

ESTUDIO BIOGEOQUÍMICO DE LOS FONDOS DEL MAR MENOR - Estudio de flujos bentónicos.

Informe final



**Departamento de Química Física
Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales
Universidad de Cádiz**

1. Contenido del informe

Este informe recoge resultados principalmente de la campaña realizada los días 12 y 18 de septiembre del 2018, ambos inclusive, y que no han sido previamente descritos en los informes anteriores.

En lo que se refiere a la lámina de agua, se presentan las variaciones de la concentración de nutrientes, carbono orgánico disuelto, gases invernadero, y se realiza una comparación con los resultados obtenidos en el muestreo de invierno.

A continuación se adjunta la información completa de los flujos bentónicos obtenidos en el muestreo de verano, y se realiza una comparación de la variación estacional que se ha observado.

En el tercer gran apartado del informe se incluye los resultados obtenidos en el análisis de los testigos de sedimento. Se ha separado en 2 secciones. La primera incluye información sobre las características de la fase sólida del sedimento, como la granulometría, datación de la columna de sedimento y análisis elemental tanto para el muestreo de invierno como el de verano. La segunda recoge los resultados obtenidos en el agua intersticial de los sedimentos, completando la base de datos ya proporcionada en informes anteriores. Cabe destacar el análisis de la concentración de gases invernadero (metano y óxido nítrico) y la composición de los iones mayoritarios en agua de mar para los muestreos de invierno y verano.

Es importante resaltar que se trata de un informe técnico, al que se ha aportado una interpretación de aquellas cuestiones que parecen evidentes tras analizar la información. Un estudio más profundo requiere la búsqueda de información bibliográfica específica sobre la intensidad de los procesos diagenéticos en sedimentos altamente permeables (alto contenido en arenas), así como el desarrollo de modelos que permitan una descripción más realista de los procesos de transferencia entre el sedimento y la columna de agua. Esta labor requiere una cantidad de tiempo que no es compatible con la emisión de los informes contemplados en el contrato, y se realizará en los próximos meses como parte de la elaboración de los trabajos científicos que se derivarán de este estudio. Existe un compromiso por nuestra parte

de ir proporcionando esta información a los entes interesados a medida que se vaya obteniendo.

Para la realización de este segundo muestreo se contó con la embarcación Limpiamar contratada por TRAGSA que, en líneas generales ha permitido realizar los fondeos de las cámaras bentónicas. El apoyo y disposición mostrada por el buzo de TRAGSA fue excelente, permitiendo junto con el buzo proporcionado con la Universidad de Cádiz, realizar una labor exitosa en la toma de los testigos de sedimentos y en el cierre de la cámara bentónica.

En lo que respecta a la primera fase de este informe, el estudio de la hidrografía del Mar Menor, éste se llevó a cabo a través del muestreo de 41 estaciones distribuidas a lo largo de los 170 km² de su lámina de agua. La elección de estas estaciones se realizó en base a los siguientes criterios: a) que se considerara la laguna costera en su totalidad y que se tuviera también una referencia en la misma época del año de la situación en el exterior (en el agua costera próxima del Mediterráneo), b) que las estaciones estuvieran distribuidas a distancias similares, de una manera que se obtuviera una evaluación homogénea del sistema, y c) que se muestrearan aquellos lugares que *a priori* presentaran un cierto interés, ya fuera por la cercanía de enclaves urbanos o la existencia de puertos deportivos, del acceso al Mar Menor de ramblas o por cualquier otra circunstancia. La situación de estas estaciones se indica en la Figura 1.

Las muestras de agua fueron tomadas con una estrategia similar al muestreo de invierno, utilizando una Zodiac y la embarcación Limpiamar durante los periodos de tiempo de fondeo de las cámaras bentónicas.

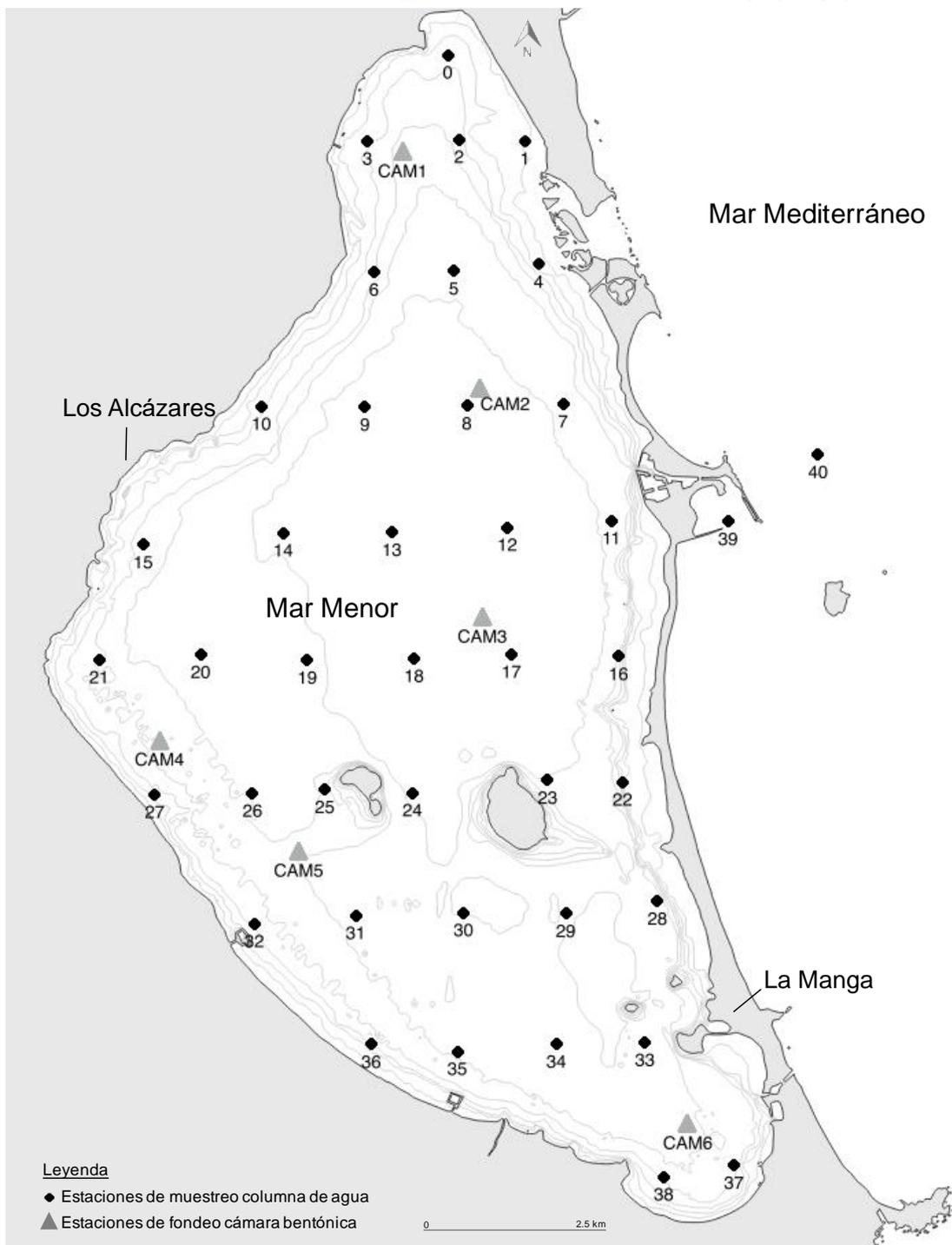


Figura 1. Disposición de las estaciones de muestreo establecidas en la lámina de agua (representadas por círculos, N=41), junto con estaciones de fondeo de la cámara bentónica (representadas por triángulos, N=6) en la campaña de verano 2018 en el Mar Menor.

2. Columna de agua

En la Tabla 1 se resume la información obtenida para las variables físicas medidas en la superficie y en el fondo de las 41 estaciones del sistema durante los muestreos de invierno y verano en el Mar Menor.

Tabla 1. Intervalos de variación, valor medio y desviación estándar (SD) de la temperatura (°C) y de la salinidad (S) en la superficie y en el fondo de la columna de agua para condiciones de invierno y verano en el Mar Menor.

		Invierno		Verano	
		Superficie	Fondo	Superficie	Fondo
T	Min - Max	13,6 – 18,0	14,6 – 17,0	26,6 – 27,8	26,4 – 27,8
	Media ± SD	15,7 ± 0,8	15,7 ± 0,5	27,1 ± 0,3	27,0 ± 0,3
S	Min - Max	37,6 – 43,5	37,9 – 42,7	37,3 – 46,4	37,3 – 45,4
	Media ± SD	41,7 ± 1,4	42 ± 0,9	45,4 ± 1,8	45,7 ± 1,3

La temperatura presenta un valor medio en invierno de $15,8 \pm 0,7$ °C y en verano de $27,1 \pm 0,3$ °C. La diferencia de temperatura entre ambos muestreos es estadísticamente significativa presentando un p-valor menor a 0,001. Por otro lado, la temperatura media en la superficie del sistema no presenta diferencias estadísticamente significativas respecto a la temperatura media en el fondo del sistema ($p = 0,95$), siendo el valor medio de temperatura en la superficie de $21,4 \pm 5,8$ °C y en el fondo de $21,4 \pm 5,7$ °C.

En la figura 2 se muestra la distribución espacial que experimenta la temperatura para ambas campañas, tanto en la superficie como en el fondo del Mar Menor. Se observa como la temperatura en el interior de la laguna es mayor en comparación con las estaciones situadas en el Mar Mediterráneo. Este aumento de la temperatura es consecuencia del elevado grado de confinamiento del sistema, de forma que los valores máximos de temperatura (27,8°C) se producen en verano, concretamente en los puntos de muestreo situados en el oeste del Mar Menor, que es la zona más alejada de los intercambios de agua con el Mediterráneo por acción de las mareas.

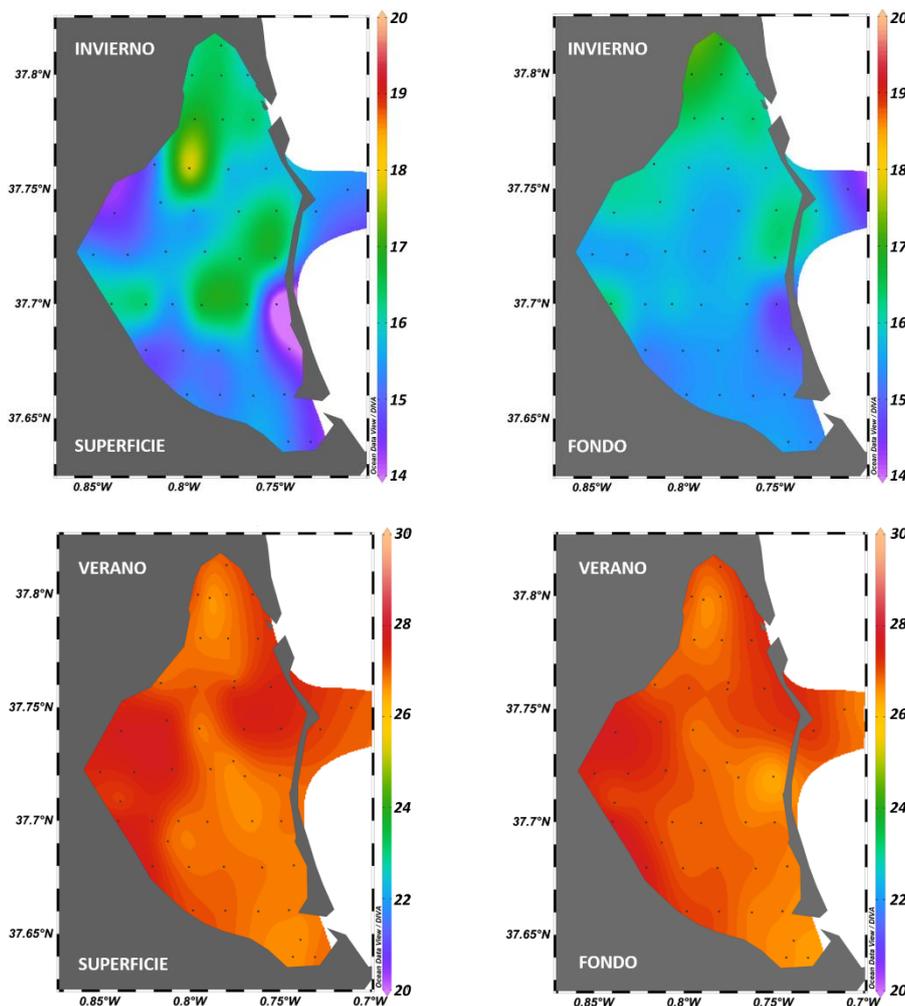


Figura 2. Distribución con la latitud y la longitud de la temperatura (°C) en la superficie y en el fondo en las campañas de invierno y de verano realizadas en el Mar Menor.

La salinidad presenta un valor medio significativamente mayor ($p < 0,001$) en la campaña de verano, $45,5 \pm 1,6$, respecto a los valores medios de salinidad en la campaña de invierno, $41,9 \pm 1,2$. La salinidad en la superficie y en el fondo de la laguna no difieren de forma significativa ($p = 0,47$), presentando valores medios en la superficie y en el fondo de $43,5 \pm 2,4$ y $43,8 \pm 2,1$, respectivamente.

En la figura 3 se observa como la salinidad en el interior del sistema es considerablemente más elevada que en las estaciones estudiadas en el Mar Mediterráneo, donde la salinidad alcanza un valor medio de 37,5 frente a los 43,7 del Mar Menor. Esta diferencia de

salinidades existe en las 2 campañas y se debe al efecto conjunto de la evaporación y la escasa tasa de renovación de agua con el exterior.

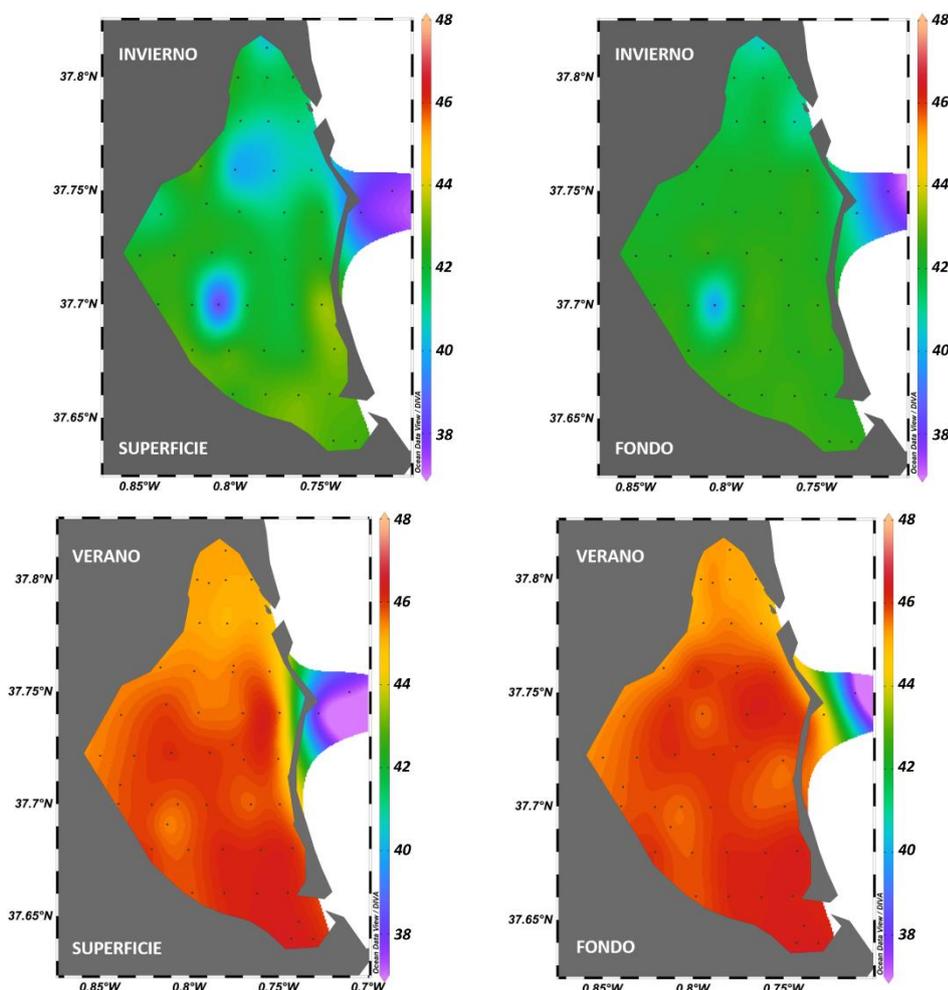


Figura 3. Distribución con la latitud y la longitud de la salinidad en la superficie y en el fondo en las campañas de invierno y de verano realizadas en el Mar Menor.

De forma general, la columna de agua del Mar Menor es uniforme y no presenta estratificación. Esta homogeneidad se ve favorecida por la poca profundidad del sistema, que varía entre 5,0 y 6,7 metros en la zona central. No obstante, se observa una leve estratificación en algunas estaciones de muestreo. En la figura 4 se observa una disminución de la temperatura y un aumento de la salinidad a partir de unos 3 m de profundidad, y que probablemente se deba a que la entrada de agua desde el Mediterráneo no se mezcla por completo con las masas de agua más profundas en algunas zonas del Mar Menor.

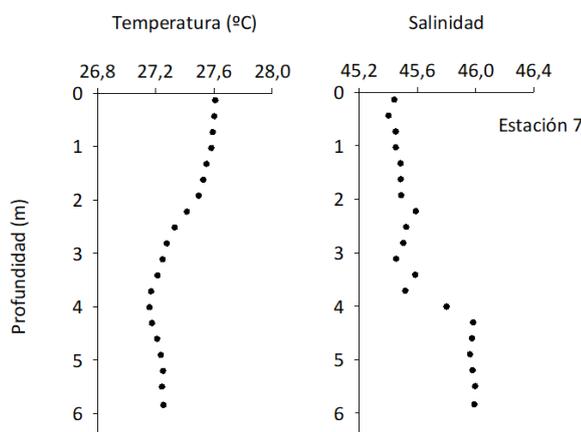
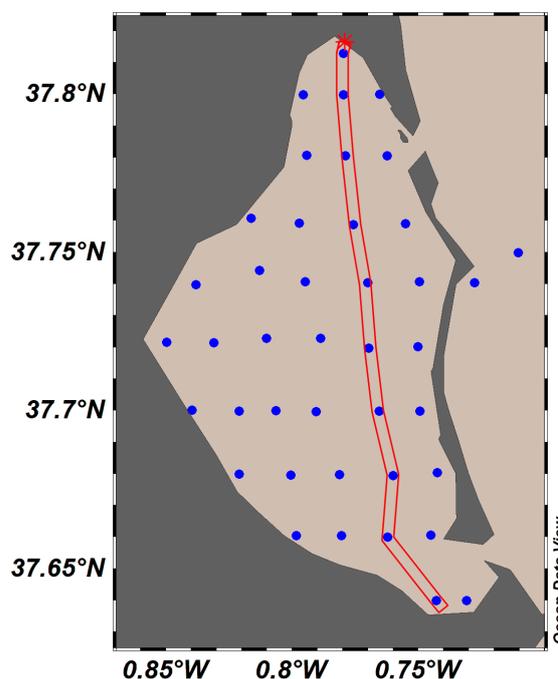


Figura 4. Variación vertical de la temperatura y la salinidad en la estación 7 durante la campaña de verano en el Mar Menor.

En la figura 5 se han representado los valores de temperatura y salinidad en toda la columna de agua a lo largo de un transecto Norte-Sur para las dos campañas realizadas en el Mar Menor. En invierno, se observa en la superficie del agua valores más altos de temperatura y tanto en invierno como en verano valores más bajos de salinidad respecto al resto de la columna de agua. Estas variaciones están relacionadas con las precipitaciones, relativamente intensas, que tuvieron lugar durante las 2 campañas. También se observa la existencia de un gradiente longitudinal de salinidades, con valores más elevados en la zona sur, donde la tasa de renovación de agua es menor y tiene un mayor efecto los procesos de evaporación.



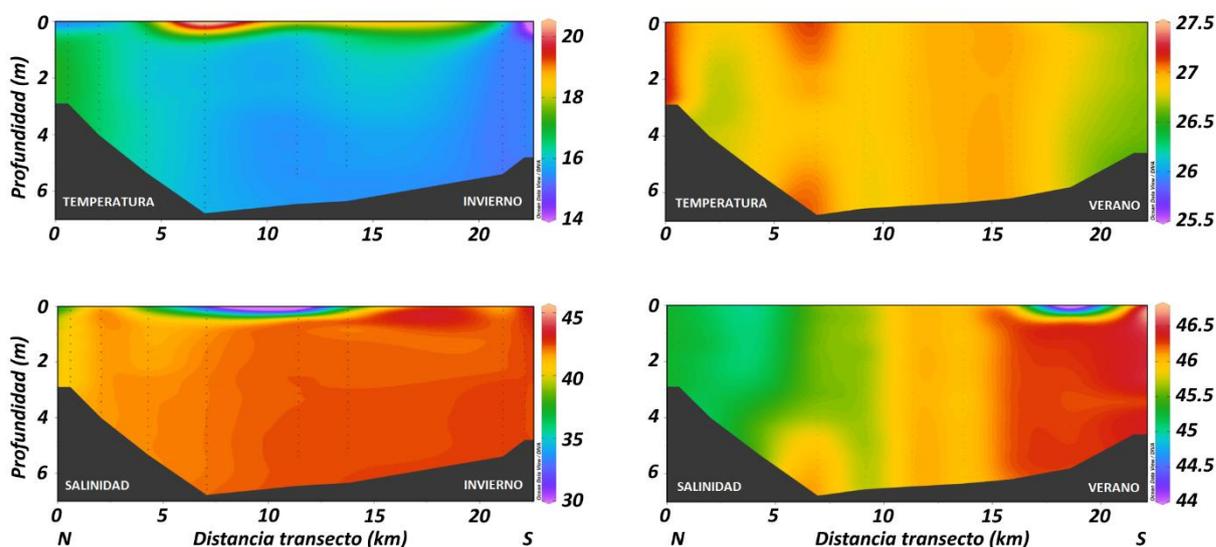


Figura 5. Valores de la temperatura y de la salinidad en la columna de agua a lo largo de un transecto Norte-Sur del Mar Menor.

En la tabla 2 se muestran los valores medios de las variables bioquímicas que se han utilizado para caracterizar el sistema y explicar la distribución de los gases con efecto invernadero. En el anexo II se recogen los valores de las variables descritas en cada uno de los puntos de muestreo.

El pH presenta un valor medio constante en el sistema de $7,89 \pm 0,07$. En el agua de mar existen numerosos equilibrios ácido-base que hacen que el pH permanezca relativamente constante. Por consiguiente, los valores medios de pH en la campaña de invierno y verano no presentan diferencias significativas ($p = 0,65$), al igual que los valores medios de pH en la superficie y en el fondo del sistema ($p = 0,903$). El valor de pH en el Mar Menor es relativamente bajo en comparación con otros sistemas marinos, donde el pH suele estar comprendido entre 7,9 y 8,1, con un valor promedio muy próximo a 8,0 (Duarte et al., 2013).

En la figura 6 se aprecian pequeñas variaciones locales del pH relacionadas con la intensidad relativa de los procesos de fotosíntesis y respiración. También se observa como los valores de pH en invierno son relativamente mayores en las estaciones del Mar Mediterráneo respecto a los valores del interior del sistema.

Tabla 2. Intervalos de variación, valor medio y desviación estándar (SD) del pH, alcalinidad total (AT, μM), carbono inorgánico disuelto (CID, μM), oxígeno disuelto (OD, μM), utilización aparente de oxígeno (AOU, μM), clorofila (Cla, $\mu\text{g L}^{-1}$) y grado de saturación de calcita (Ω) en la superficie y en el fondo para las campañas de invierno y verano en el Mar Menor.

		Invierno		Verano	
		Superficie	Fondo	Superficie	Fondo
pH	Min – Max	7,72 – 8,07	7,71 – 8,10	7,72 – 8,02	7,74 – 8,03
	Media \pm SC	7,90 \pm 0,07	7,89 \pm 0,06	7,88 \pm 0,06	7,89 \pm 0,07
AT	Min – Max	2172,3 – 2584,8	2158,3 – 2592,7	1799,8 – 2343,7	1804,9 – 2337,7
	Media \pm SC	2274,6 \pm 92,3	2260,6 \pm 84,1	1897,7 \pm 106,3	1883,8 \pm 85,1
CID	Min – Max	1953,1 – 2309,3	1944,2 – 2307,2	1504,3 – 2072,6	1500,0 – 2076,1
	Media \pm SC	2080,1 \pm 84,0	2069,1 \pm 74,1	1629,8 \pm 102,7	1613,5 \pm 84,1
OD	Min – Max	104,3 – 233,6	74,8 – 236,7	86,2 – 233,0	71,4 – 249,1
	Media \pm SC	187,6 \pm 23,7	179,1 \pm 30,2	176,4 \pm 31,6	179,8 \pm 38,2
AOU	Min – Max	-54,0 – 68,1	-45,3 – 105,1	-74,1 – 74,1	-90,2 – 87,4
	Media \pm SC	-9,3 \pm 22,2	-0,6 \pm 29,8	-16,1 \pm 31,7	-19,9 \pm 38,2
Cla	Min – Max	1,2 – 4,8	1,3 – 6,7	0,4 – 3,7	0,4 – 3,6
	Media \pm SC	3,1 \pm 0,8	3,4 \pm 1,1	1,6 \pm 0,9	1,7 \pm 0,8
Ω	Min – Max	2,2 – 4,6	2,1 – 4,8	2,7 – 4,7	2,8 – 4,8
	Media \pm SC	3,1 \pm 0,5	3,1 \pm 0,4	3,7 \pm 0,5	3,7 \pm 0,5

La concentración de carbono inorgánico disuelto presenta valores significativamente mayores ($p < 0,001$) en invierno, con una media de $2074,6 \pm 79,2 \mu\text{M}$, respecto a los valores de CID en condiciones de verano, los cuales presentan un valor medio de $1621,6 \pm 99,1 \mu\text{M}$. Respecto a los valores medios en la superficie y en el fondo, no existen diferencias significativas ($p = 0,71$) entre ellos.

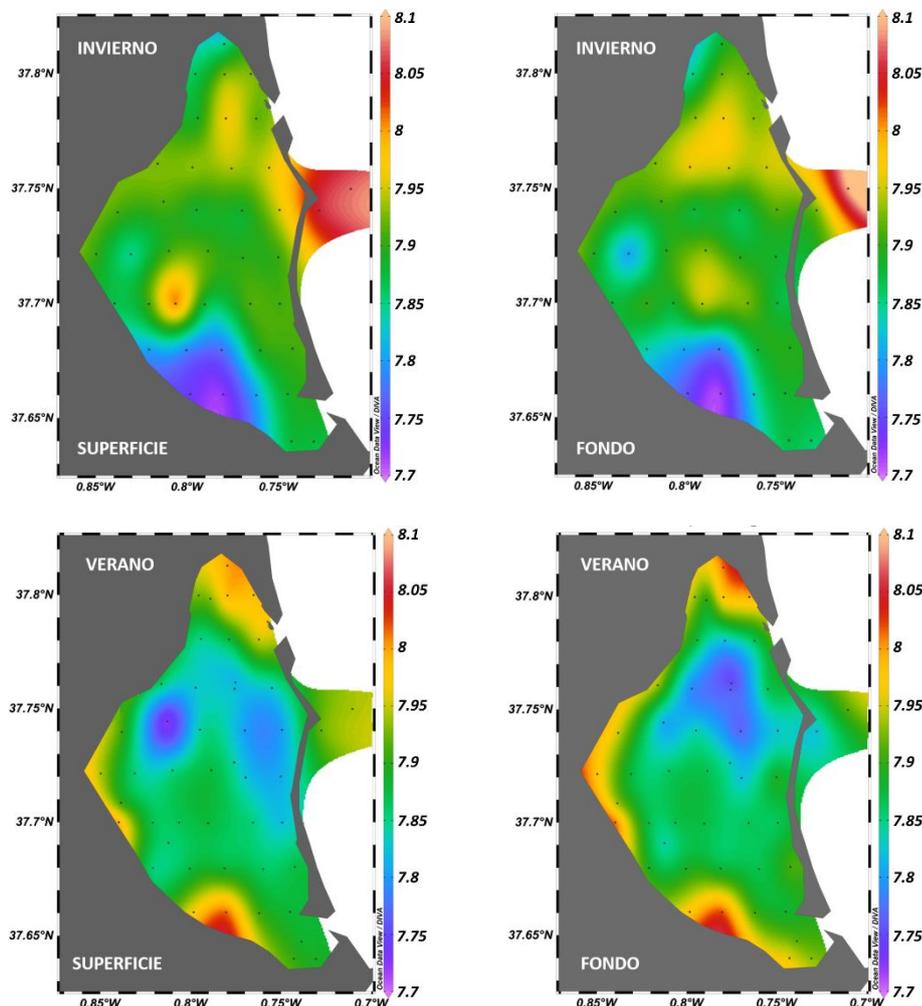


Figura 6. Distribución con la latitud y la longitud de los valores de pH en la superficie y en el fondo en las campañas de invierno y verano realizadas en el Mar Menor.

Se observa de forma general como CID en las estaciones del Mediterráneo poseen valores mayores respecto al interior del sistema (Figura 7), lo que sugiere el consumo de CID dentro de la laguna, de forma más acentuada en verano. Este consumo puede ser debido a la actividad fotosintética de productores primarios (Muduli et al., 2012), como son las praderas de fanerógamas marinas, las cuales presentan un aumento de su biomasa en primavera y verano en el Mar Menor como consecuencia de la mayor radiación solar (Ballester, 1985). Mediante la fotosíntesis, las praderas retiran CO_2 del medio y consecuentemente bajan los valores de CID.

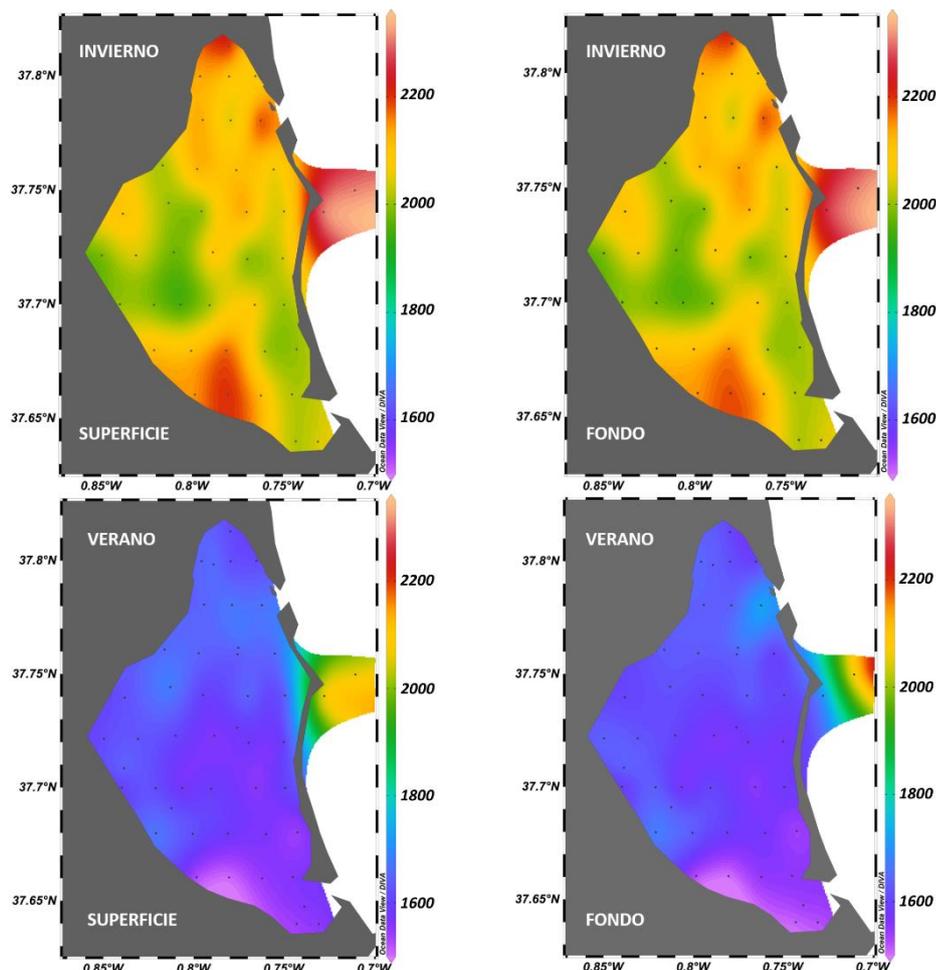


Figura 7. Distribución con la latitud y la longitud de la concentración de CID (μM) la superficie y en el fondo en las campañas de invierno y verano realizadas en el Mar Menor.

En verano la AOU presenta un valor significativamente más negativo ($p < 0,001$), $-20,8 \pm 33,4 \mu\text{M}$, respecto a los valores medios de la campaña de invierno, $-4,9 \pm 26,5 \mu\text{M}$. Esto indica una producción de oxígeno en el sistema que se acentúa en verano debido al aumento de la producción primaria. Respecto a la utilización aparente de oxígeno en la superficie y en el fondo, no existen diferencias significativas ($p = 0,72$).

Cabe destacar que, aunque los valores medios de AOU en la laguna sean negativos, en algunos puntos de muestreo existe un consumo de oxígeno predominando los procesos degradativos de la materia orgánica y por tanto presentan valores de AOU positivos (Figura 8).

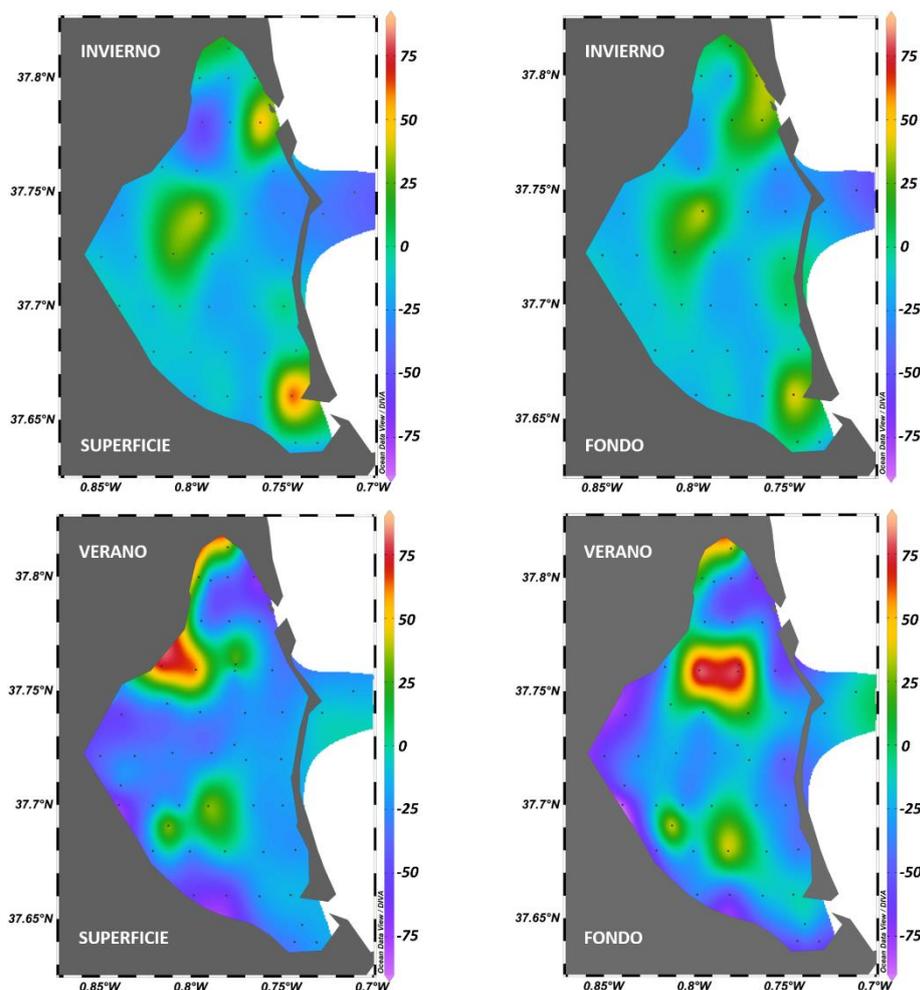


Figura 8. Distribución con la latitud y la longitud de la utilización aparente de oxígeno (AOU, μM) en la superficie y en el fondo en las campañas de invierno y verano realizadas en el Mar Menor.

La concentración de clorofila es significativamente mayor ($p < 0,001$) en invierno ($3,3 \pm 0,1 \mu\text{gL}^{-1}$) que en verano ($1,6 \pm 0,9 \mu\text{gL}^{-1}$). Esta disminución de la concentración de fitoplancton en la columna de agua durante el verano podría estar relacionada con el aumento en las poblaciones de medusas que se ha observado, las cuales, compiten con el fitoplancton por los nutrientes del sistema. Otras posibles causas de este descenso podría ser la limitación por falta de nutrientes asociada al crecimiento de las praderas de fanerógamas o la existencia de un menor aporte directo de nutrientes a través de las ramblas. En la figura 9 se muestra la variación de los niveles de clorofila en la laguna durante la campaña de invierno y de verano en la superficie y en el fondo. Los valores medios de clorofila en la superficie y en el fondo no

presentan diferencias estadísticamente significativas ($p = 0,24$) presentando en superficie una media de $2,3 \pm 1,2 \mu\text{gL}^{-1}$ y en el fondo $2,5 \pm 1,3 \mu\text{gL}^{-1}$.

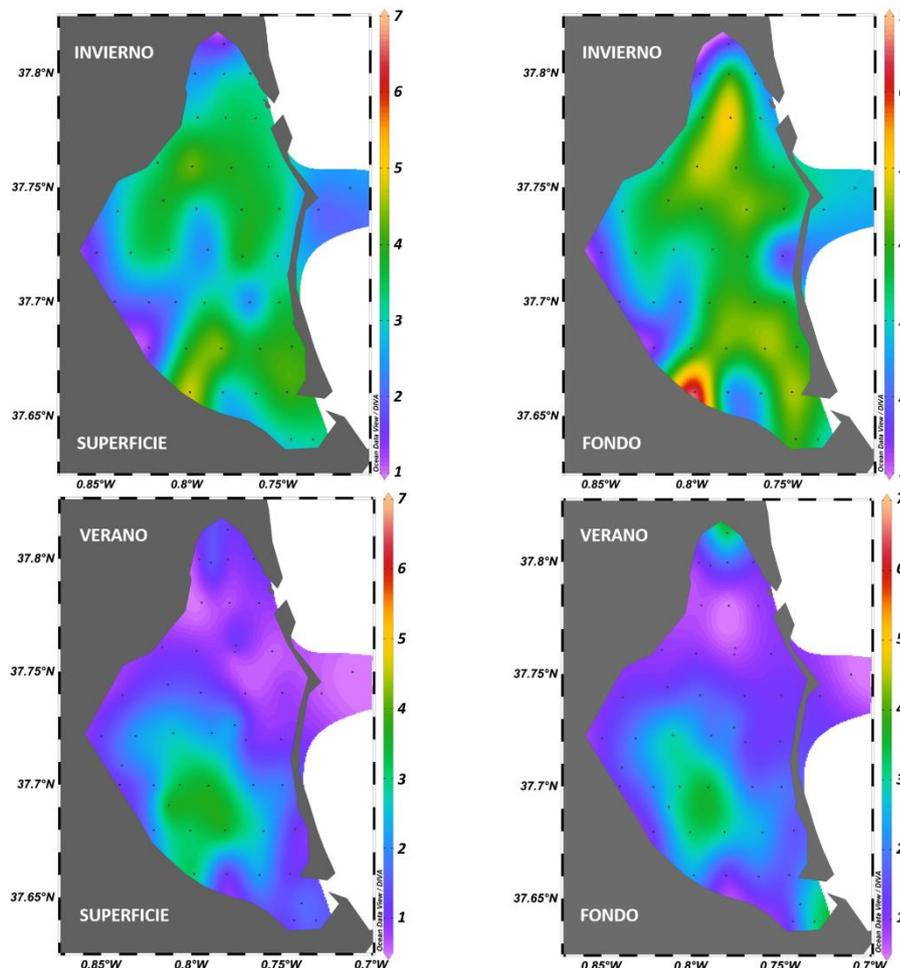


Figura 9. Distribución con la latitud y la longitud de la concentración de clorofila ($\mu\text{g L}^{-1}$) en la superficie y en el fondo en las campañas de invierno y verano realizadas en el Mar Menor.

El grado de saturación de la calcita presenta un valor medio más alto en verano, de $3,7 \pm 0,5$ respecto a los valores medios en invierno de $3,1 \pm 0,5$ ($p < 0,001$), y no se han observado diferencias significativas ($p = 0,90$) entre la superficie y el fondo. Ya que el pH es similar y CID es menor en verano, este aumento se encuentra relacionado con la disminución del producto de solubilidad con la temperatura, así como con el aumento de la concentración de Ca^{2+} que es proporcional a la salinidad en el agua de mar. En general, el agua de mar se encuentra sobresaturada de CaCO_3 ($\Omega > 1$) lo que facilita la formación de esqueletos externos por parte de organismos calcificadores, y no se produce la precipitación espontánea debido a factores cinéticos (Millero, 2011). En la figura 10 se observa como el grado de

saturación de la calcita es mayor en el Mediterráneo respecto a las estaciones del interior del sistema, así como un aumento en las estaciones cercanas a la costa donde el pH es mayor.

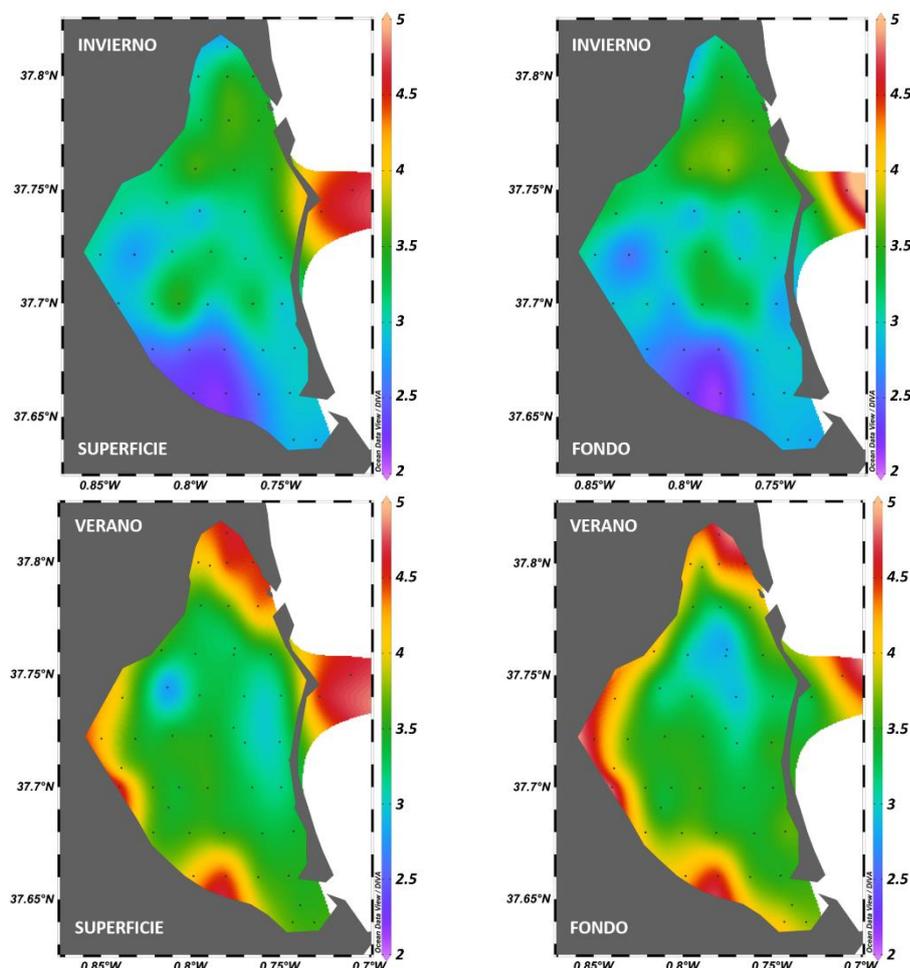


Figura 10. Distribución con la latitud y la longitud del grado de saturación de calcita en la superficie y en el fondo en las campañas de invierno y verano realizadas en el Mar Menor.

A partir de las distribuciones de estas variables pueden hacerse consideraciones sobre aspectos puntuales del funcionamiento de este ecosistema. De forma general, en el Mar Menor se observan concentraciones más bajas de CID respecto a su valor en el Mediterráneo. En otros estudios de estuarios y lagunas costeras también se observa esta tendencia (Atekwana et al., 2003; Ribas-Ribas et al., 2011), y se ha descrito una fuerte correlación negativa entre la producción primaria y la concentración de CID, que es indicativo de la utilización de CID para la fotosíntesis (Muduli et al., 2013). Así pues, el consumo de CID puede ser debido a la actividad de las praderas de fanerógamas marinas presentes en el Mar

Menor, que es más intensa en verano, y al intenso grado de confinamiento del sistema que impide la renovación de sus aguas. En la figura 11 se observa la existencia de una relación inversa entre la concentración de CID y la salinidad, contraria a la que existe habitualmente en el agua de mar, ya que el CID es uno de sus compuestos mayoritarios.

Otra consecuencia de la actividad fotosintética de las fanerógamas marinas es el aumento del pH, y por tanto, un aumento de las concentraciones de CO_3^{2-} . Este hecho afecta de forma directa en el grado de saturación de la calcita, el cual aumenta linealmente con el pH (figura 22, $r^2 = 0,60$). Por otra parte, la concentración de clorofila es indicativa de la presencia de fitoplancton, lo que puede provocar la turbidez del sistema perjudicando la actividad fotosintética de las fanerógamas marinas. Por lo tanto, valores bajos de clorofila favorecen la proliferación de las praderas de fanerógamas y el consumo de CID por fotosíntesis. En la campaña de verano la concentración de clorofila es menor y se produce un mayor consumo de CID dentro del sistema. Esto es debido a la proliferación de medusas que compiten con el fitoplancton por los nutrientes. Las medusas en invierno se encuentran en fase pólipo y su actividad es muy reducida, mientras que, en verano, en estado adulto, son capaces a través de las zooxantelas de retirar nutrientes del medio evitando la proliferación de fitoplancton en el medio (Kikinger, 1992).

Estos procesos también se observan de forma puntual en las estaciones 35 y 36 de muestreo, situadas al suroeste de la laguna. En la campaña de verano se observan en esta zona los valores mayores de pH y por tanto también del grado de saturación de la calcita. Esto puede ser debido a una mayor densidad de fanerógamas que retiran CO_2 del medio mediante la fotosíntesis, lo que provoca una mayor producción de oxígeno y un valor más bajo de CID. En esta zona puede que el desarrollo de las praderas de fanerógamas sea mayor debido a las bajas concentraciones de clorofila respecto a la media del sistema. A pesar de que esta zona es una de las que presenta mayor índice de presión del Mar Menor existe un 80% de cobertura de la especie de fanerógama marina *C. Nodosa* (Belando et al., 2017). La playa próxima a dichos puntos de muestreo es conocida como "Mar de Cristal".

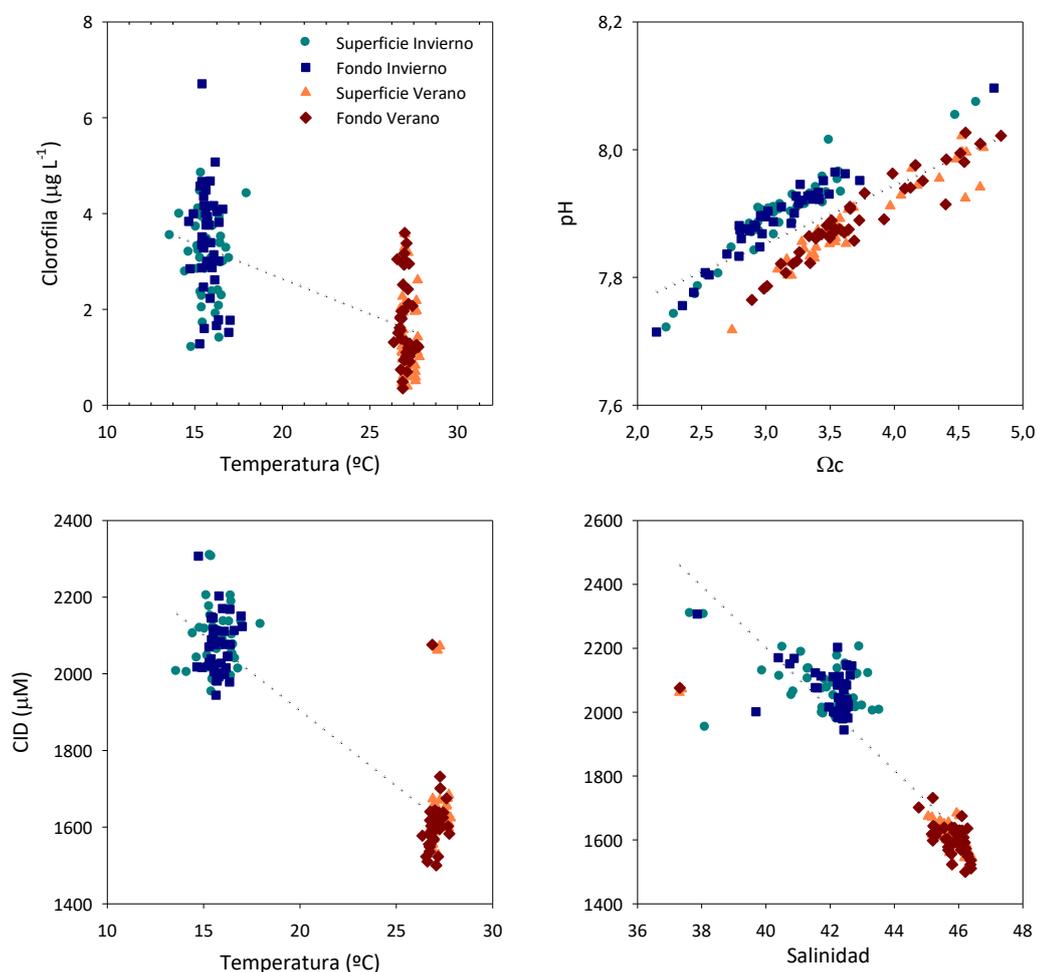


Figura 11. Variación de la clorofila con la temperatura, del pH con el grado de saturación de la calcita, del CID con la temperatura y del CID con la salinidad.

En la tabla 3 se presentan los valores medios de la presión parcial de $p\text{CO}_2$ y de las concentraciones de N_2O y CH_4 para las campañas de invierno y verano, tanto en la superficie como en el fondo.

Los valores medios de $p\text{CO}_2$ en la campaña de invierno son mayores, $579,7 \pm 101,7 \mu\text{atm}$ respecto a los valores medios de verano, $464,19 \pm 81,1 \mu\text{atm}$ ($p < 0,001$). Ya que la concentración en la atmósfera de CO_2 para el mes de marzo y septiembre de 2018 según los datos aportados por la NOAA es de 408,56 y de 405,02 ppm respectivamente, el sistema se encuentra sobresaturado de CO_2 si se considera una presión atmosférica próxima a 1 atm. Los valores medios de la superficie y del fondo no presentan diferencias significativas ($p =$

0,72), siendo los valores medios de superficie de $514,9 \pm 109,3 \mu\text{atm}$ y de fondo $518,9 \pm 108,22 \mu\text{atm}$. En invierno en las estaciones del Mar Mediterráneo los valores de $p\text{CO}_2$ son más bajos respecto a los valores del interior del sistema (Figura 12). Esto puede ser debido una mayor importancia reacciones de oxidación de materia orgánica que dan lugar a una presión parcial de CO_2 mayor dentro del sistema.

Tabla 3. Intervalo de variación, valor medio y desviación estándar de la presión parcial de CO_2 ($p\text{CO}_2$, μatm), y las concentraciones de CH_4 (nM) y N_2O (nM) en la superficie y en el fondo en situación de invierno y verano en el Mar Menor.

		Invierno		Verano	
		Superficie	Fondo	Superficie	Fondo
$p\text{CO}_2$	Min - Max	405,5 – 914,3	390,8 – 905,3	300,7 – 726,3	295,7 – 685,2
	Media \pm SD	$579,2 \pm 107,9$	$580,2 \pm 96,4$	$472,1 \pm 77,5$	$463,9 \pm 84,9$
CH_4	Min - Max	5,7 – 25,6	5,4 – 19,0	7,5 – 46,9	8,0 – 48,4
	Media \pm SD	$8,1 \pm 3,3$	$8,5 \pm 2,1$	$11,9 \pm 5,6$	$13,4 \pm 6,4$
N_2O	Min - Max	6,4 – 9,3	7,5 – 10,5	3,9 – 6,1	3,9 – 8,7
	Media \pm SD	$7,7 \pm 0,4$	$8,1 \pm 0,5$	$5,0 \pm 0,5$	$5,0 \pm 0,8$

En invierno, los valores máximos de $p\text{CO}_2$ se producen en las estaciones 35 y 36, donde se dan presiones parciales de 914,3 y 850,5 μatm respectivamente. En verano ocurre el comportamiento contrario, y las estaciones 35 y 36 muestran valores menores en comparación con la media del sistema (300,7 y 349,3 respectivamente).

Estas variaciones pueden ser debidas a un predominio de los procesos de mineralización de la materia orgánica en el sedimento en invierno o a la influencia de efluentes procedentes de la rambla de la Carrasquilla próxima a esta zona. Sin embargo, en verano como se comentó con anterioridad, existe un consumo de CO_2 por parte de las fanerógamas marinas, por lo que la presión parcial de CO_2 disminuye.

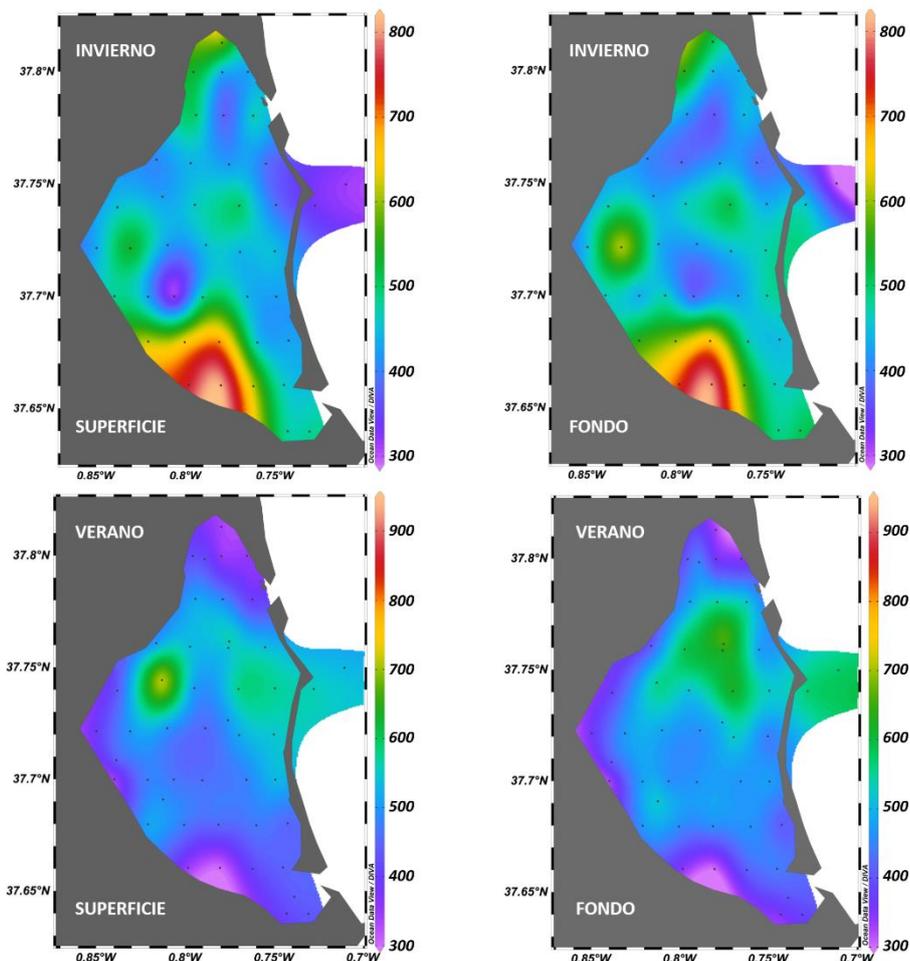


Figura 12. Distribución con la latitud y la longitud de la presión parcial de CO₂ (µatm) en la superficie y en el fondo en las campañas de invierno y verano realizadas en el Mar Menor.

Factores como la temperatura, la salinidad, el pH y el CID afectan a la distribución del pCO₂ en el sistema (figura 13). La presión parcial de CO₂ tiende a disminuir con la temperatura y la salinidad como consecuencia de una mayor captación de C por los productores primarios durante el verano. Por otra parte, existe una disminución lineal significativa de pCO₂ con el pH ($r^2 = 0,6$), ya que una disminución del pH desplaza los equilibrios de disociación de ácido carbónico hacia sus formas menos disociadas. De forma similar, los valores de pCO₂ tienden a aumentar con la concentración de CID, ya que ambas variables se encuentran directamente relacionadas a través de los diferentes equilibrios ácido-base del sistema del carbono inorgánico.

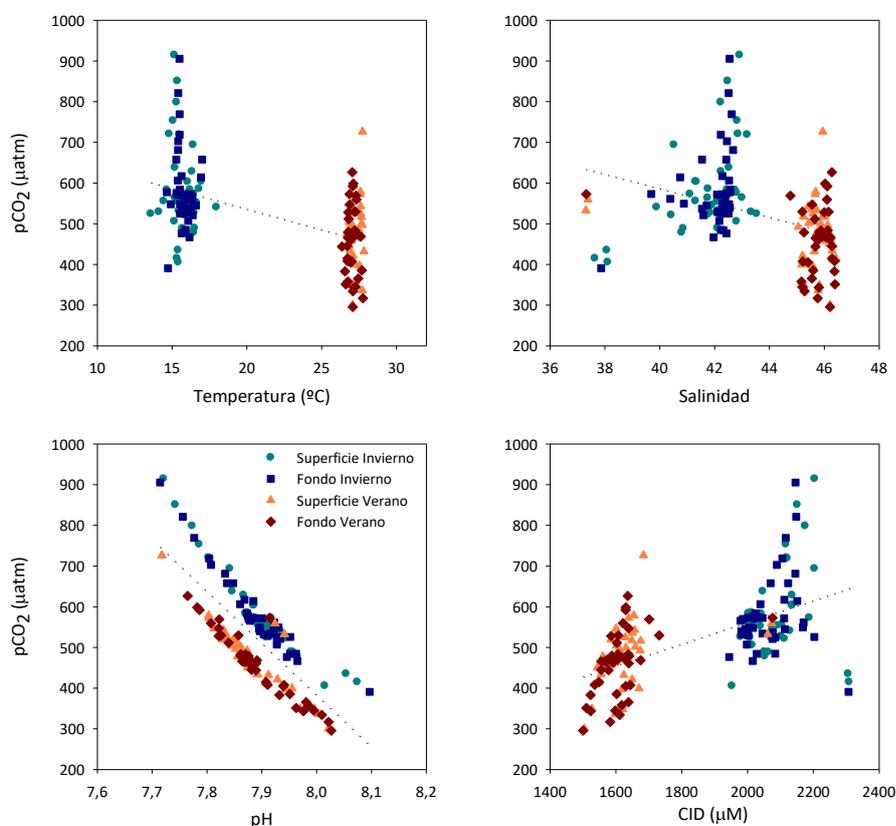


Figura 13. Variación entre la presión parcial de CO₂ con la temperatura, salinidad, pH y CID.

La concentración media de CH₄ en invierno y verano es de $8,3 \pm 2,8$ nM y $12,8 \pm 6,4$ nM, respectivamente. En verano la concentración de CH₄ es mayor significativamente ($p < 0,001$), y no se aprecian diferencias ($p = 0,24$) entre la superficie y en el fondo. La metanogénesis en el sedimento constituye la principal fuente de CH₄ en los sistemas costeros (Reeburgh, 2007), aunque también puede producirse en microambientes anóxicos en el interior de las partículas de materia orgánica disuelta en la columna de agua (Karl y Tilbrook, 1994). Un aumento de la temperatura acelera los procesos de mineralización de la materia orgánica y provoca un aumento de la liberación de CH₄ hacia la columna de agua. En verano se observa un aumento de la concentración de CH₄ en las estaciones del oeste del Mar Menor (Figura 14), que puede ser debida a aportes continentales de CH₄ provenientes de las ramblas próximas a dichos puntos como consecuencia de las precipitaciones durante la campaña. En este sentido, la solubilidad del CH₄ es mayor a medida que disminuye la salinidad. El grado de saturación del CH₄ en invierno es del 357,8% y en verano de 704,6%, y por tanto, el sistema

está sobresaturado de CH₄. Los valores más bajos de concentración de CH₄ se dan en las estaciones del Mar Mediterráneo (Figura 25).

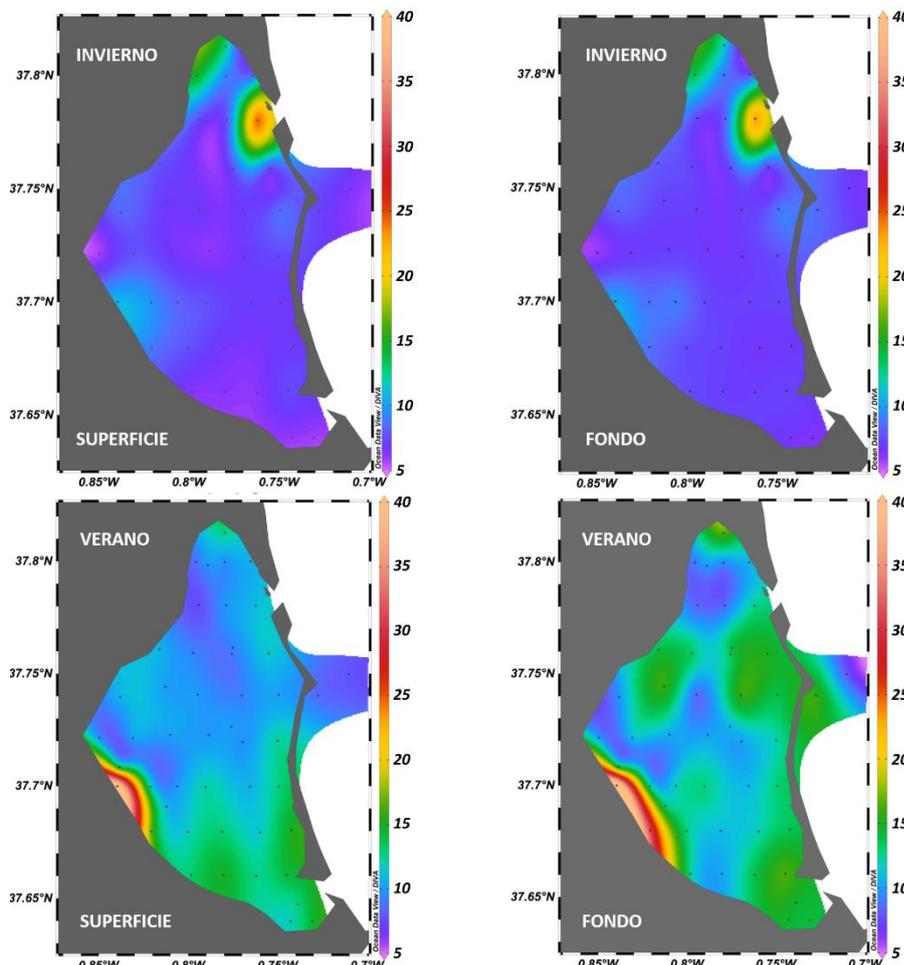


Figura 14. Distribución con la latitud y la longitud de la concentración de CH₄ (nM) en la superficie y en el fondo en las campañas de invierno y verano realizadas en el Mar Menor.

La concentración media de N₂O en verano es de $5,0 \pm 0,7$ nM, significativamente menor ($p < 0,001$) respecto a la concentración media de invierno de $7,9 \pm 0,5$ nM, y no se encuentran diferencias significativas entre superficie y fondo ($p = 0,3$). El grado de saturación del medio en invierno es del 94,0 % mientras que en verano es del 85,1 %, y por tanto, el sistema está subsaturado de N₂O. El nitrógeno inorgánico disuelto es el principal factor que controla la producción bacteriana de N₂O, y numerosos autores han encontrado una correlación entre la concentración de N₂O y la concentración de NO₃⁻ (de la Paz et al., 2015; Sierra et al., 2017a). Se sabe que, en sistemas que presentan un déficit de nutrientes el proceso de desnitrificación puede consumir N₂O, por lo que la disminución de N₂O en verano puede estar relacionado

con una intensificación de los procesos de desnitrificación (Murray et al., 2015). En la figura 15, se observa la distribución de los valores de concentración N_2O en el Mar Menor para las campañas de invierno y verano tanto en la superficie como en el fondo. En invierno los máximos de concentración de N_2O se dan en el Mar Mediterráneo.

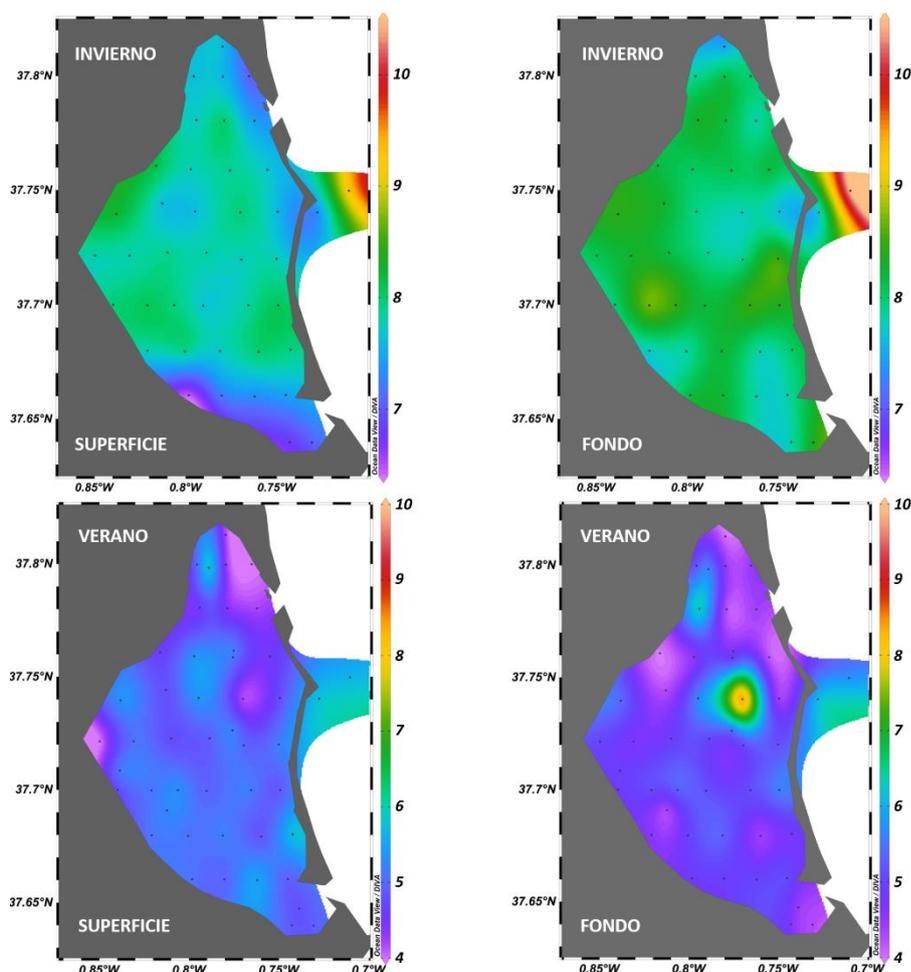


Figura 15. Distribución con la latitud y la longitud de la concentración de N_2O (nM) en la superficie y en el fondo en las campañas de invierno y verano realizadas en el Mar Menor.

La concentración de N_2O en la columna de agua tiende a disminuir con la temperatura (Figura 16). Esta tendencia, además de estar motivada por una intensificación de los procesos de desnitrificación, está relacionada con la disminución de la solubilidad con la temperatura que favorece su intercambio con la atmósfera (Figura 16). Por otro lado, en verano la concentración media de CH_4 es mayor debido a la dependencia de la metanogénesis con la temperatura, como se ha comentado previamente.

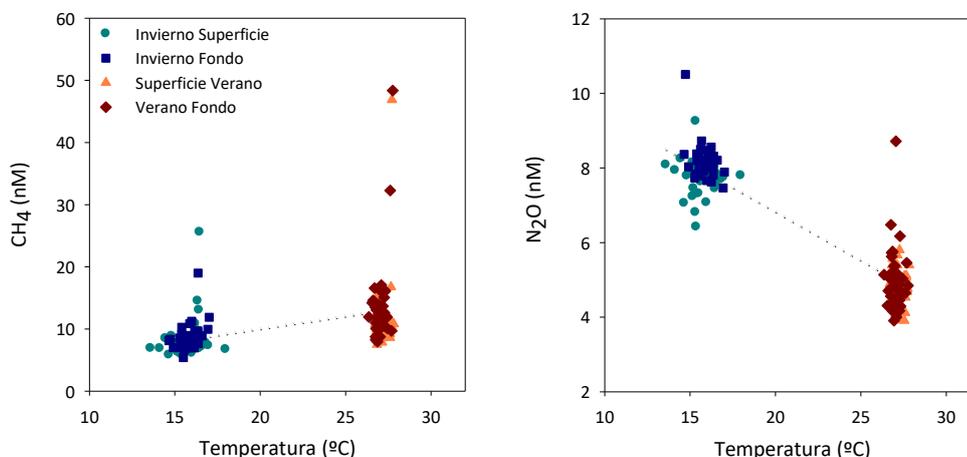


Figura 16. Variación de la concentración de CH₄ con la temperatura y variación de la concentración de N₂O con la temperatura.

A partir de las concentraciones de gases con efecto invernadero en el agua superficial, se puede calcular los flujos que experimentan con la atmósfera.

A este respecto, la velocidad del viento es el principal factor que determina la constante de transferencia, y por tanto, condiciona los flujos de gases a través de la interfase agua-atmósfera. La velocidad del viento en las 2 campañas ha sido relativamente constante, con valores medios de 1,64 y 1,47 m s⁻¹ para la campaña de invierno y verano, respectivamente (Figura 17). De esta forma, la velocidad del viento no contribuye a explicar las diferencias de los flujos a la atmósfera entre las 2 campañas. Se observan vientos predominantes en dirección este en invierno y en dirección suroeste verano, no superando valores de 2,2 m s⁻¹.

En la tabla 4 se muestran los valores de los flujos de CO₂, CH₄ y N₂O a través de la interfase agua-atmósfera en el Mar Menor.

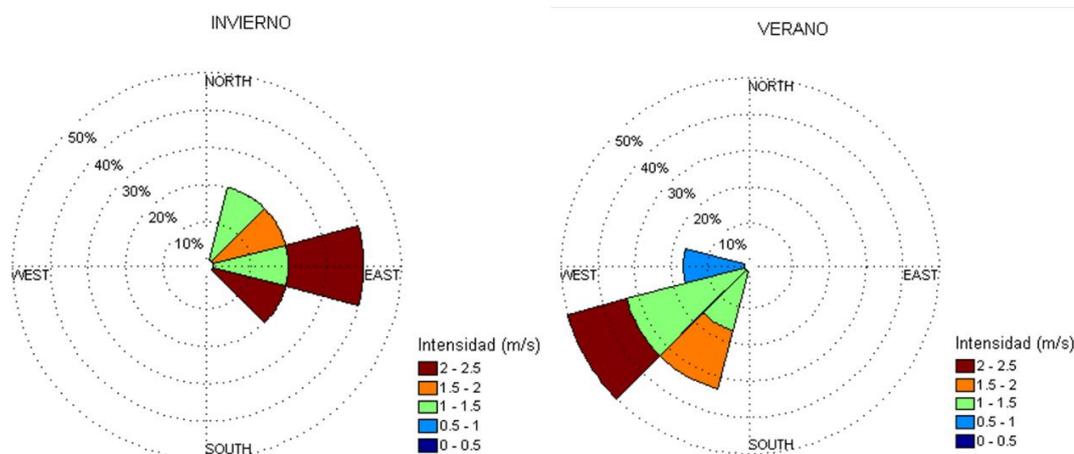


Figura 17. Rosa de vientos para los periodos de muestreo de las campañas de invierno y verano en el Mar Menor.

Tabla 4. Intervalo de variación, valor medio y desviación estándar de los flujos a través de la interfase agua-atmósfera de los gases CO_2 ($\text{mmol m}^{-2} \text{d}^{-1}$), CH_4 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$) y N_2O ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$) en situación de invierno y verano en el Mar Menor.

		Invierno	Verano
FCO_2	Min – Max	-0,3 – 14,6	-3,0 – 7,6
	Media \pm SD	4,8 \pm 3,2	1,5 \pm 2,3
FCH_4	Min – Max	2,4 – 19,8	6,0 – 48,8
	Media \pm SD	5,2 \pm 2,9	11,0 \pm 6,0
FN_2O	Min – Max	-1,7 – 0,5	-1,9 – 0,3
	Media \pm SD	-0,6 \pm 0,4	-0,9 \pm 0,5

El flujo medio agua-atmósfera de CO_2 es positivo, por lo que el sistema actúa como fuente hacia la atmósfera. La emisión a la atmósfera es significativamente mayor ($p < 0,001$) en la campaña de invierno, con un flujo medio de $4,8 \pm 3,2 \text{ mmol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ en comparación con su valor medio en verano ($1,5 \pm 2,3 \text{ mmol m}^{-2} \text{d}^{-1}$). Cabe destacar que el máximo de emisión de CO_2 a la atmósfera tiene lugar en las estaciones 35 y 36 en invierno, con valores de $14,6$ y $12,7 \text{ mmol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ respectivamente (Figura 18), como consecuencia de la elevada presión parcial de CO_2 presente en la columna de agua. En condiciones de verano se observa la tendencia contraria en esta zona, con flujos negativos y, por lo tanto, el sistema actúa como sumidero de CO_2 . Así pues, aunque en verano la actividad fotosintética disminuya los valores

de pCO₂, el sistema actúa en su conjunto como fuente de CO₂ a la atmósfera, lo que sugiere un predominio de los procesos respiratorios en el sistema con respecto a la producción primaria, transformándose el carbono orgánico en CO₂ (Muduli et al., 2012).

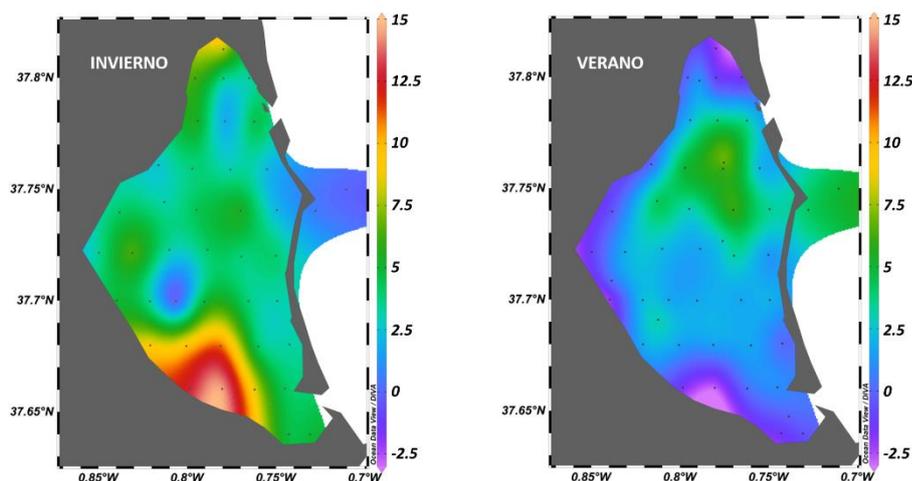


Figura 18. Distribución con la latitud y la longitud del Flujo CO₂ (mmol m⁻² d⁻¹) en las campañas de invierno y verano realizadas en el Mar Menor.

El flujo de CH₄ es positivo, por lo que el Mar Menor actúa como fuente a la atmósfera. La emisión de CH₄ es significativamente mayor ($p < 0,001$) en verano, con un valor medio de $11,0 \pm 6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$, que en invierno, con el valor medio de $5,2 \pm 2,9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$. Se observa un flujo máximo de $48,8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ en la zona oeste cercana a las ramblas (Figura 19). Este máximo coincide con el máximo de concentración de CH₄ en la columna de agua.

El flujo agua-atmósfera de N₂O es negativo, por lo que de forma general el sistema actúa como un sumidero de este gas. Los valores medios en invierno de $-0,6 \pm 0,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ son significativamente menores ($p < 0,01$) que en verano, con un valor medio de $-0,9 \pm 0,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$. Los flujos mayores se dan en el Mar Mediterráneo y coinciden con los máximos de concentración de N₂O en la columna de agua (Figura 20).

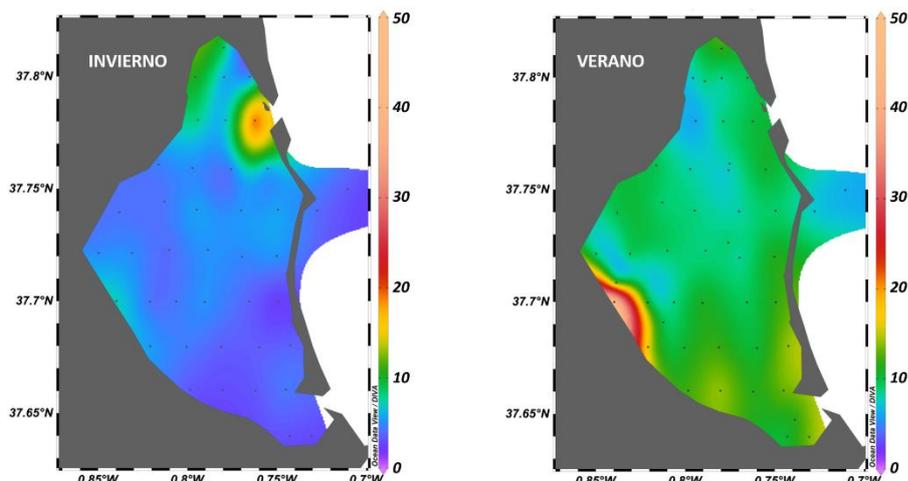


Figura 19. Distribución con la latitud y la longitud del Flujo CH_4 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$) en las campañas de invierno y verano realizadas en el Mar Menor.

En las tablas 5 y 6 se ha realizado una recopilación de los flujos de CO_2 , CH_4 y N_2O a la atmósfera para diferentes sistemas costeros. Puede observarse como los flujos de CO_2 y CH_4 se encuentran dentro del intervalo de variación descrito para otros sistemas, y la emisión de estos gases a la atmósfera puede considerarse moderada. Por el contrario, los flujos negativos de N_2O no son habitual en los sistemas costeros, lo que pone de manifiesto la importancia de los procesos de desnitrificación sobre el intercambio de este gas con la atmósfera en el Mar Menor.

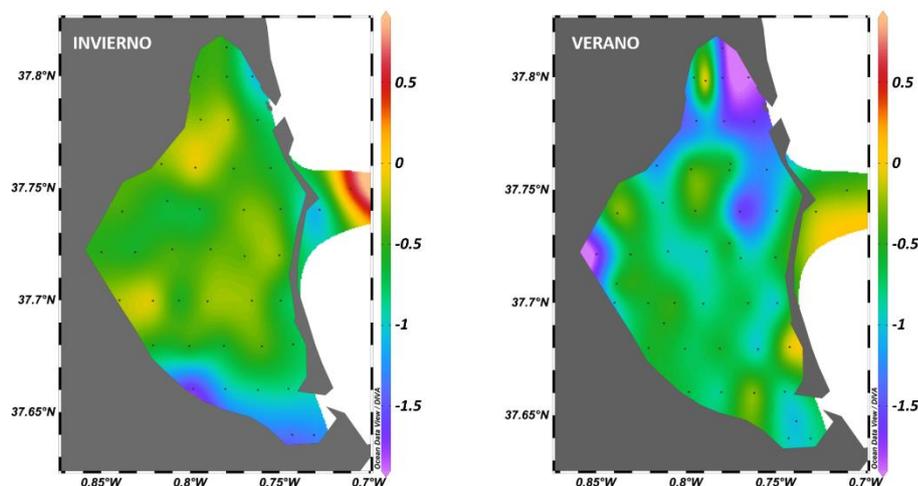


Figura 20. Distribución con la latitud y la longitud del flujo N_2O ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$) en las campañas de invierno y verano realizadas en el Mar Menor

Tabla 5. Concentración y flujos agua-atmósfera de CO₂ y CH₄ en diferentes sistemas costeros.

Localización	pCO ₂ (µatm)	CH ₄ (nM)	Flujo CO ₂ (mmol m ⁻² d ⁻¹)	Flujo CH ₄ (µmol m ⁻² d ⁻¹)	Referencia
Mar Egeo	--	2,4 – 4,8	--	1,55 – 3,02	Bange et al., 1996
Marismas Bahía de Fundy (France)	--	--	6.8 – 84.1	12.5 – 687.5	Magenheimer et al., 1996
Rio San Pedro	981 – 4680	12.6 – 87.5	73 – 177	34 – 150	Ferron et al., 2007
Manglar Mtoni (Tanzania)	--	13 – 190	1 – 80	10 – 350	Kristensen et al., 2008
Islas Andamán (India)	1246 – 6004	30 – 603	22.7 – 172.8	110 – 470	Linto et al., 2014
Bahía Moreton (Australia)	385 – 26106	1.8 – 889	9.4 – 629.2	13.1 – 632.9	Call et al., 2015
Estuario Korogoro Creek (Australia)	9649 – 25130	5 – 4800	620 – 1128	17200 – 43000	Sadat-Noori et al., 2015
Estuario North Creek (Australia)	600 – 3000	44 – 89	19 – 70	7 – 51	Maher et al., 2015
Estuarios Lupar y Saribas (Malasia)	297 – 5504	3.7 – 135	63 – 935	22.5 – 89.2	Müller et al., 2016a,b
Bahía Guanabara (Brazil)	22 – 3715	19 – 11803	-120.5 – 84.7	242 – 4798	Cotovicz et al., 2015,2016
Golfo de Cádiz	--	3,0 – 19,7	--	1,89 – 69,4	Sierra et al., 2017b
Sistemas costeros Bahía Cádiz	314.0 – 3237	0.9 – 4201	-41.5 – 149	1.1 – 4946	Burgos et al., 2018b
Mar Menor	295,7 – 914,3	5,4 – 48,4	-3 – 14,6	2,4 – 48,8	Este estudio, 2018

Tabla 6. Concentración y flujos agua-atmósfera de N₂O en diferentes sistemas costeros.

<i>Localización</i>	<i>N₂O (nM)</i>	<i>Flujo N₂O (μmolm⁻² d⁻¹)</i>	<i>Referencia</i>
Mar Egeo	6,5 – 7,3	104 - 106	Bange et al. (1996)
Bahía de Tokio	9-139	1.5-153	Hashimoto et al., 1999
Golfo de Méjico	5-7	0.6-11.7	Walker et al., 2010
Golfo de Bengala	4.8-8.1	12.3-54.8	Rao et al., 2013
Estuario del Guadalete	9.7-147.6	-0.1-313.2	Burgos et al., 2015
<i>Golfo de Cádiz</i>	6,4 – 14,8	85,1 – 150,9	Sierra et al. (2017a)
<i>Mar Menor</i>	3,9 – 10,5	-7.0 - 0,5	Este estudio (2018)

En las tablas 7 y 8 se muestra la concentración de nutrientes en la superficie y el fondo de la columna de agua para la campaña de verano. De forma gráfica, se muestra esta información en las figuras 21 a 23. En la tabla 9 se presenta los valores medios, desviación estándar e intervalo de variación de forma separada para las concentraciones de nutrientes en la superficie y el fondo.

En líneas generales, no existen diferencias estadísticamente significativas entre las concentraciones en la superficie y el fondo de la columna de agua. Cabe destacar la elevada desviación estándar encontrada para las concentraciones de amonio y silicato, lo que podría indicar fuentes locales de estos nutrientes. Ya que el silicato tiene un origen continental, estas entradas pueden estar asociadas a aportes a través de las ramblas, provenir de filtraciones a través del sedimento desde acuíferos subterráneos.

En la tabla 10 se comparan las concentraciones de nutrientes obtenidas en las campañas de invierno y verano. Puede observarse como no existen diferencias significativas para las concentraciones de nitrito, nitrato y fosfato. Por el contrario, las concentraciones de amonio ($9.82 \pm 7.28 \mu\text{M}$) y silicato ($27.62 \pm 8.34 \mu\text{M}$) en verano son sustancialmente más elevadas que las encontradas en invierno ($3.54 \pm 3.29 \mu\text{M}$ y $2.92 \pm 2.01 \mu\text{M}$, respectivamente). Este aumento puede estar relacionado con un cambio en la intensidad de posibles entradas en el sistema, así como al aumento de los flujos bentónicos.

Tabla 7. Concentración de nutrientes en la superficie de la columna de agua del Mar Menor en el muestreo de verano.

Estación	NITRITO (μM)	NITRATO (μM)	AMONIO (μM)	FOSFATO (μM)	SILICATO (μM)
MV0-S	0.08	0.35	2.74	0.07	32.11
MV1-S	0.06	0.19	2.69	0.03	29.78
MV2-S	0.03	0.23	3.15	0.04	24.54
MV3-S	0.12	1.37	6.40	0.06	28.56
MV4-S	0.06	0.32	4.49	0.06	22.05
MV5-S	0.12	0.37	7.94	0.04	43.81
MV6-S	0.11	0.42	11.41	0.04	25.94
MV7-S	0.21	0.53	14.08	0.02	38.53
MV8-S	0.18	0.50	13.41	0.03	38.16
MV9-S	0.15	0.55	18.21	0.03	24.66
MV10-S	0.15	0.97	10.27	0.03	29.87
MV11-S	0.15	0.66	13.70	0.02	31.92
MV12-S	0.17	0.67	14.18	0.02	54.36
MV13-S	0.18	0.56	9.87	0.05	26.46
MV14-S	0.20	1.79	12.51	0.84	33.66
MV15-S	0.14	0.29	6.61	0.04	24.12
MV16-S	0.20	1.02	39.86	0.24	25.86
MV17-S	0.18	0.96	13.10	0.05	27.02
MV18-S	0.16	0.48	5.26	0.02	29.50
MV19-S	0.22	0.46	10.93	0.01	31.99
MV20-S	0.18	1.50	27.05	1.00	33.33
MV21-S	0.11	0.25	2.93	0.04	30.94
MV22-S	0.16	0.54	15.14	0.03	31.17
MV23-S	0.17	0.92	15.71	0.05	28.11
MV24-S	0.16	0.39	3.97	0.02	20.75
MV25-S	0.20	0.54	4.76	0.03	34.45
MV26-S	0.18	0.43	10.84	0.04	26.43
MV27-S	0.15	0.33	1.54	0.04	15.01
MV28-S	0.14	0.74	7.95	0.04	24.02
MV29-S	0.10	0.38	40.09	0.04	14.99
MV30-S	0.08	0.66	8.49	0.04	16.79
MV31-S	0.13	0.44	7.44	0.03	15.25
MV32-S	0.04	0.11	2.17	0.02	24.26
MV33-S	0.13	0.72	8.76	0.05	30.37
MV34-S	0.09	0.39	5.07	0.01	29.25
MV35-S	0.04	0.12	1.49	0.01	30.58
MV36-S	0.05	0.19	1.72	0.01	25.57
MV37-S	0.10	0.23	7.14	0.06	29.15
MV38-S	0.12	0.28	4.27	0.02	33.16
MV39-S	0.03	0.22	4.74	0.02	5.68
MV40-S	0.06	0.62	8.24	0.15	6.70

Tabla 8. Concentración de nutrientes en el fondo de la columna de agua del Mar Menor en el muestreo de verano.

Estación	NITRITO (μM)	NITRATO (μM)	AMONIO (μM)	FOSFATO (μM)	SILICATO (μM)
MV0-F	0.08	0.14	3.10	0.05	27.66
MV1-F	0.07	0.26	2.46	0.05	30.37
MV2-F	0.07	0.19	4.08	0.08	26.53
MV3-F	0.11	1.34	5.44	0.02	32.59
MV4-F	0.11	0.36	20.28	0.02	28.62
MV5-F	0.17	0.56	13.65	0.03	44.24
MV6-F	0.13	0.35	11.27	0.03	31.05
MV7-F	0.27	1.79	13.87	1.55	34.25
MV8-F	0.19	0.53	15.62	0.03	35.07
MV9-F	0.19	0.79	14.56	0.03	32.96
MV10-F	0.22	1.79	11.45	0.03	23.02
MV11-F	0.23	0.57	13.38	0.03	31.57
MV12-F	0.19	0.50	18.22	0.02	43.53
MV13-F	0.18	0.56	11.76	0.03	34.00
MV14-F	0.21	0.56	19.67	0.01	35.25
MV15-F	0.14	0.29	7.68	0.04	27.16
MV16-F	0.20	0.54	12.88	0.04	29.76
MV17-F	0.19	1.77	13.37	0.11	25.05
MV18-F	0.19	0.55	6.11	0.03	28.30
MV19-F	0.19	0.47	9.69	0.02	32.97
MV20-F	0.14	0.50	9.69	0.05	27.57
MV21-F	0.07	0.10	3.09	0.03	28.40
MV22-F	0.16	0.59	14.21	0.04	27.55
MV23-F	0.18	0.77	14.43	0.01	23.23
MV24-F	0.19	0.54	5.94	0.04	20.22
MV25-F	0.20	0.68	9.76	0.43	27.58
MV26-F	0.11	0.22	6.70	0.03	28.02
MV27-F	0.14	0.16	1.58	0.03	7.97
MV28-F	0.13	0.55	7.09	0.04	17.99
MV29-F	0.09	0.48	24.92	0.33	20.61
MV30-F	0.06	0.28	3.24	0.02	17.10
MV31-F	0.11	0.41	4.94	0.06	16.15
MV32-F	0.05	0.32	9.47	0.31	24.63
MV33-F	0.10	0.30	6.90	0.04	30.62
MV34-F	0.10	0.36	6.84	0.04	30.48
MV35-F	0.11	0.14	2.94	0.03	19.53
MV36-F	0.07	0.28	3.35	0.03	26.88
MV37-F	0.08	0.32	7.66	0.03	39.48
MV38-F	0.07	0.30	7.66	0.11	30.68
MV39-F	0.30	1.02	14.46	0.05	32.78
MV40-F	0.05	0.18	1.75	0.02	4.77

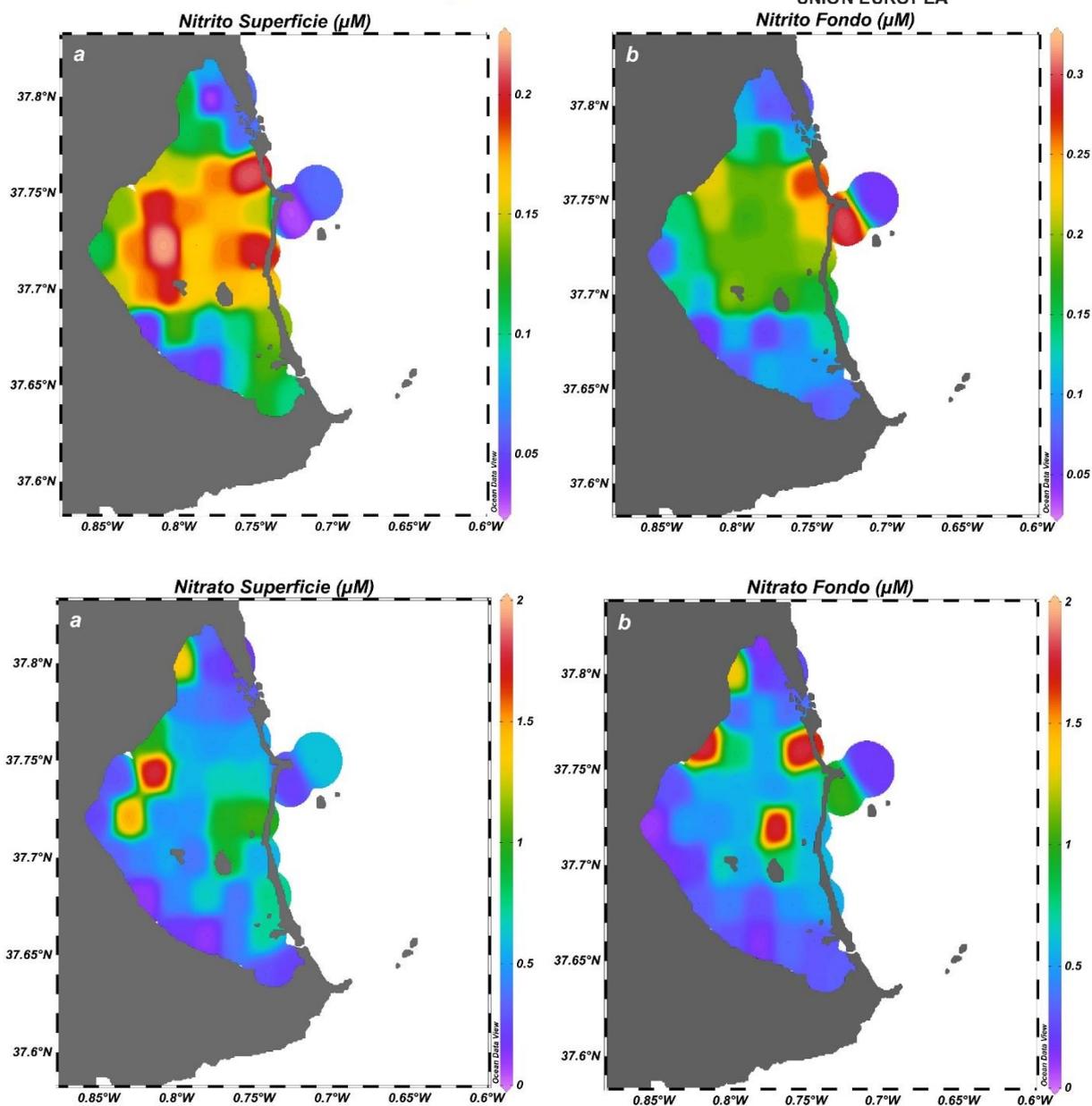


Figura 21. Distribución de la concentración de nitrito y nitrato en la superficie y fondo de la columna de agua para el muestreo de verano.

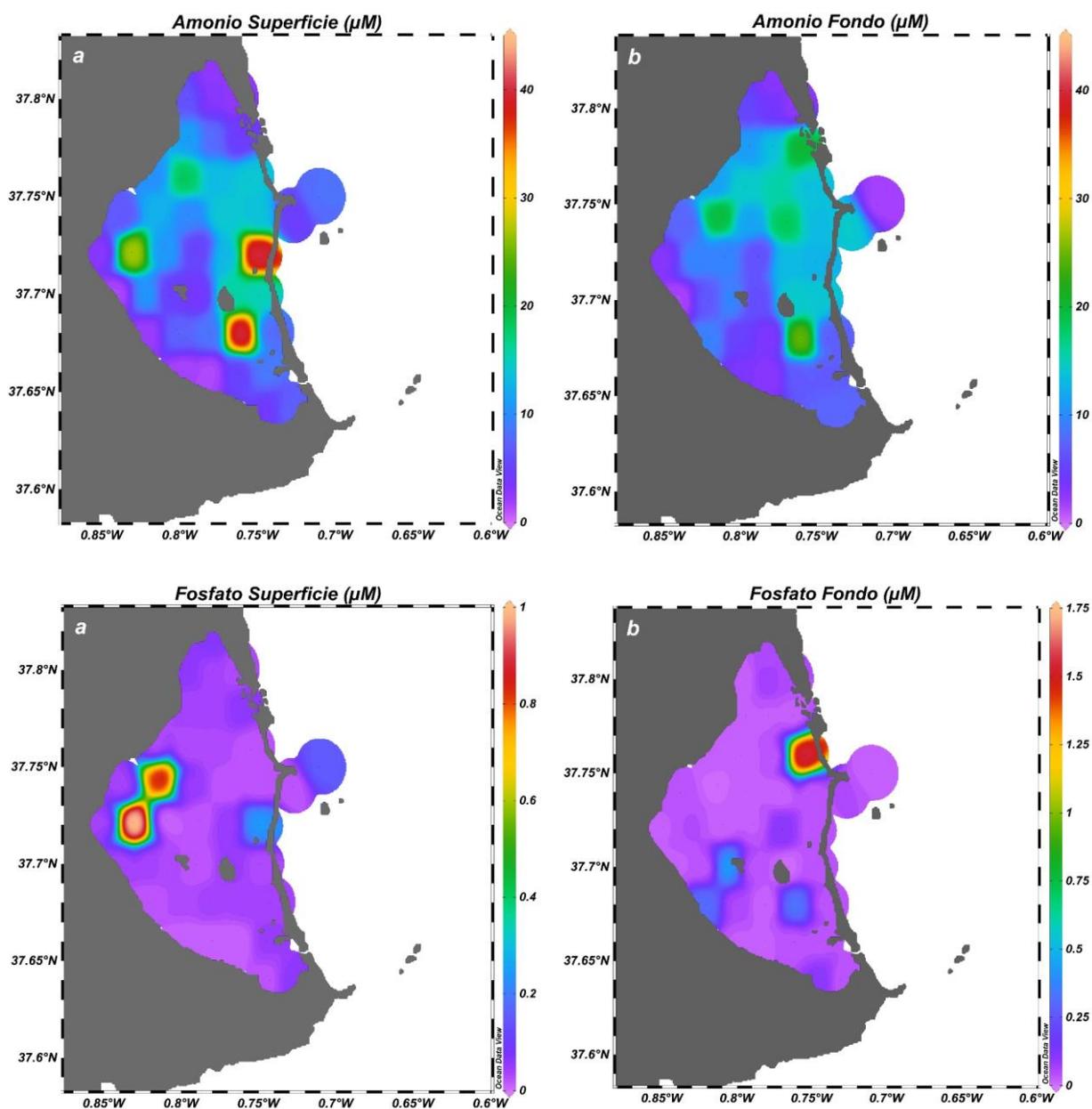


Figura 22. Distribución de la concentración de amonio y fosfato en la superficie y fondo de la columna de agua para el muestreo de verano.

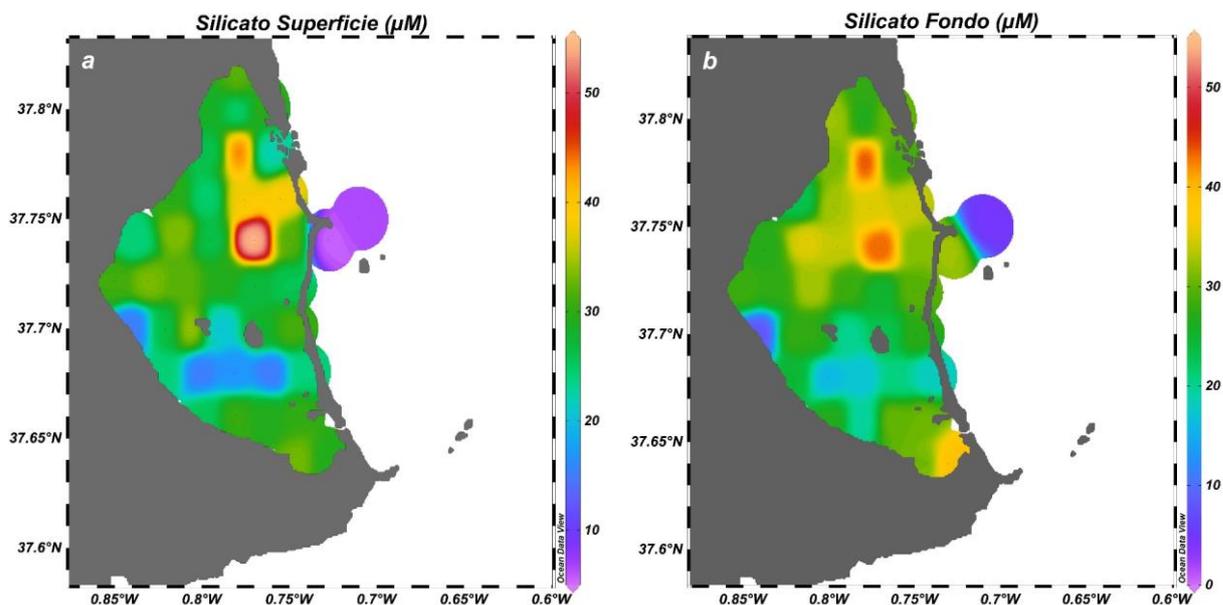


Figura 22. Distribución de la concentración de silicato en la superficie y fondo de la columna de agua para el muestreo de verano.

Tabla 9. Concentración medias de nutrientes, desviación estándar e intervalo de variación para las muestras correspondientes a la superficie y el fondo de la columna de agua en la campaña de verano.

Superficie					
Estación	NITRITO (μM)	NITRATO (μM)	AMONIO (μM)	FOSFATO (μM)	SILICATO (μM)
Media	0.13	0.55	10.01	0.09	27.53
SD	0.05	0.37	8.70	0.20	8.84
Máximo	0.22	1.79	40.09	1.00	54.36
Mínimo	0.03	0.11	1.49	0.01	5.68
Fondo					
Estación	NITRITO (μM)	NITRATO (μM)	AMONIO (μM)	FOSFATO (μM)	SILICATO (μM)
Media	0.14	0.55	9.64	0.10	27.71
SD	0.06	0.43	5.61	0.25	7.93
Máximo	0.30	1.79	24.92	1.55	44.24
Mínimo	0.05	0.10	1.58	0.01	4.77

Tabla 10. Concentración medias de nutrientes, desviación estándar e intervalo de variación para las en las campañas de invierno y verano.

Invierno					
	Nitrito (μM)	Nitrato (μM)	Amonio (μM)	Fosfato (μM)	Silicato (μM)
Media	0.08	0.63	3.59	0.12	2.92
SD	0.07	0.83	3.29	0.19	2.01
MAX	0.34	3.95	16.01	1.46	12.00
MIN	0.00	0.00	0.63	0.01	0.56
Verano					
	Nitrito (μM)	Nitrato (μM)	Amonio (μM)	Fosfato (μM)	Silicato (μM)
Media	0.14	0.55	9.82	0.09	27.62
SD	0.06	0.40	7.28	0.22	8.34
MAX	0.30	1.79	40.09	1.55	54.36
MIN	0.03	0.10	1.49	0.01	4.77

En la tabla 11 y la figura 23 se muestran la distribución de la concentración de carbono orgánico disuelto en la columna de agua para las muestras de superficie y fondo. En líneas generales, cabe destacar que los valores encontrados son sensiblemente superiores en el Mar Menor que en las estaciones externas (39 y 40). De esta forma, en el interior del Mar Menor se han encontrado concentraciones de COD comprendidas entre 350 y 450 μM , mientras que en las estaciones situadas en el Mediterráneo estos valores disminuyen hasta 100 – 150 μM , típicos de zonas costeras no confinadas.

En la tabla 12 se comparan los valores medios, las desviaciones estándar y los intervalos de variación de la concentración de carbono orgánico disuelto para las campañas de invierno y verano. No existen variaciones significativas entre estas 2 situaciones, y el elevado contenido de COD parece más relacionado con la baja tasa de intercambio de agua con el Mediterráneo y su liberación desde el sedimento y por parte de la materia orgánica particulada y organismos en la columna de agua.

Tabla 11. Concentraciones de carbono orgánico disuelto en la superficie y el fondo de la columna de agua durante la campaña de verano en el Mar Menor.

Estación	COD (μM)	Estación	COD (μM)
MV0-S	379,93	MV21-S	400,66
MV0-F	371,77	MV21-F	403,41
MV1-S	412,68	MV22-S	356,63
MV1-F	368,76	MV22-F	383,22
MV2-S	371,26	MV23-S	365,68
MV2-F	364,85	MV23-F	362,19
MV3-S	372,98	MV24-S	354,45
MV3-F	367,91	MV24-F	373,92
MV4-S	375,60	MV25-S	414,25
MV4-F	365,11	MV25-F	345,85
MV5-S	365,97	MV26-S	396,05
MV5-F	359,10	MV26-F	396,61
MV6-S	358,39	MV27-S	379,80
MV6-F	354,41	MV27-F	351,31
MV7-S	382,64	MV28-S	367,22
MV7-F	362,92	MV28-F	355,32
MV8-S	373,34	MV29-S	364,81
MV8-F	356,81	MV29-F	336,92
MV9-S	377,05	MV30-S	366,96
MV9-F	365,06	MV30-F	349,06
MV10-S	349,82	MV31-S	392,26
MV10-F	346,65	MV31-F	383,17
MV11-S	353,40	MV32-S	366,29
MV11-F	361,52	MV32-F	377,13
MV12-S	409,85	MV33-S	380,29
MV12-F	359,01	MV33-F	352,70
MV13-S	363,81	MV34-S	355,21
MV13-F	383,61	MV34-F	349,26
MV14-S	370,40	MV35-S	402,28
MV14-F	380,14	MV35-F	383,30
MV15-S	383,84	MV36-S	415,89
MV15-F	412,09	MV36-F	379,14
MV16-S	377,18	MV37-S	345,71
MV16-F	352,88	MV37-F	357,93
MV17-S	369,10	MV38-S	361,90
MV17-F	373,97	MV38-F	382,29
MV18-S	386,17	MV39-S	125,15
MV18-F	380,67	MV39-F	331,97
MV19-S	413,66	MV40-S	120,35
MV19-F	350,03	MV40-F	119,20
MV20-S	398,17		
MV20-F	404,14		

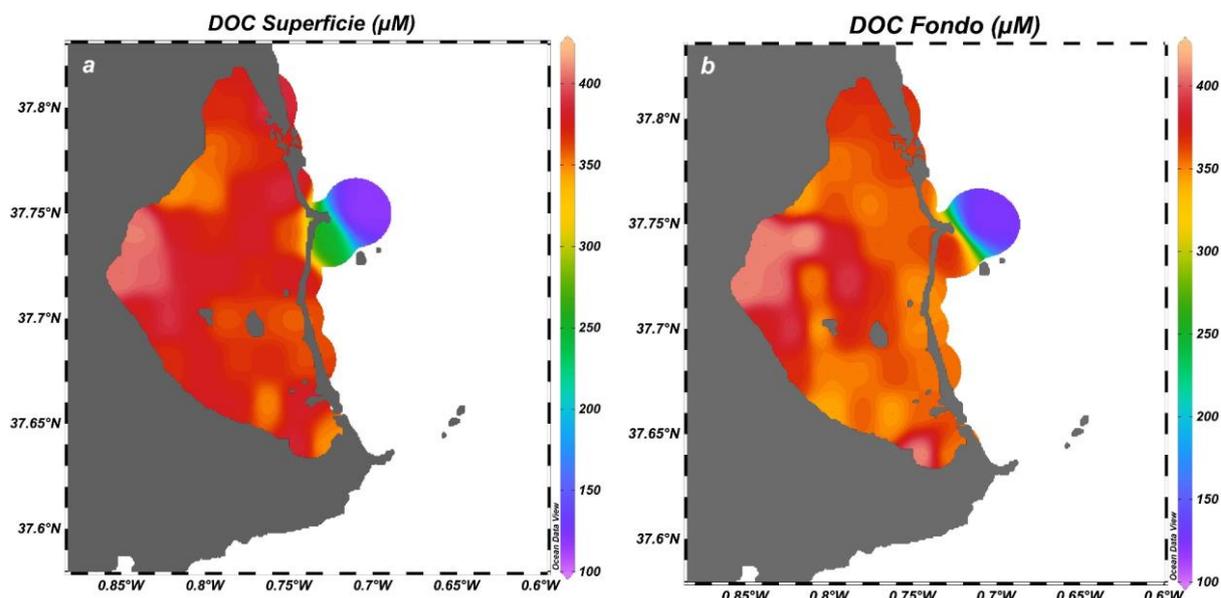


Figura 23. Distribución de la concentración de carbono orgánico disuelto en la superficie y fondo de la columna de agua en la campaña de verano.

Tabla 12. Comparación de los valores medios, desviaciones estándar e intervalos de variación de la concentración de carbono orgánico disuelto en las campañas de invierno y verano.

	DOC (μM)	
	Invierno	Verano
Media	359.0	363.3
SD	55.3	51.1
Máximo	586.9	415.9
Mínimo	127.9	119.2

3. Flujos bentónicos

La cuantificación de los procesos de transferencia entre el sedimento y la columna de agua se ha realizado a partir de las variaciones de concentración con el tiempo en el interior de la cámara bentónica. En las figuras 24 y 25 se muestra, a modo de ejemplo, la evolución con el tiempo de la concentración de oxígeno, las variables relacionadas con la especiación de carbono inorgánico, y las concentraciones de CH₄ y N₂O en el agua incubada por la cámara bentónica. Las variaciones encontradas se encuentran relacionadas con los procesos diagenéticos que tienen lugar en los sedimentos superficiales y han sido descritas por numerosos autores (Forja y Gómez-Parra, 1998; Forja et al., 2004; Burgos et al., 2018a).

Para todas las estaciones se ha encontrado una disminución de la concentración de oxígeno con el tiempo que es consecuencia de la oxidación aerobia de la materia orgánica en los sedimentos superficiales, así como de la oxidación de otros compuestos en estado reducido que se difunden desde mayores profundidades (H₂S, NH₄⁺ y CH₄ fundamentalmente). Por otra parte, la oxidación de la materia orgánica en los sedimentos produce CO₂ que se libera al agua sobrenadante causando 2 efectos, la disminución del pH y el aumento de la concentración de carbono inorgánico (variaciones de AT y CID). La metanogénesis en zonas más profundas del sedimento provoca el aumento de la concentración de CH₄ con el tiempo que se ha encontrado en todos los fondeos de la cámara bentónica. En el caso del N₂O, se ha observado la existencia de un aumento (figura 24) o una disminución (figura 25) de su concentración con el tiempo. Estas variaciones se encuentran relacionadas con la intensidad relativa de los procesos de nitrificación que libera N₂O desde el sedimento y de desnitrificación que tiende a consumir las especies oxidadas de nitrógeno inorgánico presentes en el interior de la cámara bentónica.

En las tablas 13 a 18 se muestra la ordenada en el origen, pendiente, coeficiente de regresión lineal, el número de datos y el flujo bentónico de los ajustes empleados para las variaciones con el tiempo de la concentración de oxígeno, la alcalinidad y las concentraciones de carbono inorgánico disuelto, metano y óxido nitroso en el interior de la cámara bentónica para las 6 estaciones en el Mar Menor en la campaña de verano.

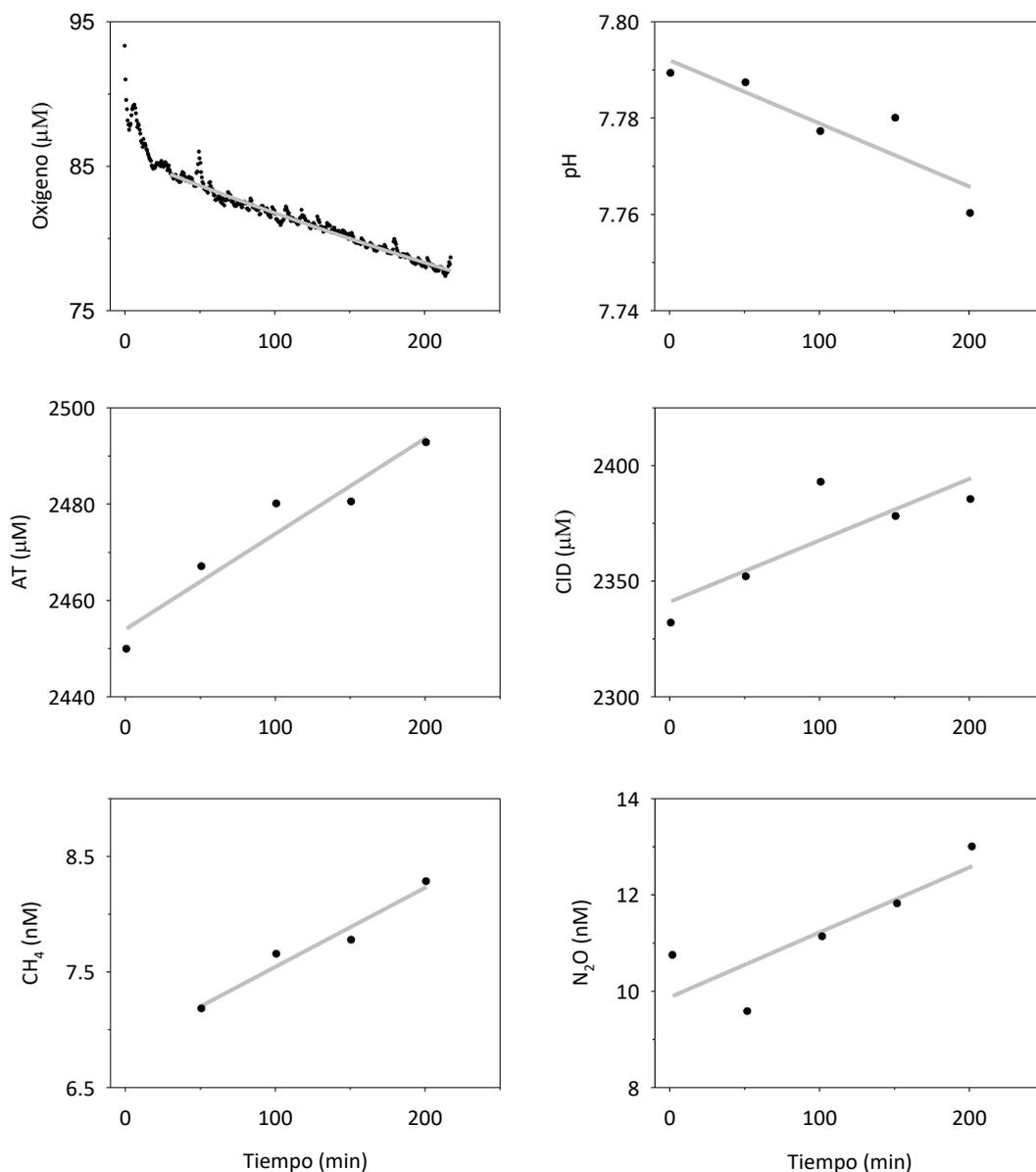


Figura 24. Variaciones de la concentración de oxígeno, pH, alcalinidad total (AT) y las concentraciones de carbono inorgánico disuelto (CID), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) en el interior de la cámara bentónica para la estación CAM 2 en el muestreo de invierno. Se ha superpuesto los ajustes utilizados para la cuantificación de los flujos bentónicos (gris).

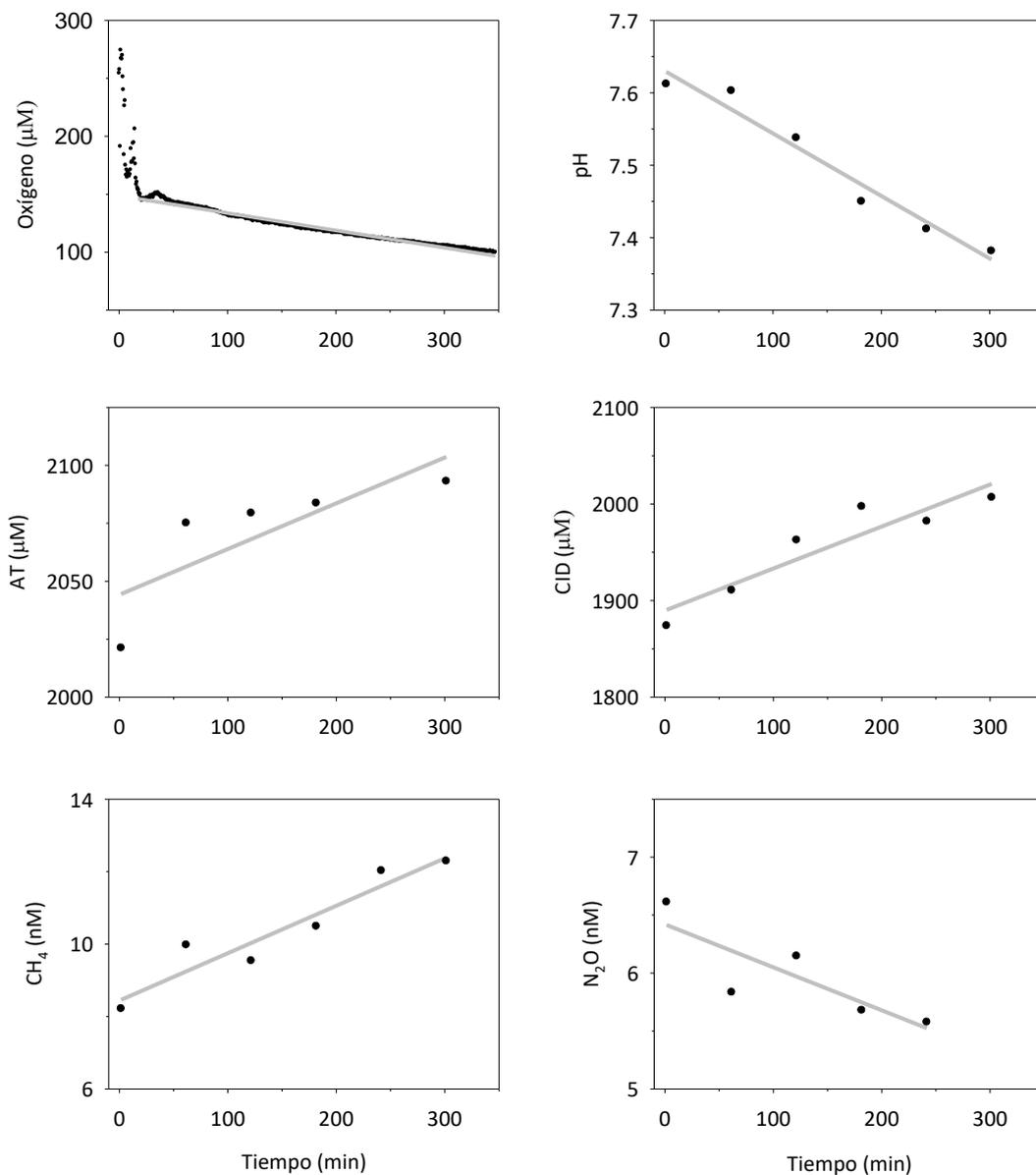


Figura 25. Variaciones de la concentración de oxígeno, pH, alcalinidad total (AT) y las concentraciones de carbono inorgánico disuelto (CID), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O) en el interior de la cámara bentónica para la estación CAM 2 en el muestreo de verano. Se ha superpuesto los ajustes utilizados para la cuantificación de los flujos bentónicos (gris).

Tabla 13. Parámetros de ajuste y coeficientes de correlación para las variaciones de la concentración de oxígeno disuelto, alcalinidad total, carbono inorgánico disuelto, metano y óxido nítrico con el tiempo en el interior de la cámara bentónica en la estación CAM 1 en verano.

	OD (mmol m ⁻² d ⁻¹)	AT (mmol m ⁻² d ⁻¹)	DIC (mmol m ⁻² d ⁻¹)	CH ₄ (μmol m ⁻² d ⁻¹)	N ₂ O (μmol m ⁻² d ⁻¹)
Ordenada	209.1	2056.4	1788.3	6.42	10.09
Pendiente	-0.185	0.175	0.244	-0.0037	0.0115
r ²	0.996	0.391	0.974	0.706	0.790
n	1536	4	4	5	4
Flujo	-67.46	63.87	89.02	-1.36	4.20

Tabla 14. Parámetros de ajuste y coeficientes de correlación para las variaciones de la concentración de oxígeno disuelto, alcalinidad total, carbono inorgánico disuelto, metano y óxido nítrico con el tiempo en el interior de la cámara bentónica en la estación CAM 2 en verano.

	OD (mmol m ⁻² d ⁻¹)	AT (mmol m ⁻² d ⁻¹)	DIC (mmol m ⁻² d ⁻¹)	CH ₄ (μmol m ⁻² d ⁻¹)	N ₂ O (μmol m ⁻² d ⁻¹)
Ordenada	148.6	2044.2	1889.7	5.04	8.44
Pendiente	-0.150	0.197	0.435	0.0011	0.0131
r ²	0.977	0.644	0.863	0.747	0.905
n	660	5	6	6	6
Flujo	-54.86	72.08	158.86	0.40	4.79

Tabla 15. Parámetros de ajuste y coeficientes de correlación para las variaciones de la concentración de oxígeno disuelto, alcalinidad total, carbono inorgánico disuelto, metano y óxido nítrico con el tiempo en el interior de la cámara bentónica en la estación CAM 3 en verano.

	OD (mmol m ⁻² d ⁻¹)	AT (mmol m ⁻² d ⁻¹)	DIC (mmol m ⁻² d ⁻¹)	CH ₄ (μmol m ⁻² d ⁻¹)	N ₂ O (μmol m ⁻² d ⁻¹)
Ordenada	173.0	1975.6	1741.8	5.43	8.21
Pendiente	-0.170	0.141	0.334	-0.0020	0.0246
r ²	0.969	0.405	0.829	0.780	0.954
n	550	6	6	6	6
Flujo	-62.13	51.45	122.24	-0.74	8.99

Tabla 16. Parámetros de ajuste y coeficientes de correlación para las variaciones de la concentración de oxígeno disuelto, alcalinidad total, carbono inorgánico disuelto, metano y óxido nítrico con el tiempo en el interior de la cámara bentónica en la estación CAM 4 en verano.

	OD (mmol m ⁻² d ⁻¹)	AT (mmol m ⁻² d ⁻¹)	DIC (mmol m ⁻² d ⁻¹)	CH ₄ (μmol m ⁻² d ⁻¹)	N ₂ O (μmol m ⁻² d ⁻¹)
Ordenada	188.5	2064.0	1813.2	5.45	7.51
Pendiente	-0.120	0.168	0.281	-0.0026	0.0097
r ²	0.985	0.722	0.801	0.924	0.980
n	560	5	5	6	5
Flujo	-43.86	61.24	102.88	-0.95	3.55

Tabla 17. Parámetros de ajuste y coeficientes de correlación para las variaciones de la concentración de oxígeno disuelto, alcalinidad total, carbono inorgánico disuelto, metano y óxido nítrico con el tiempo en el interior de la cámara bentónica en la estación CAM 5 en verano.

	OD (mmol m ⁻² d ⁻¹)	AT (mmol m ⁻² d ⁻¹)	DIC (mmol m ⁻² d ⁻¹)	CH ₄ (μmol m ⁻² d ⁻¹)	N ₂ O (μmol m ⁻² d ⁻¹)
Ordenada	159.8	2017.5	1841.7	5.62	9.42
Pendiente	-0.130	0.253	0.293	-0.0025	0.0101
r ²	0.921	0.780	0.835	0.916	0.821
n	651	5	4	5	4
Flujo	-47.51	92.60	106.95	-0.91	3.68

Tabla 18. Parámetros de ajuste y coeficientes de correlación para las variaciones de la concentración de oxígeno disuelto, alcalinidad total, carbono inorgánico disuelto, metano y óxido nítrico con el tiempo en el interior de la cámara bentónica en la estación CAM 6 en verano.

	OD (mmol m ⁻² d ⁻¹)	AT (mmol m ⁻² d ⁻¹)	DIC (mmol m ⁻² d ⁻¹)	CH ₄ (μmol m ⁻² d ⁻¹)	N ₂ O (μmol m ⁻² d ⁻¹)
Ordenada	218.3	1949.2	1686.7	5.12	8.29
Pendiente	-0.124	0.121	0.167	-0.0015	0.0066
r ²	0.985	0.660	0.934	0.857	0.502
n	571	5	5	5	5
Flujo	-45.43	44.39	60.97	-0.55	2.42

En las tablas 19 y 20 se muestran los flujos bentónicos de oxígeno, AT, CID, N₂O y CH₄ para las 6 estaciones del Mar Menor en las campañas de invierno y verano. Los flujos de oxígeno son en todos los casos negativos, lo que indica su consumo desde el sedimento, mientras que los flujos de AT, CID y CH₄ son positivos, lo que muestra la liberación de las especies implicadas desde el sedimento.

En general se observa una marcada variación estacional, con una intensificación de los procesos de transferencia entre el sedimento y la columna de agua con el aumento de la temperatura. De esta forma, los flujos de AT, CID y CH₄ aumentan en verano un 33,6, 14,2 y 31,0 % respectivamente, mientras que los flujos de OD disminuyen un 27,2 %. Estas variaciones se han relacionado con un aumento de la actividad enzimática de las distintas rutas de oxidación de la materia orgánica en los sedimentos con la temperatura, y ha sido descrita en otros sistemas litorales (Forja et al., 1994). El flujo medio de N₂O en invierno tiene un valor de 0,8 μmol m⁻² d⁻¹ y en verano de -0,7 μmol m⁻² d⁻¹. Este cambio en el sentido de la transferencia de N₂O sugiere una mayor intensidad relativa de los procesos de nitrificación en invierno y de desnitrificación en verano.

A partir de los valores de flujos bentónicos pueden hacerse algunas consideraciones generales sobre las características y procesos que tienen lugar en los sedimentos superficiales.

Tabla 19. Flujos bentónicos de oxígeno (AT), alcalinidad total (AT), carbono inorgánico disuelto (CID), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) en las diferentes estaciones para el muestreo de invierno. Se incluye los valores medios y las desviaciones estándar.

Estación	OD (mmol m ⁻² d ⁻¹)	AT (mmol m ⁻² d ⁻¹)	CID (mmol m ⁻² d ⁻¹)	CH ₄ (μmol m ⁻² d ⁻¹)	N ₂ O (μmol m ⁻² d ⁻¹)
CAM 1	-41,2	45,1	69,5	3,0	0,9
CAM 2	-39,0	72,5	97,2	4,9	2,5
CAM 3	-33,8	68,9	90,3	1,7	-1,1
CAM 4	-35,7	44,2	65,0	4,7	2,3
CAM 5	-36,2	65,2	93,3	4,3	1,1
CAM 6	-42,7	38,9	53,1	2,0	-1,2
Media	-38,1	55,8	78,1	3,5	0,8
SD	3,4	14,6	18,0	1,4	1,6

Tabla 20. Flujos bentónicos de oxígeno (AT), alcalinidad total (AT), carbono inorgánico disuelto (CID), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) en las diferentes estaciones para el muestreo de verano, Se incluye los valores medios y las desviaciones estándar.

Estación	OD (mmol m ⁻² d ⁻¹)	AT (mmol m ⁻² d ⁻¹)	CID (mmol m ⁻² d ⁻¹)	CH ₄ (μmol m ⁻² d ⁻¹)	N ₂ O (μmol m ⁻² d ⁻¹)
CAM 1	-41,2	45,1	69,5	3,0	0,9
CAM 1	-67,5	63,9	89,0	4,2	-1,4
CAM 2	-54,8	72,1	158,9	4,8	0,4
CAM 3	-62,1	51,5	122,2	9,0	-0,7
CAM 4	-43,9	61,2	102,9	3,5	-1,0
CAM 5	-47,5	92,6	107,0	3,7	-0,9
CAM 6	-45,4	44,4	61,0	2,4	-0,5
Media	-53,5	64,3	106,8	4,6	-0,7
SD	9,6	16,9	32,8	2,3	0,6

El cociente entre los flujos de CID y de OD proporciona información sobre la importancia de las rutas anaerobias de oxidación de la materia orgánica en el sedimento. Valores cercanos a 1 indican que la mayor parte de la oxidación de la materia orgánica es aerobia, y a medida que aumenta su valor existe una mayor contribución de las rutas anaerobias en la oxidación de la materia orgánica en el sedimento. Este cociente tiene un valor medio de $2,1 \pm 0,6$ en invierno y $2,0 \pm 0,6$ en verano para el Mar Menor (tablas 21 y 22), valores próximos a los encontrados por Forja et al, (2004) en diferentes sistemas de la península ibérica ($1,9 \pm 0,2$), y sugieren que una parte importante de la oxidación de la materia orgánica en los sedimentos ocurre por vías anaerobias, fundamentalmente por desnitrificación, sulfatorreducción o metanogénesis.

Los flujos medidos in situ con cámaras bentónicas integran el producto neto de las reacciones diagenéticas que tienen lugar en el sedimento. El flujo de carbono inorgánico es el resultado de la suma de la liberación de carbono inorgánico al agua intersticial por oxidación de materia orgánica y de la disolución de carbonato de calcio, mientras que el flujo de alcalinidad se ve afectado principalmente por la disolución de CaCO₃ (Berelson et al, 1998). A partir del cociente entre los flujos de alcalinidad total y carbono inorgánico disuelto, Jahnke y Jahnke (2000) propusieron una relación entre la tasa de disolución del CaCO₃ y la tasa de oxidación del carbono orgánico que viene dada por la siguiente ecuación:

$$\frac{FAT}{FCID} = \frac{2DIS}{DIS + COX}$$

Donde FAT es el flujo de alcalinidad total, FCID el flujo de carbono inorgánico disuelto, DIS la tasa de disolución de CaCO_3 y COX la tasa de oxidación de la materia orgánica. A partir de estas tasas se puede calcular los flujos de carbono inorgánico correspondientes a los procesos de oxidación (F_{ox}) y a la disolución de CaCO_3 (F_{dis}).

Puede observarse como F_{dis} permanece relativamente constante, con valores medios comprendidos entre $18,5 \pm 5,9 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ en invierno y $18,7 \pm 11,0 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ en verano, mientras que F_{ox} aumenta desde un valor medio de $59,6 \pm 12,8 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ en invierno a $88,1 \pm 36,5 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ en verano, por tanto, el aumento de los flujos bentónicos de CID con la temperatura se encuentra asociado a una mayor oxidación de la materia orgánica en el sedimento.

Por otra parte, la profundidad de penetración del oxígeno en el sedimento, que define la zona superficial donde se produce la oxidación aeróbica, se puede estimar a partir de la expresión propuesta por Cai y Sayles (1996):

$$L = \frac{2 \phi D_s [O_2]_{BW}}{F_{OD}}$$

donde L es la profundidad de penetración de oxígeno, ϕ es la porosidad del sedimento superficial, D_s es el coeficiente de difusión de oxígeno en el sedimento, $[O_2]_{BW}$ es la concentración de oxígeno en el agua del fondo y F_{OD} es el flujo bentónico de oxígeno. Para el cálculo del coeficiente de difusión (D_s), se ha empleado la expresión de Sweerts et al, (1991) y el coeficiente de difusión a la dilución infinita (D_0) propuesto por Broecker y Peng (1974). La profundidad de penetración del oxígeno disuelto en invierno tiene un valor de $6,6 \pm 0,6 \text{ mm}$, que se reduce a $4,8 \pm 0,8 \text{ mm}$ en verano como consecuencia del aumento de la oxidación aeróbica de la materia orgánica. Estos resultados son similares a los estimados en otros sistemas costeros, donde la profundidad de penetración del oxígeno se extiende solo a pocos milímetros del sedimento (Jørgensen, 1982; Forja et al., 2004; Ortega et al., 2008; Burgos et al., 2018a).

Tabla 21. Cociente entre los flujos bentónicos de carbono inorgánico (F CID) y oxígeno (F OD), flujos de carbono inorgánico asociados a la oxidación de la materia orgánica (F ox) y a la disolución de CaCO_3 (F dis) y profundidad de penetración del oxígeno en el sedimento (L) para el muestreo de invierno.

Estación	F CID/F OD	F ox ($\text{mmol m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	F dis ($\text{mmol m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	L (mm)
CAM 1	1,69	56,5	13,0	6,1
CAM 2	2,49	71,9	25,4	6,4
CAM 3	2,67	65,4	24,9	7,4
CAM 4	1,82	51,3	13,7	7,0
CAM 5	2,58	72,4	20,9	6,9
CAM 6	1,25	39,8	13,3	5,9
Media	2,08	59,6	18,5	6,6
SD	0,58	12,8	5,9	0,6

Tabla 22. Cociente entre los flujos bentónicos de carbono inorgánico (F CID) y oxígeno (F OD), flujos de carbono inorgánico asociados a la oxidación de la materia orgánica (F ox) y a la disolución de CaCO_3 (F dis) y profundidad de penetración del oxígeno en el sedimento (L) para el muestreo de verano.

Estación	F CID/F OD	F ox ($\text{mmol m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	F dis ($\text{mmol m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	L (mm)
CAM 1	1,32	67,8	21,2	3,7
CAM 2	2,90	146,3	12,6	4,6
CAM 3	1,97	114,1	8,1	4,0
CAM 4	2,35	87,2	15,7	5,7
CAM 5	2,25	67,6	39,4	5,3
CAM 6	1,34	45,9	15,0	5,5
Media	2,02	88,1	18,7	4,8
SD	0,61	36,5	11,0	0,8

En lo que se refiere a los flujos bentónicos de nutrientes, en la figuras 26 se muestra, a modo de ejemplo, la evolución de la concentración en el interior de la cámara para la estación CAM 2 en verano.

En las tablas 23 a 28 se muestra la ordenada en el origen, pendiente, coeficiente de regresión lineal, el número de datos y el flujo bentónico de los ajustes empleados para las variaciones con el tiempo de la concentración de nitrito, nitrato, amonio, fosfato y silicato en el interior de la cámara bentónica para las 6 estaciones en el Mar Menor en la campaña de verano. En las tablas 29 y 30 se presentan los flujos bentónicos de nutrientes para las campañas de invierno y verano.

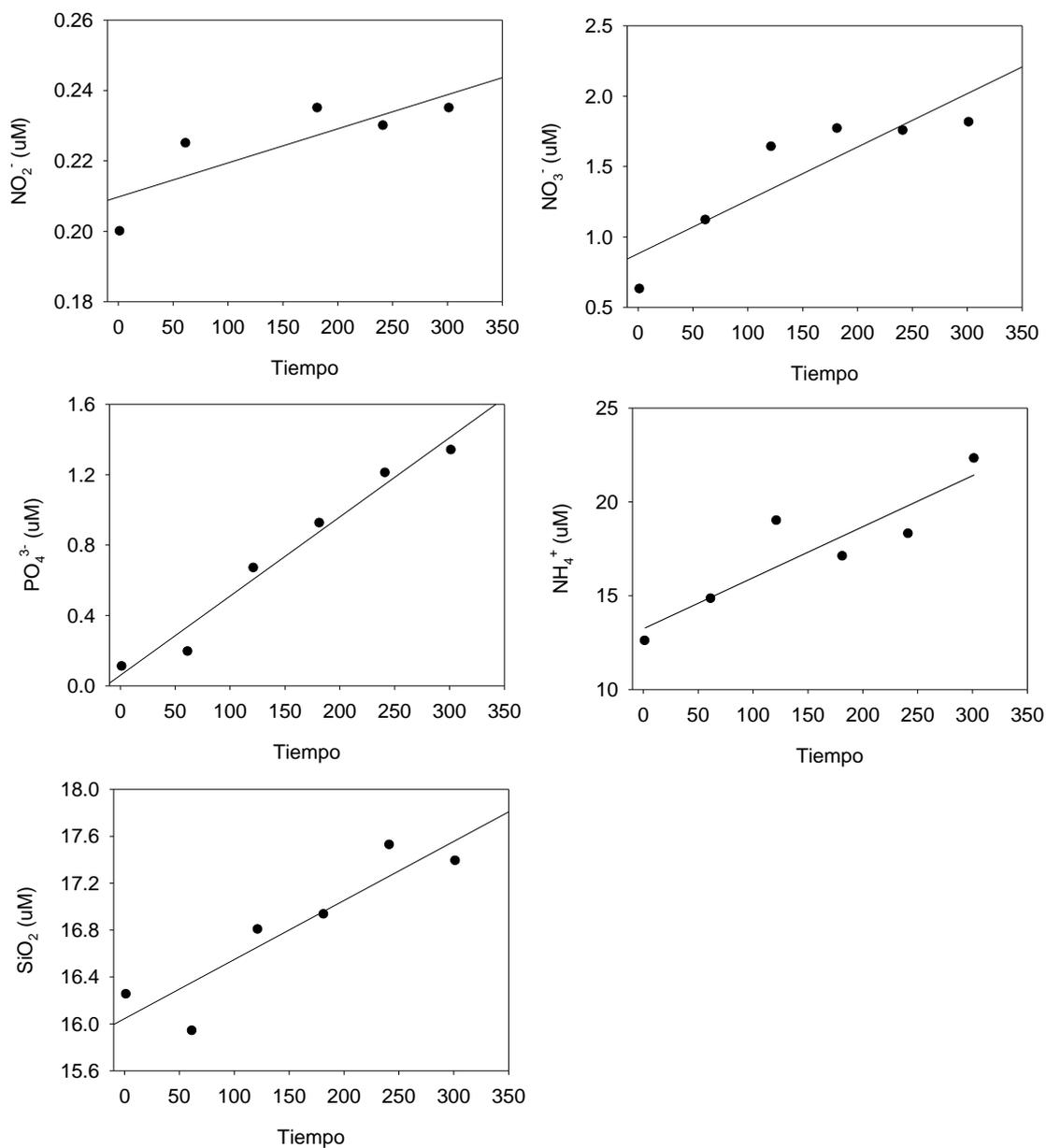


Figura 33. Variaciones de la concentración de nutrientes en el interior de la cámara bentónica para la estación CAM 2 en el muestreo de verano. Se ha superpuesto los ajustes utilizados para la cuantificación de los flujos bentónicos.

Tabla 23. Parámetros de ajuste y coeficientes de correlación para las variaciones de la concentración de nitrito, nitrato, amonio fosfato y silicato con el tiempo en el interior de la cámara bentónica en la estación CAM 1 en verano.

	NO ₂ ⁻ (mmol m ⁻² d ⁻¹)	NO ₃ ⁻ (mmol m ⁻² d ⁻¹)	PO ₄ ³⁻ (mmol m ⁻² d ⁻¹)	NH ₄ ⁺ (mmol m ⁻² d ⁻¹)	SiO ₂ (mmol m ⁻² d ⁻¹)
Ordenada	0.12	0.61	0.12	12.99	18.20
Pendiente	8.33E-05	3.25E-04	9.79E-04	0.0220	4.82E-03
r ²	0.676	0.983	0.960	0.817	0.710
n	5	5	5	5	5
Flujo	0.03	0.12	0.36	8.04	1.76

Tabla 24. Parámetros de ajuste y coeficientes de correlación para las variaciones de la concentración de nitrito, nitrato, amonio fosfato y silicato con el tiempo en el interior de la cámara bentónica en la estación CAM 2 en verano.

	NO ₂ ⁻ (mmol m ⁻² d ⁻¹)	NO ₃ ⁻ (mmol m ⁻² d ⁻¹)	PO ₄ ³⁻ (mmol m ⁻² d ⁻¹)	NH ₄ ⁺ (mmol m ⁻² d ⁻¹)	SiO ₂ (mmol m ⁻² d ⁻¹)
Ordenada	0.21	0.88	0.06	13.24	16.05
Pendiente	9.69E-05	3.79E-03	4.50E-03	2.72E-02	5.03E-03
r ²	0.684	0.790	0.971	0.813	0.827
n	5	6	6	6	6
Flujo	0.04	1.39	1.64	9.93	1.84

Tabla 25. Parámetros de ajuste y coeficientes de correlación para las variaciones de la concentración de nitrito, nitrato, amonio fosfato y silicato con el tiempo en el interior de la cámara bentónica en la estación CAM 3 en verano.

	NO ₂ ⁻ (mmol m ⁻² d ⁻¹)	NO ₃ ⁻ (mmol m ⁻² d ⁻¹)	PO ₄ ³⁻ (mmol m ⁻² d ⁻¹)	NH ₄ ⁺ (mmol m ⁻² d ⁻¹)	SiO ₂ (mmol m ⁻² d ⁻¹)
Ordenada	0.11	0.80	0.21	14.19	15.19
Pendiente	9.05E-05	-1.24E-03	1.50E-03	0.0180	8.61E-03
r ²	0.6876	0.7285	0.83	0.718	0.888
n	5	4	6	6	6
Flujo	0.03	-0.45	0.55	6.58	3.15

Tabla 26. Parámetros de ajuste y coeficientes de correlación para las variaciones de la concentración de nitrito, nitrato, amonio fosfato y silicato con el tiempo en el interior de la cámara bentónica en la estación CAM 4 en verano.

	NO_2^- ($\text{mmol m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	NO_3^- ($\text{mmol m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	PO_4^{3-} ($\text{mmol m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	NH_4^+ ($\text{mmol m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	SiO_2 ($\text{mmol m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
Ordenada	0.06	1.40	0.37	9.45	13.71
Pendiente	7.50E-05	-3.97E-03	1.23E-03	2.93E-02	7.10E-03
r2	0.614	0.877	0.644	0.761	0.679
n	5	5	5	5	5
Flujo	0.03	-1.45	0.45	10.72	2.60

Tabla 27. Parámetros de ajuste y coeficientes de correlación para las variaciones de la concentración de nitrito, nitrato, amonio fosfato y silicato con el tiempo en el interior de la cámara bentónica en la estación CAM 5 en verano.

	NO_2^- ($\text{mmol m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	NO_3^- ($\text{mmol m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	PO_4^{3-} ($\text{mmol m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	NH_4^+ ($\text{mmol m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	SiO_2 ($\text{mmol m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
Ordenada	0.13	0.60	0.19	10.05	14.50
Pendiente	-5.72E-05	-1.53E-03	1.44E-03	2.82E-02	9.10E-03
r2	0.880	0.758	0.726	0.788	0.943
n	5	5	5	5	5
Flujo	-0.02	-0.56	0.53	10.32	3.32

Tabla 28. Parámetros de ajuste y coeficientes de correlación para las variaciones de la concentración de nitrito, nitrato, amonio fosfato y silicato con el tiempo en el interior de la cámara bentónica en la estación CAM 6 en verano.

	NO_2^- ($\text{mmol m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	NO_3^- ($\text{mmol m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	PO_4^{3-} ($\text{mmol m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	NH_4^+ ($\text{mmol m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	SiO_2 ($\text{mmol m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
Ordenada	0.08	0.96	0.14	10.29	17.74
Pendiente	-3.10E-05	-1.93E-03	2.21E-03	4.24E-02	7.89E-03
r2	0.690	0.772	0.837	0.707	0.945
n	5	5	5	5	5
Flujo	-0.01	-0.71	0.81	15.50	2.89

Tabla 29. Flujos bentónicos de nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-), amonio (NH_4^+), fosfato (PO_4^{3-}) y silicato (SiO_2) en las diferentes estaciones para el muestreo de invierno. Se incluye los valores medios y las desviaciones estándar.

Estación	NO_2^- ($\text{mmol m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	NO_3^- ($\text{mmol m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	NH_4^+ ($\text{mmol m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	PO_4^{3-} ($\text{mmol m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	SiO_2 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
CAM 1	-0,01	0,93	7,22	0,05	0,44
CAM 2	0,07	0,61	10,29	0,07	1,57
CAM 3	0,02	1,37	4,82	0,09	2,42
CAM 4	0,01	0,29	8,10	0,07	1,92
CAM 5	-0,02	0,14	-5,80	0,11	2,58
CAM 6	0,02	0,09	4,07	0,11	2,06
Media	0,01	0,57	4,79	0,08	1,83
SD	0,03	0,50	5,65	0,02	0,77

Tabla 30. Flujos bentónicos de nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-), amonio (NH_4^+), fosfato (PO_4^{3-}) y silicato (SiO_2) en las diferentes estaciones para el muestreo de verano. Se incluye los valores medios y las desviaciones estándar.

Estación	NO_2^- ($\text{mmol m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	NO_3^- ($\text{mmol m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	NH_4^+ ($\text{mmol m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	PO_4^{3-} ($\text{mmol m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	SiO_2 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
CAM 1	0,03	0,12	8,04	0,36	1,76
CAM 2	0,04	1,39	9,93	1,64	1,84
CAM 3	0,03	-0,45	6,58	0,55	3,15
CAM 4	0,03	-1,45	10,72	0,45	2,60
CAM 5	-0,02	-0,56	10,32	0,53	3,32
CAM 6	-0,01	-0,71	15,50	0,81	2,89
Media	0,02	-0,28	10,18	0,72	2,59
SD	0,02	0,96	3,04	0,48	0,66

Mientras que los flujos bentónicos de nitrito son bajos y similares en las 2 campañas, los flujos medios de nitrato presentan una inversión, con valores positivos en invierno ($0.57 \text{ mmol m}^{-2} \text{d}^{-1}$) y negativos en verano ($-0.28 \text{ mmol m}^{-2} \text{d}^{-1}$), que puede deberse a una intensificación de los procesos de desnitrificación en los sedimentos con el aumento de la temperatura. Estas variaciones de los flujos bentónicos de nutrientes entre las campañas de invierno y verano se han representado en la figura 34 y 35.

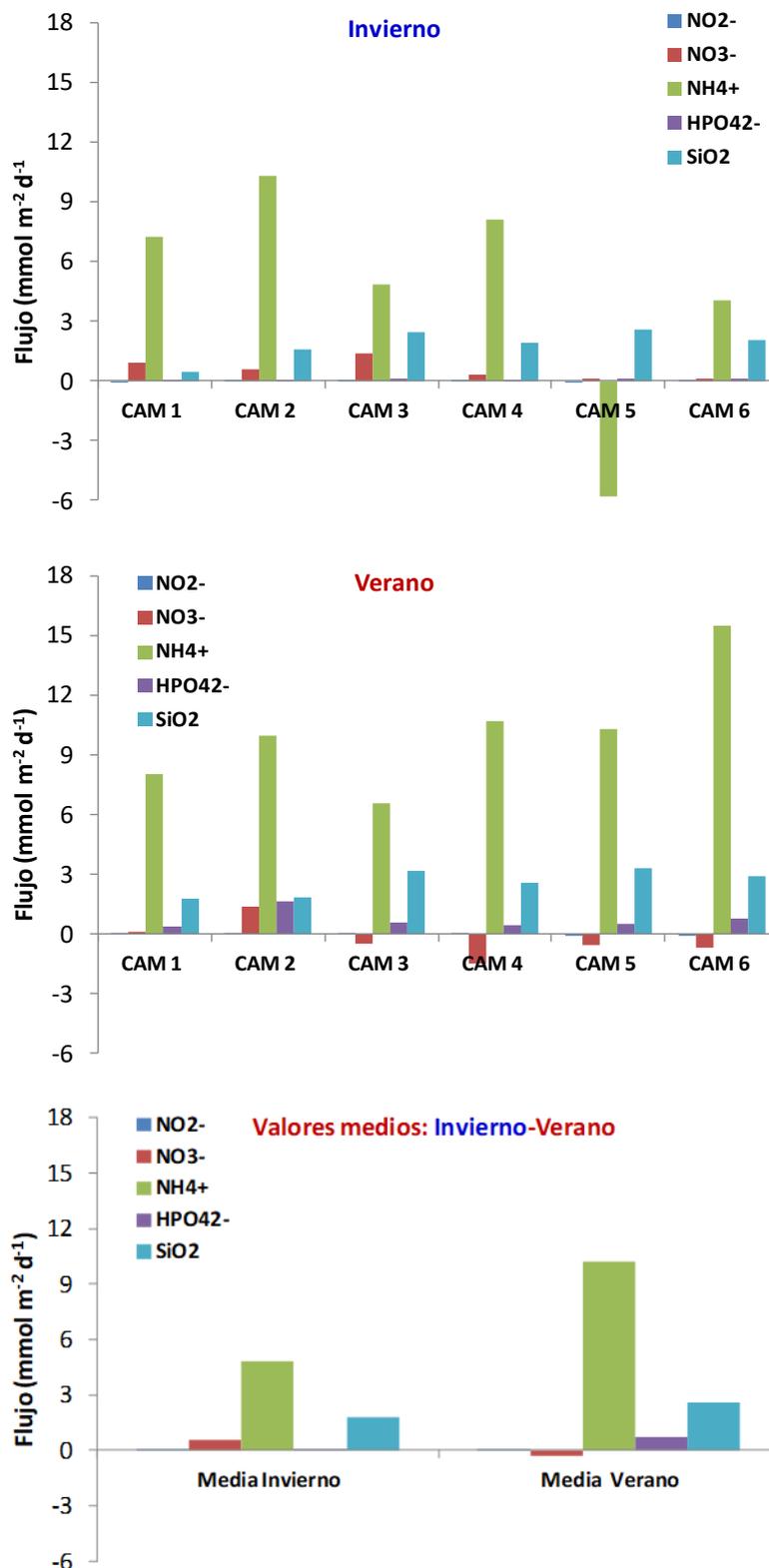


Figura 34. Comparativa de los flujos bentónicos de nutrientes en las campañas de invierno y verano en las 6 estaciones del Mar Menor.

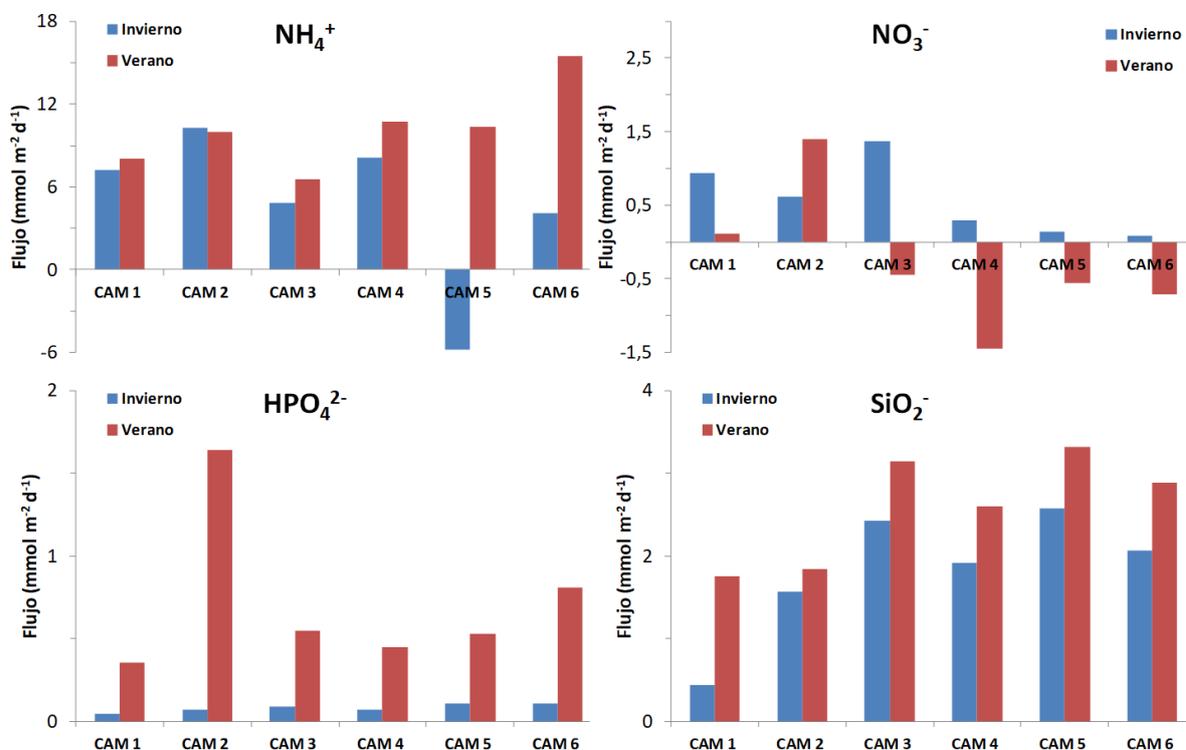


Figura 35. Comparativa de los flujos bentónicos de amonio, nitrato, fosfato y silicato en las campañas de invierno y verano en las 6 estaciones del Mar Menor.

Existe un aumento considerable de los flujos bentónicos de amonio y fosfato en la campaña de verano, con valores medios de 10.18 y $0.72 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ respectivamente, en comparación con la campaña de invierno (4.9 y $0.08 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, respectivamente). Este aumento también es coherente con la intensificación de los procesos de oxidación de la materia orgánica con la temperatura, que producen una liberación de estos nutrientes desde el sedimento.

Aunque también existe un aumento de los flujos bentónicos de silicato (de $1.83 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ en invierno a $2.69 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ en verano), no parece justificar el aumento su concentración en la columna de agua durante el verano, y podría indicar su entrada desde otras fuentes.

En la tabla 31 se ha calculado la salida neta diaria de nutrientes como consecuencia de los flujos bentónicos suponiendo que la extensión del Mar Menor es de unos 170 km^2 .

Para poder verificar si los flujos bentónicos son responsables de los fenómenos de eutrofización que se han observado en el Mar Menor sería necesario realizar una estimación del consumo de estos nutrientes por algas y fitoplancton, así como la cantidad que se intercambia con el Mediterráneo como consecuencia de las mareas. Este balance permitiría identificar si existen otras fuentes importantes de nutrientes al sistema.

Tabla 30. Salida desde el sedimento de nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-), amonio (NH_4^+), fosfato (PO_4^{3-}) y silicato (SiO_2) en las campañas de invierno y verano (en toneladas día⁻¹).

	Flujos bentónicos (t día ⁻¹)				
	NO_2^-	NO_3^-	NH_4^+	PO_4^{3-}	SiO_2
Invierno	0.08	6.0	14.7	1.3	18.7
Verano	0.16	-3.0	31.2	11.6	26.4

4. Sedimento

Análisis elemental (Carbono, Nitrógeno y Azufre)

En la totalidad de las estaciones en las que se tomó testigos de sedimentos, se ha analizado el contenido de los elementos esenciales, el carbono, nitrógeno y azufre, sobre el sedimento seco, molturado y tamizado por 63 μm . Se han examinado más de 150 muestras que oscilan entre 0 y 28 cm de profundidad, dependiendo de la estación estudiada. Los resultados obtenidos se presentan en las tablas 31 a 34, y la evolución con la profundidad en las figuras 36 a 38.

En las tablas 31 a 34 se presentan los resultados obtenidos, y en las figuras 36 a 38 se muestra la evolución con la profundidad del contenido en C, N y S en el sedimento seco para las 6 estaciones. En general, los contenidos de C en el sedimento tienden a disminuir con la profundidad, alcanzando valores de hasta un 15 % en la zona superficial, aunque las estaciones CAM 4, CAM5 y CAM 6 presentan perfiles más irregulares, e incluso un aumento con la profundidad. Estos valores pueden considerarse altos en comparación con otros sistemas costeros, donde habitualmente el contenido de C suele ser inferior a un 5 %, y engloban el contenido de C orgánico y la fracción de CaCO_3 presente en el sedimento. No se aprecian diferencias significativas entre los contenidos de C en las campañas de invierno y verano.

El contenido de N muestra una clara disminución en los testigos de sedimento tomados en verano. De hecho, el contenido en N en la zona superficial del sedimento en invierno es elevado (entre 2.7 y 3.7 %), mientras que en verano varía entre 0.4 y 1.4 %. Esta variación en el contenido de N puede deberse a pérdidas de N relacionadas con la intensificación de la mineralización de la materia orgánica durante el verano, o a la propia microheterogeneidad espacial de los sedimentos costeros. En todos los casos, existe una progresiva disminución de sus valores con la profundidad.

El contenido en S es del orden de un 1 % y presenta distintas distribuciones verticales según la estación. Su formación en el sedimento se encuentra relacionada con los procesos de reducción de óxidos de hierro y de sulfatorreducción.

Tabla 31. Variación vertical del contenido de C, N y S en sedimento seco para las estaciones CAM1, CAM2 y CAM3 en el muestreo de invierno.

Estación MIC1			
Profundidad media (cm)	Carbono (%)	Nitrógeno (%)	Azufre (%)
0.5	11.96	3.75	0.73
1.5	11.55	3.55	0.8
2.5	11.25	3.04	0.8
3.5	11.17	3.88	0.71
4.5	11.06	3.56	--
6.5	10.92	2.79	0.71
8.5	10.59	1.31	0.69
11.5	10.65	1.16	0.64
14.5	10.35	1.05	0.72
Estación MIC2			
Profundidad media (cm)	Carbono (%)	Nitrógeno (%)	Azufre (%)
0.5	12.27	3.94	1.13
1.5	10.85	3.98	1.15
2.5	9.73	3.66	1.41
3.5	8.68	3.57	1.44
4.5	7.86	3.44	1.34
6.5	6.75	3.21	1.46
8.5	6.61	3.73	1.26
11.5	7.59	3.52	1.25
14.5	6.55	2.61	1.31
18.5	6.27	2.05	1.08
22.5	6.22	1.95	0.94
27.5	6.44	2.1	0.92
Estación MIC3			
Profundidad media (cm)	Carbono (%)	Nitrógeno (%)	Azufre (%)
0.5	9.18	2.74	0.8
1.5	9.3	3.67	0.74
2.5	9.5	3.73	0.9
3.5	9.28	3.57	0.96
4.5	8.43	3.36	1.02
6.5	6.8	3.29	1.02
8.5	7.39	3.45	0.95
11.5	6.5	2.88	0.91
14.5	5.86	1.99	0.89
18.5	5.82	1.74	0.95
22.5	5.4	1.85	1.03
27.5	5.97	1.91	1

Tabla 32. Variación vertical del contenido de C, N y S en sedimento seco para las estaciones CAM4, CAM5 y CAM6 en el muestreo de invierno.

Estación MIC4	Carbono	Nitrógeno	Azufre
0.5	7.62	2.73	0.58
1.5	7.07	3.25	0.8
2.5	6.78	2.79	0.84
3.5	6.28	2.04	0.86
4.5	5.93	1.6	0.64
6.5	5.79	1.66	0.95
8.5	6.01	1.64	0.89
11.5	5.57	1.6	0.93
14.5	6.22	1.44	1.02
17.5	8.21	1.12	0.27
Estación MIC5	Carbono	Nitrógeno	Azufre
0.5	11.09	3.72	1.21
1.5	11.22	3.71	1.66
2.5	10.81	3.53	1.79
3.5	10.6	3.92	1.83
4.5	10.09	3.74	1.88
6.5	9.27	3.36	2.12
8.5	8.93	3.31	1.93
11.5	8.5	3.38	1.86
14.5	8.28	3.01	1.66
18.5	6.11	2.53	1.41
22.5	5.93	1.76	0.94
27.5	6.04	1.3	0.41
Estación MIC6	Carbono	Nitrógeno	Azufre
0.5	7.00	3.72	2.01
1.5	7.23	3.72	1.89
2.5	7.92	3.51	1.6
3.5	8.32	3.5	1.72
4.5	8.7	3.38	1.31
5.5	8.32	3	1.51
6.5	8.13	2.7	1.76
7.5	8.89	2.1	0.9
8.5	8.39	1.63	1.34
9.5	8.12	1.49	1.38
10.5	8.02	1.34	1.06
11.5	8.23	1.22	0.98
12.5	8.70	1.26	0.78
15.5	9.14	0.54	0.39
18.5	9.37	0.64	0.51
21.5	9.33	0.52	0.41
23.5	9.25	0.6	0.46

Tabla 33. Variación vertical del contenido de C y N en sedimento seco para las estaciones CAM1. CAM2 y CAM3 en el muestreo de verano.

Estación MVC1		
Profundidad media (cm)	Carbono (%)	Nitrógeno (%)
0.5	14.79	1.43
1.5	13	1.24
2.5	11.86	1.22
3.5	9.54	0.55
4.5	8.9	0.41
6.5	10.15	0.28
8.5	9.71	0.21
11.5	9.62	0.18
14.5	10.28	0.16
Estación MVC2		
	Carbono	Nitrógeno
0.5	13.44	0.97
1.5	14.57	1.17
2.5	13.9	1.17
3.5	11.96	0.89
4.5	10.04	0.67
6.5	8.9	0.5
8.5	8.5	0.4
11.5	11.09	0.48
14.5	8.1	0.36
18.5	7.72	0.23
22.5	7.19	0.22
27.5	8.37	0.25
Estación MVC3		
	Carbono	Nitrógeno
0.5	9.9	0.76
1.5	9.84	0.72
2.5	9.23	0.59
3.5	7.96	0.48
4.5	6.13	0.32
6.5	6.64	0.29
8.5	6.9	0.22
11.5	6.21	0.21
14.5	6.44	0.2
18.5	6.46	0.18
22.5	6.49	0.21
27.5	6.17	0.19

Tabla 34. Variación vertical del contenido de C y N en sedimento seco para las estaciones CAM4, CAM5 y CAM6 en el muestreo de verano.

Estación MVC4	Carbono	Nitrógeno
0.5	8.22	0.42
1.5	6.95	0.31
2.5	6.54	0.25
3.5	6.93	0.28
4.5	7.01	0.27
6.5	6.92	0.25
8.5	6.45	0.19
11.5	6.73	0.15
14.5	8.2	0.11
18.5	8.23	0.09
22.5	8.24	0.09
13.5	7.48	0.11
26.5	7.67	0.08
Estación MVC5	Carbono	Nitrógeno
0.5	9.07	0.72
1.5	8.54	0.74
2.5	7.75	0.48
3.5	7.15	0.4
4.5	6.76	0.33
6.5	6.28	0.34
8.5	7.49	0.14
11.5	9.16	0.29
14.5	9.66	0.12
17.5	9.12	0.13
20.5	9.01	0.21
21.5	8.8	0.13
24.5	9.03	0.12
Estación MVC6	Carbono	Nitrógeno
0.5	7.56	0.36
1.5	7.29	0.23
2.5	8.13	0.2
3.5	8.75	0.16
4.5	9	0.15
6.5	8.99	0.13
8.5	9.47	0.13
11.5	9.84	0.15
14.5	9.46	0.14
18.5	9.08	0.12
22.5	8.84	0.12
26.5	8.83	0.13

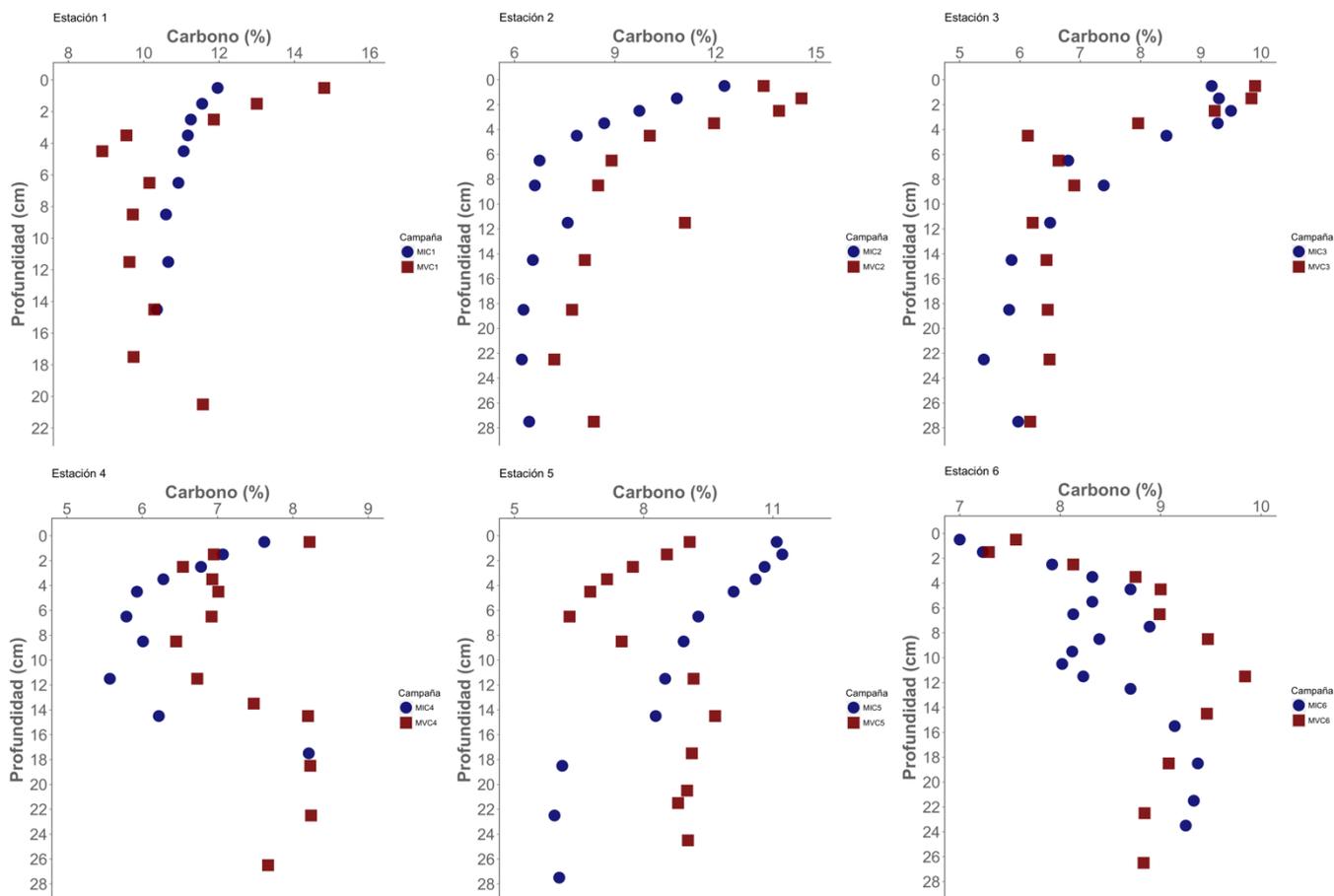


Figura 36. Representación gráfica de la concentración de carbono por cada profundidad estudiada, estación de muestreo y campaña realizada. Los círculos azules representan la campaña de invierno y los cuadrados rojos, la campaña de verano.

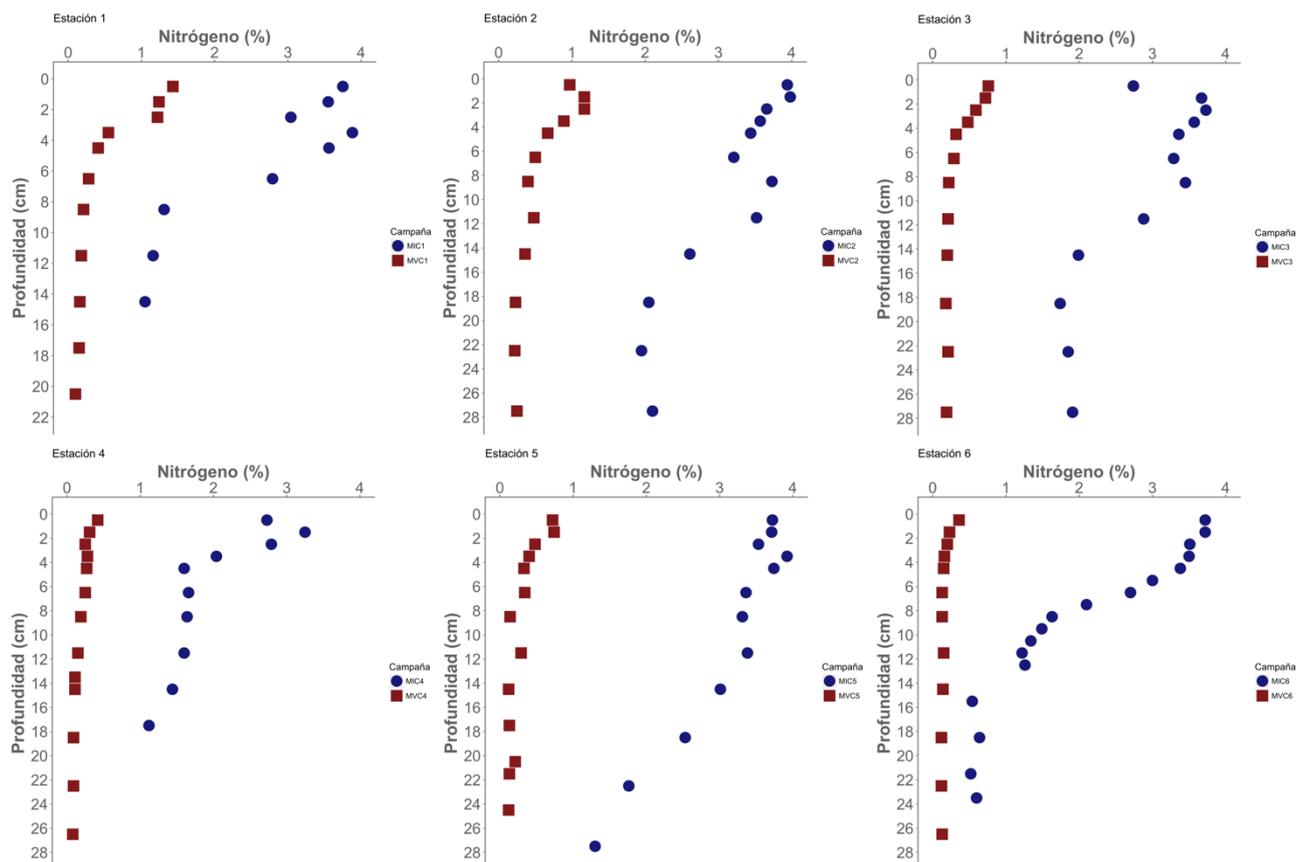


Figura 37. Representación gráfica de la concentración de nitrógeno por cada profundidad estudiada, estación de muestreo y campaña realizada. Los círculos azules representan la campaña de invierno y los cuadrados rojos, la campaña de verano.

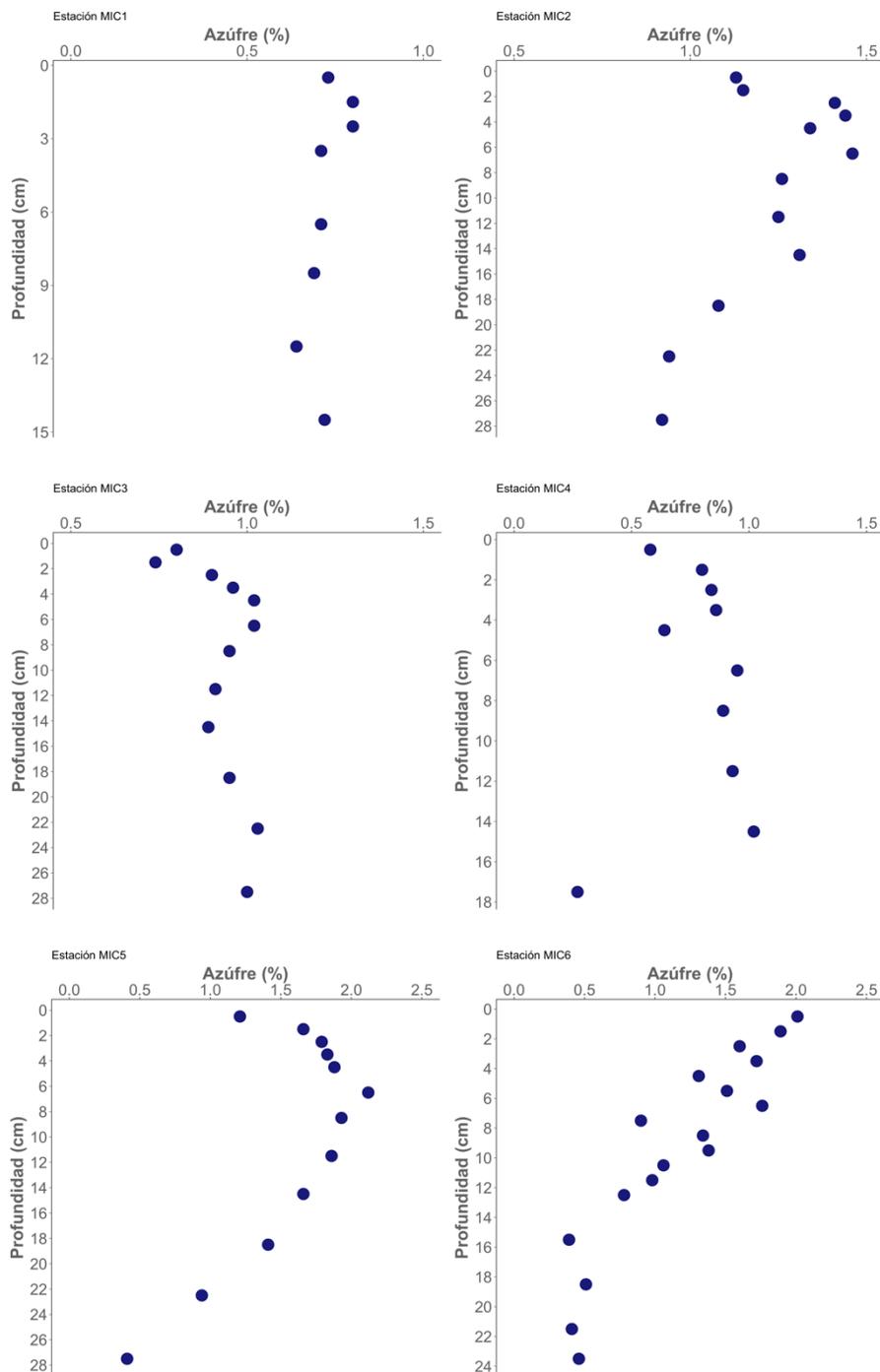


Figura 38. Representación gráfica de la concentración de azufre por cada profundidad estudiada, estación de muestreo. Los círculos azules representan la campaña de invierno. No se dispone información sobre el contenido de azufre en la campaña de verano.

Se ha sometido a los sedimentos a un tratamiento térmico a 450 °C durante 3 horas en un horna mufla para poder cuantificar el contenido de materia orgánica a partir de la pérdida de peso.

En la figura 39 se muestra la variación vertical del porcentaje de materia orgánica para las estaciones en invierno y verano. Como bien se puede observar, el contenido de materia orgánica disminuye con la profundidad indistintamente de la estación y campaña de muestreo. Los máximos obtenidos se observan en la Estación CAM2 de la campaña de verano en su parte más superficial (entre 2 y 4 cm de profundidad) donde alcanza valores de hasta un 25%. Por el contrario el mínimo de materia orgánica se cuantificó en la Estación CAM6 de la campaña de invierno en su parte más profundidad (entre 20 y 24 cm de profundidad) con valores próximos a un 2%.

A partir del contenido de materia orgánica puede estimarse el contenido de carbono orgánico en el sedimento. Para su cuantificación se ha considerado que materia orgánica se encuentra en un estado de oxidación equivalente al formaldehído (CH_2O).

En la figura 40 se ha representado la variación del contenido de carbono orgánico con la profundidad. De esta forma, la diferencia con el contenido total de carbono se debe a la contribución de fases inorgánicas de CaCO_3 . Como bien se puede observar, el contenido de carbono orgánico disminuye con la profundidad indistintamente de la estación y campaña de muestreo. Los contenidos máximos obtenidos se observan en CAM 2 de la campaña de verano en su parte más superficial (entre 2 y 4 cm de profundidad), donde alcanza valores próximos a un 10% (mismo patrón observado en la materia orgánica), aunque en el resto de las estaciones tiene contenidos comprendidos entre el 5 y el 8 % en esta zona superficial.

Estos valores pueden considerarse altos en comparación con otros sistemas costeros, donde habitualmente el contenido de C orgánico suele ser inferior a un 3 %. Aunque parte de esta disminución puede estar relacionada con la propia eficacia de la mineralización del C orgánico en el sedimento, estas variaciones verticales podrían responder a episodios recientes, en los últimos años, de acumulación de materia orgánica en los sedimentos.

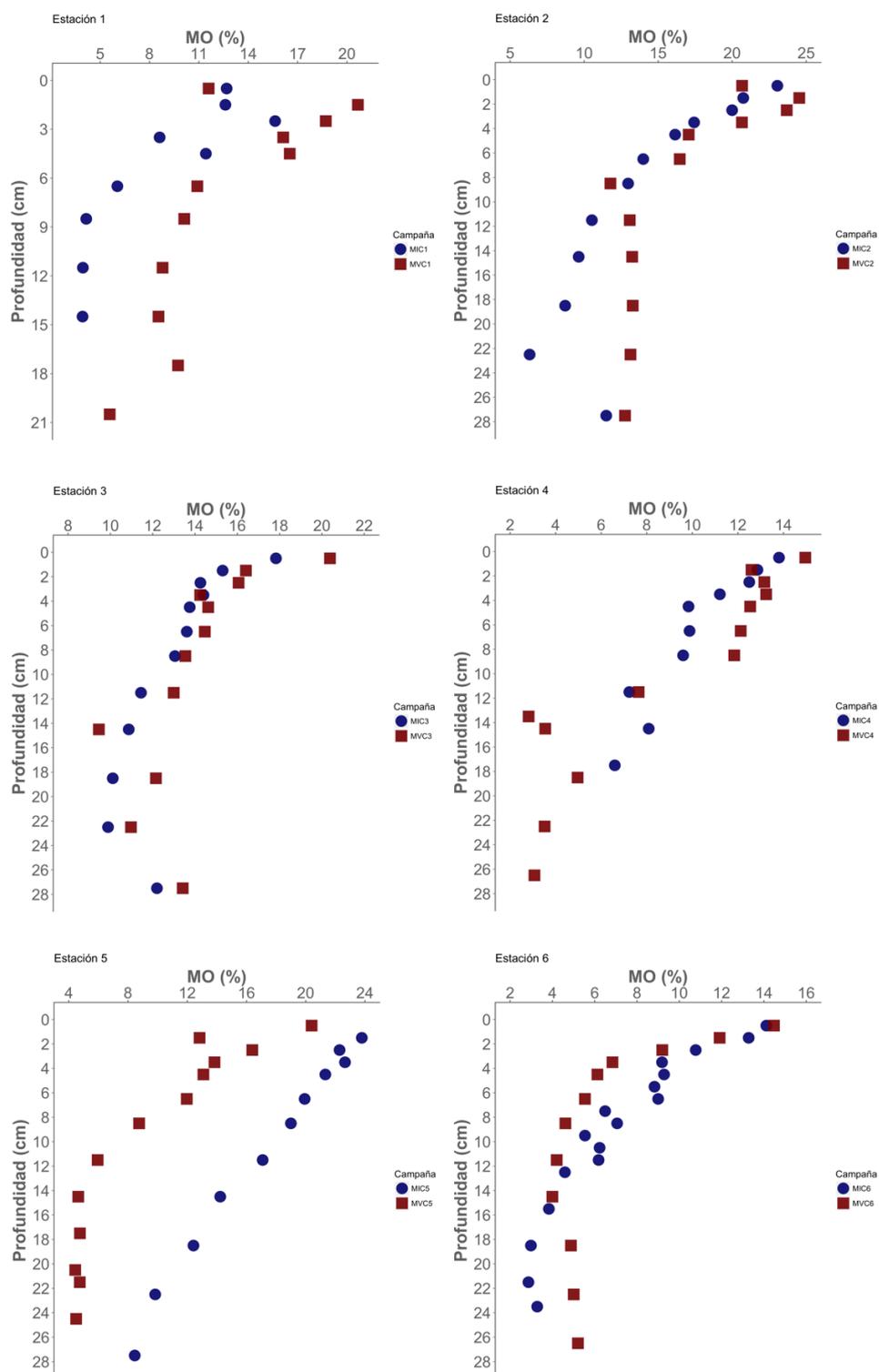


Figura 39. Representación gráfica de la concentración de la materia orgánica por cada profundidad estudiada, estación de muestreo y campaña realizada. Los círculos azules representan la campaña de invierno y los cuadrados rojos, la campaña de verano.

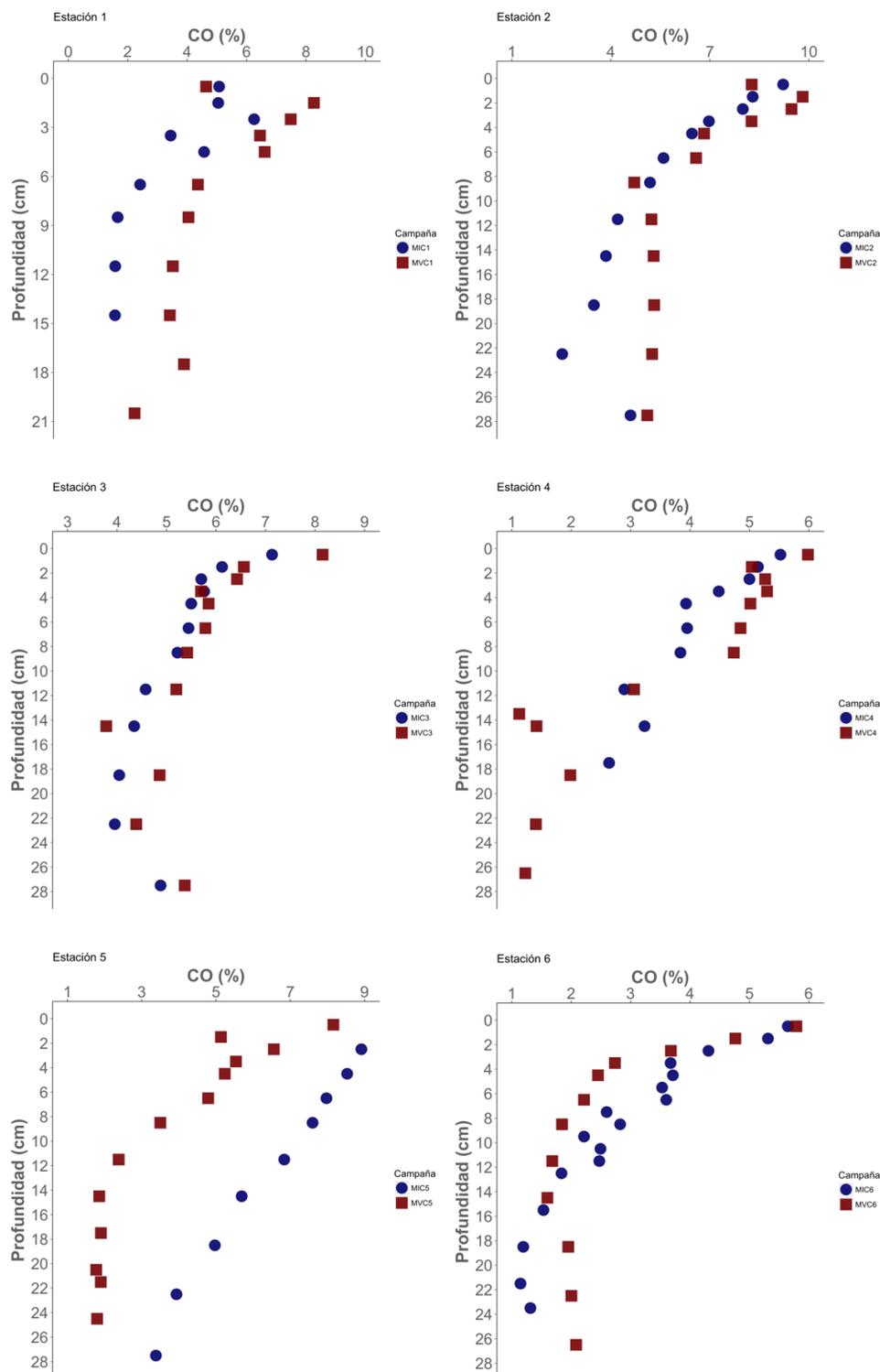


Figura 40. Representación gráfica de la concentración del carbono orgánico por cada profundidad estudiada, estación de muestreo y campaña realizada. Los círculos azules representan la campaña de invierno y los cuadrados rojos, la campaña de verano.

Datación del sedimento

La datación de los sedimentos se ha realizado mediante la medida de la actividad de los isótopos radioactivos ^{210}Pb , ^{226}Ra y ^{137}Cs . Se ha utilizado El método de fechado utilizado es el CRS (Constant Rate of Supply) que asume un aporte constante de ^{210}Pb . Además se observa que no existe compactación, ya que la densidad del sedimento seco es razonablemente constante con la profundidad.

La estación CAM 4 no se ha podido datar mediante esta metodología. Su proximidad a ramblas hace que la columna de sedimento se encuentre muy alterada. Se va a medir la actividad del ^{210}Pb a través del ^{210}Po por espectrometría alfa para poder caracterizar la edad de los estratos de sedimento en esta estación.

De la información disponible, conviene utilizar la correspondiente hasta la década de los 60, ya que los datos de las muestras más profundas están próximas al límite de detección y poseen un error considerable.

De esta forma, la tasa de sedimentación utilizando los primeros 5 cm de sedimento corresponde a dataciones comprendidas entre 1986 y 2006 y proporciona resultados fiables. Las estaciones CAM 1, CAM 2 y CAM 6, situadas en la zona norte y sur del Mar Menor, presentan unas tasas de sedimentación de 1.79, 1.61 y 1.56 mm año^{-1} , respectivamente. La zona central del Mar menor presenta tasas de sedimentación más elevadas, con valores de 3.85 mm año^{-1} en la estación CAM 3 y 4.17 mm año^{-1} en la estación CAM 5. Presumiblemente la estación CAM 4 también presente elevadas tasas de sedimentación de material particulado.

En las tablas 35 y 36 se presenta la actividad de ^{210}Pb , ^{226}Ra y ^{137}Cs a diferentes profundidades del sedimento, y en las figuras 41 a 45 se muestran estas variaciones verticales, junto con la datación del sedimento.

Tabla 35. Variación con la profundidad de la actividad de 210-Pb, 226-Ra y 137-Cs correspondientes a las estaciones CAM1, CAM2 y CAM3.

Estación MIC1			
Profundidad (cm)	Plomo 210 Pb(Bq/kg)	Radio 226 Ra(Bq/kg)	Cesio 137 Cs(Bq/kg)
1	29.26	7.08	12.87
2	41.57	6.16	13.08
3	26.68	4.67	12.33
4	18.36	6.24	12.93
5	5.41	4.08	12.20
7	8.47	3.63	11.12
9	8.52	3.66	11.19
12	7.07	2.01	10.84
Estación MIC2			
1	86.99	6.02	3.21
2	51.76	8.92	4.89
3	50.16	8.02	4.86
4	36.22	7.9	5.55
5	27.32	8.75	4.64
7	3.62	9.55	4.86
9	6.14	12.23	2.84
12	7.07	2.01	1.65
Estación MIC3			
1	--	--	17.79
2	--	--	15.47
3	68.92	12.72	17.48
4	--	--	16.78
5	--	--	17.23
7	46.76	15.59	16.01
9	25.96	13.76	16.05
12	27.65	13.58	15.31
15	31.39	18.97	14.30
19	34.74	24	14.19
23	37.96	19.65	14.34

Tabla 36. Variación con la profundidad de la actividad de 210-Pb, 226-Ra y 137-Cs correspondientes a las estaciones CAM5 y CAM6.

Estación MIC5			
Profundidad (cm)	Plomo 210 Pb(Bq/kg)	Radio 226 Ra(Bq/kg)	Cesio 137 Cs(Bq/kg)
1	89.81	14.98	17.91
2	91.63	13.8	18.18
3	85.31	14.83	18.47
4	77.99	14.89	19.96
5	79.37	13.73	20.69
7	55.77	12.1	14.89
9	70.63	13.04	21.41
12	42.47	11.4	19.73
15	35.92	11.02	17.33
19	36.71	13.92	15.75
23	31.2	15.89	14.31
Estación MIC6			
1	47.72	16.47	15.63
2	47.88	18.53	15.47
3	37.76	15.19	14.58
4	35.93	12.94	14.46
5	29.17	11.36	13.83
6	21.8	12.39	14.59
7	19.32	11.05	13.31
8	12.12	3.64	12.65
9	21.53	7.74	12.82
10	10.48	6.66	12.88
11	7.93	3.04	11.75
12	8.09	5.17	12.13

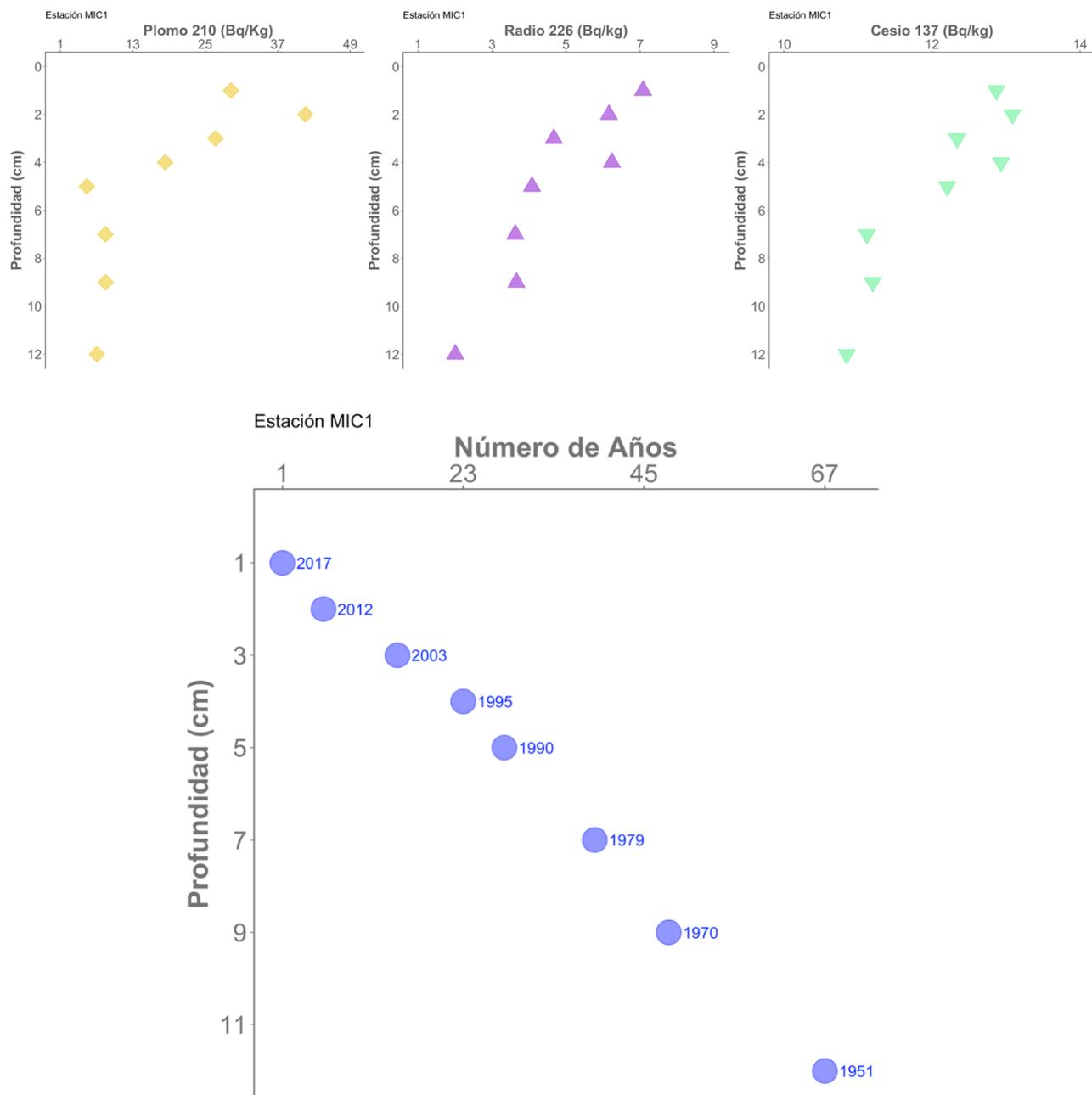


Figura 41. Perfiles verticales de la actividad de 210-Pb, 226-Ra y 137-Cs, y datación del sedimento correspondiente a la estación CAM1.

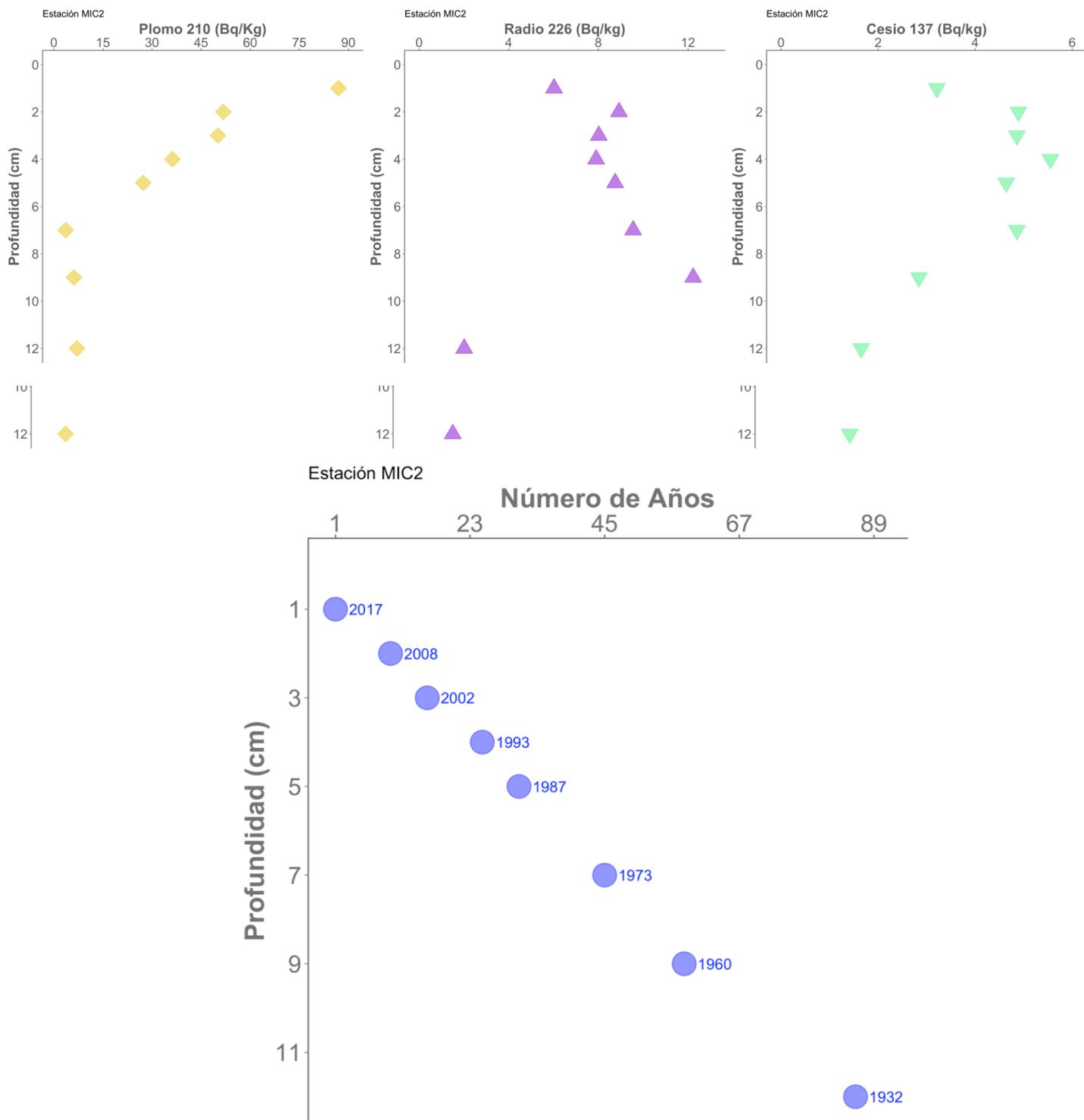


Figura 42. Perfiles verticales de la actividad de ^{210}Pb , ^{226}Ra y ^{137}Cs , y datación del sedimento correspondiente a la estación CAM2.

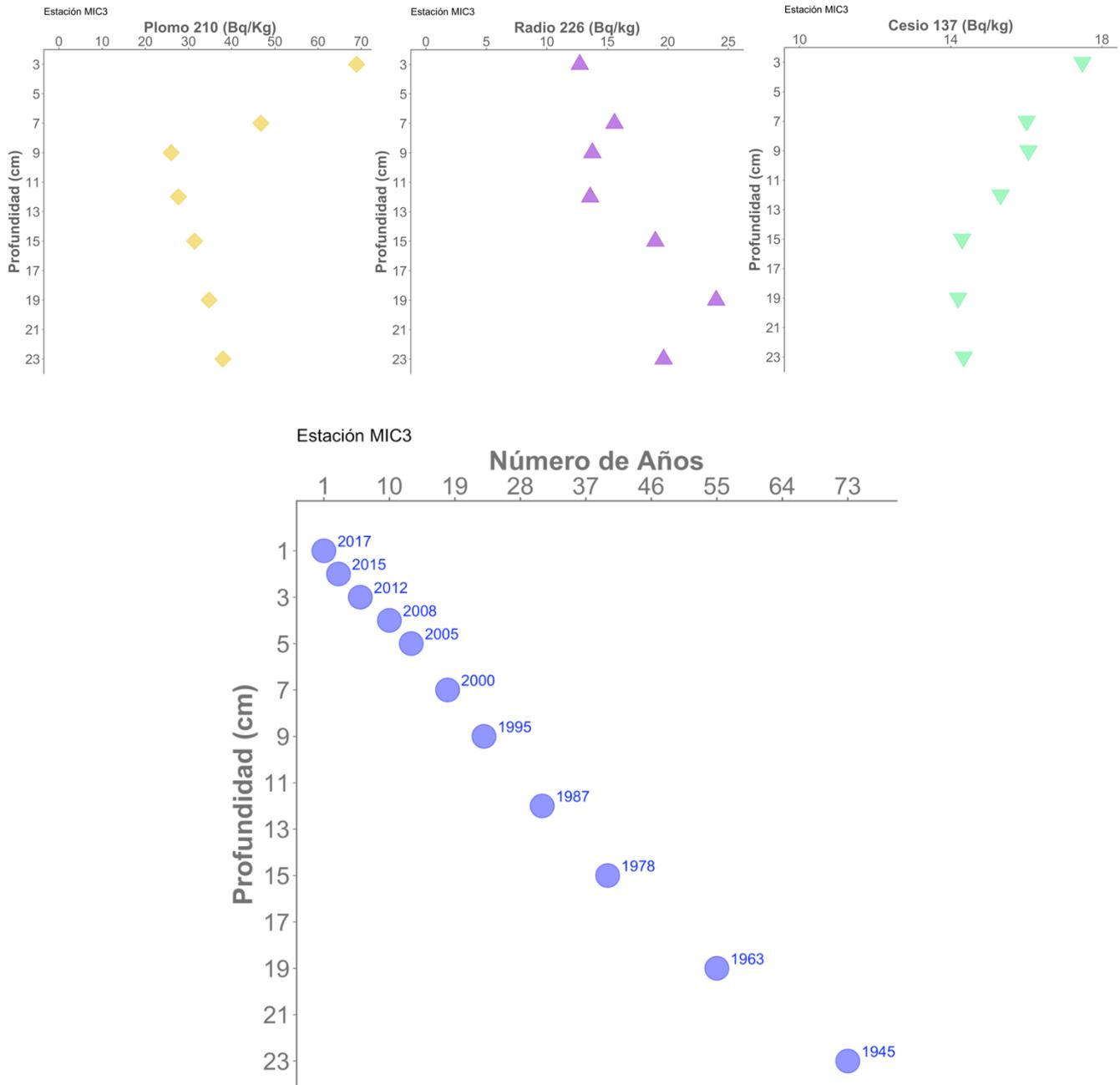


Figura 43. Perfiles verticales de la actividad de 210-Pb, 226-Ra y 137-Cs, y datación del sedimento correspondiente a la estación CAM3.

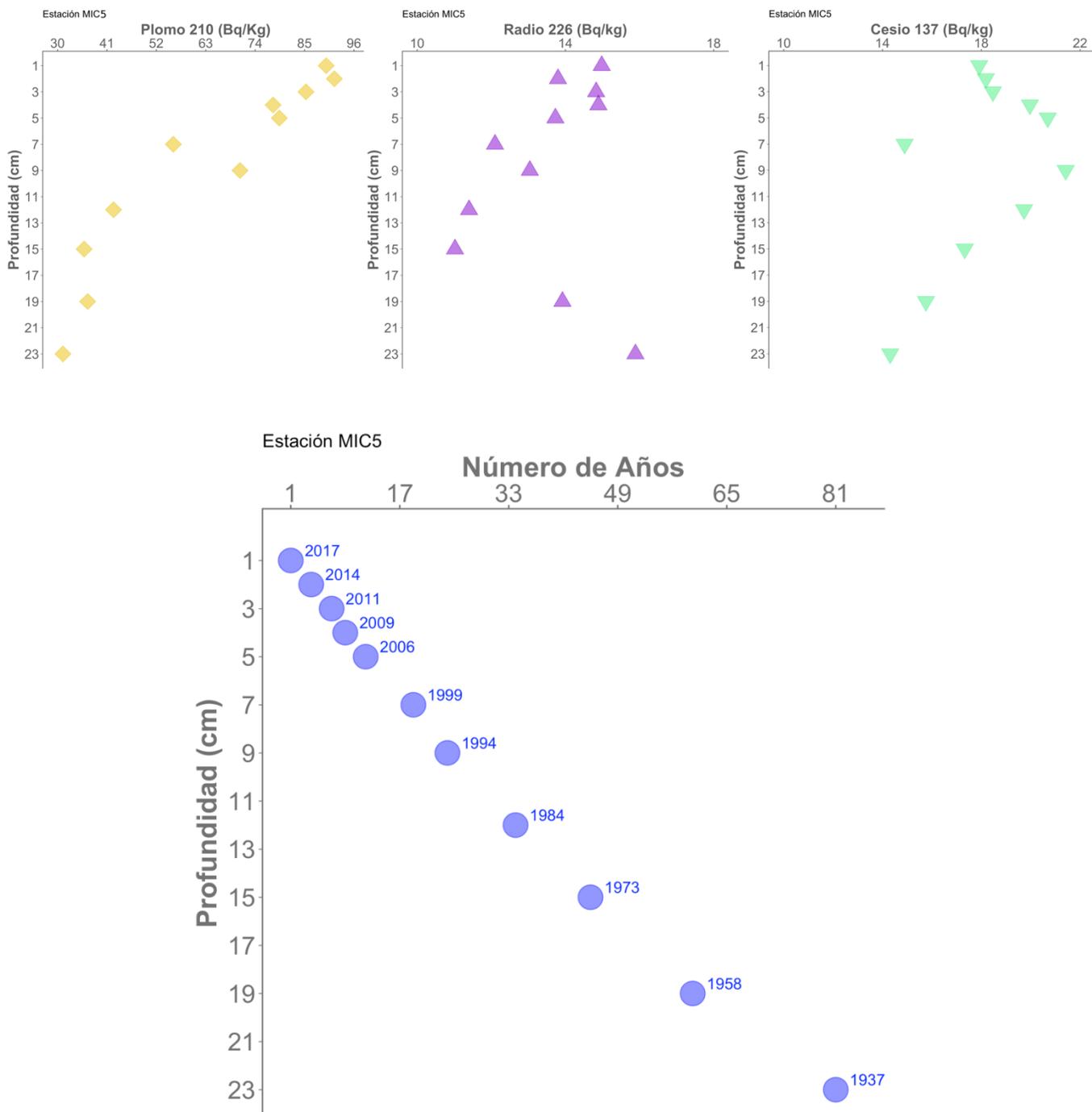


Figura 44. Perfiles verticales de la actividad de ^{210}Pb , ^{226}Ra y ^{137}Cs , y datación del sedimento correspondiente a la estación CAM5.

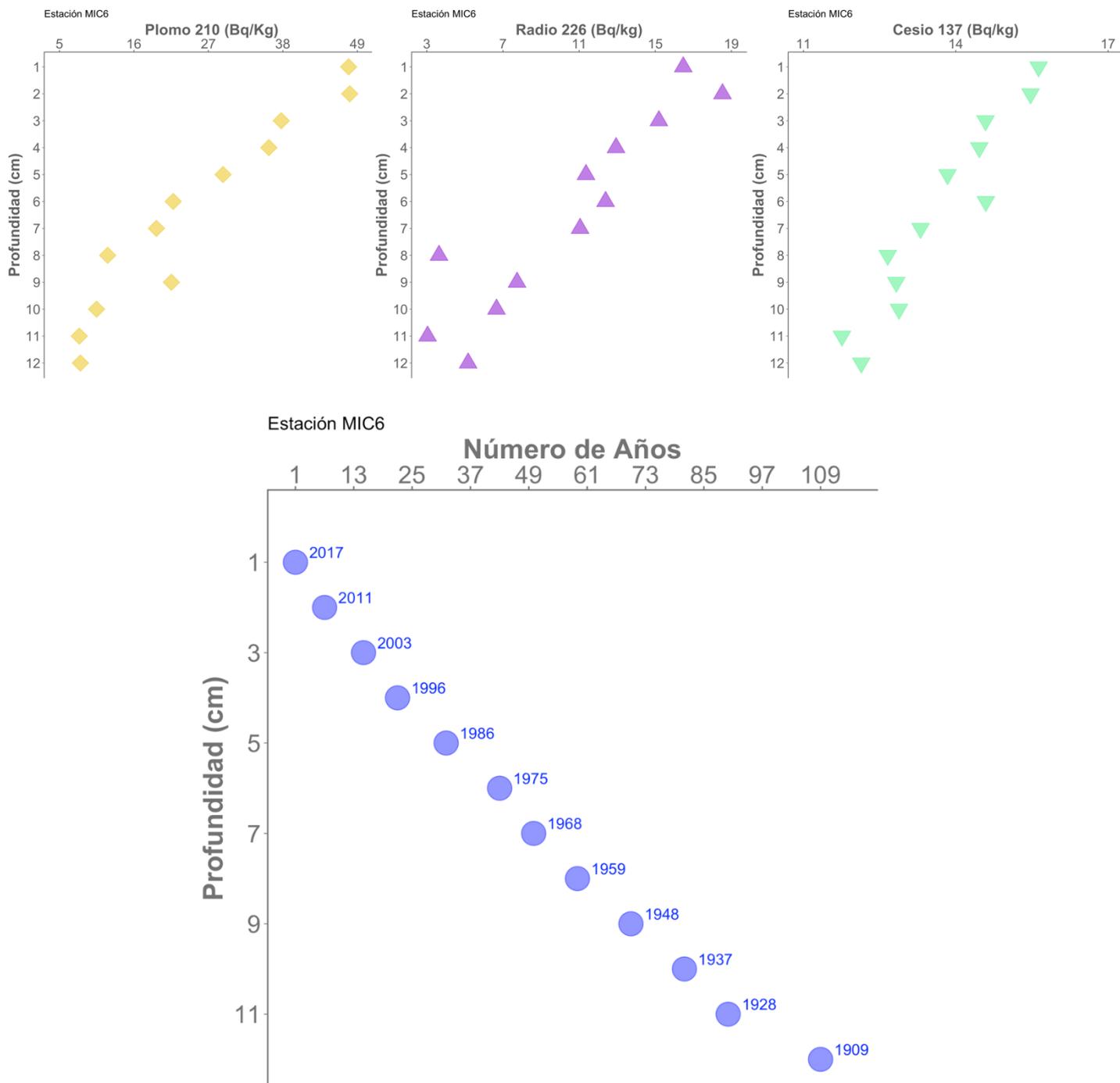


Figura 45. Perfiles verticales de la actividad de ^{210}Pb , ^{226}Ra y ^{137}Cs , y datación del sedimento correspondiente a la estación CAM6.

Densidad del sedimento

En la tabla 37 y en la figura 45 se recoge los valores encontrados para la densidad del sedimento mediante picnometría en la superficie, zona intermedia y zona profunda de los diferentes testigos de sedimento. Esta información se requiere para una correcta cuantificación de la porosidad del sedimento.

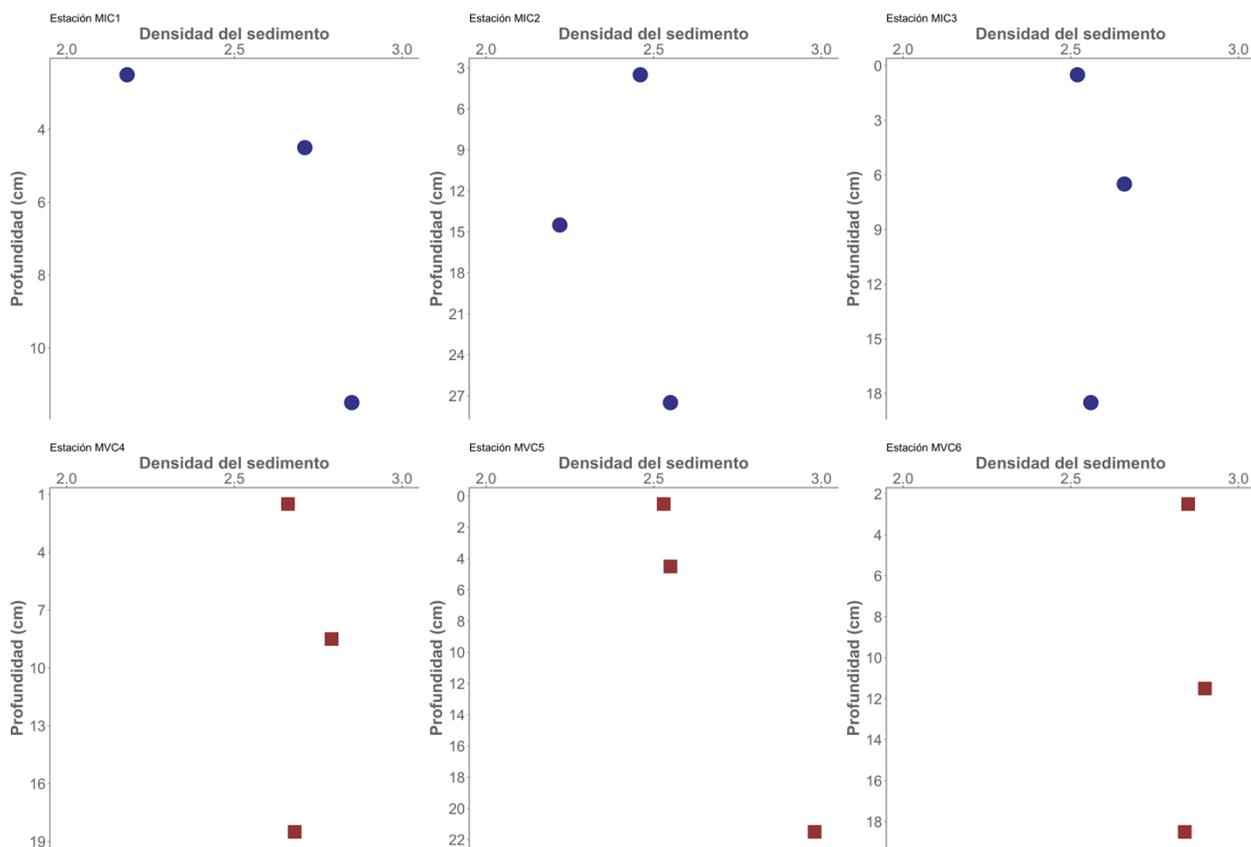


Figura 45. Representación de la relación entre la densidad del sedimento y la profundidad de seis estaciones muestreadas, correspondientes a tres de invierno (MIC1, MIC2 y MIC3) y tres de verano (MVC1, MVC2 y MVC3).

Tabla 37. Densidad de sedimento para las tres profundidades seleccionadas de cada estación de muestreo y campaña.

Campaña	Estación	Profundidad (cm)	Densidad sedimento
Invierno	MIC1	11.5	3.1
		4.5	2.71
		11.5	2.85
	MIC2	3.5	2.46
		14.5	2.22
		27.5	2.55
	MIC3	0.5	2.52
		6.5	2.66
		18.5	2.56
	MIC4	1.5	2.63
		8.5	2.7
		17.5	2.7
	MIC5	0.5	2.52
		4.5	2.45
		22.5	2.79
	MIC6	2.5	2.78
		10.5	2.87
		18.5	2.86
Verano	MVC1	2.5	2.36
		4.5	2.56
		11.5	2.69
	MVC2	3.5	2.43
		14.5	2.62
		27.5	2.59
	MVC3	0.5	2.51
		6.5	2.6
		18.5	2.58
	MVC4	1.5	2.66
		8.5	2.79
		18.5	2.68
	MVC5	0.5	2.53
		4.5	2.55
		21.5	2.98
	MVC6	2.5	2.85
		11.5	2.9
		18.5	2.84

Porosidad

La porosidad del sedimento presenta valores elevados en la parte superficial, entre 0.77 y 0.90, y disminuye con la profundidad a medida que se compacta el sedimento hasta valores comprendidos entre 0.48 y 0.70 dependiendo de la estación (tablas 38 y 39, figuras 46).

Tabla 38. Variación vertical de la porosidad del sedimento para las estaciones CAM1, CAM2 y CAM3 del Mar Menor en situación de verano.

CAM1		CAM2		CAM3	
Prof (cm)	Porosidad	Prof (cm)	Porosidad	Prof (cm)	Porosidad
0.5	0.907	0.5	0.875	0.5	0.854
1.5	0.886	1.5	0.903	1.5	0.846
2.5	0.873	2.5	0.887	2.5	0.830
3.5	0.836	3.5	0.860	3.5	0.819
4.5	0.785	4.5	0.812	4.5	0.791
8.5	0.694	6.5	0.767	6.5	0.751
11.5	0.647	8.5	0.750	8.5	0.731
14.5	0.645	11.5	0.791	11.5	0.717
		14.5	0.756	14.5	0.702
		18.5	0.729	18.5	0.697
		22.5	0.697	22.5	0.688
				27.5	0.689

Tabla 39. Variación vertical de la porosidad del sedimento para las estaciones CAM4, CAM5 y CAM6 del Mar Menor en situación de verano.

CAM4		CAM5		CAM6	
Prof (cm)	Porosidad	Prof (cm)	Porosidad	Prof (cm)	Porosidad
0.5	0.774	0.5	0.847	0.5	0.814
1.5	0.728	1.5	0.828	1.5	0.749
2.5	0.690	2.5	0.799	2.5	0.694
3.5	0.709	3.5	0.783	3.5	0.657
4.5	0.698	6.5	0.671	4.5	0.597
6.5	0.676	4.5	0.766	6.5	0.573
8.5	0.638	7.5	0.641	8.5	0.522
11.5	0.515	11.5	0.554	11.5	0.476
14.5	0.483	14.5	0.495		
		15.5	0.488		

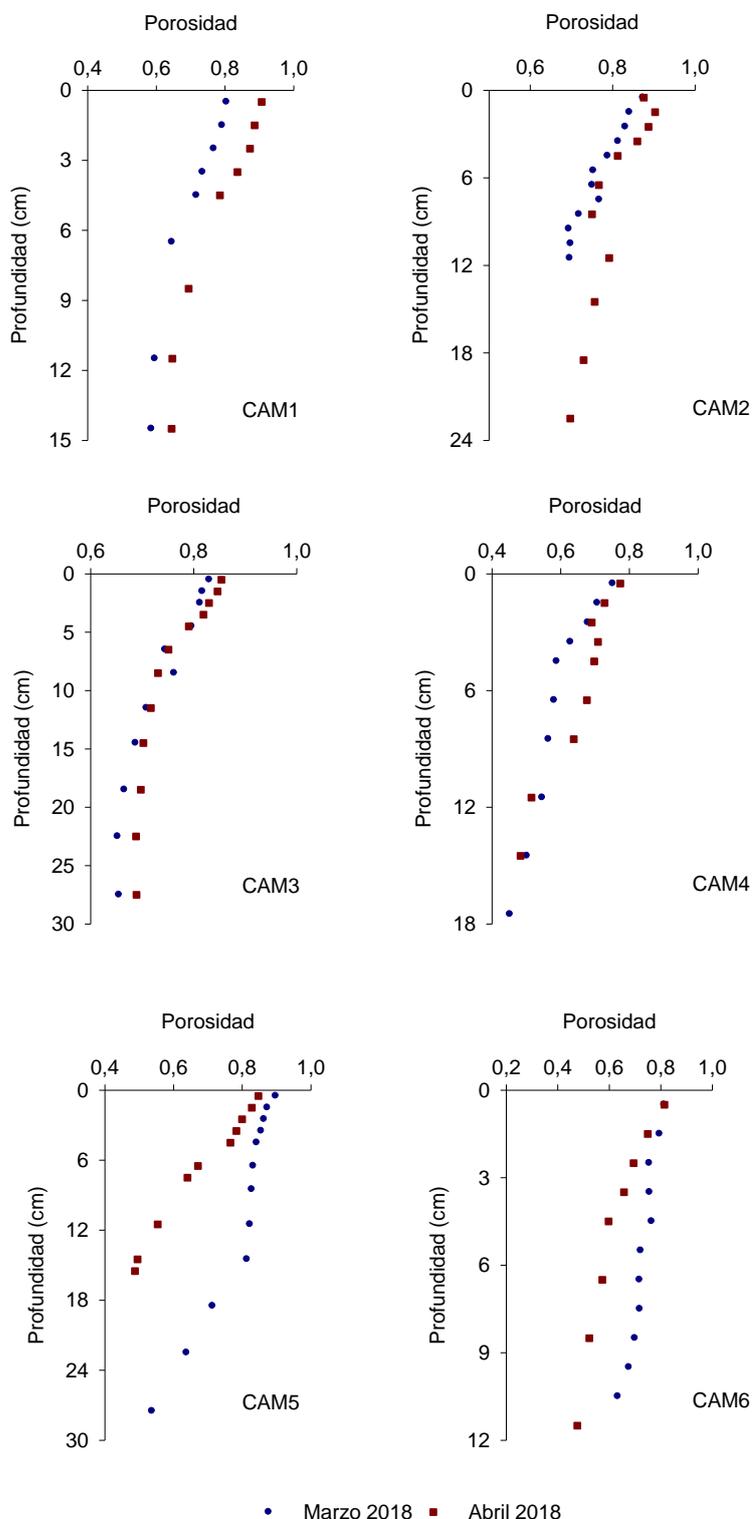


Figura 46. Representación gráfica de la porosidad en las seis estaciones muestreadas del Mar Menor. Los círculos azules representan la campaña de invierno y los cuadrados rojos, la campaña de verano.

Granulometría del sedimento

Aunque no estaba considerado en el proyecto, se ha realizado una caracterización granulométrica de las 6 estaciones de sedimento y en las 2 campañas, ya que esta información se considera fundamental para establecer la permeabilidad del sedimento. Estas medidas se han realizado en el Centro Oceanográfico de Málaga del IEO.

En la figura 47 se muestra la variación vertical del tamaño medio de grano (D_{50}) para las 6 estaciones en situación de invierno y verano. Puede observarse como los valores de D_{50} son relativamente irregulares con la profundidad. Los valores medios más elevados, entre 200 y 225 μm , corresponden a las estaciones CAM 1, CAM 2 y CAM 6, situadas en los extremos norte y sur del Mar Menor. En la zona central, estaciones CAM 3, CAM 4 y CAM 6, el tamaño medio de grano es inferior, entre 100 y 150 μm .

El porcentaje de las distintas fracciones del sedimento agrupadas como arcilla, limo, fango arena y grava se presentan en las figuras 48 a 53. Si se analiza toda la información de forma conjunta, la fracción de arena supone un 68.8 % del sedimento, el fango un 25.2 %, el limo un 19,3 %, la grava un 6 % y la arcilla un 5.9 %. Se trata por tanto de un sistema con sedimentos de tamaño de partícula elevada, compuesto fundamentalmente por arenas fina (25.0 % entre 125 y 250 μm) y media (18.6 % entre 250 y 500 μm). Por tanto, se trata de sedimentos con una elevada permeabilidad y que posibilita el transporte de fluidos desde acuíferos subterráneos.

Existen diferencias significativas entre estaciones, donde las estaciones CAM 1, CAM 5 y CAM 6 presentan los porcentajes de arena más elevados (entre 60 y 70 %), y las estaciones CAM 2, CAM 3 y CAM 4 tienen granulometría más fina.

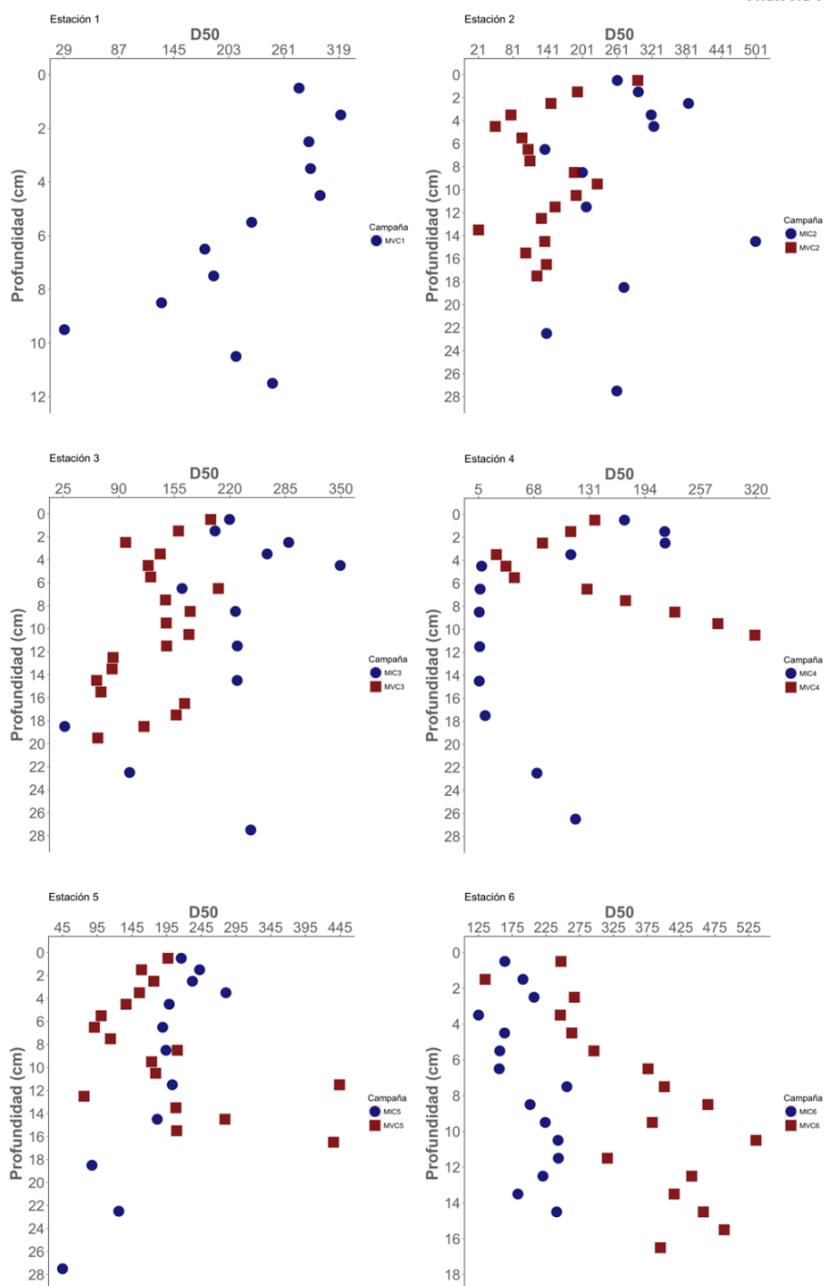


Figura 47. Representación gráfica de las variaciones verticales de los valores de D50 (μm) para las 6 estaciones y 2 campañas realizadas. Los círculos azules representan la campaña de invierno y los cuadrados rojos a la campaña de verano.

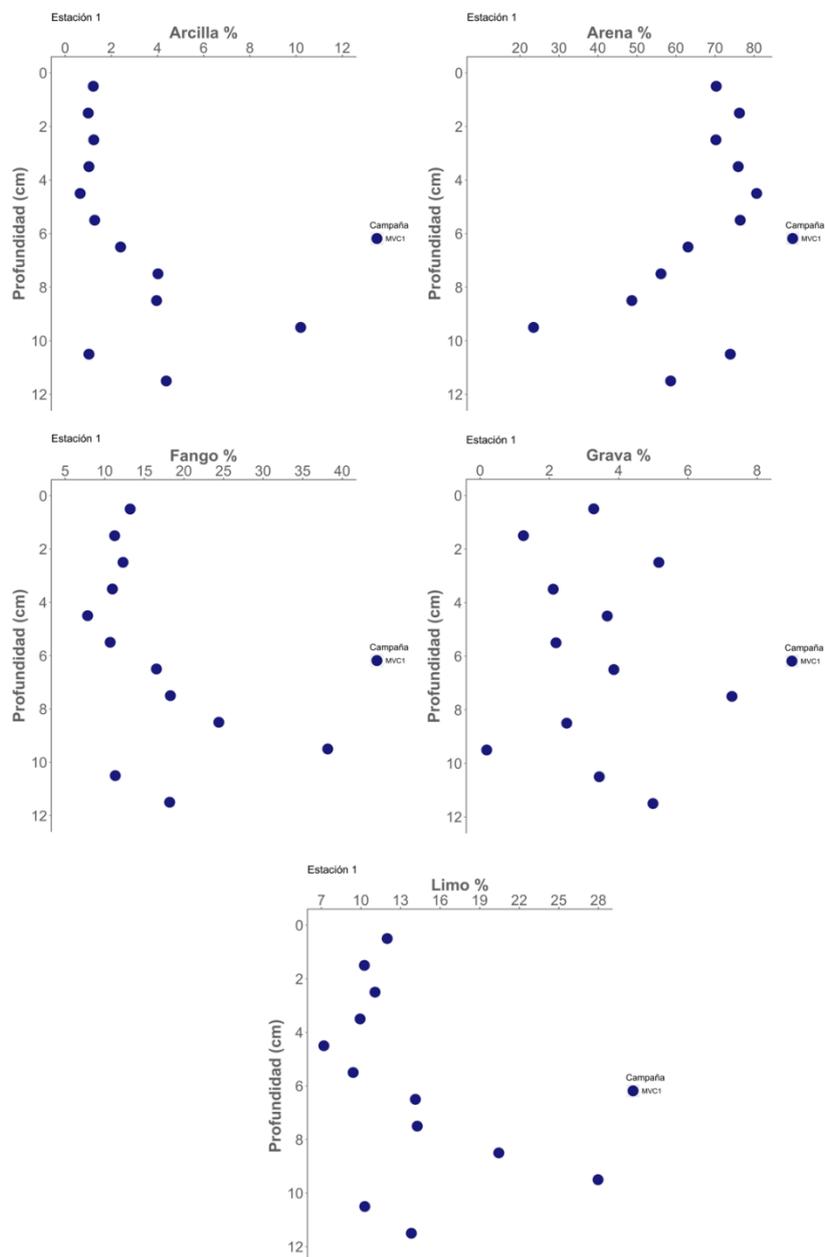
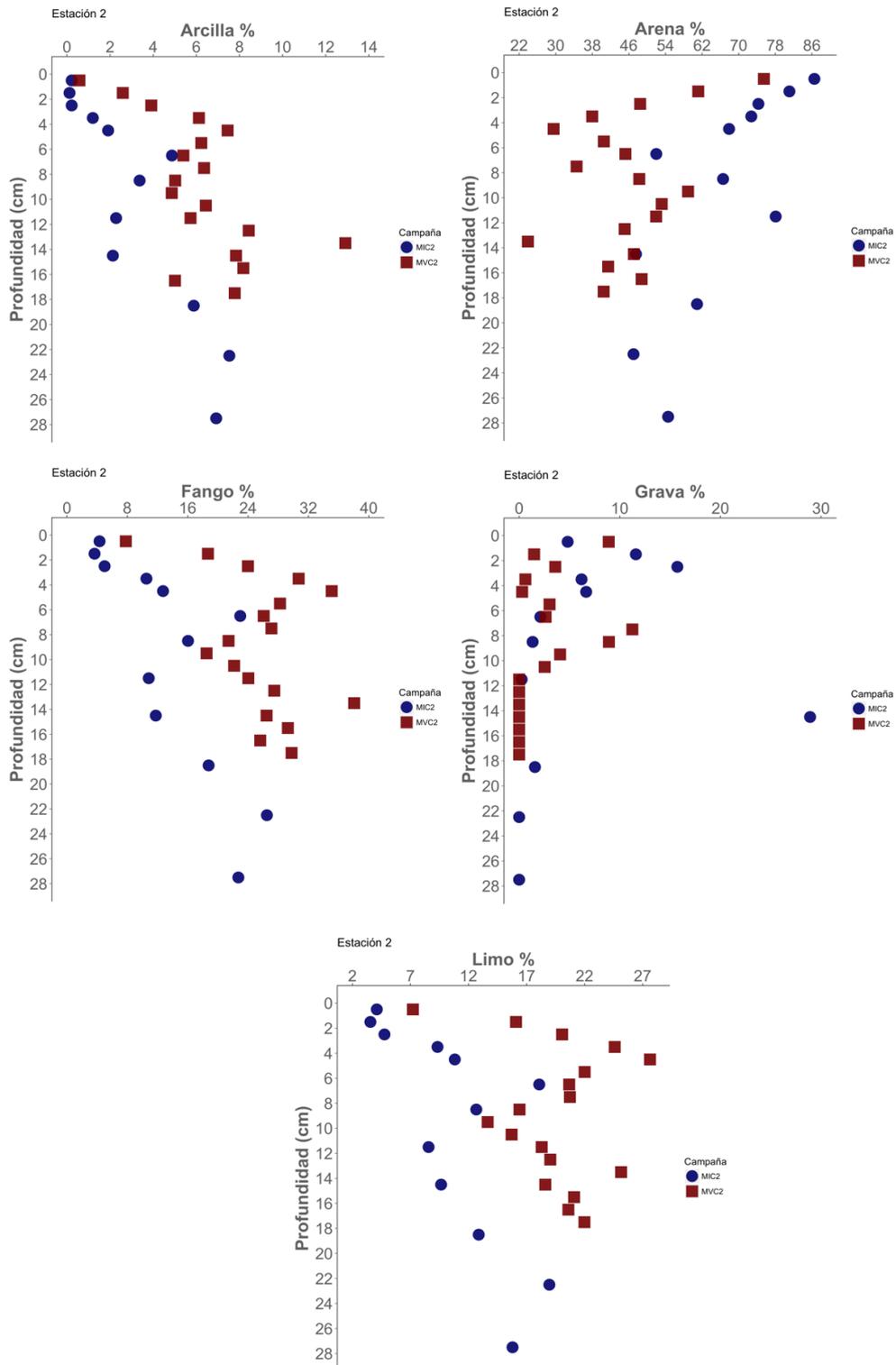


Fig. 48. Representación gráfica del porcentaje de Arcilla, Arena, Fango, Grava y Limo de la estación CAM1. Los círculos azules representan la campaña de invierno.



Figura

Figura 49. Representación gráfica del porcentaje de Arcilla, Arena, Fango, Grava y Limo de la estación CAM2. Los círculos azules representan la campaña de invierno y los cuadrados rojos a la campaña de verano.

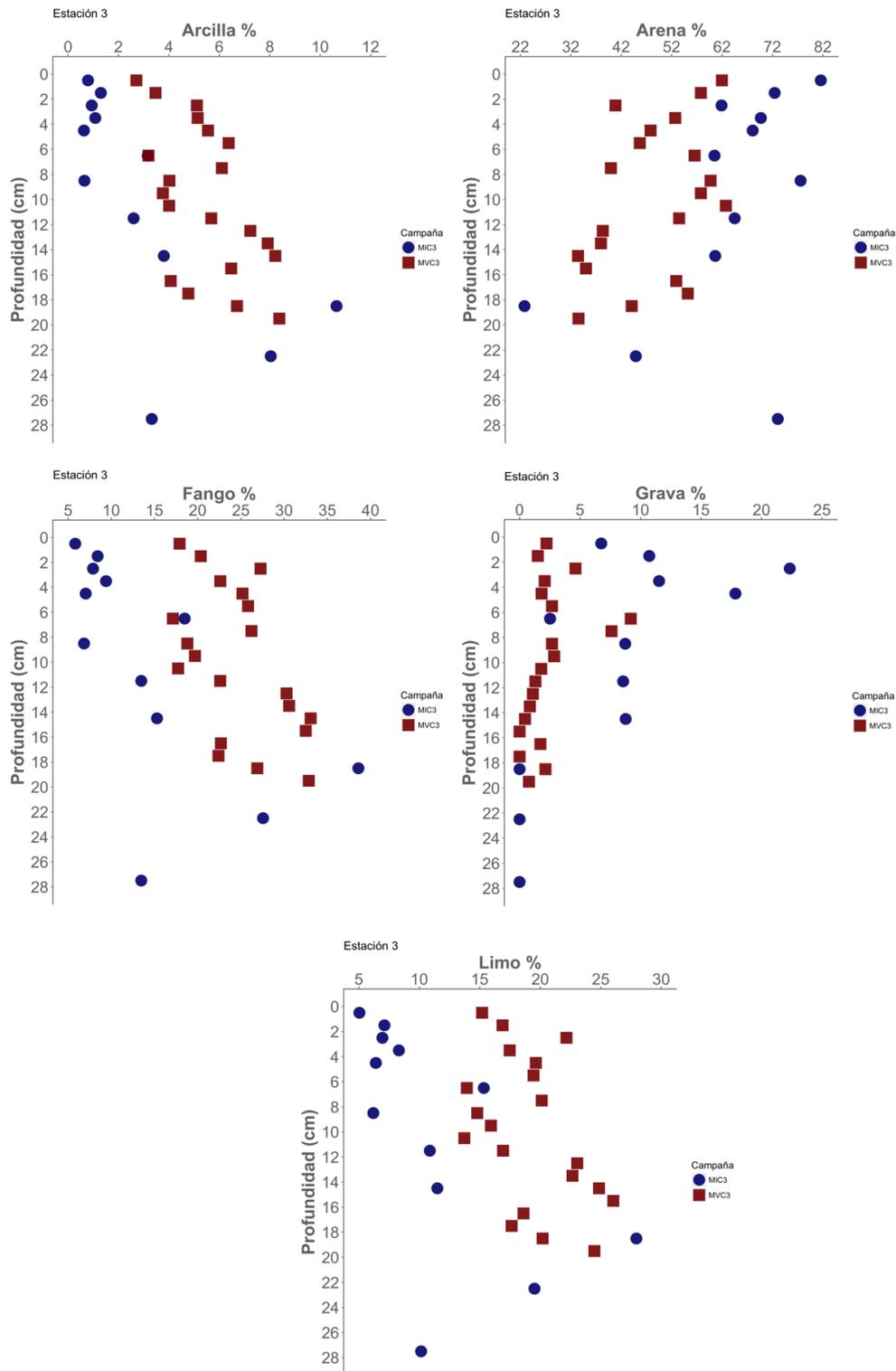


Figura 50. Representación gráfica del porcentaje de Arcilla, Arena, Fango, Grava y Limo de la estación CAM3. Los círculos azules representan la campaña de invierno y los cuadrados rojos a la campaña de verano.

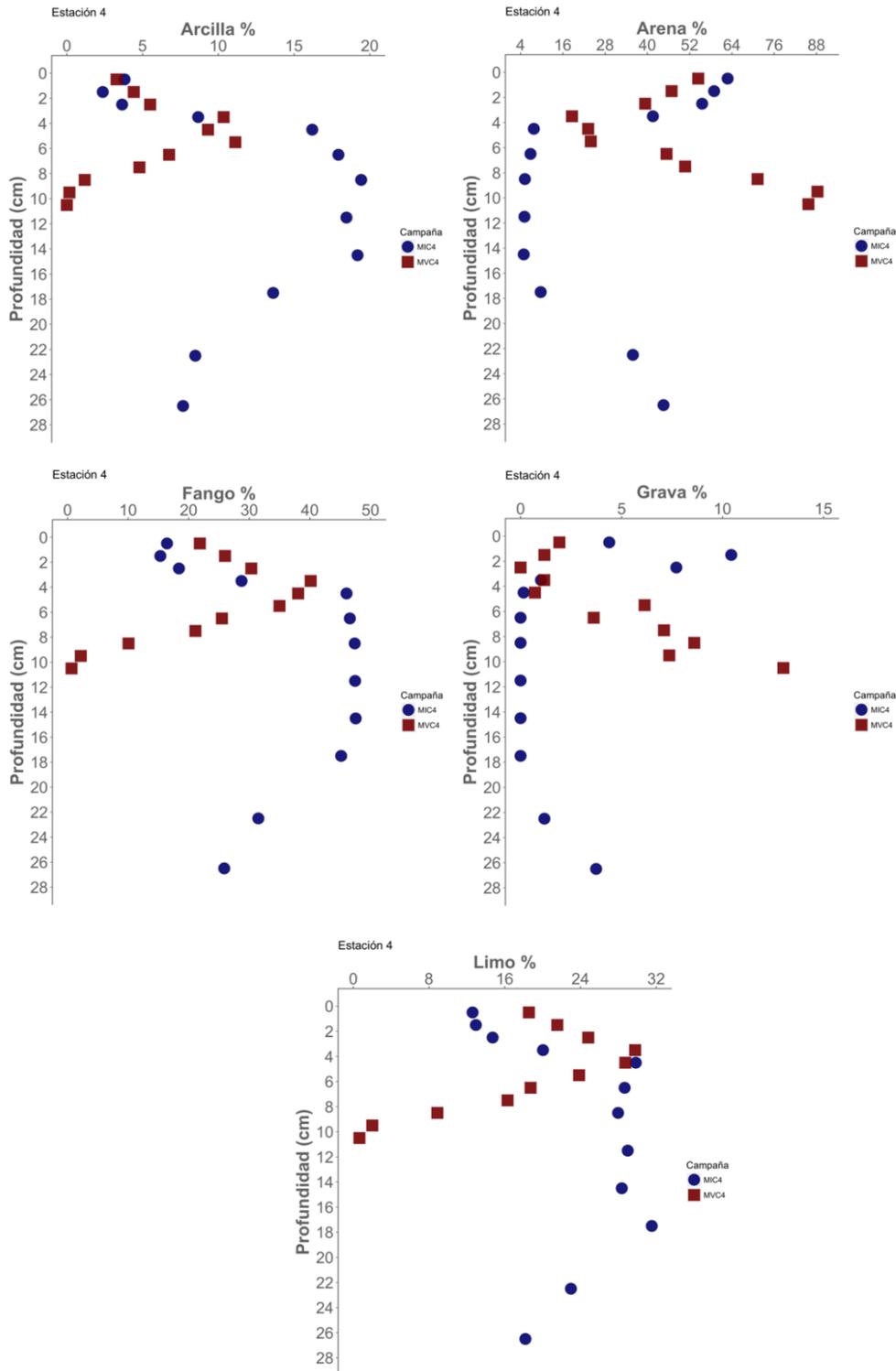


Figura 51. Representación gráfica del porcentaje de Arcilla, Arena, Fango, Grava y Limo de la estación CAM4. Los círculos azules representan la campaña de invierno y los cuadrados rojos a la campaña de verano.

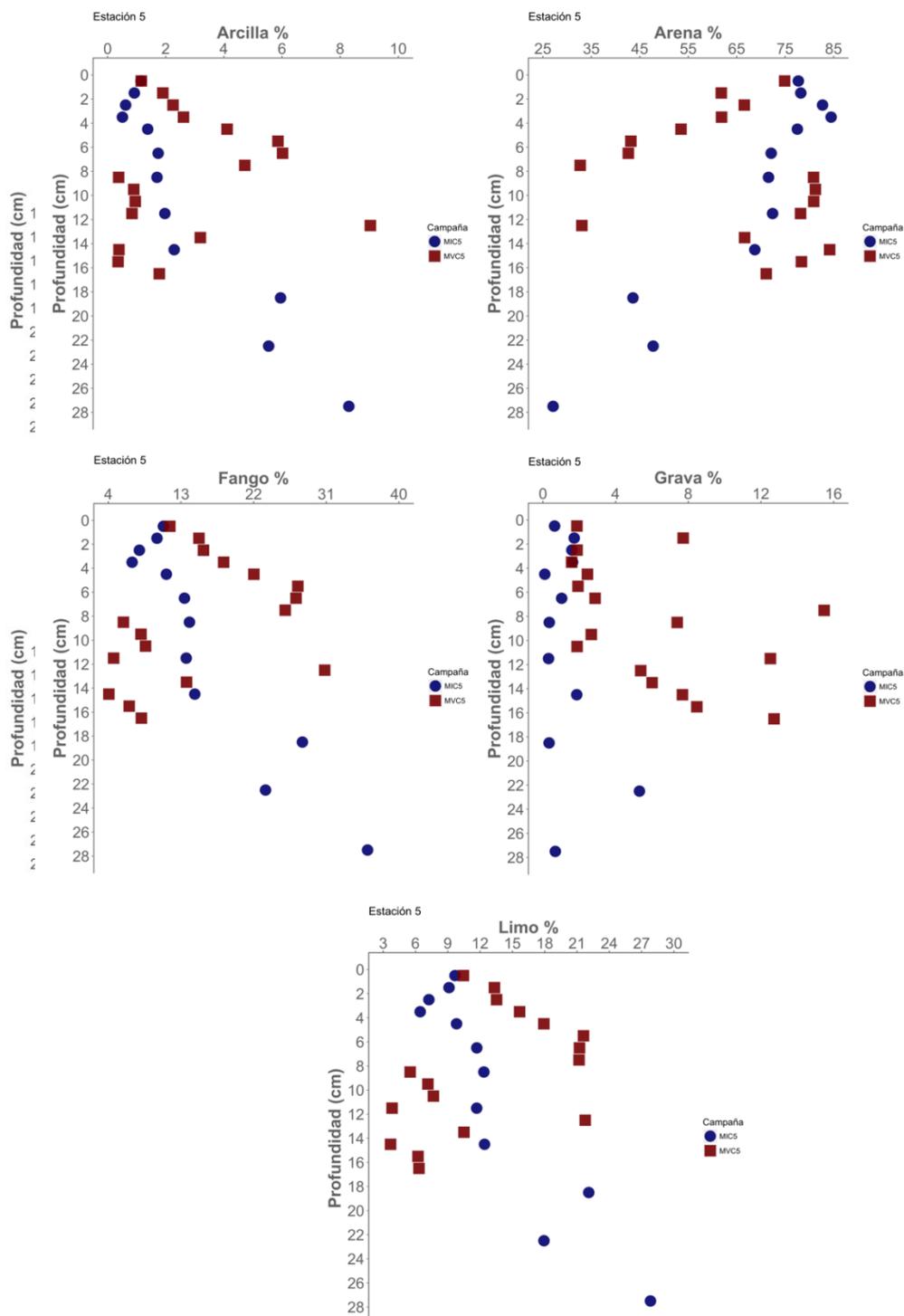


Figura 51. Representación gráfica del porcentaje de Arcilla, Arena, Fango, Grava y Limo de la estación CAM5. Los círculos azules representan la campaña de invierno y los cuadrados rojos a la campaña de verano.

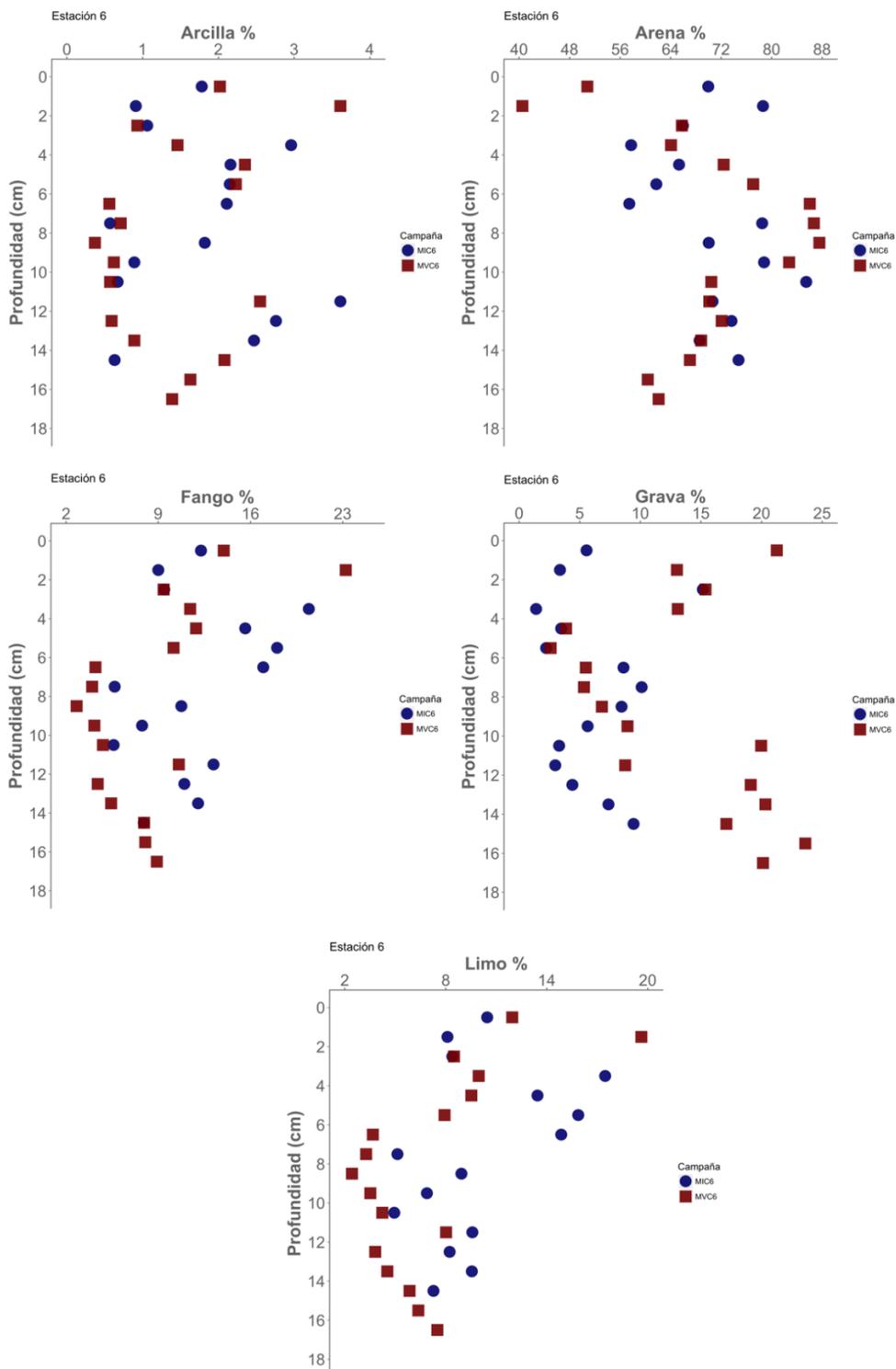


Figura 52. Representación gráfica del porcentaje de Arcilla, Arena, Fango, Grava y Limo de la estación CAM6. Los círculos azules representan la campaña de invierno y los cuadrados rojos a la campaña de verano.

AGUA INTERSTICIAL

Gradientes verticales de carbono inorgánico

En lo que se refiere a las variables relacionadas con el sistema del carbono inorgánico, sus perfiles verticales en el agua intersticial se recogen en las tablas 40 a 45 y en las figuras 53 a 59. El pH del agua intersticial varía entre 7.3 y 7.6, ligeramente inferior al encontrado en invierno, y presenta diferentes variaciones verticales según la estación. Generalmente, posee valores relativamente bajos en el primer centímetro asociado a la acidificación que se produce en la oxidación aeróbica de la materia orgánica. En las estaciones CAM 2 y CAM 3, se observa un aumento con la profundidad que está relacionado con la existencia de otras rutas de oxidación en condiciones anaeróbicas, fundamentalmente la desnitrificación, sulfatorreducción y metanogénesis. Por el contrario, el pH en las estaciones CAM 1, CAM 4, CAM 5 y CAM 6 permanece relativamente constante o disminuye con la profundidad, poniendo de manifiesto una menor intensidad de los procesos anaeróbicos de oxidación de la materia orgánica.

Las variaciones verticales de la alcalinidad, DIC y bicarbonato son similares entre sí, ya que las 3 variables aumentan a medida que se producen procesos de mineralización de materia orgánica o disolución de CaCO_3 en el sedimento. En los sistemas costeros, estas variables tienden a aumentar progresivamente con la profundidad, como se observa en todas las estaciones a excepción de CAM 6. En la zona superficial del sedimento adquiere valores comprendidos entre 2000 y 2400 μM , y alcanza valores de hasta 10000 μM en la zona más profunda de CAM 2, mayores a los observados en la campaña de invierno. La concentración de CO_2 también tiende a aumentar con la profundidad, aunque su intervalo de variación es menor, entre 25 – 50 μM en la superficie y 200 μM en la zona más profunda de CAM 2.

Por otra parte la concentración de carbonato y el grado de saturación de la calcita tienen variaciones verticales parecidas, ya que ambas variables se encuentran directamente relacionadas. La concentración de carbonato varía entre 50 y 300 μM , presentando formas diferentes dependiendo de cada estación. En CAM 1, CAM 2, CAM 3 y CAM 5 se observa un aumento con la profundidad, mientras que CAM 4 y CAM 6 presentan perfiles verticales más irregulares. El grado de saturación de la calcita permite evaluar la tendencia termodinámica a la disolución de estructuras de CaCO_3 biogénicas. Aunque las variaciones verticales en

algunas estaciones no están bien definidas, los valores en la zona más superficial suelen estar comprendidos entre 1 y 2, posiblemente relacionado con el menor pH en el agua intersticial, e indica la posible existencia de una mayor disolución de CaCO_3 . Alcanza valores he hasta 7 en la zona profunda de CAM 2 y CAM 3.

Tabla 40. Variación vertical del pH, alcalinidad, concentraciones de carbono inorgánico disuelto, bicarbonato, carbonato y dióxido de carbono, y grado de saturación de la calcita en el agua intersticial para la estación CAM1 del Mar Menor en situación de verano.

Profundidad	pH		AT (μM).		DIC (μM).		HCO ₃ (μM).	
	Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.
0.5	7.42	0.02	2216.85	55.74	2160.10	48.36	2037.60	44.88
1.5	7.40	0.01	2380.44	3.65	2331.91	6.32	2200.64	6.15
2.5	7.40	0.02	2478.28	0.91	2428.26	8.27	2291.41	8.46
3.5	7.39	0.03	2850.57	7.95	2805.04	6.98	2647.34	7.30
4.5	7.39	0.03	2958.67	76.62	2913.20	74.24	2749.50	70.11
6.5	7.40	0.02	3045.19	83.33	2996.21	82.42	2827.89	77.74
11.5	7.40	0.02	3989.68	41.10	3933.14	35.01	3712.01	32.86
14.5	7.36	0.02	4040.03	59.31	4009.44	53.95	3784.80	50.81
17.5	7.33	0.00	4616.90	15.47	4606.32	17.43	4347.72	16.32
20.5	7.26	0.01	2960.29	4.58	2974.42	2.05	2803.24	2.43

Profundidad	CO ₃ (μM).		CO ₂ (μM).		pCO ₂ (μatm).		CaCO ₃	
	Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.
0.5	70.16	4.63	52.35	1.15	1846.39	40.49	1.53	0.10
1.5	71.46	0.96	59.81	1.14	2104.17	40.13	1.55	0.02
2.5	74.88	3.75	61.96	3.56	2179.98	125.11	1.63	0.08
3.5	83.64	6.30	74.06	5.99	2598.97	210.05	1.82	0.14
4.5	86.65	5.69	77.05	4.59	2703.75	160.93	1.88	0.12
6.5	90.46	4.21	77.86	3.51	2725.07	122.95	1.97	0.09
11.5	120.39	6.42	100.74	4.79	3516.57	167.26	2.62	0.14
14.5	110.87	6.74	113.77	6.18	3971.54	215.64	2.41	0.15
17.5	118.90	0.33	139.70	1.43	4876.71	50.07	2.59	0.01
20.5	65.10	0.90	106.07	1.29	3702.81	45.01	1.42	0.02

Tabla 41. Variación vertical del pH, alcalinidad, concentraciones de carbono inorgánico disuelto, bicarbonato, carbonato y dióxido de carbono, y grado de saturación de la calcita en el agua intersticial para la estación CAM2 del Mar Menor en situación de verano.

Profundidad	pH		AT (μM).		DIC (μM).		HCO ₃ (μM).	
	Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.
0.5	7.30	0.02	2118.11	3.43	2105.76	3.06	1986.52	2.18
1.5	7.31	0.02	1976.52	118.83	1960.40	113.97	1849.65	108.10
2.5	7.39	0.01	2114.39	0.92	2072.53	3.95	1956.27	3.92
3.5	7.39	0.01	2307.91	15.32	2263.27	19.97	2136.22	19.08
4.5	7.46	0.00	2458.91	31.94	2388.33	30.15	2251.62	28.20
6.5	7.48	0.02	3038.75	7.77	2949.39	0.48	2778.21	2.13
8.5	7.45	0.02	3712.27	28.24	3630.48	15.70	3423.19	12.86
11.5	7.45	0.03	3934.08	27.07	3847.44	8.90	3627.26	5.40
14.5	7.48	0.02	5119.71	57.74	5001.24	74.82	4711.63	74.40
18.5	7.49	0.01	6265.14	123.39	6119.74	113.90	5763.19	105.49
22.5	7.49	0.02	7751.26	35.97	7579.61	12.24	7137.31	5.69
27.5	7.48	0.03	8907.48	109.37	8737.23	91.22	8231.94	84.16

Profundidad	CO ₃ (μM).		CO ₂ (μM).		pCO ₂ (μatm).		CaCO ₃	
	Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.
0.5	51.02	2.19	68.22	3.07	2393.84	107.82	1.11	0.05
1.5	48.42	4.79	62.33	1.18	2187.35	41.58	1.05	0.10
2.5	61.23	1.87	55.03	1.90	1925.87	66.56	1.33	0.04
3.5	67.78	1.38	59.27	2.27	2074.27	79.30	1.47	0.03
4.5	82.88	1.71	53.83	0.24	1883.86	8.26	1.80	0.04
6.5	108.37	4.15	62.81	2.50	2204.04	87.79	2.36	0.09
8.5	124.08	6.73	83.21	3.89	2912.30	136.00	2.70	0.15
11.5	132.76	9.48	87.42	5.99	3059.55	209.49	2.89	0.21
14.5	182.29	7.21	107.32	7.63	3756.32	267.03	3.96	0.16
18.5	228.71	9.06	127.83	1.76	4474.16	61.67	4.97	0.20
22.5	284.61	14.12	157.69	7.57	5518.92	265.07	6.19	0.31
27.5	316.18	21.33	189.11	11.72	6618.91	410.14	6.88	0.46

Tabla 42. Variación vertical del pH, alcalinidad, concentraciones de carbono inorgánico disuelto, bicarbonato, carbonato y dióxido de carbono, y grado de saturación de la calcita en el agua intersticial para la estación CAM3 del Mar Menor en situación de verano.

Profundidad	pH		AT (μM).		DIC (μM).		HCO ₃ (μM).	
	Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.
0.5	7.53	0.01	2039.82	29.08	1949.65	23.87	1832.99	21.28
1.5	7.49	0.01	1851.33	10.50	1777.10	7.09	1673.43	6.04
2.5	7.49	0.01	1848.03	5.30	1775.92	3.38	1672.79	2.84
3.5	7.49	0.02	1848.03	5.30	1775.33	10.52	1672.03	10.92
4.5	7.47	0.00	1708.41	88.59	1643.40	85.89	1548.74	80.70
6.5	7.47	0.02	1688.05	60.23	1623.85	64.98	1530.38	62.11
8.5	7.48	0.01	1928.04	96.71	1856.70	92.21	1749.17	86.32
11.5	7.51	0.02	2363.15	0.37	2272.20	8.11	2137.72	9.66
14.5	7.53	0.00	3065.34	58.79	2951.40	59.98	2774.23	57.08
18.5	7.59	0.01	4710.43	54.73	4519.59	62.58	4233.61	62.35
22.5	7.58	0.02	5398.76	69.79	5192.28	80.73	4865.68	80.77
27.5	7.59	0.02	6836.13	73.30	6583.00	53.59	6166.50	42.88

Profundidad	CO ₃ (μM).		CO ₂ (μM).		pCO ₂ (μatm).		CaCO ₃	
	Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.
0.5	79.31	3.24	37.35	0.66	1310.58	23.19	1.72	0.07
1.5	66.63	1.76	37.05	0.71	1299.95	24.94	1.45	0.04
2.5	65.60	0.97	37.54	0.43	1313.78	14.88	1.43	0.02
3.5	65.89	2.04	37.41	1.64	1312.90	57.72	1.43	0.04
4.5	58.56	3.72	36.10	1.47	1266.62	51.58	1.27	0.08
6.5	57.62	0.10	35.85	2.97	1257.91	104.19	1.25	0.00
8.5	67.70	4.77	39.83	1.12	1397.77	39.41	1.47	0.10
11.5	89.36	3.96	45.12	2.41	1583.21	84.45	1.94	0.09
14.5	121.22	1.11	55.95	1.79	1963.31	62.76	2.64	0.02
18.5	210.97	3.08	75.00	3.30	2638.71	116.16	4.59	0.07
22.5	239.41	4.60	87.20	4.57	3059.81	160.32	5.21	0.10
27.5	307.37	14.52	109.13	3.63	3829.50	127.43	6.68	0.32

Tabla 43. Variación vertical del pH, alcalinidad, concentraciones de carbono inorgánico disuelto, bicarbonato, carbonato y dióxido de carbono, y grado de saturación de la calcita en el agua intersticial para la estación CAM4 del Mar Menor en situación de verano.

Profundidad	pH		AT (μM).		DIC (μM).		HCO ₃ (μM).	
	Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.
0.5	7.55	0.02	2056.80	7.36	1962.87	1.01	1845.08	0.69
1.5	7.54	0.01	1970.92	12.75	1882.81	15.46	1770.84	15.27
2.5	7.53	0.01	1695.82	41.22	1613.93	44.15	1518.06	42.41
3.5	7.52	0.01	1701.14	27.42	1622.95	29.98	1527.36	28.89
4.5	7.52	0.00	1652.35	39.23	1575.39	39.35	1482.67	37.22
6.5	7.51	0.00	1802.85	1.49	1724.65	2.83	1623.50	2.96
8.5	7.52	0.00	1934.54	2.41	1853.09	3.58	1744.21	3.64
11.5	7.54	0.01	1934.87	58.65	1847.00	53.99	1736.97	49.93

Profundidad	CO ₃ (μM).		CO ₂ (μM).		pCO ₂ (μatm).		CaCO ₃	
	Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.
0.5	81.27	3.14	36.53	1.44	1255.27	49.51	1.77	0.07
1.5	76.02	0.83	35.95	1.01	1235.42	34.79	1.65	0.02
2.5	64.93	0.02	30.94	1.72	1063.15	59.10	1.41	0.00
3.5	63.56	0.25	32.03	1.34	1103.74	46.03	1.38	0.01
4.5	61.56	1.14	31.16	0.99	1073.64	33.94	1.34	0.02
6.5	66.64	0.53	34.51	0.40	1189.16	13.79	1.45	0.01
8.5	72.01	0.44	36.87	0.38	1270.24	12.99	1.57	0.01
11.5	74.86	3.86	35.17	0.21	1211.94	7.21	1.63	0.08

Tabla 44. Variación vertical del pH, alcalinidad, concentraciones de carbono inorgánico disuelto, bicarbonato, carbonato y dióxido de carbono, y grado de saturación de la calcita en el agua intersticial para la estación CAM5 del Mar Menor en situación de verano.

Profundidad	pH		AT (μM).		DIC (μM).		HCO ₃ (μM).	
	Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.
0.5	7.42	0.04	1735.75	31.78	1687.19	19.98	1592.07	17.94
1.5	7.42	0.01	1649.00	22.42	1599.95	19.22	1509.81	17.88
2.5	7.38	0.00	1691.75	25.08	1653.33	26.25	1560.80	24.81
3.5	7.38	0.01	1699.40	40.50	1660.19	40.60	1567.24	38.32
4.5	7.38	0.02	1879.02	37.94	1841.03	32.35	1738.04	30.42
6.5	7.35	0.01	1814.45	31.58	1785.91	32.33	1685.91	30.51
8.5	7.34		1888.08		1862.77		1758.45	
11.5	7.32	0.02	1862.48	15.61	1843.82	9.63	1740.08	9.59
21.5	7.31		2586.35		2575.57		2430.43	
24.5	7.30		2737.87		2731.18		2576.94	

Profundidad	CO ₃ (μM).		CO ₂ (μM).		pCO ₂ (μatm).		CaCO ₃	
	Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.
0.5	52.96	5.33	42.17	3.30	1468.09	114.80	1.15	0.12
1.5	50.58	1.83	39.56	0.50	1377.42	17.33	1.10	0.04
2.5	47.94	0.29	44.59	1.14	1552.50	39.84	1.04	0.01
3.5	48.44	1.45	44.50	1.49	1549.47	51.75	1.05	0.03
4.5	53.06	3.09	49.93	1.16	1733.85	40.22	1.15	0.07
6.5	47.97	1.61	52.03	2.09	1811.60	72.64	1.04	0.03
8.5	48.86		55.45		1925.56		1.06	
11.5	45.99	2.35	57.74	2.31	2005.24	80.34	1.00	0.05
21.5	63.03		82.12		2851.73		1.37	
24.5	65.76		88.48		3072.77		1.43	

Tabla 45. Variación vertical del pH, alcalinidad, concentraciones de carbono inorgánico disuelto, bicarbonato, carbonato y dióxido de carbono, y grado de saturación de la calcita en el agua intersticial para la estación CAM6 del Mar Menor en situación de verano.

Profundidad	pH		AT (μM).		DIC (μM).		HCO ₃ (μM).	
	Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.
0.5	7.53	0.01	1898.57	56.73	1812.92	59.91	1705.08	57.39
1.5	7.54	0.01	1747.52	41.11	1660.53	41.66	1560.75	39.53
2.5	7.51	0.02	1675.10	16.27	1599.56	21.94	1505.60	21.89
3.5	7.51	0.02	1712.92	39.15	1637.35	44.62	1541.32	43.28
4.5	7.46	0.02	1786.21	37.50	1726.46	31.40	1628.29	28.86
5.5	7.42	0.01	1766.25	36.49	1716.45	39.66	1619.88	37.72

Profundidad	CO ₃ (μM).		CO ₂ (μM).		pCO ₂ (μatm).		CaCO ₃	
	Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.
0.5	72.86	0.32	34.98	2.20	1214.73	76.44	1.58	0.01
1.5	68.80	1.10	30.98	1.13	1073.10	39.06	1.50	0.02
2.5	61.76	1.90	32.21	1.93	1118.46	67.13	1.34	0.04
3.5	62.91	1.10	33.13	2.44	1150.33	84.67	1.37	0.02
4.5	58.60	3.52	39.57	0.97	1366.96	33.64	1.27	0.08
5.5	54.17	0.15	42.40	2.09	1468.58	72.42	1.18	0.00

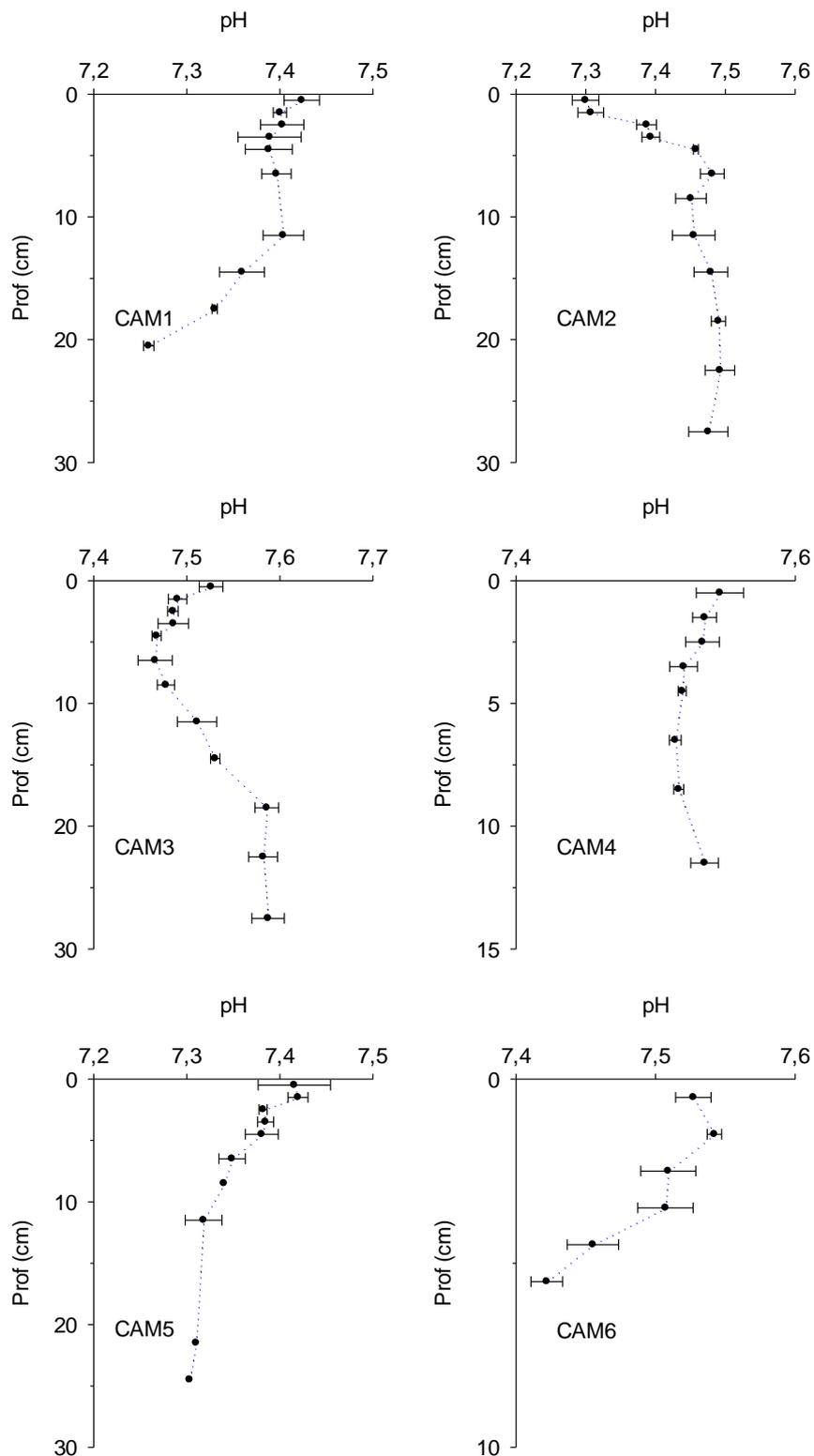


Figura 53. Variación vertical del pH en el agua intersticial para las 6 estaciones del Mar Menor en situación de verano.

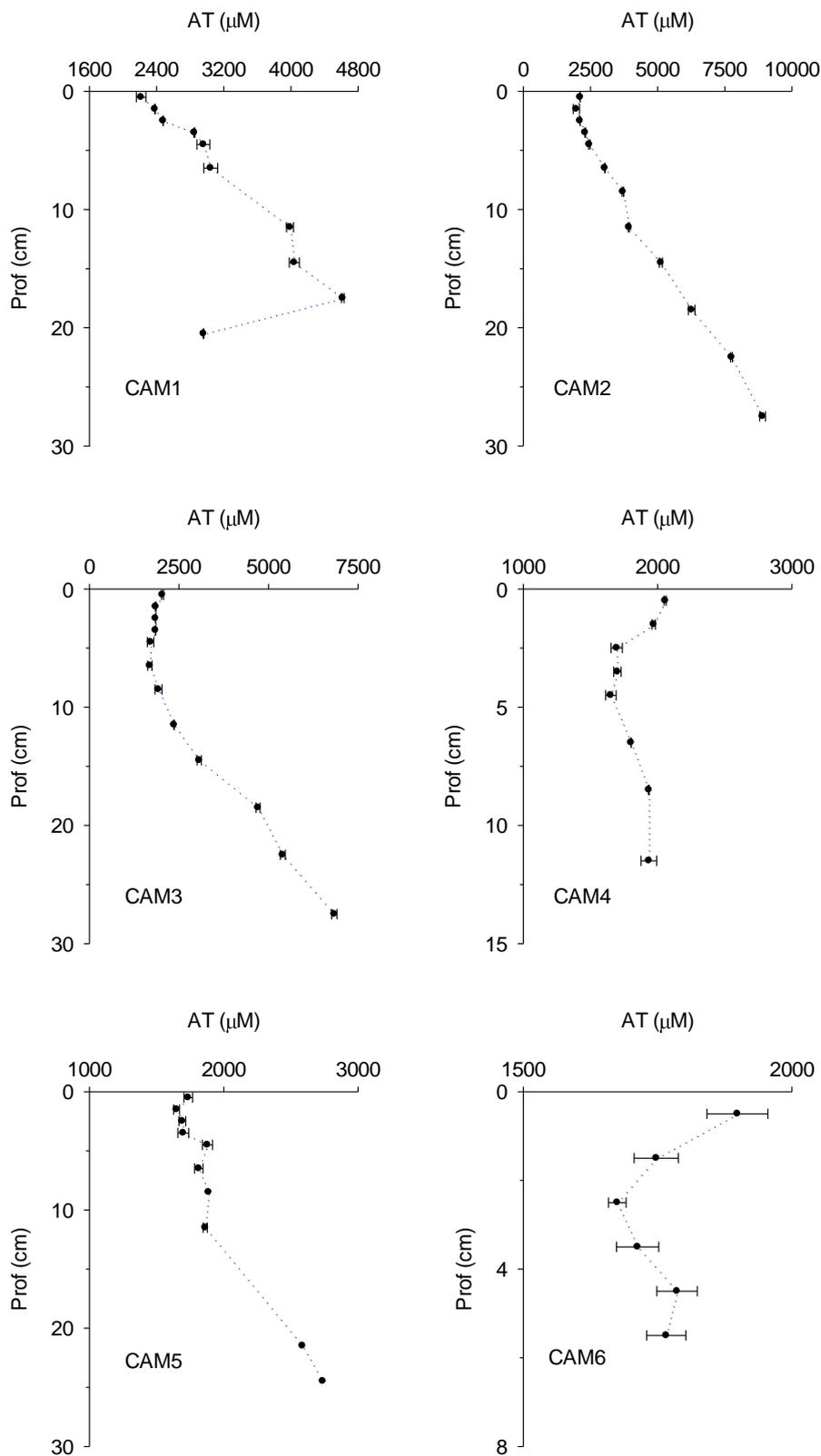


Figura 54. Variación vertical de la alcalinidad total en el agua intersticial para las 6 estaciones del Mar Menor en situación de verano.

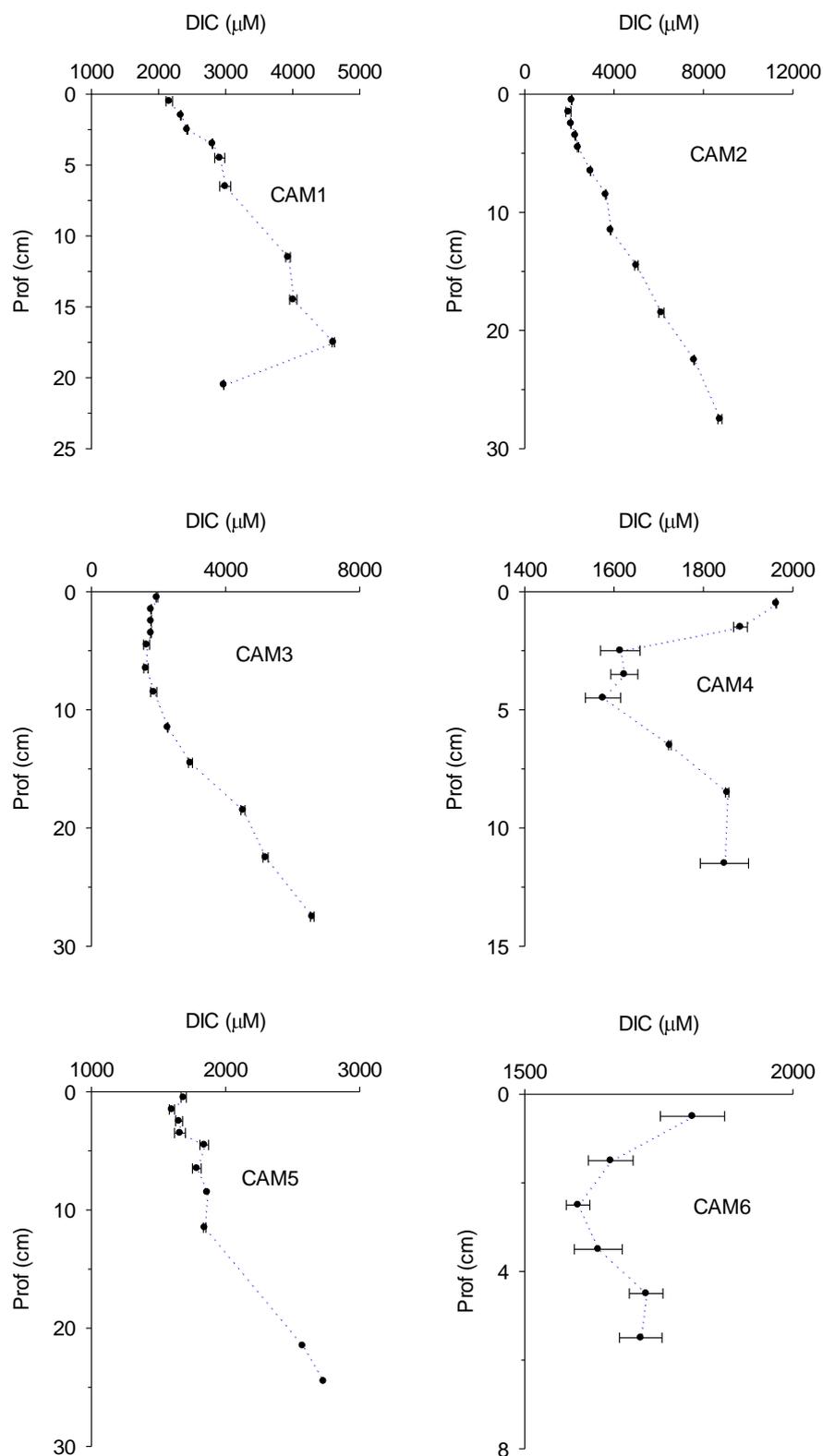


Figura 55. Variación vertical de la concentración de carbono inorgánico disuelto en el agua intersticial para las 6 estaciones del Mar Menor en situación de verano.

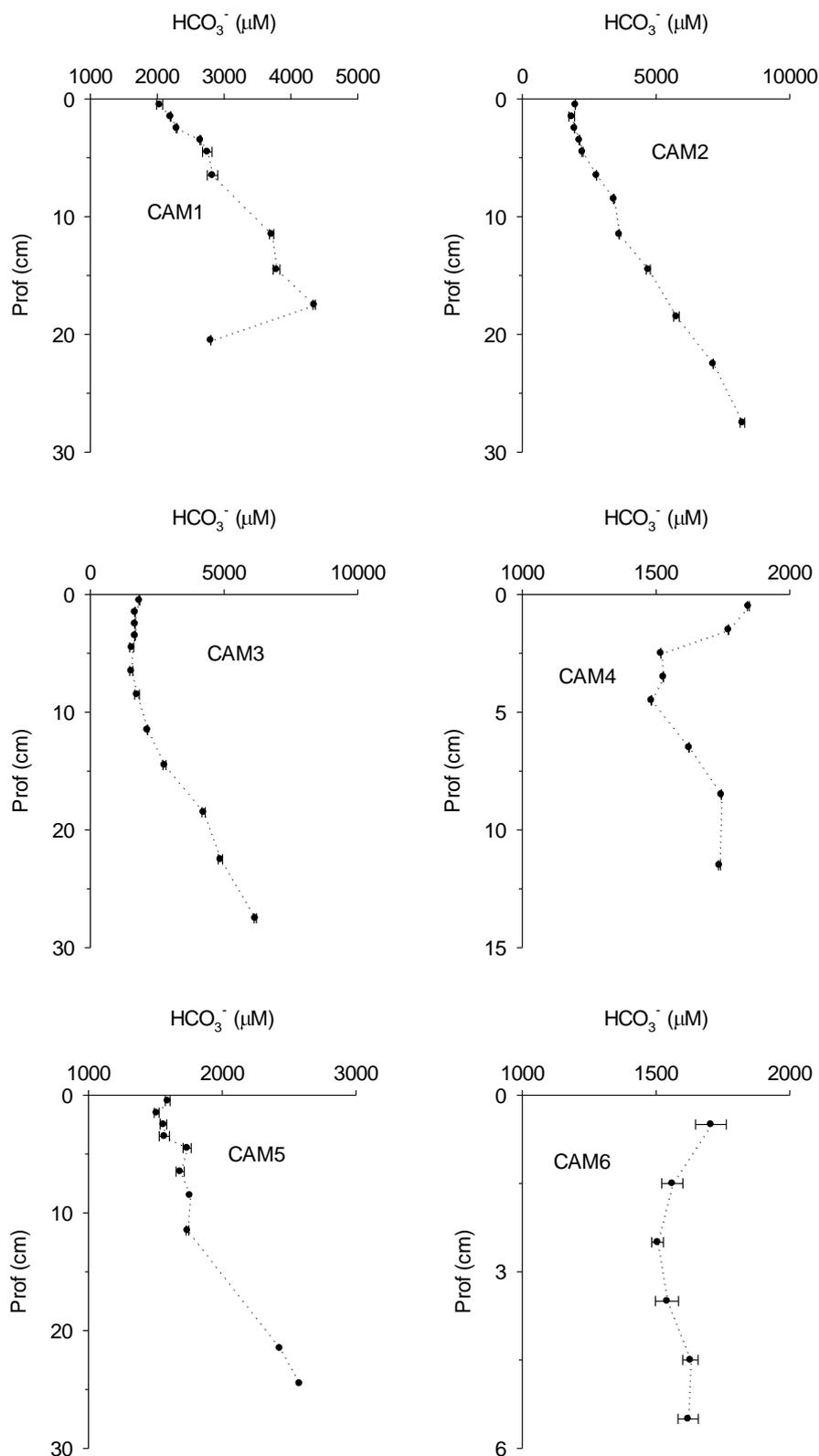


Figura 56. Variación vertical de la concentración de bicarbonato en el agua intersticial para las 6 estaciones del Mar Menor situación de verano.

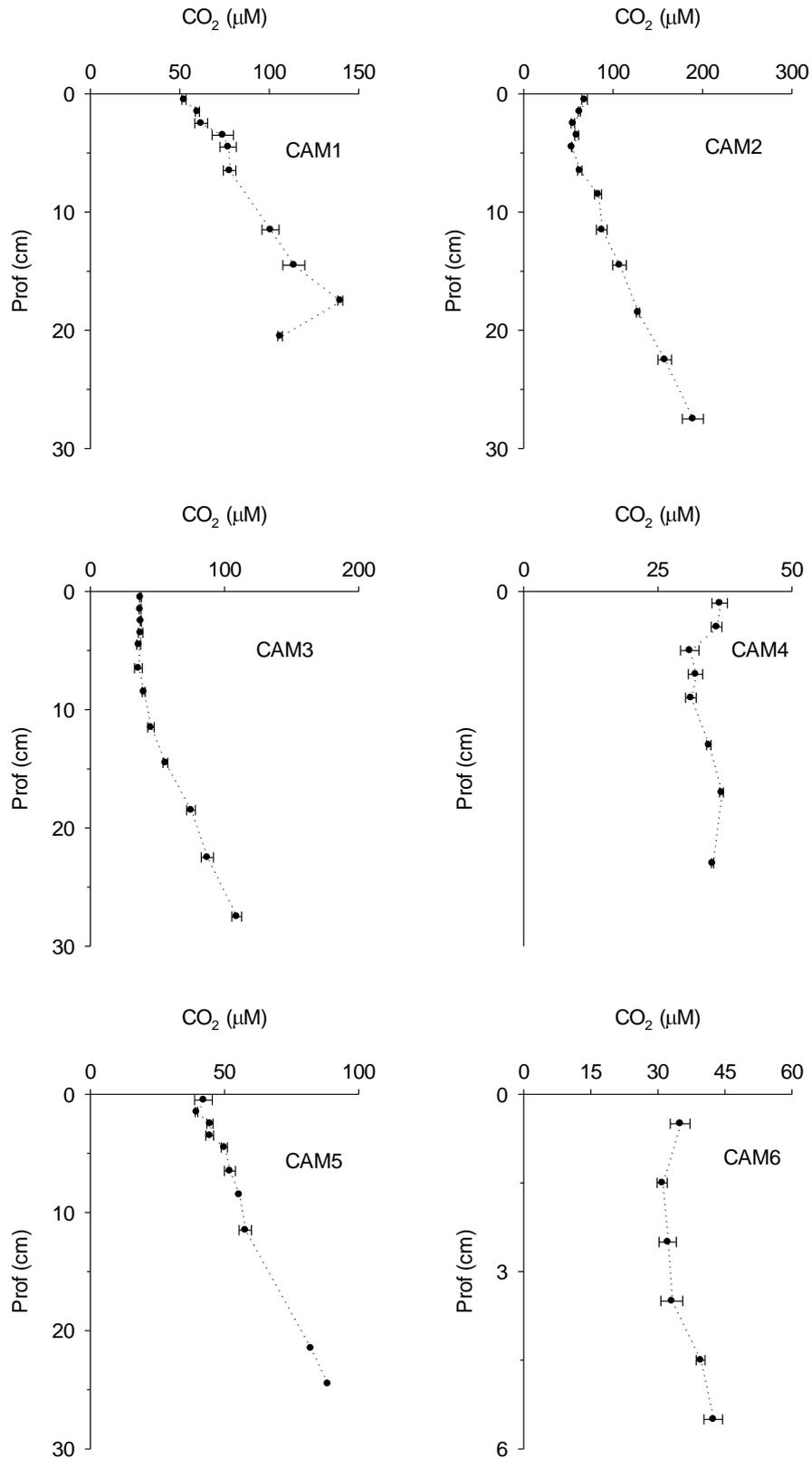


Figura 57. Variación vertical de la concentración de dióxido de carbono en el agua intersticial para las 6 estaciones del Mar Menor en situación de verano.

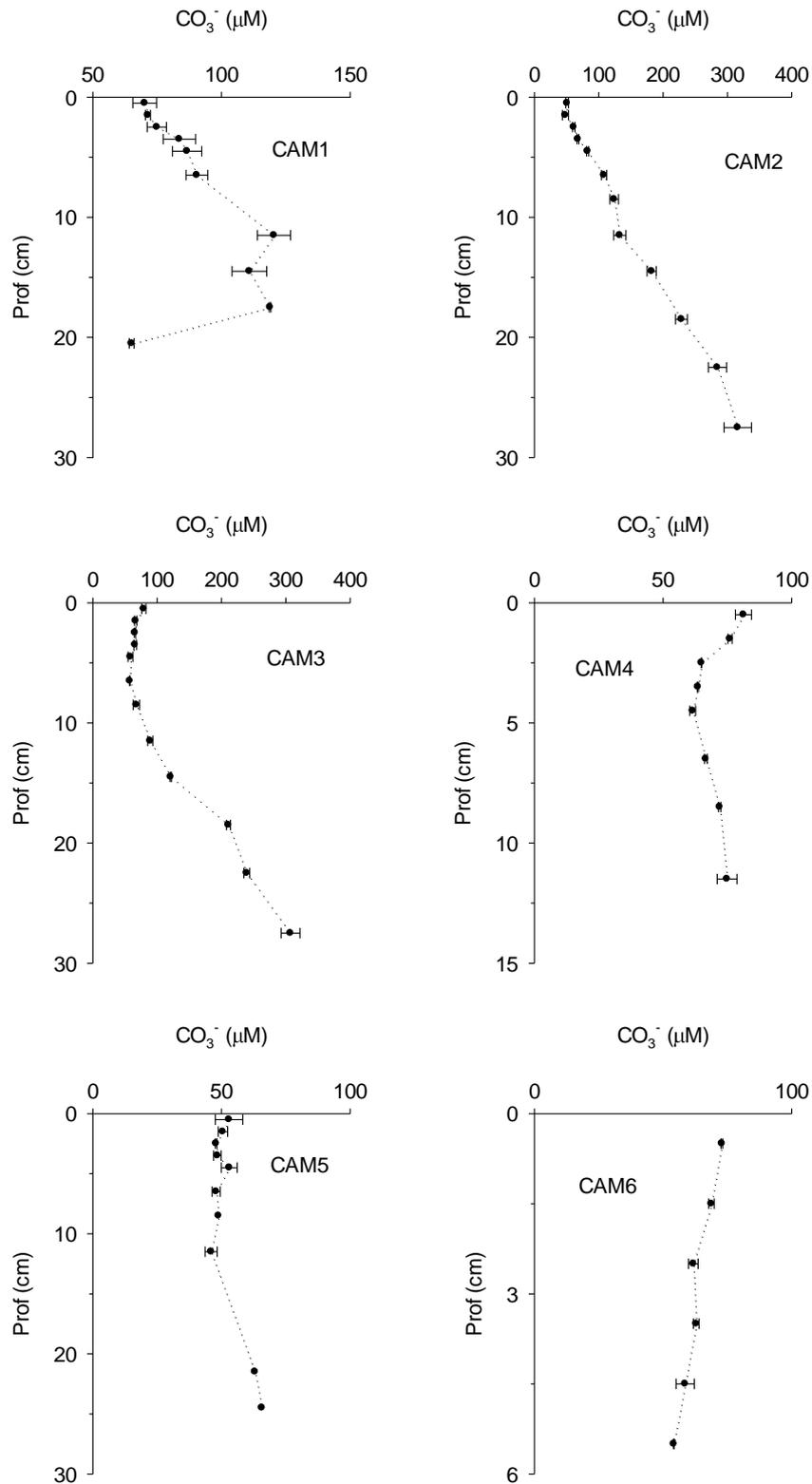


Figura 58. Variación vertical de la concentración de carbonato en el agua intersticial para las 6 estaciones del Mar Menor en situación de verano.

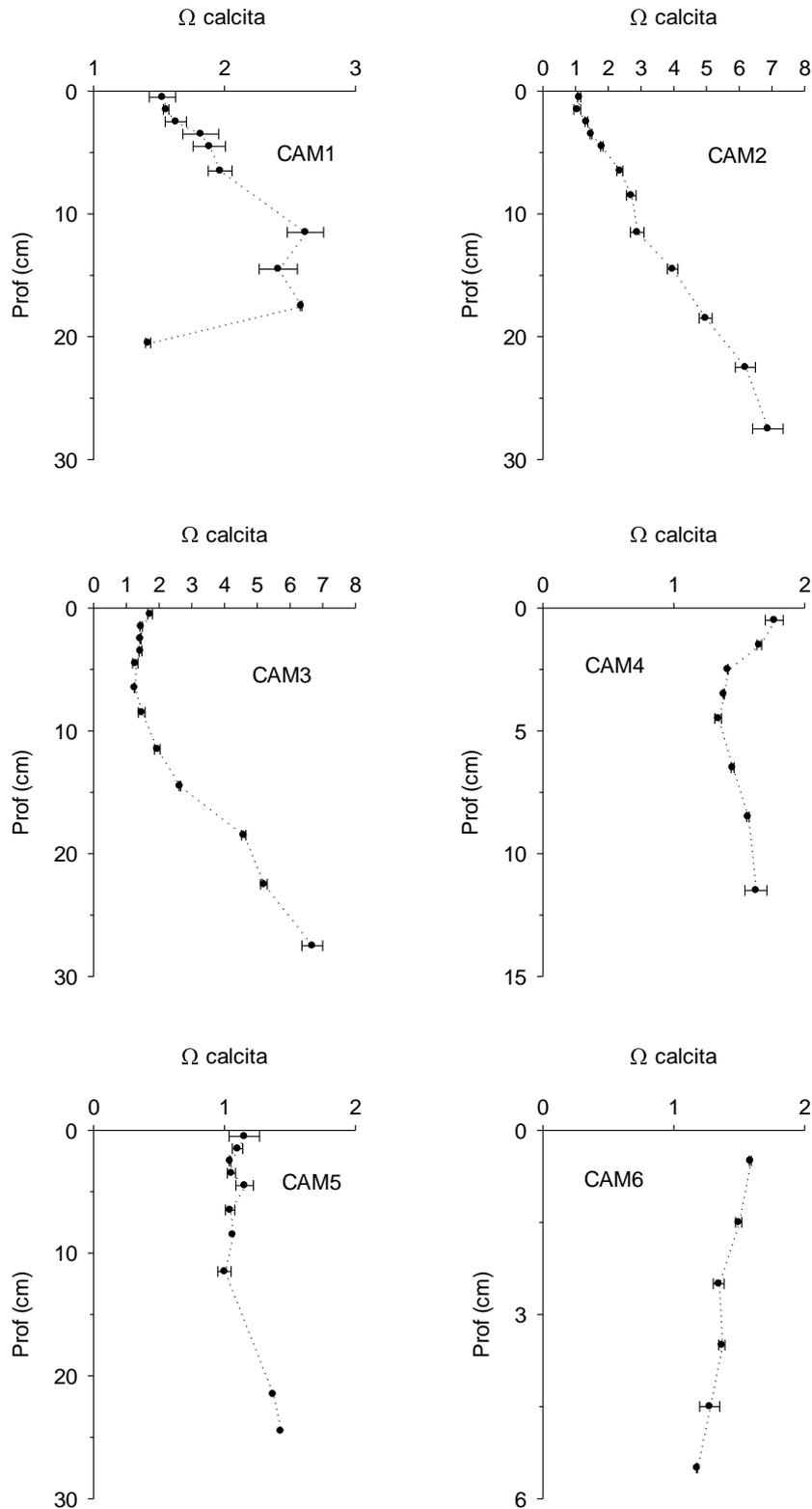


Figura 59. Variación vertical del grado de saturación de la calcita en el agua intersticial para las 6 estaciones del Mar Menor en situación de verano.

Gradientes verticales de nutrientes

En las tablas 46 a 51 y en las figuras 60 a 65 se presentan las variaciones verticales de las concentraciones de nitrito, nitrato, amonio, fosfato y silicato en el agua intersticial de las 6 estaciones de cámara para el muestreo de verano. Se ha dispuesto del suficiente volumen de agua intersticial para la medida de los 5 nutrientes, a excepción de la estación CAM 5, donde faltan medidas en diluciones 1:1 para la cuantificación de nitrito y nitrato.

Por lo general, la concentración de nitrito es baja en el agua intersticial ($< 0.5 \mu\text{M}$), con valores máximos en la zona más superficial y una disminución con la profundidad hasta alcanzar valores prácticamente inapreciables a partir de 15 – 20 cm. Para la estación CAM 6 la concentración de nitrito en el agua intersticial es muy baja. Las concentraciones de nitrato presentan tendencias similares, aunque en este caso las concentraciones máximas en la zona superficial o en los primeros cm del sedimento alcanzan valores de hasta 2 - 3 μM . El amonio constituye la principal especie de nitrógeno inorgánico en el agua intersticial, alcanzando concentraciones próximas a 700 μM en la superficie de la estación CAM 1, o en la parte más profunda de las estaciones CAM 2 y CAM 3. Las formas de los perfiles verticales varían entre estaciones. En CAM 2 y CAM 3 la concentración de amonio tiende a aumentar con la profundidad hasta 600 – 700 μM . Por el contrario, en CAM1, CAM 4, CAM 5 y CAM 6 se aprecia una disminución de la concentración con la profundidad, más acusada en CAM 1 y con variaciones entre 350 y 100 μM en las otras 3 estaciones.

Las concentraciones de fosfato en el agua intersticial son bajas, con un valor máximo próximo a 30 μM en los sedimentos superficiales de CAM 2. En general, sus concentraciones tienden a disminuir con la profundidad en todas las estaciones. La concentración de silicato tiende a aumentar con la profundidad en todas las estaciones, con valores próximos a 20 – 40 μM en la parte superficial y 100 μM en la zona más profunda. En CAM 6 su concentración permanece relativamente constante (15 – 20 μM).

En las figuras 66 y 67 se comparan, a modo de ejemplo, los perfiles verticales de la concentración de nutrientes en invierno y verano para CAM 2 y CAM 3. Como puede observarse, las concentraciones de nutrientes en verano son más elevadas que las encontradas en invierno, y existen cambios en las formas de estos perfiles verticales.

Tabla 46. Variación vertical de la concentración de nutrientes en el agua intersticial para la estación CAM1 situación de verano.

Profundidad (cm)	Nitrito (μM)	Nitrato (μM)	Fosfato (μM)	Amonio (μM)	Silicato (μM)
0.50	0.32	1.60	12.41	528.50	13.78
1.50	0.12	0.94	3.36	635.50	16.36
2.50	0.08	1.38	1.94	227.00	20.26
3.50	0.00	0.80	1.34	149.50	22.64
4.50	0.12	0.86	0.94	197.50	31.82
6.50	0.02	0.82	0.62	86.50	33.50
8.50	0.08	0.92	0.52	64.32	33.90
11.50	0.08	1.02	0.42	45.13	64.40
14.50	0.00	0.70	0.50	47.65	63.20
17.50	0.00	1.14	1.12	314.50	83.40

Tabla 47. Variación vertical de la concentración de nutrientes en el agua intersticial para la estación CAM 2 situación de verano.

Profundidad (cm)	Nitrito (μM)	Nitrato (μM)	Fosfato (μM)	Amonio (μM)	Silicato (μM)
0.50	1.70	2.42	29.00	292.50	38.70
1.50	7.26	3.42	21.52	360.70	32.90
2.50	0.24	3.52	3.94	416.15	28.80
3.50	0.02	1.46	1.94	378.25	34.40
4.50	0.00	1.28	0.80	468.75	32.30
6.50	0.00	1.38	0.52	511.05	54.00
8.50	0.00	0.72	0.32	577.15	55.60
11.50	0.00	0.60	0.40	652.10	65.10
14.50	0.00	0.92	0.60	511.10	111.50
18.50	0.00	0.98	1.88	541.10	152.00
22.50	0.00	1.92	5.86	571.50	173.00
27.50	0.00	1.50	10.54	616.70	215.00

Tabla 48. Variación vertical de la concentración de nutrientes en el agua intersticial para la estación CAM 3 situación de verano.

Profundidad (cm)	Nitrito (μM)	Nitrato (μM)	Fosfato (μM)	Amonio (μM)	Silicato (μM)
0.50	0.22	0.84	26.00	148.00	30.38
1.50	0.18	1.10	13.40	120.50	29.00
2.50	0.16	0.42	4.52	115.00	26.80
3.50	0.00	0.52	1.82	204.50	32.60
4.50	0.00	0.82	0.76	226.50	31.00
6.50	0.02	2.50	0.68	313.50	23.20
8.50	0.00	2.04	0.32	432.00	36.40
11.50	0.00	1.78	0.82	469.50	58.40
14.50	0.06	1.80	1.74	560.50	85.50
18.50	0.00	1.14	3.54	281.10	124.40
22.50	0.06	1.18	8.50	341.20	148.50
27.50	0.04	2.18	9.30	402.60	168.80
32.50	0.00	5.28	11.70	412.60	163.20

Tabla 49. Variación vertical de la concentración de nutrientes en el agua intersticial para la estación CAM4 situación de verano.

Profundidad (cm)	Nitrito (μM)	Nitrato (μM)	Fosfato (μM)	Amonio (μM)	Silicato (μM)
0.50	0.12	0.09	9.50	311.05	32.00
1.50	0.20	0.32	6.90	216.30	37.00
2.50	0.06	0.17	3.76	138.34	37.30
3.50	0.04	0.16	3.66	159.99	34.30
4.50	0.16	0.45	3.20	182.19	43.70
6.50	0.20	0.68	2.20	226.05	48.10
8.50	0.06	0.38	0.62	142.67	48.60
11.50	0.18	0.18	0.28	137.25	61.60
17.50	0.09	0.46	0.62	174.61	55.60

Tabla 50. Variación vertical de la concentración de nutrientes en el agua intersticial para la estación CAM5 situación de verano.

Profundidad (cm)	Nitrito (μM)	Nitrato (μM)	Fosfato (μM)	Amonio (μM)	Silicato (μM)
0.50	0.08		5.00	259.08	19.00
1.50	0.08		3.56	194.10	15.28
2.50	0.10		4.02	206.56	19.20
3.50			0.68	129.13	23.72
4.50			1.30	144.29	48.30
6.50			0.50	132.38	46.50
8.50	0.02	2.86	0.46	135.09	43.50
11.50	0.00	1.28	0.62	130.21	31.60
21.50			3.10	201.68	79.10
24.50			2.10	183.82	75.50

Tabla 51. Variación vertical de la concentración de nutrientes en el agua intersticial para la estación CAM6 situación de verano.

Profundidad (cm)	Nitrito (μM)	Nitrato (μM)	Fosfato (μM)	Amonio (μM)	Silicato (μM)
0.50	0.00	1.56	1.12	331.09	19.68
1.50	0.00	2.64	0.58	178.94	13.82
2.50	0.00	2.30	0.50	151.87	13.98
3.50	0.06	2.14	0.46	205.51	15.06
4.50	0.00	1.61	0.52	153.50	17.94
5.50	0.00	1.48	0.92	124.80	20.92
6.50	0.00	1.37	2.00	190.15	49.60

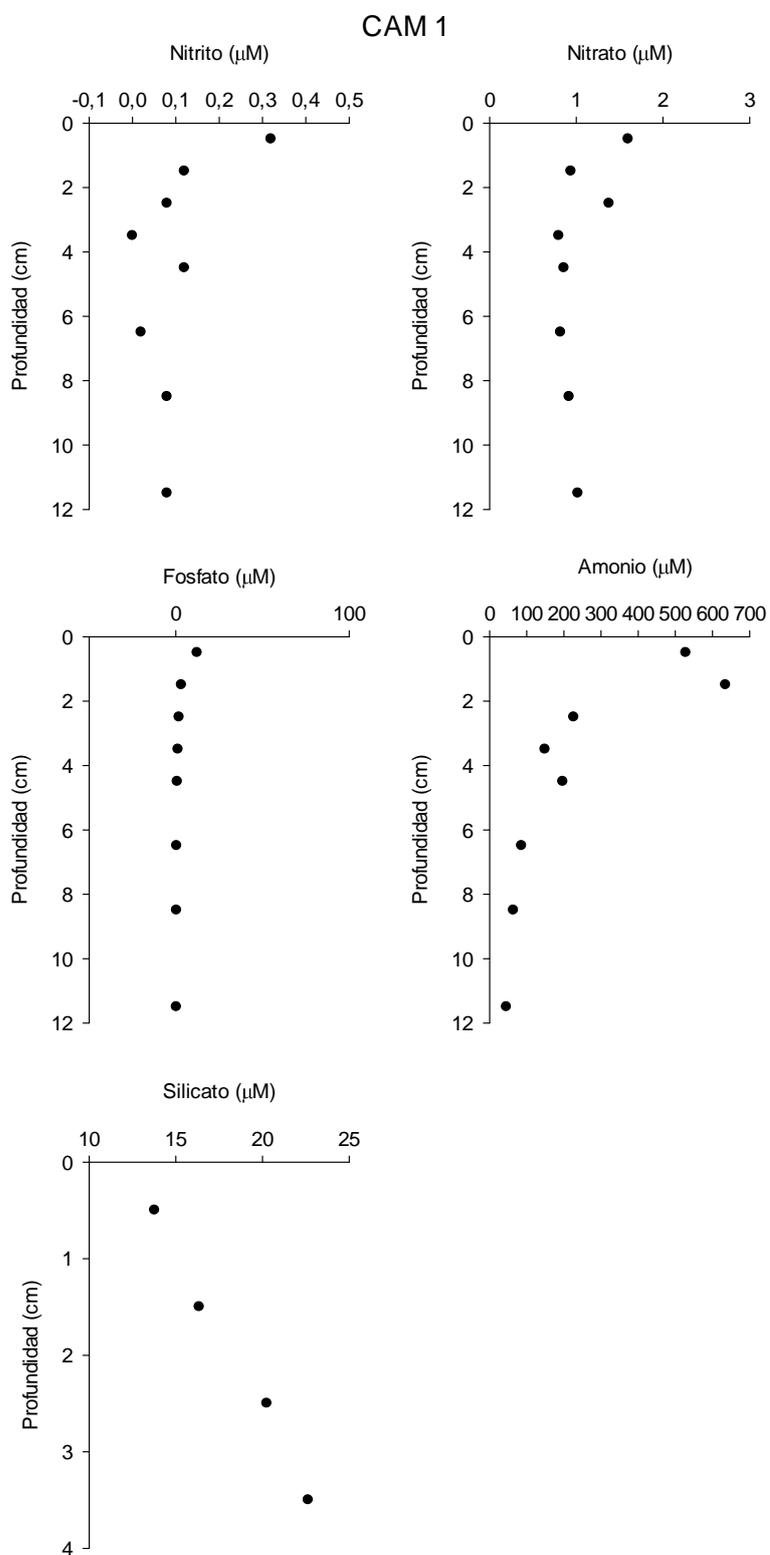


Figura 60. Variación vertical de la concentración de nutrientes en el agua intersticial para la estación CAM1 del Mar Menor en situación de verano.

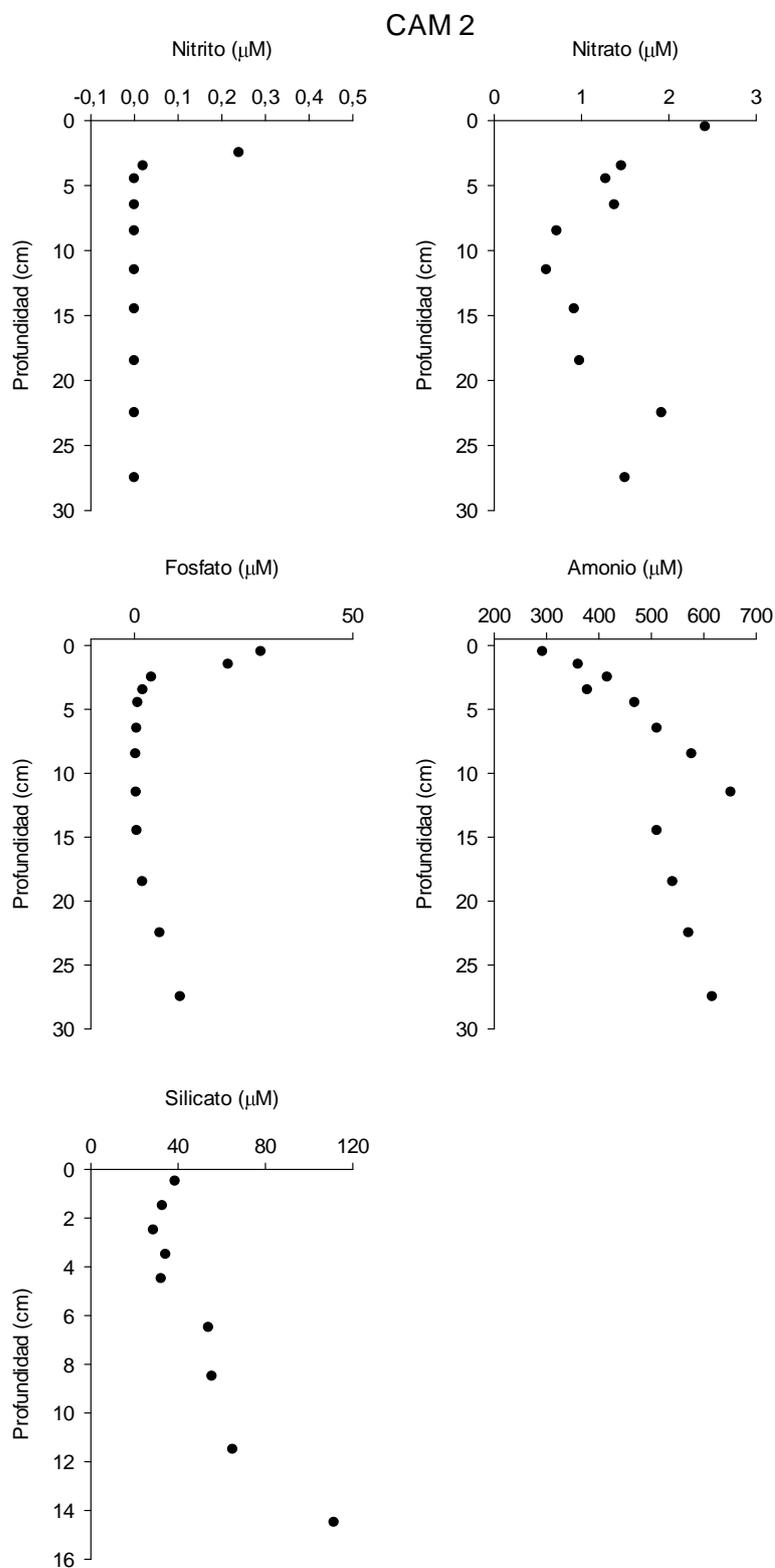


Figura 61. Variación vertical de la concentración de nutrientes en el agua intersticial para la estación CAM2 del Mar Menor en situación de verano.

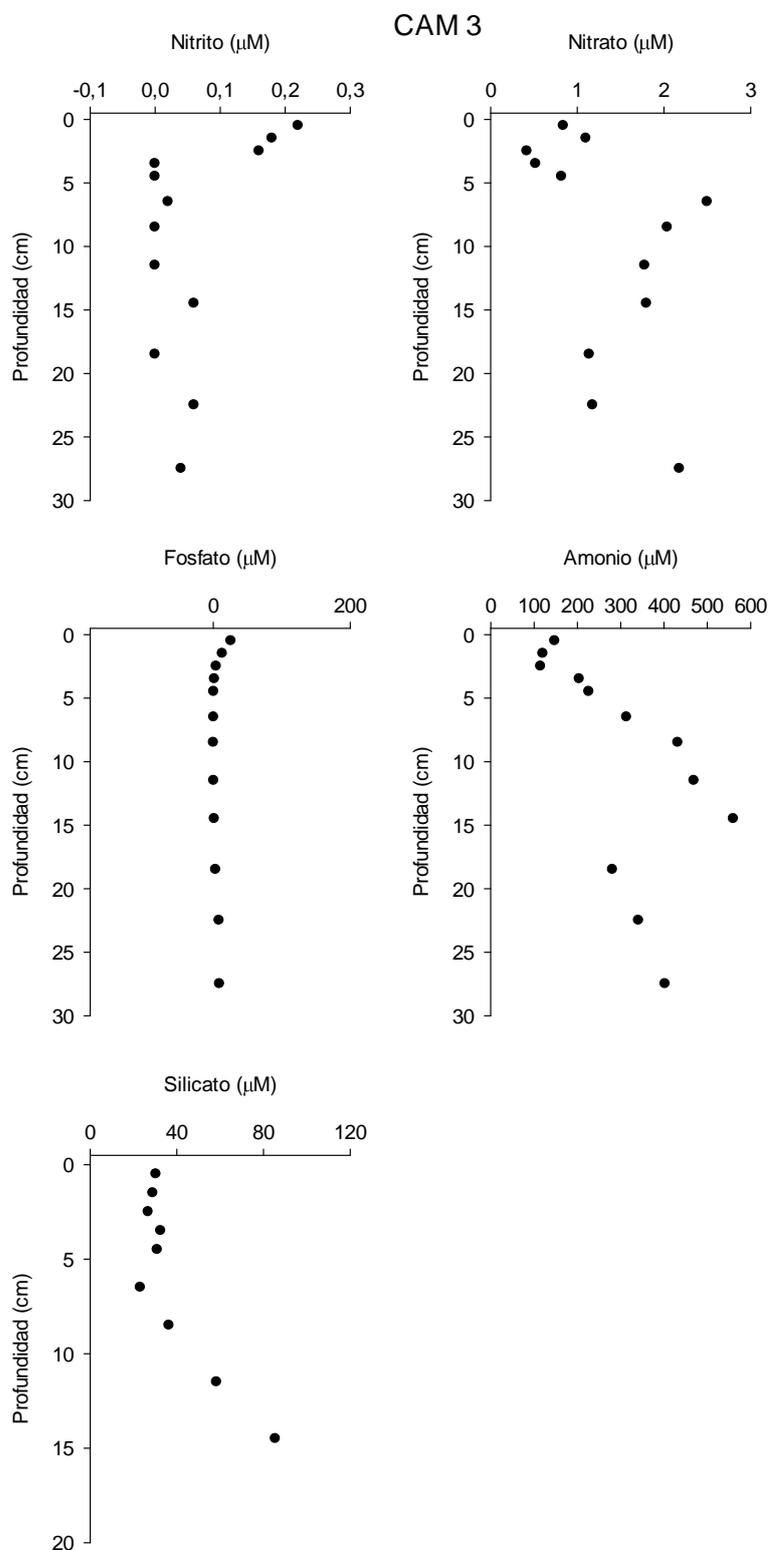


Figura 62. Variación vertical de la concentración de nutrientes en el agua intersticial para la estación CAM3 del Mar Menor en situación de verano.

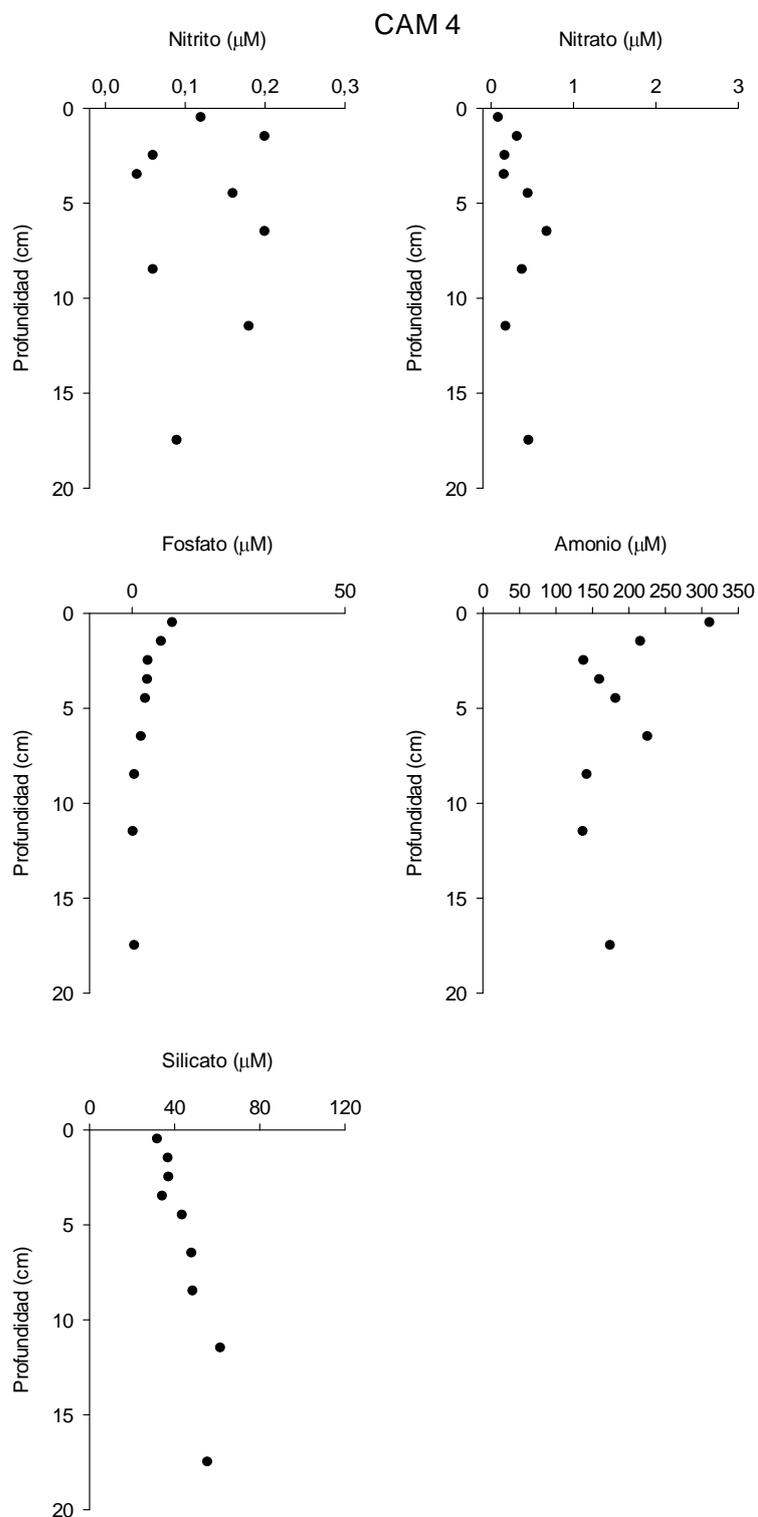


Figura 63. Variación vertical de la concentración de nutrientes en el agua intersticial para la estación CAM4 del Mar Menor en situación de verano.

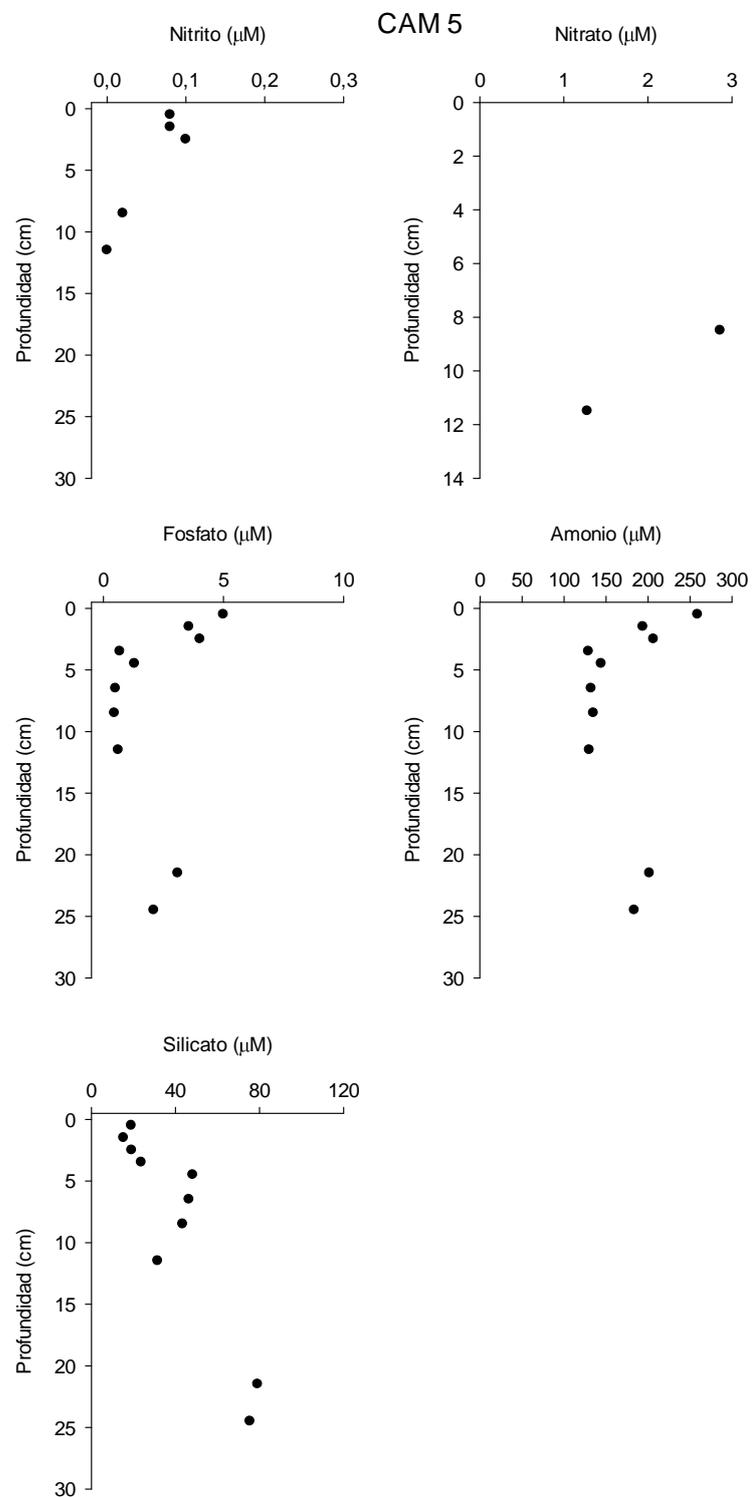


Figura 64. Variación vertical de la concentración de nutrientes en el agua intersticial para la estación CAM5 del Mar Menor en situación de verano.

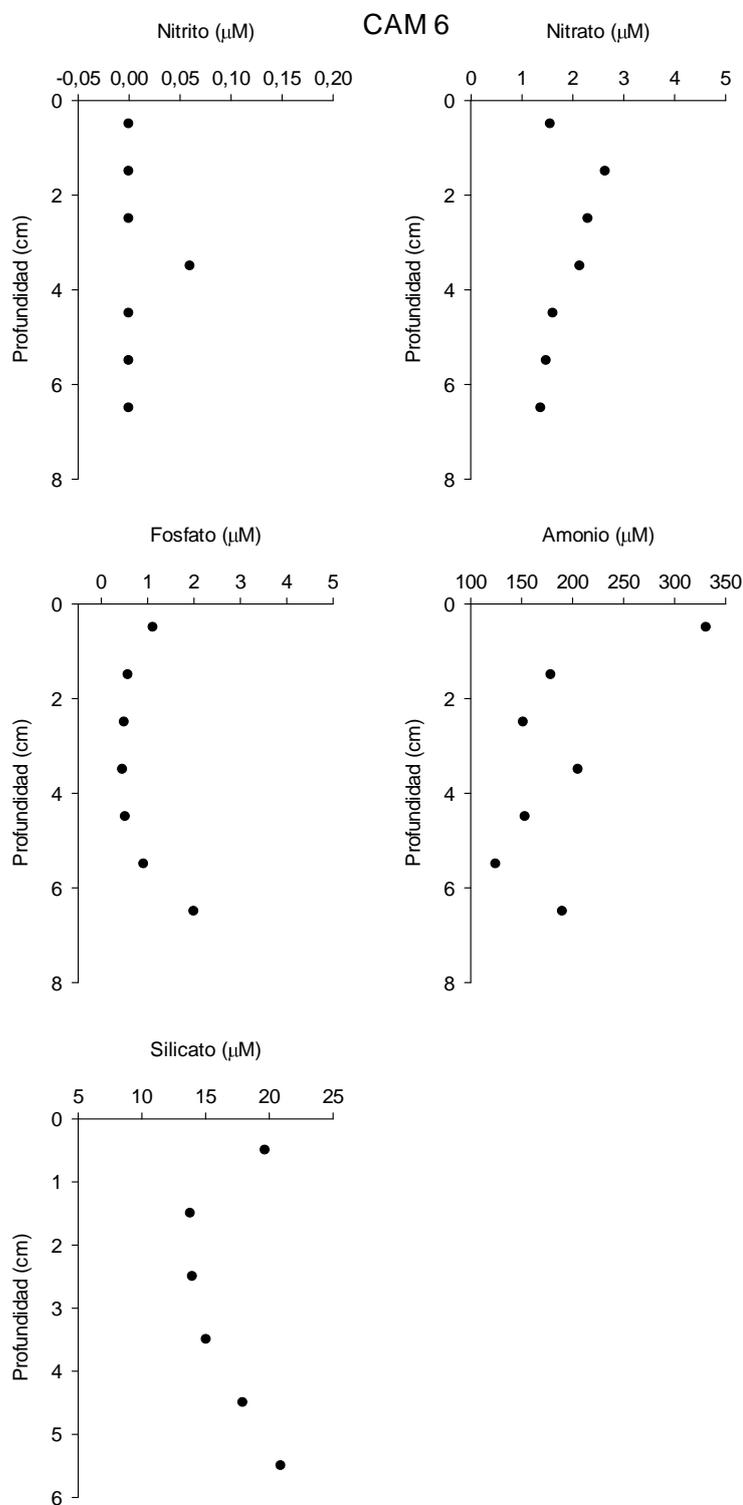


Figura 65. Variación vertical de la concentración de nutrientes en el agua intersticial para la estación CAM6 del Mar Menor en situación de verano.

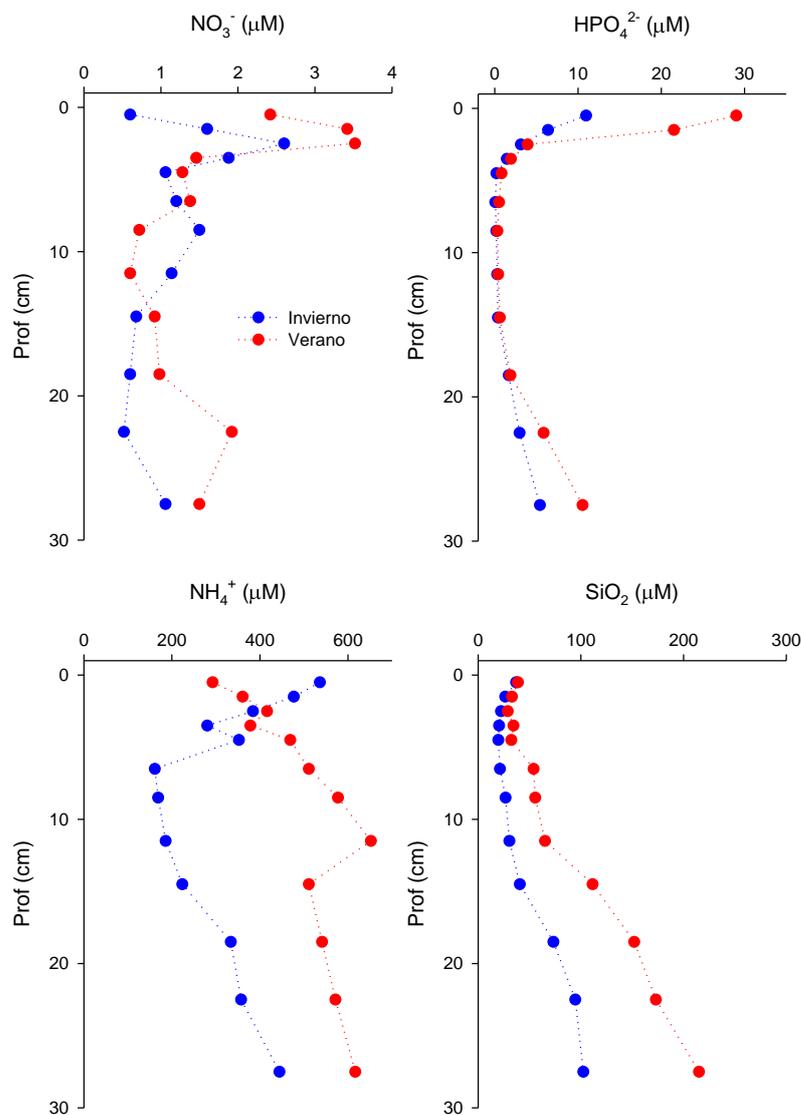


Figura 66. Variación vertical de la concentración de nutrientes en el agua intersticial para la estación CAM2 del Mar Menor en situación de invierno y verano.

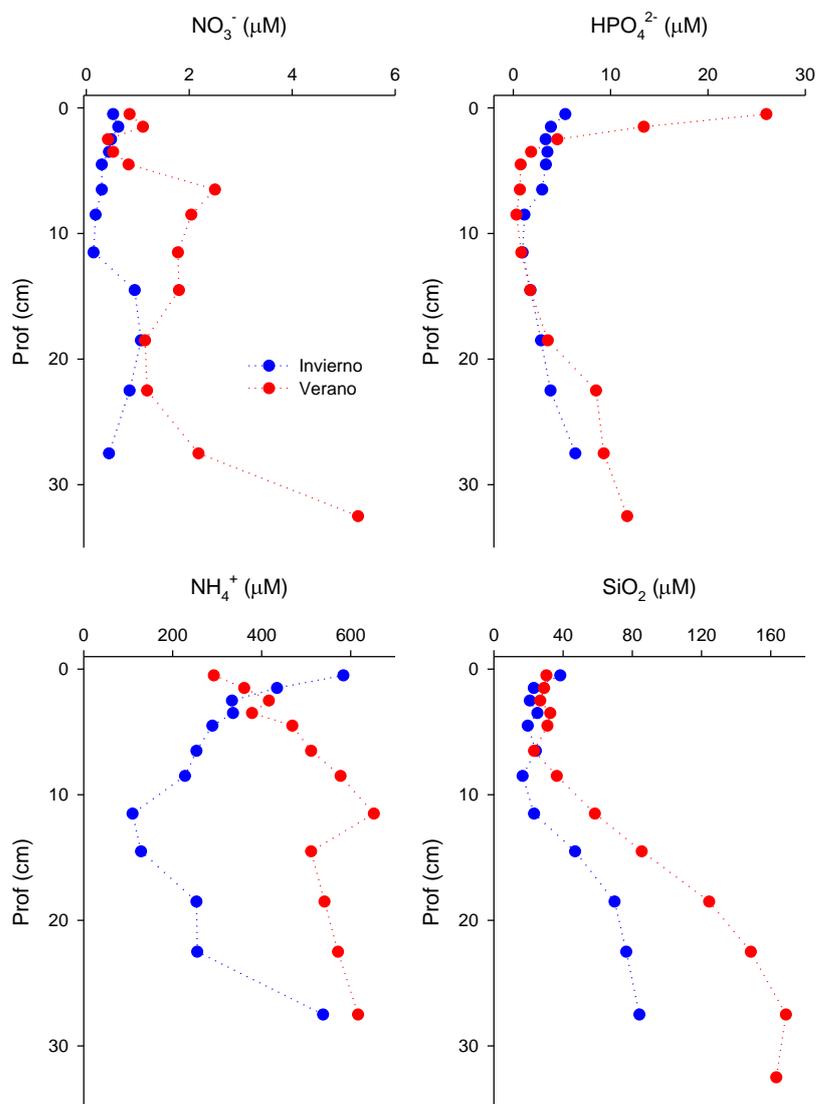


Figura 67. Variación vertical de la concentración de nutrientes en el agua intersticial para la estación CAM3 del Mar Menor en situación de invierno y verano.

Gradientes verticales de CH₄ y N₂O

Los gradientes verticales de las concentraciones de CH₄ y N₂O proporcionan información sobre la intensidad de los procesos anaérobicos de oxidación de la materia orgánica en los sedimentos. El N₂O se genera como producto intermedio de las reacciones de nitratorreducción / desnitrificación y la nitrificación, y generalmente suelen presentar un valor máximo por debajo de la capa óxica del sedimento. El CH₄ se produce por metanogénesis, que habitualmente tiene lugar en las zonas más profundas del sedimento, y su concentración tiende a aumentar con la profundidad.

Las concentraciones de CH₄ y N₂O en el agua intersticial para las 6 estaciones y las campañas de invierno y verano se presentan en las tablas 52 a 59 y en las figuras 68 y 69.

En lo que respecta al CH₄, los perfiles son relativamente atípicos. Por una parte, las concentraciones son menores en verano que en invierno, y además, tienden a disminuir con la profundidad hasta concentraciones muy bajas a partir de 5 – 15 cm dependiendo de la estación. Estas variaciones sugieren la presencia de oxígeno en el agua intersticial a partir de estas profundidades, lo que implica que existe una cierta entrada y circulación de agua relacionada con la elevada permeabilidad de los sedimentos. El origen de esta agua puede estar asociada a filtraciones desde acuíferos subterráneos o entradas desde la propia columna de agua en ciertas zonas del Mar Menor. En general, las concentraciones de CH₄ son relativamente bajas, inferiores a 5 µM. El hecho de que sean inferiores en verano podría indicar una mayor filtración de agua en relación con la situación de invierno.

Las variaciones de la concentración de N₂O en el agua intersticial presentan formas similares a las de CH₄, aunque responden a procesos diferentes. Los máximos en la zona superficial varían entre 0,2 y 0,8 µM y se producen en los primeros 5 – 15 cm de sedimento. A mayores profundidades las concentraciones son muy bajas, en este caso debido a que los procesos de nitratorreducción y nitrificación suelen aparecer por debajo de la zona óxica del sedimento. El hecho de que sus concentraciones sean inferior en verano puede atribuirse a una intensificación de los procesos de nitratorreducción con la temperatura.

Tabla 52. Variación vertical de la concentración de metano del sedimento para las estaciones CAM1, CAM2 y CAM3 del Mar Menor en situación de invierno.

CAM1		CAM2		CAM3	
Prof (cm)	CH ₄ (nM)	Prof (cm)	CH ₄ (nM)	Prof (cm)	CH ₄ (nM)
0,5	974,8	0,5	799,5	0,5	2842,5
1,5	1354,3	1,5	629,7	1,5	2302,3
2,5	1063,7	2,5	1073,2	2,5	1944,6
3,5	1387,2	3,5	188,6	4,5	1676,9
4,5	811,0	4,5	1,8	6,5	2983,6
6,5	77,7	5,5	0,6	8,5	1405,7
8,5	0,3	6,5	0,5	11,5	6,8
11,5	20,4	7,5	0,2	14,5	0,5
14,5	0,7	8,5	0,2	18,5	0,3
		9,5	0,2	22,5	7,9
		10,5	0,1	27,5	63,5
		11,5	0,3		

Tabla 53. Variación vertical de la concentración de metano del sedimento para las estaciones CAM4, CAM5 y CAM6 del Mar Menor en situación de invierno.

CAM4		CAM5		CAM6	
Prof (cm)	CH ₄ (nM)	Prof (cm)	CH ₄ (nM)	Prof (cm)	CH ₄ (nM)
0,5	2676,0	0,5	532,3	0,5	2024,6
1,5	4206,0	1,5	2592,7	1,5	1889,7
2,5	2332,7	2,5	1721,2	2,5	1910,4
3,5	1401,2	3,5	1161,8	3,5	2263,3
4,5	3054,6	4,5	1743,4	4,5	2213,5
6,5	355,1	6,5	1839,9	5,5	446,7
8,5	0,7	8,5	897,6	6,5	52,3
11,5	0,2	11,5	648,5	7,5	11,9
14,5	0,7	14,5	2,5	8,5	0,3
17,5	4,9	18,5	3,6	9,5	0,2
		22,5	1,1	10,5	7,4
		27,5	0,6		

Tabla 54. Variación vertical de la concentración de óxido nitroso del sedimento para las estaciones CAM1, CAM2 y CAM3 del Mar Menor en situación de invierno.

CAM1		CAM2		CAM3	
Prof (cm)	N ₂ O (nM)	Prof (cm)	N ₂ O (nM)	Prof (cm)	N ₂ O (nM)
0,5	180,9	0,5	153,4	0,5	555,8
1,5	251,5	1,5	121,7	1,5	448,7
2,5	204,0	2,5	203,6	2,5	276,4
3,5	269,0	3,5	36,7	4,5	435,5
4,5	156,4	4,5	0,3	6,5	562,5
6,5	14,0	5,5	0,1	8,5	274,4
8,5	0,0	6,5	0,1	11,5	1,3
11,5	3,7	7,5	0,0	14,5	0,1
14,5	0,1	8,5	0,0	18,5	0,0
		9,5	0,0	22,5	1,5
		10,5	0,0	27,5	12,4
		11,5	0,0		

Tabla 55. Variación vertical concentración de óxido nitroso del sedimento para las estaciones CAM4, CAM5 y CAM6 del Mar Menor en situación de invierno.

CAM4		CAM5		CAM6	
Prof (cm)	N ₂ O (nM)	Prof (cm)	N ₂ O (nM)	Prof (cm)	N ₂ O (nM)
0.5	523.1	0.5	104.6	0.5	393.2
1.5	817.1	1.5	508.7	1.5	360.5
2.5	452.9	2.5	339.1	2.5	365.4
3.5	194.1	3.5	229.4	3.5	431.7
4.5	581.0	4.5	344.2	4.5	426.3
6.5	69.9	6.5	360.7	5.5	83.9
8.5	0.1	8.5	156.5	6.5	9.9
11.5	0.0	11.5	125.0	7.5	2.2
14.5	0.1	14.5	0.5	8.5	0.0
17.5	0.9	18.5	0.7	9.5	0.0
		22.5	0.2	10.5	1.3
		27.5	0.1		

Tabla 56. Variación vertical de la concentración de metano del sedimento para las estaciones CAM1, CAM2 y CAM3 del Mar Menor en situación de verano.

CAM1		CAM2		CAM3	
Prof (cm)	CH ₄ (nM)	Prof (cm)	CH ₄ (nM)	Prof (cm)	CH ₄ (nM)
0.5	433.2	0.5	259.9	0.5	937.7
1.5	654.6	1.5	94.8	1.5	797.5
2.5	93.1	2.5	58.2	2.5	758.7
3.5	73.3	3.5	265.8	3.5	502.8
4.5	7.1	4.5	449.3	4.5	221.4
8.5	0.2	6.5	13.3	6.5	121.5
11.5	0.3	8.5	0.5	8.5	75.1
14.5	0.2	11.5	0.3	11.5	181.3
		14.5	3.1	14.5	23.3
		18.5	0.3	18.5	13.6
		22.5	1.5	22.5	176.8
				27,5	98,0

Tabla 57. Variación vertical de la concentración de metano del sedimento para las estaciones CAM4, CAM5 y CAM6 del Mar Menor en situación de verano.

CAM4		CAM5		CAM6	
Prof (cm)	CH ₄ (nM)	Prof (cm)	CH ₄ (nM)	Prof (cm)	CH ₄ (nM)
0.5	460.2	0.5	1.0	0.5	117.8
1.5	2461.0	1.5	385.9	1.5	89.2
2.5	959.1	2.5	419.2	2.5	122.9
3.5	460.3	3.5	315.8	3.5	428.1
4.5	87.3	4.5	124.9	4.5	151.8
6.5	14.9	6.5	114.8	6.5	116.9
8.5	31.2	7.5	1.1	8.5	67.2
11.5	1.3	11.5	2.8	11.5	1.3
14.5	1.4	14.5	0.5		
		15.5	0.4		

Tabla 58. Variación vertical de la concentración de óxido nitroso del sedimento para las estaciones CAM1. CAM2 y CAM3 del Mar Menor en situación de verano.

CAM1		CAM2		CAM3	
Prof (cm)	N ₂ O (nM)	Prof (cm)	N ₂ O (nM)	Prof (cm)	N ₂ O (nM)
0.5	85.2	0.5	49.7	0.5	183.0
1.5	127.1	1.5	7.7	1.5	77.4
2.5	18.5	2.5	12.2	2.5	145.4
3.5	2.4	3.5	51.4	3.5	46.3
4.5	0.0	4.5	87.1	4.5	41.5
8.5	0.0	6.5	2.5	6.5	23.3
11.5	0.0	8.5	0.1	8.5	1.7
14.5	0.0	11.5	0.0	11.5	3.3
		14.5	0.6	14.5	2.1
		18.5	0.0	18.5	0.4
		22.5	0.3	22.5	34.1
				27.5	19.2

Tabla 59. Variación vertical concentración de óxido nitroso del sedimento para las estaciones CAM4. CAM5 y CAM6 del Mar Menor en situación de verano.

CAM4		CAM5		CAM6	
Prof (cm)	N ₂ O (nM)	Prof (cm)	N ₂ O (nM)	Prof (cm)	N ₂ O (nM)
0.5	89.2	0.5	0.2	0.5	22.4
1.5	478.9	1.5	74.8	1.5	17.0
2.5	183.4	2.5	80.9	2.5	9.7
3.5	89.7	3.5	61.3	3.5	80.0
4.5	16.5	4.5	24.7	4.5	9.8
6.5	2.7	6.5	22.2	6.5	40.3
8.5	6.1	7.5	0.2	8.5	12.5
11.5	0.1	11.5	0.5	11.5	0.2
14.5	0.2	14.5	0.0		
		15.5	0.0		

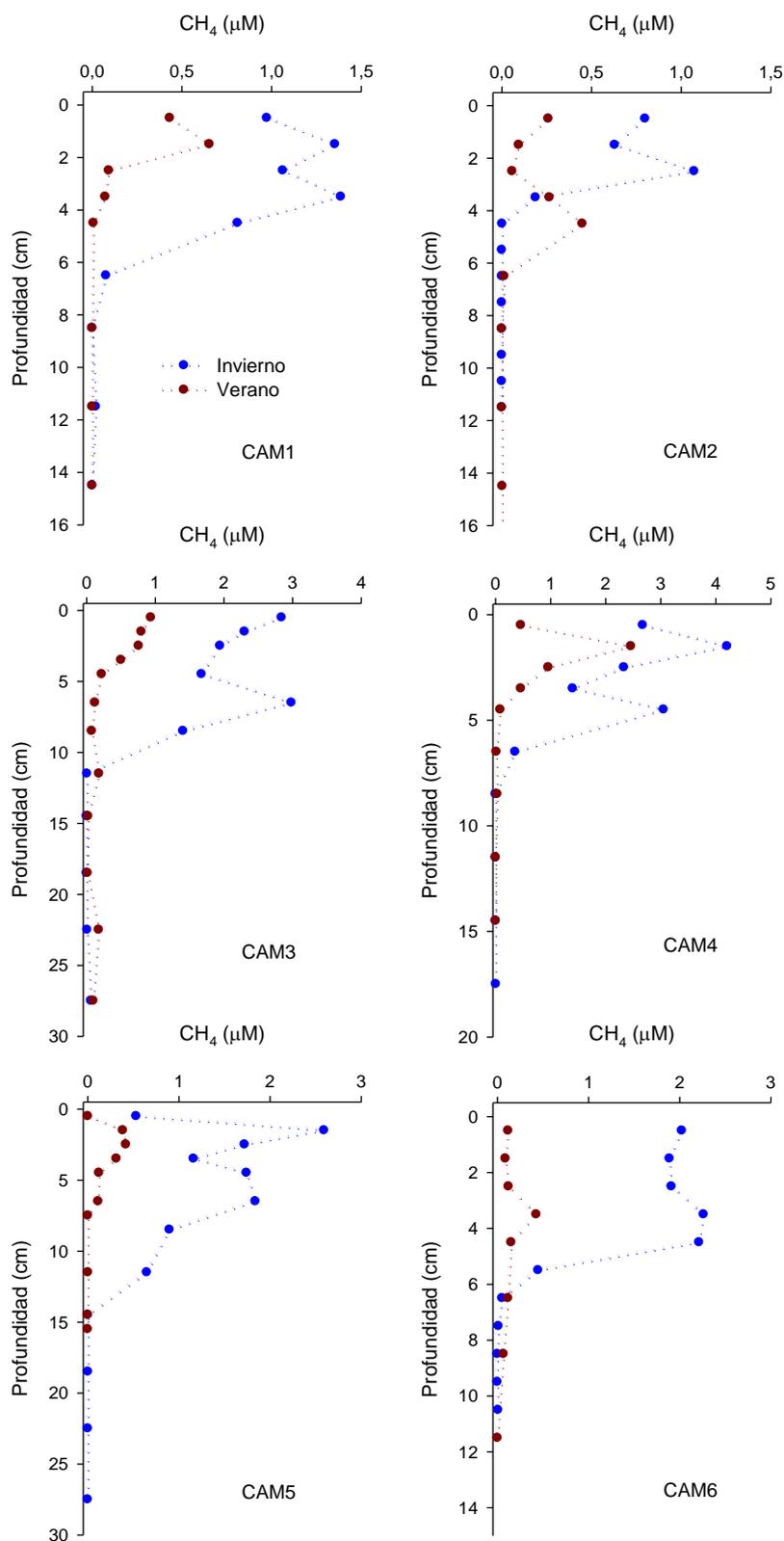


Figura 68. Variación vertical de la concentración de metano en el agua intersticial para las seis estaciones muestreadas en el Mar Menor en situación de invierno y verano.

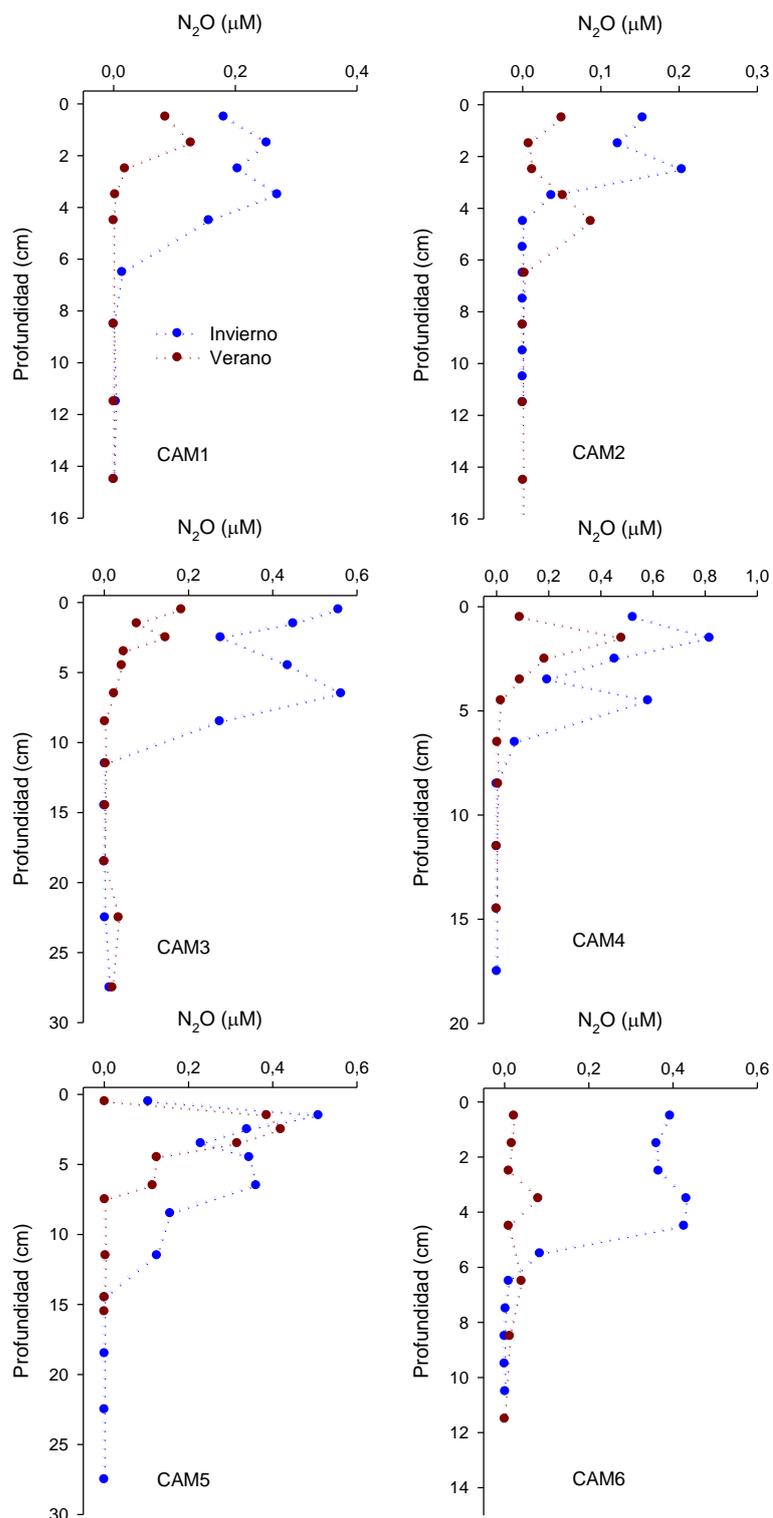


Figura 69. Variación vertical de la concentración de óxido nítrico en el agua intersticial para las seis estaciones muestreadas en el Mar Menor en situación de invierno y verano.

Carbono orgánico disuelto y nitrógeno total en agua intersticial

En las tablas 60, 61 y 62 y en las figuras 70 y 71 se muestra las variaciones con la profundidad de la concentración del carbono orgánico disuelto (TOC) y el nitrógeno total (NT) en el agua intersticial para la campaña de verano. La concentración de TOC en el agua intersticial puede considerarse elevada, con valores de hasta 12.5 μM en la zona superficial de CAM 2, unas 40 veces mayor que la encontrada en la columna de agua. Su variación vertical es similar a la encontrada para el contenido de C en el sedimento, con valores más elevados en la superficie y una disminución con la profundidad.

Los valores de NT también son elevadas con respecto a la columna de agua y experimentan una variación vertical similar, con una disminución progresiva con la profundidad. Para el muestreo de verano, las variaciones de TOC y NT en el agua intersticial también se encuentran bien correlacionadas ($r^2 = 0.923$), con una pendiente de 4.9 lo que indica que la materia orgánica presenta un alto contenido relativo de N en comparación a la composición de la materia orgánica fitoplanctónica (6.6, relaciones de Redfield).

Tabla 60. Variación vertical de la concentración de carbono orgánico disuelto y nitrógeno total en el agua intersticial para las estaciones CAM 1 y CAM 2 del Mar Menor en situación de verano.

CAM 1			CAM 2		
Profundidad (cm)	DOC (mM)	NT (mM)	Profundidad (cm)	DOC (mM)	NT (mM)
0,5	11,33	2,29	0,5	12,54	2,39
1,5	5,98	1,08	1,5	9,78	1,81
2,5	3,77	0,69	2,5	9,60	1,92
3,5	3,76	0,59	3,5	6,54	1,33
4,5	2,79	0,47	4,5	3,97	0,76
6,5	2,04	0,27	6,5	3,11	0,59
8,5	2,27	0,29	8,5	2,45	0,53
11,5	2,42	0,27	11,5	2,24	0,60
14,5	2,53	0,29	14,5	2,42	0,68
17,5	2,72	0,37	18,5	2,83	0,81
20,5	2,22	0,31	22,5	3,18	0,93
			27,5	3,21	1,10

Tabla 61. Variación vertical de la concentración de carbono orgánico disuelto y nitrógeno total en el agua intersticial para las estaciones CAM 3 y CAM 4 del Mar Menor en situación de verano.

CAM 3			CAM 4		
Profundidad (cm)	DOC (mM)	NT (mM)	Profundidad (cm)	DOC (mM)	NT (mM)
0,5	9,48	1,62	0,50	7,89	1,28
1,5	8,78	1,55	1,50	6,81	1,06
2,5	6,12	1,04	2,50	4,73	0,70
3,5	4,46	0,75	3,50	4,78	0,77
4,5	3,32	0,51	4,50	4,23	0,71
6,5	2,31	0,34	6,50	3,72	0,62
8,5	1,78	0,24	8,50	2,82	0,42
11,5	1,90	0,32	11,50	2,54	0,35
14,5	2,33	0,41	17,50	1,54	0,23
18,5	2,83	0,46			
22,5	2,76	0,56			
27,5	2,89	0,65			
32,5	2,94	0,73			

Tabla 62. Variación vertical de la concentración de carbono orgánico disuelto y nitrógeno total en el agua intersticial para las estaciones CAM 5 y CAM 6 del Mar Menor en situación de verano.

CAM 5			CAM 6		
Profundidad (cm)	DOC (mM)	NT (mM)	Profundidad (cm)	DOC (mM)	NT (mM)
0,50	6,68	1,20	0,50	6,49	1,02
1,50	4,18	0,71	1,50	4,76	0,76
2,50	5,25	0,81	2,50	3,74	0,61
3,50	3,00	0,45	3,50	3,37	0,54
4,50	3,14	0,52	4,50	3,08	0,46
6,50	2,09	0,33	5,50	2,78	0,39
8,50	2,19	0,34			
11,50	2,04	0,31			
21,50	1,40	0,24			
24,50	0,71	0,15			

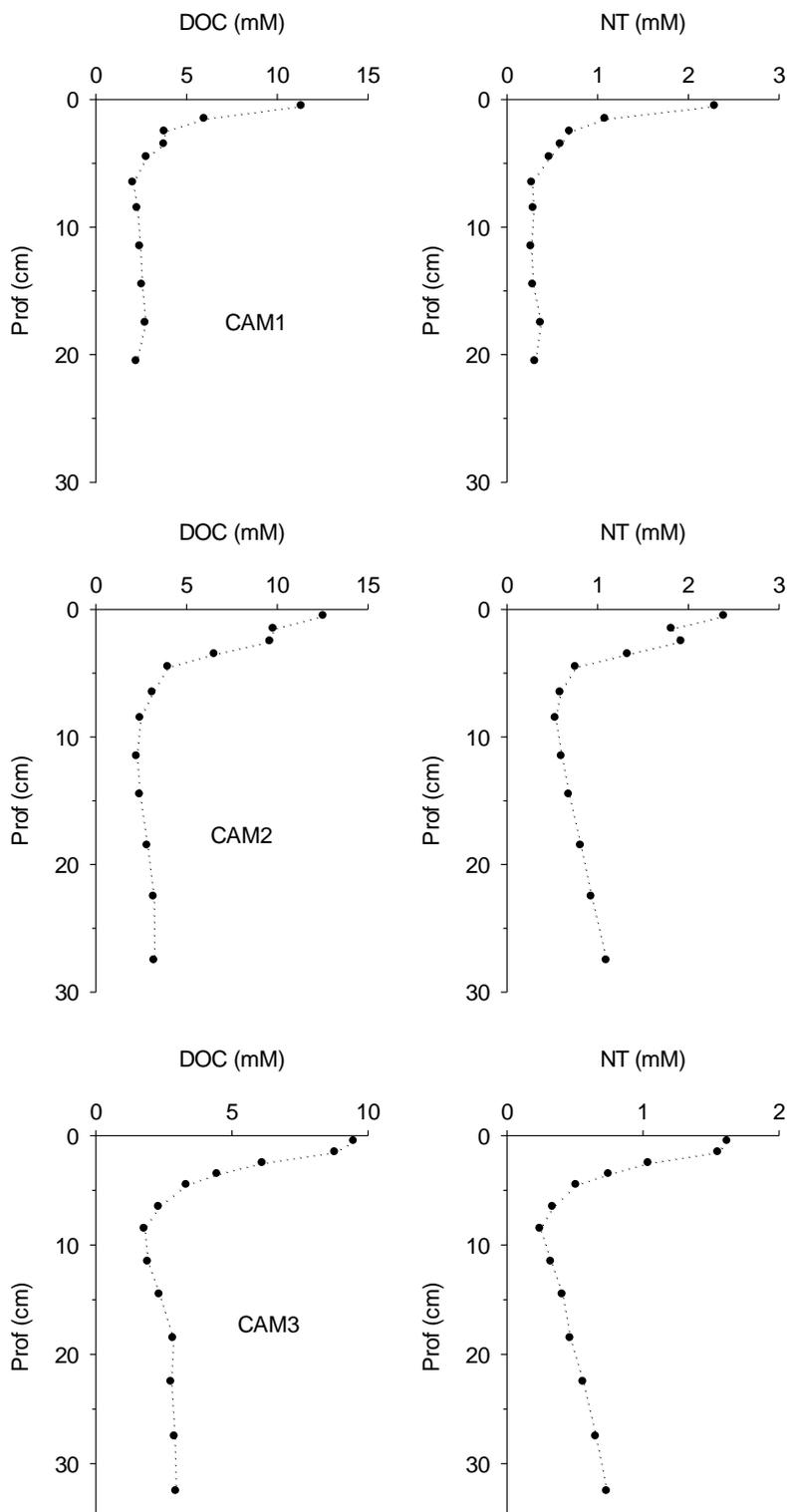


Figura 70. Variación vertical de la concentración de carbono orgánico disuelto y nitrógeno total en el agua intersticial para las estaciones CAM 1, CAM 2 y CAM 3 del Mar Menor en situación de verano.

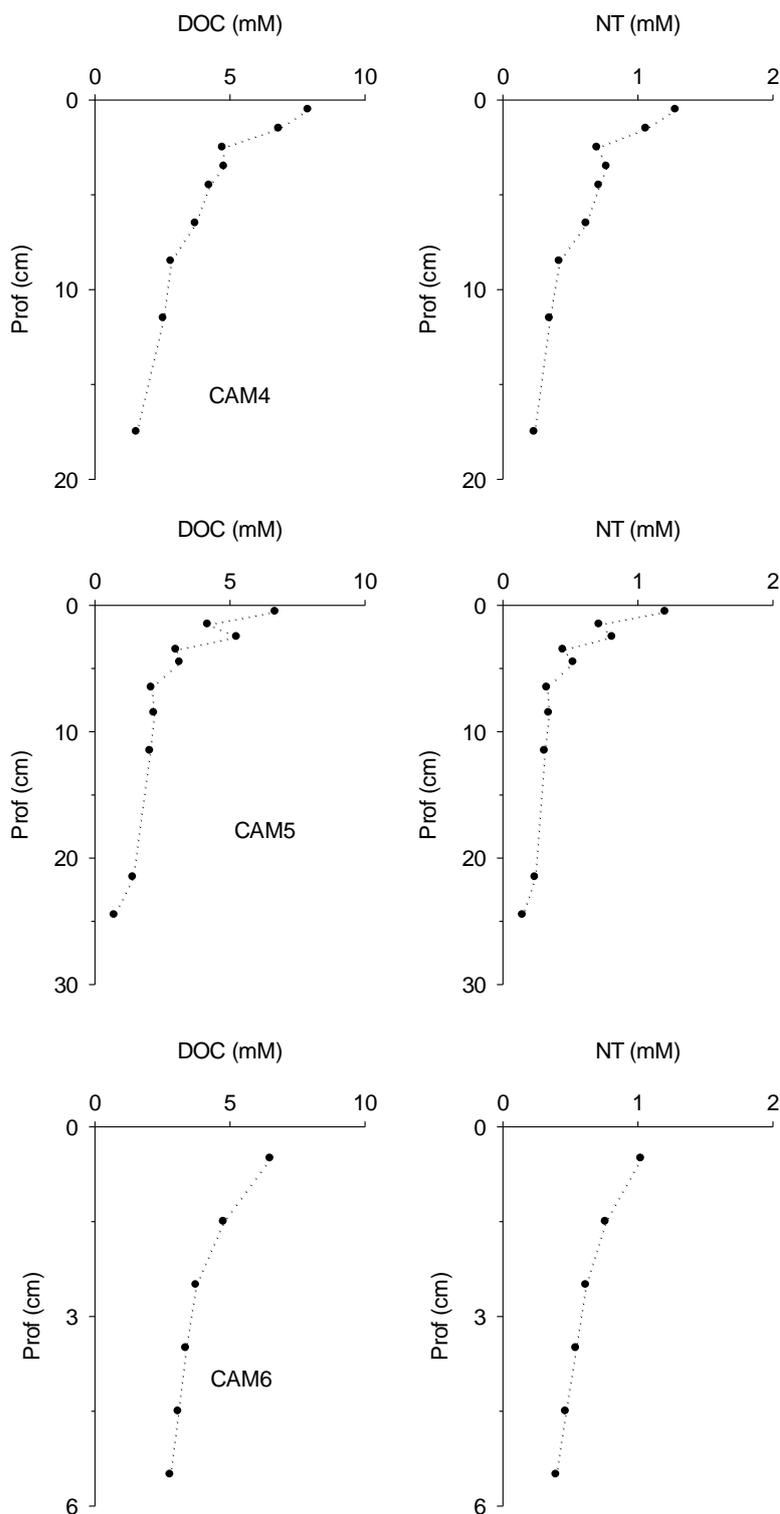


Figura 71. Variación vertical de la concentración de carbono orgánico disuelto y nitrógeno total en el agua intersticial para las estaciones CAM 4, CAM 5 y CAM 6 del Mar Menor en situación de verano.

Gradientes verticales de los elementos mayoritarios del agua de mar

En las tablas 63 a 74, y en las figuras 72 a 77, se presenta las variaciones verticales de los elementos mayoritarios del agua de mar (sodio, potasio, calcio, magnesio, cloruro y sulfato) medidos en el agua intersticial para las 6 estaciones en las campañas de invierno y verano. En general, puede observarse que no presentan tendencias bien definidas con la profundidad. Esto suele ser bastante común en sedimentos naturales debido a su gran heterogeneidad. En líneas generales, en todas las estaciones se han encontrado concentraciones superiores en el muestreo realizado en verano, como se aprecia claramente en la estación CAM 6.

Cabe destacar que el sulfato no presenta el perfil típico de zonas costeras, en el que se produce una acusada disminución de su concentración con la profundidad debido a su participación como aceptor de electrones en la degradación anaerobia de la materia orgánica. Sin embargo, al igual que ocurre en los sedimentos estudiados en el Mar Menor, existen zonas costeras donde la concentración de sulfato en el agua intersticial apenas varía, pero la existencia de considerables cantidades de pirita autigénica y de amonio disuelto (como producto de la oxidación de la materia orgánica por sulfatorreducción) en el sedimento revela su participación en los procesos de degradación.

El cloruro no se transforma química o biológicamente en el sedimento, por lo que su concentración no suele variar con la profundidad. Sin embargo, se han descrito zonas como los sedimentos costeros de Limfjorden (Dinamarca), donde su concentración disminuye considerablemente con la profundidad (hasta un 55% en 170 cm) debido a una entrada de agua dulce a cierta profundidad del sedimento. En este estudio, debido a la poca profundidad de sedimento muestreada y a la permeabilidad de este, no se observa una disminución tan considerable de cloruro en el agua intersticial. Sin embargo, en la estación CAM 6 en el muestreo realizado en invierno se aprecia una ligera disminución en las concentraciones de cloruro, sulfato, magnesio, sodio y potasio y un ligero incremento en la concentración de calcio entre los 7 y 15 cm de profundidad, que puede estar motivado por una entrada de agua de menor salinidad. Por el contrario, en la estación CAM 1 en las muestras tomadas en verano se percibe un ligero aumento en la concentración de todos los elementos mayoritarios medidos a partir de los 14 cm de profundidad. Este comportamiento podría estar motivado por la existencia de intrusión salina en los sedimentos.

En las tablas 75 y 76 se muestran los valores medios de la concentración de los elementos mayoritarios para las 6 estaciones en las campañas de invierno y verano. Puede observarse cómo la concentración de estos elementos es mayor en verano, coincidiendo con un aumento de la salinidad en la columna de agua. Estas variaciones son coherentes con procesos de intrusión salina como consecuencia de la elevada permeabilidad de los sedimentos.

Tabla 63. Variación vertical de sodio, potasio, calcio, magnesio, cloruro y sulfato en el agua intersticial para la estación CAM1 del Mar Menor en situación de invierno.

Prof (cm)	Na ⁺ (mM)	K ⁺ (mM)	Ca ²⁺ (mM)	Mg ²⁺ (mM)	Cl ⁻ (mM)	SO ₄ ²⁻ (mM)
0						
0.5						
1.5						
2.5	584.7	14.8	10.8	63.7	686.9	34.9
3.5	576.1	13.7	10.6	62.7	674.1	33.4
4.5	563.4	12.9	10.1	59.6	662.9	36.1
6.5	559.1	13.7	11.3	61.5	658.0	32.3
7.5	571.1	14.0	10.7	61.1	675.3	37.2
11.5	582.2	13.7	11.7	65.2	684.7	34.8
14.5						
17.5						

Tabla 64. Variación vertical de sodio, potasio, calcio, magnesio, cloruro y sulfato en el agua intersticial para la estación CAM2 del Mar Menor en situación de invierno.

Prof (cm)	Na ⁺ (mM)	K ⁺ (mM)	Ca ²⁺ (mM)	Mg ²⁺ (mM)	Cl ⁻ (mM)	SO ₄ ²⁻ (mM)
0.5						
1.5						
2.5						
3.5	558.0	15.0	10.4	61.8	653.6	31.3
4.5	576.0	14.2	11.2	64.8	681.1	35.2
6.5	600.9	14.8	10.0	65.1	706.4	32.3
8.5	609.6	14.4	10.4	65.4	713.6	33.3
11.5	574.6	15.2	10.2	63.8	673.3	35.3
14.5	627.6	16.5	9.4	66.3	740.6	37.7
18.5	614.8	12.9	11.2	69.6	725.8	35.8
22.5	590.0	14.0	11.5	70.2	700.1	32.6
27.5	446.3	8.6	8.1	52.9	516.8	25.6

Tabla 65. Variación vertical de sodio, potasio, calcio, magnesio, cloruro y sulfato en el agua intersticial para la estación CAM3 del Mar Menor en situación de invierno.

Prof (cm)	Na ⁺ (mM)	K ⁺ (mM)	Ca ²⁺ (mM)	Mg ²⁺ (mM)	Cl ⁻ (mM)	SO ₄ ²⁻ (mM)
0.5						
1.5						
2.5	573.4	13.6	11.8	64.8	675.6	34.8
3.5	573.4	13.4	10.1	61.8	677.0	34.7
4.5	584.0	14.3	10.1	62.6	688.1	36.0
6.5	552.0	13.2	10.0	61.9	648.4	33.2
8.5	560.8	14.6	10.2	61.9	653.8	34.9
11.5	567.6	15.1	9.8	60.8	673.9	36.5
14.5	530.4	12.2	11.4	59.9	624.4	33.5
18.5	605.2	14.1	11.3	68.7	720.8	34.5
22.5	604.5	13.6	11.3	68.2	722.3	34.9
27.5	446.3	8.6	8.1	52.9	516.8	25.6

Tabla 66. Variación vertical de sodio, potasio, calcio, magnesio, cloruro y sulfato en el agua intersticial para la estación CAM4 del Mar Menor en situación de invierno.

Prof (cm)	Na ⁺ (mM)	K ⁺ (mM)	Ca ²⁺ (mM)	Mg ²⁺ (mM)	Cl ⁻ (mM)	SO ₄ ²⁻ (mM)
0.5	554.5	12.6	11.8	62.6	654.7	34.8
1.5	575.6	14.3	11.2	63.8	674.5	35.7
2.5	567.2	13.4	11.1	63.9	667.3	34.1
3.5	586.5	15.0	10.8	64.0	694.0	38.1
4.5	561.0	13.1	11.5	62.7	664.3	35.9
6.5	593.1	14.5	12.7	66.8	703.3	38.1
8.5	572.9	13.4	12.1	65.3	673.7	37.1
11.5	593.5	13.7	12.3	67.4	703.8	37.1
14.5	592.8	13.3	11.3	66.4	700.0	37.7
17.5	534.8	12.6	12.4	61.3	632.1	32.5

Tabla 67. Variación vertical de sodio, potasio, calcio, magnesio, cloruro y sulfato en el agua intersticial para la estación CAM5 del Mar Menor en situación de invierno.

Prof (cm)	Na ⁺ (mM)	K ⁺ (mM)	Ca ²⁺ (mM)	Mg ²⁺ (mM)	Cl ⁻ (mM)	SO ₄ ²⁻ (mM)
0.5	564.9	13.5	11.8	64.9	667.6	37.3
1.5	602.5	13.8	10.2	63.9	712.7	36.7
2.5	614.1	14.2	11.1	67.8	723.1	36.6
3.5	591.8	13.1	11.1	64.2	699.5	35.1
4.5	578.8	13.1	9.2	61.5	683.5	35.0
6.5	579.8	12.0	10.8	64.2	687.3	33.8
8.5	566.1	12.8	10.2	62.1	662.8	32.1
11.5	587.4	13.0	10.6	64.7	694.6	34.8
14.5	603.9	14.8	12.0	68.6	716.2	36.6
18.5	602.9	13.8	10.9	66.7	714.9	34.5
22.5	625.4	13.5	11.2	68.9	743.2	33.9
27.5	617.6	13.6	9.5		733.5	30.8

Tabla 68. Variación vertical de sodio, potasio, calcio, magnesio, cloruro y sulfato en el agua intersticial para la estación CAM6 del Mar Menor en situación de invierno.

Prof (cm)	Na ⁺ (mM)	K ⁺ (mM)	Ca ²⁺ (mM)	Mg ²⁺ (mM)	Cl ⁻ (mM)	SO ₄ ²⁻ (mM)
0.5	563.7	13.7	11.2	62.7	666.0	33.4
1.5	557.9	12.6	10.8	61.2	657.6	33.2
2.5	590.8	14.3	11.9	65.0	699.8	34.5
3.5	549.9	13.1	9.6	59.2	648.9	34.3
4.5	526.6	12.2	10.2	59.3	617.5	31.2
5.5	460.3	10.4	10.4	51.2	549.8	29.5
6.5	583.4	13.3	13.8	73.1	672.8	37.1
7.5	578.6	14.8	11.9	69.9	661.4	34.0
8.5	596.0	13.9	12.8	72.9	688.5	36.9
9.5	572.6	14.8	13.1	70.3	657.3	35.3
10.5	589.4	15.2	13.6	72.9	678.6	34.8
11.5	561.8	13.5	12.5	69.0	645.2	35.7
12.5	537.8	13.6	13.1	68.1	616.1	33.9

Tabla 69. Variación vertical de sodio, potasio, calcio, magnesio, cloruro y sulfato en el agua intersticial para la estación CAM1 del Mar Menor en situación de verano.

Prof (cm)	Na ⁺ (mM)	K ⁺ (mM)	Ca ²⁺ (mM)	Mg ²⁺ (mM)	Cl ⁻ (mM)	SO ₄ ²⁻ (mM)
0.5	621.6	14.7	12.8	74.9	723.7	34.5
1.5	633.6	15.6	12.7	76.1	733.7	37.6
2.5	620.5	15.6	12.5	76.0	724.8	37.6
3.5	611.4		15.1	77.7	329.9	
4.5	628.0	13.3	14.2	77.9	720.6	35.8
6.5	626.7	14.6	13.7	77.1	721.8	35.1
8.5	584.9	13.9	13.2	74.9	669.4	34.3
11.5	631.5	14.8	15.2	79.9	725.9	35.2
14.5	590.6	13.7	13.1	72.0	671.8	31.9
17.5	625.8	14.2	14.1	77.8	714.8	35.6
20.5	634.6	14.7	15.4	81.0	734.6	36.7

Tabla 70. Variación vertical de sodio, potasio, calcio, magnesio, cloruro y sulfato en el agua intersticial para la estación CAM2 del Mar Menor en situación de verano.

Prof (cm)	Na ⁺ (mM)	K ⁺ (mM)	Ca ²⁺ (mM)	Mg ²⁺ (mM)	Cl ⁻ (mM)	SO ₄ ²⁻ (mM)
0.5	633.0	15.2	11.9	68.6	753.5	39.9
1.5	579.6	14.9	12.3	64.0	684.8	36.4
2.5	628.2	15.3	12.1	69.6	738.7	38.6
3.5	614.0	13.7	11.6	67.4	729.6	39.3
4.5	617.2	12.0	11.7	69.6	736.2	37.1
6.5	607.1	12.7	8.6	62.2	731.3	34.0
8.5	631.6	15.7	11.1	69.6	753.6	36.1
11.5	604.0	13.2	11.3	68.1	719.5	31.4
14.5	635.1	15.7	11.7	69.4	756.2	33.0
18.5	619.9	13.8	10.3	69.9	742.3	33.5
22.5	642.0	14.9	10.9	72.5	769.9	33.5
27.5	648.7	14.9	10.7	74.5	770.5	34.1

Tabla 71. Variación vertical de sodio, potasio, calcio, magnesio, cloruro y sulfato en el agua intersticial para la estación CAM3 del Mar Menor en situación de verano.

Prof (cm)	Na ⁺ (mM)	K ⁺ (mM)	Ca ²⁺ (mM)	Mg ²⁺ (mM)	Cl ⁻ (mM)	SO ₄ ²⁻ (mM)
0.5	612.5	16.5	13.0	74.1	786.3	27.6
1.5	632.9	16.0	11.2	73.1	746.9	28.5
2.5	635.6	15.7	12.2	76.8	760.6	36.4
3.5	616.6	15.3	11.7	73.1	727.9	35.8
4.5	623.0	15.6	12.4	75.2	747.3	36.0
6.5	602.9	12.7	11.8	72.8	726.9	37.7
8.5	617.5	16.0		74.4	730.6	36.3
11.5	640.1	14.8	10.9	74.0	775.6	38.3
14.5	610.8	16.0	11.0	73.7	738.7	36.1
18.5	615.1	15.8	10.7	73.1	733.4	34.1
22.5	620.0	14.6	9.6	74.5	748.7	34.9
27.5	539.9	13.6	9.6	67.4	650.4	29.4
32.5	644.3	15.9	10.9	78.7	774.4	33.4

Tabla 72. Variación vertical de sodio, potasio, calcio, magnesio, cloruro y sulfato en el agua intersticial para la estación CAM4 del Mar Menor en situación de verano.

Prof (cm)	Na ⁺ (mM)	K ⁺ (mM)	Ca ²⁺ (mM)	Mg ²⁺ (mM)	Cl ⁻ (mM)	SO ₄ ²⁻ (mM)
0.5	633.3	13.4	10.8	68.0	748.6	37.9
1.5	648.1	13.7	12.4	72.1	766.6	41.3
2.5	581.9	11.8	12.0	66.8	691.8	33.4
3.5	596.7	13.7	12.3	70.9	710.7	37.7
4.5	605.3	13.4	12.4	69.5	719.9	38.8
6.5	618.1	13.8	12.8	70.3	740.0	38.1
8.5	613.2	14.1	12.2	67.2	731.4	36.4
11.5	595.1	11.2	11.1	65.5	707.2	37.4
17.5	632.6	15.1	10.5	65.6	753.4	37.5

Tabla 73. Variación vertical de sodio, potasio, calcio, magnesio, cloruro y sulfato en el agua intersticial para la estación CAM5 del Mar Menor en situación de verano.

Prof (cm)	Na ⁺ (mM)	K ⁺ (mM)	Ca ²⁺ (mM)	Mg ²⁺ (mM)	Cl ⁻ (mM)	SO ₄ ²⁻ (mM)
0.5	532.7	11.3	11.3	59.2	587.7	29.6
1.5		16.5	13.2	59.3	750.6	37.8
2.5		13.6	14.2	75.6	745.5	37.7
3.5	648.2	16.5	12.8	71.4	717.9	36.4
4.5		13.8	12.5	75.0	734.5	37.3
6.5		13.2	12.8	73.1	710.6	36.0
8.5	676.5	15.0	13.2	75.2	749.9	38.5
11.5	653.5	15.1	10.8	73.3	715.9	37.1
21.5	652.0	15.8	13.6	74.5	720.9	37.0
24.5		14.6	13.8	74.2	733.4	37.9

Tabla 74. Variación vertical de sodio, potasio, calcio, magnesio, cloruro y sulfato en el agua intersticial para la estación CAM6 del Mar Menor en situación de verano.

Prof (cm)	Na ⁺ (mM)	K ⁺ (mM)	Ca ²⁺ (mM)	Mg ²⁺ (mM)	Cl ⁻ (mM)	SO ₄ ²⁻ (mM)
0.5	948.1	21.0	17.5	99.2	615.5	26.7
1.5		21.8	18.2	106.7	682.8	30.2
2.5	919.7	20.9	16.6	94.5	586.6	25.7
3.5	1012.8	22.7	18.5	106.5	642.8	27.9
4.5	1024.2	22.6	18.4	105.4	671.6	28.2
5.5		20.5	18.2	107.5	757.5	37.3
6.5		15.7	14.7	80.9	568.3	27.2

Tabla 75. Valores medios de la concentración de sodio, potasio, calcio, magnesio, cloruro y sulfato en el agua intersticial del sedimento de las seis estaciones muestreadas en el Mar Menor en marzo de 2018.

Estación	Na ⁺ (mM)	K ⁺ (mM)	Ca ²⁺ (mM)	Mg ²⁺ (mM)	Cl ⁻ (mM)	SO ₄ ²⁻ (mM)
CAM 1	572.8 ± 10.2	13.8 ± 0.6	10.9 ± 0.6	62.3 ± 2.0	673.7 ± 11.5	34.8 ± 1.8
CAM 2	577.5 ± 53.9	13.9 ± 2.2	10.3 ± 1.0	64.4 ± 5.1	679.0 ± 66.5	33.2 ± 3.5
CAM 3	559.8 ± 45.8	13.3 ± 1.8	10.4 ± 1.1	62.4 ± 4.5	660.1 ± 58.7	33.8 ± 3.1
CAM 4	573.2 ± 19.4	13.6 ± 0.8	11.7 ± 0.6	64.4 ± 2.0	676.8 ± 23.6	36.1 ± 1.9
CAM 5	594.6 ± 19.8	13.4 ± 0.7	10.7 ± 0.8	65.2 ± 2.5	703.2 ± 25.1	34.8 ± 1.9
CAM 6	559.1 ± 36.3	13.5 ± 1.3	11.9 ± 1.4	65.8 ± 6.7	650.7 ± 38.8	34.1 ± 2.1

Tabla 76. Valores medios de la concentración de sodio, potasio, calcio, magnesio, cloruro y sulfato en el agua intersticial del sedimento de las seis estaciones muestreadas en el Mar Menor en septiembre de 2018.

Estación	Na ⁺ (mM)	K ⁺ (mM)	Ca ²⁺ (mM)	Mg ²⁺ (mM)	Cl ⁻ (mM)	SO ₄ ²⁻ (mM)
CAM 1	619.0 ± 16.8	14.5 ± 0.8	13.8 ± 1.1	76.9 ± 2.5	679.2 ± 118.0	35.4 ± 1.7
CAM 2	621.7 ± 19.0	14.3 ± 1.2	11.2 ± 1.0	68.8 ± 3.3	740.5 ± 23.6	35.6 ± 2.7
CAM 3	616.2 ± 26.0	15.3 ± 1.1	11.3 ± 1.0	73.9 ± 2.6	742.1 ± 33.7	34.2 ± 3.5
CAM 4	613.8 ± 21.4	13.4 ± 1.2	11.8 ± 0.8	68.4 ± 2.4	730.0 ± 24.5	37.6 ± 2.1
CAM 5	632.6 ± 56.9	14.5 ± 1.6	12.8 ± 1.1	71.1 ± 6.3	716.7 ± 47.6	36.5 ± 2.6
CAM 6	976.2 ± 50.4	20.7 ± 2.4	17.4 ± 1.4	100.1 ± 9.7	646.4 ± 64.5	29.0 ± 3.9

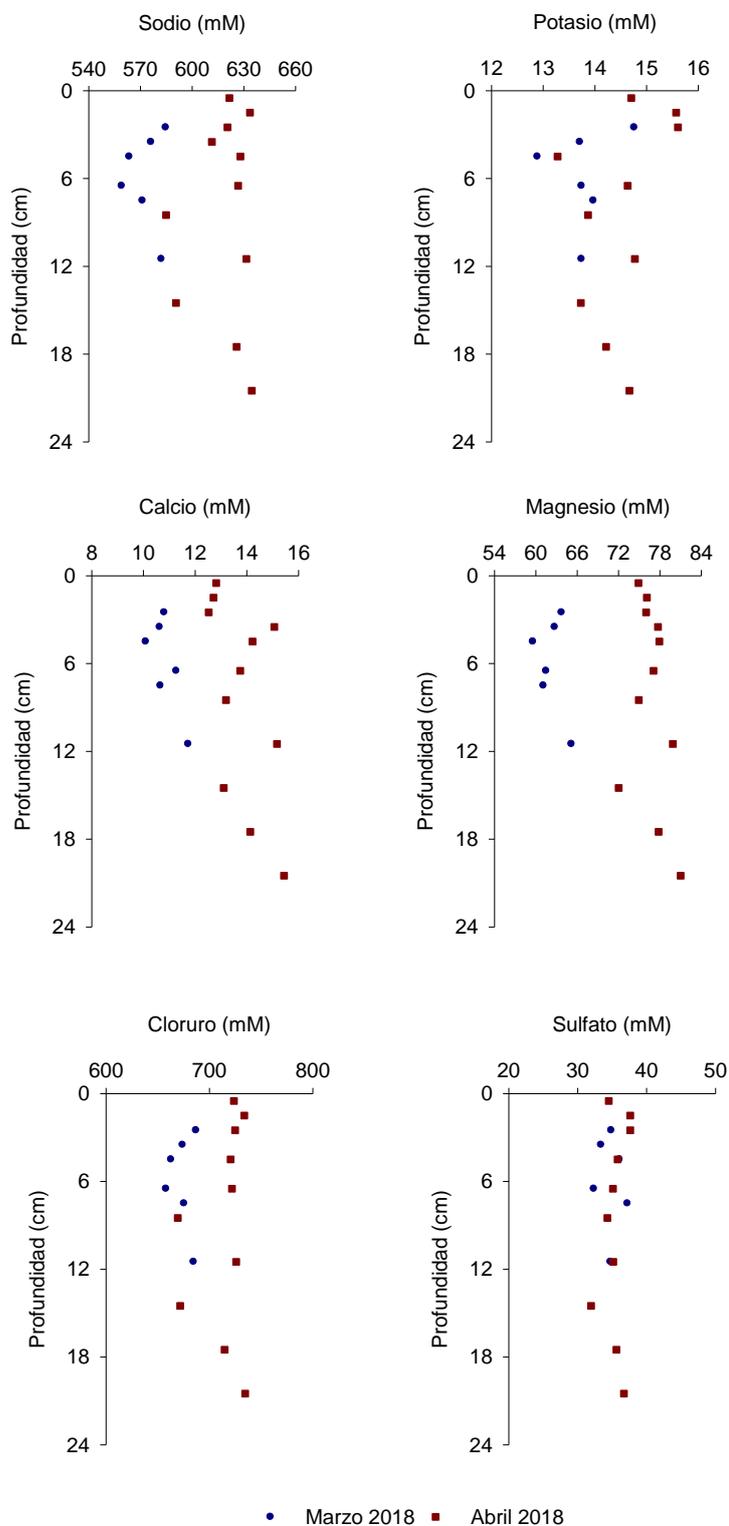


Figura 72. Variaciones verticales de sodio, potasio, calcio, magnesio, cloruro y sulfato en el agua intersticial de la estación CAM1 en los muestreos realizados en marzo y septiembre de 2018.

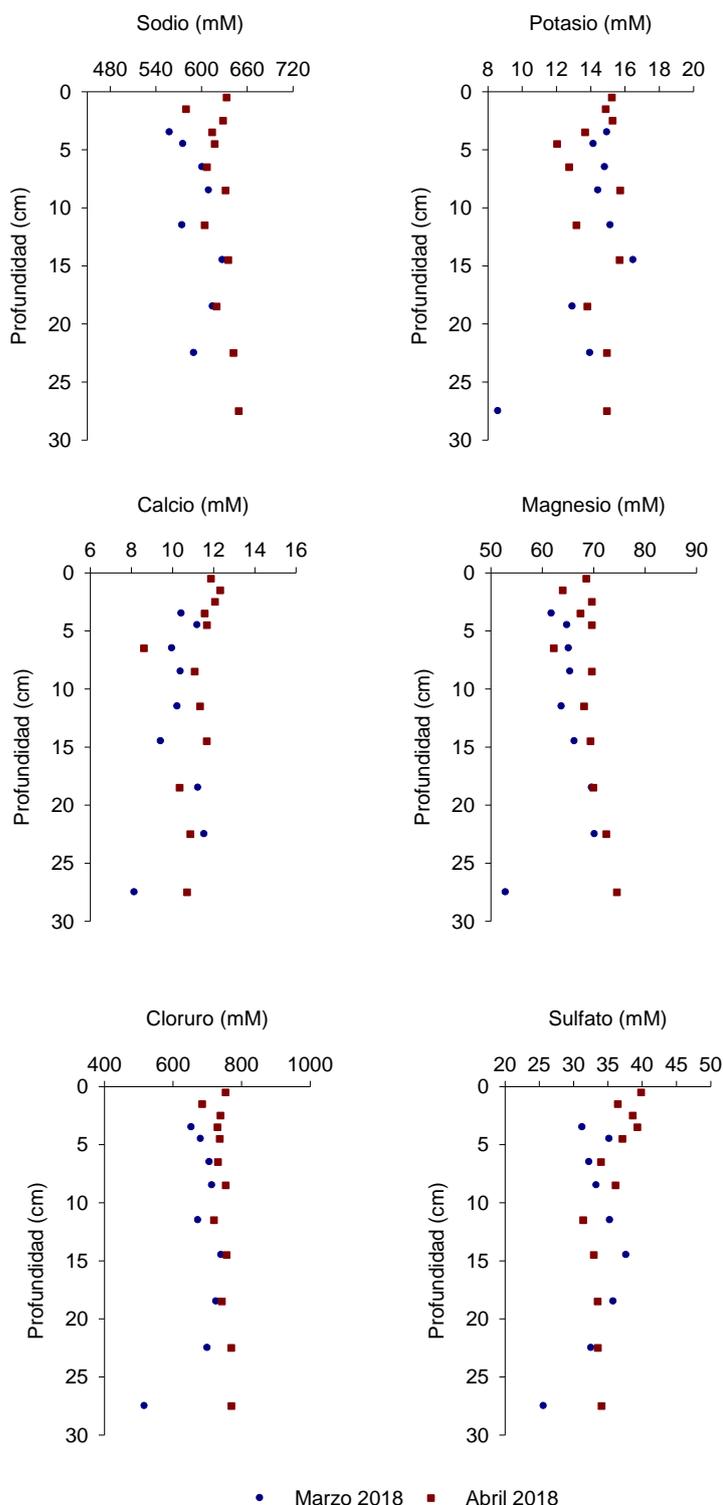


Figura 73. Variaciones verticales de sodio, potasio, calcio, magnesio, cloruro y sulfato en el agua intersticial de la estación CAM2 en los muestreos realizados en marzo y septiembre de 2018.

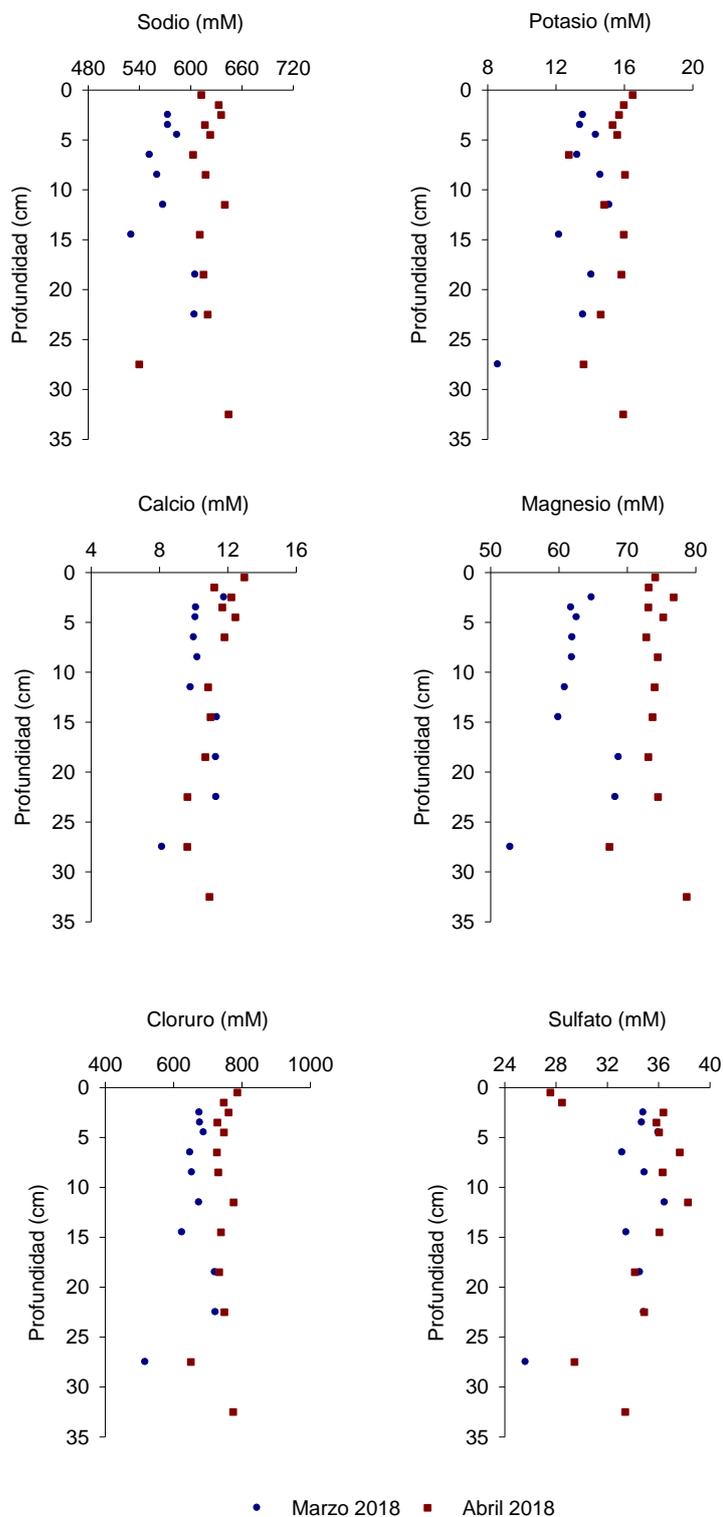


Figura 74. Variaciones verticales de sodio, potasio, calcio, magnesio, cloruro y sulfato en el agua intersticial de la estación CAM3 en los muestreos realizados en marzo y septiembre de 2018.

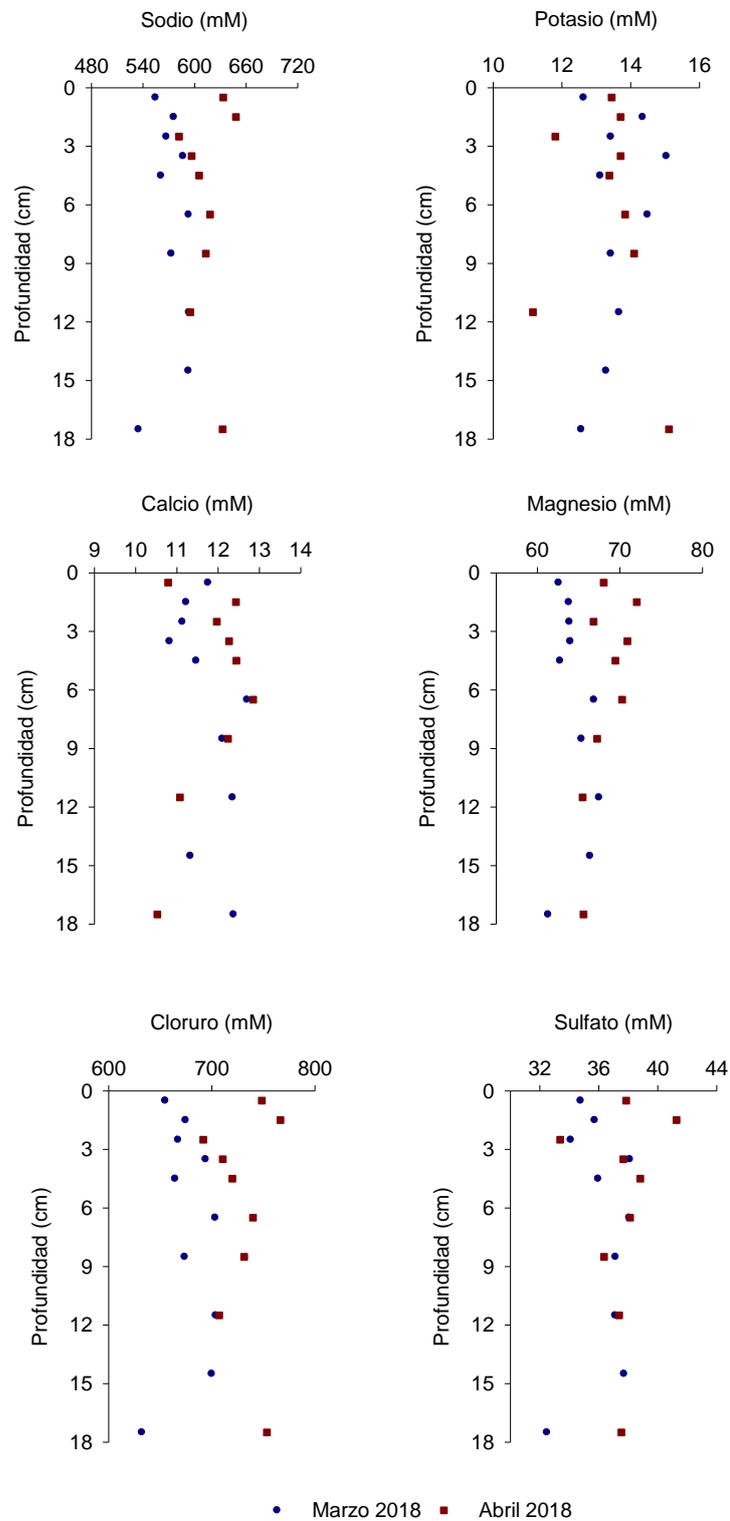


Figura 75. Variaciones verticales de sodio, potasio, calcio, magnesio, cloruro y sulfato en el agua intersticial de la estación CAM4 en los muestreos realizados en marzo y septiembre de 2018.

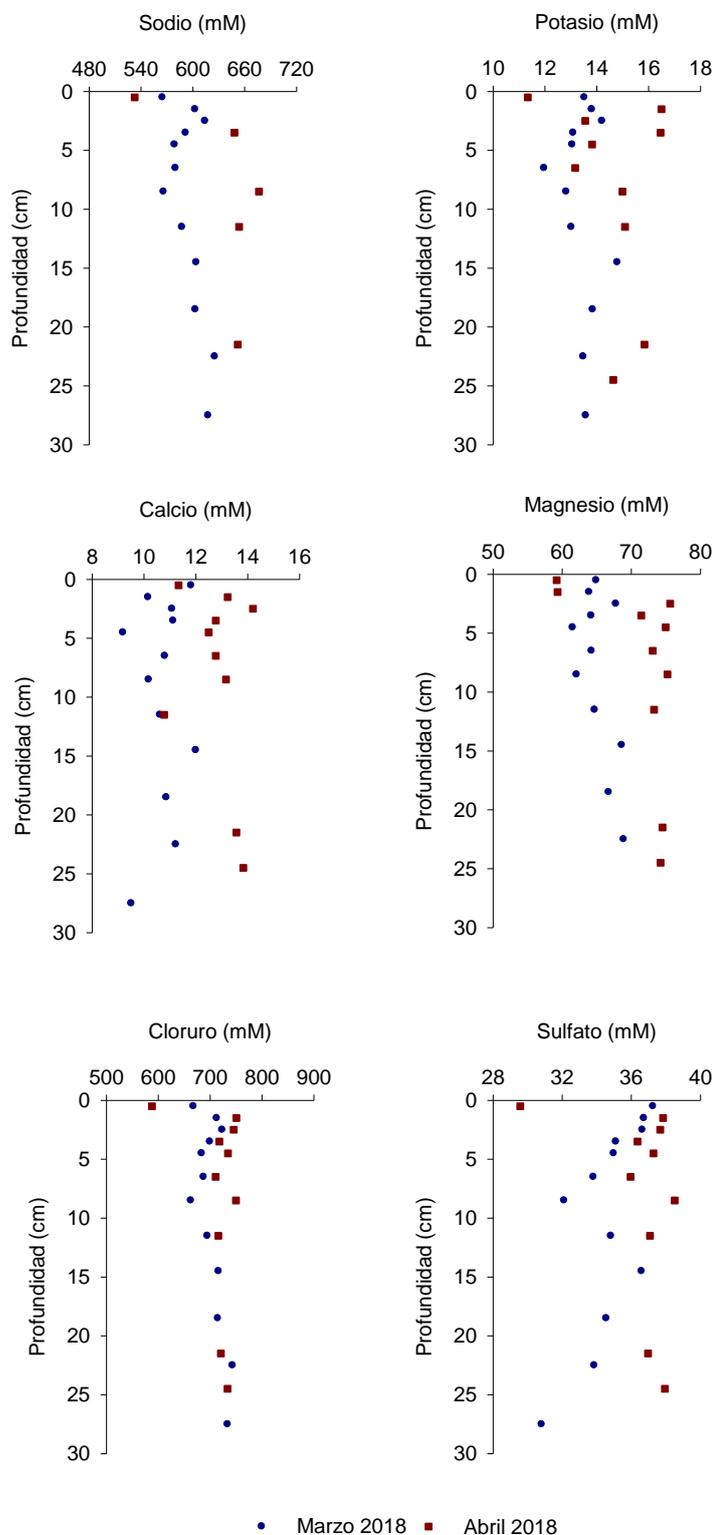


Figura 76. Variaciones verticales de sodio, potasio, calcio, magnesio, cloruro y sulfato en el agua intersticial de la estación CAM5 en los muestreos realizados en marzo y septiembre de 2018.

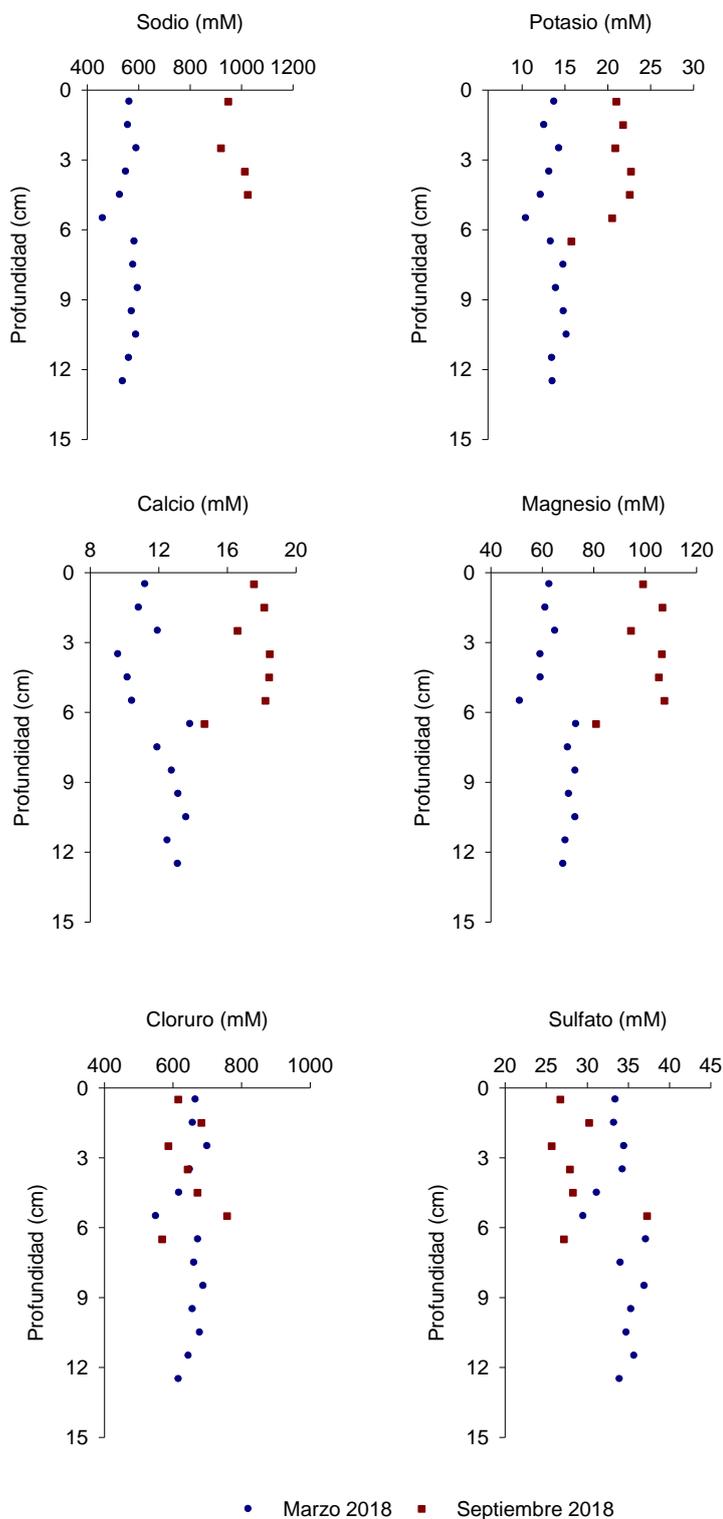


Figura 77. Variaciones verticales de sodio, potasio, calcio, magnesio, cloruro y sulfato en el agua intersticial de la estación CAM6 en los muestreos realizados en marzo y septiembre de 2018.

Bibliografía

- Andersen. F.O.. Kristensen. E.. 1988. The influence of macrofauna on estuarine benthic community metabolism: a microcosm study. *Marine Biology*, 99, 591-603.
- Anderson. L.G.. Hall. P.O.J.. Iverfeldt. A.. Rutgers van der Loeff. M.M.. Sundby. B.. Westerlund. S.F.G.. 1986. Benthic respiration measured by total carbonate production. *Limnology and Oceanography*, 31, 319-329.
- Arévalo, L., 1988. El Mar Menor como sistema forzado por el Mediterráneo. Control hidráulico y agentes fuerza. *Boletín del Instituto español de Oceanografía*, 5, 63-96.
- Arp, D.J., Stein, L.Y., 2003. Metabolism of inorganic N compounds by ammonia-oxidizing bacteria. *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology*, 38, 471-495.
- Atekwana, E. A., Tedesco, L. P., Jackson, L. R., 2003. Dissolved inorganic carbon (DIC) and hydrologic mixing in a subtropical riverine estuary, southwest Florida, USA. *Estuaries*, 26, 1391-1400.
- Baird, C., 2001. *Química ambiental*. Reverté. 501p.
- Ballester, R., 1985. Biomasa, estacionalidad y distribución de tres macrófitos: *Ruppia cirrhosa*, *Cymodocea nodosa* y *Caulerpa prolifera* en el Mar Menor (Murcia, SE de España). *In Anales de Biología*, 4, 31-36.
- Bange, H. W., 2006. Nitrous oxide and methane in European coastal waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 70, 361-374.
- Bange, H. W., 2008. *Gaseous nitrogen compounds (NO, N₂O, N₂, NH₃) in the ocean*. En: Nitrogen in the Marine Environment (D.G. Capone, D.A. Bronk, M.R. Mulholland, E.J. Carpenter, Ed.) Elsevier Press, Amsterdam, 51-94.
- Bange, H.W., Rapsomanikis, S., Andreae, M.O., 1996. The Aegean Sea as a source of atmospheric nitrous oxide and methane. *Marine Chemistry*, 53, 41-49.
- Belando, M.D., Bernardeau-Esteller, J., García-Muñoz, R., Ramos-Segura, A., Santos-Echeandía, J., García-Moreno, P., Carreño, F., Ruiz, J.M., 2017. Evaluación del estado de conservación de las praderas de *Cymodocea nodosa* en la laguna costera del Mar Menor. 2014-2016. *Informe del Instituto Español de Oceanografía y la Asociación de Naturalistas del Sureste*. Murcia. 157p.
- Berelson, W.M., Reggie, D., Longmore, A., Kilgore, T., Nicholson, G., Skyring, G., 1998. Benthic nutrient recycling in Port Phillip Bay, Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 46, 917-934.
- Borges, A., Abril, G., 2011. 5.04-Carbon dioxide and methane dynamics in estuaries. *Treatise on Estuarine and Coastal Science*, 5, 119-161.
- Broecker, W.S., 1991. The great ocean conveyor. *Oceanography*, 4, 79-89.
- Broecker, W.S., Peng, T., H., 1974. Gas exchange rates between air and sea. *Tellus*, 26, 21-35.
- Burdige, D. J., Komada, T., 2011. Anaerobic oxidation of methane and the stoichiometry of remineralization processes in continental margin sediments. *Limnology and Oceanography*, 56, 1781-1796.
- Burgos M., Ortega, T., Forja, J.M., 2018b. Carbon Dioxide and Methane Dynamics in Three Coastal Systems of Cadiz Bay (SW Spain). *Estuaries and Coast*, 41, 1069-1088.
- Burgos, M., Ortega, T., Bohorquez, J., Corzo, A., Rabouille, C., Forja, J.M., 2018a. Seasonal variation of early diagenesis and greenhouse gas production in coastal sediments of Cadiz Bay: Influence of anthropogenic activities. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 200, 99-115.
- Burgos, M., Sierra, A., Ortega, T., Forja, J. M., 2015. Anthropogenic effects on greenhouse gas (CH₄ and N₂O) emissions in the Guadalete River Estuary (SW Spain). *Science of the Total Environment*, 503, 179-189.
- Cai, W. J., 2011. Estuarine and coastal ocean carbon paradox: CO₂ sinks or sites of terrestrial carbon incineration? *Annual Review of Marine Science*, 3, 123-145.

- Cai, W.J., Sayles, F.L., 1996. Oxygen penetration depths and fluxes in marine sediments. *Marine Chemistry*, 52, 123–131.
- Call, M., Maher, D.R., Santos, I.R., Ruiz-Halpern, S., Mangion, P., Sanders, C.J., Erler, D.V., Oakes, J.M., Rosentreter, J., Murray, R., Eyre, B.D., 2015. Spatial and temporal variability of carbon dioxide and methane fluxes over semi-diurnal and spring–neap–spring timescales in a mangrove creek. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 150, 211–225.
- Canfield. D.E.. Thamdrup. B.. Hassen. J.W.. 1993. The anaerobic degradation of organic matter in danish coastal sediments: iron reduction. manganese reduction. and sulphate reduction. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 57. 3867-3883.
- Capone, D., Kiene, R., 1988. Comparison of microbial dynamics in marine and freshwater sediments: Contrasts in anaerobic carbon catabolism. *Limnology and Oceanography*, 33, 725-749.
- Cotovicz, L.C., Knoppers, B.A., Brandini, N., Costa Santos, S.J., Abril, G., 2015. A large CO₂ sink enhanced by eutrophication in a tropical coastal embayment (Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil). *Biogeosciences*, 12, 6125–6146.
- Cotovicz, L.C., Knoppers, B.A., Brandini, N., Poirier, D., Costa Santos, S.J., Abril, G., 2016. Spatio-temporal variability of methane (CH₄) concentrations and diffusive fluxes from a tropical coastal embayment surrounded by a large urban area (Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil). *Limnology and Oceanography*, 61, 238–252.
- Cruzen, P.J., 1970. The influence of nitrogen oxides on the atmospheric ozone content. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 96, 320-325.
- Culkin F., Cox, R.A., 1966. Sodium, potassium, magnesium, calcium and strontium in seawater. In *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts*, 13, 789–804.
- De Andrés, M., Barragán, J.M., 2016. Desarrollo Urbano en el Litoral a Escala Mundial. Método de Estudio para su Cuantificación. *Revista de Estudios Andaluces*, 33, 64-83.
- De Angelis, M.A., Lee, C., 1994. Methane production during zooplankton grazing on marine phytoplankton. *Limnology and Oceanography*, 39, 1298-1308.
- De la Paz, M., Huertas, I.E., Flecha, S., Ríos, A.F., Pérez, F.F., 2015. Nitrous oxide and methane in Atlantic and Mediterranean waters in the Strait of Gibraltar: air-sea fluxes and inter-basin exchange. *Progress in Oceanography*, 138, 18–31.
- Dickson, A. G., Sabine, C. L., Christian, J. R., 2007. *Guide to best practices for ocean CO₂ measurements*. North Pacific Marine Science Organization.
- Dickson, A.G., 1981. An exact definition of total alkalinity and a procedure for the estimation of alkalinity and total inorganic carbon from titration data. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 28, 609-623.
- Dickson, A.G., Wesolowski, D.J., Palmer, D.A., Mesmer, R.E., 1990. Dissociation constant of bisulfate ion in aqueous sodium chloride solutions to 250. degree. C. *Journal of Physical Chemistry*, 94, 7978-7985.
- Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. *Diario oficial de la Unión Europea*, 22 de diciembre 2000, pp. 1-73. Ref. 32000L0060.
- Directiva 91/271/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1991 sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas. *Diario oficial de la Unión Europea*, 30 mayo de 1991, pp. 40-52. Ref. 31991L0271.
- Directiva 91/676/ECC del Consejo, de 12 de diciembre de 1991, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura. *Diario oficial de la Unión Europea*, 31 diciembre de 1991, pp. 1-8. Ref. 31991L0676.
- Dollar. S.J.. Smith. S.V.. Vink. S.M.. Obrebski. S.. Hollibaugh. J.T.. 1991. Annual cycle of benthic nutrient fluxes in Tomales Bay. California. and contribution of the benthos to total ecosystem metabolism. *Marine Ecology Progress Series*. 79. 115-125.
- Duarte, C. M., Hendriks, I. E., Moore, T. S., Olsen, Y.S., Steckbauer, A., Ramajo, L., McCulloch, M., 2013. Is ocean acidification an open-ocean syndrome? Understanding anthropogenic impacts on seawater pH. *Estuaries and Coasts*, 36, 221-236.

- Ferrón, S., 2009. Flujos verticales de gases con efecto invernadero en sistemas litorales: producción bentónica y emisiones a la atmósfera. Tesis doctoral, Universidad de Cádiz. 246 pp.
- Ferrón, S., Ortega, T., Forja, J.M., 2010. Nitrous oxide distribution in the north-eastern shelf of the Gulf of Cadiz (SW Iberian Peninsula). *Marine Chemistry*, 119, 22-32.
- Ferrón, S., Ortega, T., Gómez-Parra, A., Forja, J.M., 2007. Seasonal study of dissolved CH₄, CO₂ and N₂O in a shallow tidal system of the bay of Cádiz (SW Spain). *Journal of Marine Systems*, 66, 244-257.
- Forja, J.M., Blasco, J., Gómez-Parra, A., 1994. Spatial and seasonal variations of "in situ" benthic fluxes in the Bay of Cadiz (SW Spain). *Estuarine Coastal and Shelf Sciences*, 39, 127-141.
- Forja, J.M., Gómez-Parra, A., 1998. Measuring nutrient fluxes across the sediment-water interface using benthic chambers. *Marine Ecology Progress Series*, 164, 95-105.
- Forja, J.M., Ortega, T., DelValls, T.A., Gómez-Parra, A., 2004. Benthic fluxes of inorganic carbon in shallow coastal ecosystems of the Iberian Peninsula. *Marine Chemistry*, 85, 141-156.
- Fraile-Nuez, E., Machín, F., Santa-Casiano, J.M., 2017. Estudio oceanográfico integral de alta resolución de la laguna costera del Mar Menor, Murcia. *Campaña MM1116*.
- Froelich, P., Klinkhammer, G.P., Bender, M.L., Luedtke, N.A., Heath, G.R., Cullen, D., Dauphin, P., Hammond, D., Hartman, B., Maynard, V., 1979. Early oxidation of organic matter in pelagic sediments of the eastern equatorial Atlantic: suboxic diagenesis. *Geochimica et cosmochimica acta*, 43, 1075-1090.
- Gamito, S., Gilabert, J., Marcos, C., Pérez-Ruzafa, A., 2005. Effects of Changing Environmental Conditions on Lagoon Ecology. En: *Coastal Lagoons: Ecosystem Processes and Modeling for Sustainable Use and Development* (Gönenc, I.E., Wolflin, J.P., Eds), CRC Press, Boca Raton, Florida, 193-229.
- González Dávila, M., 2010. Cambios en el sistema del dióxido de carbono en la región este del océano Atlántico. *Proyecto de investigación CARBATLAN*.
- Goyet C., Brewer P.G., 1993. Biochemical Properties of the Oceanic Carbon Cycle. En: *Modelling Oceanic Climate Interactions. NATO ASI Series (Series I: Global Environmental Change)*, vol 11 (Willebrand J., Anderson D.L.T., Eds.) Springer, Berlin, Heidelberg, 271-297.
- Grasshoff, K., Determination of oxygen. En: *Methods of Seawater Analysis* (K. Grasshoff, K., Ehrhardt, M., Kremling, K., Eds.) Verlag Chermie, Weinheim, 61-72.
- Grasshoff, K., Ehrhardt, M., 1983. Automated chemical analysis. *Methods of seawater analysis*. Verlag. 263-289.
- Hargrave, B.T., Phillips, G.A., 1981. Annual in situ carbon dioxide and oxygen flux across a subtidal marine sediment. *Estuarine Coastal Shelf Science*. 12. 725-737.
- Hashimoto, S., Gojo, K., Hikota, S., Sendai, N., y Otsuki, A., 1999. Nitrous oxide emissions from coastal waters in Tokyo Bay. *Marine Environmental Research*, 47, 213-223.
- IPCC [Intergovernmental Panel of Climate Change], 2013. (Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M., Eds.) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the IPCC*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535p.
- Jahnke, R.A., Jahnke, D.B., 2000. Rates of C, N, P and Si recycling and denitrification at the US Mid-Atlantic continental slope depocenter. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 47, 1405-1428.
- Jassal, R. S., Black, T.A., Roy, R., y Ethier, G., 2011. Effect of nitrogen fertilization on soil CH₄ and N₂O fluxes, and soil and bole respiration. *Geoderma*, 162, 182-186.
- Jiang, L.Q, Cai, W.J., Wang, Y., 2008. A comparative study of carbon dioxide degassing in river- and marine-dominated estuaries. *Limnology and Oceanography*, 53, 2603-2615.
- Jørgensen, B. B., 1996. Eutrophication in coastal marine ecosystems. *Coastal and estuarine studies*.
- Jørgensen, B.B., 1982. Mineralization of organic matter in the sea bed—the role of sulfate reduction. *Nature*, 296, 643-645.

- Judd, A. G., Hovland, M., Dimitrov, L. I., Garcia Gil, S., Jukes, V., 2002. The geological methane Budget at continental margins and its influence on climate change. *Geofluids*, 2, 109-126.
- Karl, D.M., Tilbrook, B.D., 1994. Production and transport of methane in oceanic particulate organic matter. *Nature*, 368, 732.
- Kikinger, R., 1992. *Cotylorhiza tuberculata* (Cnidaria: Scyphozoa)-Life history of a stationary population. *Marine Ecology*, 13, 333-362.
- Kirschke, S., Bousquet, P., Ciais, P., Saunoy, M., Canadell, J.G., Dlugokencky, E.J., Bergamaschi, P., Bergmann, D., Blake, D.R., Bruhwiler, L., 2013. Three decades of global methane sources and sinks. *Nature Geoscience*, 6, 813-823.
- Kristensen, E., Flindt, M.R., Ulomi, S., Borges, A.V., Abril, G., Bouillon. S., 2008. Emission of CO₂ and CH₄ to the atmosphere by sediments and open waters in two Tanzanian mangrove forests. *Marine Ecology Progress Series*, 370, 53-67.
- Laurelle, G.G., Dürr, H.H., Slomp, C.P., Borges, A.V., 2010. Evaluation of sinks and sources of CO₂ in the global ocean using spatially-explicit typology of estuaries and shelves. *Geophysical Research Letters*, 37, 15.
- Le Quéré, C., Raupach M.R., Canadell J.G., Marland G., et al., 2009. Trends in the sources and sinks of carbon dioxide. *Nature geoscience*, 2, 831.
- Lee, K., Kim, T.W., Byrne, R.H., Millero, F.J., Feely, R.A., Liu, Y.M., 2010. The universal ratio of boron to chlorinity for the North Pacific and North Atlantic oceans. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 74, 1801-1811.
- Lee. K.. Kim. T. W.. Byrne. R. H.. Millero. J. F.. Feely. R. A.. Liu. Y. M.. 2010. The universal ratio of boron to chlorinity for the North Pacific and North Atlantic oceans. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 74. 1801-1811.
- León, V.M, Bellido, J.M., 2016. *Mar Menor: una laguna singular y sensible. Evaluación científica de su estado*. Instituto Español de Oceanografía, Ministerio de Economía y Competitividad, 414p.
- Linto, N., Barnes, J., Ramachandran, R., J., Divia, J., Ramachandran, P., Upstill-Goddard, R.C., 2014. Carbon dioxide and methane emissions from mangrove-associated waters of the Andaman Islands, Bay of Bengal. *Estuaries and Coasts*, 37, 381-398.
- Liss, P.S., Merlivat, L., 1986. Air-Sea gas exchange rates: Introduction and synthesis. En: *The Role of air-sea exchange in geochemical cycling* (P. Buat-Menard, Ed.) Reidel, Boston, Massachusetts, 113-129.
- Lloret, J., Marín, A., Marín-Guirao, L., 2008. Is coastal lagoon eutrophication likely to be aggravated by global climate change? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 78, 403-412.
- Mackenzie, F.T., 1999. *Global biogeochemical cycles and the physical climate system*. Global Change Instruction Program, University Corporation for Atmospheric Research (UCAR), Boulder, Colorado, 75p.
- Mackenzie, F.T., Lerman, A., Andersson, A.J., 2004. Past and present of sediment and carbon biogeochemical cycling models. *Biogeosciences*, 1, 11-32.
- Magenheimer, J.F., Moore, T.R., Chmura, G. L., Daoust, R.J., 1996. Methane and carbon dioxide flux from a macrotidal salt marsh, Bay of Fundy, New Brunswick. *Estuaries*, 19, 139-145.
- Maher, D.T., Cowley, K., Santos, I.R., Macklin, P., Eyre, B.D., 2015. Methane and carbon dioxide dynamics in a subtropical estuary over a diel cycle: insights from automated in situ radioactive and stable isotope measurements. *Marine Chemistry*, 168, 69-79.
- Martínez-Alvarez, V., Gallego-Elvira, B., Maestre-Valero, J.F., Tanguy, M., 2011. Simultaneous solution for water, heat and salt balances in a Mediterranean coastal lagoon (Mar Menor, Spain). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 91, 250-261.
- Middelburg, J.J., Nieuwenhuize, J., Inversen, N., Hogh, N., De Wilde, H., Helder, W., Seifert, R., Christof, O., 2002. Methane distribution in European tidal estuaries. *Biogeochemistry*, 59, 95-119.
- Millero, F.J., 2011. *Chemical oceanography*. CRC press.

- Millero, F.J., Graham, T. B., Huang, F., Bustos-Serrano, H., and Pierrot, D., 2006. Dissociation constants of carbonic acid in seawater as a function of salinity and temperature. *Marine Chemistry*, 100, 80-94.
- Moreno-González, R., Campillo, J. A., García, V., León, V.M., 2013. Seasonal input of regulated and emerging organic pollutants through surface watercourses to a Mediterranean coastal lagoon. *Chemosphere*, 92, 247-257.
- Moreno-González, R., León, V.M., 2017. Presence and distribution of current-use pesticides in surface marine sediments from a Mediterranean coastal lagoon (SE Spain). *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 8033-8048.
- Mucci, A., 1983. The solubility of calcite and aragonite in seawater at various salinities, temperatures and one atmosphere total pressure. *American Journal of Science*, 283, 780-799.
- Muduli, P.R., Kanuri, V.V., Robin, R.S., Kumar, B.C., Patra, S., Raman, A.V., Subramanian, B.R., 2012. Spatio-temporal variation of CO₂ emission from Chilika Lake, a tropical coastal lagoon, on the east coast of India. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 113, 305-313.
- Muduli, P.R., Kanuri, V.V., Robin, R.S., Kumar, B.C., Patra, S., Raman, A.V., Rao, G.N., Subramanian, B. R., 2013. Distribution of dissolved inorganic carbon and net ecosystem production in a tropical brackish water lagoon, India. *Continental Shelf Research*, 64, 75-87.
- Müller, D., Bange, H.W., Warneke, T., Rixen, T., Müller, M., Mujahid, A., Notholt, J., 2016b. Nitrous oxide and methane in two tropical estuaries in a peat-dominated region of northwestern Borneo. *Biogeosciences*, 13, 2415-2428.
- Müller, D., Warneke, T., Rixen, T., Müller, M., Mujahid, A., Bange, H.W., Notholt, J., 2016a. Fate of terrestrial organic carbon and associated CO₂ and CO emissions from two Southeast Asian estuaries. *Biogeosciences*, 13, 691-705.
- Murray, R.H., Erler, D.V., Eyre, B.D., 2015. Nitrous oxide fluxes in estuarine environments: response to global change. *Global change biology*, 21, 3219-3245.
- Nakamoto, K., 1997. *Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Chemistry. Part A: Theory and Applications in Inorganic Chemistry*. 419p.
- NIST [National Institute of Standards and Technology], US Department of Commerce, s.f. Evaluated Infrared Reference Spectra. *Chemistry webbook*. <http://webbook.nist.gov>.
- NOAA [National Oceanic & Atmospheric Administration. Earth System Research Laboratory, Global Monitoring Division], <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/aggi.html>
- Noble, I., Scholes, R.J., 2001. Sinks and the Kyoto protocol. *Climate policy*, 1, 5-25.
- Oktyabrskiy, V.P., 2016. A new opinion of the greenhouse effect. *St. Petersburg Polytechnical University Journal: Physics and mathematics*, 2, 124-126.
- OMM [Organización Meteorológica Mundial], 2011. OMM Boletín sobre los gases de efecto invernadero. Estado de los gases de efecto invernadero en la atmósfera según las observaciones mundiales realizadas en 2010. Organización Meteorológica Mundial https://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ghg/documents/GHGBulletin_7_es.pdf
- OMM [Organización Meteorológica Mundial], 2018. Boletín de la OMM sobre los gases de efecto invernadero. Estado de los gases de efecto invernadero en la atmósfera según las observaciones mundiales realizadas en 2017. Organización Meteorológica Mundial. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5463
- Ortega, T., Ponce, R., Forja, J.M., Gómez-Parra, A., 2008. Benthic fluxes of dissolved inorganic carbon in the Tinto-Odiel system (SW of Spain). *Continental Shelf Research*, 28, 458-469.
- Ortega, T., Ponce, R., Forja, J., Gómez-Parra, A. 2005. Fluxes of dissolved inorganic carbon in three estuarine systems of the Cantabrian Sea (North of Spain). *Journal of Marine System*. 53. 125-142.
- Park, K., 1969. Oceanic CO₂ system: an evaluation of ten methods of investigation. *Limnology and Oceanography*, 14, 179-186.

- Pedraza, A. C., Díaz, A. R., y Soto, I. E., 2015. Cambios paisajísticos y efectos medioambientales debidos a la agricultura intensiva en la Comarca de Campo de Cartagena-Mar Menor (Murcia). *Estudios geográficos*, 76, 473-498.
- Pérez-Ruzafa, A., Marcos, C., Gilbert, J., 2005. The ecology of the Mar Menor coastal lagoon: a fast changing ecosystem under human pressure. En: *Coastal Lagoons: Ecosystem Processes and Modelling for Sustainable Use and Development* (J.E.Gonenc, J. Wolflin, Eds.) CRC Press, Boca Raton, 392-422.
- Pierrot, D., Lewis, E., Wallace, DWR., 2006. MS Excel Program Developed for CO₂ System Calculations. ORNL/CDIAC-105a. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tennessee.
- Rao, G.D., Rao, V.D., Sarma, V.V.S.S., 2013. Distribution and air-sea exchange of nitrous oxide in the coastal Bay of Bengal during peak discharge period (southwest monsoon). *Marine Chemistry*, 155, 1-9.
- Redfield, A.C., Ketchum, B.H. Richards, F.A., 1963. The influence of organisms on the composition of sea-water. *The Sea*, 2, 26-77.
- Reeburgh, W. S., 2007. Oceanic methane biogeochemistry. *Chemical reviews*, 107, 486-513.
- Ribas-Ribas, M., Hernández-Ayón, J. M., Camacho-Ibar, V. F., Cabello-Pasini, A., Mejía-Trejo, A., Durazo, R., Galindo-Bect, S., Souza, A.J., Forja, J.M., Siqueiros-Valencia, A., 2011. Effects of upwelling, tides and biological processes on the inorganic carbon system of a coastal lagoon in Baja California. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 95, 367-376.
- Sadat-Noori, M., Santos, I.R., Sanders, C.J., Sanders, L.M., Maher, D.T., 2015. Groundwater discharge into an estuary using spatially distributed radon time series and radium isotopes. *Journal of Hydrology*, 528, 703-719.
- Sarmiento, J.L., Gruber, N., 2006. *Ocean Biogeochemical Dynamics*. Princeton University Press, 526 p.
- Seitzinger, S.P., Kroeze, C., Styles, R.V., 2000. Global distribution of N₂O emissions from aquatic systems: natural emissions and anthropogenic effects. *Chemosphere: Global Change Science*, 2, 267-279.
- Sherrill, C.D., 2001. A Brief Review of Elementary Quantum Chemistry. *Georgia Institute of Technology, School of Chemistry and Biochemistry*.
- Sierra, A., Jiménez-López, D., Ortega, T., Ponce, R., Bellanco, M.J., Sánchez-Leal, R., Gómez-Parra, A., Forja, J., 2017a. Distribution of N₂O in the eastern shelf of the Gulf of Cadiz (SW Iberian Peninsula). *Science of the Total Environment*, 593, 796-808.
- Sierra, A., Jiménez-López, D., Ortega, T., Ponce, R., Bellanco, M.J., Sánchez-Leal, R., Gómez-Parra, A., Forja, J., 2017b. Spatial and seasonal variability of CH₄ in the eastern Gulf of Cadiz (SW Iberian Peninsula). *Science of the Total Environment*, 590, 695-707.
- Sweerts, J.P.R.A., Baer-Gilissen, M.J., Cornelese, A.A., 1991. Oxygen-consuming processes at the profundal and litoral sediment-water interface of a small meso-eutrophic lake (Lake Vechten, The Netherlands). *Limnology and Oceanography*, 36, 1124-1133.
- Takahashi, T., 1989. The carbon dioxide puzzle. *Oceanus*, 32, 22-29.
- Thamdrup, B., Canfield, D.E., 1996. Pathways of carbon oxidation in continental margin sediments of central Chile. *Limnology and Oceanography*, 41, 1629-1650.
- Traverso-Soto, J. M., Lara-Martín, P. A., González-Mazo, E., León, V. M., 2015. Distribution of anionic and nonionic surfactants in a sewage-impacted Mediterranean coastal lagoon: Inputs and seasonal variations. *Science of the Total Environment*, 503, 87-96.
- Velasco, A.M., Pérez-Ruzafa, A., Martínez-Paz, J.M., Marcos, C., 2018. Ecosystem services and main environmental risks in a coastal lagoon (Mar Menor, Murcia, SE Spain). *Journal for Nature Conservation*, 43, 180-189.
- Walker, J.T., Stow, C.A., Geron, C., 2010. Nitrous oxide emissions from the Gulf of Mexico hypoxic zone. *Environmental science & technology*, 44, 1617-1623.
- Wanninkhof, R., Feely, R.A., 1998. fCO₂ dynamics in the Atlantic, South Pacific and South Indian oceans. *Marine Chemistry*, 60, 15-31.

- Weisenburg, D.A., Guinasso Jr, N.L., 1979. Equilibrium solubilities of methane, carbon monoxide, and hydrogen in water and sea water. *Journal of Chemical and Engineering Data*, 24, 356-360.
- Weiss, R. F., Price, B.A., 1980. Nitrous oxide solubility in water and seawater. *Marine Chemistry*, 8, 347-359.
- Weiss, R.F., 1970. The solubility of nitrogen, oxygen and argon in water and seawater. In *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts*, 17, 721-735.
- Weiss, R.F., 1974. Carbon dioxide in water and seawater: the solubility of a non-ideal gas. *Marine Chemistry*, 2, 203-215.
- Wollast, R., 1998. Evaluation and comparison of the global carbon cycle in the coastal zone and in the open ocean. *The Sea*, 10, 213-252