 2024 el día 20 de agosto en la estación E05b con $0,40 \mu\text{mol NO}_2^-/\text{L}$ (Fig. 3.2.4). El 16 de septiembre se registró nuevamente una concentración media de

nitritos en la laguna por encima de $0,1 \mu\text{mol NO}_2^-/\text{L}$, con los valores más altos en la cubeta sur, alcanzando $0,20$, $0,24$, $0,23$ y $0,27 \mu\text{mol NO}_2^-/\text{L}$ en las estaciones E12, E13, E14 y E15, respectivamente.

Como se ha comentado anteriormente, los valores más altos de nitratos y nitritos en la laguna tienen lugar, al igual que en años anteriores, en las estaciones más cercanas a la ribera interna que se encuentran mucho más influenciadas por las descargas de la cuenca vertiente y por los afloramientos someros del acuífero (Figs. 2.2.2 y 2.2.3).

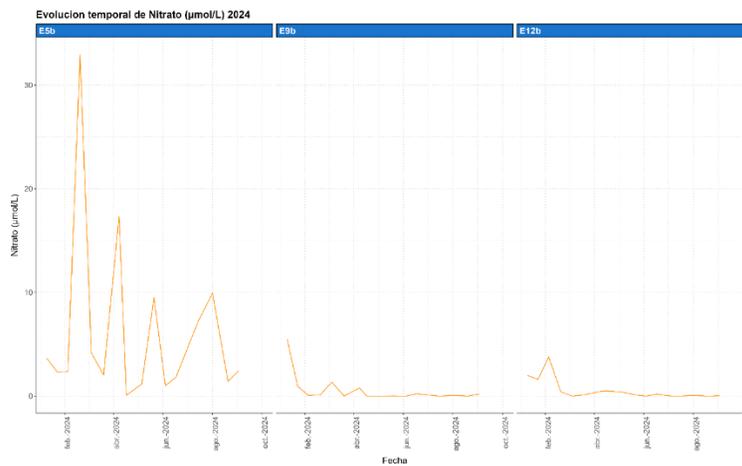


Figura 3.2.2. Evolución temporal de la concentración de nitratos ($\mu\text{mol NO}_3^-/\text{L}$) en el Mar Menor en 2024, en las estaciones E05b, E09b y E12b.

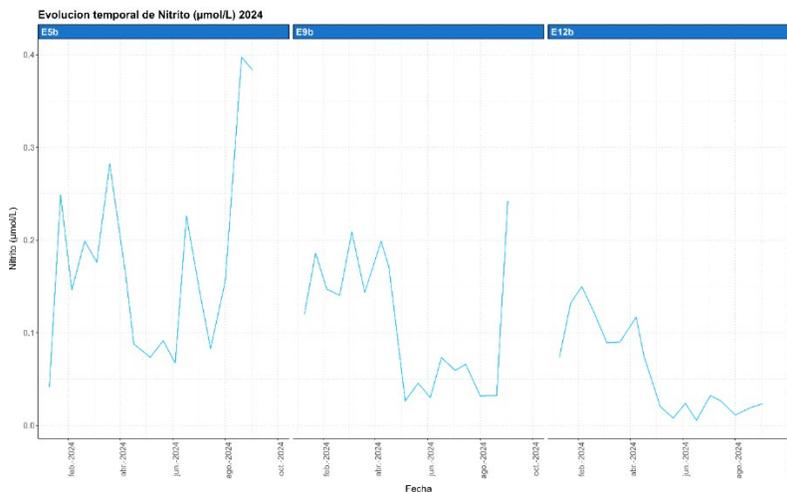


Figura 3.2.3. Evolución temporal de la concentración de nitritos ($\mu\text{mol NO}_2^-/\text{L}$) en el Mar Menor en 2024, en las estaciones E05b, E09b y E12b.

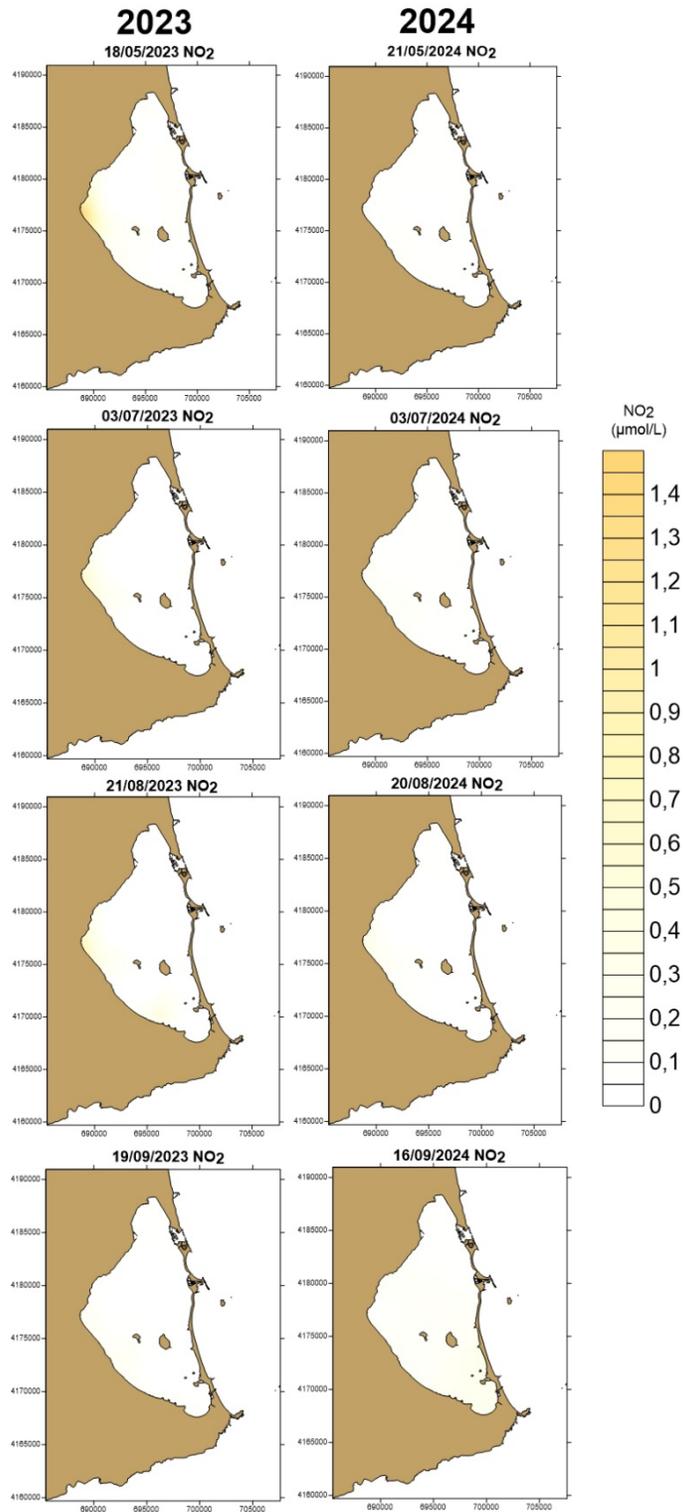


Figura 3.2.4. Evolución de la distribución espacial de las principales entradas de nitritos ($\mu\text{mol NO}_2/\text{L}$) en el Mar Menor en primavera y verano de 2023 (izquierda) y 2024 (derecha).



3.3. *Amonio*

La dinámica del amonio se ha mantenido en 2024 como en los últimos años, pero con concentraciones más bajas. Por un lado, la concentración media en la columna de agua desde principio de año hasta septiembre de 2024 es sensiblemente menor que en 2023 en el mismo periodo, con un valor de $0,21 \pm 0,01 \mu\text{mol NH}_4^+/\text{L}$ frente a los $0,55 \pm 0,04 \mu\text{mol NH}_4^+/\text{L}$ del año anterior. La dinámica estacional mantiene el mismo patrón, con la concentración media de la laguna ligeramente superior en invierno que en primavera ($0,28 \pm 0,02$ y $0,18 \pm 0,02 \mu\text{mol NH}_4^+/\text{L}$, respectivamente) y con los valores más bajos en verano ($0,27 \pm 0,05 \mu\text{mol NH}_4^+/\text{L}$ en 2023 y $0,17 \pm 0,03 \mu\text{mol NH}_4^+/\text{L}$ en 2024) (Tabla 3.3.1).

En invierno, el valor medio más alto en la laguna tuvo lugar el 20 de febrero ($0,6 \pm 0,04 \mu\text{mol NH}_4^+/\text{L}$), con las concentraciones más altas en las estaciones E05b (frente a El Albuñón), E09b y E09 (ambas frente a Los Urrutias) ($1,35$, 1 y $0,92 \mu\text{mol NH}_4^+/\text{L}$, respectivamente) (Fig. 2.3.3). Durante los dos meses siguientes, las concentraciones medias de la laguna se mantuvieron entre $0,2$ y $0,3 \mu\text{mol NH}_4^+/\text{L}$, alcanzándose el mínimo el 6 de mayo ($0,04 \pm 0,04 \mu\text{mol NH}_4^+/\text{L}$), a pesar del máximo local de $0,93 \mu\text{mol NH}_4^+/\text{L}$ alcanzado en la estación E05b, frente a la rambla de El Albuñón.

En primavera, los valores medios de la laguna fueron de $0,18 \pm 0,02 \mu\text{mol NH}_4^+/\text{L}$, aunque con valores locales altos nuevamente en la estación E05b que el 4 de abril alcanzaron $1,40 \mu\text{mol NH}_4^+/\text{L}$.

En verano de 2024 la concentración media de amonio continuó bajando levemente, mostrando valores inferiores a los $0,2 \mu\text{mol NH}_4^+/\text{L}$ hasta agosto, aunque encontrándose valores altos aislados de nuevo en la estación E05b ($1,40 \mu\text{mol NH}_4^+/\text{L}$ el 4 de junio y $2,69 \mu\text{mol NH}_4^+/\text{L}$ el 21 de agosto y el 2 de septiembre). La estación E09b, frente a Los Urrutias, también mantuvo valores relativos altos con $1,01 \mu\text{mol NH}_4^+/\text{L}$ a final de agosto. Ya en septiembre, el día 16 la concentración media de la laguna aumentó con respecto a los meses anteriores, alcanzando un valor global de $0,27 \pm 0,05 \mu\text{mol NH}_4^+/\text{L}$, ocurriendo los valores más altos en las estaciones E01, frente a La Ribera, y E09, frente a Los Urrutias, con $0,93$ y $0,53 \mu\text{mol NH}_4^+/\text{L}$, respectivamente.

La distribución espacial del amonio en la laguna es semejante a la del nitrato y nitrito, ocurriendo los valores más altos en las estaciones más cercanas a la ribera interna que se encuentra bajo la influencia de las descargas de la cuenca vertiente y los afloramientos ribereños del acuífero (Fig. 3.3.2).

Tabla 3.3.1. Estadísticas de las concentraciones de amonio ($\mu\text{mol NH}_4^+/\text{L}$) en el Mar Menor en las diferentes estaciones del año 2023 y 2024.

Año	Estación	Media (s.e.)	Min.	Max.
2023	Invierno	0.98 ± 0.09	0.06	9.39
2023	Primavera	0.46 ± 0.06	4e ⁻⁰³	7.00
2023	Verano	0.27 ± 0.05	3e ⁻⁰³	4.46
2023	Otoño	0.16 ± 0.02	4e ⁻⁰³	1.70
2024	Invierno	0.28 ± 0.02	4e ⁻⁰³	1.35
2024	Primavera	0.18 ± 0.02	3e ⁻⁰⁴	1.4
2024	Verano	0.17 ± 0.03	5e ⁻⁰⁴	2.69

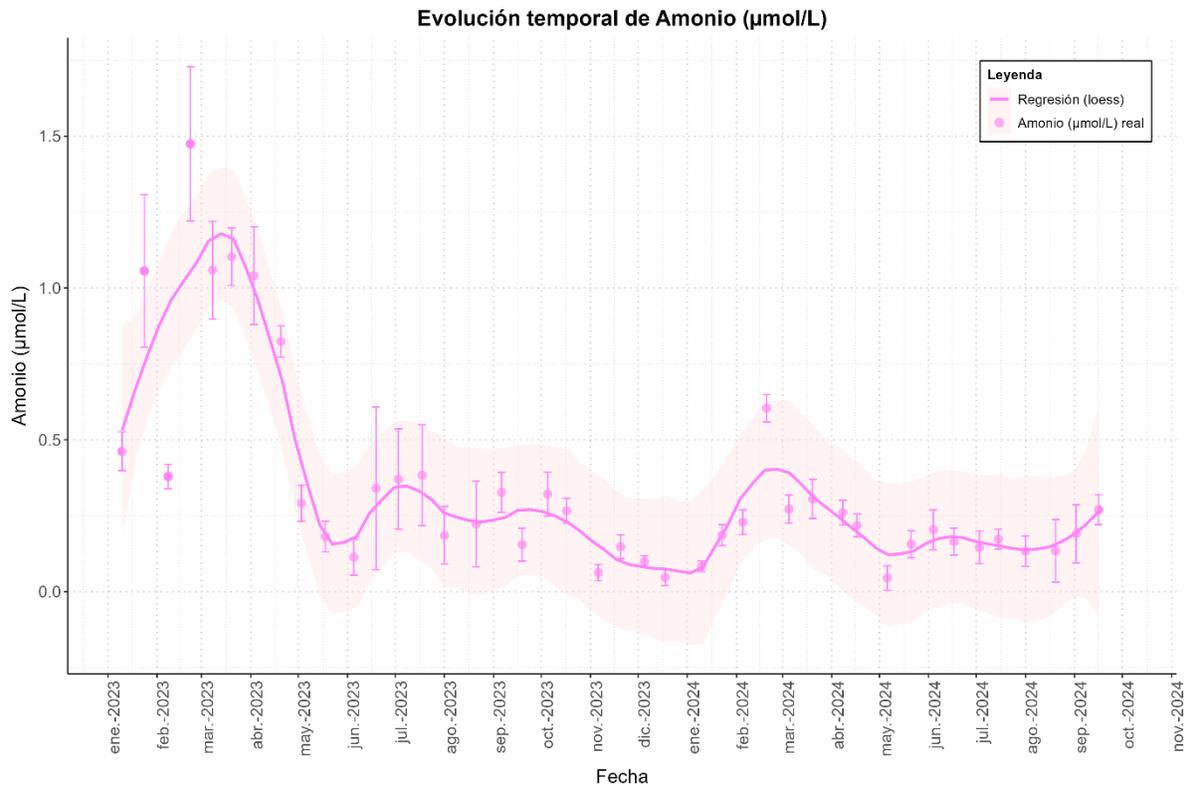


Figura 3.3.1. Evolución temporal de la concentración media de amonio ($\mu\text{mol NH}_4^+/\text{L}$) en el Mar Menor entre 2023 y 2024. La barra de error indica el error estándar.

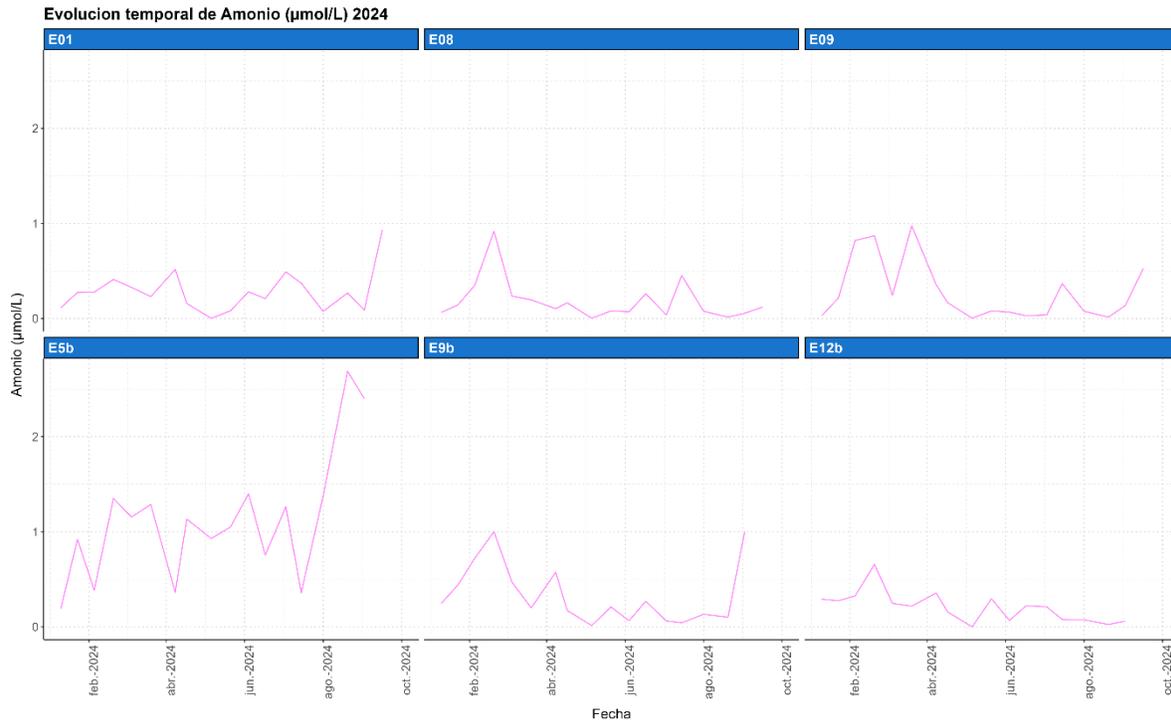


Figura 3.3.2. Evolución temporal de la concentración de amonio ($\mu\text{mol NH}_4^+/\text{L}$) en el Mar Menor en las estaciones costeras de la ribera interna del Mar Menor en 2024.

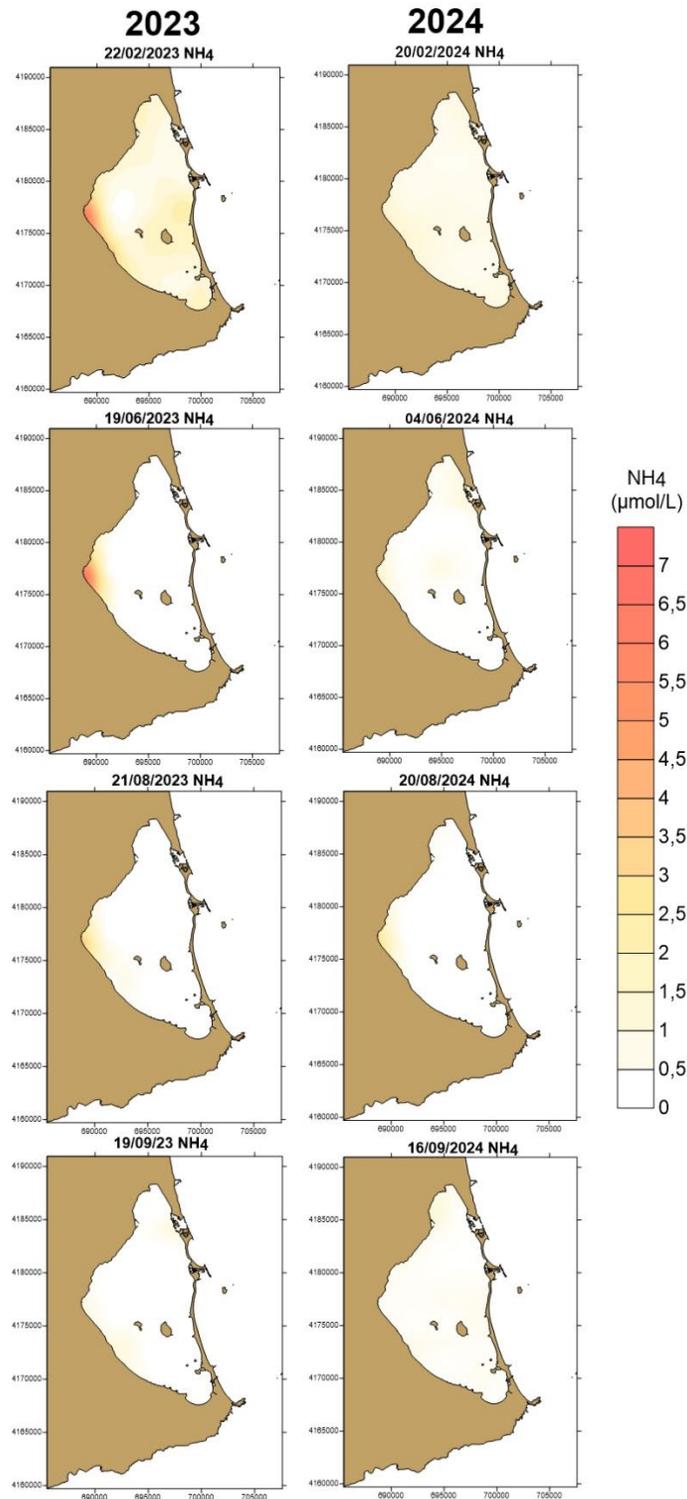


Figura 3.3.3. Evolución de la distribución espacial de las principales entradas de amonio ($\mu\text{mol NH}_4^+/\text{L}$) en el Mar Menor en 2023 (izquierda) y 2024 (derecha).

3.4. Fosfatos

La concentración media anual de fosfato en 2024 muestra una tendencia descendente. La concentración media en la laguna desde enero hasta septiembre de 2024 ha sido de $0,06 \pm 3e^{-03} \mu\text{mol PO}_4^{3-}/\text{L}$, más baja que los $0,10 \pm 4e^{-03} \mu\text{mol PO}_4^{3-}/\text{L}$ en el mismo periodo de 2023, ambos periodos mostrando un pico alto en agosto (Fig. 3.4.1).

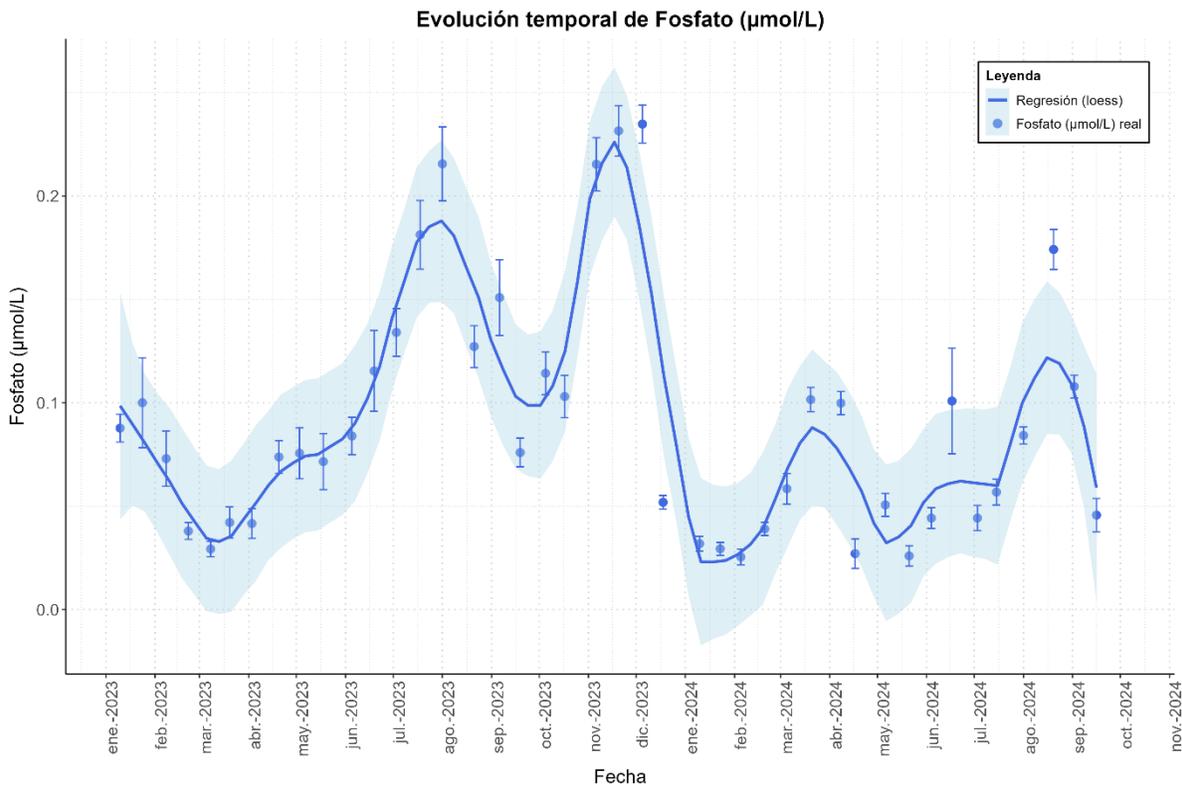


Figura 3.4.1. Evolución temporal de la concentración media de fosfato ($\mu\text{mol PO}_4^{3-}/\text{L}$) en el mar Menor en 2023 y 2024. Las barras de error indican el error estándar.

Las concentraciones medias más bajas en 2024 se registraron a primeros de año, con valores por debajo de $0,05 \mu\text{mol PO}_4^{3-}/\text{L}$, tras un descenso brusco en noviembre y diciembre de 2023 cuando se alcanzaron $0,23 \mu\text{mol PO}_4^{3-}/\text{L}$.

A principios de primavera se produjo un ascenso brusco en la concentración de fosfato con valores medios para la laguna de $0,1 \pm 0,01 \mu\text{mol PO}_4^{3-}/\text{L}$ los días 20 de marzo y 8 de abril, coincidiendo con las fechas previas y durante la Semana Santa. Tras un nuevo descenso, el 17 de junio se alcanzó de nuevo un valor medio de $0,1 \pm 0,02 \mu\text{mol PO}_4^{3-}/\text{L}$, con valores particularmente altos en la estación



E05b ($0,64 \mu\text{mol PO}_4^{3-}/\text{L}$) (Fig. 3.4.2). Ya en verano, la concentración media sobrepasa los $0,05 \mu\text{mol PO}_4^{3-}/\text{L}$, aumentando a $0,08 \pm 4e^{-03} \mu\text{mol PO}_4^{3-}/\text{L}$ a principios de agosto y a $0,17 \pm 0,01 \mu\text{mol PO}_4^{3-}/\text{L}$ a finales de dicho mes (presentando un aumento generalizado en toda la laguna), y manteniéndose por encima de $0,1 \mu\text{mol PO}_4^{3-}/\text{L}$ hasta mediados de septiembre.

Tabla 3.4.1 Concentraciones de fosfato ($\mu\text{mol PO}_4^{3-}/\text{L}$) en el Mar Menor en las diferentes estaciones en 2023 y 2024.

Año	Estación	Media (s.e.)	Min.	Max.
2023	Invierno	$0.07 \pm 4e^{-03}$	0.01	0.47
2023	Primavera	$0.08 \pm 5e^{-03}$	0.01	0.57
2023	Verano	0.15 ± 0.01	0.04	0.53
2023	Otoño	0.18 ± 0.01	0.03	0.39
2024	Invierno	$0.05 \pm 3e^{-03}$	$1e^{-03}$	0.19
2024	Primavera	$0.06 \pm 5e^{-03}$	$9e^{-04}$	0.64
2024	Verano	0.09 ± 0.01	0.01	0.3

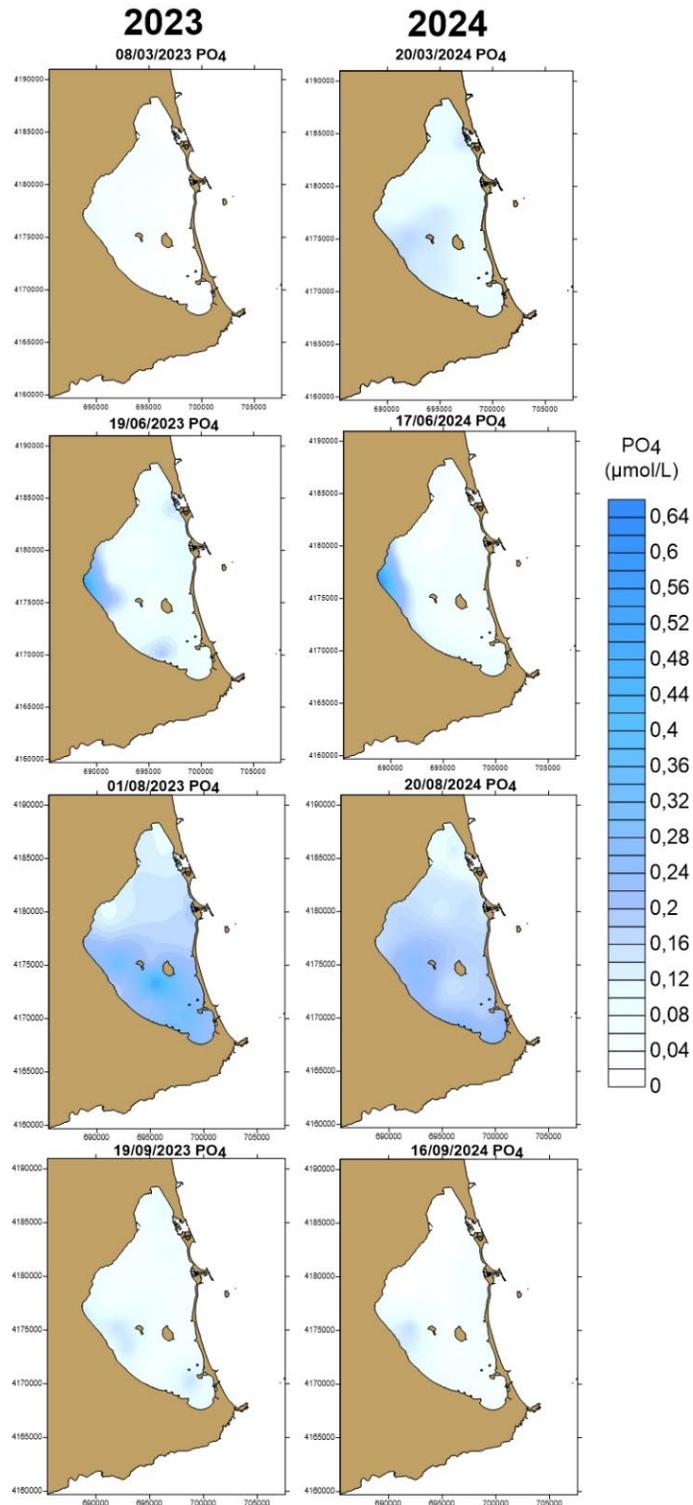


Figura 3.4.2. Evolución de la distribución espacial de las concentraciones de fosfato ($\mu\text{mol PO}_4^{3-}/\text{L}$) en el Mar Menor en 2023 (izquierda) y 2024 (derecha).

3.5. *Silicato*

El silicato (SiO_4^{4-}) es utilizado por las diatomeas para construir su pared celular, por lo que puede actuar como factor limitante en determinados momentos si su disponibilidad es escasa, estando su mayor concentración también ligada a la muerte y degradación de estos organismos y sus valvas. De este modo, su incremento puede ser un indicador del descenso de las poblaciones y, al mismo tiempo, un estímulo para una nueva proliferación del fitoplancton, de modo que su disminución iría, entonces, asociada a su absorción por parte de las células para construir caparzones en los momentos de proliferación. Su concentración en la laguna tradicionalmente aumenta en el periodo de mayo a septiembre (Gilabert, 2001).

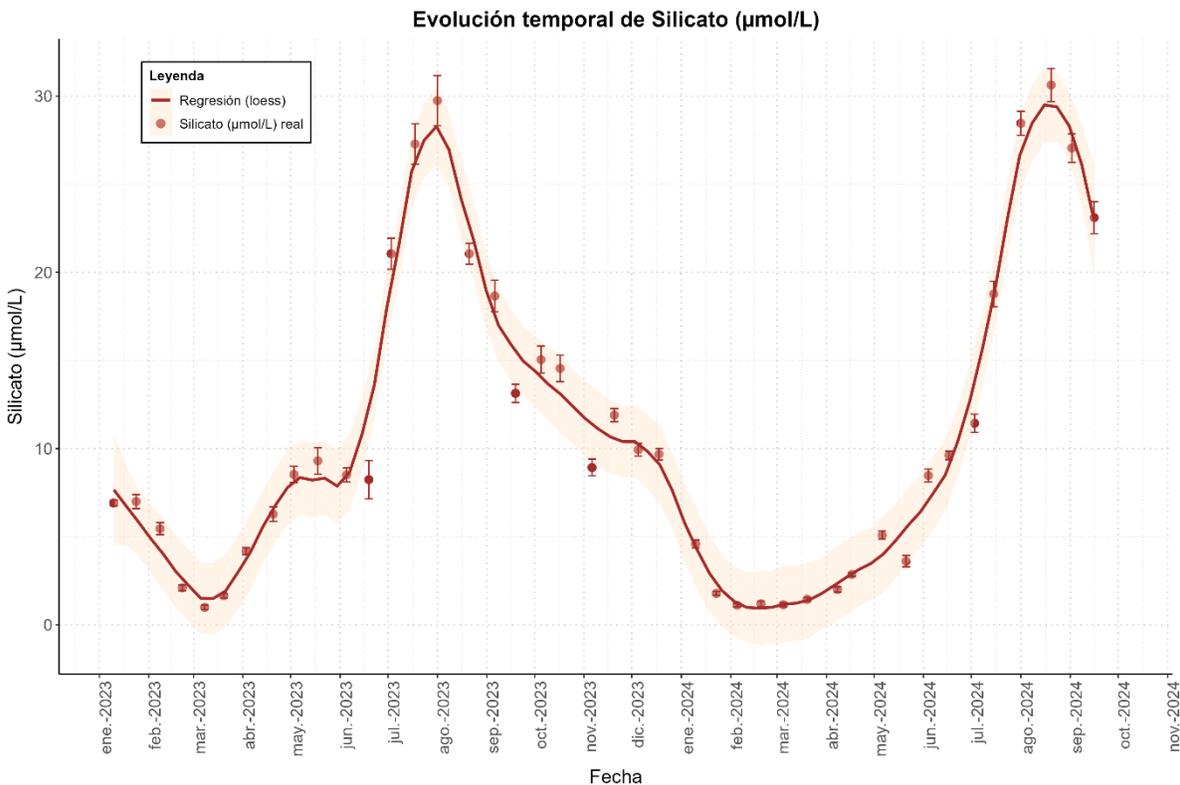


Figura 3.5.1. Evolución temporal de la concentración media de silicato ($\mu\text{mol SiO}_4^{4-}/\text{L}$) en el Mar Menor en 2023 y 2024. La barra de error indica el error estándar.

En 2023, la concentración media de silicato en la laguna fue de las más elevadas de los últimos 5 años, con un valor de $11,27 \pm 0,33 \mu\text{mol SiO}_4^{4-}/\text{L}$ (aunque con máximos más bajos que en los años previos), siguiendo un patrón estacional muy semejante en todos ellos. En 2024, el valor



medio del periodo entre enero y finales de septiembre ha sido de $10,04 \pm 0,50 \mu\text{mol SiO}_4^{4-}/\text{L}$, algo más bajo que para el mismo periodo de 2023 en el que fue de $11,18 \pm 0,43 \mu\text{mol SiO}_4^{4-}/\text{L}$.

En este mismo año de 2024 los valores medios más bajos en la laguna se registraron en invierno ($1,88 \pm 0,11 \mu\text{mol SiO}_4^{4-}/\text{L}$), aumentando durante la primavera en la que el valor medio fue de $5,22 \pm 0,26 \mu\text{mol SiO}_4^{4-}/\text{L}$. En verano se alcanzó un valor medio en la laguna de $23,25 \pm 0,63 \mu\text{mol SiO}_4^{4-}/\text{L}$, un valor incluso más alto que en 2023 (Tabla 3.5.1). La concentración media mensual más alta tuvo lugar en agosto ($30,63 \pm 0,94 \mu\text{mol SiO}_4^{4-}/\text{L}$) y el valor máximo local tuvo lugar en la estación E13 con un valor de $38,52 \mu\text{mol SiO}_4^{4-}/\text{L}$. Este valor es ligeramente más bajo que el segundo máximo alcanzado en la laguna en 2023, que se produjo en la misma localidad el 1 de agosto con $40,36 \mu\text{mol SiO}_4^{4-}/\text{L}$ (Fig. 3.5.2). A partir de aquí, en septiembre comienza una leve disminución de la concentración media de silicato en la laguna hasta alcanzar un valor de $23,10 \pm 0,90 \mu\text{mol SiO}_4^{4-}/\text{L}$ el 16 de septiembre.

Tabla 3.5.1. Concentración de silicato ($\mu\text{mol SiO}_4^{4-}/\text{L}$) en el Mar Menor en las diferentes estaciones de 2023 y 2024.

Año	Estación	Media (s.e.)	Min.	Max.
2023	Invierno	4.10 ± 0.20	0.32	9.96
2023	Primavera	7.51 ± 0.29	0.32	25.40
2023	Verano	21.84 ± 0.59	4.62	42.48
2023	Otoño	11.67 ± 0.29	3.62	20.50
2024	Invierno	1.88 ± 0.11	0.29	6.51
2024	Primavera	5.22 ± 0.26	0.63	12.66
2024	Verano	23.25 ± 0.63	5.75	38.52

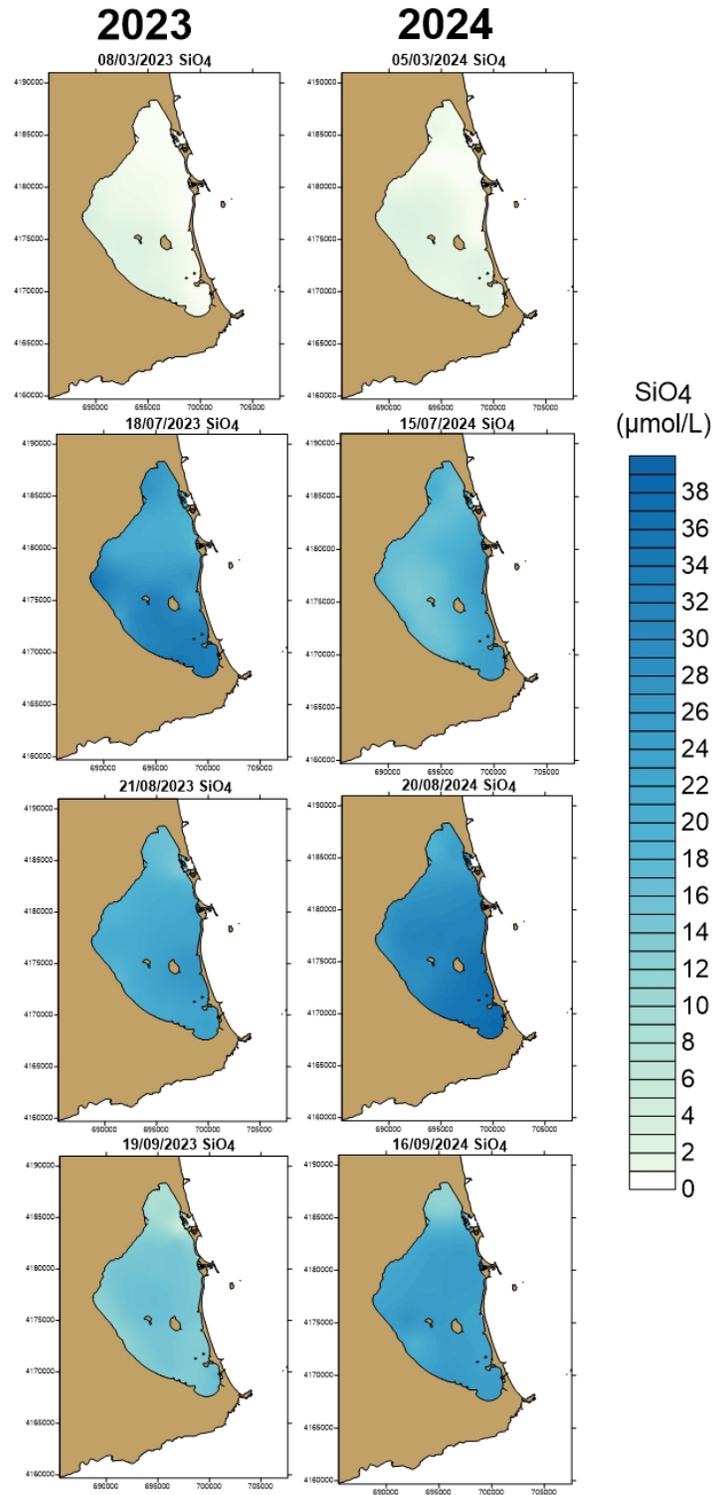


Figura 3.5.2. Evolución de la distribución espacial de la concentración de silicato ($\mu\text{mol/L SiO}_4^{4-}$) en el Mar Menor en 2023 (izquierda) y 2024 (derecha).

3.6. *Relación de Redfield*

La razón de Redfield indica la relación elemental carbono:nitrógeno:fósforo encontrada en la composición corporal de los productores primarios. Por ello, la relación N/P presente en la columna de agua puede ser utilizada como un indicador de la disponibilidad relativa de nutrientes de cara a su máximo aprovechamiento por el fitoplancton y a su proliferación (Redfield, 1958). El valor considerado estándar de dicha relación en el caso del fitoplancton es 16 y valores más altos o bajos determinarían el nutriente limitante del crecimiento fitoplanctónico en cada momento. Un valor de la relación N/P mayor de 16 indica que el crecimiento vegetal estaría limitado por el fósforo, mientras que un valor menor a 16 indica que el nutriente limitante es el nitrógeno. La relación N/P se calcula como DIN/PO_4^{3-} , siendo DIN el sumatorio de NO_3^- , NO_2^- y NH_4^+ .

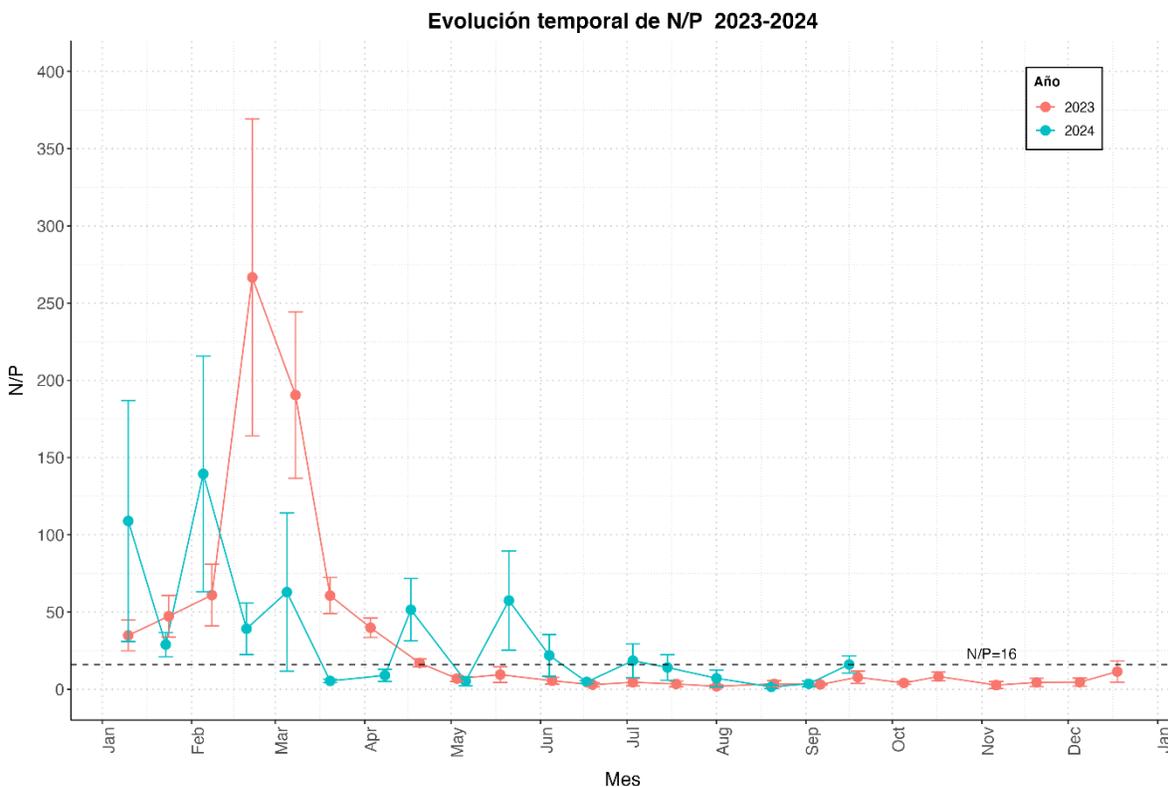


Figura 3.6.1. Evolución temporal de la ratio N/P en el Mar Menor durante 2023 y 2024. Las barras de error representan el error estándar. La línea negra punteada indica el valor considerado estándar de la ratio N/P.

En 2023, las distintas entradas de nitrógeno en la laguna, tanto en invierno como a principios de primavera, hicieron que la ratio de N/P fuera superior a 16, siendo el fósforo el nutriente limitante. Durante la segunda mitad de la primavera y el verano, este indicador comenzó a disminuir

colocándose en valores inferiores a 16 lo que implicó un rápido consumo de N a pesar de que se mantenían las entradas de nitrato desde la cuenca vertiente.

2024 comenzó con una dinámica similar para este indicador, siendo el valor de la ratio N/P bastante superior a 16 (Fig. 3.6.1). Sin embargo, a final del invierno y hasta el final de la primavera, comenzó una oscilación alrededor del valor N/P de 16 debido a varios pulsos de entrada de fosfatos, haciendo que el nutriente limitante fuera el nitrógeno en estos casos (Fig. 3.6.2). A partir de julio de 2024 la ratio N/P se situó por debajo de 16 hasta final de septiembre debido a un incremento en la concentración de fosfato de forma generalizada en prácticamente toda la laguna y al descenso de las entradas de nitrato desde la cuenca vertiente.

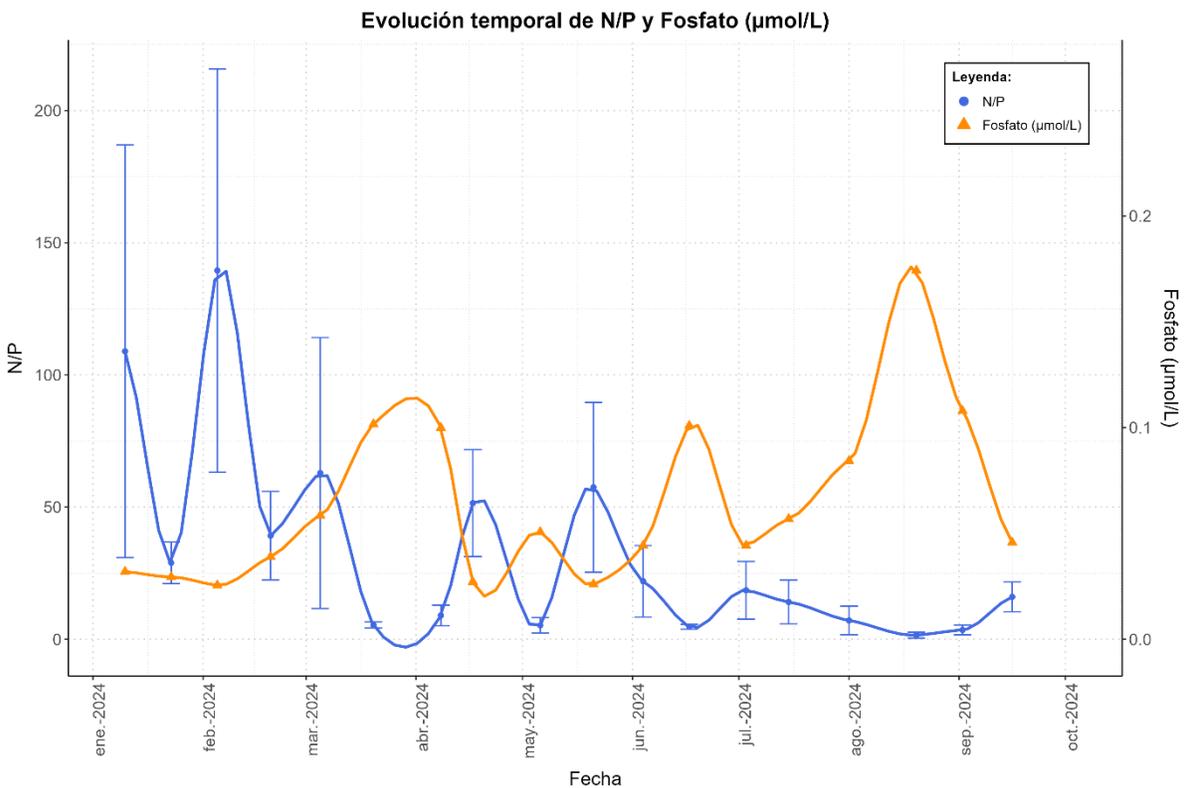


Figura 3.6.2. Evolución temporal de la comparativa de la ratio N/P y fósforo en el Mar Menor en 2024.



4. Estado trófico y calidad del agua

4.1. *Clorofila a*

Durante el año 2023, la concentración media de clorofila *a* en la capa superficial de la columna de agua se mantuvo entre 0,5 y 2 $\mu\text{g/L}$ (Fig. 4.1.1), salvo a principios de agosto, cuando se registró un aumento llegando hasta los 2,87 $\mu\text{g/L}$ de concentración media. Este pico se debió a los altos valores observados en las estaciones E04, E08, E09 y E17, donde se registraron 5,95, 6,23, 7,46 y 10,38 $\mu\text{g/L}$, respectivamente. En la capa profunda se alcanzaron valores preocupantemente altos a principios de mayo (24,45 y 20,31 $\mu\text{g/L}$ en las estaciones E11 y E18, respectivamente). A principios de agosto se registró un nuevo máximo relativo en la estación E18 de 18,22 $\mu\text{g/L}$.

2024 empezó manteniendo la tendencia negativa, iniciada en el otoño de 2023, en la concentración de clorofila *a*, disminuyendo progresivamente sus valores hasta principios de marzo de 2024 hasta alcanzar en torno a 0,6 $\mu\text{g/L}$, tanto en superficie como en el fondo. Durante la primavera, la concentración media se mantuvo por debajo de 1 $\mu\text{g/L}$, exceptuando el valor del 17 de abril en la capa superficial, donde dicha concentración llegó hasta 1,64 $\mu\text{g/L}$ de valor medio. Destacan además los picos registrados en la superficie este mismo día 17 de abril en las estaciones E14 y E20, con 7,14 y 6,29 $\mu\text{g/L}$, respectivamente (Fig. 4.1.5). En la capa profunda se registró un aumento de la concentración en la estación E05b el 17 de junio, frente a la rambla de El Albuñón, con 6,41 $\mu\text{g/L}$, probablemente como consecuencia de la entrada de agua dulce y nutrientes provocada por las fuertes lluvias de los días anteriores (Fig. 4.1.3).

Durante el verano se observaron valores relativamente altos en localidades y momentos puntuales. El 20 de agosto, la concentración de clorofila en superficie en la estación E09b llegó a 3,55 $\mu\text{g/L}$ y en profundidad en la estación E11 se registraron 6,89 $\mu\text{g/L}$ (Fig. 4.1.4). Desde finales de agosto, la concentración media de clorofila en la superficie se mantuvo por encima de 1 $\mu\text{g/L}$, mientras que en el fondo no llegó a superar ese valor (Fig. 4.1.2).

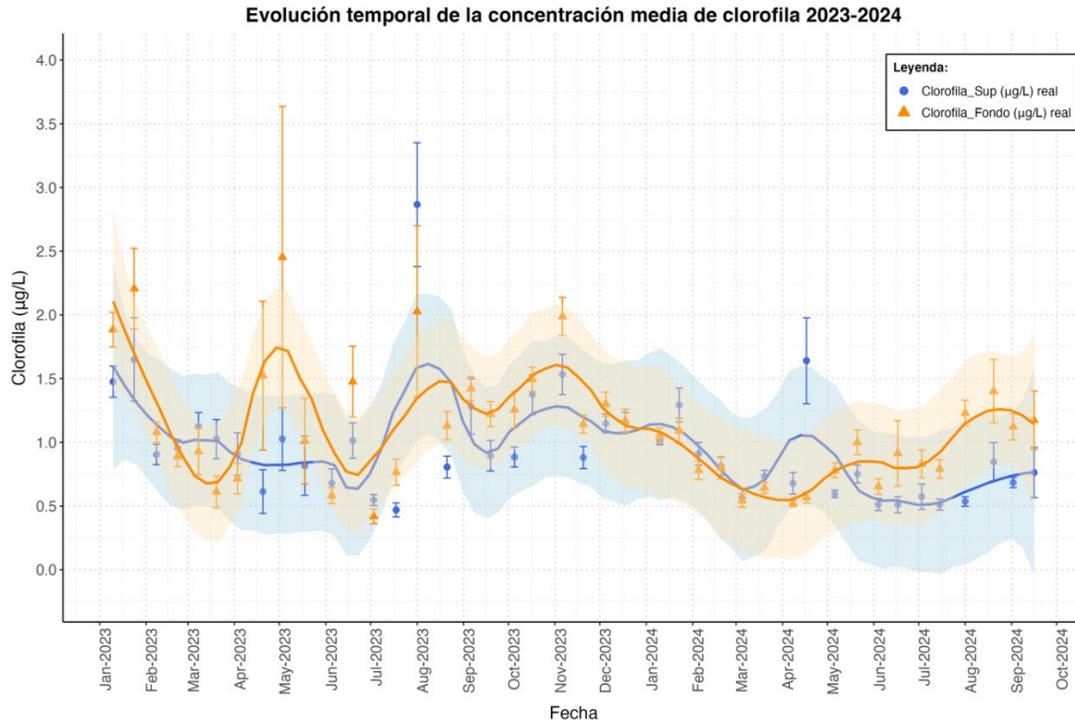


Figura 4.1.1. Evolución de la concentración media de clorofila a (µg/L) en la columna de agua del Mar Menor desde 2023 hasta septiembre de 2024. Las líneas muestran el ajuste mediante el método loess ('local regression'), las barras el error estándar de los datos y el sombreado indica los intervalos (95%) de confianza.

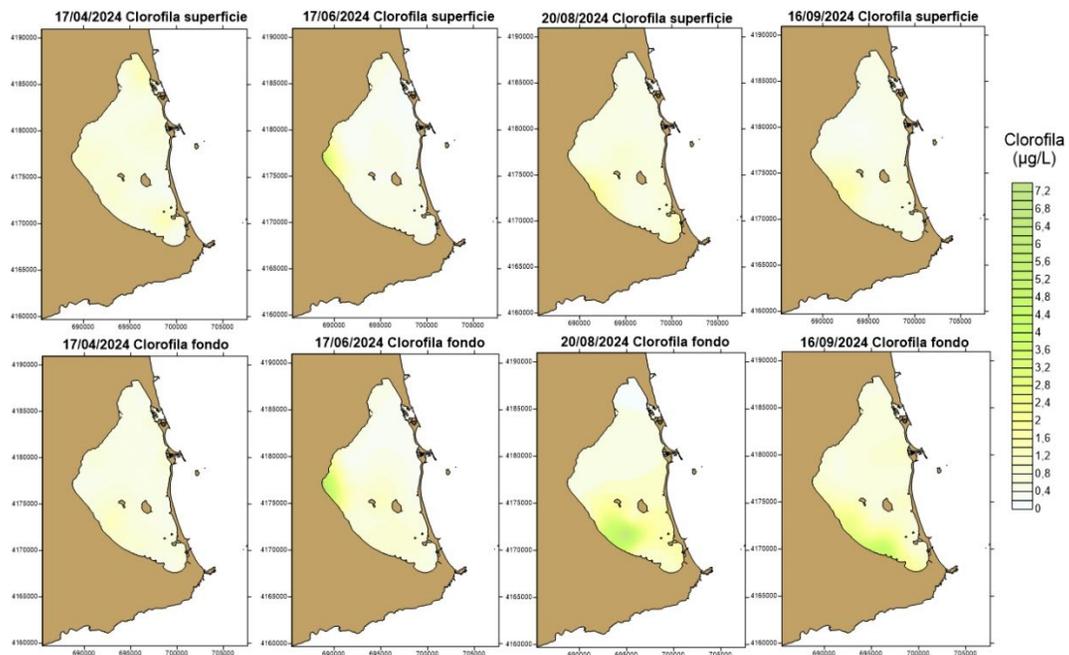


Figura 4.1.2. Evolución espacial de la clorofila a (µg/L) en superficie (arriba) y fondo (abajo) en 2024.

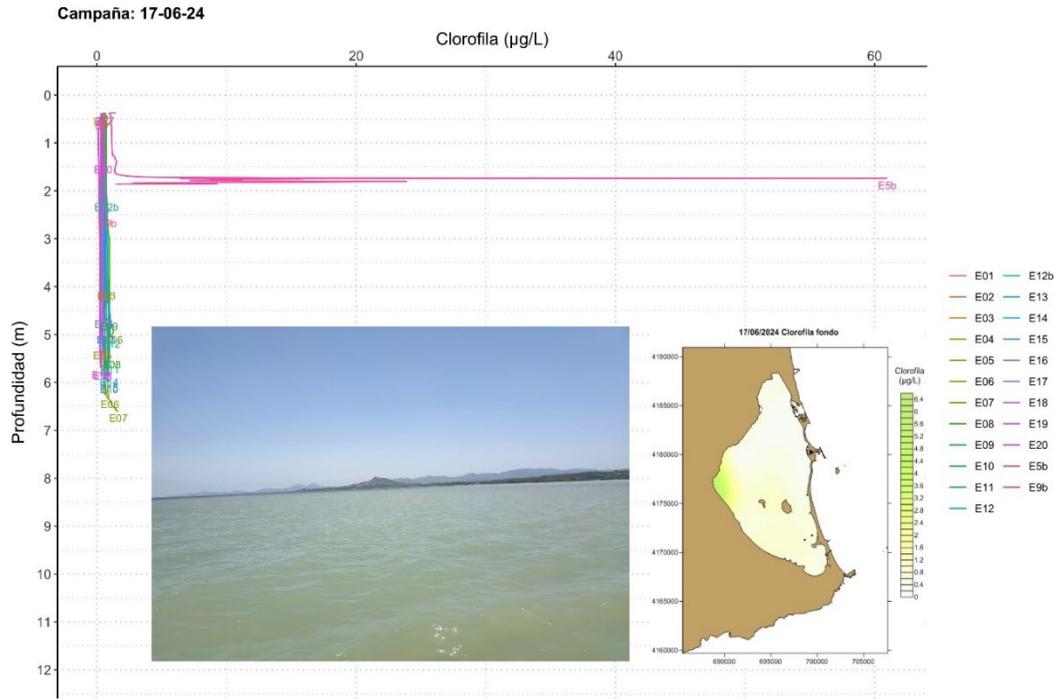


Figura 4.1.3. Representación del aumento de la clorofila a en la estación E05b, frente a la rambla de El Albuñón, el día 17 de junio de 2024.

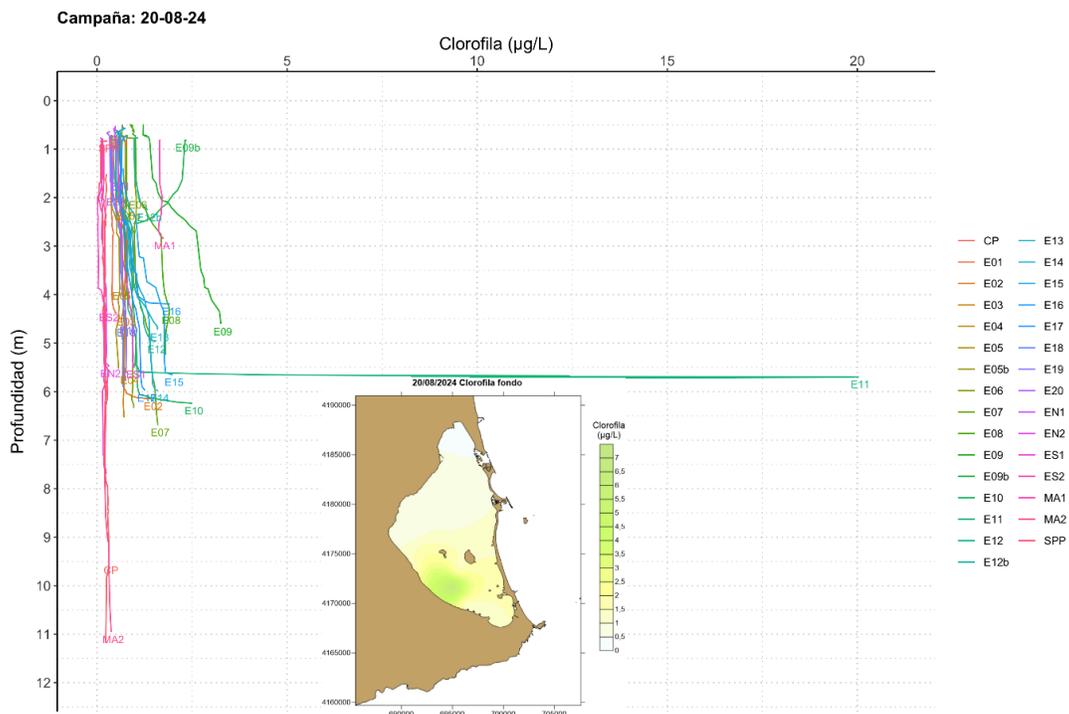


Figura 4.1.4. Representación del aumento de la clorofila a en la estación E11 el día 20 de agosto de 2024.



Figura 4.1.5. Evolución de la concentración superficial (arriba) y de fondo (abajo) de clorofila a de los distintos puntos de muestreo del Mar Menor desde 2023 hasta septiembre de 2024.



4.2. *Oxígeno disuelto*

A pesar de que las presiones por las entradas de nutrientes y las altas temperaturas estivales persisten, durante los dos últimos años el Mar Menor se ha mantenido alejado de los riesgos de sufrir crisis distróficas y eventos de hipoxia. En 2023, la concentración media del porcentaje de oxígeno disuelto se mantuvo prácticamente en saturación ($\approx 100\%$) durante todo el año, aunque con algunas bajadas en los meses de septiembre y octubre, en las que, no obstante, se mantuvo por encima del 90% en superficie y del 85% en el fondo. Las concentraciones absolutas oscilaron entre los 8,79 mg/L registrados el 8 de marzo hasta los 5,82 mg/L registrados a principios de septiembre, terminando el año con concentraciones de 8,11 mg/L registradas el 18 de diciembre.

Durante 2024 la concentración media del porcentaje de oxígeno disuelto se ha mantenido también en niveles de saturación ($\approx 100\%$) (Fig. 4.2.1). Este año, la concentración absoluta media de oxígeno disuelto se mantuvo estable, en torno a los 8 mg/L, desde enero hasta principios de abril, cuando empezó a descender hasta llegar a registrar valores inferiores a 6,5 mg/L tanto en superficie como en fondo en las campañas del 15 de julio y 20 de agosto. Desde agosto hasta mediados de septiembre, la concentración media de oxígeno disuelto se ha mantenido entre 6 y 6,5 mg/L tanto en la capa superficial como en la profunda (Fig. 4.2.2). A nivel local, no se habían detectado descensos destacados de la concentración del porcentaje de oxígeno disuelto en ninguno de los puntos de muestreo durante 2024 (Fig. 4.2.3). Sin embargo, en la campaña realizada el 20 de agosto sí se registró un descenso considerable de concentración del porcentaje de oxígeno disuelto en la estación E05b, llegando al 75,43 %, frente a la desembocadura de la Rambla de El Albuñón (Fig. 4.2.4).

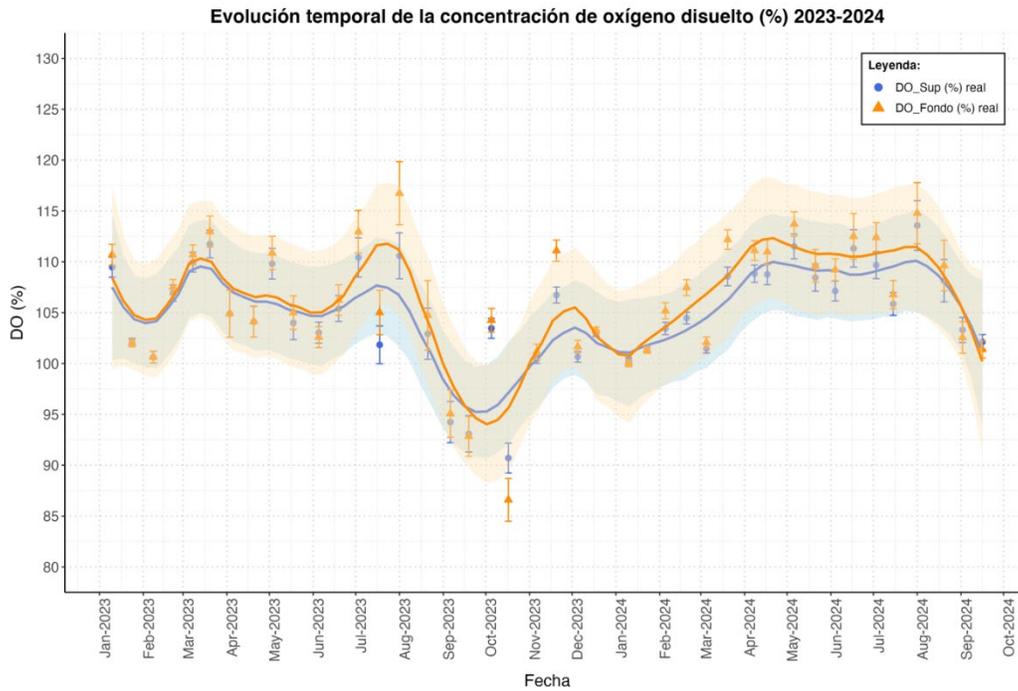


Figura 4.2.1. Evolución temporal de la concentración media de oxígeno disuelto en % en el Mar Menor desde 2023 hasta septiembre de 2024. Las líneas muestran el ajuste mediante el método loess ('local regression'), las barras el error estándar de los datos y el sombreado indica los intervalos (95%) de confianza.

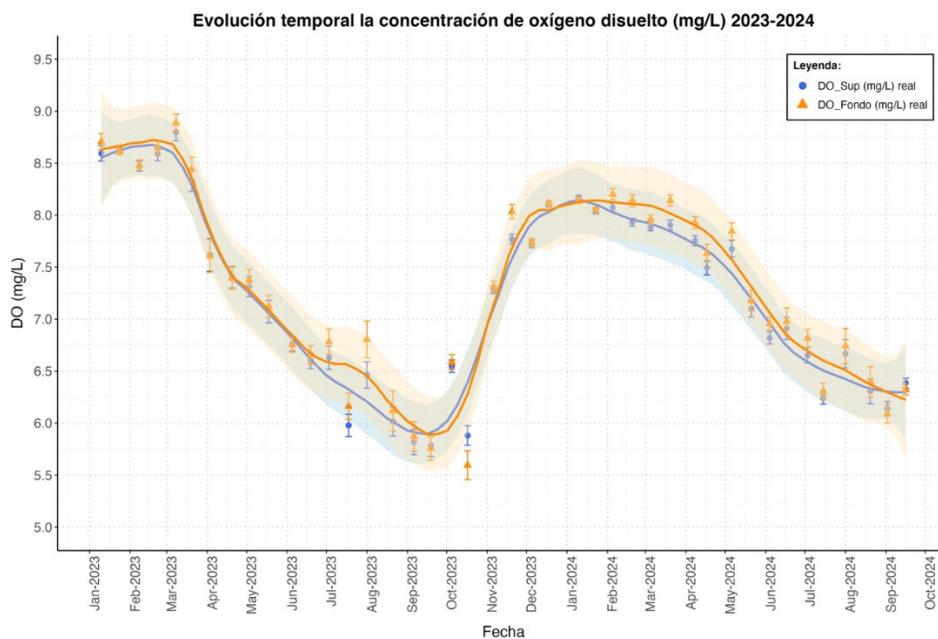


Figura 4.2.2. Evolución temporal de la concentración media de oxígeno disuelto en mg/L en el Mar Menor desde 2023 hasta septiembre de 2024. Las líneas muestran el ajuste mediante el método loess ('local regression'), las barras el error estándar de los datos y el sombreado indica los intervalos (95%) de confianza.

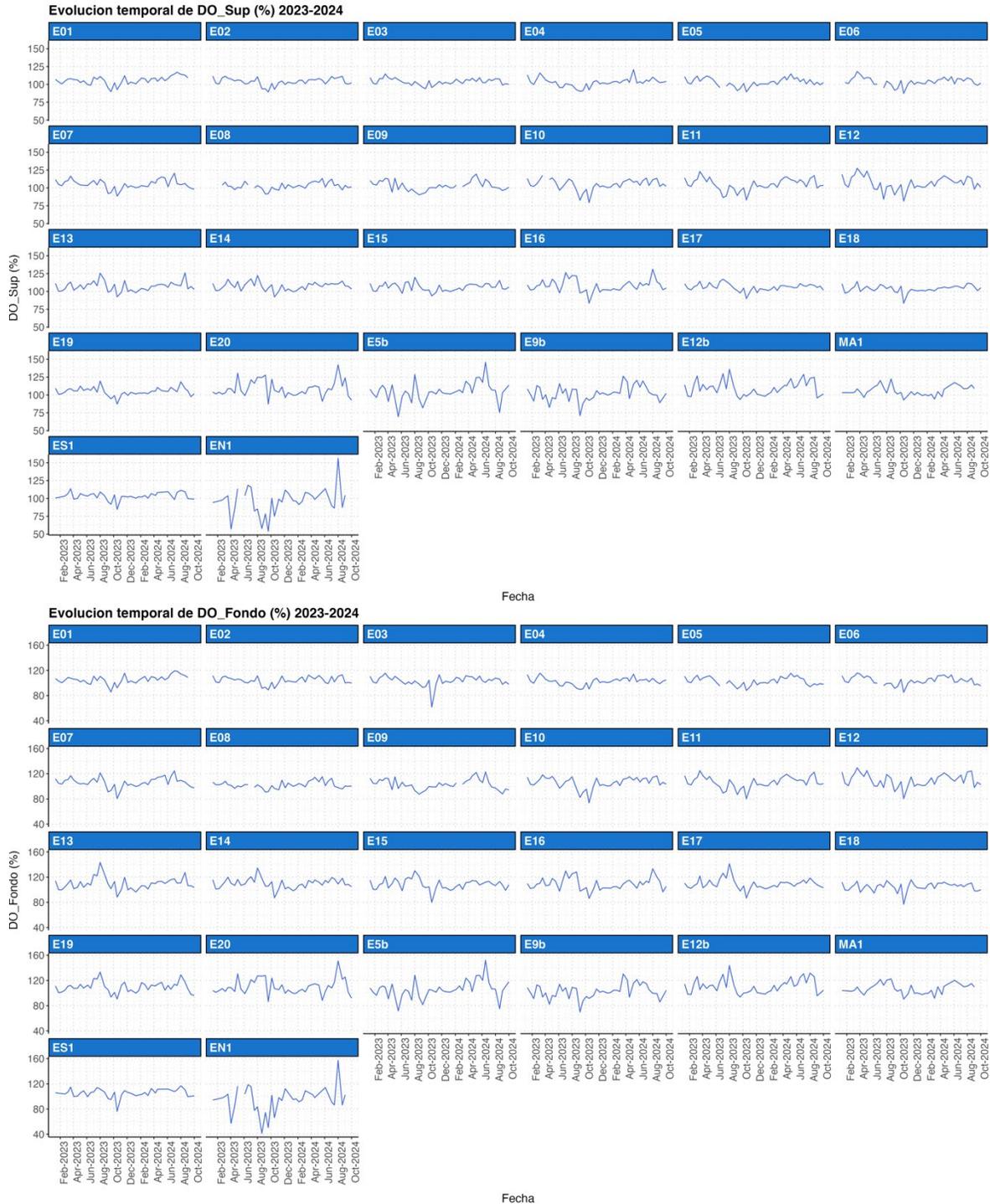


Figura 4.2.3. Evolución de la concentración de oxígeno disuelto en % en los distintos puntos de muestreo del Mar Menor desde 2023 hasta septiembre de 2024.

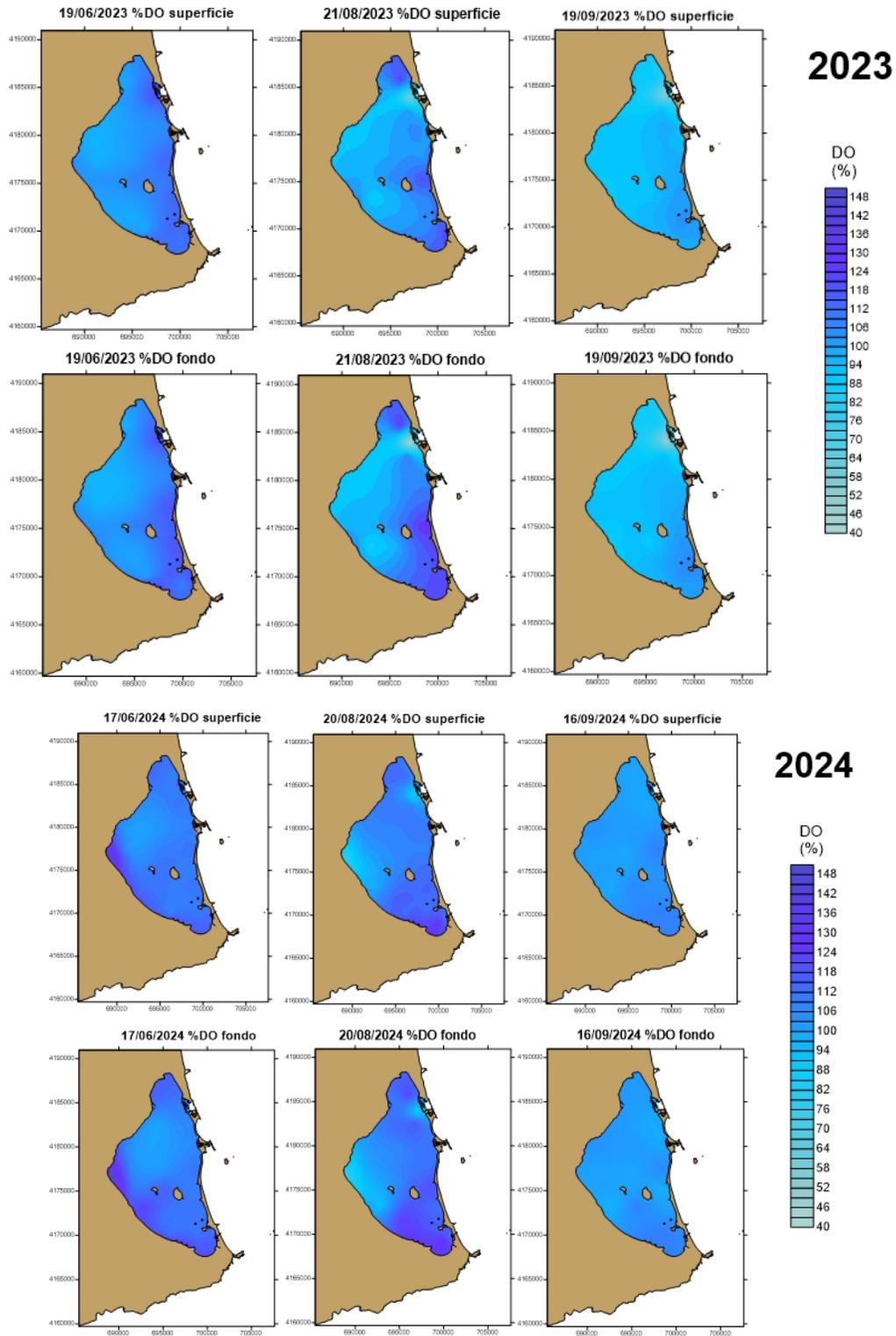


Figura 4.2.4. Evolución espacial de la saturación de oxígeno disuelto en agua (%) superficial y en el fondo del Mar Menor en 2023 (arriba) y 2024 (abajo).



4.3. *Transparencia del agua (turbidez y profundidad de visibilidad del disco de Secchi)*

La transparencia del agua, es decir, la capacidad de penetración de la luz en la columna de agua, es el resultado del efecto de las propiedades ópticas tanto de los materiales inorgánicos disueltos o en suspensión (apartado 2.3) como del propio plancton, particularmente el fitoplancton y, por tanto, de la concentración en clorofila (apartado 4.1). De este modo, los principales agentes que pueden alterarla son las descargas de materiales por escorrentías debidas a lluvias torrenciales, los vientos que resuspenden materiales sedimentados en el fondo, especialmente en zonas inferiores a 1,5 m de profundidad (Pérez-Ruzafa, 1989) y las condiciones tróficas que induzcan proliferaciones de fito y zooplancton. Debido a esto, los valores más bajos suelen darse en verano (por la proliferación del plancton) y en otoño (por la incidencia de temporales y lluvias torrenciales asociados a gotas frías y DANAs).

Desde la primavera y verano de 2022, en que se inició una recuperación sin incidencias resaltables de la transparencia de la columna de agua, ésta se ha ido consolidando y mejorando paulatinamente. Durante 2023, la transparencia media medida con el disco Secchi en los puntos con profundidad mayor de 5 metros osciló en torno a una media de 5,07 m, con algunos eventos de menor transparencia, como el del 17 de octubre con un valor medio de 3,72 m (Fig. 4.3.1), que estarían relacionados con el oleaje otoñal y los aportes de sedimento procedentes de las lluvias de septiembre en las zonas someras más cercanas a la costa, pero posiblemente también con un aumento puntual de la concentración media de clorofila *a* en la columna de agua entre octubre y noviembre.

Los valores más bajos de transparencia tienden a darse en la Zona 2, bajo la influencia de la rambla de El Albuñón (Figs. 4.3.2 y 4.3.3), en la que, desde principios de 2019, con la subida del nivel freático, se viene observando una mancha blanquecina más o menos persistente de materiales finos en suspensión que podrían estar relacionados con partículas de yesos procedentes de la cuenca vertiente y de la resuspensión desde los propios sedimentos.

2024 ha mostrado una visibilidad ligeramente superior a la de 2023 para el mismo periodo de estudio (enero a septiembre), con un valor medio de 4,29 m frente a los 3,89 m de 2023. De manera general, también ha mostrado menores oscilaciones a lo largo de la laguna, a excepción, como ha estado ocurriendo en los últimos años, de la Zona 2 bajo la influencia de la rambla de El Albuñón, en el área afectada por la mancha blanquecina que, ocasionalmente, puede extenderse hacia el interior de la laguna afectando a la zona central.

A lo largo de 2024, ocasionalmente, se han detectado manchas de turbidez en las capas profundas y principalmente frente a la ribera interna de la cubeta central y, en menor medida, frente al canal de El Estacio. El 20 de marzo se detectó un aumento de la turbidez en el fondo en la estación E08 con un valor de 54,61 NTU (unidades de turbidez nefelométricas). El 17 de junio, y tras las fuertes

lluvias ocurridas días antes, se registraron en la estación E05b valores de turbidez en superficie y en profundidad de 218,95 NTU y 320,2 NTU, respectivamente. En agosto, la turbidez tanto en superficie como en profundidad se encontraba en torno a 0,6 NTU sin mostrar ningún pico significativo. A finales de septiembre los valores de turbidez se encontraban por debajo de 1 NTU tanto en superficie como en fondo (Fig. 4.3.4). Sin embargo, los eventos puntuales de valores altos de turbidez no han afectado a la visibilidad media general de la laguna, que se ha mantenido entre los 4,3 y 5,5 m.

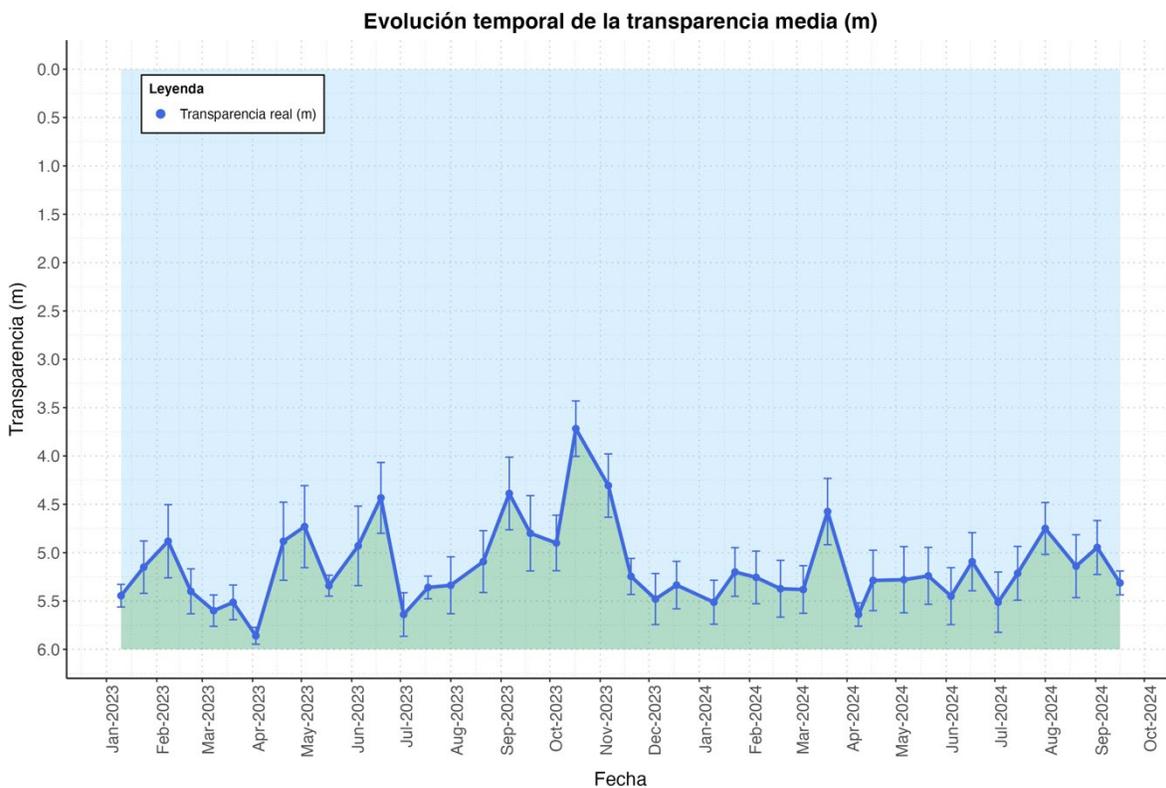


Figura 4.3.1. Evolución de la transparencia media medida con disco Secchi de los puntos de muestreo del Mar Menor con una profundidad mayor de 5 m desde 2023 hasta septiembre de 2024.

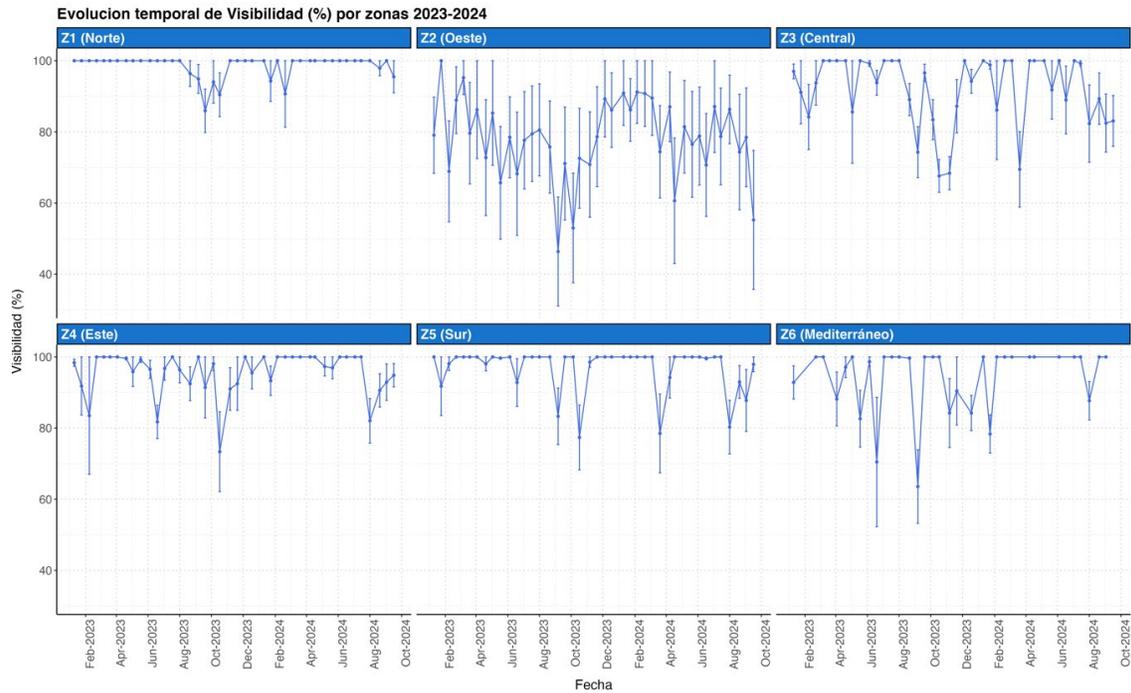


Figura 4.3.2. Evolución de la visibilidad de la columna de agua de las distintas zonas del Mar Menor desde 2023 hasta septiembre de 2024.

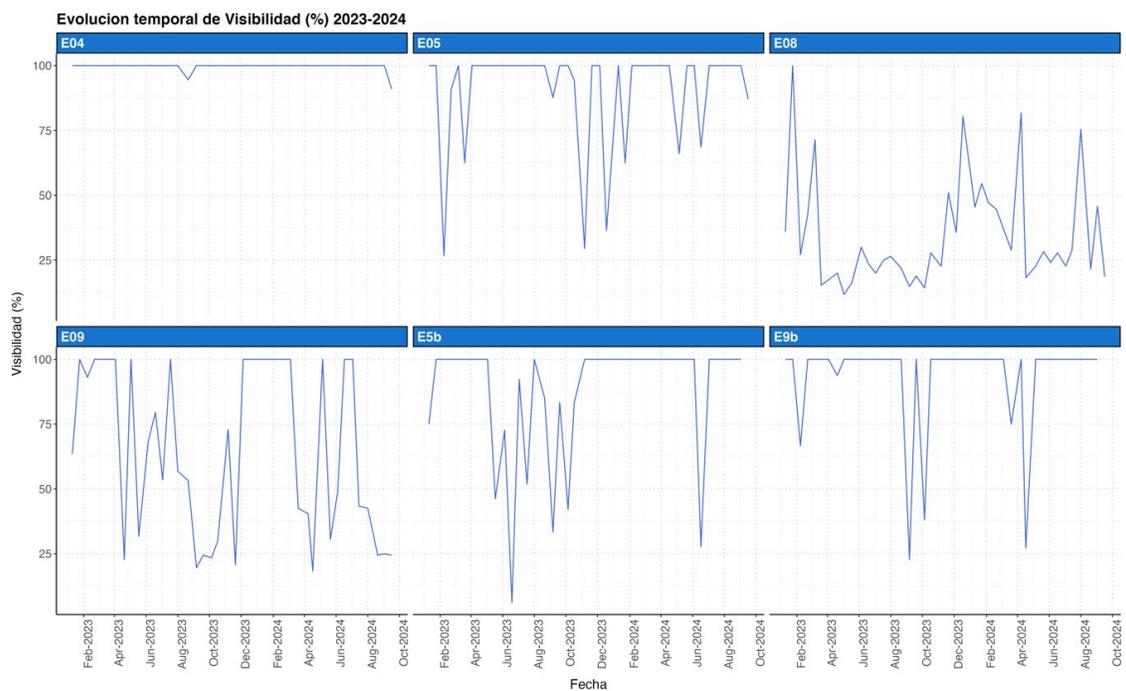


Figura 4.3.3. Evolución de la visibilidad de la columna de agua en los puntos de muestreo de la zona 2 del Mar Menor desde 2023 hasta septiembre de 2024.

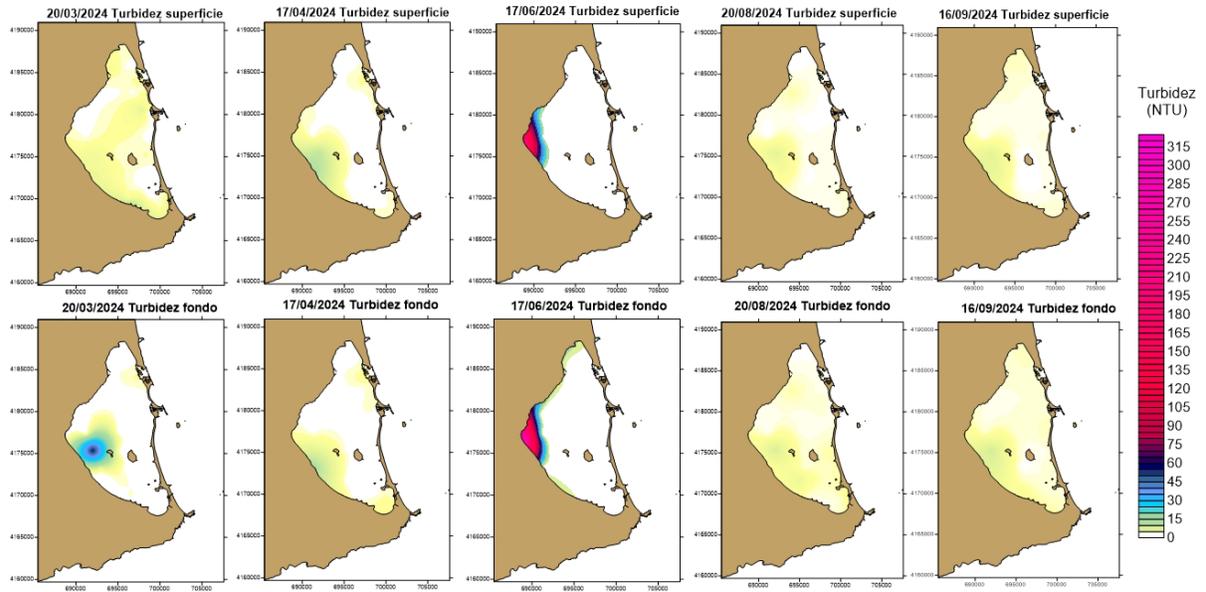


Figura 4.3.4. Evolución espacial de la turbidez (NTU) en la laguna del Mar Menor durante 2024.



5. Estado de las poblaciones de escifozoos en el Mar Menor durante el verano de 2024

5.1. *Introducción*

El zooplancton gelatinoso del Mar Menor, en adelante medusas, está compuesto por 10 especies: 6 escifozoos, 1 cubozoo, 2 hidrozooos y 1 ctenóforo (Fernández-Alías *et al.*, 2022). Entre estas especies, el grupo más interesante, debido a sus proliferaciones masivas, tanto históricas como actuales, se corresponde con el de los escifozoos, compuesto por la conocida como medusa luna, *Aurelia solida* Browne, 1905, la medusa huevo frito, *Cotylorhiza tuberculata*, la aguamala, *Rhizostoma pulmo* (Macri, 1778), la medusa de puntos australiana, *Phyllorhiza punctata* von Lendenfeld, 1884, el acéfalo luminiscente, *Pelagia noctiluca* (Forsskål, 1775), y la medusa invertida, *Cassiopea* sp. Perón & Lesueur, 1810.

Por las características particulares que ha presentado el año 2024, el análisis del estado de las poblaciones de medusas verdaderas (escifozoos) durante este verano se ha centrado en la especie *C. tuberculata*. De las otras tres especies con el ciclo cerrado en el interior del Mar Menor puede destacarse:

- *A. solida* es una especie de final de invierno y primavera que dejó de observarse en la laguna al finalizar mayo.
- Los ejemplares de *R. pulmo* detectados en las campañas de primavera de forma dispersa dejaron prácticamente de estar presentes durante el verano.
- La especie *P. punctata* no ha sido detectada durante el mes de agosto.
- Probablemente, tanto *P. punctata* como *R. pulmo* han sido desplazadas del Mar Menor en su fase medusa por *C. tuberculata*, especie que ha dominado la columna de agua y con la que existe un solapamiento de nicho ecológico.

5.2. *Cotylorhiza tuberculata*

5.2.1 Ciclo de vida

La medusa huevo frito, *C. tuberculata*, en general es la especie que mayores densidades ha alcanzado en el interior del Mar Menor, con poblaciones cercanas a los 900 millones de individuos en las proliferaciones más importantes. Las éfiras de esta especie se liberan a la columna de agua con el incremento de temperatura que se produce durante la segunda parte de la primavera, siendo especialmente pronunciada cuando la temperatura alcanza los 24°C, momento en el que, junto con la estrobilación (liberación de éfiras por parte de los pólipos), se permite el desarrollo de éstas hasta la fase medusa (Fig. 5.2.1). La liberación de éfiras y su transición a medusa en el Mar Menor puede

ocurrir durante todo el verano y parte del otoño debido a que las condiciones térmicas son las adecuadas.

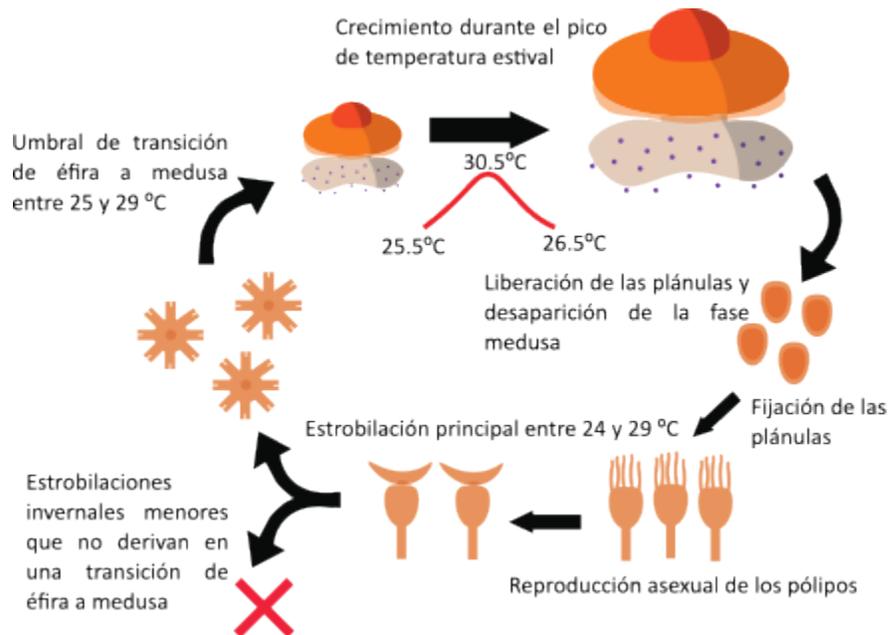


Figura 5.2.1. Ciclo de vida de *Cotylorhiza tuberculata* en el Mar Menor. Modificado de Fernández-Alías et al. (2023).

5.2.2 Abundancia

En el año 2024 la población comenzó a detectarse el 4 de junio, con una densidad de $4,26 \pm 2,29$ ind/100m³ (promedio \pm error estándar), tras un incremento de temperatura desde 20,83°C (6 de mayo) hasta 23,46°C (4 de junio), siendo esto coherente con la fenología de la especie (Fernández-Alías et al., 2023). A fecha 17 de junio de 2024 la densidad de la especie fue de $68,94 \pm 35,92$ ind/100m³ constituyendo la mayor densidad poblacional registrada para el mes de junio en el Mar Menor (el anterior máximo de este mes corresponde al 28 de junio de 2012 con $53,21 \pm 18,11$ ind/100m³). La población incrementó progresivamente durante el mes de julio y, aunque todavía es posible que se produzca una liberación de éfiras, presumiblemente el pico poblacional de 2024 tuvo lugar en la primera quincena del mes de agosto, alcanzándose un pico en la abundancia de $247,12 \pm 90,64$ ind/100m³ el 1 de agosto, y reduciéndose progresivamente desde entonces. Hasta principios de octubre la población se mantuvo en torno a los 150 ind/100m³ y, a fecha 21 de octubre, la abundancia media se situó en $65,31 \pm 29,21$ ind./100m³ (Fig. 5.2.2)

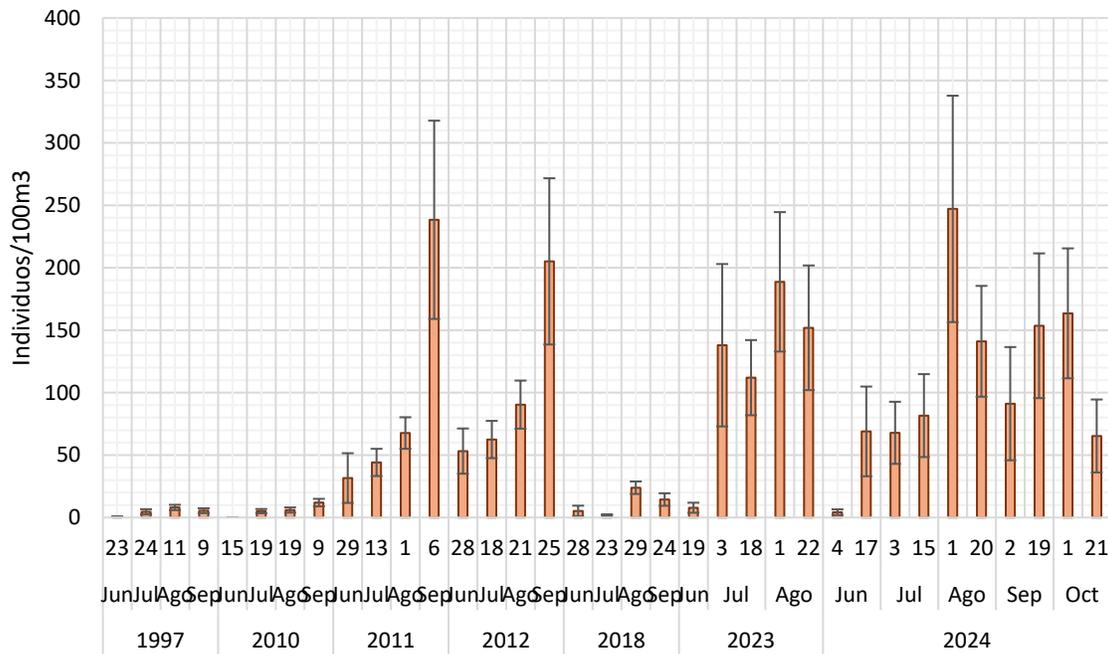


Figura 5.2.2. Densidad de *Cotylorhiza tuberculata* en el Mar Menor durante sus proliferaciones masivas.

5.2.3 Distribución

Aunque la medusa huevo frito puede encontrarse por todo el Mar Menor, de forma general *C. tuberculata* tiene una preferencia por la zona central y la costa interna de la laguna (Fernández-Alías *et al.*, 2022). Históricamente, la población aparece en la zona comprendida entre las islas Perdiguera y de El Barón, lugar donde probablemente se encuentren los pólipos de la especie, y a partir del cual se distribuye por toda la laguna (Pérez-Ruzafa, 1996, 1997; Fernández-Alías *et al.*, 2020, 2023).

Durante el verano de 2024 la distribución de la población de *C. tuberculata* ha sido similar a la encontrada en el resto de sus proliferaciones. Se puede observar que, durante el mes de junio, la especie comenzó a aparecer en el Mar Menor entre las islas y al norte de estas para posteriormente expandirse por el resto de la laguna. Han sido destacables los enjambres focalizados en la zona norte de la laguna, principalmente en la zona de Los Alcázares y Santiago de la Ribera (Figura 5.2.3). Sin embargo, la interferencia con el baño no ha sido excesivamente importante ya que los enjambres de medusas se han concentrado en zonas con una profundidad mayor a los 3 metros, si bien se han producido acumulaciones de cierta intensidad en algunos tramos costeros y zonas de baño. En estos casos, aunque los eventos pueden durar cuestión de horas o más de un día, dependiendo de los vientos y el hidrodinamismo, es recomendable la retirada de las que quedan varadas en la playa como parte de las tareas de retirada de biomasa, procurando no dejarlas esparcidas por las zonas de arena en las áreas de baño.

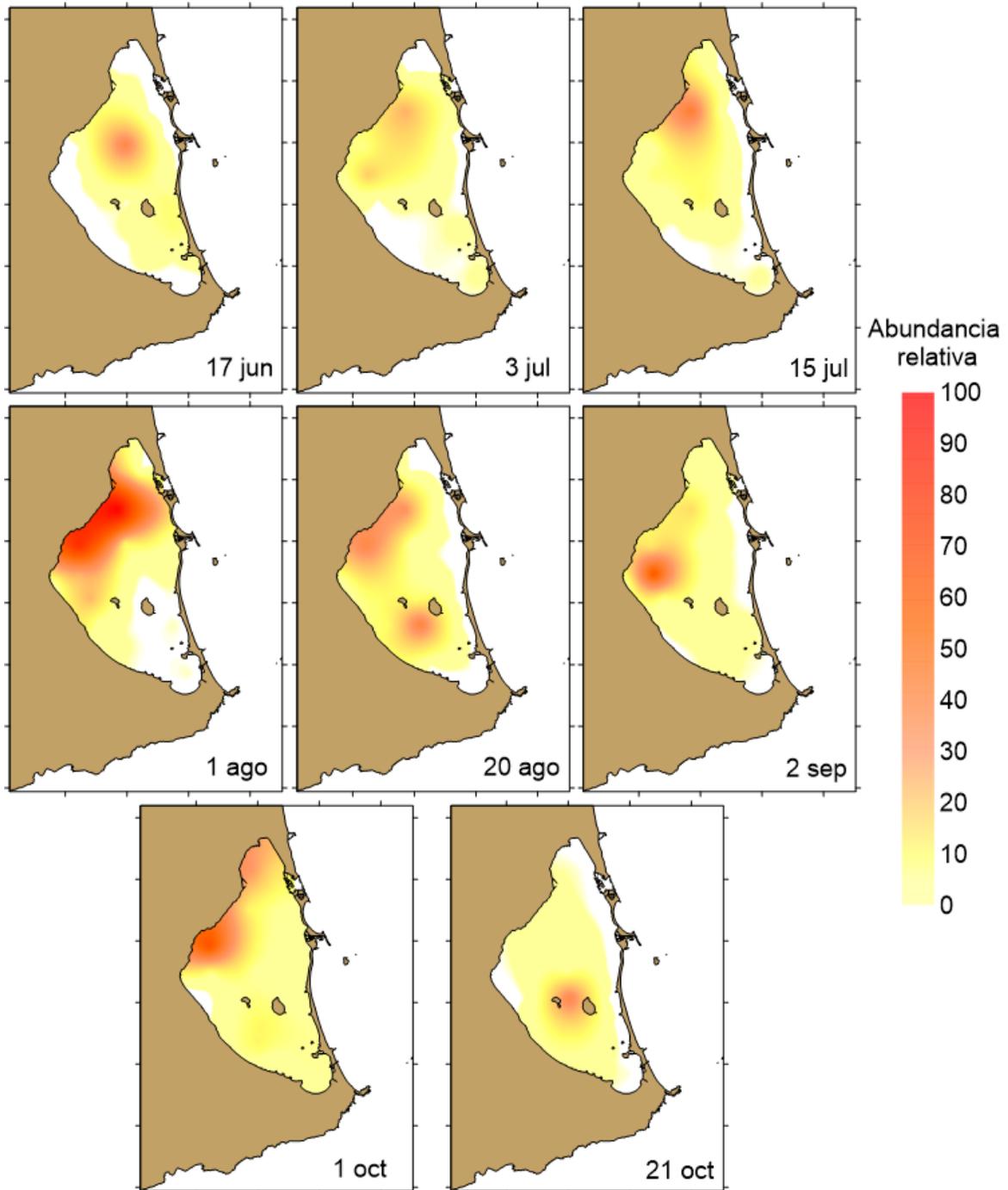


Figura 5.2.3. Distribución espacial de *C. tuberculata* en el Mar Menor durante el verano de 2024. La coloración indica la abundancia relativa frente al máximo encontrado para una estación en la serie histórica.

5.2.4 Indicador de proliferación

El análisis del indicador de proliferación diseñado en Fernández-Alías *et al.* (2023) para las poblaciones de escifozoos del Mar Menor, combinando abundancia y cobertura, indica que la proliferación está siguiendo una dinámica similar a la de 2011, 2012 y 2023, los años con las mayores proliferaciones registradas (Fig. 5.2.4). Es decir, para la temporada otoñal del año 2024 cabría esperar una dinámica similar a la observada en 2023, habiéndose alcanzado el pico de abundancia durante el mes de agosto y siendo previsible una disminución progresiva del número de individuos hasta su desaparición a final de otoño o comienzo del invierno (dependiendo de la velocidad de descenso de las temperaturas).

Durante el mes de julio de 2024 el indicador de proliferación fue de 7 sobre 8 debido a una abundancia algo inferior a la del año 2023, aunque ésta aumentó con la llegada del mes de agosto, situando al indicador de proliferaciones en 8 sobre 8 (Fig. 5.2.4). La población ha reducido su abundancia en la laguna costera, pero todavía se encuentra muy dispersa por la misma, detectándose su presencia en más del 90 % de los puntos de muestreo interiores.

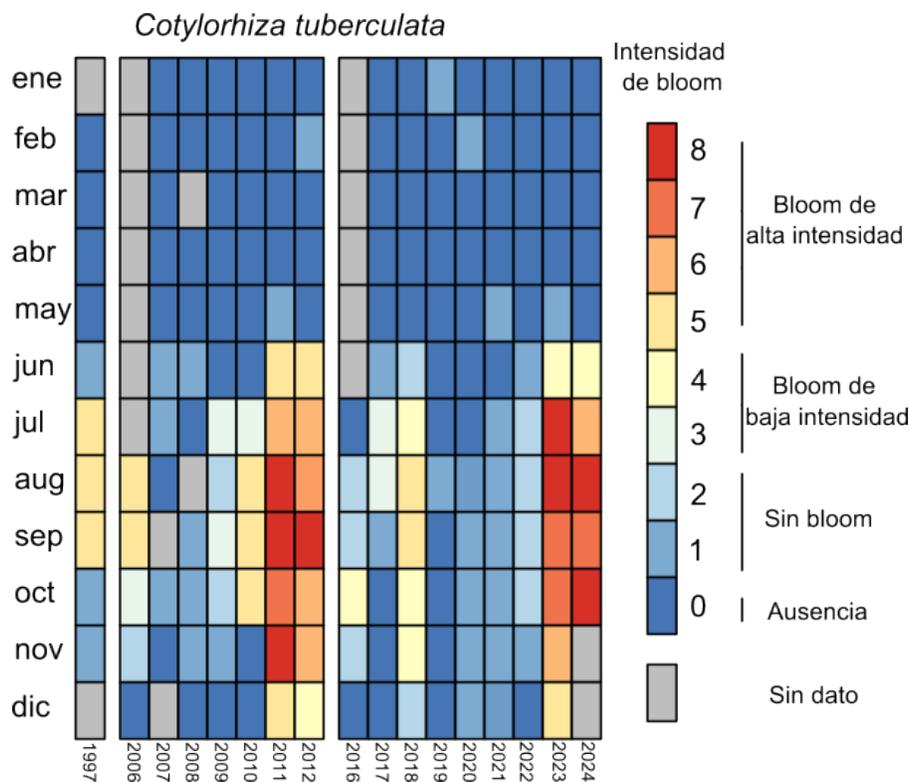


Figura 5.2.4. Evolución del indicador de proliferación de *Cotylorhiza tuberculata* en el Mar Menor desde el año 1997 hasta octubre de 2024. Modificado de Fernández-Alías *et al.* (2023).



5.2.5 Crecimiento y talla de los ejemplares

En las proliferaciones de *C. tuberculata* en el Mar Menor, los ejemplares son detectados por medio de censos visuales cuando poseen un tamaño entre 1 y 5 cm de diámetro de campana y experimentan un crecimiento continuo de acuerdo con la función de crecimiento de Von Bertalanffy (Fernández-Alías *et al.*, 2020). El crecimiento de los ejemplares se produce a lo largo de toda la temporada estival (Fig. 5.2.1), considerándose que el pico de abundancia poblacional se alcanza cuando el tamaño promedio de estos es de, aproximadamente, 15 cm (Fernández-Alías *et al.*, 2023). Una vez superado el pico poblacional se encuentra una mayor dispersión interanual en el tamaño promedio de los ejemplares debido que pueden liberarse éfiras de forma tardía que se incorporen a la población como juveniles a la vez que mueren ejemplares de las tallas más grandes.

A lo largo de los meses de junio, julio y agosto de 2024 ha podido apreciarse como esta tendencia se ha mantenido, con un mes de junio dominado por juveniles de pequeño tamaño que han ido creciendo a lo largo del verano. A fecha 20 de agosto, el tamaño promedio de los ejemplares era de 18,30 cm y la población se encontraba dominada por las clases de talla de 10 a 20 cm y de 20 a 30 cm. El día 2 de septiembre la clase de talla dominante ha sido la de 10 a 20 cm, habiendo disminuido en importancia relativa los ejemplares mayores de 20 cm debido a la mortalidad de los mismos tras su reproducción (Fig. 5.2.5). En el informe del 2 de septiembre se anticipaba que la talla promedio se mantendría en torno a los 15 cm hasta la desaparición de los individuos que componen la población de *C. tuberculata* debido a la retirada de ejemplares adultos y la aparición de juveniles, algo que se ha comprobado este último mes y medio. Con la reducción de la temperatura se irá produciendo una desaparición progresiva de la especie.

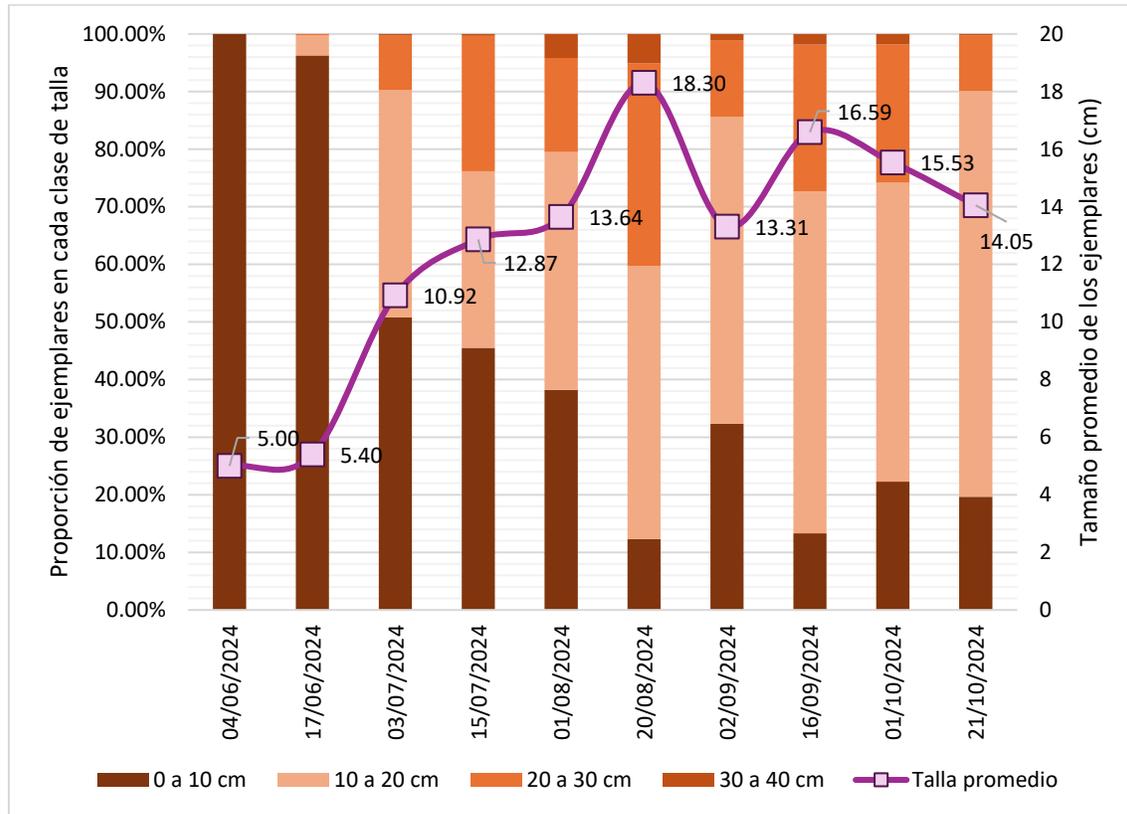


Figura 5.2.5. Evolución de la proporción de ejemplares de *Cotylorhiza tuberculata* pertenecientes a cada clase de talla y tamaño promedio de estos a lo largo del verano y el otoño de 2024 en el Mar Menor.

5.2.6 Previsión de la segunda parte del otoño de 2024 y manejo de la especie

Tanto los datos de abundancia (Fig. 5.2.2), como los de distribución (Fig. 5.2.3) y los de tamaño (Fig. 5.2.5) sugieren que el pico poblacional se ha superado y que las medusas deberían ir desapareciendo de forma progresiva de la columna de agua. Tal y como se indicaba en los informes anteriores, la población de *C. tuberculata* del Mar Menor parece haber superado su pico poblacional y las variaciones en la abundancia y el tamaño promedio pueden ser explicadas por el crecimiento de los adultos, la mortalidad de los ejemplares post-reproductores y por la liberación de éfiras. El enfriamiento de las aguas durante el final del otoño debería bloquear el proceso de estrobilación y, por tanto, la incorporación de nuevos ejemplares a la población. Es decir, durante los próximos meses la dinámica poblacional se encontrará dominada por la liberación y fijación de las plánulas (estadio larvario generado tras la fertilización de los óvulos y cuya fijación da lugar a nuevos pólipos) y la mortalidad de ejemplares adultos. Cabe esperar también que los ejemplares post-



reproductores, cercanos a completar su ciclo de vida, aparezcan progresivamente en las playas arrastrados por las corrientes.

Se debe destacar que las medusas realizan un importante papel ecosistémico en el Mar Menor, tanto de control de la red trófica, debido a la depredación sobre el fitoplancton (Pérez-Ruzafa *et al.*, 2002), como de mantenimiento de la calidad de las aguas ya que *C. tuberculata* posee zooxantelas simbiotas, capaces de realizar la fotosíntesis y, consecuentemente, de competir a este nivel por la disponibilidad de nutrientes con el fitoplancton (Kikinger, 1992). Se debe tener en cuenta en el manejo de estas especies que todas las crisis eutróficas ocurridas en el Mar Menor han ocurrido bajo las condiciones de ausencia de medusas y alta temperatura del agua cuando se produce una descarga masiva de nutrientes (Fernández-Alías *et al.*, 2022).

Es importante continuar con la monitorización de la especie de forma regular durante el final del otoño ya que las condiciones para que se desencadene una proliferación de fitoplancton podrían alcanzarse en el caso de que, antes de producirse un enfriamiento del agua, disminuya de forma drástica la abundancia de *C. tuberculata* y se incrementen los arrastres superficiales de nutrientes a consecuencia de las lluvias. Si bien, como anticipamos en los anteriores informes, esta situación se considera poco probable debido a que todavía se detecta en la medusa huevo frito una abundancia considerable.

Como medidas de manejo se recomienda, con carácter general, tanto a los bañistas como a las administraciones, no retirar los ejemplares moribundos que puedan aparecer de forma dispersa en la arena en las zonas que no sean urbanas y de baño preferente ya que estos sirven de alimento a crustáceos y aves, entre otros grupos (Ates, 2017; Hays *et al.*, 2018). No obstante, como se ha comentado anteriormente, en los casos en los que puedan producirse acumulaciones de cierta intensidad en algunos tramos costeros urbanos con intenso uso de baño, puede ser recomendable la retirada de las que quedan varadas en la playa o en la zona de flujo y refluo como parte de las tareas de retirada de biomasa para evitar que su descomposición y la de las macroalgas flotantes reduzcan de forma local la concentración de oxígeno.



6. Bibliografía

- Ates R.M.L. (2017). Benthic scavengers and predators of jellyfish, material for a review. *Plankton and Benthos Research*, 12 (1): 71–77. <https://doi.org/10.3800/pbr.12.71>
- Fernández-Alías A., Marcos C., Quispe J.I., Sabah S. & Pérez-Ruzafa A. (2020). Population dynamics and growth in three scyphozoan jellyfishes, and their relationship with environmental conditions in a coastal lagoon. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 243: 106901. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106901>
- Fernández-Alías A., & Pérez-Ruzafa A. (2023). *Estado de las poblaciones de medusas en el Mar Menor (Julio 2023)*. Grupo de Investigación Ecología y Ordenación de Ecosistemas Marinos Costeros, Universidad de Murcia, 20 de junio de 2023: 6 pp
- Fernández-Alías A., Montañó-Barroso T., Conde-Caño M.R., Manchado-Pérez S., López-Galindo C., Quispe-Becerra J.I., Marcos C. & Pérez-Ruzafa A. (2022). Nutrient overload promotes the transition from top-down to bottom-up control and triggers dystrophic crises in a Mediterranean coastal lagoon. *Science of The Total Environment*, 846: 157388. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157388>
- Fernández-Alías A., Molinero J.C., Quispe-Becerra J.I., Bonnet D., Marcos C. & Pérez-Ruzafa A. (2023). Phenology of scyphozoan jellyfish species in a eutrophication and climate change context. *Marine Pollution Bulletin*, 194: 115286. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115286>
- Gilabert J. (2001). Seasonal plankton dynamics in a Mediterranean hypersaline coastal lagoon: the Mar Menor. *Journal of Plankton Research*, 23 (2): 207-218.
- Hays G.C., Doyle T.K. & Houghton J.D. (2018). A paradigm shift in the trophic importance of jellyfish? *Trends in Ecology & Evolution*, 33 (11): 874-884. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2018.09.001>
- Kikinger R. (1992). *Cotylorhiza tuberculata* (Cnidaria: Scyphozoa) Life history of a stationary population. *Marine Ecology*, 13 (4): 333-362.
- Pérez-Ruzafa A. (1989). *Estudio ecológico y bionómico de los poblamientos bentónicos del Mar Menor (Murcia, SE de España)*. Tesis Doctoral, Universidad de Murcia.
- Pérez-Ruzafa A. (Coord.) (1996). *Estudio del ciclo de vida y la dinámica de la población de la medusa Cotylorhiza tuberculata en el Mar Menor*. Grupo de investigación “Ecología y Ordenación de Ecosistemas Marinos Costeros”, Universidad de Murcia. Informe final, Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.
- Pérez-Ruzafa A. (Coord.) (1997). *Estudio de la dinámica de las poblaciones de medusas en el Mar Menor, problemática asociada y búsqueda de soluciones*. Grupo de investigación “Ecología y Ordenación de Ecosistemas Marinos Costeros”, Universidad de Murcia. Informe final, Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.
- Pérez-Ruzafa A. (Coord.) (2023). *Seguimiento y análisis predictivo de la evolución del estado ecológico del ecosistema lagunar de Mar Menor y prevención de impactos*. Consejería de



Agua, Agricultura y Medio Ambiente de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, Informe final de febrero 2023, 267 pp.

Pérez-Ruzafa A. (Coord.) (2024). *Seguimiento y análisis predictivo de la evolución del estado ecológico del ecosistema lagunar de Mar Menor y prevención de impactos*. Consejería de Agua, Agricultura y Medio Ambiente de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, Informe final de febrero 2024, 256 pp.

Pérez-Ruzafa A., Gilabert J., Gutiérrez J.M., Fernández A.I., Marcos C. & Sabah S. (2002). Evidence of a planktonic food web response to changes in nutrient input dynamics in the Mar Menor coastal lagoon, Spain. *Hydrobiologia*, 475/476: 359-369. <https://doi.org/10.1023/A:1020343510060>

Redfield A.C. (1958). The biological control of chemical factors in the environment. *American Scientist*, 46 (3): 230-221.

Steele J.H., Thorpe S.A. & Turekian K.K. (Eds.) (2011). *Encyclopedia of ocean sciences*. Academic Press, San Diego, London.