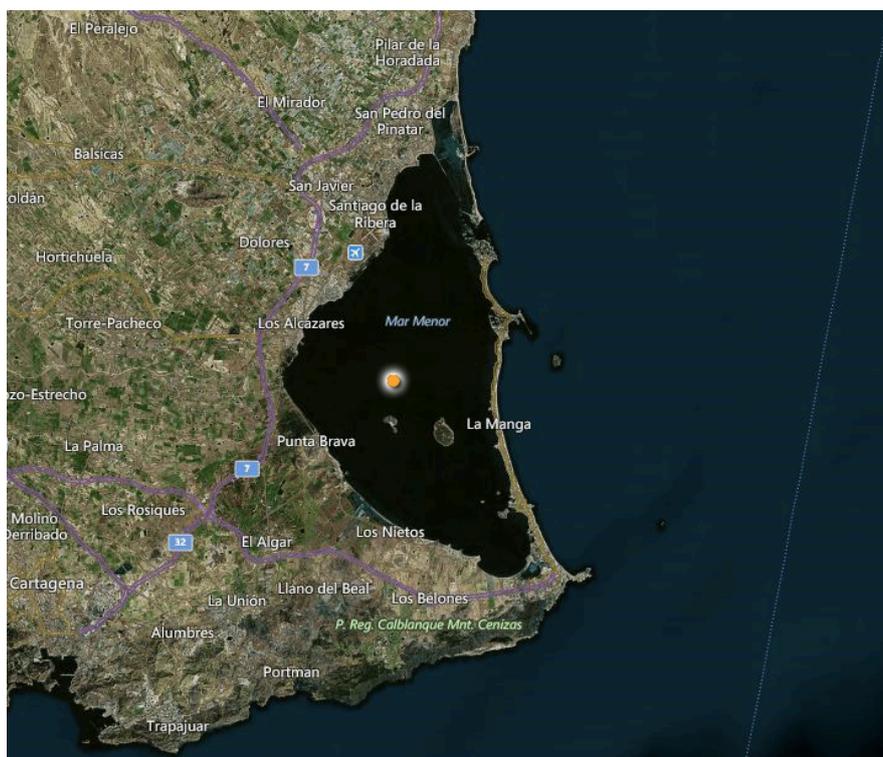


ESTUDIO OCEANOGRÁFICO INTEGRAL DE ALTA RESOLUCIÓN DE LA LAGUNA COSTERA DEL MAR MENOR, MURCIA

Informe Final (noviembre 2016 - septiembre 2017)



Frailé-Nuez, E.,¹ Machín, F.,² Santana-Casiano, J. M.,³ González-Dávila, M.,³ Domínguez-Yanes, J. F.,⁴ Mercado, J.M.,⁵ Cortes, D.,⁵ Yebra, L.,⁵ Gómez-Jakobsen, F.,⁵ García-Gómez, C.,⁵ Valcárcel, N.,⁵ Gómez-Ballesteros, M.,⁶ Santos-Echeandía, J.,⁷ García-Muñoz, R.,⁷ Ramos-Segura, A.,⁷ Bernardeau-Esteller, J.,⁷ Belando-Torrentes, M.D.,⁷ Garrido-Faustino, S.,⁷ Conde-Caño, R.M.,⁷ Ruíz-Fernández, J. M.⁷

¹ Instituto Español de Oceanografía, Centro Oceanográfico de Canarias. ² Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Departamento de Física. ³ Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, QUIMA-IOCAG. ⁴ DC Servicios Ambientales, S.L. ⁵ Instituto Español de Oceanografía, Centro Oceanográfico de Málaga. ⁶ Instituto Español de Oceanografía, Centro Oceanográfico de Madrid. ⁷ Instituto Español de Oceanografía, Centro Oceanográfico de Murcia.

ANTECEDENTES	4
ZONA DE ESTUDIO	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL PROYECTO	7
METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO:	8
OBJETIVO 1. ESTUDIO Y CUANTIFICACIÓN DE LA EVOLUCIÓN ESTACIONAL Y ANUAL DE LOS PROCESOS FÍSICO-QUÍMICO-BIOLÓGICOS RELEVANTES EN TODA LA COLUMNA DE AGUA.	8
TAREA 1.A.- ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD ESTACIONAL Y ANUAL DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS (TEMPERATURA, SALINIDAD, TURBIDEZ, ETC.).	8
TAREA 1.B.- ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD ESTACIONAL Y ANUAL DEL SISTEMA DEL CARBONO (PH, ALCALINIDAD TOTAL, CARBONO INORGÁNICO TOTAL Y PCO ₂).....	10
TAREA 1.C.- ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD ESTACIONAL Y ANUAL DEL CONTENIDO DE OXÍGENO DISUELTOS..	10
TAREA 1.D.- ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD ESTACIONAL Y ANUAL DEL CONTENIDO DE NUTRIENTES INORGÁNICOS.	11
TAREA 1.E.- ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD ESTACIONAL Y ANUAL DE PIGMENTOS FOTOSINTÉTICOS.	12
TAREA 1.F.- ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD ESTACIONAL Y ANUAL DEL CONTENIDO DE METALES DISUELTOS.	12
OBJETIVO 2. ESTUDIO Y CUANTIFICACIÓN DE LA EVOLUCIÓN ESTACIONAL Y ANUAL DE LOS CAMPOS DINÁMICOS DEL MAR MENOR, INTERCAMBIO DE AGUA CON EL MAR MEDITERRÁNEO Y TASAS DE RENOVACIÓN DE LAS MASAS DE AGUA.	13
TAREA 2.A.- ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD ESTACIONAL Y ANUAL DE LOS CAMPOS DE CORRIENTE.	13
TAREA 2.B.- ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD ESTACIONAL DE LOS INTERCAMBIOS DE AGUA CON EL MAR MEDITERRÁNEO: TIEMPOS DE RENOVACIÓN.	14
OBJETIVO 3. ESTUDIO Y CUANTIFICACIÓN DE LA EVOLUCIÓN ESTACIONAL Y ANUAL DE LOS PROCESOS COLMATACIÓN/PROFUNDIZACIÓN DE LA LAGUNA DEL MAR MENOR: BATIMETRÍAS CON ADCP.....	16
TAREA 3.A.- ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE LA BATIMETRÍA DEL MAR MENOR: PROCESOS DE COLMATACIÓN/PROFUNDIZACIÓN.....	16
TRABAJOS REALIZADOS:	18
ESTACIONES HIDROGRÁFICAS (CTD):.....	18
CAMPO DE CORRIENTES LAGUNAR:	22
CAMPO DE CORRIENTES EN EL CANAL DE EL ESTACIO:	24
BATIMETRÍA:.....	25
MUESTREO DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTOS:	25
MUESTREO DEL SISTEMA DEL DIÓXIDO DE CARBONO:	26
MUESTREO DE NUTRIENTES INORGÁNICOS Y CLOROFILA:.....	27
MUESTREO DE METALES EN AGUA SUPERFICIAL:	28
ANÁLISIS DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES DISUELTOS:	28
RESULTADOS Y DISCUSIÓN:	30
DISTRIBUCIÓN TÉRMICA DE LA LAGUNA:.....	30
DISTRIBUCIÓN HALINA DE LA LAGUNA:	39
DISTRIBUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTOS:	46
CAMPO DE TURBIDEZ:.....	54
DISTRIBUCIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL SISTEMA DEL DIÓXIDO DE CARBONO:	61
DISTRIBUCIÓN DE LOS NUTRIENTES INORGÁNICOS:.....	74
DISTRIBUCIÓN DE LA CLOROFILA A:.....	92
DISTRIBUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES:	97
BATIMETRÍA DEL MAR MENOR MEDIANTE ADCP:	99
CARACTERIZACIÓN DEL CAMPO PROMEDIO DE LA VELOCIDAD:.....	108
TRANSPORTES DE VOLUMEN DE ENTRADA/SALIDA POR EL ESTACIO (MM1116):.....	112
TRANSPORTES DE VOLUMEN DE ENTRADA/SALIDA POR EL ESTACIO (ANCLAJE-ADCP):.....	113

TIEMPOS DE RENOVACIÓN DE LA LAGUNA:.....	120
CONCLUSIONES:	123
PROPUESTAS PARA LA MINIMIZACIÓN DE LAS PRESIONES Y RECUPERACIÓN DEL SISTEMA	134
AGRADECIMIENTOS.....	135
LISTA DE FIGURAS	136
LISTA DE TABLAS	141
BIBLIOGRAFÍA	143

ANTECEDENTES

En julio de 2016, la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, a través del OISMA de la Consejería de Agua, Agricultura y Medio Ambiente, solicita al Instituto Español de Oceanografía (IEO), a través del Centro Oceanográfico de Murcia (COMU), asesoramiento sobre aspectos generales y específicos relacionados con el proceso de eutrofización que experimenta el Mar Menor. El IEO, entre cuyas funciones está el asesoramiento científico a las administraciones en temas relacionados con el estado y explotación de nuestros océanos y mares costeros, se encuentra estrechamente comprometido con el estudio y conservación del Mar Menor a través de su COMU. De acuerdo con el estatus legítimo del IEO y la solicitud realizada por la Consejería, el IEO propone la realización, conjuntamente con investigadores de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria y técnicos de la empresa DC Servicios Ambientales S.L., un Estudio Oceanográfico Integral de alta resolución de la laguna costera del Mar Menor que permita obtener información precisa que contribuya de forma significativa al conocimiento científico básico y transversal sobre el funcionamiento hidrodinámico e hidrográfico de la laguna, así como la naturaleza geológica y biológica de sus fondos. Si bien los estudios realizados en esta materia son escasos y dispersos, no existen precedentes de un estudio oceanográfico a esta escala en el Mar Menor. La ciencia básica realizada será una herramienta transversal aplicable a multitud de cuestiones y problemas específicos relacionados con la gestión del Mar Menor que puedan acontecer en un futuro cercano.

ZONA DE ESTUDIO

El Mar Menor es una laguna protegida hipersalina situada en el sudeste de España (Figura 1). Es una de las mayores lagunas costeras en la región del Mediterráneo, así como en Europa. Según la bibliografía existente, la laguna tiene una profundidad máxima de 7 m y una profundidad media de 4.5 m. Tiene una extensión de 135.5 km², el perímetro es de 74 km y el volumen total de agua de la laguna es de 610 hm³. "La Manga", un banco de arena de alrededor de 23 kilómetros de longitud, con una anchura máxima de 900 m, actúa como una barrera entre la laguna y el mar Mediterráneo. Tres canales principales de poca profundidad en el banco de arena conectan la laguna con el Mar Mediterráneo (Encañizadas, El Estacio y Marchamalo). La costa es de baja altitud, siendo las playas arenosas o rocosas. El clima en la zona es semiárido mediterráneo, con temperaturas medias anuales que van desde los 15°C a los 17°C (Martínez-Álvarez et al., 2011a)

La salinidad del Mar Menor oscila entre 42 y 47, debido fundamentalmente a la baja precipitación (<300 mm y⁻¹) y las altas tasas de evaporación. La precipitación media

anual tiene oscilaciones positivas debido a episodios tormentosos de corta duración en otoño e invierno. La evaporación media de referencia es de aproximadamente 1350 mm y^{-1} . Por lo tanto, el equilibrio hidrológico neto de la laguna alcanza déficits anuales cercanos a 1000 mm y^{-1} , que son compensados por las entradas de agua dulce y agua salada del Mediterráneo (Martínez-Álvarez et al., 2011a). La temperatura del agua de la laguna varía desde 10°C en invierno a 31°C en verano. Varios autores describen la existencia de una estratificación en toda la columna de agua, aunque este punto debe ser estudiado en detalle en el transcurso de las nuevas campañas propuestas en esta memoria.

La costa mediterránea española tiene mareas semi-diurnas de pequeña amplitud. La marea lunar en el área de estudio es de aproximadamente 0.1 m (Legos). Sin embargo, las fluctuaciones de presión diarias y el estrés del viento producen unas mareas barotrópicas con amplitudes medias diarias que oscilan entre 0.2 y 0.4 m. No obstante, la amplitud de las mareas en el interior del Mar Menor es prácticamente nula.

Los intercambios de agua están regulados por las diferencias en el nivel del mar entre la laguna, que no tiene variaciones del nivel del mar apreciables, y el Mar Mediterráneo, sometido a la dinámica de las mareas. De acuerdo con la información disponible, el tiempo medio de permanencia del agua de la laguna es de aproximadamente 1,2 años y su circulación, fundamentalmente por su poca profundidad, es debida principalmente al viento (Alvarez et al., 2007).

La cuenca del Mar Menor constituye una gran llanura sedimentaria (1200 km²) con sedimentos del Neógeno y Cuaternario que están ligeramente inclinados al Mar Menor. Los principales materiales constituyentes de esta cuenca son conglomerados, margas, areniscas, limos y arcillas, lo que resulta en una alta diversidad de suelos debido a la heterogeneidad de las condiciones geológicas. La laguna está influenciada por la cuenca a través de los flujos de aguas superficiales y subterráneas.

La calidad de sus aguas se está viendo mermada en los últimos años debido fundamentalmente al aumento de los aportes de nutrientes procedentes mayoritariamente de la agricultura y otras fuentes (García-Pintado et al., 2007; Lloret et al., 2005; Martínez-Fernández et al., 2014; Pérez-Ruzafa et al., 2005; Ruíz et al., 2017).

El aislamiento relativo del Mar Menor respecto del Mar Mediterráneo implica que las fluctuaciones estacionales de los factores ambientales son mucho más marcados en la laguna que en la costa marina (Hernández, 1994). Por ello se hace hincapié en la

OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL PROYECTO

1.- Estudio y cuantificación de la evolución estacional y anual de los procesos físico-químico-biológicos relevantes en toda la columna de agua.

- a. Estudio de la variabilidad estacional y anual de los parámetros físicos (temperatura, salinidad, turbidez, etc.).
- b. Estudio de la variabilidad estacional y anual del sistema del carbono (pH, alcalinidad total, carbono inorgánico total y pCO₂).
- c. Estudio de la variabilidad estacional y anual del contenido de oxígeno disuelto.
- d. Estudio de la variabilidad estacional y anual del contenido de nutrientes inorgánicos.
- e. Estudio de la variabilidad estacional y anual de pigmentos fotosintéticos.
- f. Estudio de la variabilidad estacional y anual del contenido de metales disueltos.

2.- Estudio y cuantificación de la evolución estacional y anual de los campos dinámicos del Mar Menor, intercambio de agua con el Mar Mediterráneo y tasas de renovación de las masas de aguas.

- a. Estudio de la variabilidad estacional y anual de los campos de corriente
- b. Estudio de la variabilidad estacional de los intercambios de agua con el Mar Mediterráneo: tiempos de renovación.

3.- Estudio y cuantificación de la evolución estacional y anual de los procesos de colmatación/profundización de la laguna del Mar Menor: Batimetrías con ADCP.

- a. Estudio de la evolución de la batimetría del Mar Menor.
- b. Estudio de la variabilidad de los procesos de colmatación/profundización de la laguna del Mar Menor.

METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO:

Objetivo 1. Estudio y cuantificación de la evolución estacional y anual de los procesos físico-químico-biológicos relevantes en toda la columna de agua.

Tarea 1.a.- Estudio de la variabilidad estacional y anual de los parámetros físicos (temperatura, salinidad, turbidez, etc.).

En esta tarea se determinará la variabilidad estacional y anual de los parámetros físicos: temperatura, salinidad, turbidez, etc., recopilados mediante un estudio de alta resolución en la laguna del Mar Menor (*Figura 2*).

Metodología: Realización de 40-42 perfiles verticales con sonda multiparamétrica en una malla regular de alta resolución espacial. Dada la singularidad del espacio a estudiar, se utilizará una resolución vertical especialmente alta, de unos 0.1-0.2 db. Los perfiles de temperatura y salinidad registrados por la sonda, serán interpolados a una malla tridimensional regular mediante técnicas de análisis objetivo que minimicen el cociente ruido/señal.

Los datos históricos, conjuntamente con aquellos tomados en las campañas propuestas en este proyecto permitirán estimar las escalas de correlación espacial característica de la zona, así como el cociente ruido/señal para los datos recién adquiridos y los históricos. Ambas estadísticas serán usadas para realizar una interpolación óptima (Bretherton et al., 1976) que permita minimizar el coeficiente ruido/señal. Las escalas espurias en el espacio de Fourier que aparecen como consecuencia del ajuste a una función de correlación gaussiana serán eliminadas siguiendo el filtrado aplicado por Gómis and Pedder (2005).

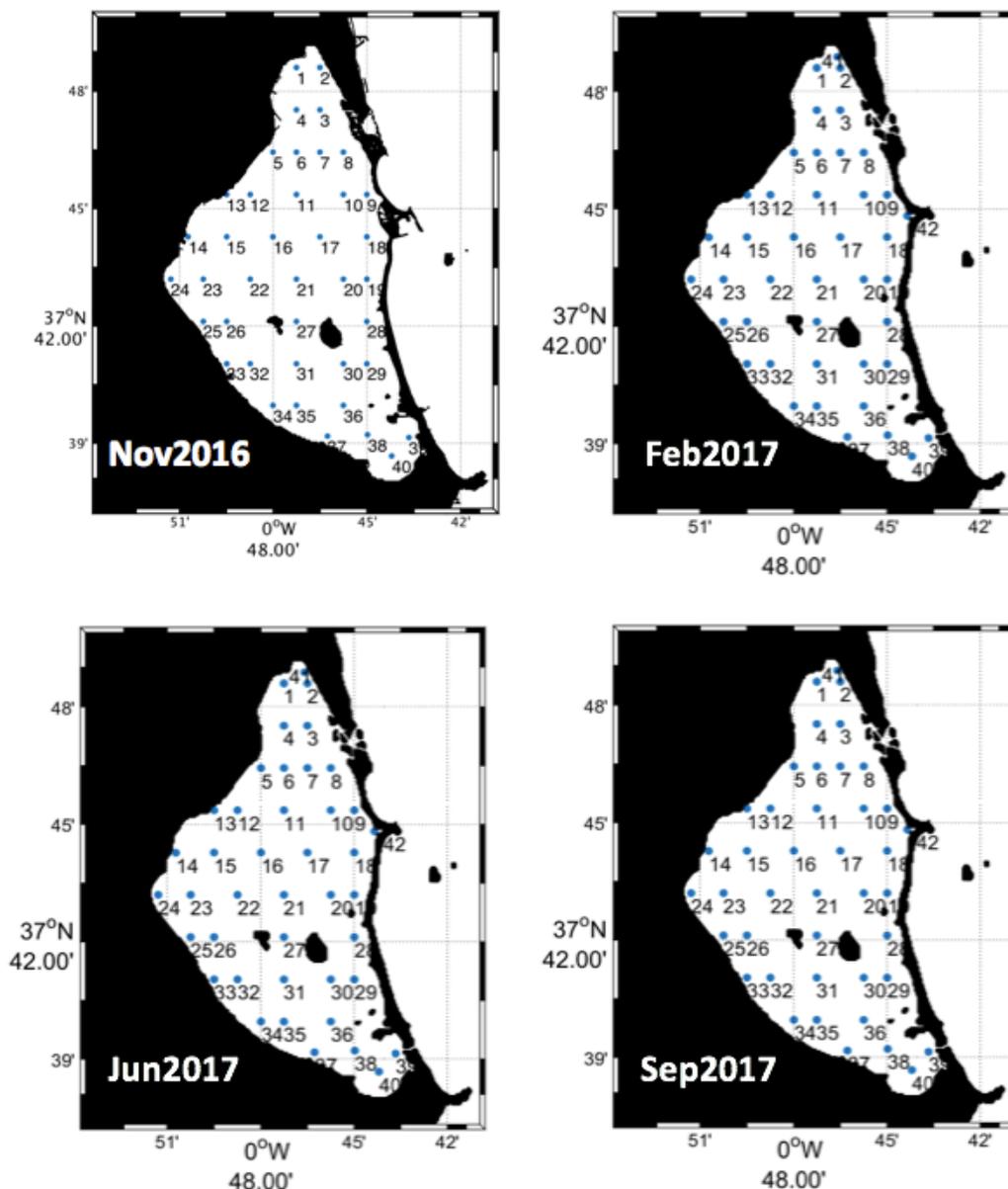


Figura 2.- Mapa de estaciones con CTD (puntos negros) y trayectos con ADCP (líneas continuas) sobre el Mar Menor.

Centro ejecutor: IEO-Canarias

Investigadores responsables: Dr. Eugenio Fraile Nuez (IEO-Canarias, responsable de tarea, recopilación de datos hidrográficos, procesado e interpretación de resultados), Dr. Juan Manuel Ruiz Fernández (CO-Murcia, adquisición e interpretación de resultados), Dr. Francisco Machín Jiménez (ULPGC, procesado e interpretación de resultados), D. Francisco Domínguez Yanes (DC Servicios Ambientales, adquisición de datos).

Tarea 1.b.- Estudio de la variabilidad estacional y anual del sistema del carbono (pH, alcalinidad total, carbono inorgánico total y pCO₂).

Se estudiará la variabilidad espacio-temporal del sistema del dióxido de carbono oceánico, pH, alcalinidad total, contenido total de carbono inorgánico disuelto y cálculo teórico de la presión parcial de dióxido de carbono.

Metodología: El pH en escala total, se mide potenciométricamente controlando la temperatura electrodo combinado de vidrio ORION. Para la calibración se utiliza disoluciones de TRIS buffer de agua de mar sintética (Santana-Casiano et al., 2007). La Alcalinidad total (A_T) y el carbono inorgánico total disuelto (C_T) se determinan con un sistema potenciométrico y coulombimétrico, respectivamente, sistema VINDTA. Las calibraciones se realizan haciendo uso de material certificado de referencia, CRM referencia (González-Dávila et al., 2007) . Para la campaña MM1116 se ha utilizado el batch 137. La presión parcial del dióxido de carbono (fCO_2) y los flujos de CO₂ atmósfera océano y su evolución temporal se calculan con los datos de A_T y C_T de las muestras de las campañas oceanográficas, utilizando el programa CO2sys pudiendo caracterizar variaciones de corta y larga escala.

Se usará un sensor multiparamétrico HI98194 para registrar en continuo T, S y el pH en las estaciones de muestreo en la columna de agua hasta 3m de profundidad.

Centro ejecutor: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC)

Investigadores responsables: Dra. J. Magdalena Santana-Casiano y Dr. Melchor González-Dávila (IOCAG-QUIMA-ULPGC, responsables de la tarea, recopilación de datos, procesado e interpretación de resultados)

Tarea 1.c.- Estudio de la variabilidad estacional y anual del contenido de oxígeno disuelto.

El Mar Menor es un ecosistema cerrado y muy sensible que soporta contaminación puntual de las aguas por efluentes urbanos, o difusa, por la contaminación agraria o incluso atmosférica, con aportes elevados de nutrientes inorgánicos. Por todo ello, el Mar Menor es un ecosistema con alta tendencia a la eutrofización (ecosistema enriquecido de nutrientes que desarrolla un aumento significativo de la biomasa de productores primarios y empobrecimiento de la biodiversidad con posibilidad de zonas de anoxia, falta total de oxígeno disuelto). Esta última variable es fundamental para la vida del ecosistema del Mar Menor, por lo que el estudio de la variabilidad estacional y anual del contenido de oxígeno disuelto en la laguna en toda la columna de agua es una tarea fundamental.

Metodología: La concentración de oxígeno disuelto se medirá mediante la valoración potenciométrica de las muestras utilizando un sistema de valoración Methrom según el método de (Winkler and Whaley, 1888), con modificaciones posteriores (Carpenter, 1965; Carret and Carpenter, 1966; Hansen, 1999).

Centro ejecutor: IEO-Canarias y DC Servicios Ambientales

Investigadores responsables: Dr. Eugenio Fraile Nuez (IEO-Canarias, responsable de tarea, recopilación de datos hidrográficos, procesado e interpretación de resultados), Dr. Juan Manuel Ruiz Fernández (CO-Murcia, interpretación de resultados), D. Francisco Domínguez Yanes (DC Servicios Ambientales, adquisición y procesado de datos).

Tarea 1.d.- Estudio de la variabilidad estacional y anual del contenido de nutrientes inorgánicos.

Como ya hemos dicho en el apartado anterior, la zona de estudio soporta contaminación puntual de las aguas por efluentes urbanos, o difusa, por la contaminación agraria o incluso atmosférica, con aportes elevados de nutrientes inorgánicos. En el medio marino, estos compuestos son factores que controlan el crecimiento de los productores primarios, afectando drásticamente al ecosistema. Por ello, la concentración de nutrientes y su variabilidad estacional y anual debe ser conocida y cuantificada en detalle para toda la laguna y en toda la columna de agua.

Metodología: Los nutrientes se determinarán haciendo uso de un sistema automatizado de cinco canales Technicon-Bran Luebbe AA III AutoAnalyzer para determinación por análisis de flujo continuo segmentado (SCFA) usando la metodología descrita por Treguer (1976) para nitratos y nitritos, Folkard (1978) para silicatos y USEPA (1997) para fosfatos, el amonio se analizará por fluorimetría utilizando el método de derivatización mediante reacción con la orto-ftaldialdehído en medio sulfuroso (Kérouel and Aminot, 1997). El contenido en oxígeno disuelto será determinado a través del método de Winkler (1888) con modificaciones posteriores (Carpenter, 1965; Carret and Carpenter, 1966).

Centro ejecutor: IEO-Málaga

Investigadores responsables: Dr. Jesús Mercado Carmona (IEO-Málaga, responsable de tarea, recopilación de datos hidrográficos, procesado e interpretación de resultados), Dr. Dolores Cortés (IEO-Málaga, responsable del análisis de los nutrientes y Dr. Juan Manuel Ruiz Fernández (CO-Murcia, adquisición e interpretación de resultados).

Tarea 1.e.- Estudio de la variabilidad estacional y anual de pigmentos fotosintéticos.

En esta tarea se estudiará la variabilidad estacional y anual de la concentración de Clorofila-a en la columna de agua, en una malla regular para toda la laguna del Mar Menor.

Metodología: Para la determinación de Chlor-a total se filtrará entre 250-500 ml de agua de mar (según abundancia de fitoplancton) sobre un filtro de fibra de vidrio de 25 mm de diámetro (Whatman GF/F). Posteriormente se introduce en un tubo de 7 ml de acetona 90%. La extracción se realiza en nevera y en oscuridad, durante un periodo de 24 horas. Previamente a la medición de la absorbancia, hay que centrifugar los extractos durante unos 15 minutos. Después de la centrifugación, se traspasa cuidadosamente el sobrenadante, con una pipeta Pasteur, a otro tubo o a la cubeta del espectrofotómetro.

Mediante un espectrofotómetro se mide la absorbancia del extracto a 750, 664, 647 y 630 nm. La concentración de Clorofila-a de este extracto se calcula a partir de la fórmula tricromática de Jeffrey (1975).

Para valorar los resultados obtenidos respecto a las concentraciones de clorofila a de la laguna previamente a la crisis de eutrofización se ha dispuesto de una amplia base de datos de nutrientes procedente de trabajos publicados (Hernández, 1994; Lloret et al., 2005) y datos inéditos del IEO de los periodos 1981-83, 1986-89 y 2002-2003.

Centro ejecutor: IEO-Málaga

Investigadores responsables: Dr. Jesús Mercado (IEO-Málaga, responsable de tarea, recopilación de datos hidrográficos, procesado e interpretación de resultados) y Dr. Juan Manuel Ruiz Fernández (CO-Murcia, adquisición e interpretación de resultados).

Tarea 1.f.- Estudio de la variabilidad estacional y anual del contenido de metales disueltos.

El Mar Menor soporta contaminación puntual de las aguas por efluentes urbanos, o difusa, por la contaminación agraria o incluso atmosférica. Además, la cordillera situada al sur (La Unión) ha sido fuente de explotación minera desde hace décadas y aunque en la actualidad no se explotan, son a cielo abierto por lo que siguen aportando metales pasados al sistema, bien a través de escorrentías o por

deposición atmosférica. Muchos de los metales son esenciales para la vida de los organismos a bajas concentraciones, pero si sus niveles aumentan por encima de determinado umbral, pueden resultar tóxicos y mortales. Por ello, la concentración de estos compuestos y su variabilidad estacional y anual debe ser conocida y cuantificada en detalle para toda la laguna y en toda la columna de agua.

Metodología: El muestreo se realizará mediante el uso de una bomba peristáltica desde la embarcación y se filtrará en línea la materia particulada en suspensión para recoger en cada bote de muestra únicamente la fracción disuelta. Los metales pesados (Cu, Pb, Zn, Cd, Ni, Co, Fe, Mn) en agua se determinarán mediante técnicas electroquímicas, en concreto técnicas voltamperométricas que son muy sensibles, y a la vez necesarias en este tipo de matrices para alcanzar los límites de detección adecuados evitando el efecto salino. El análisis de Cu, Pb, Zn y Cd se llevará a cabo siguiendo el método de Gardiner (1975), el Fe, Ni y Co con el método de Santos-Echeandía (2011) y finalmente el Mn mediante el método de Scollary (1995).

Centro ejecutor: IEO-Murcia

Investigadores responsables: Dr. Juan Santos Echeandía (IEO-Murcia).

Objetivo 2. Estudio y cuantificación de la evolución estacional y anual de los campos dinámicos del Mar Menor, intercambio de agua con el Mar Mediterráneo y tasas de renovación de las masas de agua.

Se propone la realización de 4 campañas oceanográficas, una por cada estación del año. Durante cada campaña, se estudiará, con malla de alta resolución horizontal y vertical, los campos de corrientes, temperatura, salinidad, densidad, altura dinámica, flujos de calor, oxígeno disuelto, nutrientes, sistema del carbono, pH, transmitancia, etc., con el objetivo final de estudiar y cuantificar de forma estacional y anual, los flujos de entrada y salida del Mar Menor – Mar Mediterráneo, tasa de renovación de las masas de agua, así como la calidad de las aguas. El ámbito de estudio incluye el Mar Menor y su área de influencia en el Mediterráneo. Cada campaña oceanográfica tendrá una duración total de 15 días.

Tarea 2.a.- Estudio de la variabilidad estacional y anual de los campos de corriente.

La finalidad de esta tarea es la de estudiar la variabilidad espacio-temporal de la dinámica del Mar Menor (*Figura 3*). Para ello, será necesario la medida de la velocidad total a partir de los datos acústicos suministrados por el ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler, perfilador de corrientes acústico).

Metodología: Realización de una malla regular de alta resolución en 3D con un ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler, perfilador de corrientes acústico) de 1200 KHz. Este instrumento trabaja a una alta frecuencia, lo que permite obtener datos de corriente georreferenciados desde superficie al fondo en celdas de 25 cm.

Los perfiles resultantes se procesarán bajo entorno Matlab para el graficado final de los datos y obtención de mapas de corriente.

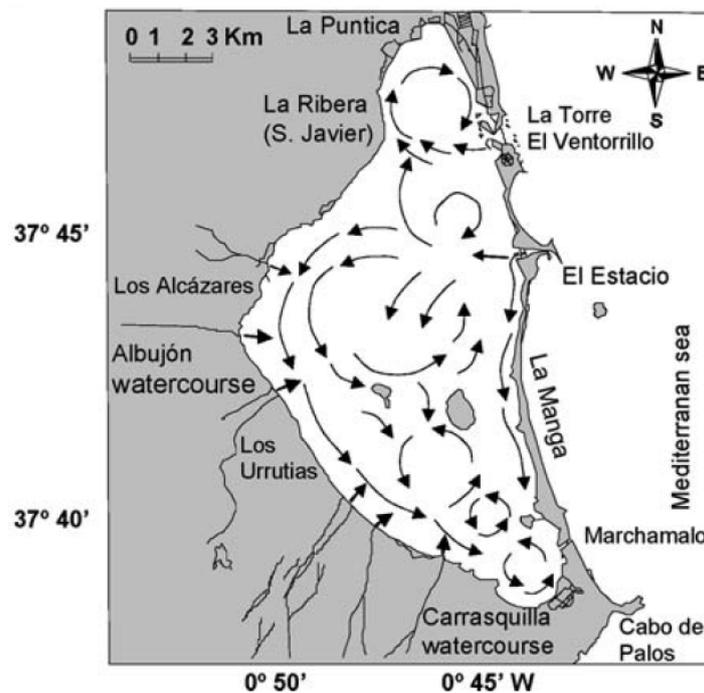


Figura 3.- Modelo existente de corrientes del Mar Menor (del Río, 1990; Pérez-Ruzafa et al., 2005).

Centro ejecutor: CO-Canarias

Investigadores responsables: Dr. Eugenio Fraile Nuez (CO-Canarias, responsable de tarea, adquisición de datos hidrográficos/meteorológicos y procesado e interpretación de resultados), Dr. Juan Manuel Ruiz Fernández (CO-Murcia, adquisición e interpretación de resultados), Dr. Francisco Machín Jiménez (ULPGC, procesado e interpretación de resultados), D. Francisco Domínguez Yanes (DC Servicios Ambientales, adquisición de datos).

Tarea 2.b.- Estudio de la variabilidad estacional de los intercambios de agua con el Mar Mediterráneo: tiempos de renovación.

Los datos de intercambio de agua con el Mar Mediterráneo disponibles en la bibliografía solo se encuentran para el canal de conexión principal (El Estacio). Este

intercambio presenta un régimen de las corrientes altamente fluctuante con inversiones frecuentes en la dirección de los flujos, regulado por la dinámica de mareas del Mar Mediterráneo. El intercambio total de agua alcanza valores de aproximadamente $1.6 \text{ hm}^3 \text{ d}^{-1}$, considerablemente más alto que en el resto de intercambios de los otros canales.

Con el fin de determinar las tasas de renovación de las masas de agua de la laguna del Mar Menor durante el periodo que comprende la realización de este estudio, se ha conseguido fondear un perfilador ADCP en 3 de las 4 campañas realizadas en el canal de El Estacio (*Figura 4*).

Metodología: perfiles con ADCP 1200 KHz en toda la laguna del mar Menor y en el canal de El Estacio. Los perfiles de velocidad registrados por el ADCP serán procesados con el software CODAS (Common Oceanographic Data Access System) desarrollado en la Universidad de Hawaii (Firing, 1991). A los perfiles resultantes se les substraerá la componente barotrópica de la marea estimada a partir del modelo global de marea TOPEX/POSEIDON (Egbert et al., 1994), así como la posible marea inducida por efecto de la presión atmosférica. Los perfiles resultantes se procesarán bajo entorno Matlab para el graficado final de los datos y obtención de mapas de corriente.

Se aplicará un análisis de sensibilidad a un modelo en 3D a partir de los datos de velocidad obtenidos del ADCP, datos de temperatura y salinidad procedentes de la sonda multiparamétrica en las 42 estaciones muestreadas y los datos de viento (Andréfouët et al., 2001; Tartinville et al., 1997).



Figura 4.- Imágenes de alta resolución del punto principal de intercambio del Mar Menor con el Mar Mediterráneo: El Estacio.

Centro ejecutor: CO-Canarias

Investigadores responsables: Dr. Eugenio Fraile Nuez (CO-Canarias, responsable de tarea, adquisición de datos oceanográficos/meteorológicos y procesado e interpretación de resultados), Dr. Juan Manuel Ruiz Fernández (CO-Murcia,

adquisición e interpretación de resultados), Dr. Francisco Machín Jiménez (ULPGC, procesado e interpretación de resultados), D. Francisco Domínguez Yanes (DC Servicios Ambientales, adquisición de datos).

Objetivo 3. Estudio y cuantificación de la evolución estacional y anual de los procesos colmatación/profundización de la laguna del Mar Menor: Batimetrías con ADCP.

Tarea 3.a.- Estudio de la evolución de la batimetría del Mar Menor: procesos de colmatación/profundización.

El Mar Menor tiene una profundidad variable conocida de entre 0 y 7 metros de profundidad. Para desarrollar los objetivos propuestos, es necesario disponer de una batimetría actualizada de alta resolución de la zona de estudio. La batimetría es una variable fundamental para la cuantificación del volumen total de agua de la laguna.

No existen datos batimétricos de alta calidad y resolución, así como verificados por el Instituto Hidrográfico de la Marina. Los últimos datos de la zona fueron tomados durante el proyecto de Ecocartografías (Figura 5) durante los años 2008-2009.

Debido a las dimensiones de la laguna y objetivos concretos de este estudio, realizar un levantamiento batimétrico de alta resolución con cobertura del fondo al 100% dista de las necesidades a cubrir en la campaña. La realización de este tipo de levantamiento sería una labor tediosa y muy dilatada en el tiempo que impediría la ejecución completa del estudio en el tiempo establecido.

Metodología: Por ello, se propone realizar un reconocimiento sistemático de la laguna mediante recubrimiento del fondo marino mediante producto derivado del ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) con función bottomtrack.

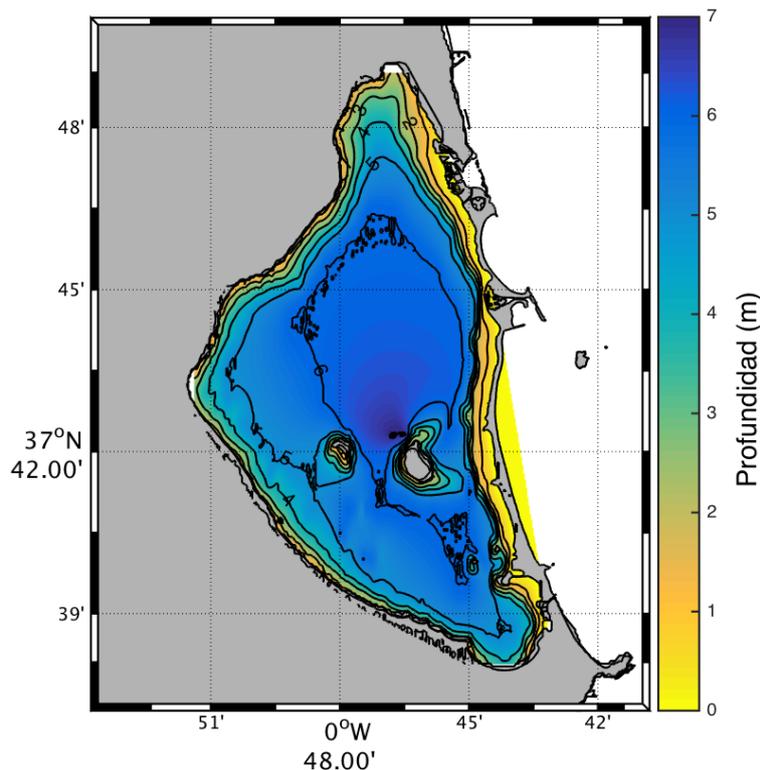


Figura 5.- Mapa batimétrico del Mar Menor (Ecocartografía de Murcia, 2008-2009).

Centro ejecutor: IEO-Canarias

Investigadores responsables: Dr. Eugenio Fraile Nuez (IEO-Canarias, adquisición e interpretación de resultados), Dra. María Gómez Ballesteros (IEO-Madrid, recopilación de datos batimetría y geología, procesado e interpretación de resultados), Dr. Juan Manuel Ruiz Fernández (CO-Murcia, adquisición e interpretación de resultados), Dr. Francisco Machín Jiménez (ULPGC, procesado e interpretación de resultados), D. Francisco Domínguez Yanes (DC Servicios Ambientales, adquisición de datos).

TRABAJOS REALIZADOS:

Estaciones hidrográficas (CTD):

Con el fin de conocer el estado actual del sistema lagunar desde el punto de vista físico-químico y biológico, así como su variabilidad estacional y anual, se realizaron 4 campañas oceanográficas de 15 días cada una durante noviembre-2016, febrero-2017, junio-2017 y septiembre-2017. En cada una de las campañas se realizaron un total de 42 puntos de muestreos, a excepción de la primera campaña, en la que se realizaron 40 puntos. En todos y cada uno de los puntos de muestreo o estaciones hidrográficas, se realizaron perfiles con sonda multiparamétrica o CTD (Conductivity-Temperature-Depth, sensor que mide en toda la columna de agua la conductividad, temperatura, profundidad, oxígeno disuelto, pH, ORP, turbidez y clorofila) a intervalos de 1 dato por segundo. La resolución vertical de cada perfil fue de 10 cm. La *Figura 6* muestra la sonda usada y el punto de adquisición y pre-procesado de los datos en tiempo presente a bordo del buque “DeepCore”.



Figura 6.- Sonda multiparamétrica para la adquisición de medidas físico-químicas en las estaciones hidrográficas (izquierda). Punto de adquisición y pre-procesado de datos de CTD (derecha).

Además, en cada punto de muestreo se tomaron muestras de agua con botellas niskin horizontales, en hasta tres profundidades (superficie, 3.5 metros de profundidad y fondo) dependiendo de la profundidad de la estación. El agua recogida *in situ* se utilizó para analizar otras variables como la concentración de oxígeno disuelto, la alcalinidad total, el pH, el carbono inorgánico total, la concentración de clorofila y las concentraciones de nutrientes inorgánicos.

La *Figura 7* muestra la botella niskin horizontal utilizada para el muestreo de agua *in situ* y cómo ésta se muestrea para la toma de las diferentes variables físico-químicas (*Figura 8*).



Figura 7.- Uso de la botella niskin horizontal en diferentes puntos de muestreo y profundidad.



Figura 8.- Muestreo del sistema del dióxido de carbono por el equipo Quima de la ULPGC (izquierda) y muestreo de la concentración de oxígeno por método Winkler por la empresa DC Servicios Ambientales (derecha).

La Figura 9 y Tabla 1 muestran respectivamente, el mapa de estaciones hidrográficas realizadas, así como las posiciones y profundidades de cierre de las botellas niskin para las campañas oceanográficas llevadas a cabo en el Mar Menor.

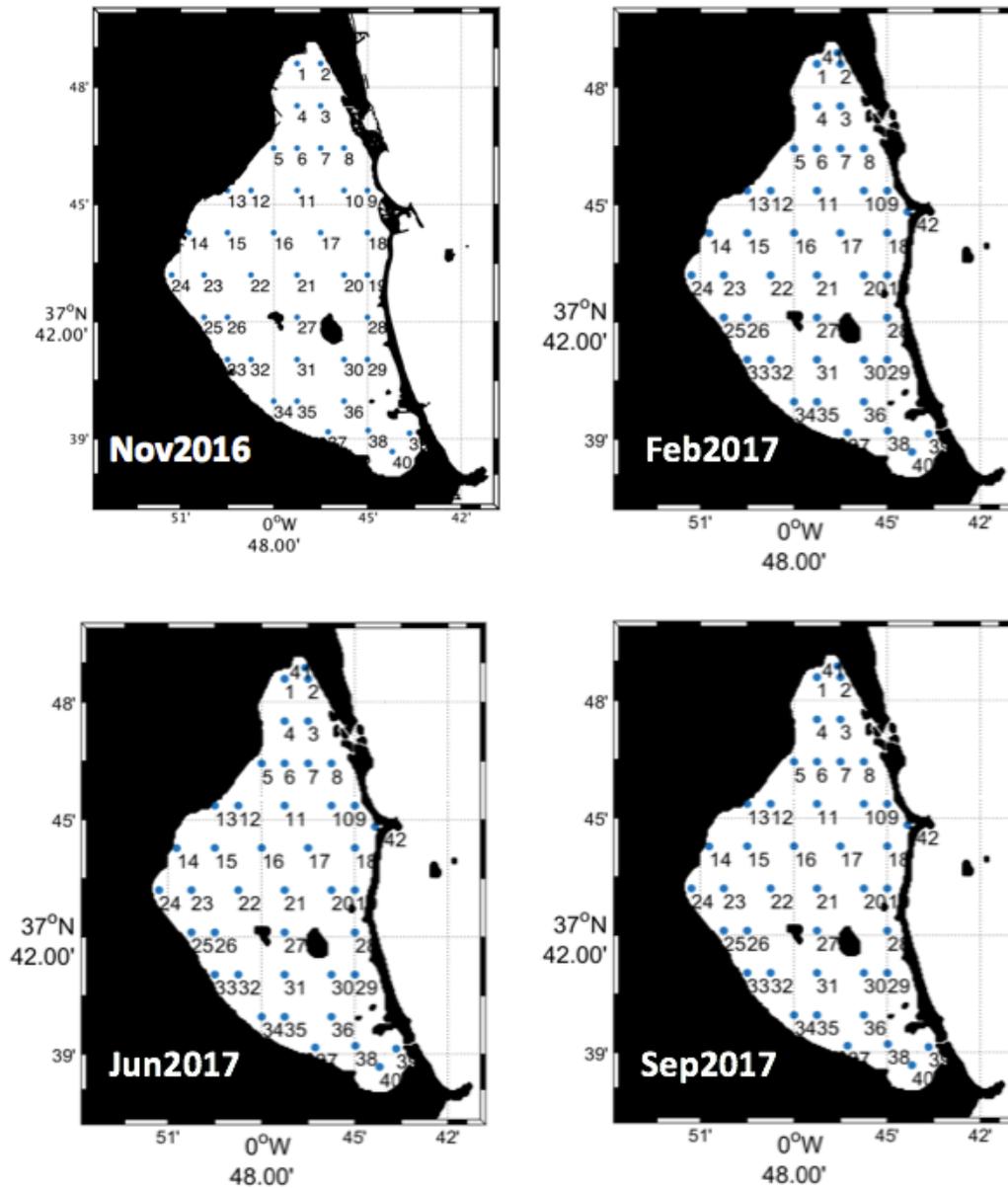


Figura 9.- Mapa de estaciones hidrográficas con CTD y recogida de agua in situ en el interior del Mar Menor.

Tabla 1.- Posiciones de las estaciones hidrográficas durante la primera campaña oceanográfica en el Mar Menor (MM1116) y posiciones de las botellas niskin cerradas a diferentes profundidades.

Estación	Longitud (°W)	Latitud (°N)	Niskin Sup.	Niskin 3.5 m	Niskin fondo
1	-0.7875	37.8100	x	-	x
2	-0.7750	37.8100	x	-	x
3	-0.7750	37.7920	x	-	x
4	-0.7875	37.7920	x	x	x
5	-0.8000	37.7740	x	-	x
6	-0.7875	37.7740	x	x	x
7	-0.7750	37.7740	x	x	x
8	-0.7625	37.7740	x	x	x
9	-0.7500	37.7560	x	x	x
10	-0.7625	37.7560	x	x	x
11	-0.7875	37.7560	x	x	x
12	-0.8125	37.7560	x	x	x
13	-0.8250	37.7560	x	-	x
14	-0.8454	37.7379	x	-	x
15	-0.8250	37.7380	x	x	x
16	-0.8000	37.7380	x	x	x
17	-0.7750	37.7380	x	x	x
18	-0.7500	37.7380	x	x	x
19	-0.7500	37.7200	x	x	x
20	-0.7625	37.7200	x	x	x
21	-0.7875	37.7200	x	x	x
22	-0.8125	37.7200	x	x	x
23	-0.8375	37.7200	x	x	x
24	-0.8548	37.7200	x	-	x
25	-0.8375	37.7020	x	-	x
26	-0.8250	37.7020	x	x	x
27	-0.7875	37.7020	x	x	x
28	-0.7500	37.7020	x	-	x
29	-0.7500	37.6840	x	x	x
30	-0.7625	37.6840	x	x	x
31	-0.7875	37.6840	x	x	x
32	-0.8125	37.6840	x	x	x
33	-0.8250	37.6840	x	-	x
34	-0.8000	37.6660	x	-	x
35	-0.7875	37.6660	x	x	x
36	-0.7625	37.6660	x	x	x
37	-0.7712	37.6529	x	x	x
38	-0.7497	37.6536	x	x	x
39	-0.7277	37.6524	x	-	x
40	-0.7368	37.6446	x	x	x
41	-0.7766	37.8145	x		x
42	-0.7393	37.7468	x	x	x

Campo de corrientes Lagunar:

Se cubre toda la superficie del Mar Menor mediante transectos con un ADCP 1200 kHz (Acoustic Doppler Current Profiler, perfilador acústico doppler de corrientes). Dicho instrumento mide la velocidad de la corriente desde la superficie hasta el fondo en intervalos verticales de 10 cm y temporales de 1 segundo. La *Figura 10* muestra el instrumento ADCP usado y la colocación en la plataforma sumergible del buque “DeepCore” de la empresa Rivemar. Esta posición aseguraba una gran estabilidad en cuanto a movimientos de *pitch* y *roll*, así como una buena medida de la corriente existente sin perturbación por hélices o casco del buque.



Figura 10.- ADCP 1200 KHz ubicado en la plataforma sumergible de popa del buque “DeepCore” de Rivemar S.L.

La *Figura 11* muestra el punto de trabajo desde el cual se han obtenido y pre-procesado los datos de corriente con el ADCP a bordo del buque “DeepCore”.



Figura 11.- Punto de trabajo del ADCP a bordo del Buque “DeepCore” de Rivemar.

La *Figura 12* muestra el recorrido del buque para la adquisición de los datos de velocidad. Los huecos en blanco en el interior del Mar Menor y por dentro de la Manga son zonas sin datos, debido a que eran zonas muy someras o plagadas de redes de pesca, que impidieron la toma de muestras o la dificultaron enormemente.

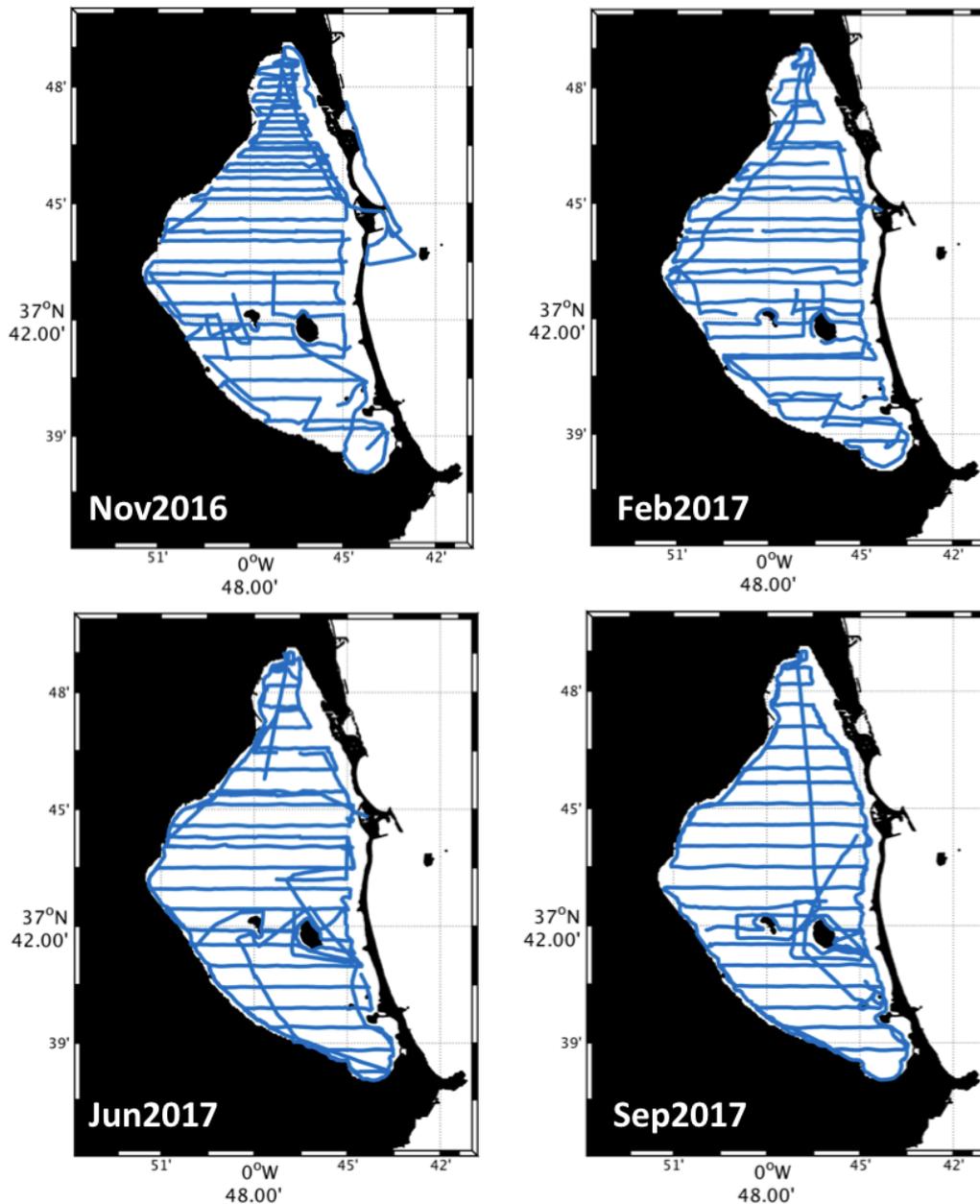


Figura 12.- Mapa de los transectos realizados con ADCP para el estudio de corrientes en 3D para las 4 campañas oceanográficas en el Mar Menor.

Campo de corrientes en el canal de El Estacio:

El Mar Menor tiene tres puntos de conexión con el Mar Mediterráneo, por lo que conocer y cuantificar el flujo de entrada y salida es fundamental para este estudio.

Sin embargo, para este estudio, solo se ha podido cuantificar el aporte a través del canal principal, El Estacio (Figura 12).



Figura 13.- Canal principal de comunicación entre el Mar Menor y el Mar Mediterráneo: El canal de El Estacio.

La finalidad de esta tarea es la de estudiar la variabilidad espacio-temporal de la dinámica del Mar Menor. Para ello, será necesario un sistema combinado para la medición de la velocidad total a partir de los datos acústicos suministrados por el ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler, perfilador de corrientes acústico) de 1200 KHz y un sistema multiparamétrico o CTD para la medición de parámetros físico-químicos como: temperatura, salinidad, turbidez, oxígeno disuelto, clorofilas y pH (Figura 14).



Figura 14.- Sistema ADCP + CTD anclado en el canal de El Estacio durante las campañas oceanográficas (MM0217, MM0617 y MM0917).

Batimetría:

Durante los mismos transectos realizados para las medidas del campo de corriente (Figura 12) se tomaron datos de profundidad en continuo de toda la laguna a excepción de zonas muy someras (<0.5-1.0 m) o con alta concentración de redes de pesca que imposibilitaban la navegación y seguridad del buque. Estas medidas de profundidad se tomaron con el sistema ADCP 1200 kHz mediante la opción “bottomtrack”. Las medidas fueron recogidas en continuo a intervalos de 1 segundo. Los valores de profundidad del ADCP fueron contrastados y validados con los datos suministrados por el sensor de presión del CTD para 40 puntos de muestreo en toda la superficie de la laguna.

Muestreo de la concentración de oxígeno disuelto:

En cada una de las estaciones hidrográficas y para cada una de las profundidades en la que se ha recolectado agua *in situ* (Tabla 1), se ha medido la concentración de oxígeno disuelto mediante la valoración potenciométrica de las muestras utilizando para ello un sistema de valoración Methrom según el método de Winkler (Winkler and Whaley, 1888) con las modificaciones posteriores (Carpenter, 1965; Carret and Carpenter, 1966; Hansen, 1999). La Figura 15 muestra la adquisición y procesado posterior en laboratorio de las muestras de oxígeno para la campaña oceanográfica MM1116.



Figura 15.- Recogida de muestras de oxígeno disuelto (izquierda) y valoración de las muestras de la concentración de oxígeno por método Winkler por la empresa DC Servicios Ambientales (derecha).

Muestreo del sistema del dióxido de carbono:

Durante las 4 campañas oceanográficas, se obtuvieron medidas del sistema del CO_2 en todas las estaciones hidrográficas realizadas. El muestreo se realizó además en todas las profundidades (superficie, 3.5 m de profundidad y fondo). Con todo ello, se ha podido definir las condiciones en las que se encuentra la cuenca en cuanto a concentración de carbono inorgánico, alcalinidad y acidificación.

Los parámetros medidos fueron pH (que se midió en tiempo presente en el propio barco) y A_T y C_T , que se fijaron y se analizaron en los laboratorios de la ULPGC.

Además, se combinó con medidas de una sonda HP98194 con la que se registró en continuo la temperatura, salinidad y el pH.

Calibración de A_T y C_T

Las calibraciones se realizaron haciendo uso de material certificado de referencia, CRM.

La *Figura 16* muestra la recogida y análisis de muestras del sistema del dióxido de carbono por el equipo QUIMA-ULPGC a bordo del buque “DeepCore” para la campaña MM1116.



Figura 16.- Muestreo in situ de agua para el análisis de las variables del sistema del dióxido de carbono. Análisis de pH (izquierda) y alcalinidad y carbono inorgánico (derecha). Grupo QUIMA-ULPGC.

Muestreo de nutrientes inorgánicos y clorofila:

Del mismo modo, durante las 4 campañas y para todas las estaciones hidrográficas y profundidades de muestreo, se recogieron muestras para la determinación de los nutrientes inorgánicos y clorofilas. Las muestras fueron preservadas congeladas hasta su análisis en el laboratorio, que se llevó a cabo de acuerdo con los métodos antes descritos.

La *Figura 17* muestra imágenes de la toma de muestras in situ para la obtención y análisis de la concentración de clorofila, así como la concentración de nutrientes inorgánicos.

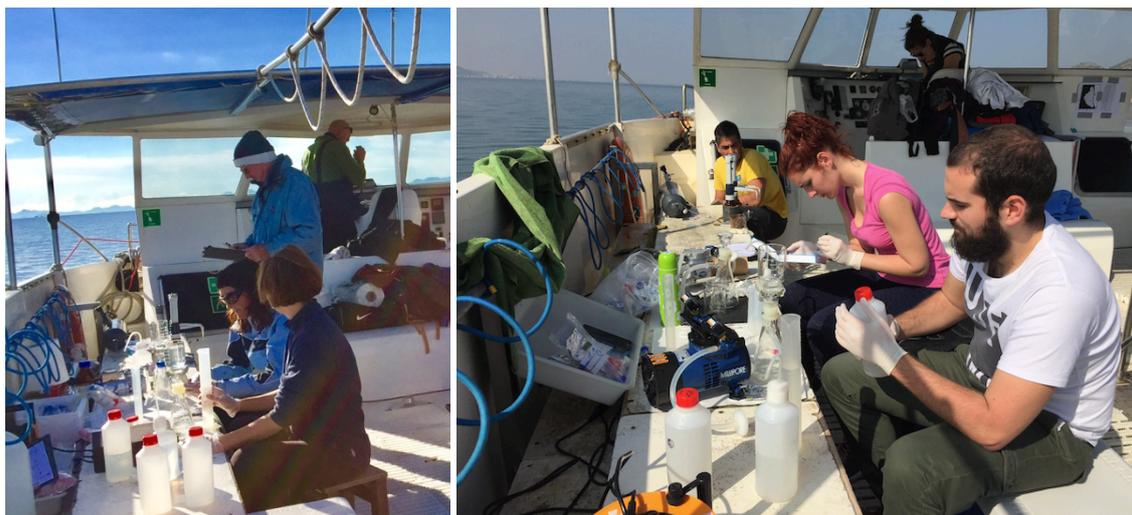


Figura 17.- Muestreo in situ de agua para el análisis de clorofilas y nutrientes orgánicos e inorgánicos. Grupo del IEO-Murcia y analizadas en IEO-Málaga.

Muestreo de metales en agua superficial:

Se tomaron muestras de agua superficial durante 3 de las 4 campañas que se han llevado a cabo dentro del proyecto. Esta agua fue muestreada mediante el uso de una bomba peristáltica que traía la muestra directamente al barco donde se recogía en los botes de plásticos previamente lavados con ácido. Aprovechando el bombeo, y con la inclusión de un filtro de cartucho, las muestras ya se recogieron filtradas en los botes (*Figura 18*).



Figura 18.- Sistema de muestreo mediante bomba peristáltica y filtro de cartucho para recogida de agua con el fin de medir metales disueltos en aguas del Mar Menor.

Análisis de la concentración de metales disueltos:

Una vez en el laboratorio, las muestras fueron acidificadas a pH 2 para evitar la adsorción de los metales a las paredes de los botes y almacenadas hasta su análisis.

Antes de iniciar los análisis propiamente, se realizaron blancos para comprobar que todo el procedimiento tenía lugar de forma limpia y posteriormente se analizaron materiales de referencia de agua de mar para chequear que el equipo estaba funcionando correctamente.

Previo a su análisis, las muestras deben ser digeridas con radiación ultravioleta para eliminar la materia orgánica y así poder ser determinadas mediante el método electroquímico usando la técnica de redisolución anódica para Cu, Pb, Zn y Cd y catódica para el Ni y Co (*Figura 19*).



Figura 19.- Sistema electroquímico (Metrohm 797 VA Computrace) y digestor ultravioleta.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

A continuación, se muestran los principales resultados de los datos obtenidos durante las 4 campañas oceanográficas realizadas entre noviembre de 2016 y septiembre de 2017 en la laguna de El Mar Menor en el contexto del proyecto MMEM financiado por la Comunidad de Murcia.

Distribución térmica de la laguna:

A partir de los datos procedentes de los perfiles de CTD realizados en toda la superficie del Mar Menor (Tabla 1), se ha podido estudiar y cuantificar la variabilidad estacional y anual del campo térmico con la profundidad.

Las Figura 20, Figura 21 y Figura 22 muestran los campos de temperatura superficial, profundo y global, respectivamente, para la laguna del Mar Menor, así como su distribución espacial y temporal. Los datos medios por cuencas se muestran en las tablas 2, 3 y 4.

La evolución estacional de la temperatura potencial de la laguna del Mar Menor para toda la columna de agua y por cuencas se muestra en las Figura 23 y Figura 24.

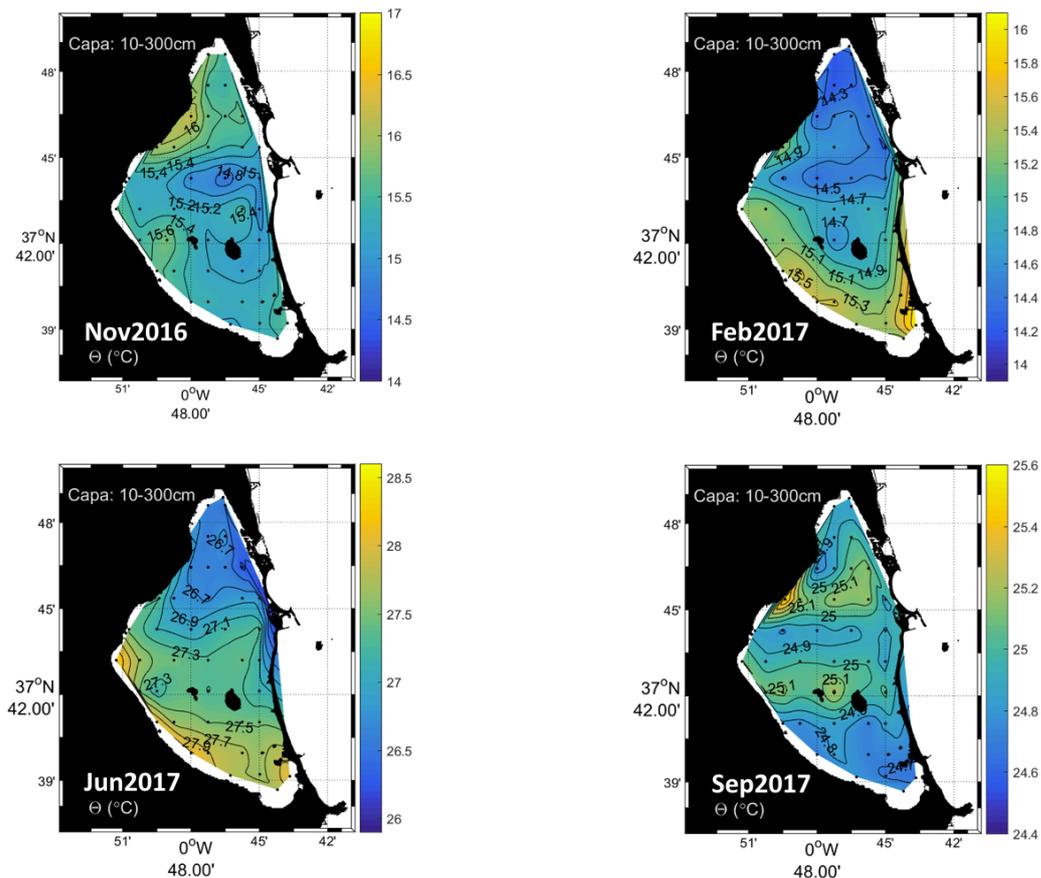


Figura 20.- Mapas de temperatura potencial del agua (°C) para la capa más somera (0-3 m) y para toda la superficie de El Mar Menor. Variación estacional para las cuatro campañas realizadas (nov2016, feb2017, jun2017 y sep2017).

Tabla 2. Estadística del campo térmico para la capa más somera (0-3 m) de la laguna de El Mar Menor.

Temperature 0-3 m		Mean (°C)	STD (°C)	Min. (°C)	Max. (°C)
nov-16	Total	15.44	0.45	14.17	16.87
	C. Norte	15.41	0.44	14.17	16.42
	C. Sur	15.45	0.31	15.00	16.87
feb-17	Total	14.85	0.46	13.96	16.06
	C. Norte	14.60	0.34	13.96	15.53
	C. Sur	15.23	0.34	14.52	16.06
	Estacio	15.12	0.02	15.09	15.15
jun-17	Total	27.26	0.52	26.07	28.51
	C. Norte	27.01	0.47	26.07	28.51
	C. Sur	27.64	0.31	26.99	28.40
	Estacio	25.97	0.04	25.92	26.08
sep-17	Total	24.91	0.18	24.49	25.53
	C. Norte	24.96	0.16	24.73	25.53
	C. Sur	24.85	0.19	24.49	25.24
	Estacio	24.98	0.01	24.96	25.00

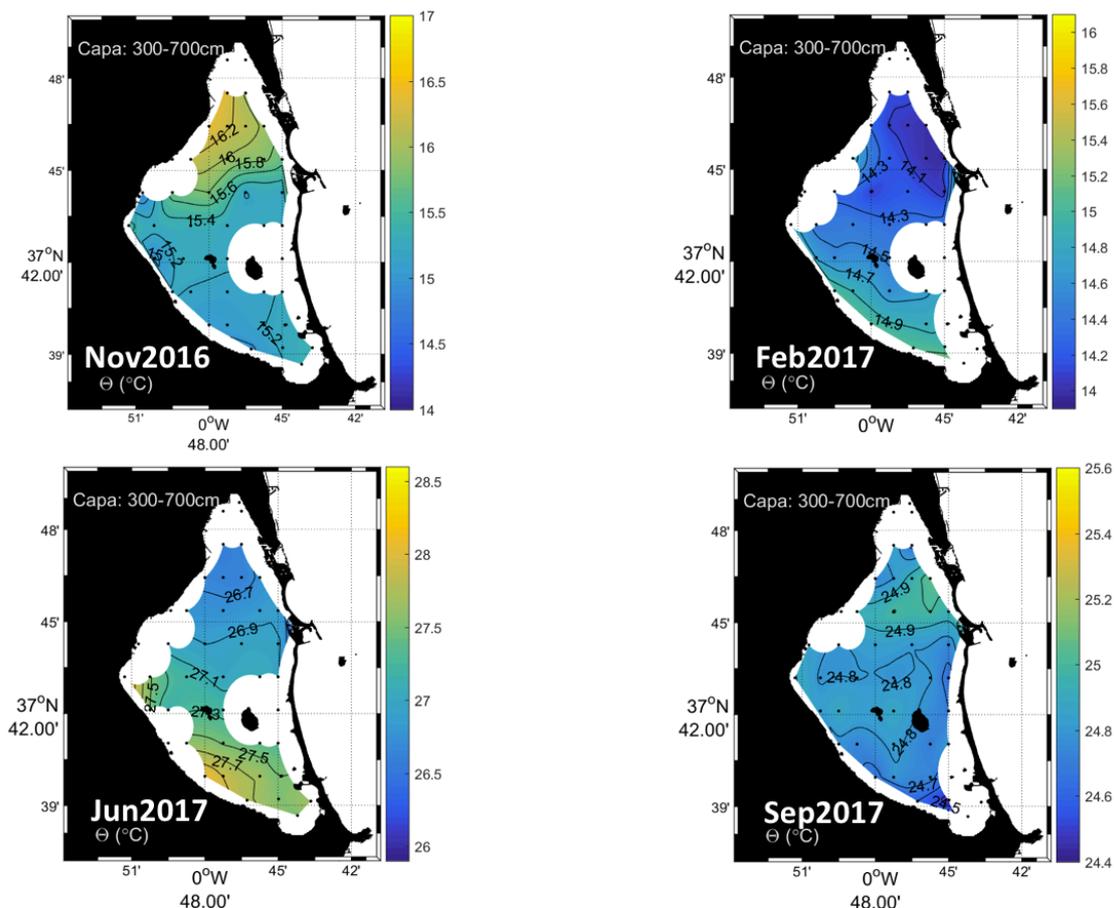


Figura 21.- Mapas de temperatura potencial del agua (°C) para la capa más profunda (3-7 m) y para toda la superficie de El Mar Menor. Variación estacional para las cuatro campañas realizadas (nov2016, feb2017, jun2017 y sep2017).

Tabla 3. Estadística del campo térmico para la capa más profunda (3-7 m) de la laguna de El Mar Menor.

Temperature 3-7 m		Mean (°C)	STD (°C)	Min. (°C)	Max. (°C)
nov-16	Total	15.49	0.41	14.79	16.42
	C. Norte	15.66	0.44	14.79	16.42
	C. Sur	15.21	0.08	14.82	15.49
feb-17	Total	14.33	0.29	13.91	15.37
	C. Norte	14.18	0.19	13.91	14.85
	C. Sur	14.67	0.21	14.24	15.37
	Estacio	15.07	0.02	15.04	15.10
jun-17	Total	27.10	0.32	26.57	28.18
	C. Norte	26.91	0.20	26.57	28.18
	C. Sur	27.43	0.18	27.12	28.12
	Estacio	26.47	0.20	26.05	26.63
sep-17	Total	24.80	0.12	24.41	25.20
	C. Norte	24.84	0.10	24.41	25.14
	C. Sur	24.73	0.12	24.42	25.20
	Estacio	24.96	0.00	24.96	24.97

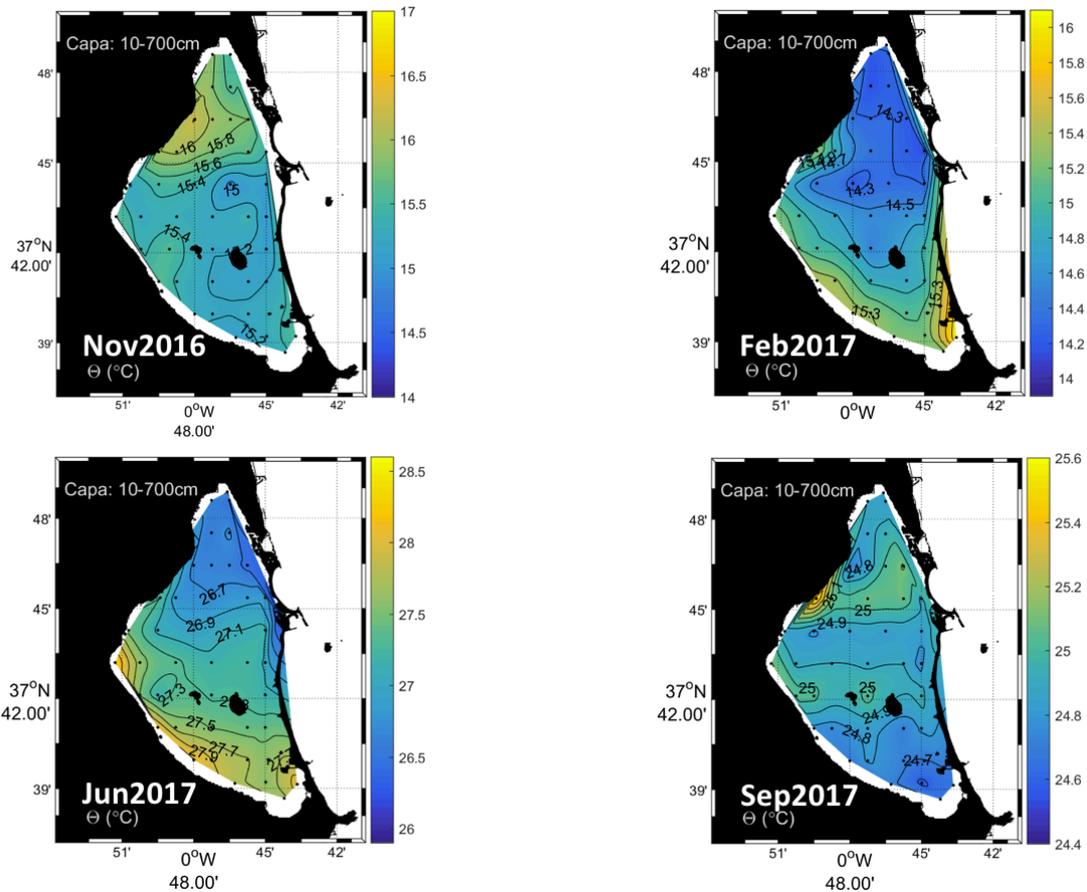


Figura 22.- Mapas de temperatura potencial del agua (°C) para toda la columna de agua (0-7 m) y para toda la superficie de El Mar Menor. Variación estacional para las cuatro campañas realizadas (nov2016, feb2017, jun2017 y sep2017).

La Figura 21 presenta la distribución térmica para toda la columna de agua y para toda la superficie del Mar Menor, en la que se puede observar la alta variabilidad estacional y espacial de dicha variable oceanográfica. En general, en todas las estaciones queda plasmada la entrada de agua procedente del Mar Mediterráneo en la zona de El Estacio, más fría con respecto a la temperatura lagunar (más pronunciada en superficie que en la capa profunda). Por otro lado, la cuenca sur es, en términos generales, más cálida que la cuenca norte, a excepción de sep17. Para las demás estaciones, la zona del Albuñón, los Nietos y la zona de Los Alcázares introduce aguas superficiales generalmente más cálidas que las presentes en la laguna, lo que podría ser indicativo de entradas de aguas subterráneas.

Tabla 4. Estadística del campo térmico para toda la columna de agua (0-7 m) de la laguna de El Mar Menor.

Temperature 0-7 m		Mean (°C)	STD (°C)	Min. (°C)	Max. (°C)
nov-16	Total	15.47	0.43	14.17	16.87
	C. Norte	15.55	0.44	14.17	16.42
	C. Sur	15.32	0.19	14.82	16.87
feb-17	Total	14.57	0.37	13.91	16.06
	C. Norte	14.37	0.26	13.91	15.53
	C. Sur	14.94	0.27	14.24	16.06
	Estacio	15.10	0.03	15.04	15.15
jun-17	Total	27.18	0.41	26.07	28.51
	C. Norte	26.96	0.32	26.07	28.51
	C. Sur	27.53	0.25	26.99	28.40
	Estacio	26.15	0.28	25.92	26.63
sep-17	Total	24.85	0.15	24.41	25.53
	C. Norte	24.90	0.13	24.41	25.53
	C. Sur	24.79	0.15	24.42	25.24
	Estacio	24.98	0.01	24.96	25.00

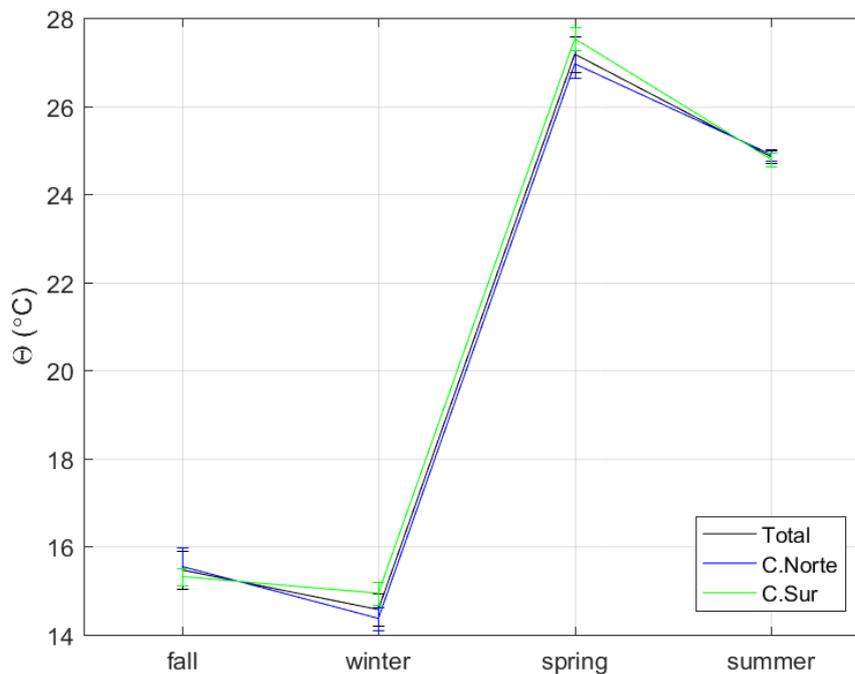


Figura 23.- Evolución estacional de la temperatura potencial de la laguna del Mar Menor para toda la columna de agua y por cuencas.

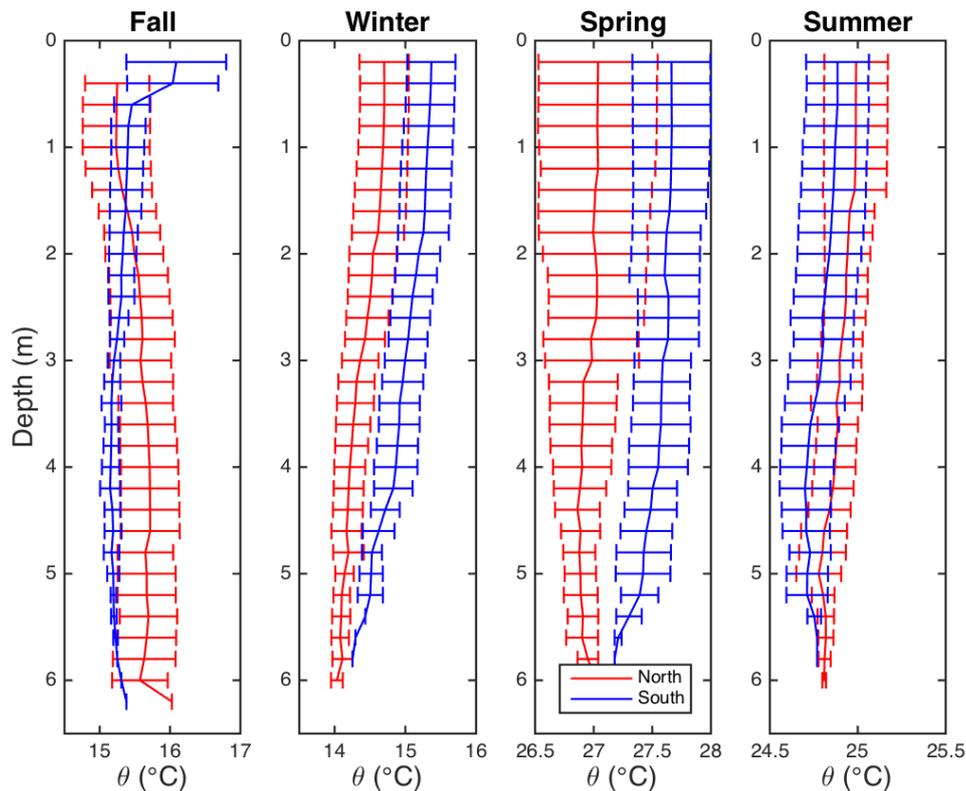


Figura 24.- Distribución en profundidad de la temperatura potencial de la laguna del Mar Menor para toda la columna de agua, por cuencas y por estación.

En términos generales, el Mar Menor presenta una estructura térmica compleja lejos de lo que cabría esperar dada su poca profundidad. Desde el punto de vista térmico presenta hasta dos capas bien diferenciadas. Una capa superficial (0-300 cm de profundidad) con temperaturas medias para toda la laguna de 15.44, 14.85, 27.26 y 24.91 °C, respectivamente para nov16, feb17, jun17 y sep17 y una la capa profunda (300-700 cm de profundidad) con temperaturas medias para toda la laguna de 15.66, 14.33, 27.10 y 24.80 °C, respectivamente.

El Mar Menor presenta una alta variabilidad estacional. Otoño e invierno por debajo de 16°C, mientras que primavera y verano por encima de 24°C. Teniendo en cuenta la componente vertical (*Figura 24*), se encuentran diferencias significativas entre cuencas dentro de la laguna de El Mar Menor. Durante invierno y primavera, las cuencas norte y sur son significativamente diferentes, especialmente entre los 3-7 metros de profundidad. La cuenca sur es significativamente más cálida que la norte. En verano se invierte y la cuenca sur es más fría que la norte, aunque no significativamente.

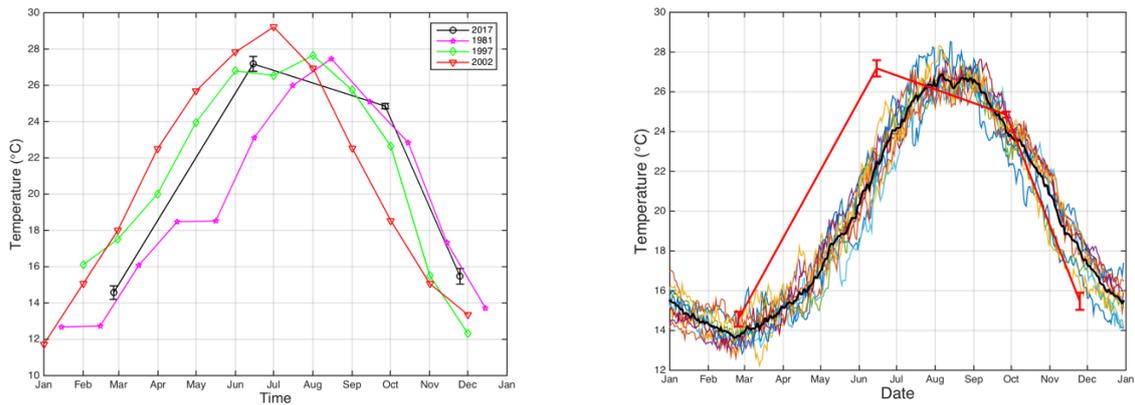


Figura 25.- Comparación de la evolución estacional del campo de temperatura potencial de la laguna del Mar Menor para toda la columna de agua: (izquierda) referente a bases climatológicas y (derecha) frente a datos satelitales de alta resolución espacial (1km x 1 km).

La Figura 25 (izquierda) muestra la comparación del campo de temperatura superficial estacional respecto a nuestras 4 campañas oceanográficas y los datos recogidos en campañas estacionales pasadas (1997 – 1981 – 2002). El ciclo estacional actual sigue el mismo patrón que los ciclos estacionales pasados especialmente al de 1981, aunque con una primavera mucho más cálida. Estos datos de campañas pasadas dan una información importante, aunque muy sesgada en el tiempo, por ello, y con el fin de determinar si el ciclo estacional muestreado durante las campañas estacionales en el Mar Menor posee alguna diferencia significativa o no con respecto a otros ciclos estacionales, se hace necesario el uso de datos satelitales de alta resolución. La Figura 25 (derecha) muestra los ciclos estacionales de la temperatura superficial del Mar Menor de los últimos 10 años (2008-2018) a partir de datos de satélite de alta resolución espacial 1km x 1km “Mediterranean Sea Ultra High Resolution SST L4 Analysis” (Buongiorno Nardelli et al., 2013).

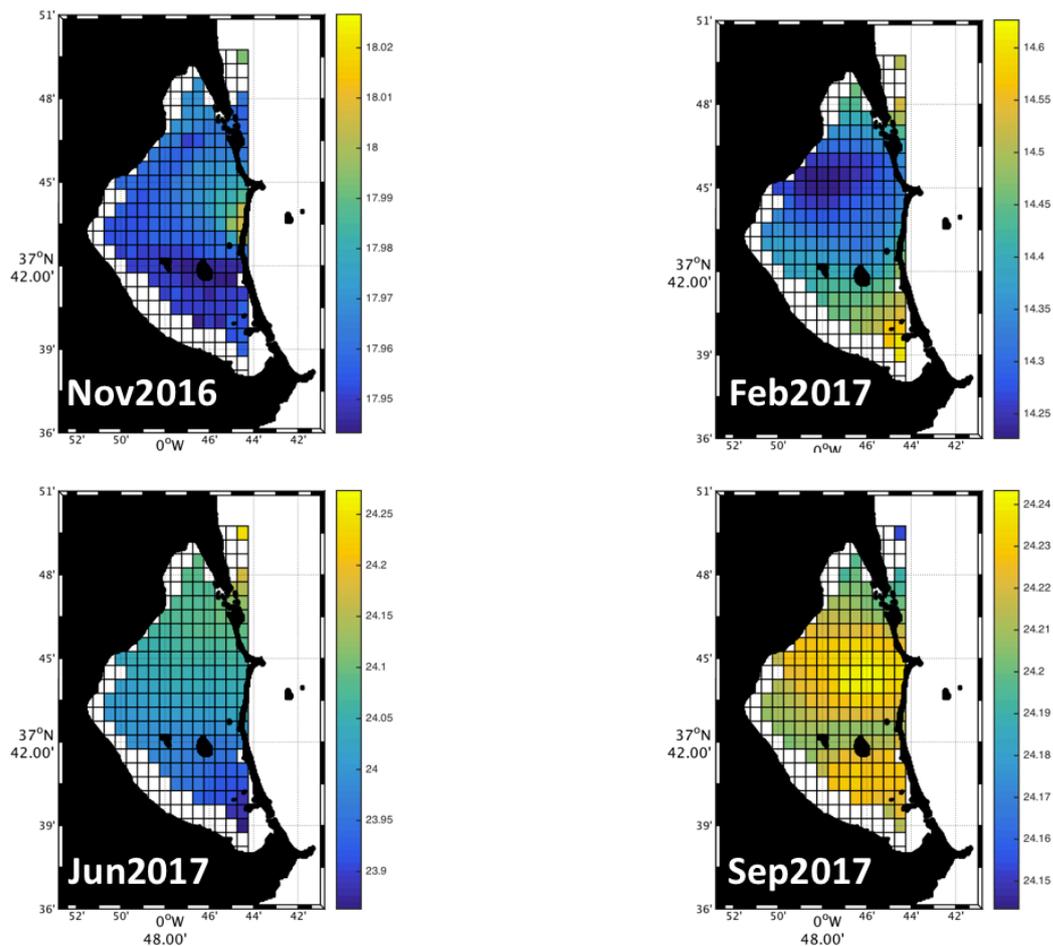


Figura 26.- Mapas estacionales del campo de temperatura superficial de la laguna del Mar Menor del Mediterranean Sea Ultra High Resolution SST L4 Analysis 0.01 deg. Resolution (MODIS).

Con el fin de intentar determinar si el campo térmico de la laguna se ha visto alterado/modificado/accentuado en la última década, es fundamental el uso de datos satelitales de alta precisión y resolución. La Figura 26 muestra los campos térmicos a partir de una media estacional de datos de SST diarios de la base de datos “Mediterranean Sea Ultra High Resolution SST L4 Analysis 0.01 deg. Resolution” del satélite MODIS. Cada pixel tiene un tamaño de 1km x 1km y la base de datos dispone de una serie de 10 años, desde 2008 al 2018.

Con esta información se ha podido extraer la serie temporal de datos de temperatura superficial para la laguna del Mar Menor (Figura 27). El Panel superior muestra la serie temporal de SST (azul) junto con la serie de temperatura superficial de las 4 campañas oceanográficas (rojo). Parece ser, incluso a simple vista, que los datos muestran un calentamiento progresivo más acusado desde el año 2013 (unos años antes de que se produjera el proceso de eutrofización de la laguna). El panel inferior muestra la tendencia de calentamiento del Mar Menor para los 10 años (azul, 2008-2018), 6 años (negra, 2008-2013) y 6 años (roja, 2013-2018).

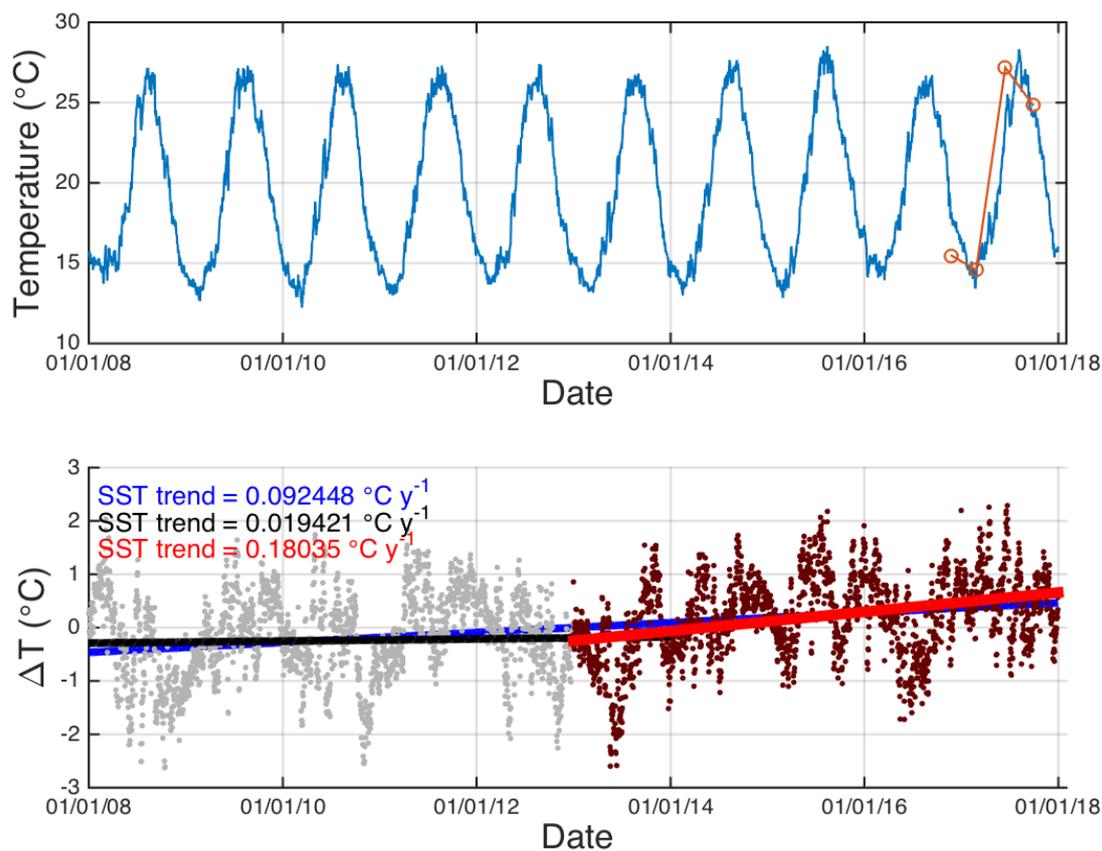


Figura 27.- Serie temporal de la temperatura superficial (SST) del Mar Menor a partir de la base de datos del “Mediterranean Sea Ultra High Resolution SST L4 Analysis 0.01 deg. Resolution (MODIS)”. El Panel superior muestra la serie temporal de SST (azul) junto con la serie de temperatura superficial de las 4 campañas (rojo). El panel inferior muestra la tendencia de calentamiento del Mar Menor para los 10 años (azul, 2008-2018), 6 años (negra, 2008-2013) y 6 años (roja, 2013-2018).

Los modelos climáticos prevén que, para el próximo siglo, la temperatura superficial de los océanos y debido al Cambio Climático, aumente en 0.6°C, o lo que es lo mismo, a una tasa de 0.006 °C y⁻¹. El Mar Menor es una región sensible y cuya tasa de calentamiento se prevé que sea superior a la media. A partir de los datos de satélite y para los años 2008-2013, la tasa de calentamiento es tres veces superior a la media global del planeta (0.019 °C y⁻¹), sin embargo, a partir de dicho año 2013-2018, la tasa de calentamiento aumenta considerablemente hasta valores de (0.18 °C y⁻¹). Este hecho, en combinación con el exceso de nutrientes, entre otros, podría haber sido uno de los factores determinantes que hayan propiciado el efecto de eutrofización sufrido en la laguna a partir del año 2015.

Distribución halina de la laguna:

A partir de los datos procedentes de los perfiles de CTD realizados en toda la superficie del Mar Menor (Tabla 1), se ha podido estudiar y cuantificar la variabilidad estacional y anual del campo halino con la profundidad.

Las *Figura 28*, *Figura 29* y *Figura 33* muestran los campos de salinidad superficial, profundo y global, respectivamente, para la laguna del Mar Menor, así como su distribución espacial y temporal. Los datos medios por cuencas se muestran en las tablas 5, 6 y 7.

La evolución estacional de salinidad de la laguna del Mar Menor para toda la columna de agua y por cuencas se muestra en las *Figura 31* y *Figura 32*. Además de la comparación con series climatológicas *Figura 33*.

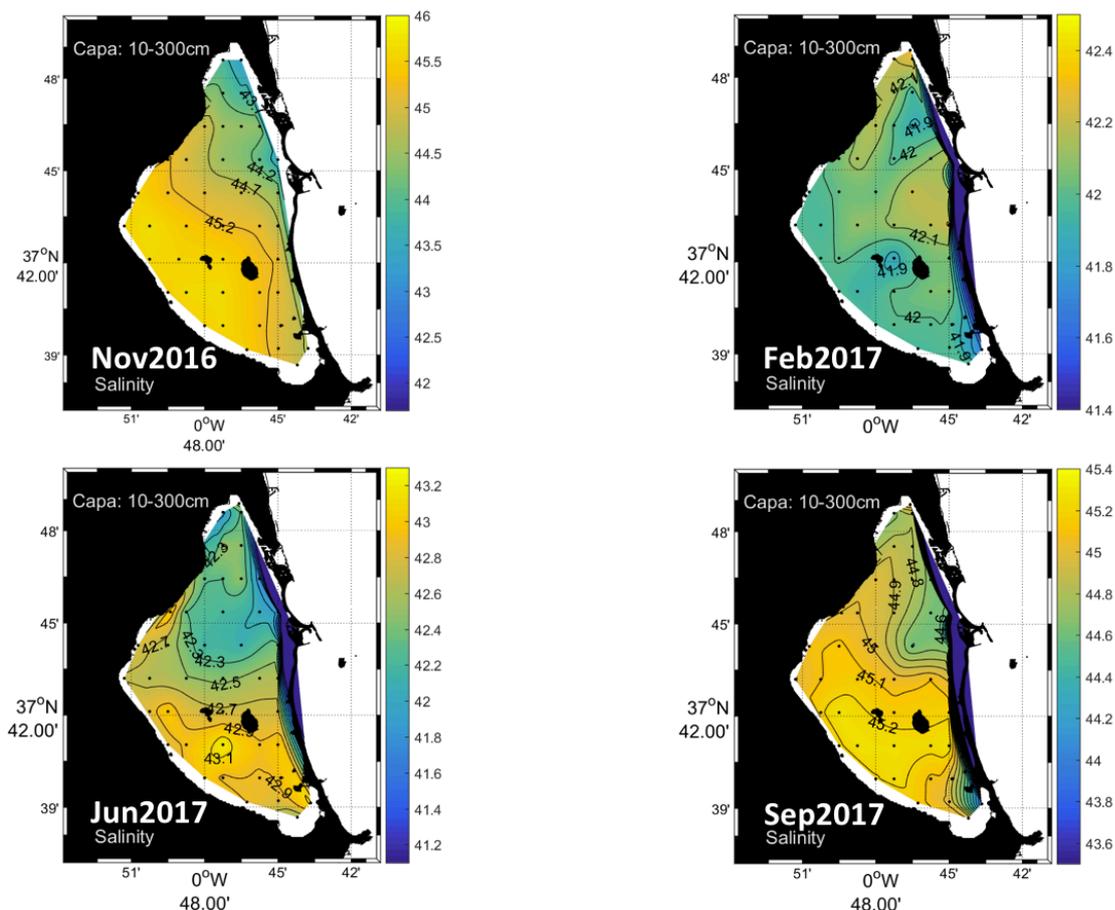


Figura 28.- Mapas de salinidad superficial (0-3 m) y para toda la superficie de El Mar Menor. Variación estacional para las cuatro campañas realizadas (nov2016, feb2017, jun2017 y sep2017).

Tabla 5. Estadística del campo halino para la capa más somera (0-3 m) de la laguna de El Mar Menor.

Salinity 0-3 m		Mean	STD	Min.	Max.
nov-16	Total	44.91	0.61	41.73	46.00
	C. Norte	44.69	0.70	41.73	46.00
	C. Sur	45.27	0.28	43.02	45.72
feb-17	Total	42.04	0.12	41.44	42.44
	C. Norte	42.08	0.12	41.65	42.44
	C. Sur	41.97	0.09	41.44	42.14
	Estacio	39.69	0.12	39.51	39.92
jun-17	Total	42.58	0.38	41.11	43.26
	C. Norte	42.37	0.32	41.11	43.08
	C. Sur	42.90	0.17	42.47	43.26
	Estacio	37.66	0.23	37.39	38.31
sep-17	Total	44.98	0.28	41.64	45.30
	C. Norte	44.90	0.19	44.48	45.21
	C. Sur	45.11	0.30	41.64	45.30
	Estacio	38.33	0.01	38.32	38.34

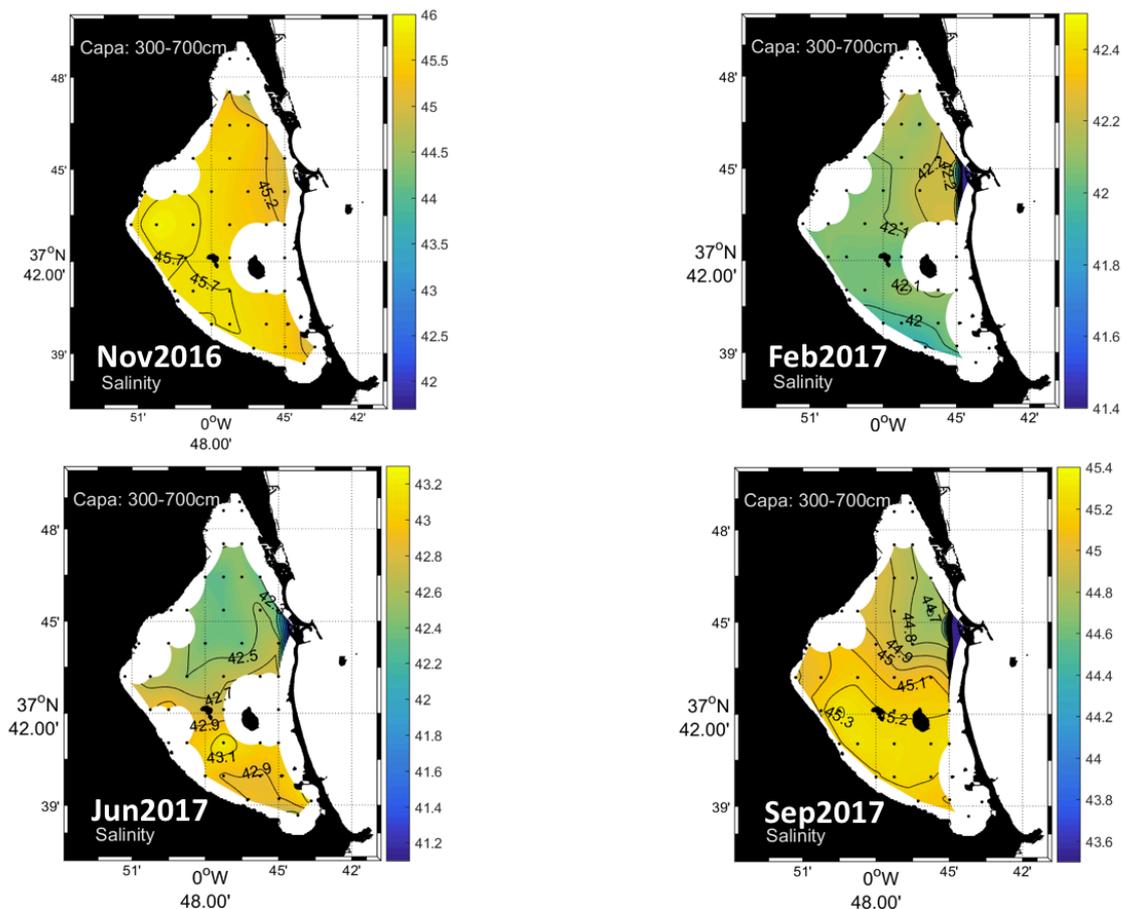


Figura 29.- Mapas de salinidad profundo (3-7 m) y para toda la superficie de El Mar Menor. Variación estacional para las cuatro campañas realizadas (nov2016, feb2017, jun2017 y sep2017).

Tabla 6. Estadística del campo halino profundo (3-7 m) de la laguna de El Mar Menor.

Salinity 3-7 m		Mean	STD	Min.	Max.
nov-16	Total	45.50	0.22	44.44	45.94
	C. Norte	45.43	0.25	44.44	45.94
	C. Sur	45.61	0.11	44.91	45.80
feb-17	Total	42.14	0.09	41.68	42.43
	C. Norte	42.17	0.07	41.86	42.43
	C. Sur	42.05	0.08	41.68	42.36
	Estacio	39.98	0.12	39.81	40.19
jun-17	Total	42.66	0.25	42.07	43.27
	C. Norte	42.52	0.18	42.07	42.91
	C. Sur	42.92	0.14	42.55	43.27
	Estacio	40.34	0.84	38.31	41.01
sep-17	Total	45.04	0.18	44.62	45.35
	C. Norte	44.94	0.15	44.62	45.22
	C. Sur	45.22	0.06	45.02	45.35
	Estacio	38.35	0.01	38.34	38.36

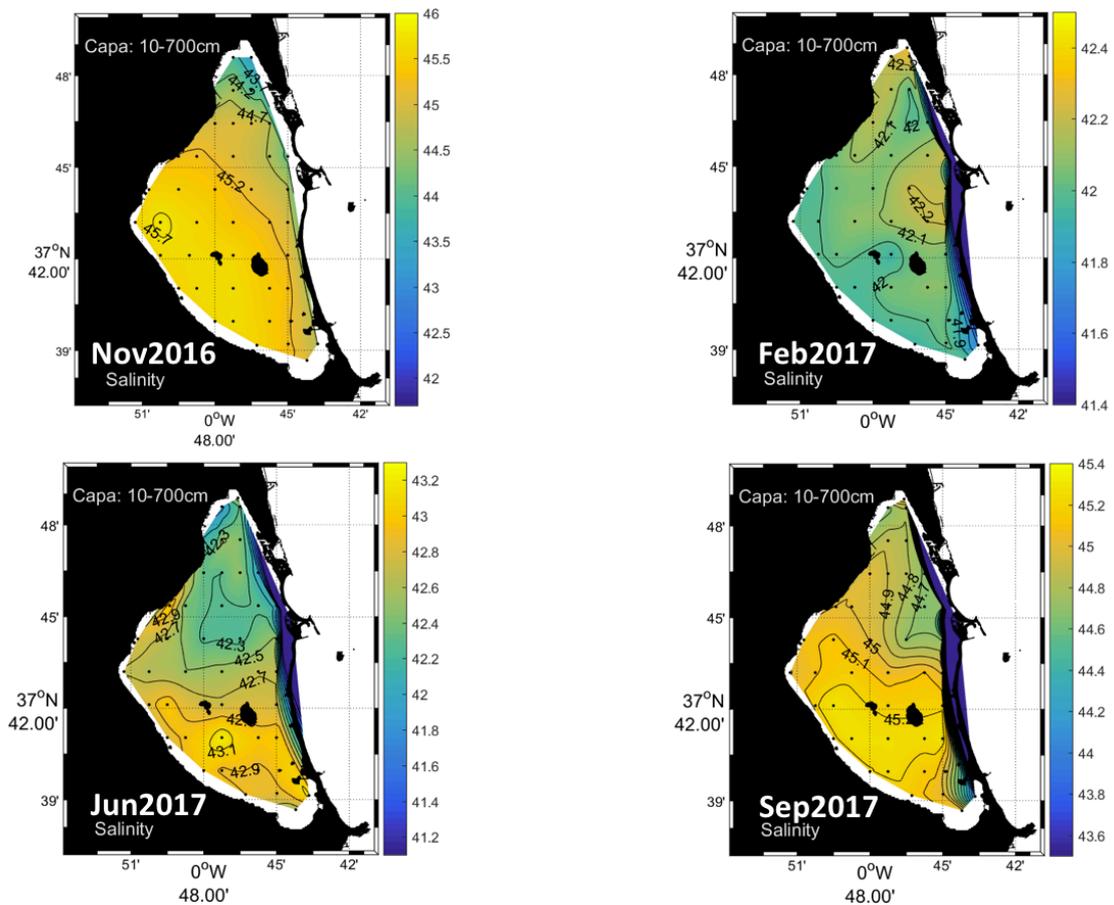


Figura 30.- Mapas de salinidad para toda la columna de agua (0-7 m) y para toda la superficie de El Mar Menor. Variación estacional para las cuatro campañas realizadas (nov2016, feb2017, jun2017 y sep2017).

La Figura 30 presenta la distribución halina para toda la columna de agua y para toda la superficie del Mar Menor, en la que se puede observar la alta variabilidad estacional y espacial de dicha variable oceanográfica. En general, en todas las estaciones queda plasmada la entrada de agua, menos salina, procedente del Mar Mediterráneo en la zona de El Estacio. La cuenca sur es, en términos generales, más salina que la cuenca norte, a excepción de feb17, debido fundamentalmente, al alto flujo procedente del Mediterraneo por el canal de El Estacio en esta estación del año.

Tabla 7. Estadística del campo halino para toda la columna de agua (0-7 m) de la laguna de El Mar Menor.

Salinity 0-7 m		Mean	STD	Min.	Max.
nov-16	Total	45.23	0.40	41.73	46.00
	C. Norte	45.09	0.45	41.73	46.00
	C. Sur	45.45	0.19	43.02	45.80
feb-17	Total	42.09	0.11	41.44	42.44
	C. Norte	42.13	0.10	41.65	42.44
	C. Sur	42.01	0.08	41.44	42.36
	Estacio	39.79	0.19	39.51	40.19
jun-17	Total	42.62	0.31	41.11	43.27
	C. Norte	42.45	0.24	41.11	43.08
	C. Sur	42.91	0.15	42.47	43.27
	Estacio	38.63	1.42	37.39	41.01
sep-17	Total	45.01	0.23	41.64	45.35
	C. Norte	44.92	0.17	44.48	45.22
	C. Sur	45.17	0.18	41.64	45.35
	Estacio	38.34	0.01	38.32	38.36

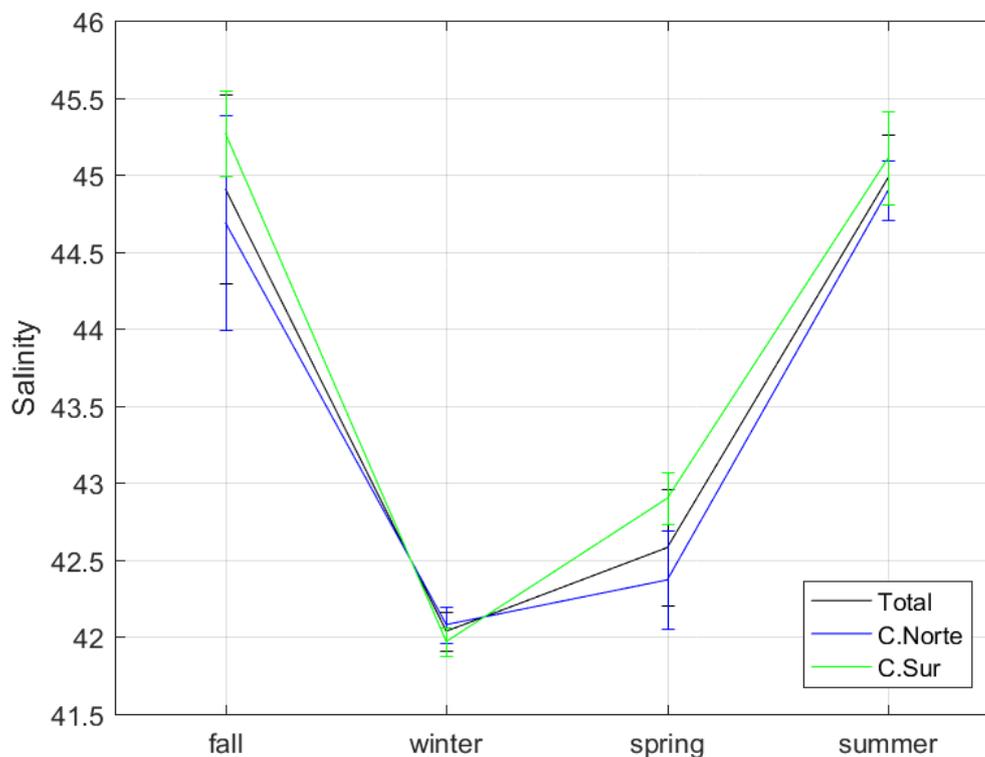


Figura 31.- Evolución estacional de la salinidad de la laguna del Mar Menor para toda la columna de agua y por cuencas.

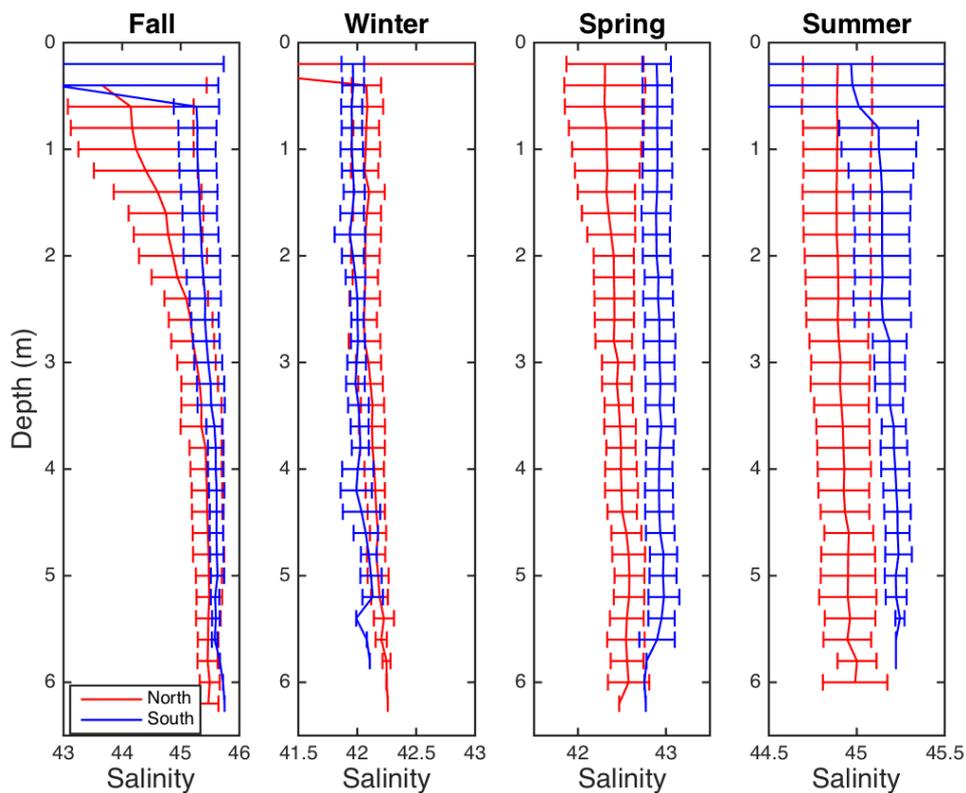


Figura 32.- Distribución en profundidad de la salinidad de la laguna del Mar Menor para toda la columna de agua, por cuencas y por estación.

Al igual que ocurre con el campo térmico para el Mar Menor, el campo halino presenta una estructura compleja lejos de lo que cabría esperar para su poca profundidad y dimensión.

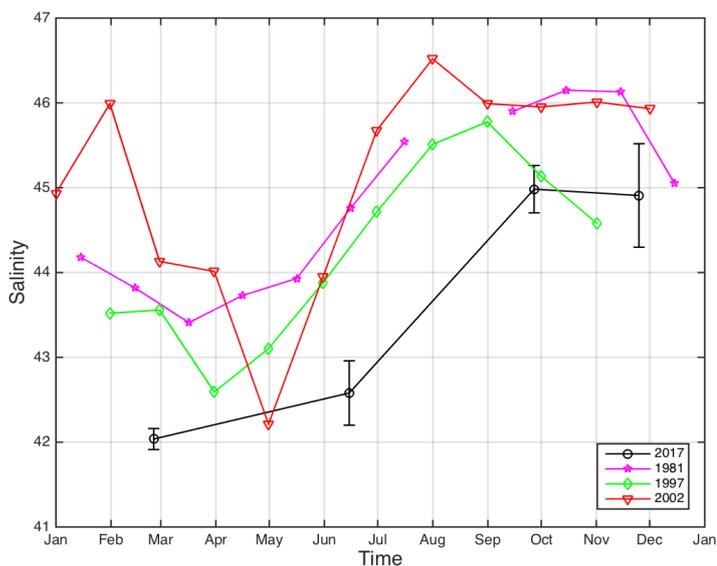


Figura 33.- Comparación de la evolución estacional del campo halino de la laguna del Mar Menor para toda la columna de agua referente a bases climatológicas.

Durante verano y otoño se registran las máximas salinidades por encima de 44.5, aunque muy por debajo de los 46 registrados en 1981 y 2002 y parecido a los registrados en 1997. Por otro lado, durante invierno y primavera, la salinidad cae drásticamente a niveles por debajo de 43 y mínimos de 41, por debajo de todos los valores de 1981, 1997 y 2002 (a excepción de mayo de 2002).

Esta comparación de la salinidad actual con la de años anteriores no parece apoyar la idea de que la colmatación progresiva de las Golas por sedimentos hubiera contribuido a reducir el intercambio de agua entre la laguna y el Mediterráneo, lo cual hubiera dado lugar a cierta tendencia de incremento de la salinidad.

Estas salinidades mínimas, registradas durante invierno y primavera, puede ser debidas, muy probablemente, a las altas tasas de renovación y ventilación producidas en estas fechas por agua básicamente procedente del Mediterráneo.

Teniendo en cuenta la componente vertical, se encuentran diferencias significativas entre cuencas sobre todo en primavera y verano. En otoño, aunque no encontramos diferencias significativas entre cuencas, en la cuenca norte, entre 0-3 m, hay un rango muy amplio de salinidades, con valores mínimos de 41 y máximos de 46. Esa diferencia no existe en profundidad en las que ambas cuencas poseen una salinidad similar y con muy poca variación. Durante invierno, la salinidad prácticamente se mantiene constante con la profundidad y similar para ambas cuencas, con mínimos entre 41.5 y 42.5. Durante primavera, la cuenca sur y norte tienen un comportamiento halino diferente en prácticamente toda la columna de agua, a excepción del primer metro más cercano a superficie. En verano, las cuencas sur y norte también presentan una diferencia significativa, en esta ocasión, en la parte profunda, entre 3 metros y el fondo. Por norma general, la cuenca sur es más salina que la norte, excepto en invierno.

Distribución de la concentración de oxígeno disuelto:

A partir de los datos procedentes de los perfiles de CTD-sensor de oxígeno disuelto realizados en toda la superficie del Mar Menor (Tabla 1) y de muestras tomadas para la determinación de la concentración de oxígeno por el método Winkler (1888), se ha podido estudiar y cuantificar la variabilidad estacional y anual de la concentración de oxígeno disuelto con la profundidad.

La *Figura 34* representa las rectas de regresión usadas para calibrar el sensor de oxígeno disuelto del CTD con los datos de Winkler en las cuatro campañas oceanográficas realizadas en el Mar Menor.

Las *Figura 35*, *Figura 36* y *Figura 37* muestran la variación de la concentración de oxígeno disuelto superficial, profundo y global, respectivamente, para la laguna del Mar Menor, así como su distribución espacial y temporal. Los datos medios por cuencas se muestran en las tablas 8, 9 y 10.

La evolución estacional de la concentración de oxígeno disuelto de la laguna del Mar Menor para toda la columna de agua y por cuencas se muestra en la *Figura 38*.

Las *Figura 39* y *Figura 40* muestran la distribución de la concentración de oxígeno disuelto en profundidad, por cuencas y por estación.

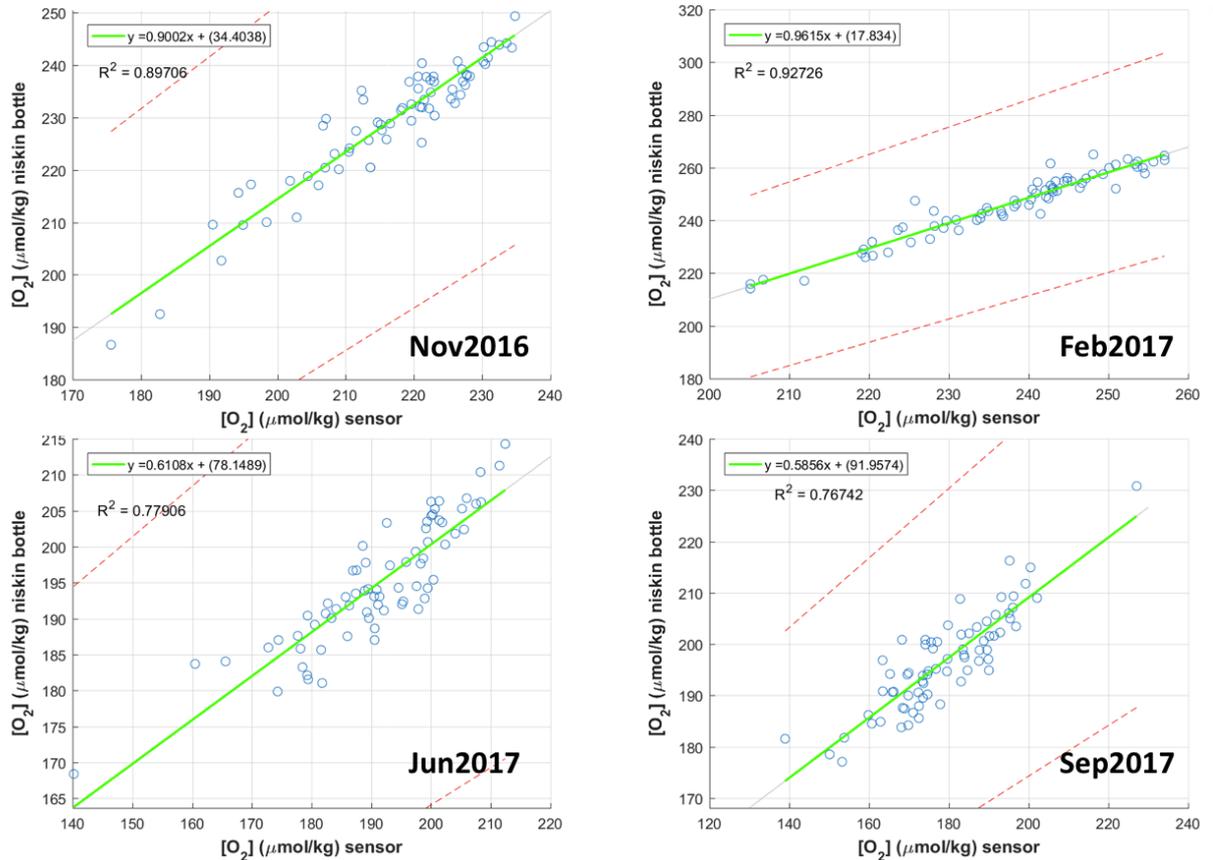


Figura 34.- Rectas de regresión para la calibración de la concentración de oxígeno disuelto medido por el sensor del CTD y las muestras *in situ* a través de las botellas niskin en las 4 campañas oceanográficas.

Los datos *in situ* fueron adquiridos a diferentes profundidades en cada una de las campañas oceanográficas realizadas para toda la laguna del Mar Menor y para cada estación del año. Los resultados, mostrados en la figura anterior, indican claramente esta alta correlación entre los datos del sensor y los datos *in situ*. Con estas rectas de regresión se han calibrado por tanto los datos del sensor. Los datos han sido expresados en $\mu\text{mol kg}^{-1}$.

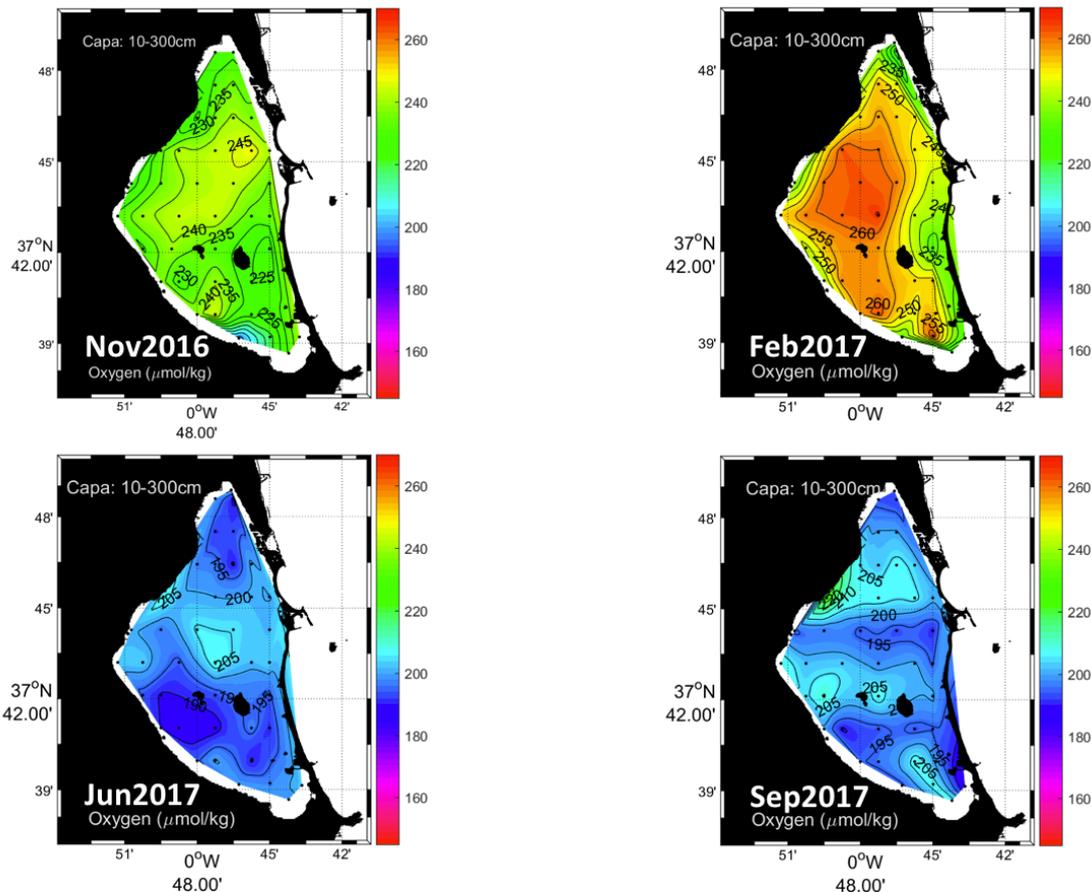


Figura 35.- Mapas de la concentración de oxígeno disuelto superficial (0-3 m) y para toda la superficie de El Mar Menor. Variación estacional para las cuatro campañas realizadas (nov2016, feb2017, jun2017 y sep2017).

Tabla 8. Estadística de la concentración de oxígeno disuelto superficial (0-3 m) en la laguna de El Mar Menor.

Oxygen 0-3 m (mmol/kg)		Mean	STD	Min.	Max.
nov-16	Total	233.93	9.23	192.51	253.44
	C. Norte	236.22	7.73	209.91	253.44
	C. Sur	230.39	10.34	192.51	245.62
feb-17	Total	249.78	11.40	215.06	266.38
	C. Norte	250.75	10.87	215.06	266.38
	C. Sur	248.30	12.38	220.19	264.99
	Estacio	244.82	0.30	244.34	245.30
jun-17	Total	197.20	5.74	184.74	209.49
	C. Norte	199.39	5.12	187.53	208.95
	C. Sur	193.89	5.04	184.74	209.49
	Estacio	205.87	0.63	205.00	206.91
sep-17	Total	199.95	7.17	179.55	224.94
	C. Norte	200.48	6.81	187.75	224.94
	C. Sur	199.14	7.73	179.55	211.45
	Estacio	201.65	0.11	201.52	201.88

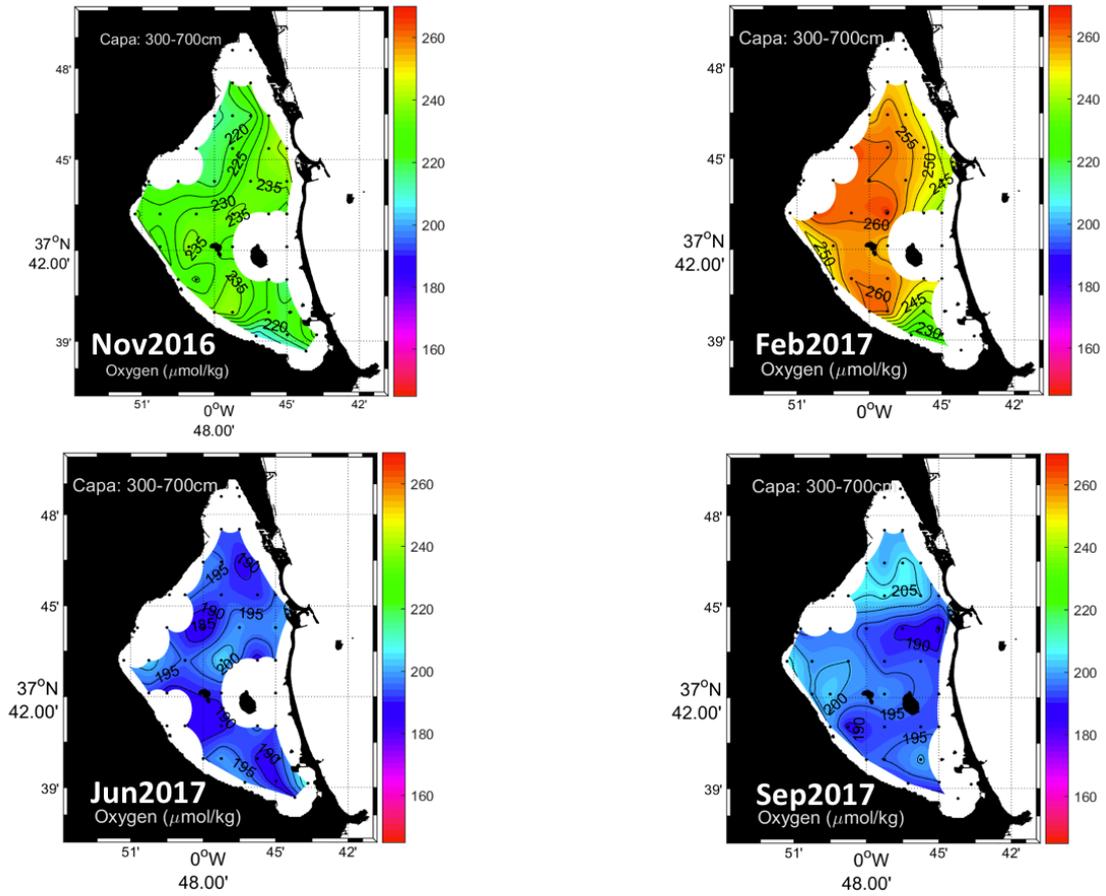


Figura 36.- Mapas de la concentración de oxígeno disuelto profundo (3-7 m) y para toda la superficie de El Mar Menor. Variación estacional para las cuatro campañas realizadas (nov2016, feb2017, jun2017 y sep2017).

Tabla 9. Estadística de la concentración de oxígeno disuelto profundo (3-7 m) en la laguna de El Mar Menor.

Oxygen 3-7 m (mmol/kg)		Mean	STD	Min.	Max.
nov-16	Total	225.10	10.42	198.96	246.29
	C. Norte	225.86	10.89	200.42	246.29
	C. Sur	224.50	8.57	198.96	245.35
feb-17	Total	250.34	13.72	149.23	267.81
	C. Norte	253.71	8.94	223.78	267.81
	C. Sur	242.01	16.38	149.23	266.99
	Estacio	244.18	0.28	243.74	244.65
jun-17	Total	191.50	6.53	163.95	211.22
	C. Norte	192.34	6.49	176.36	208.94
	C. Sur	190.74	5.71	163.95	211.22
	Estacio	199.75	3.51	194.61	206.16
sep-17	Total	195.37	6.83	173.32	210.38
	C. Norte	196.41	6.99	181.69	210.38
	C. Sur	193.60	5.06	173.32	209.99
	Estacio	201.38	0.20	200.99	201.70

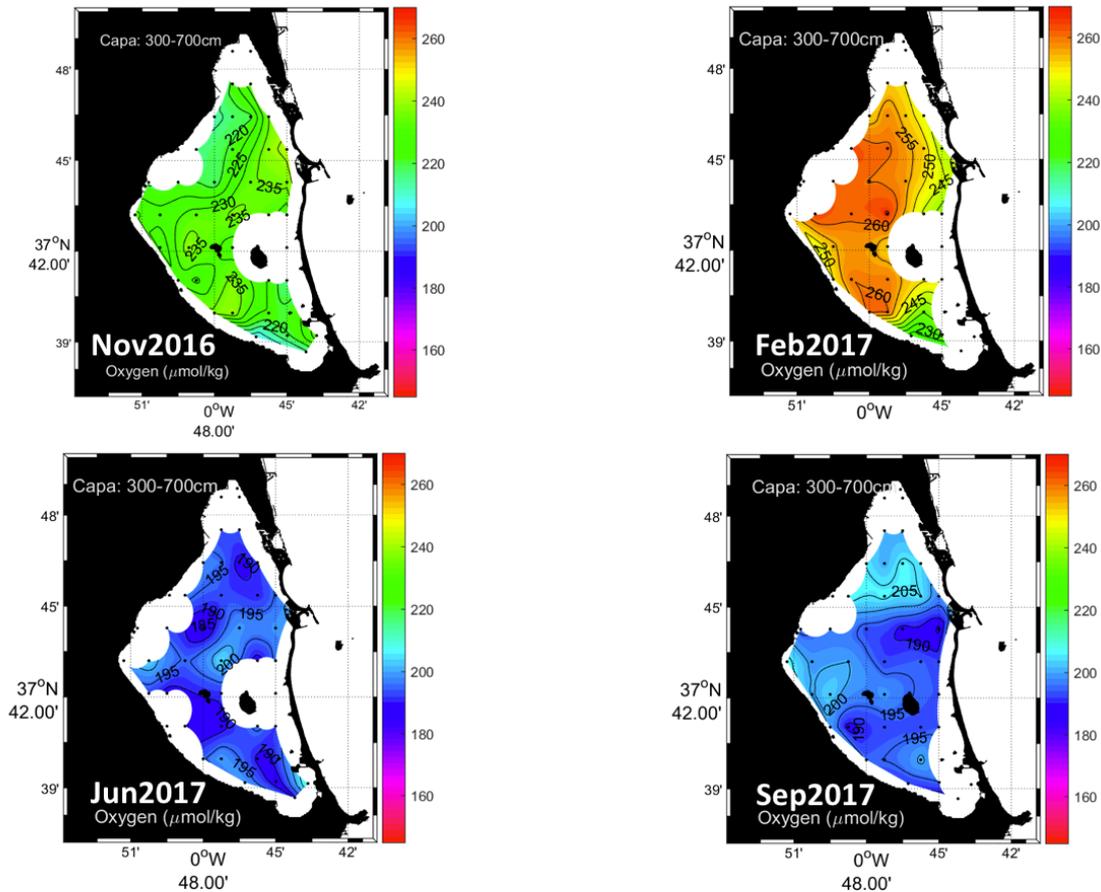


Figura 37.- Mapas de la concentración de oxígeno disuelto profundo (3-7 m) y para toda la superficie de El Mar Menor. Variación estacional para las cuatro campañas realizadas (nov2016, feb2017, jun2017 y sep2017).

Tabla 10. Estadística de la concentración de oxígeno disuelto en toda la columna de agua (0-7 m) en la laguna de El Mar Menor.

Oxygen 0-7 m ($\mu\text{mol/kg}$)		Mean	STD	Min.	Max.	
nov-16	Total	229.13	9.87	192.51	253.44	
	C. Norte	230.48	9.46	200.42	253.44	
	C. Sur	227.19	9.38	192.51	245.62	
feb-17	Total	250.02	12.68	149.23	267.81	
	C. Norte	252.27	9.88	215.06	267.81	
	C. Sur	244.99	14.45	149.23	266.99	
Estacio		244.60	0.43	243.74	245.30	
	jun-17	Total	194.13	6.16	163.95	211.22
		C. Norte	195.60	5.86	176.36	208.95
C. Sur		192.20	5.37	163.95	211.22	
Estacio		203.60	3.67	194.61	206.91	
	sep-17	Total	197.55	7.01	173.32	224.94
		C. Norte	198.35	6.92	181.69	224.94
C. Sur		196.28	6.36	173.32	211.45	
Estacio		201.57	0.19	200.99	201.88	

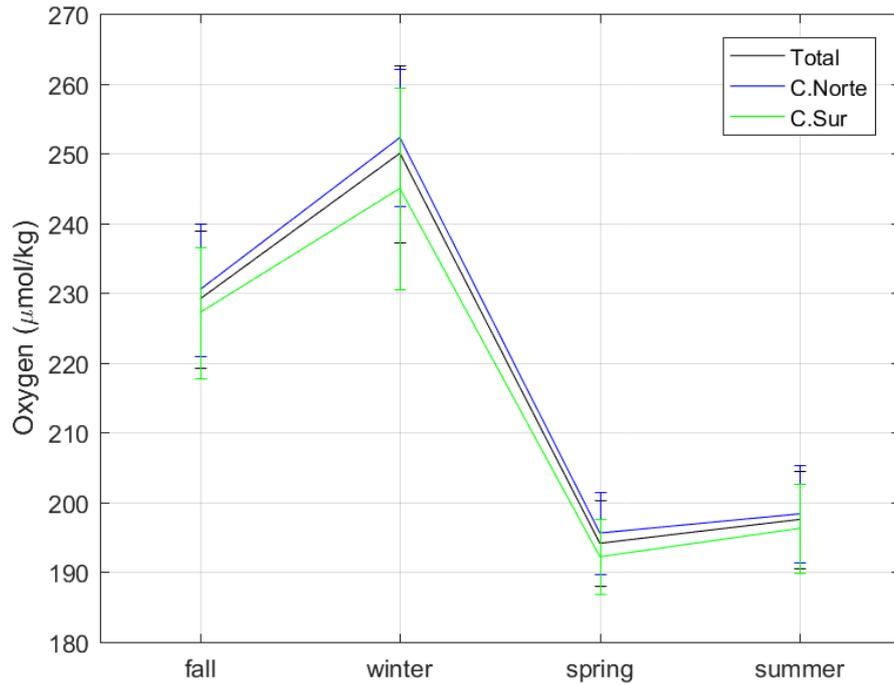


Figura 38.- Evolución estacional de la salinidad de la laguna del Mar Menor para toda la columna de agua y por cuencas.

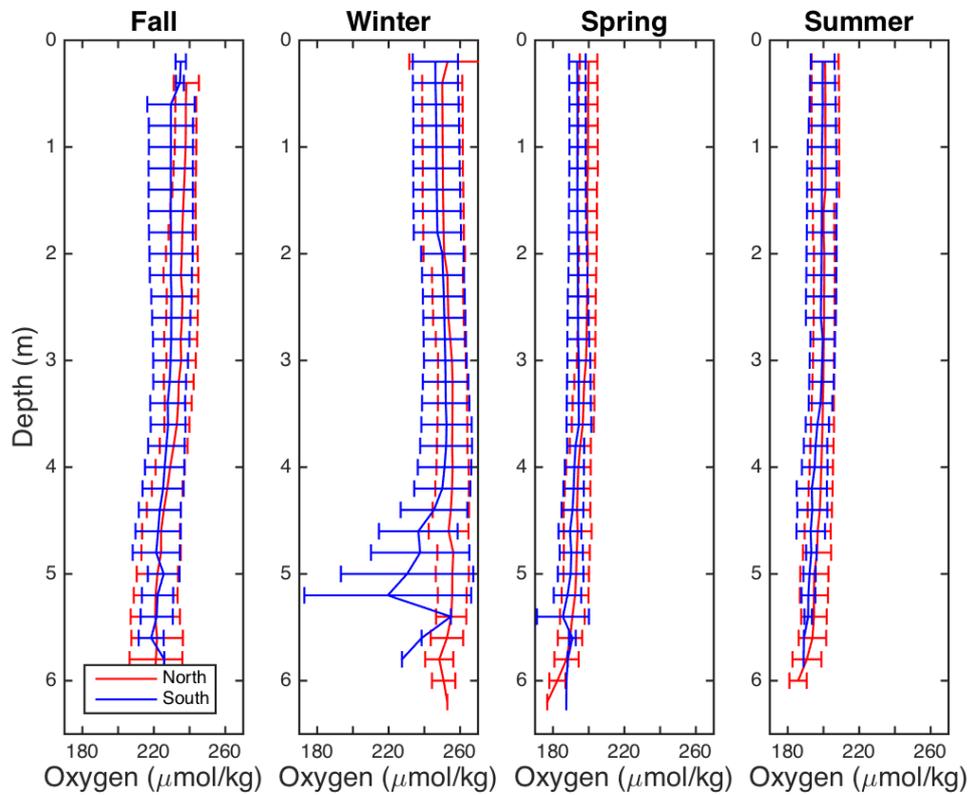


Figura 39.- Distribución en profundidad de la concentración de oxígeno disuelto de la laguna del Mar Menor para toda la columna de agua, por cuencas y por estación.

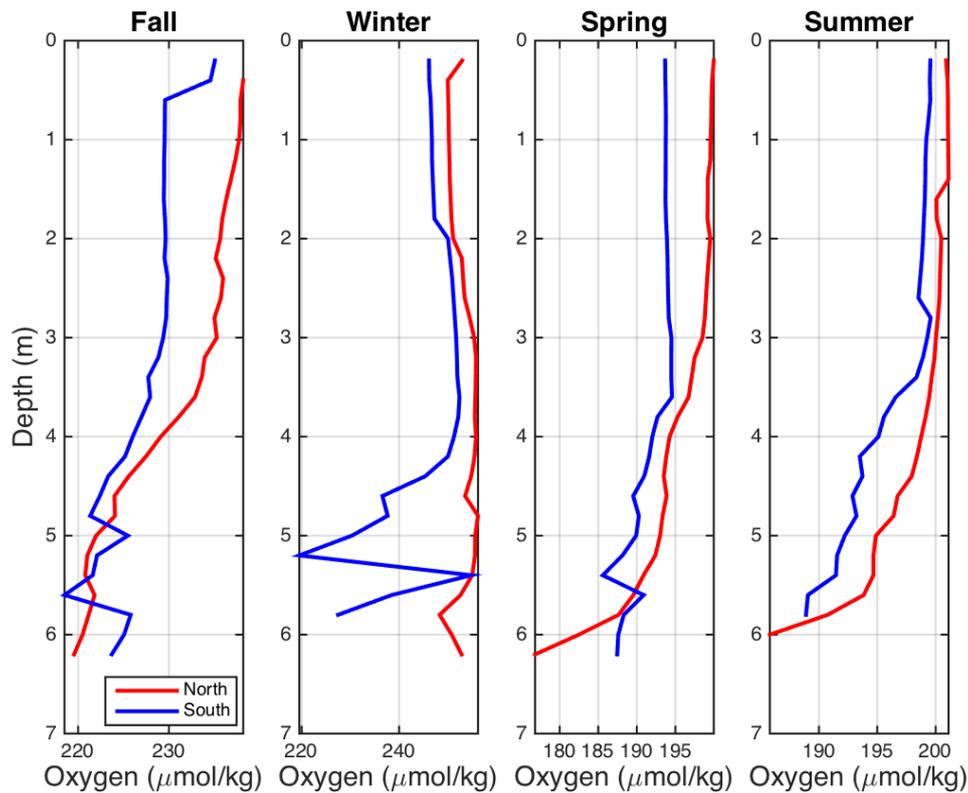


Figura 40.- Distribución en profundidad de la concentración de oxígeno disuelto de la laguna del Mar Menor para toda la columna de agua, por cuencas y por estación.

A partir de los resultados obtenidos, se puede observar que el contenido de oxígeno disuelto presenta una alta variabilidad estacional a lo largo de toda la laguna del Mar Menor. Se registran máximos en otoño e invierno y mínimos en primavera y verano.

El máximo encontrado en invierno coincide con la estación del año con menor temperatura media y menor salinidad siendo, por tanto, una de las estaciones más ventiladas del año. Debemos tener en cuenta que, durante esta estación del año, se produjo, además, la mayor transferencia o transporte de agua desde el Mediterráneo al Mar Menor por el canal del Estacio, con casi 3 hm³ por día y un total de 268 hm³ integrados en tres meses.

La concentración de oxígeno disuelto varía su estructura vertical, obteniéndose valores más altos en superficie que en profundidad. A partir de 3 metros de profundidad, la concentración de oxígeno disminuye significativamente con respecto a la capa superficial. Además, se encuentran diferencias significativas en cuanto a la distribución de la concentración de oxígeno disuelto por cuencas. La cuenca norte contiene una concentración de oxígeno disuelto más elevada que la cuenca sur para todas las estaciones del año.

Campo de turbidez:

A partir de los datos procedentes de los perfiles de CTD-sensor de turbidez realizados en toda la superficie del Mar Menor (Tabla 1) se ha podido estudiar y cuantificar la variabilidad estacional y anual de dicho parámetro con la profundidad y el espacio.

Las *Figura 41*, *Figura 42* y *Figura 43* muestran la variación de turbidez superficial, profunda y global, respectivamente, para la laguna del Mar Menor, así como su distribución espacial y temporal. Los datos medios por cuencas se muestran en las tablas 11, 12 y 13.

La evolución estacional de la concentración de oxígeno disuelto de la laguna del Mar Menor para toda la columna de agua y por cuencas se muestra en la *Figura 44*.

Las *Figura 45* muestran la distribución de la concentración de oxígeno disuelto en profundidad, por cuencas y por estación.

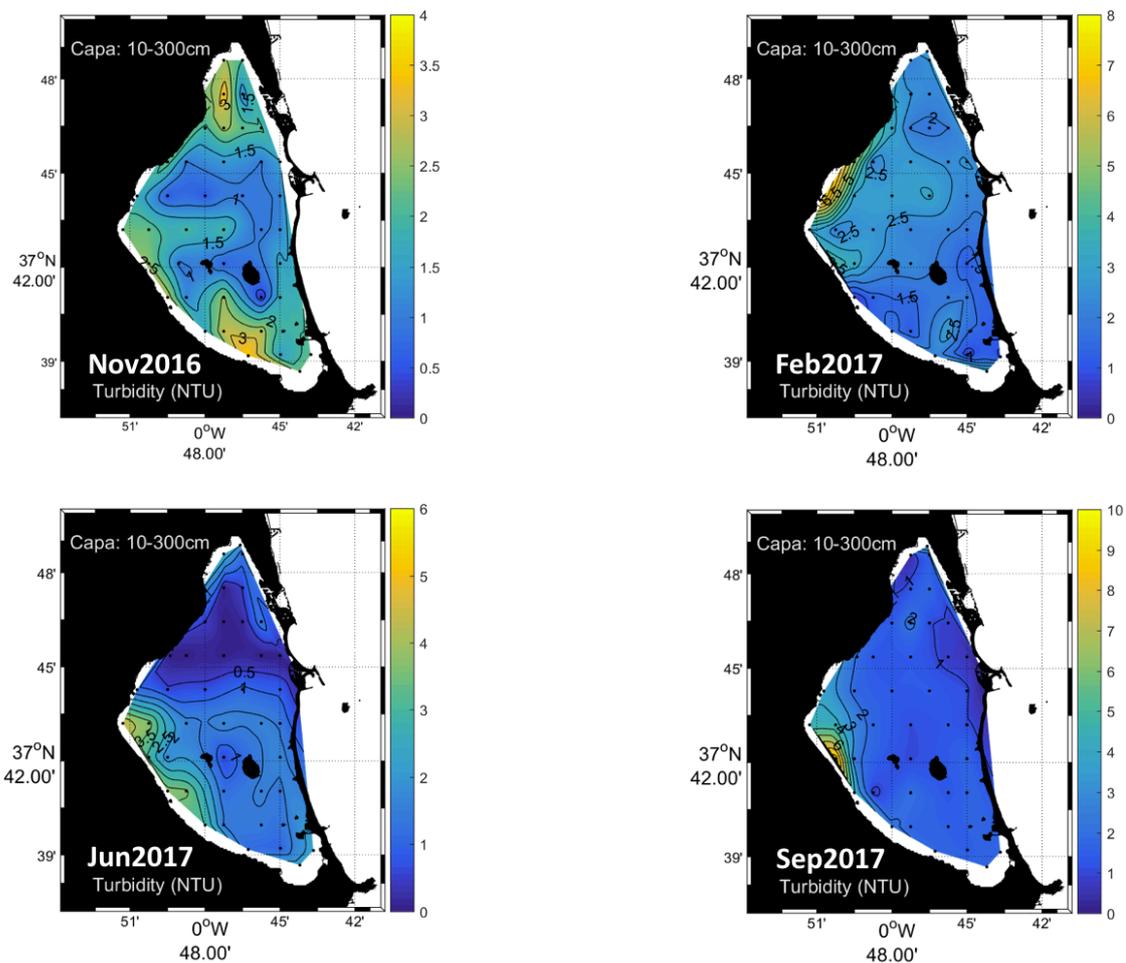


Figura 41.- Mapas de la distribución de la turbidez para la capa superficial (0-3 m) y para toda la superficie de El Mar Menor. Variación estacional para las cuatro campañas realizadas (nov2016, feb2017, jun2017 y sep2017).

Tabla 11. Estadística de turbidez superficial (0-3 m) en la laguna de El Mar Menor.

Turbidity 0-3 m		Mean (NTU)	STD (NTU)	Min. (NTU)	Max. (NTU)
nov-16	Total	1.81	0.77	0.00	3.60
	C. Norte	1.68	0.75	0.30	3.60
	C. Sur	1.97	0.83	0.00	3.60
feb-17	Total	2.41	1.16	0.50	7.80
	C. Norte	2.70	1.15	1.80	7.80
	C. Sur	1.97	1.03	0.50	4.02
	Estacio	2.35	0.09	2.20	2.60
jun-17	Total	1.43	1.17	0.00	5.40
	C. Norte	1.10	1.20	0.00	5.40
	C. Sur	1.92	0.95	0.50	4.06
	Estacio	0.00	0.00	0.00	0.00
sep-17	Total	1.95	1.59	0.20	9.86
	C. Norte	1.73	1.15	0.20	5.03
	C. Sur	2.28	2.07	0.58	9.86

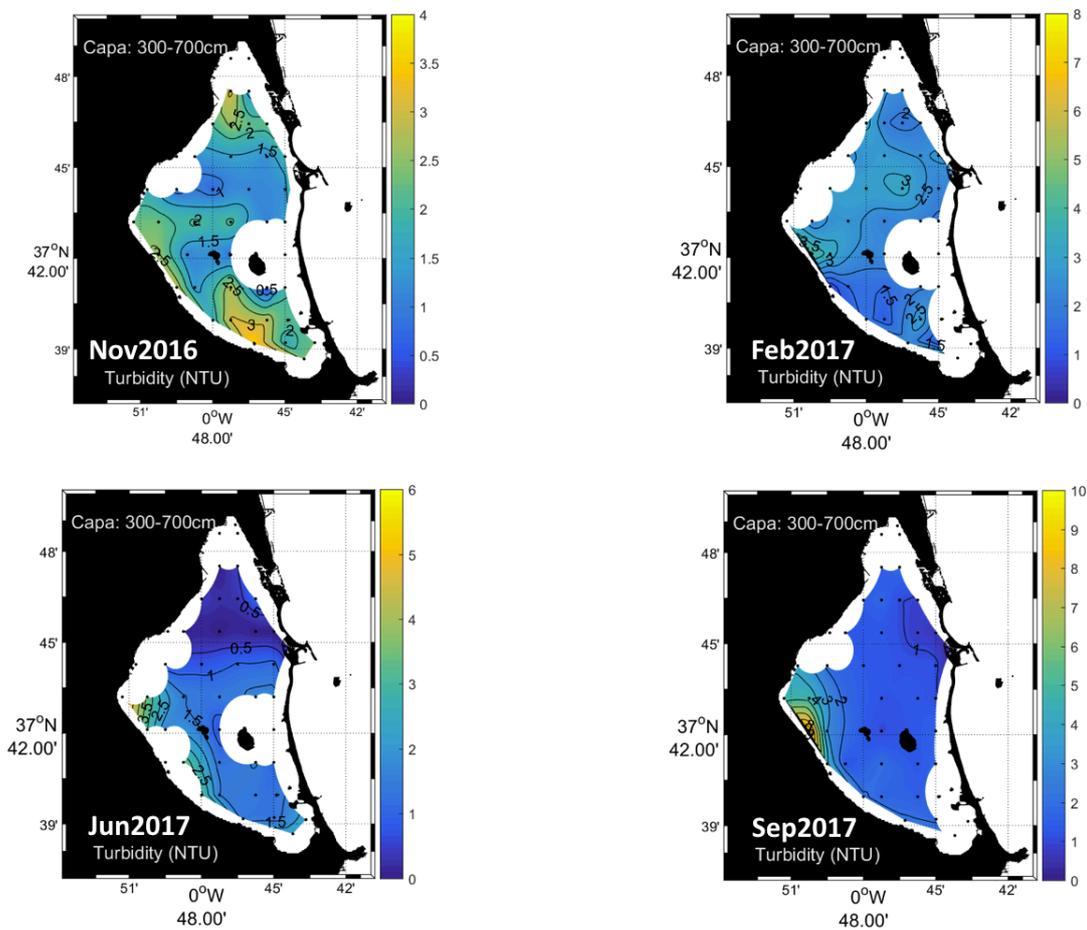


Figura 42.- Mapas de la distribución de la turbidez para la capa profunda (3-7 m) y para toda la superficie de El Mar Menor. Variación estacional para las cuatro campañas realizadas (nov2016, feb2017, jun2017 y sep2017).

Tabla 12. Estadística de turbidez profunda (3-7 m) en la laguna de El Mar Menor.

Turbidity 3-7 m		Mean (NTU)	STD (NTU)	Min. (NTU)	Max. (NTU)
nov-16	Total	1.68	0.71	0.20	3.60
	C. Norte	1.61	0.61	0.60	3.30
	C. Sur	1.79	0.81	0.20	3.60
feb-17	Total	2.44	0.59	0.70	5.10
	C. Norte	2.52	0.46	1.80	5.10
	C. Sur	2.19	0.67	0.70	4.10
	Estacio	2.40	0.00	2.40	2.40
jun-17	Total	1.06	0.80	0.00	5.60
	C. Norte	0.86	0.82	0.00	5.60
	C. Sur	1.39	0.55	0.60	3.56
	Estacio	0.00	0.00	0.00	0.00
sep-17	Total	1.57	0.80	0.70	10.70
	C. Norte	1.42	0.62	0.70	5.04
	C. Sur	1.78	0.88	1.00	10.70
	Estacio	0.00	0.00	0.00	0.00

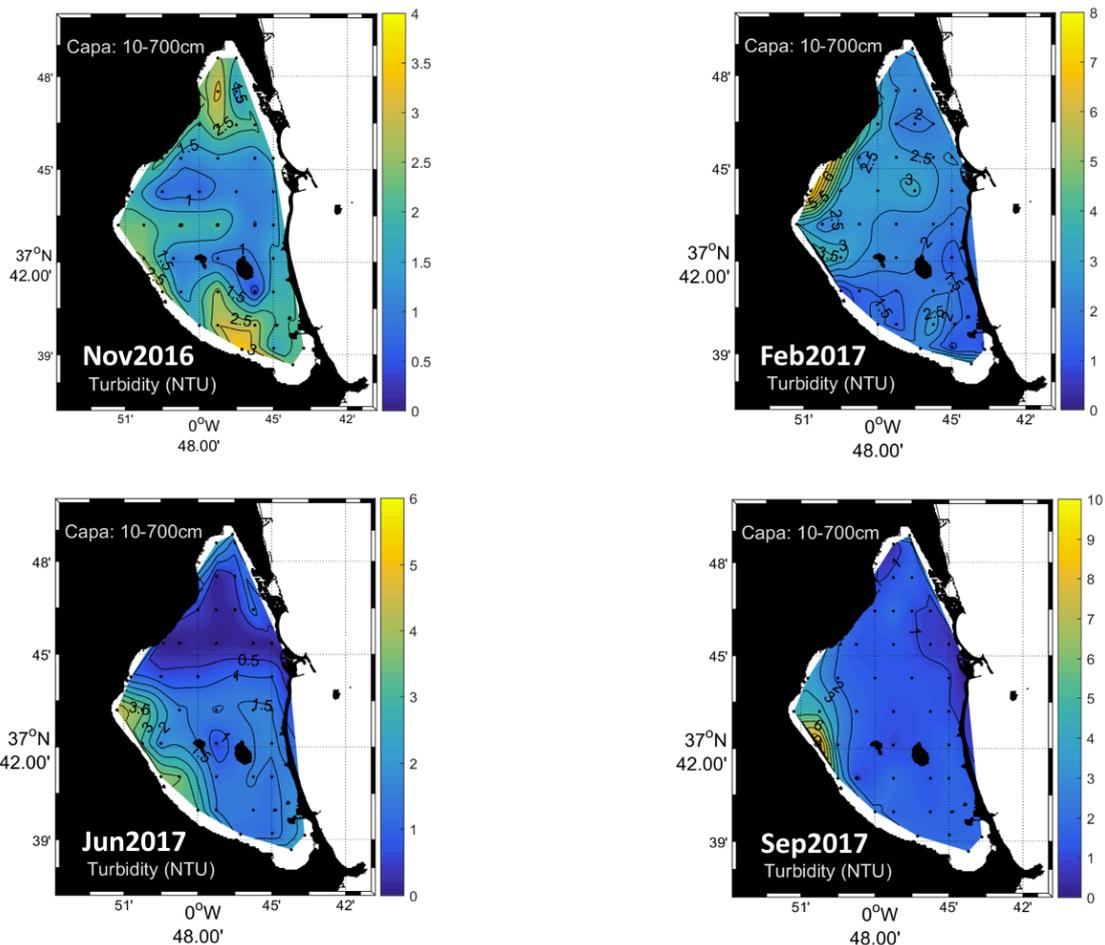


Figura 43.- Mapas de la distribución de la turbidez para toda la columna de agua (0-7 m) y para toda la superficie de El Mar Menor. Variación estacional para las cuatro campañas realizadas (nov2016, feb2017, jun2017 y sep2017).

Tabla 13. Estadística de turbidez en toda la columna de agua (0-7 m) en la laguna de El Mar Menor.

Turbidity 0-7 m		Mean (NTU)	STD (NTU)	Min. (NTU)	Max. (NTU)
nov-16	Total	1.74	0.74	0.00	3.60
	C. Norte	1.64	0.67	0.30	3.60
	C. Sur	1.87	0.82	0.00	3.60
feb-17	Total	2.43	0.86	0.50	7.80
	C. Norte	2.61	0.79	1.80	7.80
	C. Sur	2.08	0.84	0.50	4.10
	Estacio	2.36	0.08	2.20	2.60
jun-17	Total	1.23	0.97	0.00	5.60
	C. Norte	0.97	0.99	0.00	5.60
	C. Sur	1.64	0.74	0.50	4.06
	Estacio	0.00	0.00	0.00	0.00
sep-17	Total	1.57	0.80	0.70	10.70
	C. Norte	1.42	0.62	0.70	5.04
	C. Sur	1.78	0.88	1.00	10.70
	Estacio	0.00	0.00	0.00	0.00

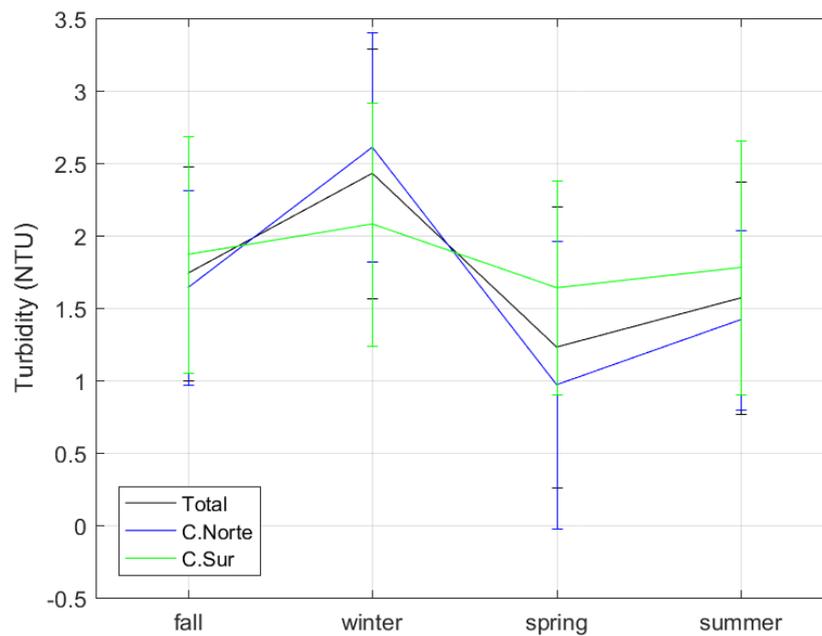


Figura 44.- Evolución estacional de la turbidez de la laguna del Mar Menor para toda la columna de agua y por cuencas.

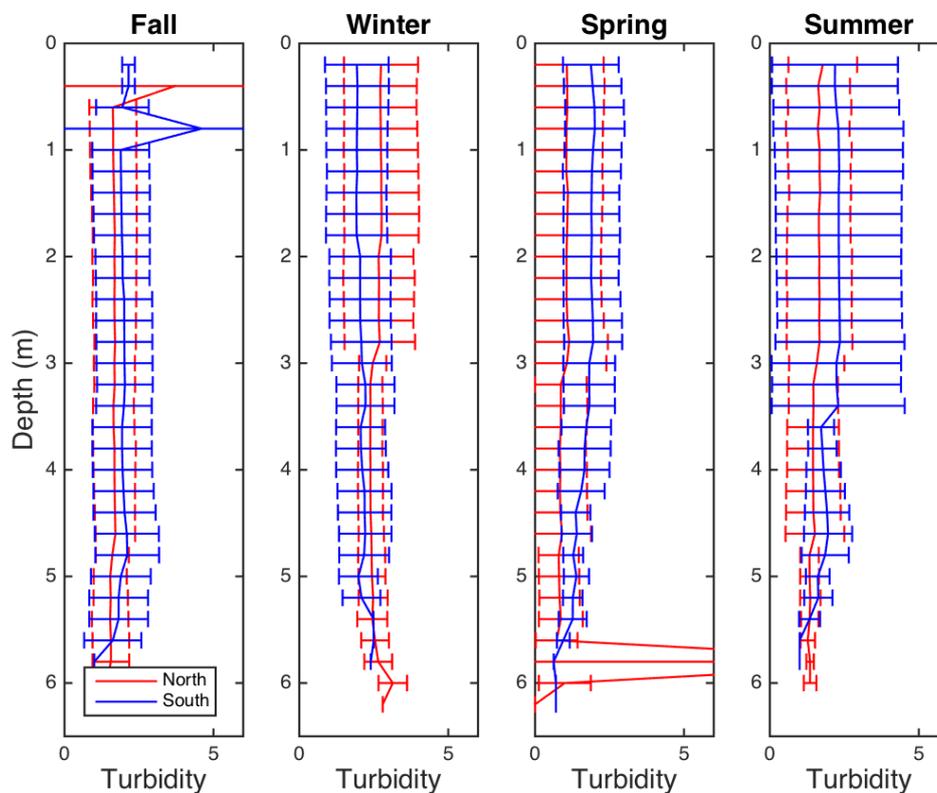


Figura 45.- Distribución en profundidad de la turbidez de la laguna del Mar Menor para toda la columna de agua, por cuencas y por estación.

El patrón estacional de la turbidez para toda la superficie de la laguna de El Mar Menor presenta una alta variabilidad temporal. En términos generales, existe una alta transparencia o baja turbidez en la costa este de la laguna, la más limitrofe a la costa del Mar Mediterráneo y zonas de alta turbidez en la costa oeste de la cubeta norte y sur, muy marcadas por la acción de la desembocadura de la Rambla del Albujón y los Nietos.

En cuanto a la variabilidad estacional, aunque la estación más transparente debería ser sin duda invierno, por ser la estación del año en la que se produce una mayor tasa de renovación del agua lagunar procedente del Mar Mediterráneo, los datos muestran un máximo con respecto a todas las estaciones muestreadas. Esto puede ser debido a que, durante esa estación, y precisamente unas semanas antes de la realización de la campaña de invierno, el Mar Menor fue víctima de un episodio de lluvia torrencial intenso, y la introducción por tanto de grandes cantidades de materiales disueltos en suspensión. En los resultados obtenidos se observa un máximo en la zona de los Alcázares.

Durante primavera, se produjo una disminución significativa de la turbidez de la laguna de El Mar Menor, obteniéndose los mínimos anuales.

El patrón estacional de turbidez es algo diferente si lo analizamos a partir de datos del coeficiente de extinción de la luz (k , m^{-1}) obtenido a partir de mediciones de irradiancia PAR incidente (Tabla 14).

Tabla 14. Tabla de coeficiente de extinción de la luz Mar Menor.

k , m^{-1}	nov-16		feb-17		jun-17		sep-17	
	media	ES	media	ES	media	ES	media	ES
Norte (A)	0,90	0,0 2	0,432	0,00 7	0,336	0,011	0,905	0,005
Centro (B)	0,87	0,0 3	0,374	0,01 5	0,344	0,026	0,948	0,019
Sur (C)	0,91	0,0 2	0,379	0,05 9	0,442	0,015	0,980	0,012
Total	0,89	0,0 1	0,395	0,01 9	0,374	0,034	0,944	0,022
Min	0,88 (A)		0,32 (C)		0,32 (B)		0,9 (A)	
Max	0,93 (C)		0,44 (AC)		0,46 (C)		0,99 (C)	

Al igual que se observa en periodos anteriores (Lloret et al., 2005; Terrados, 1991), los valores más bajos se observan en invierno y primavera y los más elevados en verano y otoño, pero en este caso los valores medios obtenidos en cada época del año son muy superiores a los de cualquier año anterior del que se dispone de información de esta variable.

En cuanto al patrón vertical y la distribución por cuencas, no se detectan diferencias significativas.

Distribución de los parámetros del sistema del dióxido de carbono:

El grupo QUIMA-IOCAG de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria ha participado en el estudio encargado al Instituto Español de Oceanografía desde la Consejería de Agua, Agricultura y Medio Ambiente de la Región de Murcia, como responsable de las medidas del sistema del CO₂ en el Mar Menor. En este estudio se han realizado cuatro muestreos en los meses de noviembre 2016, febrero, junio y septiembre 2017 completando así un periodo estacional. La tarea solicitada al grupo QUIMA fue la Tarea 1.b.- Estudio de la variabilidad estacional y anual del sistema del carbono (pH, alcalinidad total, carbono inorgánico total y pCO₂). El objetivo era estudiar la variabilidad espacio-temporal del sistema del dióxido de carbono oceánico, pH, alcalinidad total, contenido total de carbono inorgánico disuelto y cálculo teórico de la presión parcial de dióxido de carbono (pCO₂) expresada como fugacidad de CO₂ (fCO₂). Los detalles de la metodología y muestreo realizado se indican en los correspondientes informes (Informe MM1116, MM0217, MM0617, MM0917).

Resultados en superficie:

pH: El descenso observado en la temperatura entre mayo 2017 y noviembre 2017 (2-3 grados) contribuye a que el pH_{T,is} ascienda en aproximadamente en 0.03-0.04 unidades, contrariamente a lo observado en septiembre 2017, claramente indicando que la disminución en el pH corresponde con una remineralización que compensa el cambio de temperatura y además reduce los valores de pH más altos. Eliminado el efecto de la temperatura, pH_{T,25}, no se produce ninguna variación apreciable, lo cual confirma que otros factores como la actividad biológica, remineralización y las propiedades de las distintas masas de agua controlan la variabilidad observada (*Figura 46*).

Carbono inorgánico y alcalinidad: El incremento de casi dos unidades de salinidad de las aguas superficiales (también en toda la Laguna) en noviembre con respecto a los valores medidos en junio conllevaría un ligero incremento de la alcalinidad y del contenido de carbono inorgánico de las aguas, pudiéndose ver contrarrestado el último (C_T) por un mayor desprendimiento de dióxido de carbono hacia la atmósfera. La remineralización de la materia orgánica que explica lo observado en los valores de pH, llevaría consigo un aumento del contenido de carbono inorgánico, y ligero en alcalinidad, que claramente es contrarrestado por eliminación de carbono inorgánico en forma de carbonato cálcico en la Laguna. Sólo en la zona de las aguas mediterráneas entrantes de El Estacio y de la zona de Marchamalo, presentan valores más altos y más próximos a los determinados en agua exteriores. Una vez normalizados los valores a una salinidad constante de 35, los valores son inferiores,

pero mantienen una distribución similar a los no normalizados (*Figura 47 y Figura 48*).

fCO₂: Se observa que durante el mes de septiembre todas las aguas superficiales están sobresaturadas de CO₂ con valores que alcanzan las 800 μatm , similares a los observados en el mes de febrero y por debajo de las 1400 μatm registradas en junio. La disminución en 2-3°C en temperatura contribuye en parte a la disminución observada con respecto a junio, así como la eliminación de dióxido de carbono disuelto por flujo océano-atmósfera. Sin embargo, la variación observada, así como esa con respecto a la distribución de febrero (con 10°C menor en temperatura) claramente indica que se ha producido una importante eliminación de carbono inorgánico disuelto en las aguas de la Laguna, asociado a fenómenos de calcificación y producción biológica en estos meses de verano. El área sigue actuando como una importante fuente de CO₂ hacia la atmósfera, que dependerá de la fuerza del viento (*Figura 49*).

Grado de saturación del aragonito: La capacidad que tiene la laguna para producir carbonato cálcico en forma de aragonito, sigue una distribución similar a la del pH, con valores máximos en las zonas de mayor pH. En septiembre 2017 se observa una recuperación en los valores del grado de saturación del aragonito con respecto a los valores de junio 2017 y de febrero 2017, con valores mínimos de 1.75, pero alcanzando valores por encima de 3 en la cuenca norte, debido a los cambios en temperatura y contenido de carbono inorgánico total disuelto y pH (*Figura 50*).

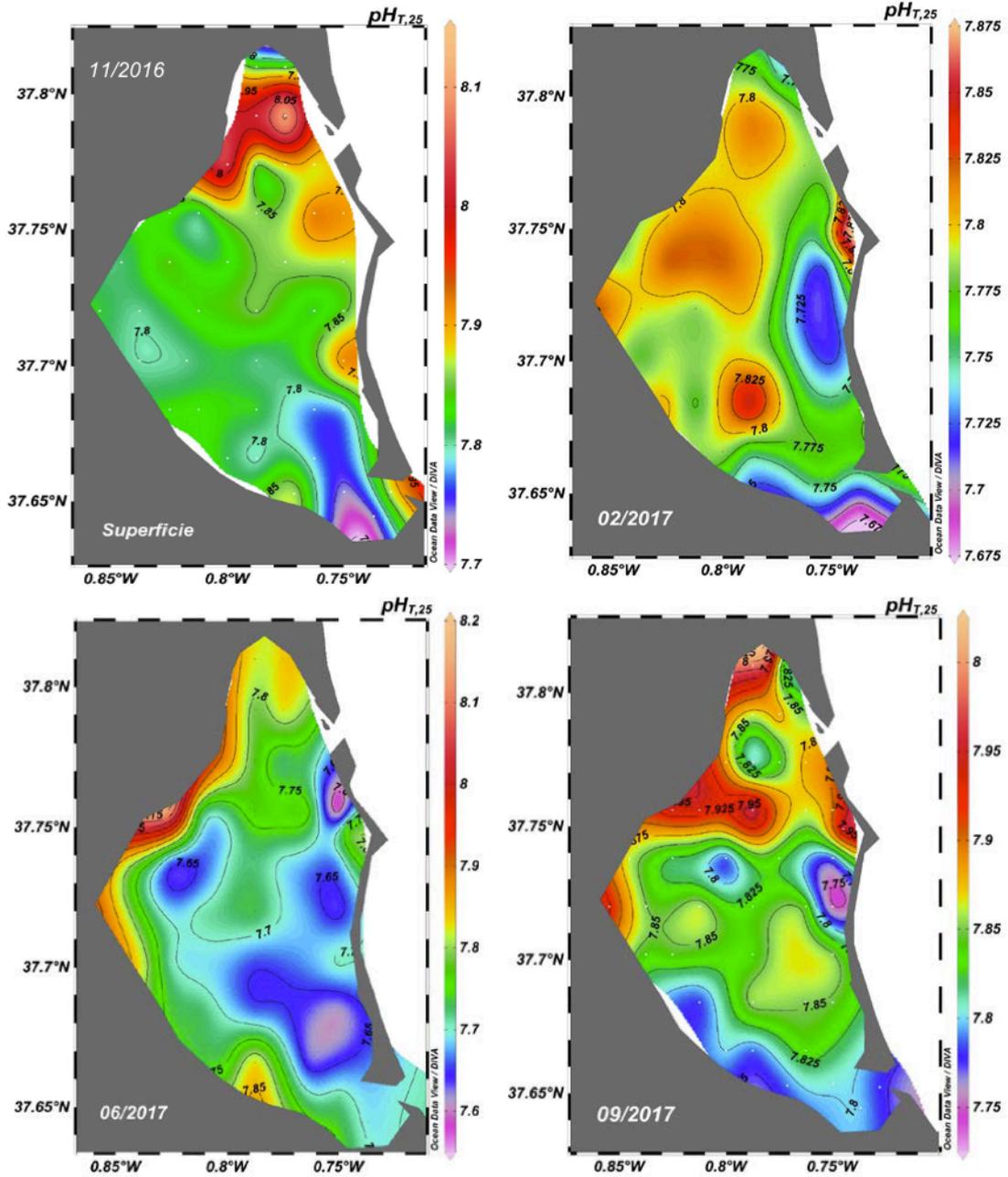


Figura 46.- Mapas de la distribución del pH para la capa superficial (0-3 m) y para toda la superficie de El Mar Menor. Variación estacional para las cuatro campañas realizadas (nov2016, feb2017, jun2017 y sep2017).

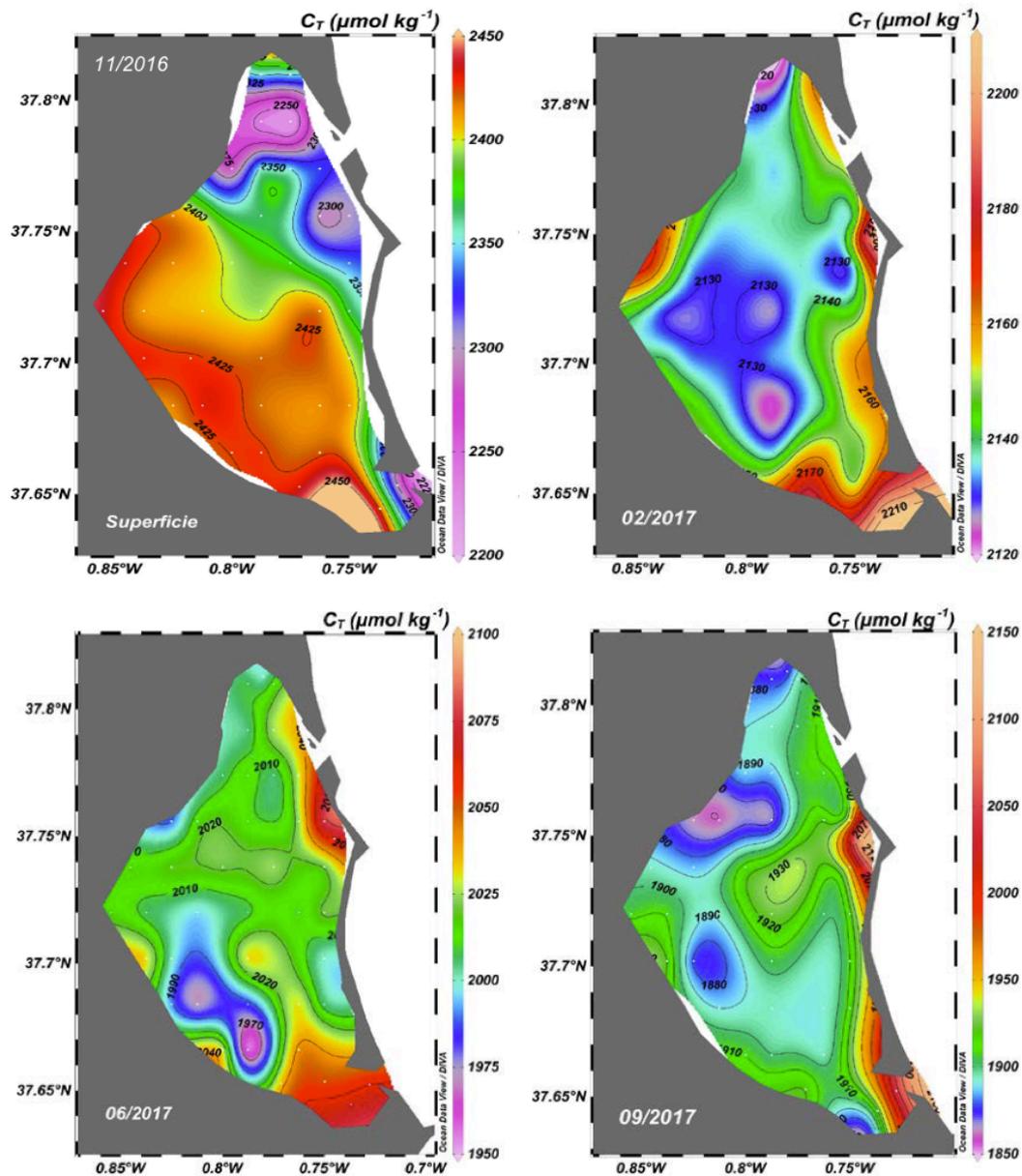


Figura 47.- Mapas de la distribución carbono inorgánico disuelto para la capa superficial (0-3 m) y para toda la superficie de El Mar Menor. Variación estacional para las cuatro campañas realizadas (nov2016, feb2017, jun2017 y sep2017).

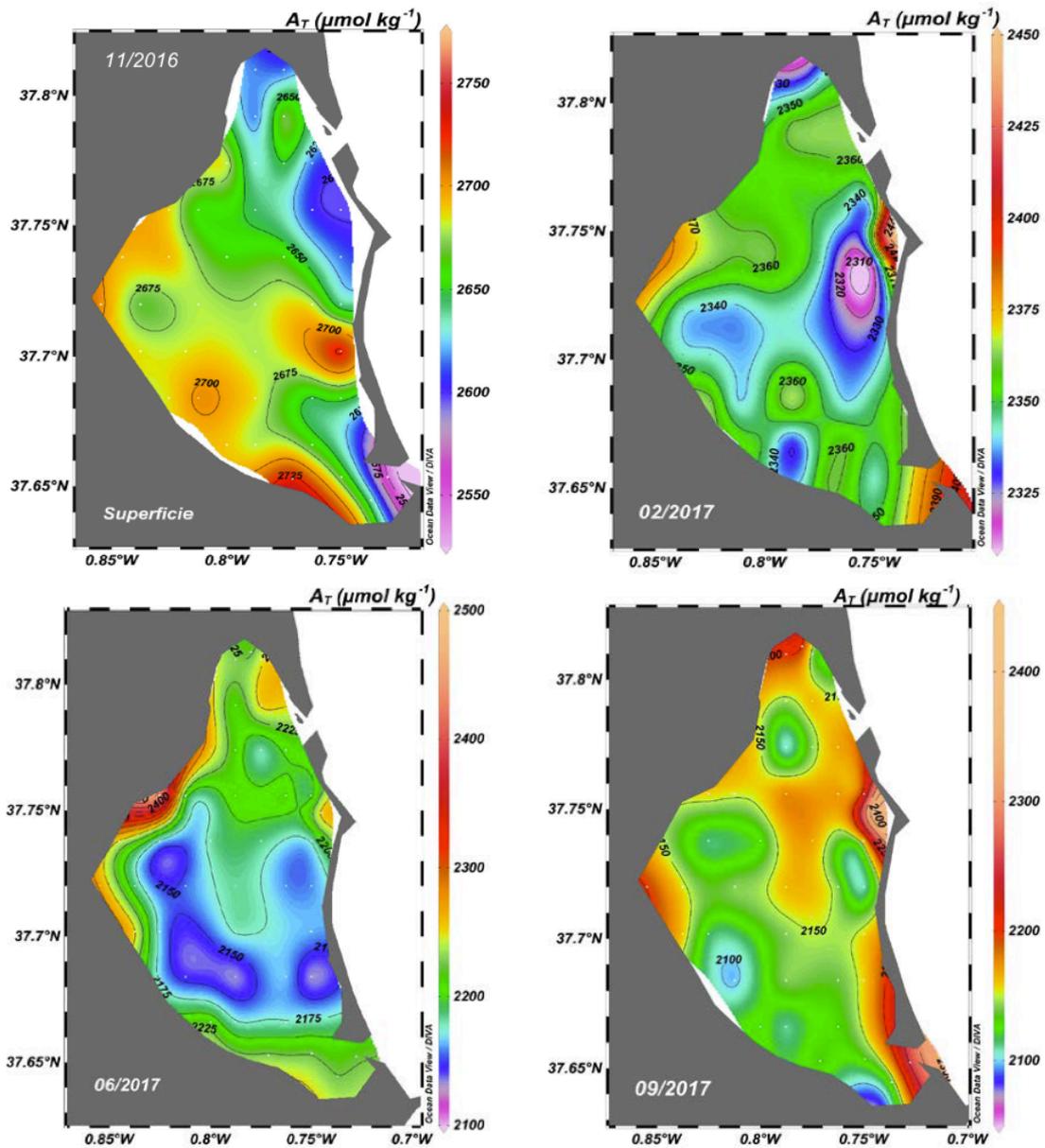


Figura 48.- Mapas de la distribución de la alcalinidad total para la capa superficial (0-3 m) y para toda la superficie de El Mar Menor. Variación estacional para las cuatro campañas realizadas (nov2016, feb2017, jun2017 y sep2017).

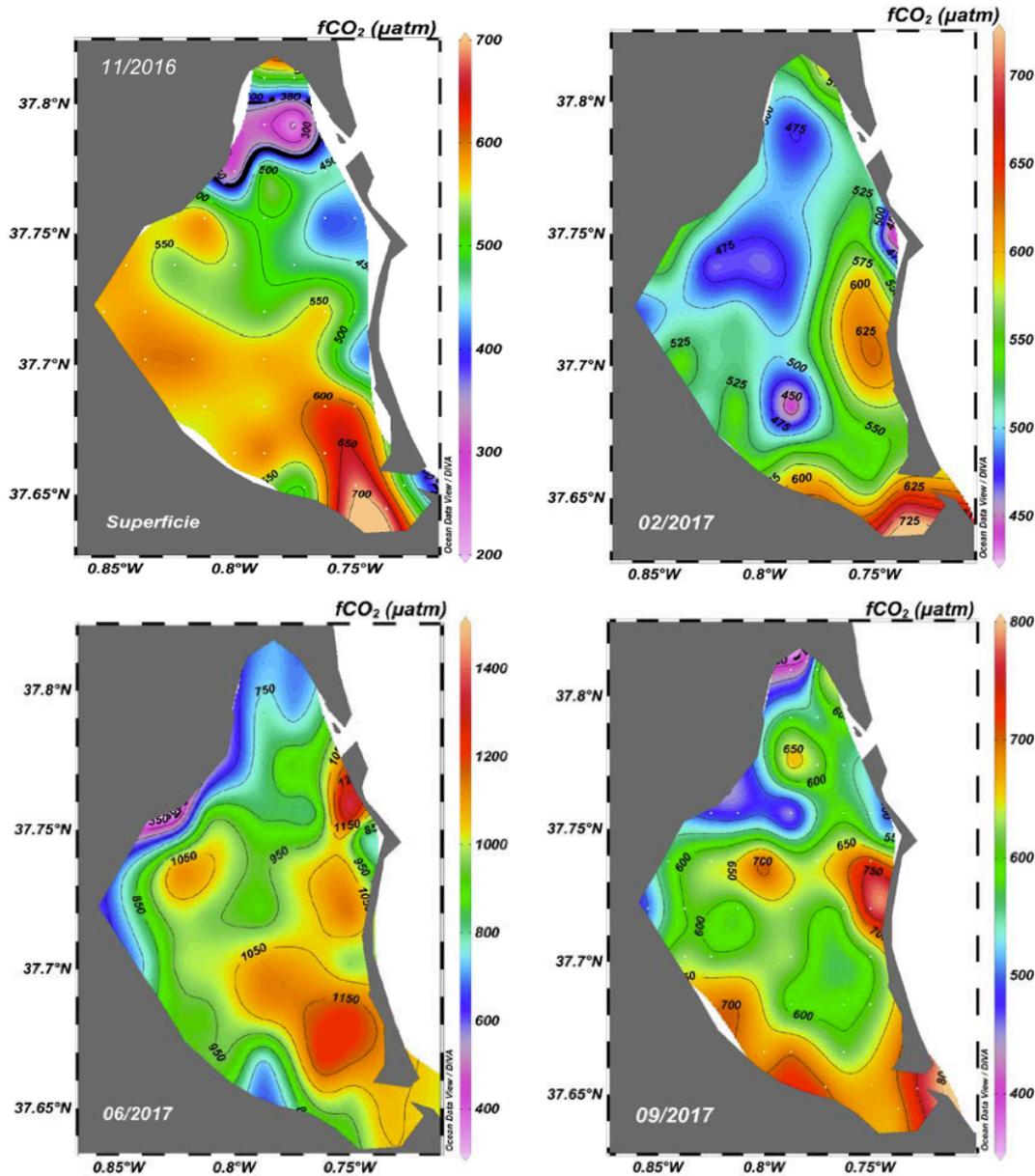


Figura 49.- Mapas de la distribución de la fugacidad del CO₂ para la capa superficial (0-3 m) y para toda la superficie de El Mar Menor. Variación estacional para las cuatro campañas realizadas (nov2016, feb2017, jun2017 y sep2017).

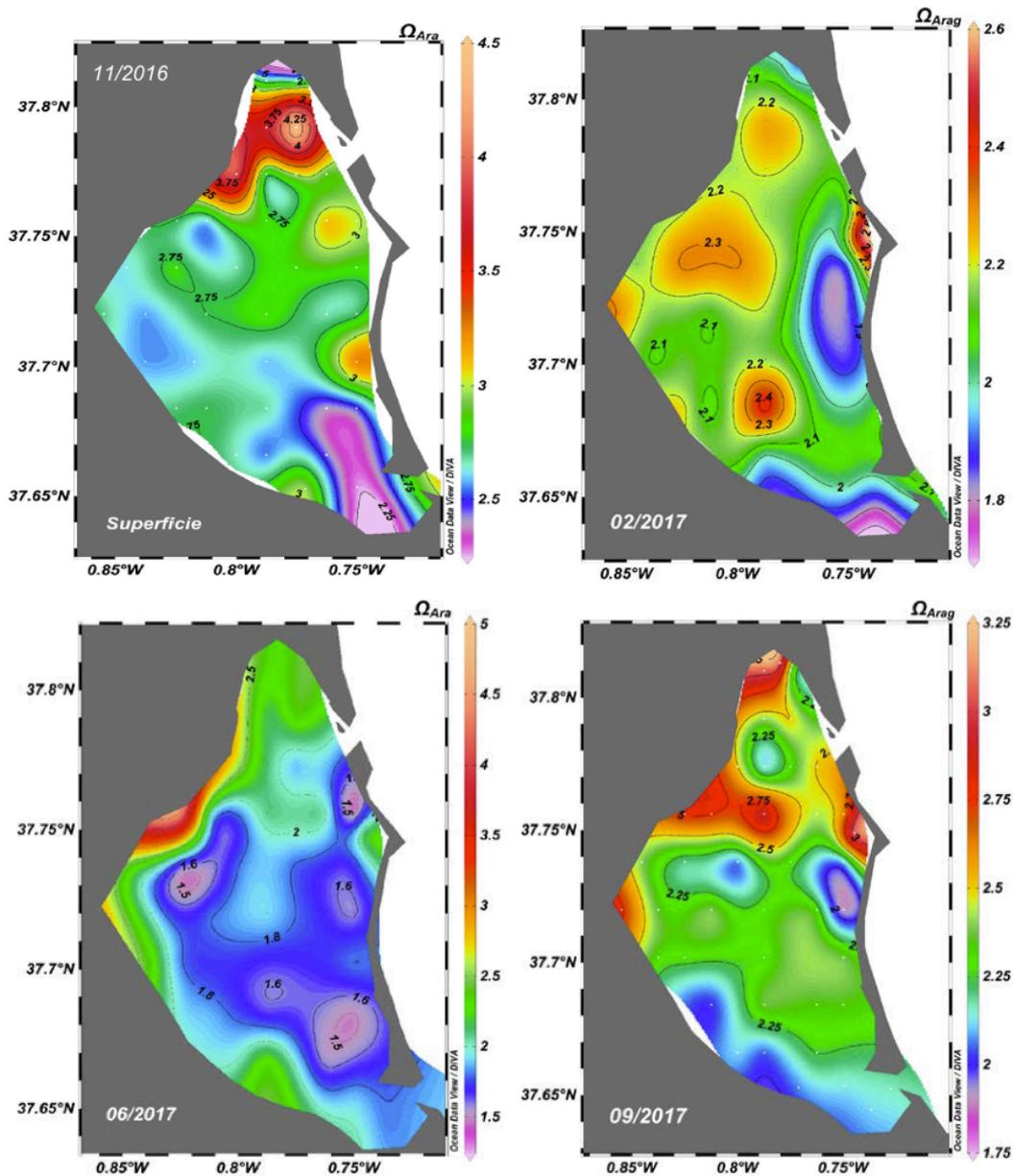


Figura 50.- Mapas de la distribución de la concentración de Aragonita para la capa superficial (0-3 m) y para toda la superficie de El Mar Menor. Variación estacional para las cuatro campañas realizadas (nov2016, feb2017, jun2017 y sep2017).

Resultados en profundidad:

pH: El $\text{pH}_{T, \text{is}}$, en las aguas de fondo presenta un patrón próximo al observado en las aguas superficiales. Igualmente, las aguas profundas presentan una distribución similar en pH normalizado a una temperatura constante, confirmando una importante actividad biológica tanto de formación como de remineralización de tejidos blandos y de formación de carbonatos en la zona, como factor regulador del valor de pH (*Figura 51*).

Carbono inorgánico y alcalinidad: El contenido de C_T y de A_T presentan valores similares a los observados en las aguas superficiales, y de nuevo con valores de C_T y de alcalinidad A_T en septiembre 2017 que indican una importante eliminación de bicarbonato de las aguas con respecto a los medidos en junio a través de procesos de actividad biológica y especialmente por procesos de calcificación. La reducción en los valores de C_T y de A_T en una cantidad semejante, muestran que es esencialmente el bicarbonato el que está siendo eliminado en los procesos de calcificación de la Laguna (*Figura 52 y Figura 53*).

fCO₂: La cuenca presenta en sus fondos localizados entre 3 y 6 metros de profundidad valores de presión parcial de CO₂ que son en todo momento superiores a los valores atmosféricos, lo cual indica, que toda ella actúa como fuente de dióxido de carbono a la atmósfera, dependiendo su flujo del viento en la región. La distribución es muy similar a la observada en superficie lo cual confirma una cuenca muy homogénea en su mezcla vertical, pero no en la mezcla horizontal (*Figura 54*).

Grado de saturación del aragonito: Como se observaba para los valores superficiales, el grado de saturación del aragonito en las aguas de fondo de la cuenca presentan valores superiores a 1, lo que favorece la formación de carbonato en la Laguna (*Figura 55*).

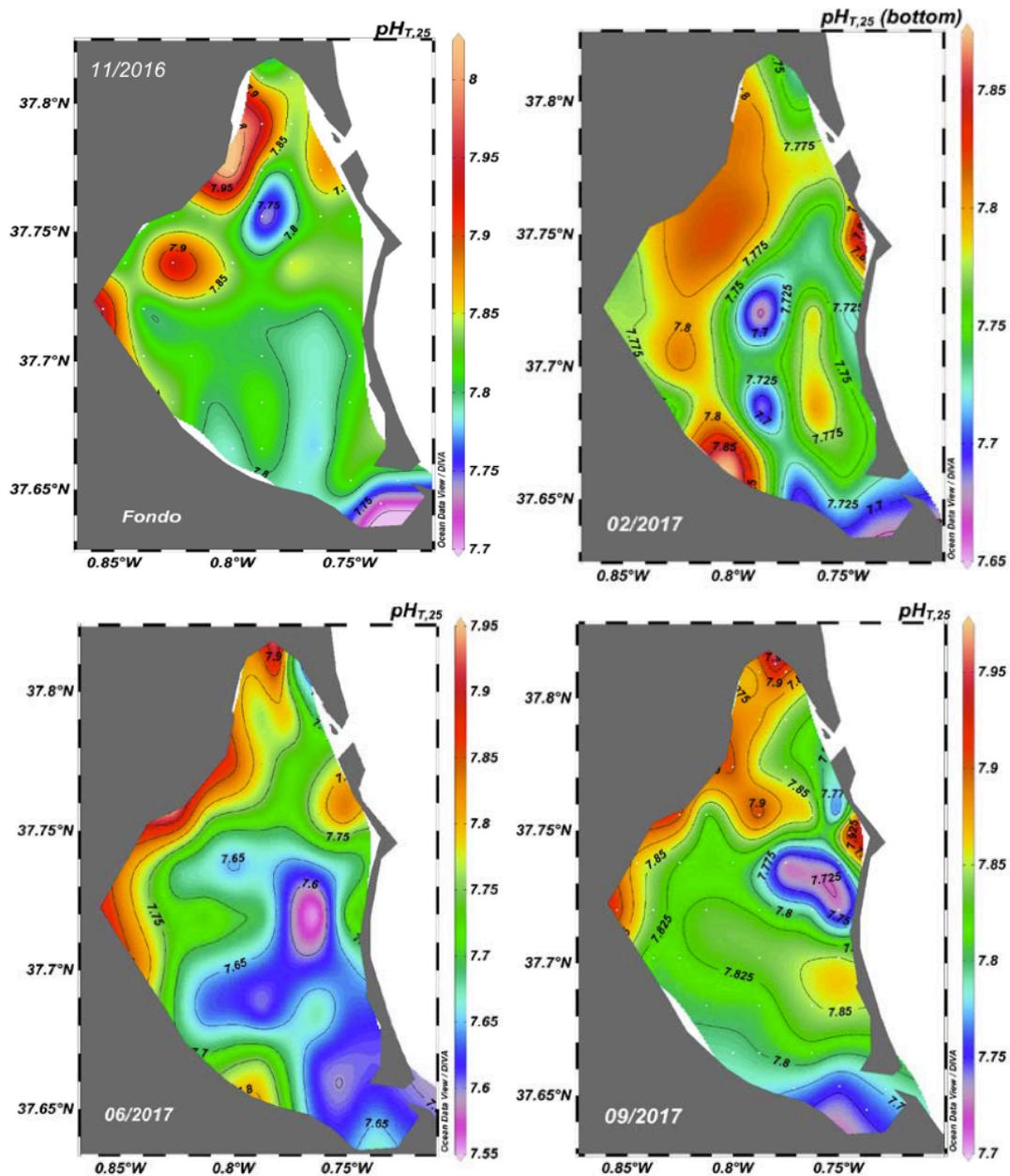


Figura 51.- Mapas de la distribución del pH para la capa profunda (3-7 m) y para toda la superficie de El Mar Menor. Variación estacional para las cuatro campañas realizadas (nov2016, feb2017, jun2017 y sep2017).

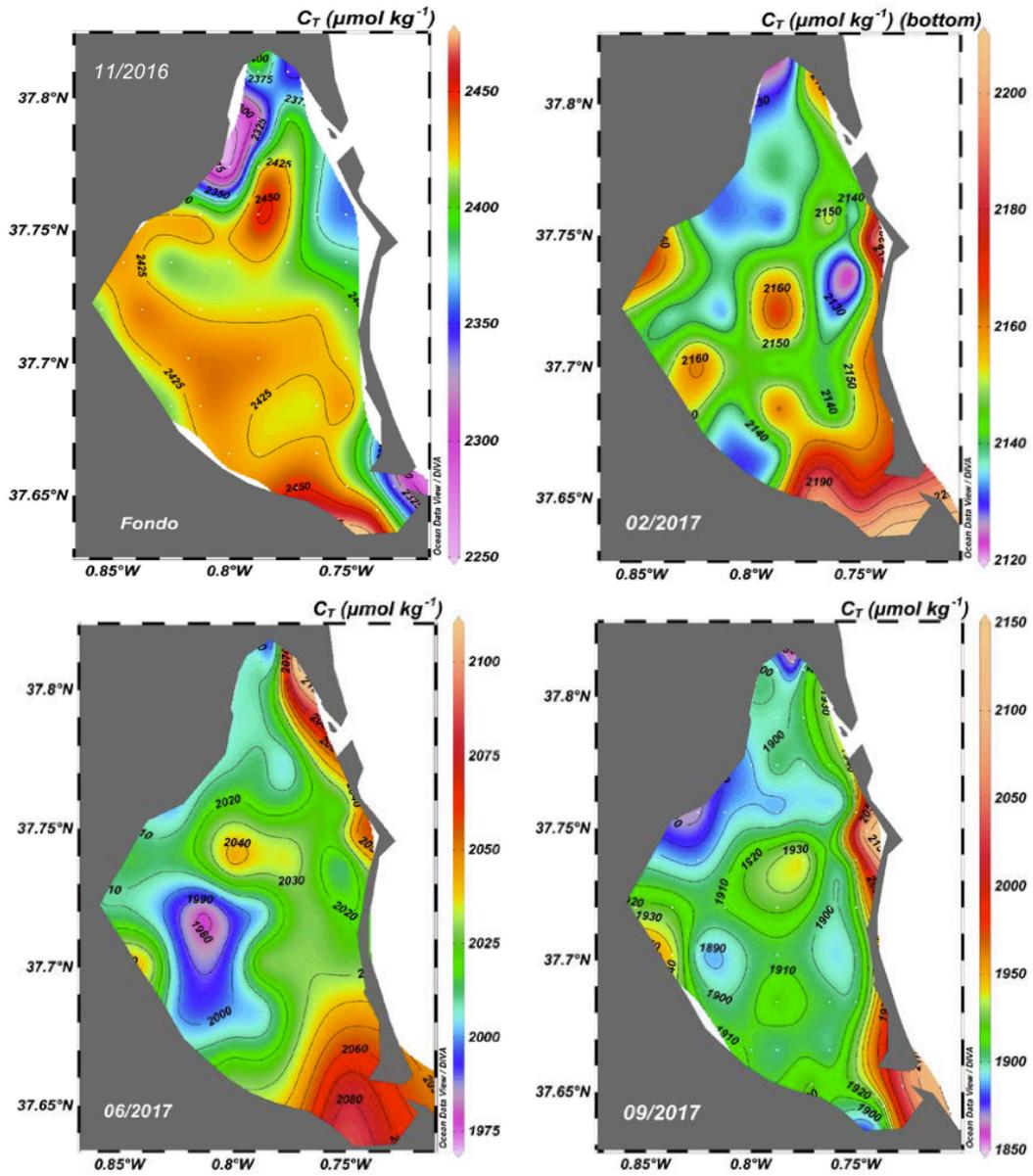


Figura 52.- Mapas de la distribución de la concentración del carbono inorgánico disuelto para la capa profunda (3-7 m) y para toda la superficie de El Mar Menor. Variación estacional para las cuatro campañas realizadas (nov2016, feb2017, jun2017 y sep2017).

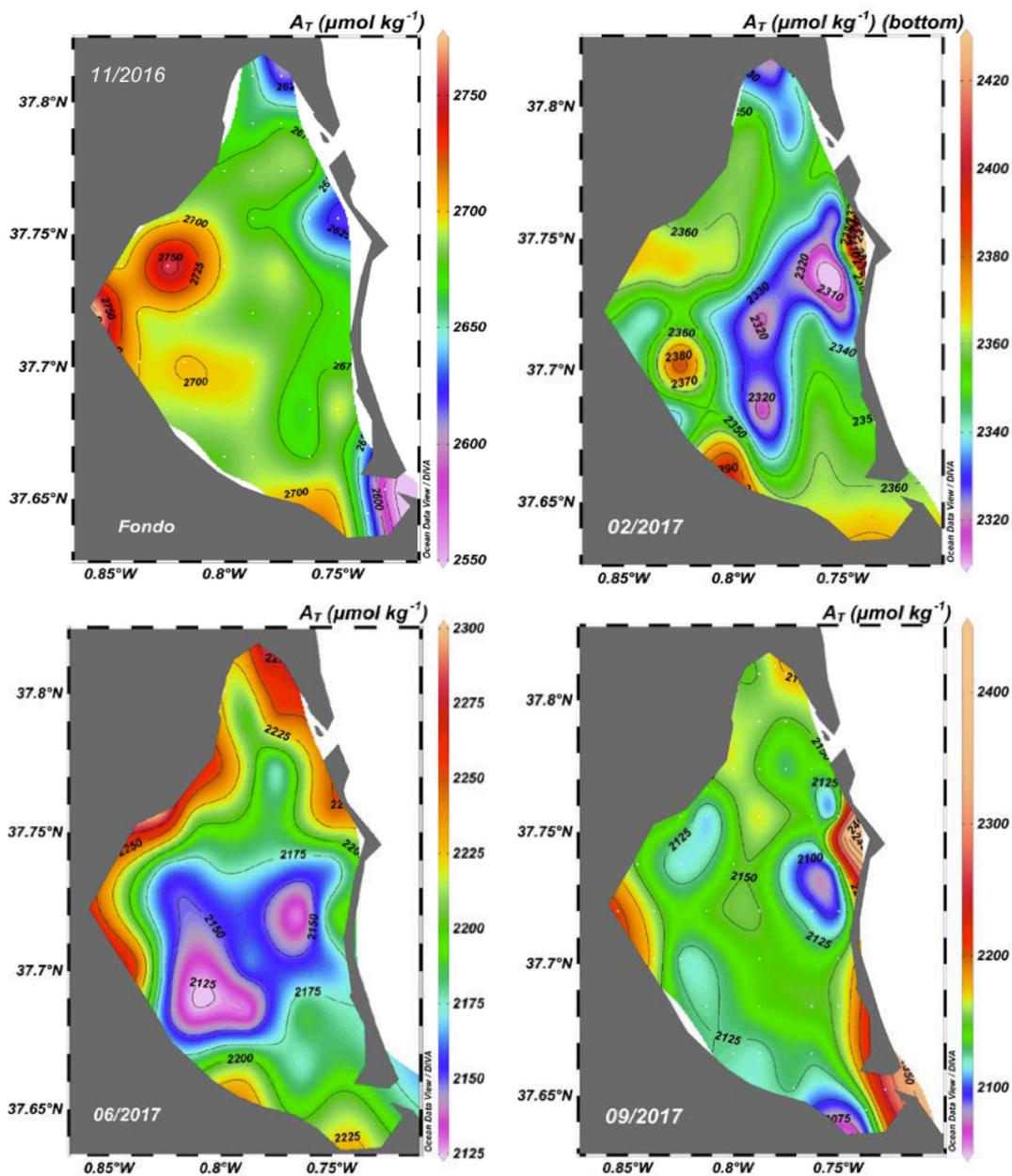


Figura 53.- Mapas de la distribución de la alcalinidad total para la capa profunda (3-7 m) y para toda la superficie de El Mar Menor. Variación estacional para las cuatro campañas realizadas (nov2016, feb2017, jun2017 y sep2017).

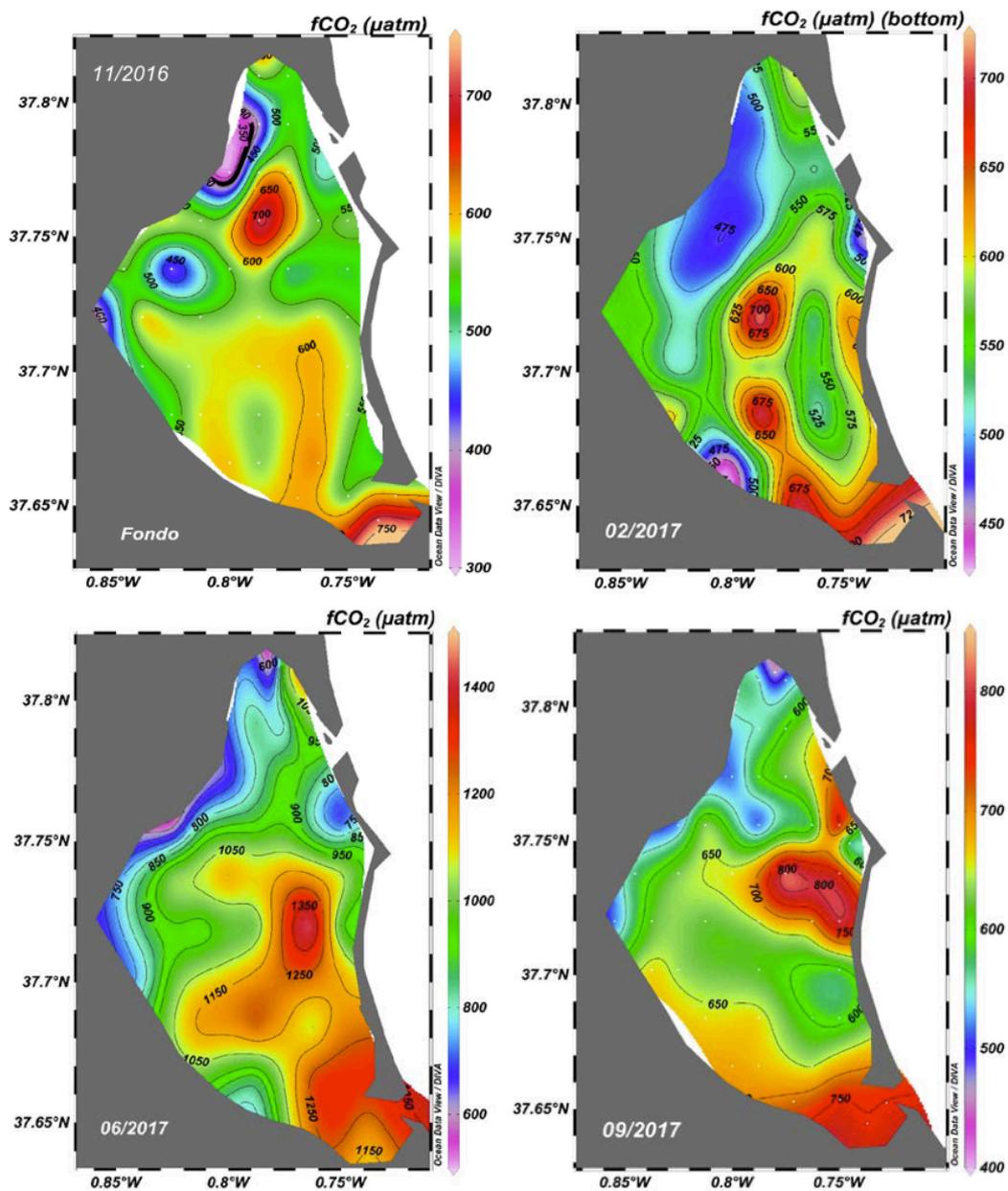


Figura 54.- Mapas de la distribución de la fugacidad del CO₂ para la capa profunda (3-7 m) y para toda la superficie de El Mar Menor. Variación estacional para las cuatro campañas realizadas (nov2016, feb2017, jun2017 y sep2017).

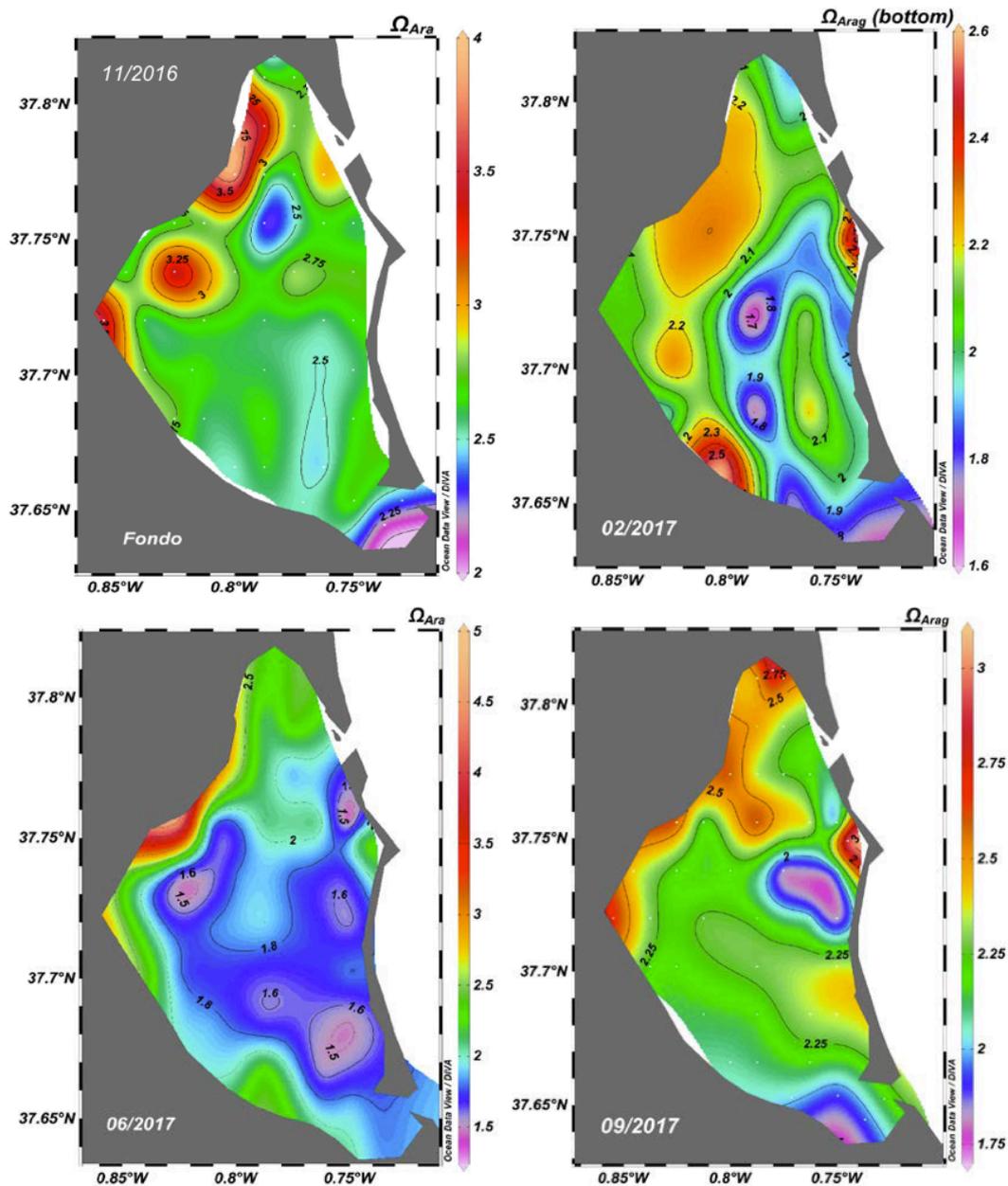


Figura 55.- Mapas de la distribución de la concentración de Aragonita para la capa profunda (3-7 m) y para toda la superficie de El Mar Menor. Variación estacional para las cuatro campañas realizadas (nov2016, feb2017, jun2017 y sep2017).

Distribución de los nutrientes inorgánicos:

A continuación, se describe la variabilidad de la concentración de nutrientes inorgánicos (nitritos, nitratos, fosfatos, silicatos y amonios) superficiales (*Figura 56, Figura 59, Figura 62, Figura 65 y Figura 68*), intermedios (*Figura 57, Figura 60, Figura 63, Figura 66 y Figura 69*) y profundos (*Figura 58, Figura 61, Figura 64, Figura 67 y Figura 70*), respectivamente, para la laguna del Mar Menor, así como su distribución espacial y temporal. Los datos medios por cuencas se muestran en las tablas 14, 15, 16 y 17. La evolución estacional de la concentración de nutrientes inorgánicos de la laguna del Mar Menor para toda la columna de agua y por cuencas se muestra en la *Figura 71*.

En general, no se observó un patrón claro de variación en la concentración de nutrientes con la profundidad. Tan sólo en el muestreo de jun17 se observó un aumento en profundidad de la concentración de nitrito en el centro de la cuenca sur y de nitrato en la cuenca norte, este último en estaciones próximas a la desembocadura de la rambla de los Alcázares.

Más allá de estas pequeñas variaciones verticales, la concentración de las tres formas de nitrógeno inorgánico disuelto (nitrito, nitrato y amonio) variaron notablemente entre los cuatro muestreos. La mayor concentración de nitrito ($1.27 \mu\text{M}$) se obtuvo en jun17, aunque, en promedio, la concentración de este nutriente fue relativamente baja en las cuatro campañas (inferior a $0.4 \mu\text{M}$, Tabla 15). Especialmente notable es la baja concentración promedio obtenida en sep17, cuando de hecho, este nutriente no fue detectable en una buena cantidad de muestras. Por el contrario, el nitrato alcanzó una concentración de hasta $13.82 \mu\text{M}$ en feb17, cuando su concentración promedio fue algo mayor a $10 \mu\text{M}$ (Tabla 16). Estacionalmente, la menor concentración de nitrato se obtuvo en sep17, coincidiendo con las bajas concentraciones de nitrito. La máxima concentración de amonio fue también relativamente elevada ($9.11 \mu\text{M}$), aunque se obtuvo en jun17, como ocurrió con el nitrito.

La concentración de fosfato fue en la mayoría de las muestras menor a $0.4 \mu\text{M}$, tan solo en unas pocas muestras recogidas en feb17 se obtuvieron concentraciones notablemente mayores (Tabla 17). En el otro extremo, la mayoría de las muestras recogidas en sep17 presentaron concentraciones de fosfato cercanas al límite de detección ($0.04 \mu\text{M}$). Concordantemente, la concentración de fosfato promediada para toda el área de estudio en los dos primeros muestreos fue algo mayor que en los dos últimos.

La concentración de silicato varió notablemente entre los cuatro muestreos, con valores máximos en nov16 y sep17 y mínimos en feb17 (Tabla 18). Estos periodos de menor concentración de silicatos coinciden con los de mayor concentración de nitrógeno inorgánico disuelto.

Con independencia de esta variabilidad estacional, los resultados muestran la existencia de patrones de variabilidad espacial más evidentes durante alguno de los muestreos. En nov16, el patrón espacial más notable en la distribución de nutrientes fue el aumento hacia el oeste de la concentración de silicato, que ocurrió tanto en la cuenca norte como en la sur. Particularmente notable es la diferencia en la concentración de fosfato entre la cuenca norte y sur que se obtuvo durante el muestreo feb17, cuando se registraron muy altas concentraciones en la cuenca norte (en especial en estaciones próximas a la desembocadura de la rambla de los Alcázares) mientras que apenas fue detectable en la cuenca sur. Durante este muestreo, las concentraciones de nitrato tendieron a ser mayores en las muestras recogidas en estaciones próximas al límite este de la laguna. Un patrón de variabilidad espacial similar para este nutriente se obtuvo en jun17, aunque lo más notable durante este muestreo fueron las mayores concentraciones de amonio, nitrito y silicato obtenidas en la cuenca sur (Tabla 19). En sep17, las concentraciones de nitrato fueron también algo mayores en la cuenca sur.

En conjunto, los datos indican por tanto que la principal fuente de nitrógeno inorgánico disuelto disponible para el crecimiento del fitoplancton fue nitrato en los muestreos nov16 y feb17, amonio en el muestreo jun17 y amonio y nitrato en el muestreo sep17. La variabilidad en la concentración de fosfato fue notablemente menor, salvo por algunas concentraciones muy elevadas obtenidas en feb17. No obstante, este nutriente se encontró próximo a su límite de detección en muchas muestras recogidas en feb17 y sep17.

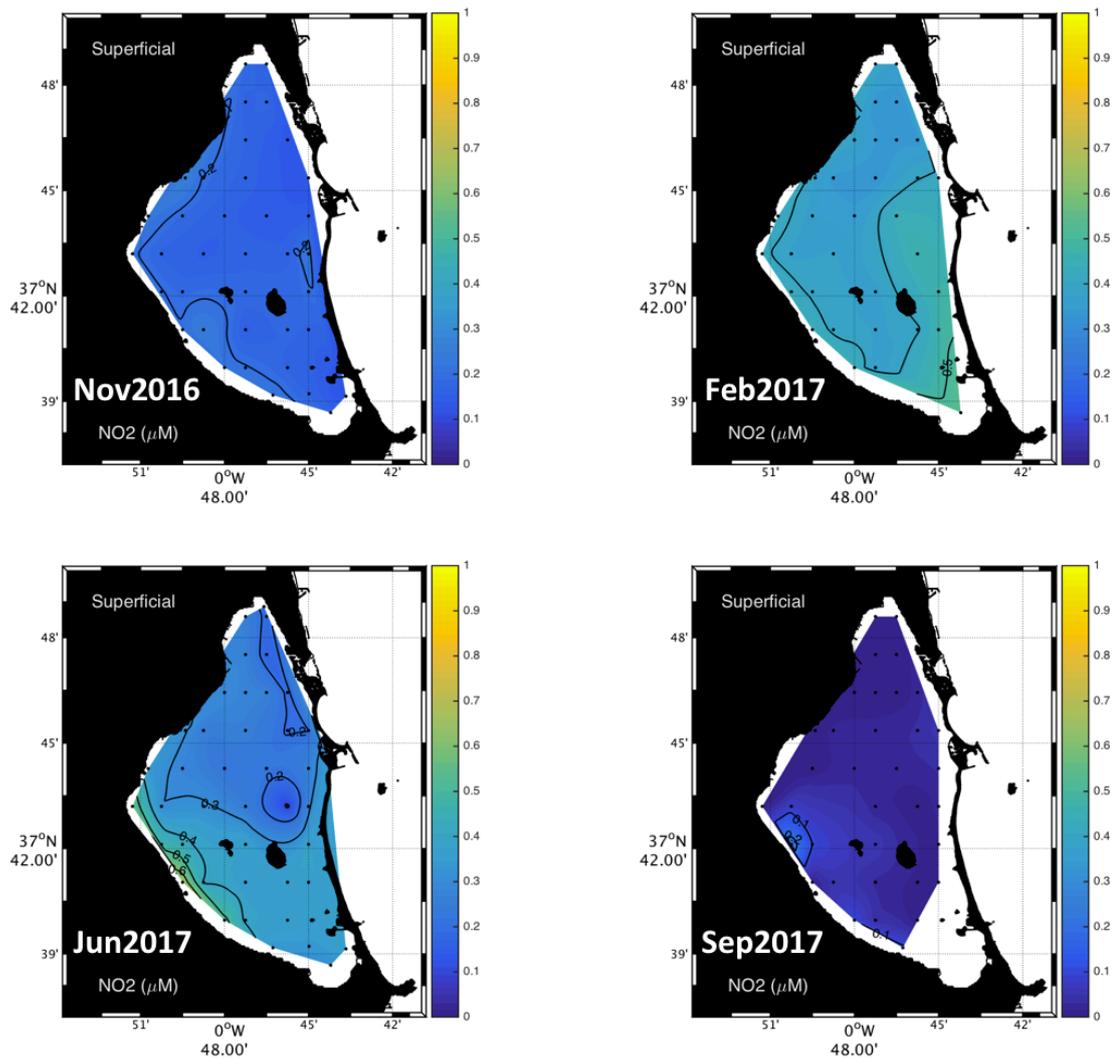


Figura 56.- Mapas de la distribución de nitritos para la capa superficial (0.5 m) y para toda la superficie de El Mar Menor. Variación estacional para las cuatro campañas realizadas (nov2016, feb2017, jun2017 y sep2017).

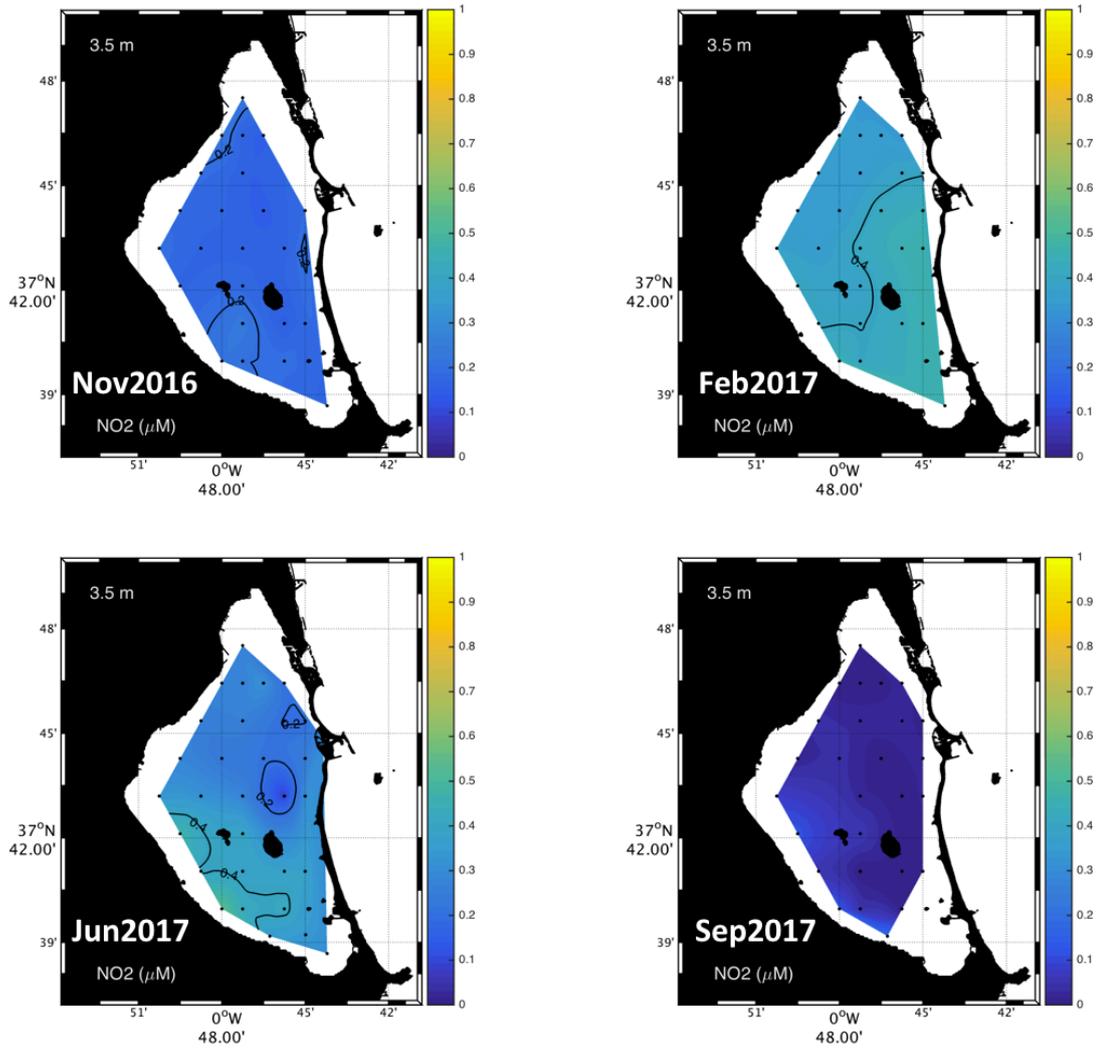


Figura 57.- Mapas de la distribución de nitritos para la capa intermedia (3.5 m) y para toda la superficie de El Mar Menor. Variación estacional para las cuatro campañas realizadas (nov2016, feb2017, jun2017 y sep2017).

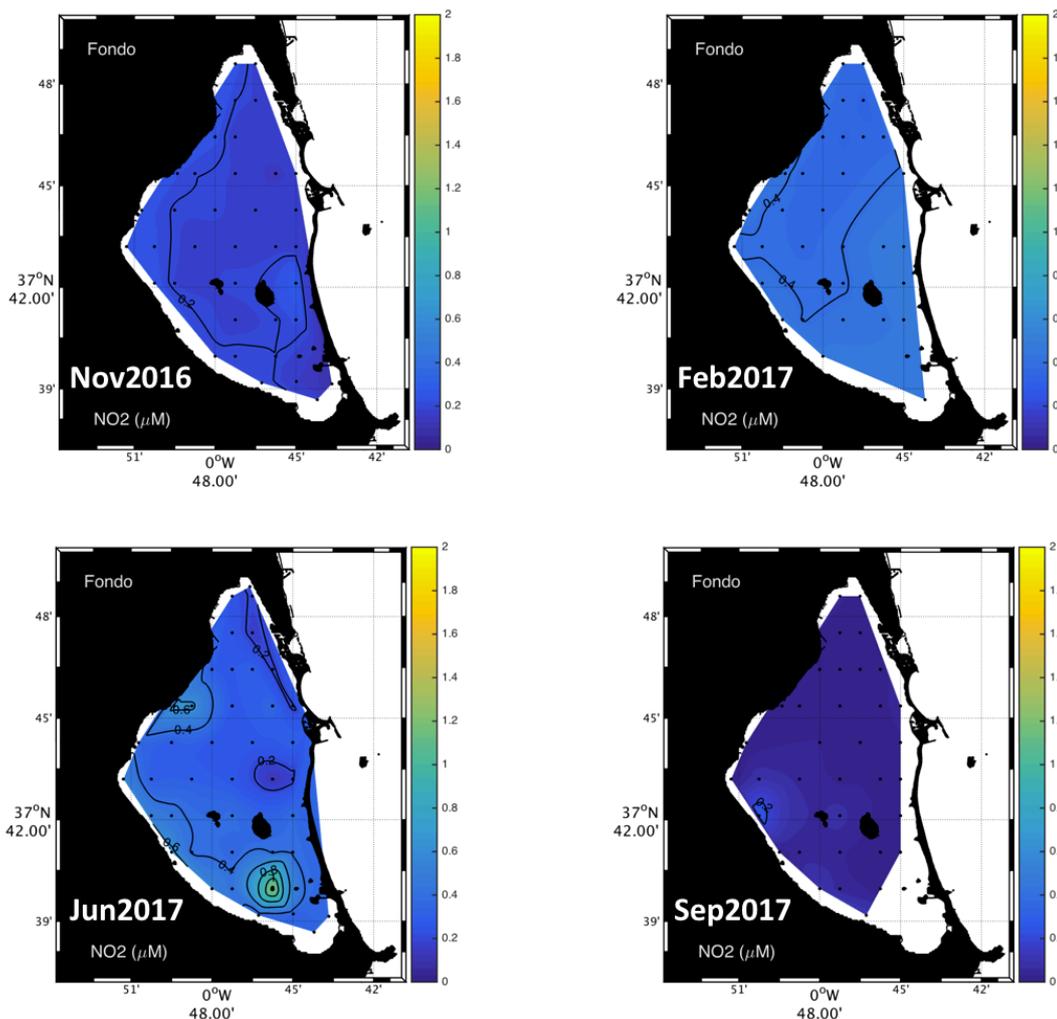


Figura 58.- Mapas de la distribución de nitritos para la capa profunda (fondo) y para toda la superficie de El Mar Menor. Variación estacional para las cuatro campañas realizadas (nov2016, feb2017, jun2017 y sep2017).

Tabla 15. Estadística para la concentración de nitritos en la laguna de El Mar Menor.

NO ₂ (μM)	MM1117	MM0217	MM0617	MM0917
Total	0.19 ± 0.03	0.39 ± 0.05	0.33 ± 0.14	0.03 ± 0.05
Cuenca Norte	0.18 ± 0.03	0.38 ± 0.04	0.27 ± 0.10	0.02 ± 0.02
Cuenca Sur	0.19 ± 0.04	0.43 ± 0.04	0.42 ± 0.15	0.06 ± 0.06
Mínimos	0.08	0.32	0.08	0.00
Máximos	0.29	0.54	1.27	0.27

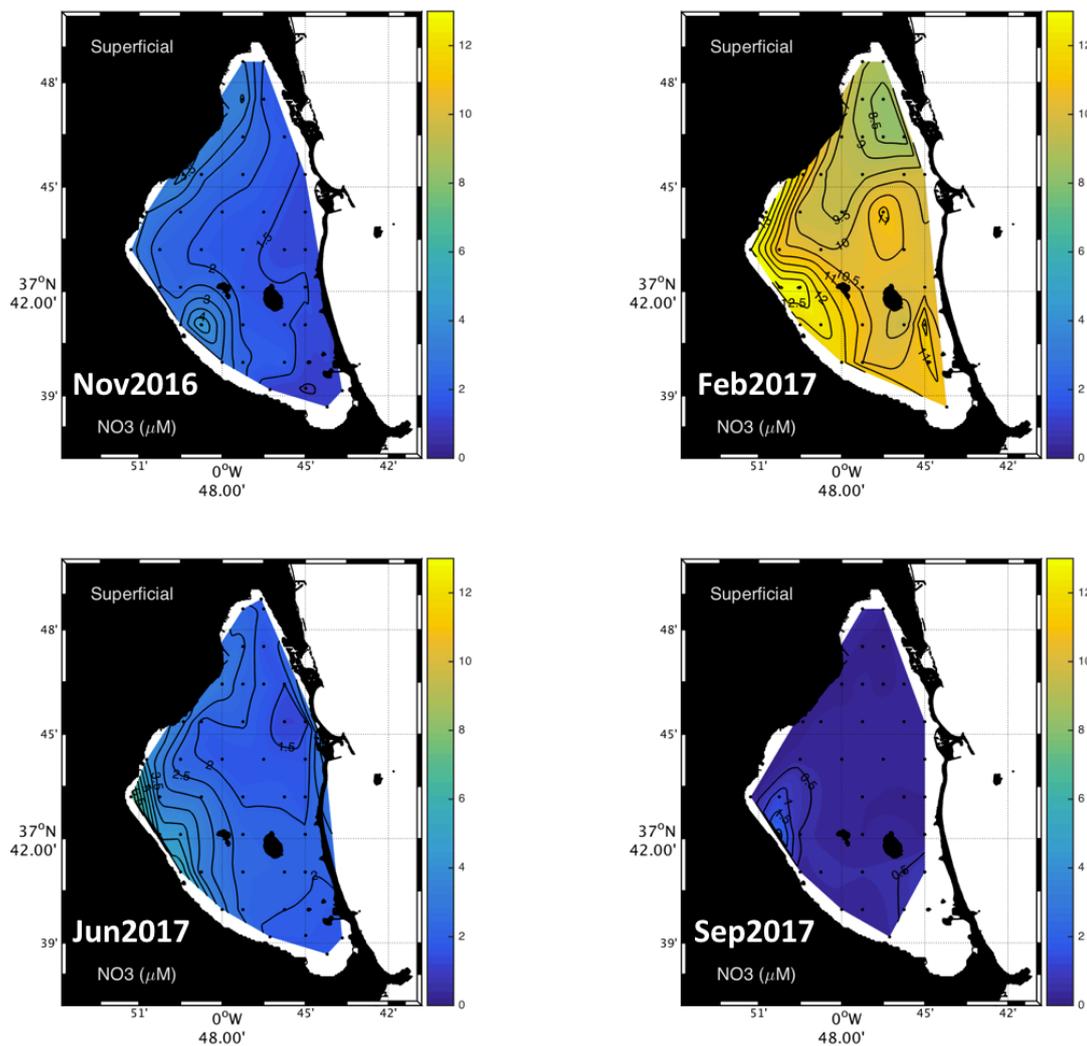


Figura 59.- Mapas de la distribución de nitratos para la capa superficial (0.5 m) y para toda la superficie de El Mar Menor. Variación estacional para las cuatro campañas realizadas (nov2016, feb2017, jun2017 y sep2017).

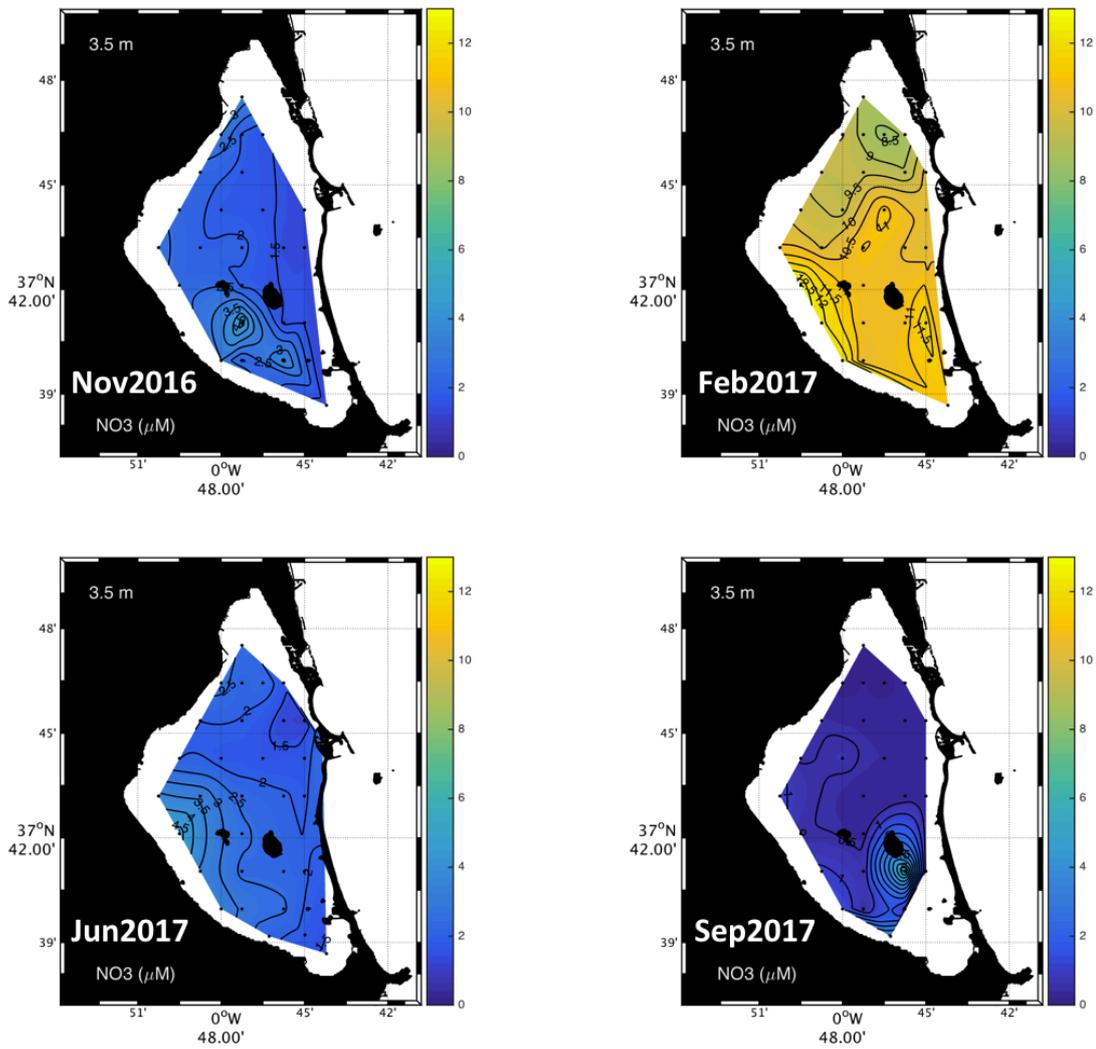


Figura 60.- Mapas de la distribución de nitratos para la capa intermedia (3.5 m) y para toda la superficie de El Mar Menor. Variación estacional para las cuatro campañas realizadas (nov2016, feb2017, jun2017 y sep2017).

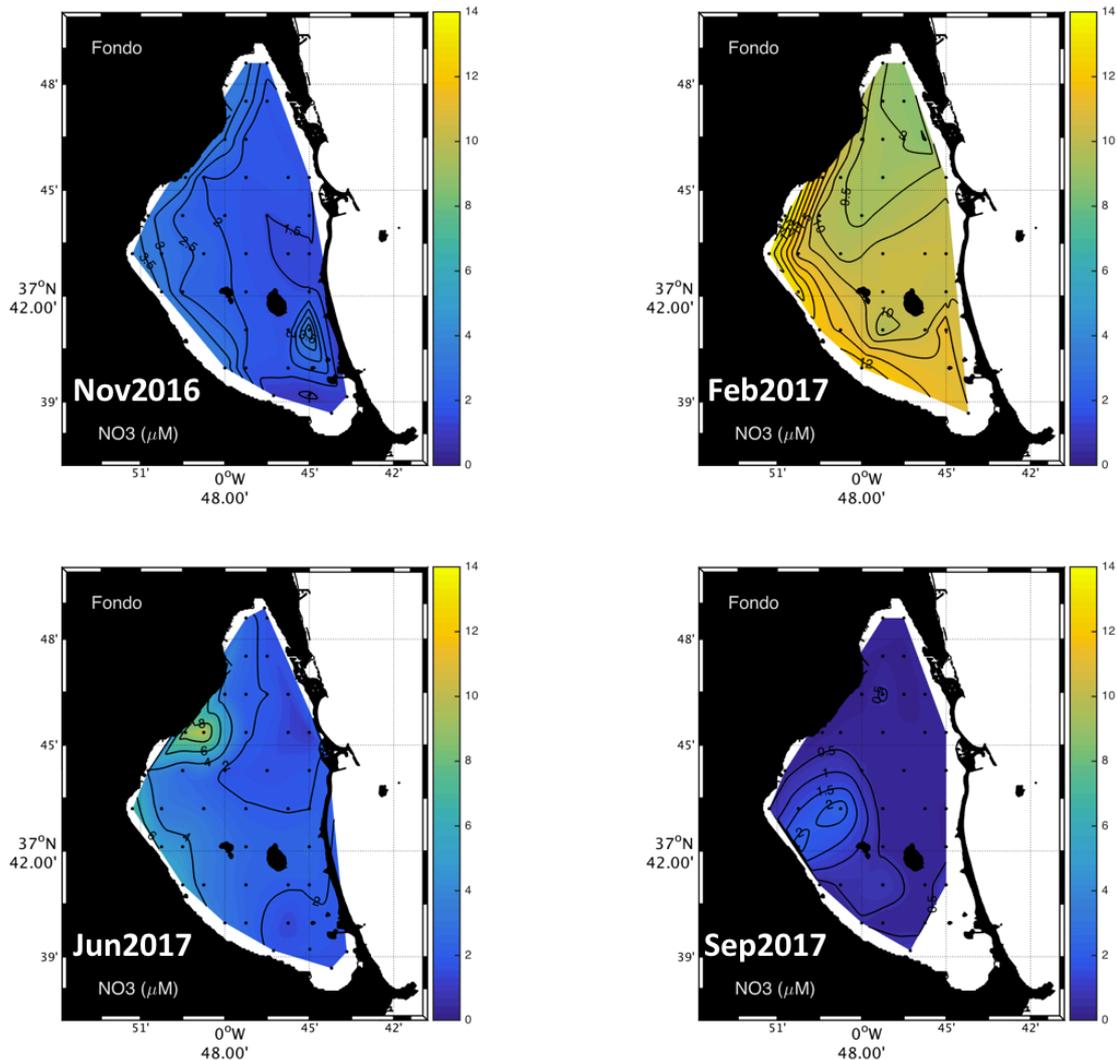


Figura 61.- Mapas de la distribución de nitratos para la capa profunda (fondo) y para toda la superficie de El Mar Menor. Variación estacional para las cuatro campañas realizadas (nov2016, feb2017, jun2017 y sep2017).

Tabla 16. Estadística para la concentración de nitratos en la laguna de El Mar Menor.

NO ₃ (μM)	MM1117	MM0217	MM0617	MM0917
Total	2.14 ± 0.83	10.33 ± 1.35	2.54 ± 1.43	0.53 ± 0.75
Cuenca Norte	2.18 ± 0.70	9.84 ± 1.25	2.49 ± 1.67	0.35 ± 0.37
Cuenca Sur	2.08 ± 0.99	11.29 ± 1.02	2.66 ± 1.07	0.84 ± 1.10
Mínimos	0.89	8.20	0.93	0.04
Máximos	4.77	13.82	10.05	5.67

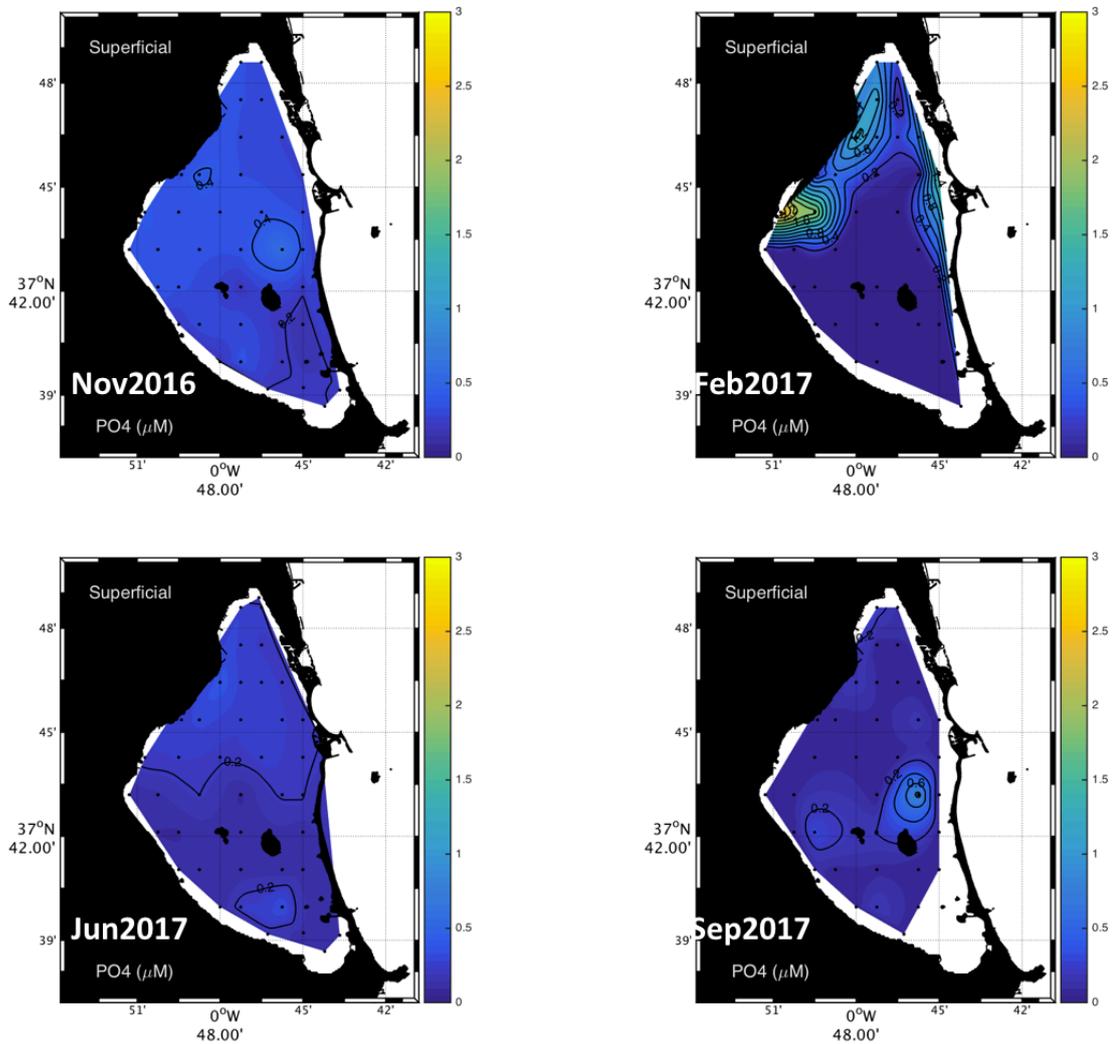


Figura 62.- Mapas de la distribución de fosfatos para la capa superficie (0.5 m) y para toda la superficie de El Mar Menor. Variación estacional para las cuatro campañas realizadas (nov2016, feb2017, jun2017 y sep2017).

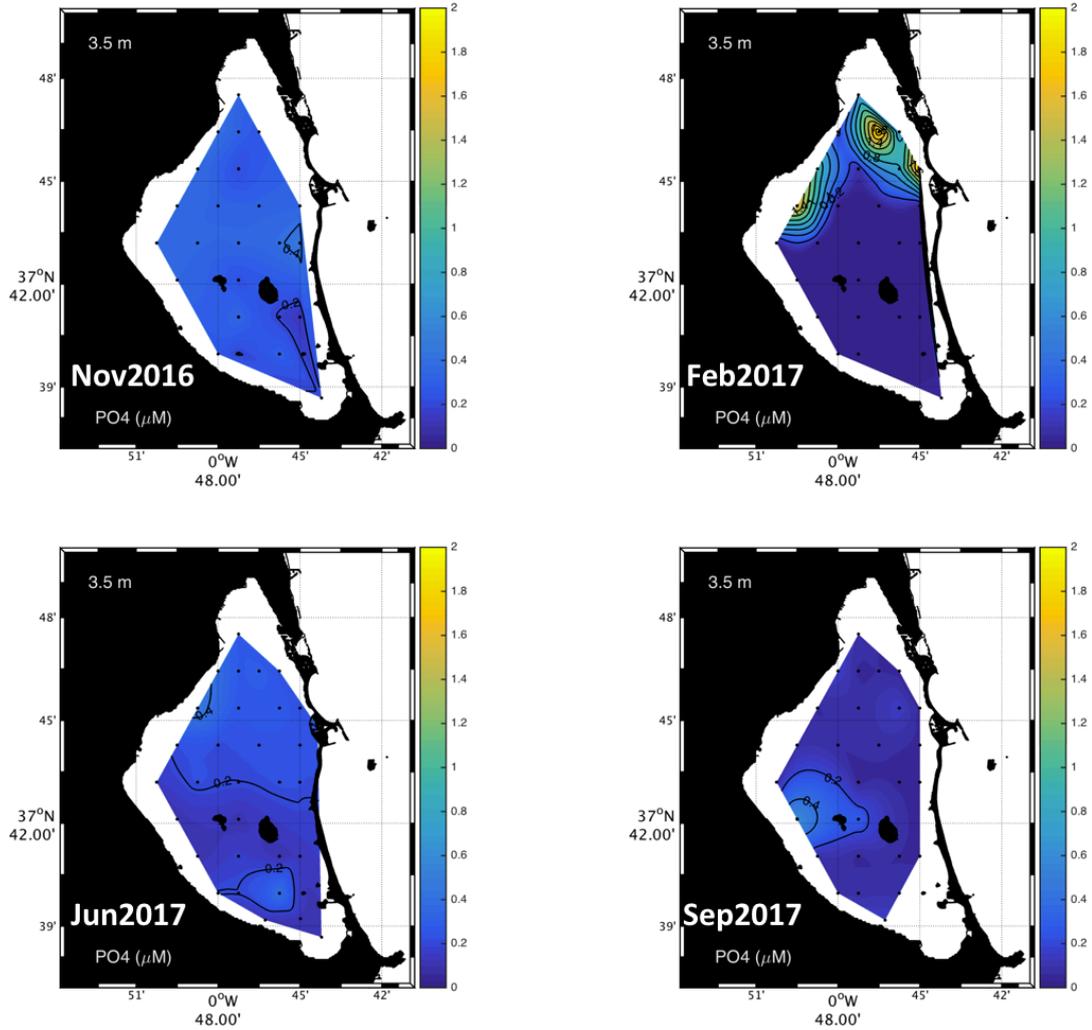


Figura 63.- Mapas de la distribución de fosfatos para la capa intermedia (3.5 m) y para toda la superficie de El Mar Menor. Variación estacional para las cuatro campañas realizadas (nov2016, feb2017, jun2017 y sep2017).

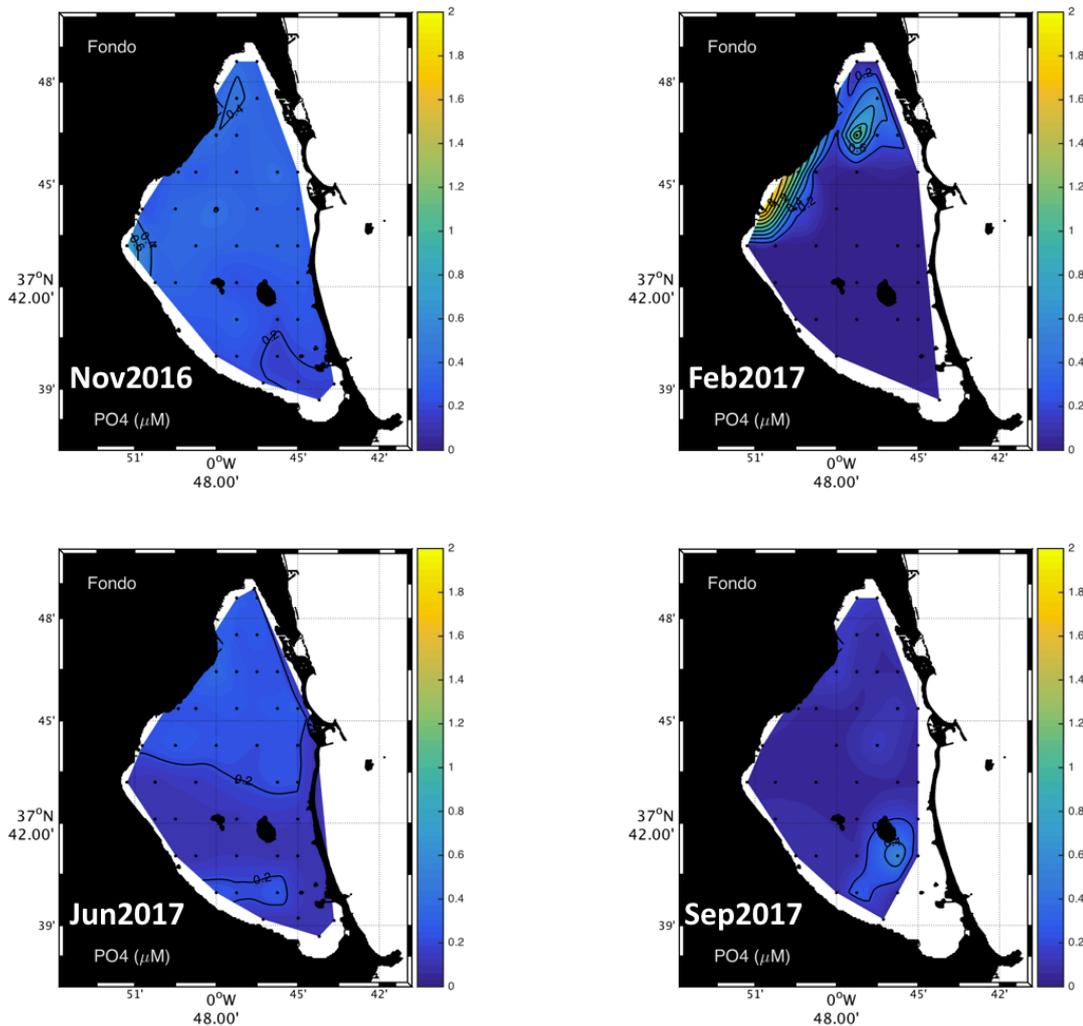


Figura 64.- Mapas de la distribución de fosfatos para la capa profunda (fondo) y para toda la superficie de El Mar Menor. Variación estacional para las cuatro campañas realizadas (nov2016, feb2017, jun2017 y sep2017).

Tabla 17. Estadística para la concentración de fosfatos en la laguna de El Mar Menor.

PO ₄ (μM)	MM1117	MM0217	MM0617	MM0917
Total	0.31 ± 0.09	0.30 ± 0.57	0.20 ± 0.08	0.11 ± 0.12
Cuenca Norte	0.35 ± 0.08	0.46 ± 0.66	0.24 ± 0.06	0.09 ± 0.11
Cuenca Sur	0.24 ± 0.06	0.00 ± 0.01	0.14 ± 0.07	0.13 ± 0.13
Mínimos	0.12	0.00	0.08	0.04
Máximos	0.77	2.60	0.46	0.87

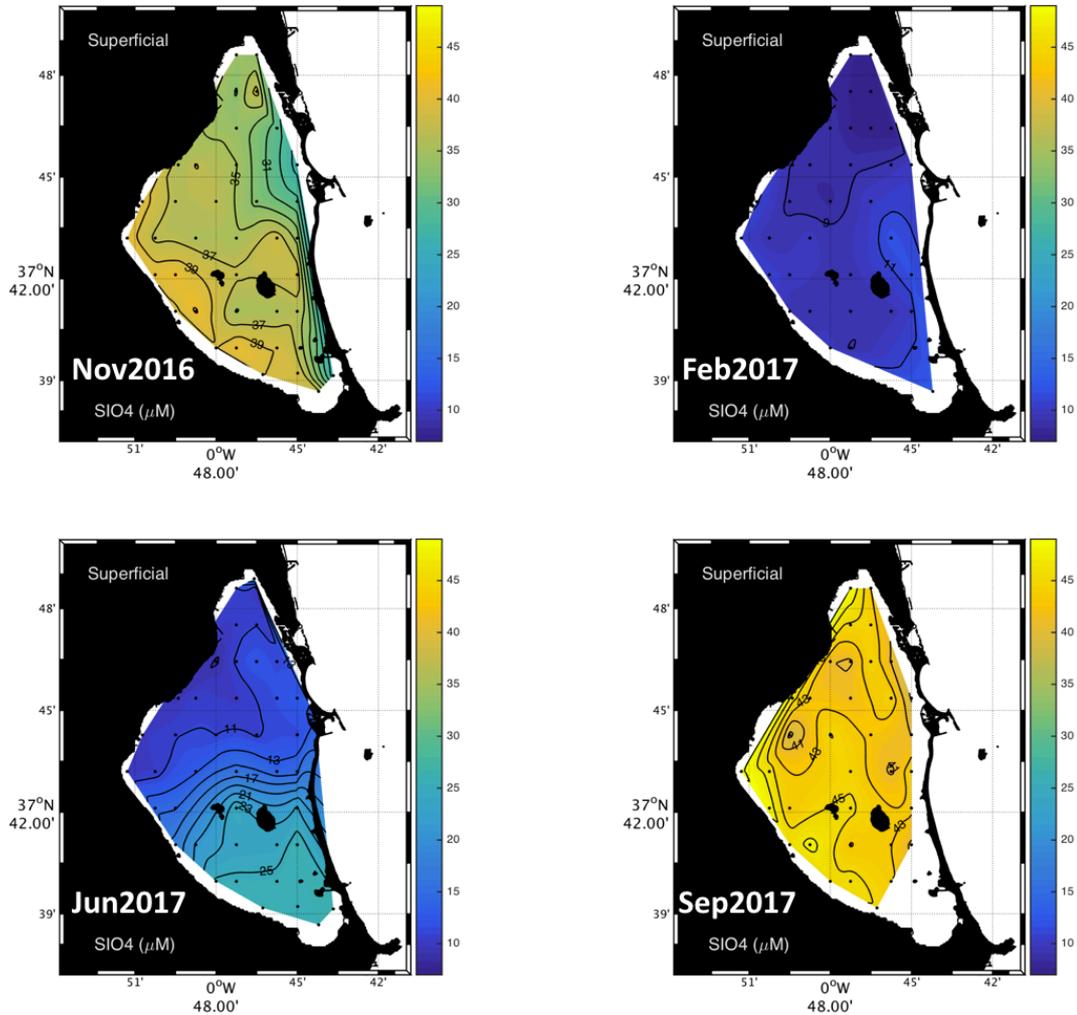


Figura 65.- Mapas de la distribución de silicatos para la capa superficial (0.5 m) y para toda la superficie de El Mar Menor. Variación estacional para las cuatro campañas realizadas (nov2016, feb2017, jun2017 y sep2017).

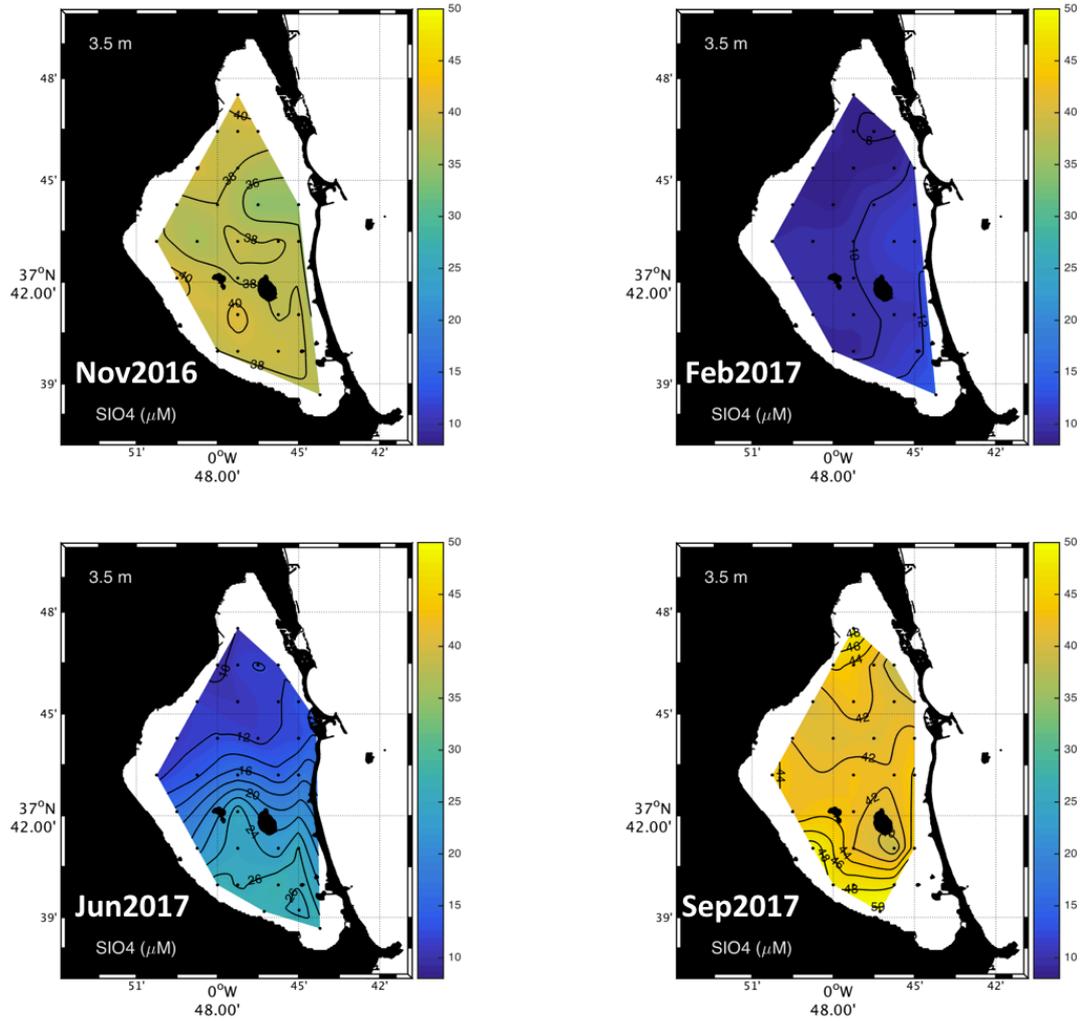


Figura 66.- Mapas de la distribución de silicatos para la capa intermedia (3.5 m) y para toda la superficie de El Mar Menor. Variación estacional para las cuatro campañas realizadas (nov2016, feb2017, jun2017 y sep2017).

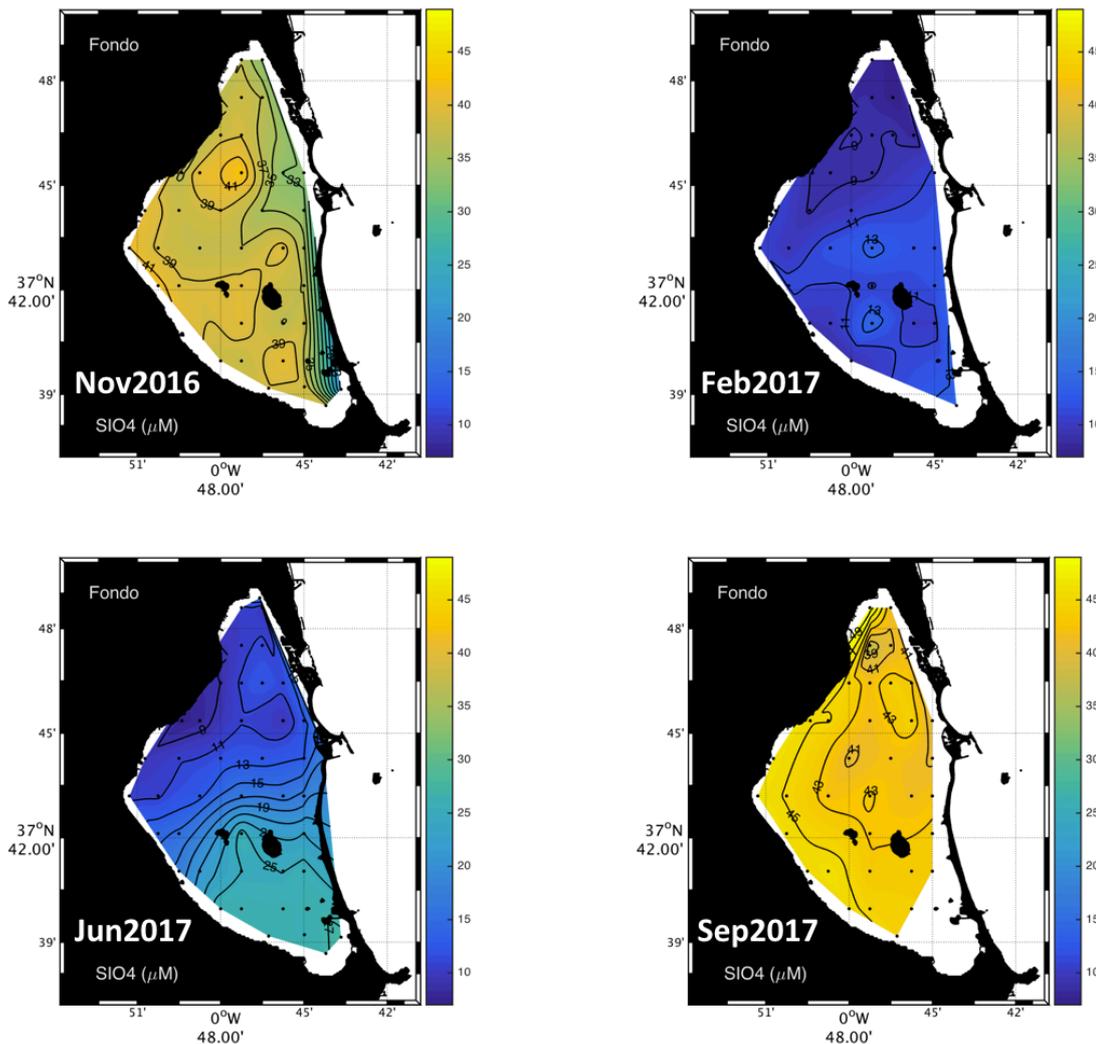


Figura 67.- Mapas de la distribución de silicatos para la capa profunda (fondo) y para toda la superficie de El Mar Menor. Variación estacional para las cuatro campañas realizadas (nov2016, feb2017, jun2017 y sep2017).

Tabla 18. Estadística para la concentración de silicatos en la laguna de El Mar Menor.

SiO ₄ (μM)	MM1117	MM0217	MM0617	MM0917
Total	37.10 ± 3.48	9.67 ± 1.62	16.41 ± 6.51	43.60 ± 2.73
Cuenca Norte	36.59 ± 3.14	9.28 ± 1.55	11.64 ± 2.08	42.98 ± 2.68
Cuenca Sur	37.85 ± 3.85	10.43 ± 1.53	23.76 ± 3.86	44.70 ± 2.49
Mínimos	20.54	7.00	7.26	37.46
Máximos	42.79	14.59	27.63	50.47

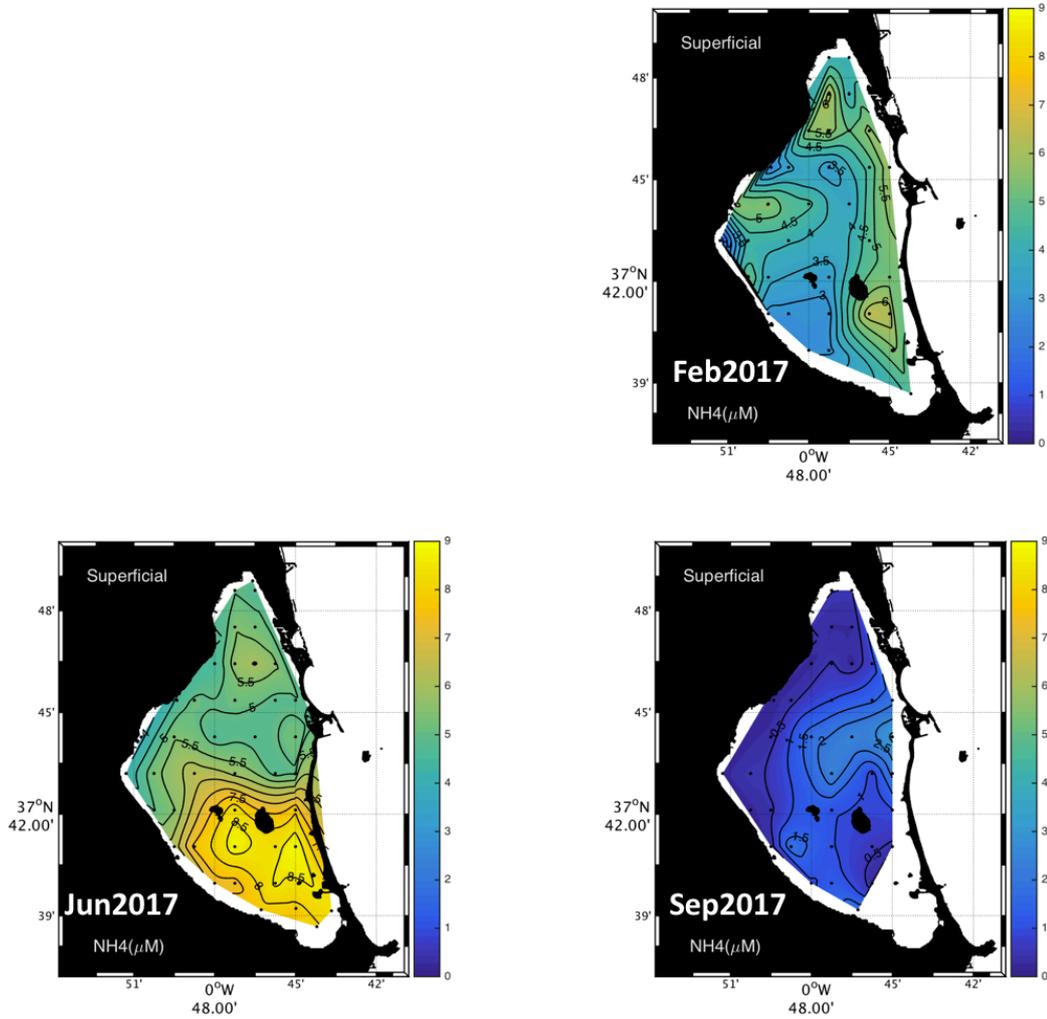


Figura 68.- Mapas de la distribución de amonio para la capa superficial (0.5 m) y para toda la superficie de El Mar Menor. Variación estacional para las tres de las cuatro campañas realizadas (feb2017, jun2017 y sep2017).

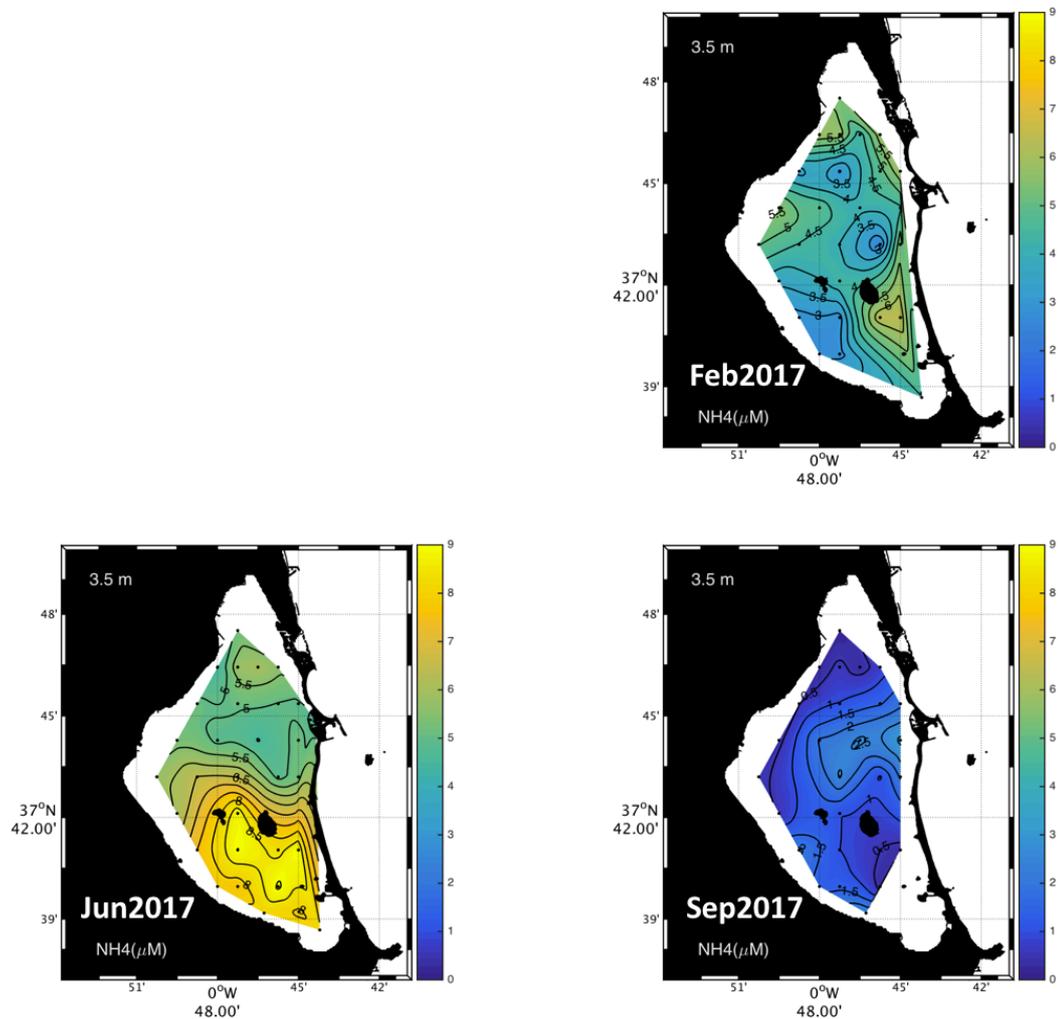


Figura 69.- Mapas de la distribución de amonio para la capa intermedia (3.5 m) y para toda la superficie de El Mar Menor. Variación estacional para las tres de las cuatro campañas realizadas (feb2017, jun2017 y sep2017).

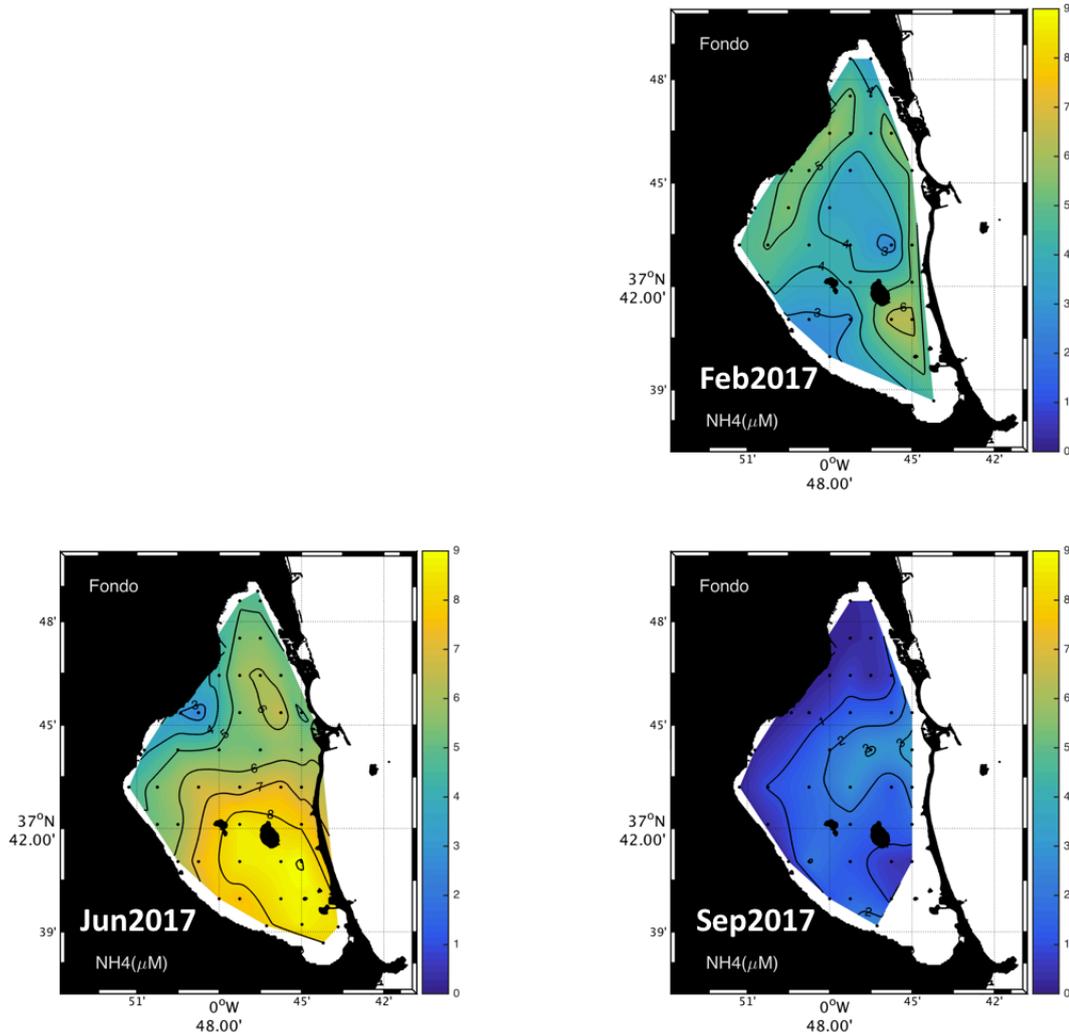


Figura 70.- Mapas de la distribución de amonio para la capa profunda (fondo) y para toda la superficie de El Mar Menor. Variación estacional para las tres de las cuatro campañas realizadas (feb2017, jun2017 y sep2017).

Tabla 19. Estadística para la concentración de amonio en la laguna de El Mar Menor.

NH ₄ (μM)	MM1117	MM0217	MM0617	MM0917
Total	---	4.41 ± 1.20	6.20 ± 1.57	1.10 ± 0.87
Cuenca Norte	---	4.56 ± 1.07	5.22 ± 0.84	1.13 ± 0.97
Cuenca Sur	---	4.11 ± 1.39	7.81 ± 1.08	1.04 ± 0.67
Mínimos	---	1.12	2.41	0.18
Máximos	---	6.42	9.11	3.51

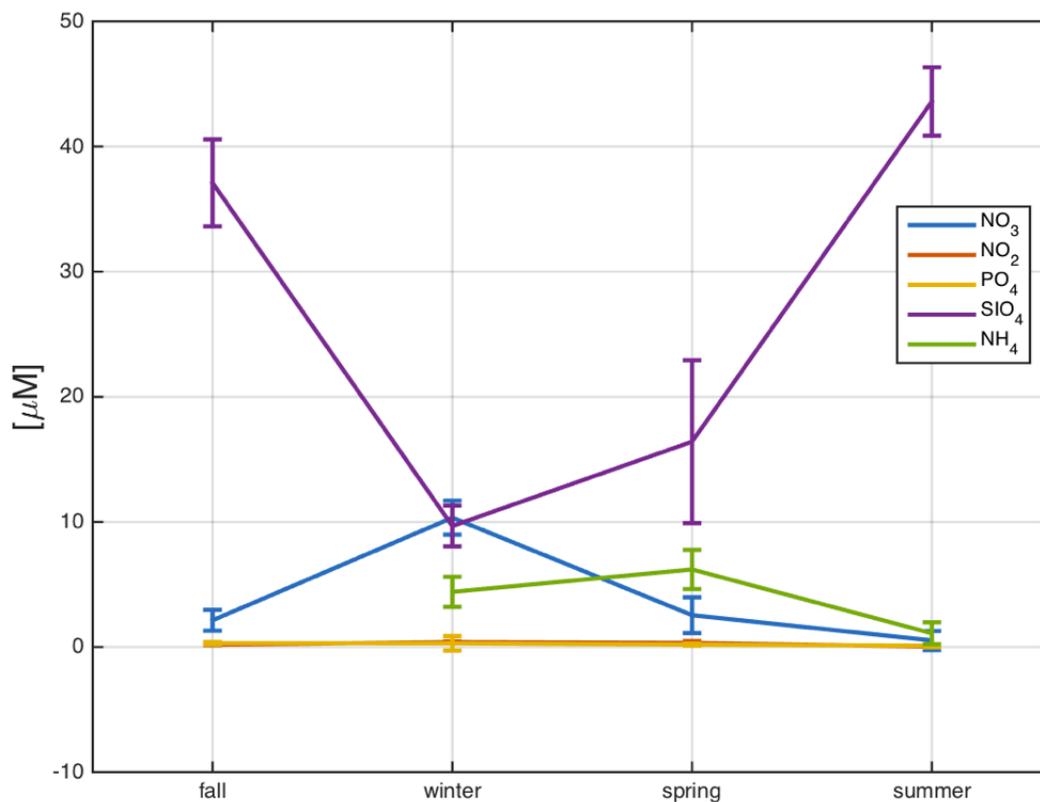


Figura 71.- Distribución estacional de los nutrientes inorgánicos para toda la columna de agua y para toda la extensión del Mar Menor.

Distribución de la clorofila a:

A continuación, se describe la variabilidad de la concentración de *clorofila a* superficial (*Figura 72*), intermedia (*Figura 73*) y profunda (*Figura 74*), respectivamente, para la laguna del Mar Menor, así como su distribución espacial y temporal. Los datos medios por cuencas se muestran en la Tabla 20. La evolución estacional de la concentración de clorofila a de la laguna del Mar Menor para toda la columna de agua y por cuencas se muestra en la *Figura 75*.

No es posible definir un patrón claro en la distribución de la clorofila con la profundidad. En general, la concentración tiende a ser mayor en las muestras de fondo comparadas con la de superficie, sin embargo, en el muestreo de nov16 el máximo vertical de clorofila se encontró tanto en la capa intermedia como en la profunda dependiendo de la estación. El patrón de variabilidad temporal es mucho más claro. Así, la concentración de clorofila fue en promedio muy alta en nov16 y sep17 (alrededor de $9 \mu\text{g L}^{-1}$), mientras que en feb17 y jun17 las concentraciones se mantuvieron, en promedio, en valores relativamente moderados ($2 \mu\text{g L}^{-1}$). No obstante, durante los cuatro muestreos, la variabilidad espacial fue notable. Este patrón de variación estacional se correlaciona perfectamente con el del coeficiente de extinción de la luz descrito anteriormente, lo que sugiere que, al menos en este periodo, el fitoplancton es el principal responsable de la reducción de la luz en el fondo de la laguna.

Las concentraciones más elevadas se encontraron sobre todo en algunas muestras de fondo tomadas en estaciones de la cuenca norte, aunque en promedio la concentración de clorofila entre ambas cuencas no varió significativamente. El rango de variabilidad de la clorofila fue mayor en jun17, ya que se obtuvieron concentraciones menores a $0.7 \mu\text{g L}^{-1}$ en dos muestras mientras que se registró un máximo de $11.39 \mu\text{g L}^{-1}$ en una muestra recogida en el fondo de una estación de la cuenca norte. No obstante, en más del 90% de las muestras recogidas durante esta campaña la concentración fue menor a $2.5 \mu\text{g L}^{-1}$. La concentración máxima de clorofila en sep17 fue ligeramente inferior a la obtenida en nov16 ($13.12 \mu\text{g L}^{-1}$ comparado con los $13.68 \mu\text{g L}^{-1}$), sin embargo, un 36% de muestras presentaron concentraciones muy altas (mayores a $10 \mu\text{g L}^{-1}$; en nov16 este porcentaje fue del 25%). En feb17, la concentración de clorofila solo varió entre 0.36 y $4.58 \mu\text{g L}^{-1}$.

Es de destacar también que durante este muestreo los gradientes horizontales en la distribución de clorofila fueron muy acusados, en particular destaca la tendencia al aumento de la concentración de oeste a este, así como la presencia en mitad de la laguna de una franja en que la concentración fue algo menor que en las áreas al norte y al sur de la misma.

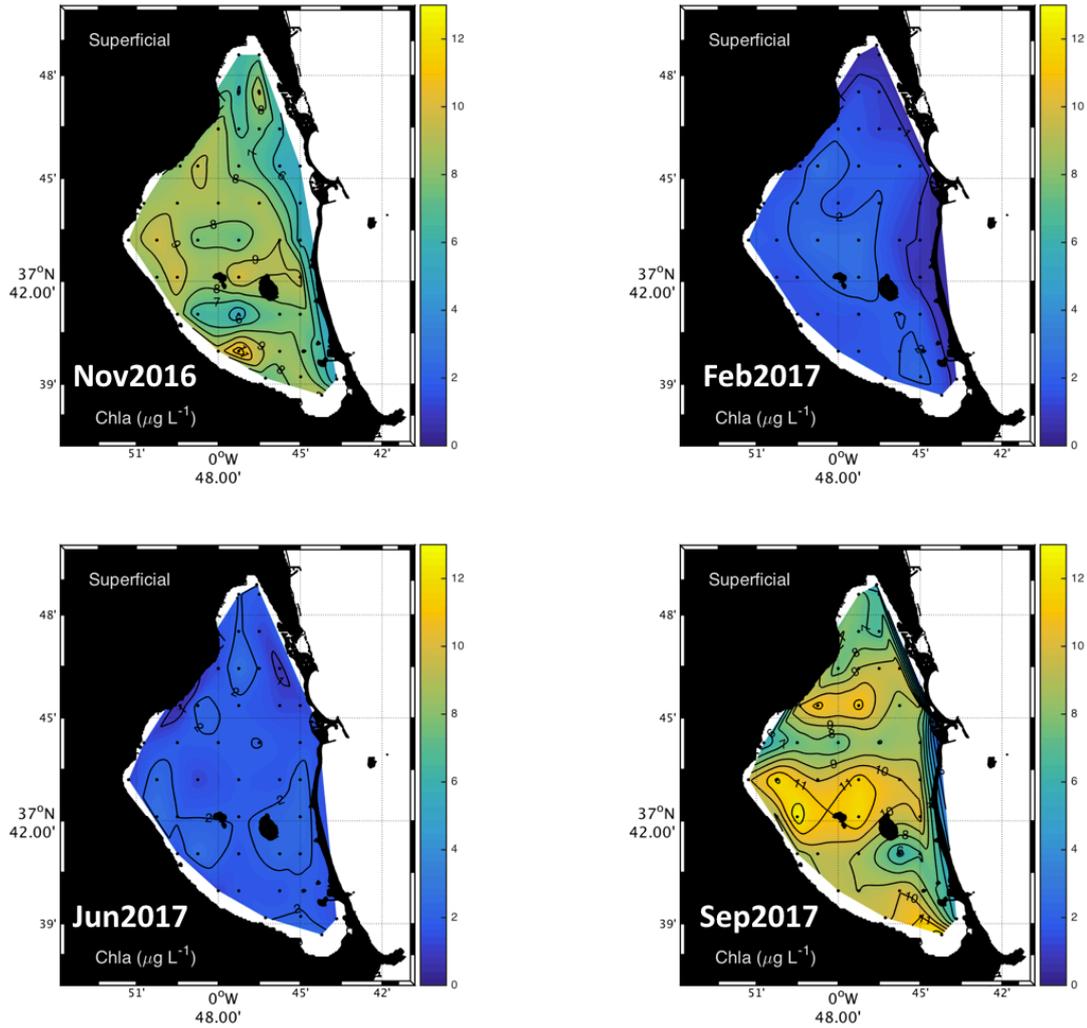


Figura 72.- Mapas de la distribución de la concentración de clorofila superficial (0.5 m) y para toda la superficie de El Mar Menor. Variación estacional para las cuatro campañas realizadas (nov2016, feb2017, jun2017 y sep2017).

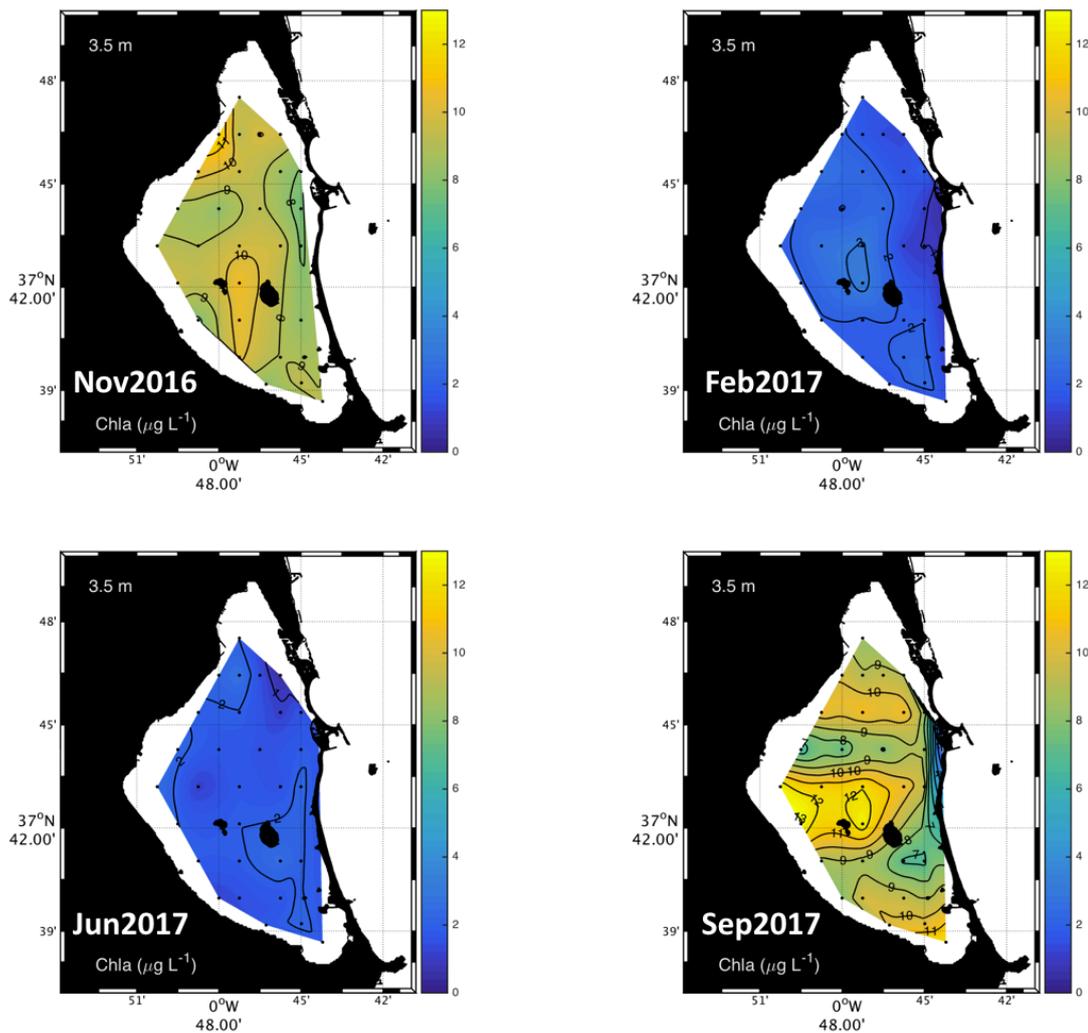


Figura 73.- Mapas de la distribución de la concentración de clorofila intermedia (3.5 m) y para toda la superficie de El Mar Menor. Variación estacional para las cuatro campañas realizadas (nov2016, feb2017, jun2017 y sep2017).

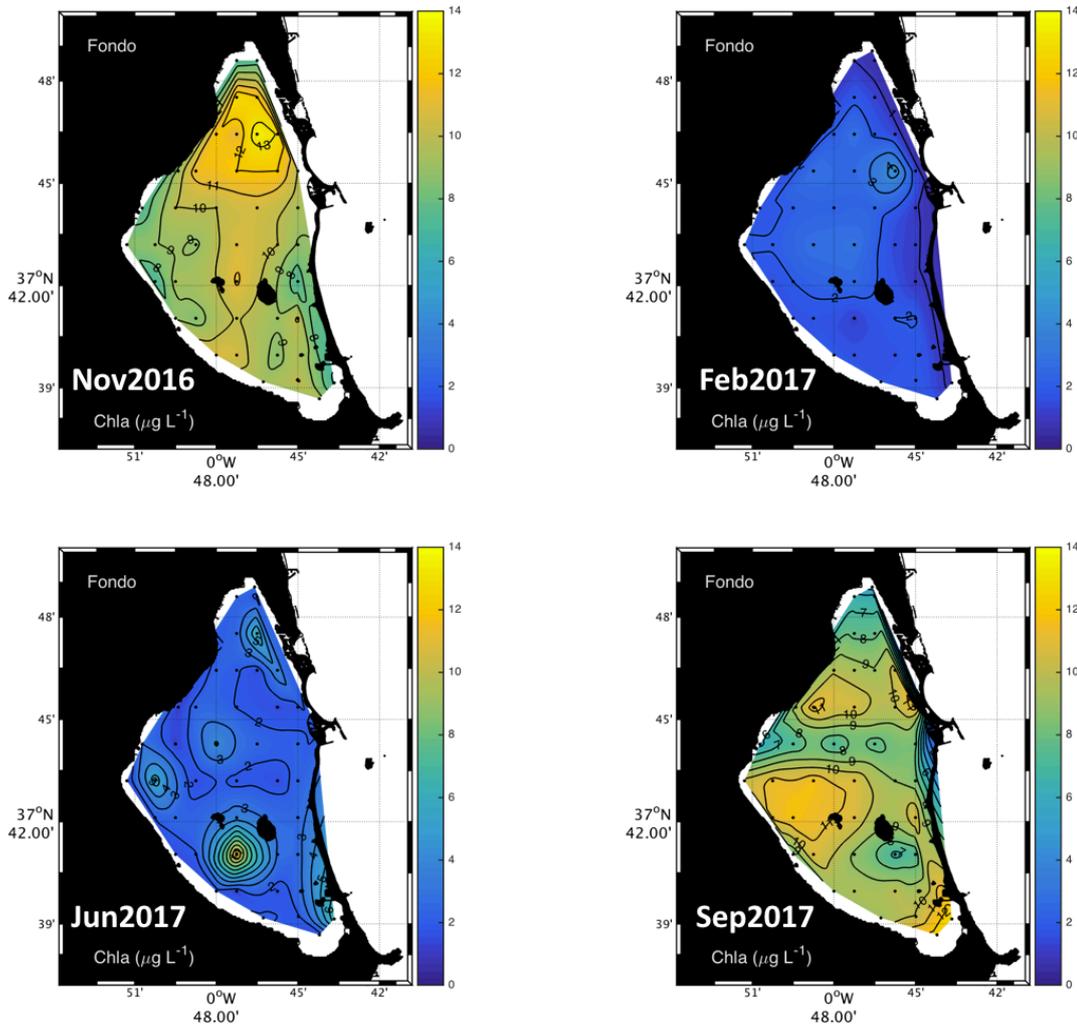


Figura 74.- Mapas de la distribución de la concentración de clorofila del fondo (fondo) y para toda la superficie de El Mar Menor. Variación estacional para las cuatro campañas realizadas (nov2016, feb2017, jun2017 y sep2017).

Tabla 20. Estadística para la concentración de clorofila en la laguna de El Mar Menor.

Chla ($\mu\text{g L}^{-1}$)	MM1116	MM0217	MM0617	MM0917
Total	8.94 ± 1.75	1.75 ± 0.67	2.10 ± 1.25	9.05 ± 2.34
Cuenca Norte	9.00 ± 1.90	1.85 ± 0.71	1.98 ± 0.94	9.13 ± 1.78
Cuenca Sur	8.85 ± 1.51	1.77 ± 0.50	2.32 ± 1.63	9.70 ± 1.96
Mínimos	4.99	0.36	0.44	0.92
Máximos	13.68	4.58	11.39	13.12

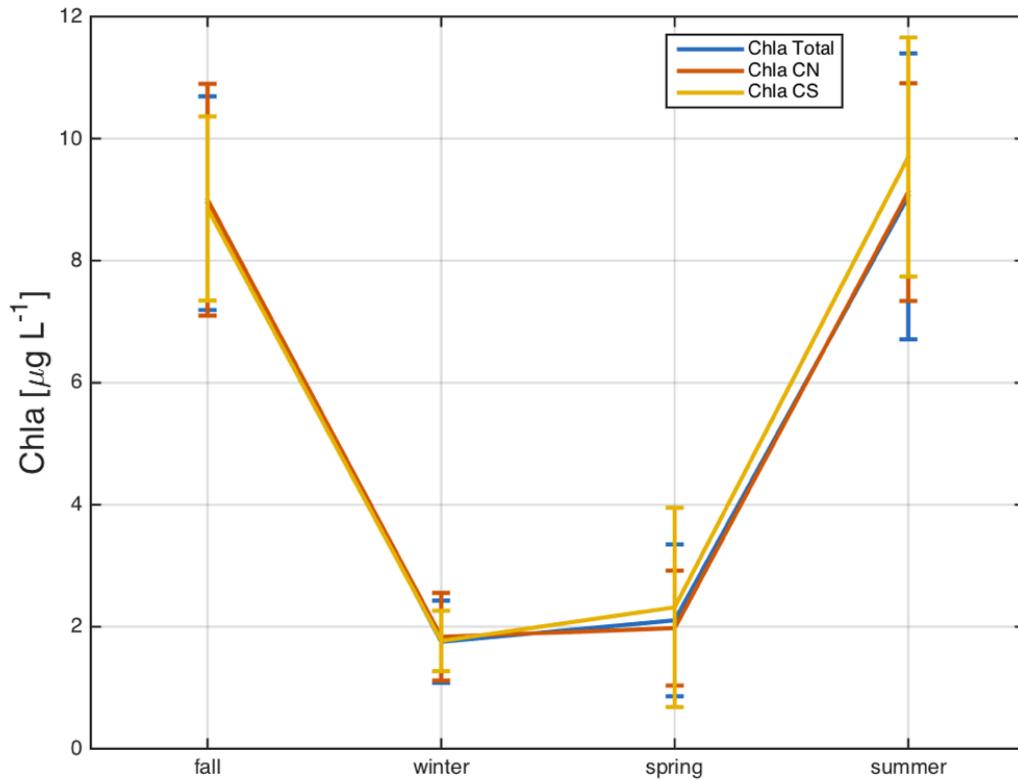


Figura 75.- Distribución estacional de la clorofila para toda la columna de agua, para toda la extensión del Mar Menor y por cuencas.

Distribución de la concentración de metales:

Hasta la fecha de entrega de este informe, solo se han podido analizar unas pocas muestras de la campaña de septiembre de 2017 cuyos resultados se muestran en la Tabla 21:

Tabla 21. Concentración media (expresado en nmol L^{-1}), desviación estándar y rango de concentraciones de los seis metales analizados en este estudio

	Media \pm Desv. Est. (nM)	Rango (nM)
Cu	3.41 \pm 1.33	1.91 - 6.42
Pb	4.47 \pm 2.06	1.64 - 7.83
Zn	179.4 \pm 295.7	20.52 - 1302
Cd	0.239 \pm 0.265	0.086 - 0.711
Ni	7.23 \pm 0.89	5.37 - 8.53
Co	2.24 \pm 0.46	1.76 - 2.67

A día de hoy, únicamente existen dos estudios en los que se reportan valores de metales disueltos en aguas del Mar Menor. Además, en dichos estudios, únicamente se dan valores de Mn, Pb y Zn. (Dassenakis et al., 2012) y colaboradores, publicaron en 2012 un artículo con valores de estos 3 metales citados anteriormente en 10 estaciones repartidas a lo largo del Mar Menor. Los niveles de Pb citados en este estudio, oscilan entre 4.44 y 24.66 nM mientras que los de Zn, oscilan entre 90,5 y 250,7 nM. Los valores de Zn, son del mismo orden que los encontrados en nuestro estudio salvo un valor encontrado por nosotros de 1302 nM, sin embargo, los valores de Pb son ligeramente mayores que los encontrados en nuestra campaña de septiembre de 2017. En el otro estudio que existe hasta la fecha en el que se dan valores de metales disueltos en el Mar Menor (Belando et al., 2017) se indicaron valores de Pb y Zn en 2 estaciones, una de ellas usada como referencia y localizada lejos de los focos de contaminación antropogénica y otra frente a la Rambla del Beal, que descarga aguas provenientes de la Sierra Minera de La Unión. Los valores dados por Belando (2017) oscilaron entre 14.5 nM y 25.2 nM para el Pb y entre 6.88 y 15.13 nM para el Zn. En este caso, los valores son entre 3 y 6 veces más altos que los nuestros para el Pb y un orden de magnitud inferiores para el caso del Zn.

Respecto a la distribución espacial de los datos, se aprecia que las concentraciones de Pb y Zn son más elevadas en las estaciones 33 a 38 (margen sur del Mar Menor) y esto está claramente asociado tanto a la descarga de metales a través de las ramblas provenientes de la Sierra Minera de La Unión, como a la presencia de sedimentos contaminados en los fondos de esta zona que se han ido acumulando con los años (García and Muñoz-Vera, 2015) y finalmente al régimen de corrientes predominante en la cubeta sur del Mar Menor.

Batimetría del Mar Menor mediante ADCP:

Uno de los objetivos principales de estas campañas era la realización de una estimación del campo batimétrico real y actual de la laguna del Mar Menor haciendo uso de un producto derivado del ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler, o perfilador de corrientes por efecto doppler).

Para ello, durante cada una de las 4 campañas realizadas en el Mar menor (nov2016, feb2017, jun2017 y sep2017), se recopilaban datos de profundidad a intervalos de 1 segundo a partir de las medidas del ADCP 1200 kHz en toda la superficie del Mar Menor y durante 15 días por campaña (*Figura 76*).

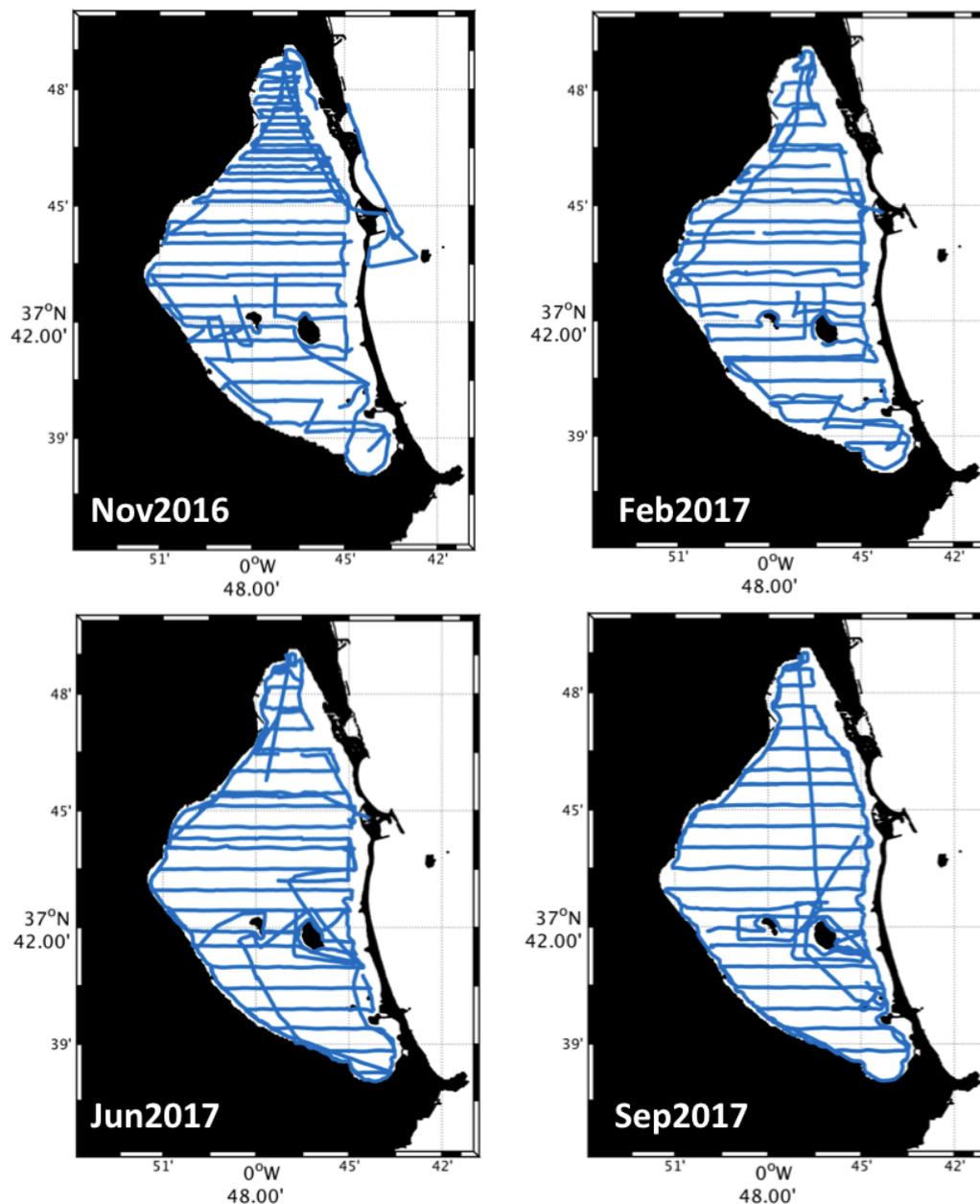


Figura 76.- Cobertura espacial de los datos de ADCP en cada una de las cuatro campañas realizadas en el Mar Menor. Los registros de profundidad en continuo (1 sg) se interpolaron a una malla regular óptima que aseguraba la mejor ratio ruido/señal de los datos (11x9 m) para toda la laguna. A su vez, todos los datos fueron calibrados mediante medidas de profundidad *in situ* con CTD. Para ello, se utilizaron las profundidades máximas registradas en los 42 puntos de muestreo (Tabla 1) en toda la superficie del Mar Menor. La Figura 77 muestra las cuatro rectas de regresión obtenidas al comparar las medidas de profundidad del ADCP con las del CTD.

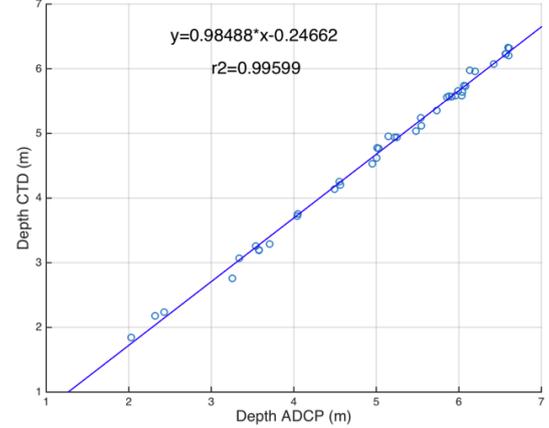
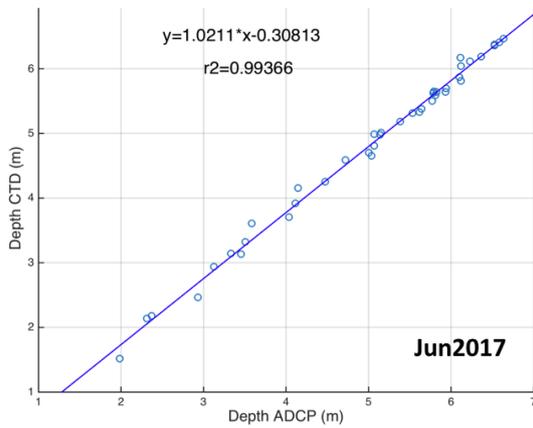
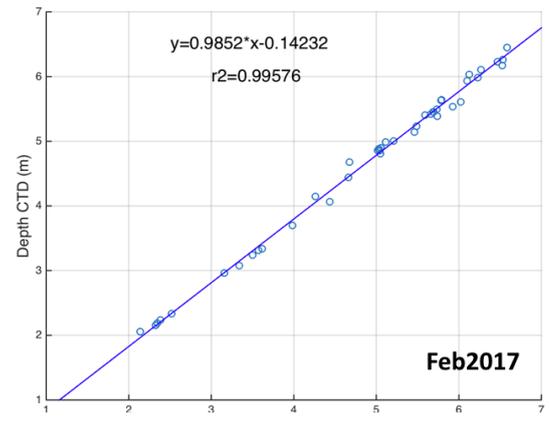
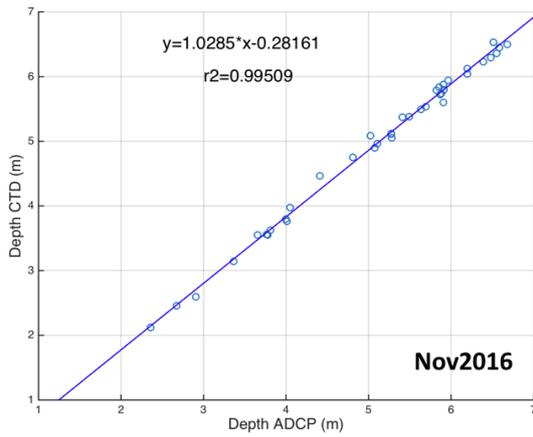


Figura 77.- Rectas de calibración de los datos de profundidad medidos por el ADCP frente a los medidos por el CTD.

Cada uno de estos polinomios correctivos fueron aplicados a los datos finales del ADCP por campaña, con el fin de corregir las medidas de dicho instrumento.

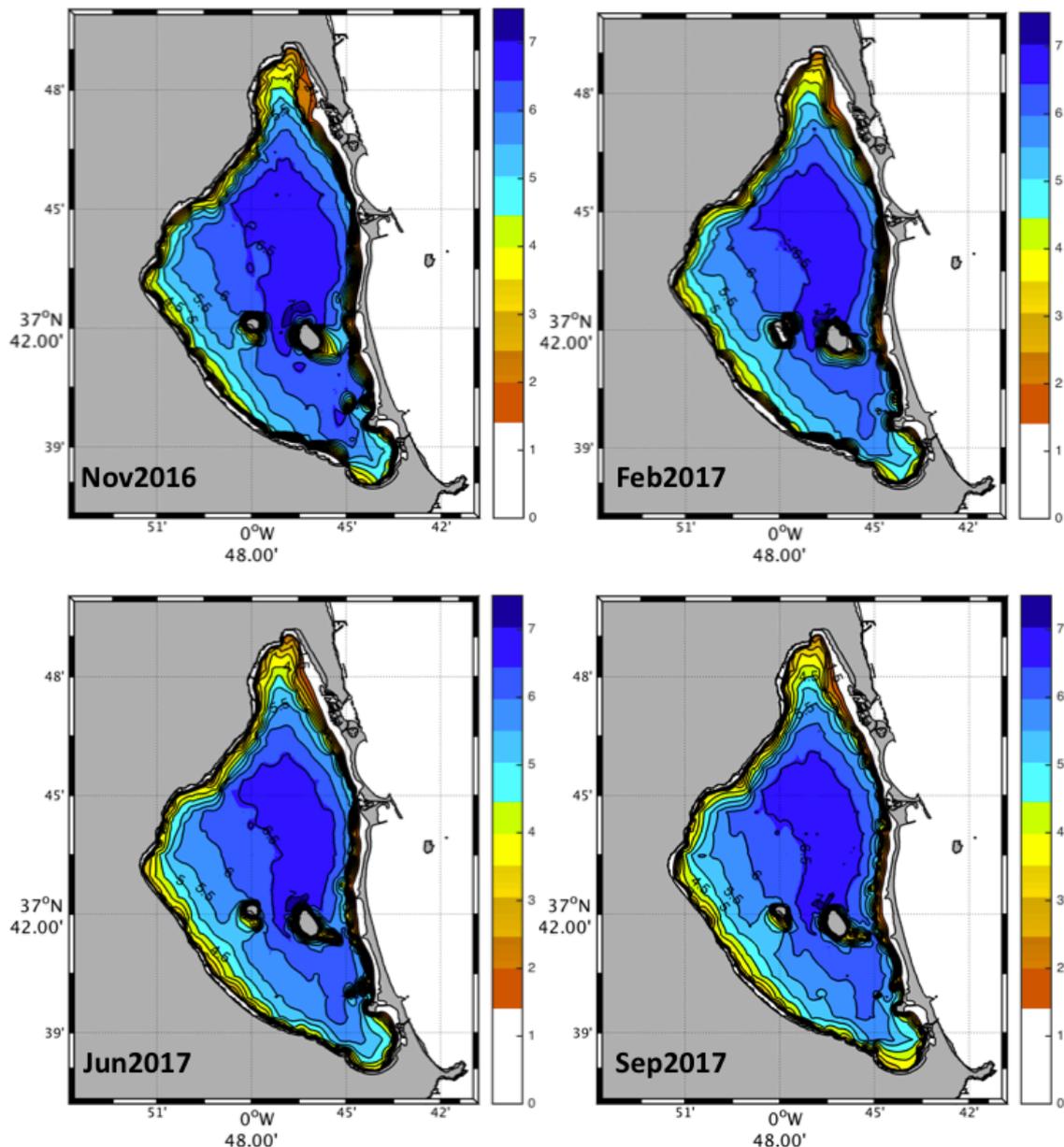


Figura 78.- Batimetrías del Mar Menor obtenidas a partir de datos de ADCP 1200kHz durante las cuatro campañas realizadas en el Mar Menor (nov2016, feb2017, jun2017 y sep2017) y corregidas con datos de CTD. No incluye batimétricas inferiores a 1.4 metros.

La Figura 78 muestra las cuatro batimetrías del Mar Menor (nov2016, feb2017, jun2017 y sep2017) obtenidas a partir de medidas de profundidad del ADCP 1200 kHz y corregidas con medidas de profundidad del CTD en toda la superficie del Mar Menor.

Debido a imposibilidad de navegación a cotas inferiores a los 1.4 m de profundidad, las batimetrías realizadas contienen datos interpolables válidos desde 1.4 – 7.5 m de profundidad, perdiendo parte del área y por tanto del volumen total real del Mar Menor. Por tanto, el área total del Mar Menor obtenido con los datos de estas 4 campañas desde la isobata de 1.4 metros se ha estimado de media en 122 km², con

un volumen promedio de 642 hm³ y una variabilidad estacional de 652, 642, 654 y 649 hm³ para nov16, feb17, jun17 y sep17, respectivamente.

En abril de 2017, el equipo de geología marina del IEO junto con el equipo de hidrógrafos del Instituto Hidrográfico de la Marina (IHM), realizaron una nueva campaña oceanográfica dedicada en exclusiva a cartografiar la laguna del Mar Menor con un sonar interferométrico GeoSwath 500+, una técnica diferente a la usada en las 4 campañas de oceanografía realizadas por el IEO (ADCP).

La *Figura 79* muestra en el panel de la izquierda, la batimetría obtenida por el equipo del IEO-IHM con GeoSwath y en el panel de la derecha, la comparativa entre estos datos de altísima precisión y resolución, con los datos batimétricos derivados de los datos del ADCP. Se comprueba, por tanto, la alta correlación existente entre ambas batimetrías. De esta manera, podemos certificar que los resultados batimétricos del ADCP obtenidos durante las 4 campañas oceanográficas son perfectamente comparables con los obtenidos por técnicas propias de batimetría de alta resolución.

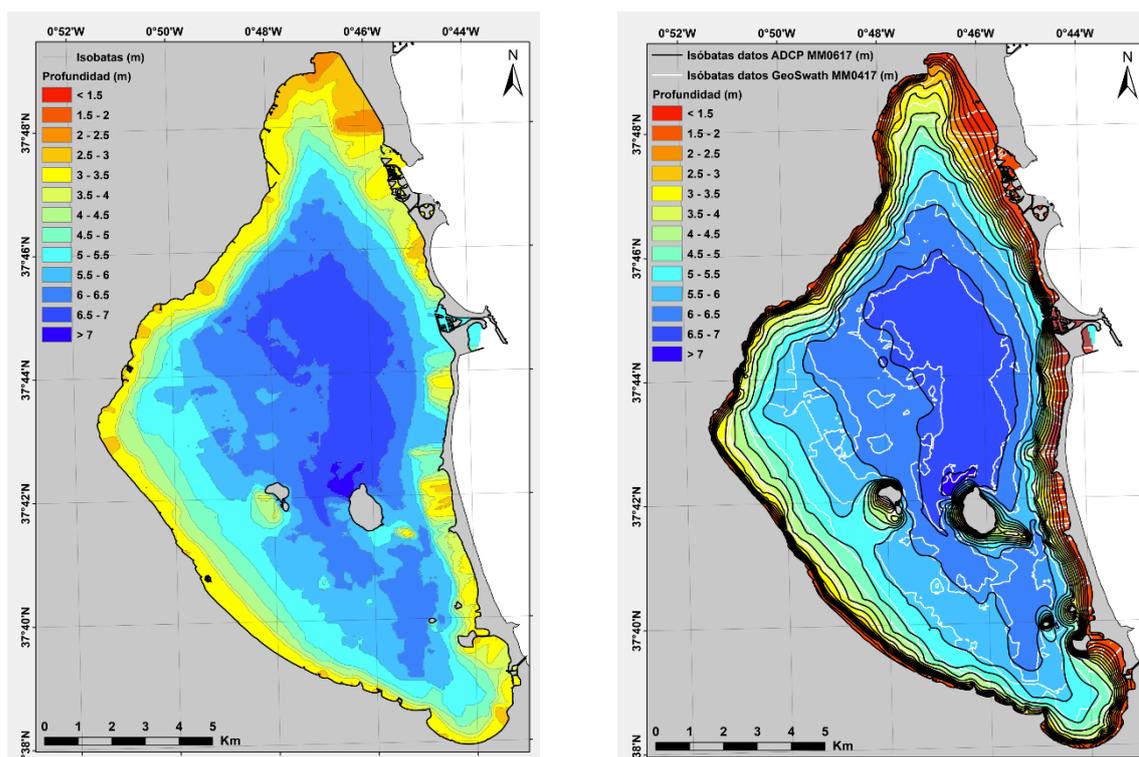


Figura 79.- Batimetría sonar interferométrico Geoswath en abril de 2017 por el IEO y el IHM, para isobatas superiores a 3 metros (panel izquierda). Comparativa batimetría GeoSwath abril17 y batimetría ADCP junio17 (panel derecha). No se deben tener en cuenta los datos menores a 3 metros.

Los resultados en detalle de la batimetría de abril 2017 por sonar interferométrico GeoSwath realizada por el IEO y el IHM se mostrarán en un informe independiente al presente trabajo.

La Figura 80 muestra en el panel de la izquierda la última batimetría realizada en el Mar Menor antes del proceso de eutrofización, la ecocartografía de 2008. Los datos de dicha batimetría han sido interpolados al mismo haz de malla que las batimetrías obtenidas durante las cuatro campañas oceanográficas con datos de ADCP con el fin de que puedan ser comparadas. El panel de la derecha muestra la diferencia en profundidad entre ambas batimetrías (ecocartografía 2008 y la del IEO en nov16) en la que se observa una profundización generalizada.

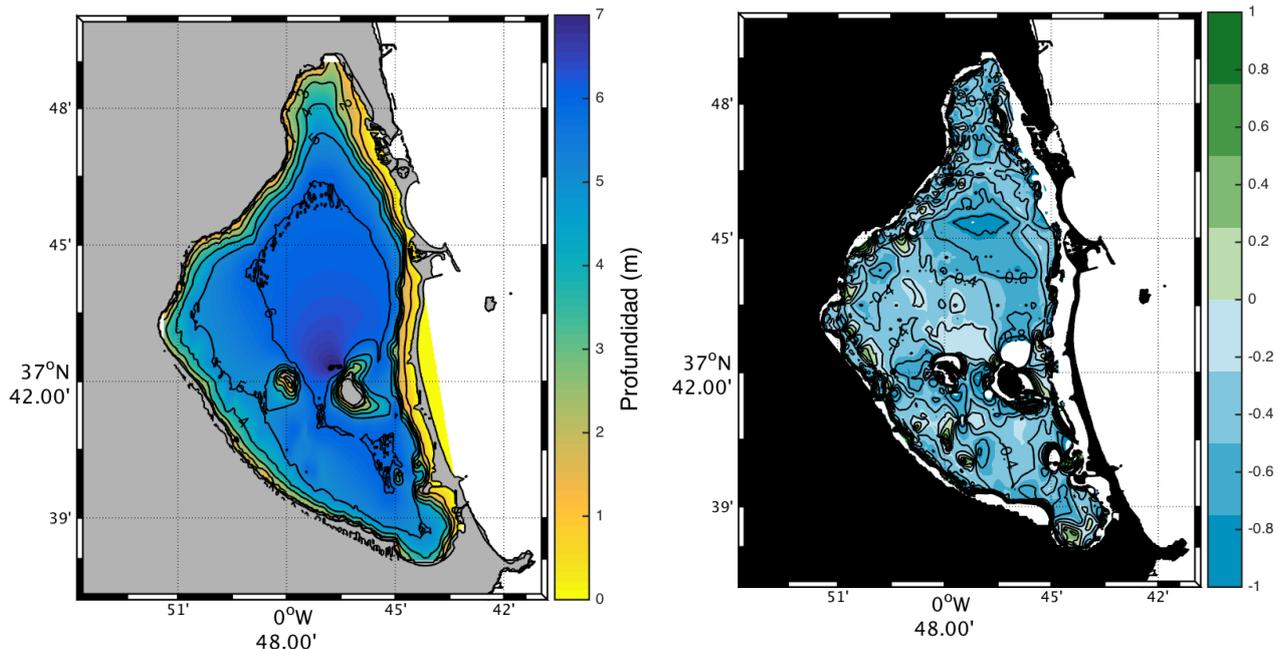


Figura 80.- Ecocartografía del 2008 para el Mar Menor (izquierda). Anomalía de profundidad para la ecocartografía de 2008 y la batimetría del IEO realizada en nov16 (derecha). Valores positivos, colmatación (verde) y valores negativos, profundización (azul)

La Tabla 22 muestra la profundidad media de la laguna de El Mar Menor respecto a la batimetría de 2008. La serie batimétrica obtenida desde nov16 a sep17 muestra una profundidad media total de la laguna de 4.87 m, lo que supone un aumento de 0.28 m en la profundidad media total respecto a 2008, o lo que es lo mismo, una profundización general de la laguna de 28 cm. Observando los datos por cuencas, podemos ver cómo la cuenca norte presenta una profundidad media de 5.46 m con respecto a los 5.11 m obtenidos en 2008, lo que supone una profundización media de 35 cm. La cuenca sur presenta un menor grado de profundización, pasando de una profundidad media de 4.85 m obtenidos en 2008 a 5.01 m, lo que supone 16 cm de profundización media.

Tabla 22. Profundidad media total y por cuencas para la ecocartografía de 2008 y las 4 campañas oceanográficas realizadas por el IEO (nov16, feb17, jun17 y sep17).

Profundidad media (m)					
	2008	MM1116	MM0217	MM0617	MM0917
Total	4.58	4.90	4.86	4.86	4.85
C.Norte	5.11	5.49	5.48	5.45	5.44
C.Sur	4.85	5.08	4.95	5.03	4.98

Partiendo de la base de que los datos batimétricos de la ecocartografía del 2008 muestren la profundidad real de la laguna en esa fecha. Nuestros datos, validados con los datos del IHM muestran una profundización generalizada de la laguna, lo que podría ser debido a la gran deforestación sufrida en 2014 reportado por el IEO-COMU durante el evento de eutrofización (Belando et al., 2017).

Desafortunadamente, de la ecocartografía de 2008 sólo se disponen de los datos por isóbatas a 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 m de profundidad, por lo que la interpolación entre isobatas se realizaría de forma lineal. Este hecho supondría un error considerable en gran parte de la laguna central, sobre todo, entre las isóbatas de 6 y 7 metros, en donde se supondría una degradación lineal desde la isóbata de 6 metros hacia el punto más profundo del Mar Menor, al noroeste de la isla de El Varón. Hasta que no se disponga de una batimetría de referencia con suficientes puntos de malla para su interpolación, los resultados de este informe se basarán exclusivamente a la comparación entre las batimetrías obtenidas durante las 4 campañas. De este modo, la Figura 81 muestra los mapas de las anomalías de la profundidad de la laguna de El Mar Menor entre las 4 campañas realizadas con diferentes referencias durante el año de muestreo (nov16-feb17, feb17-jun17 y jun17-sep17) y sin tener en cuenta la del 2008.

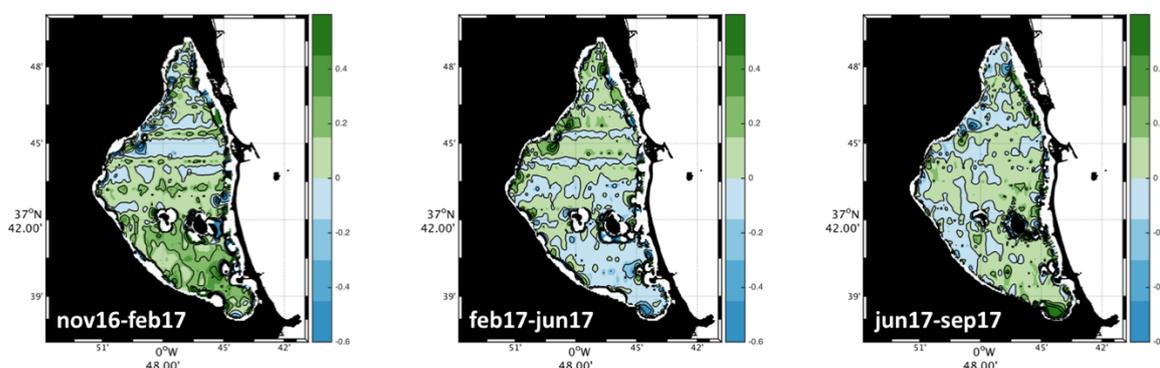


Figura 81.- Mapas de anomalías de la profundidad en la laguna de El Mar Menor entre pares de campañas (nov16-feb17, feb17-jun17 y jun17-sep17).

Viendo la evolución de la anomalía de la profundidad por pares consecutivos de estaciones (Figura 81) podemos observar cómo, tomando de referencia la batimetría de nov16 y restándole la obtenida en feb17 se comprueba que existe una anomalía positiva (colmatación) en prácticamente toda la superficie de la cuenca sur de la laguna con un valor medio de +26 cm. Esta colmatación podría deberse fundamentalmente a los episodios de fuertes lluvias y llegada de materiales en suspensión a la laguna por medio de fuertes riadas previos a la realización de la campaña de feb17. Tomando ahora de referencia la campaña de feb17 y restándole la obtenida en jun17, se observa que la cuenca sur presenta una ligera profundización con respecto al dato de colmatación de feb17, para ser exactos, se han eliminado/re-distribuidos unos -10 cm de los +26 cm de media acumulados en la cuenca sur. Una vez más, tomando finalmente de referencia la campaña de jun17 y restándole la obtenida en sep17, se observa que la cuenca sur presenta nuevamente una ligera colmatación de +5 cm. Por lo que de los 10 cm que se habían recuperado durante la estación anterior quedando por tanto +16 cm de colmatación con respecto a nov16, habría que sumarle esos +5 cm ganados entre jun17-sep17, obteniendo un resultante de +21 cm de acumulación en la cuenca sur.

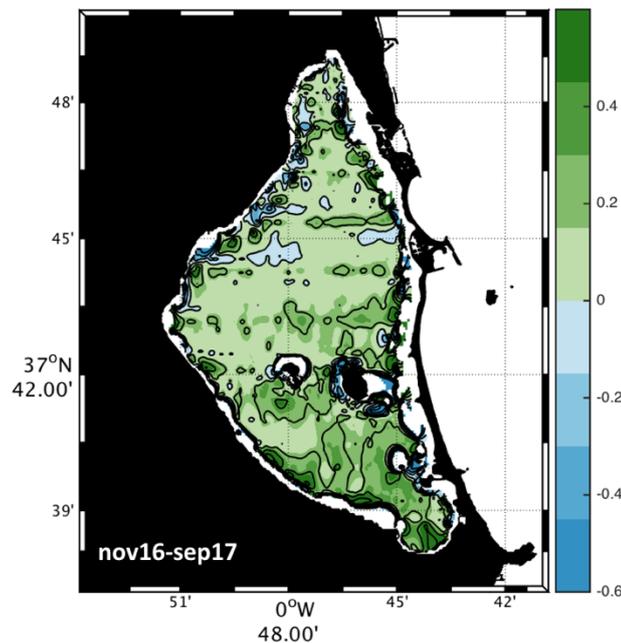


Figura 82.- Mapa de anomalía de la profundidad anual en la laguna de El Mar Menor entre nov16-sep17.

La Figura 82 muestra el mapa de anomalía de la profundidad anual para toda la laguna de El Mar Menor entre nov16 a sep17. En ella, al igual que en la serie de anomalías descrita en la figura anterior, se puede observar claramente que, durante las 4 estaciones muestreadas, hubo una variación significativa del transporte de sedimentos de la laguna, que pudo haber sido propiciado en parte por la pérdida de la vegetación interior de la laguna y por la entrada masiva de sedimentos por los episodios de fuertes lluvias. Aunque la laguna en términos generales presenta una

colmatación generalizada con media (+18 cm), es en la cubeta sur donde se obtiene la mayor tasa de acumulación de material con unos +21-24 cm de media.

Caracterización del campo promedio de la velocidad:

Durante las cuatro campañas oceanográficas realizadas en el Mar Menor entre noviembre de 2016 y septiembre de 2017, se realizaron medidas de la velocidad de la corriente en toda la columna a partir de los datos del Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) de 1200 kHz.

Los resultados se muestran en la *Figura 83* para la capa superficial, *Figura 84* para la capa profunda y *Figura 85* para toda la columna de agua. La Tabla 23 muestra los valores medios del módulo de la velocidad para cada campaña y la media anual además por diferentes capas en la vertical.

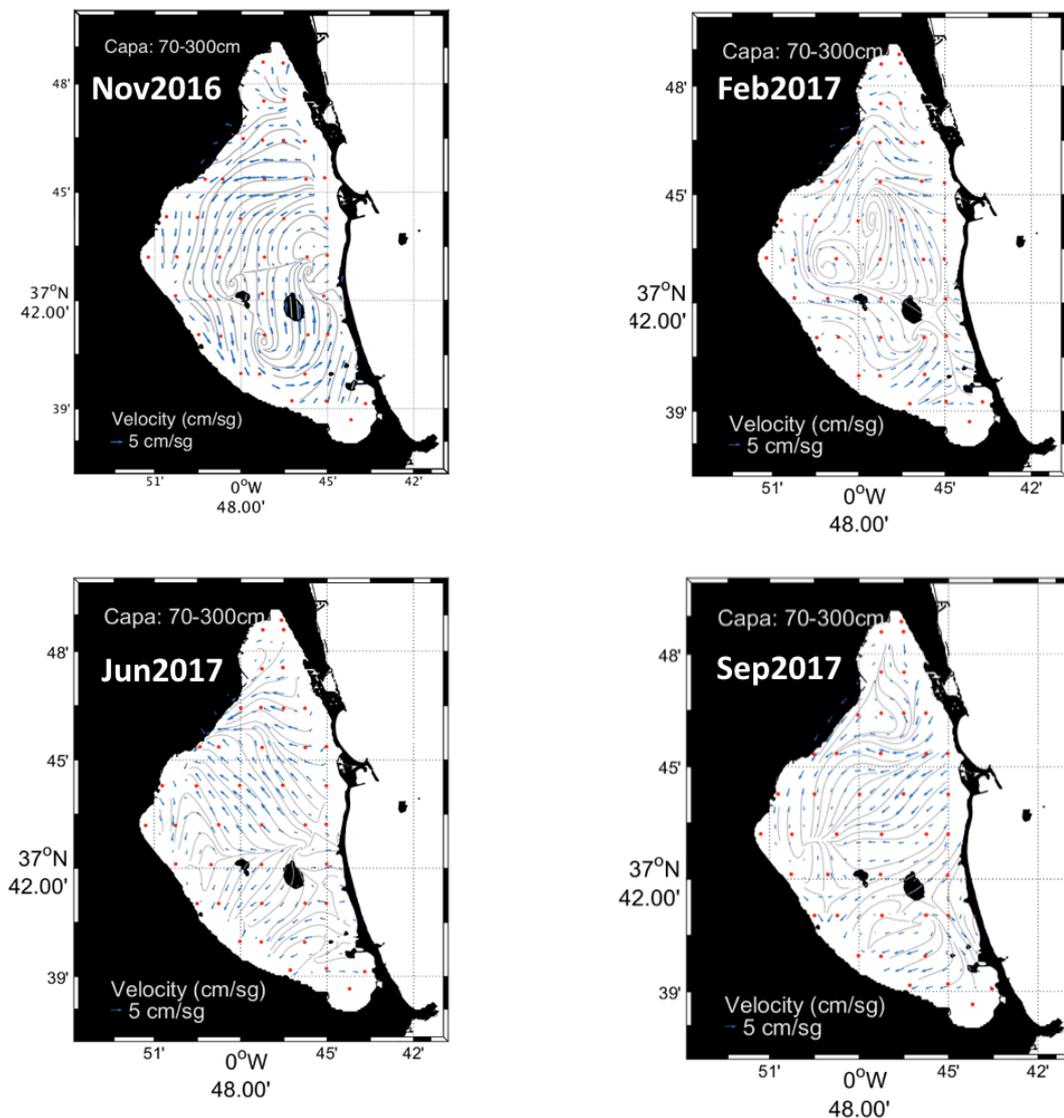


Figura 83.- Mapas de distribución del campo de velocidad promedio para la capa superficial (70-300 cm) para cada una de las 4 campañas realizadas en el Mar Menor (nov16, feb17, jun17 y sep17).

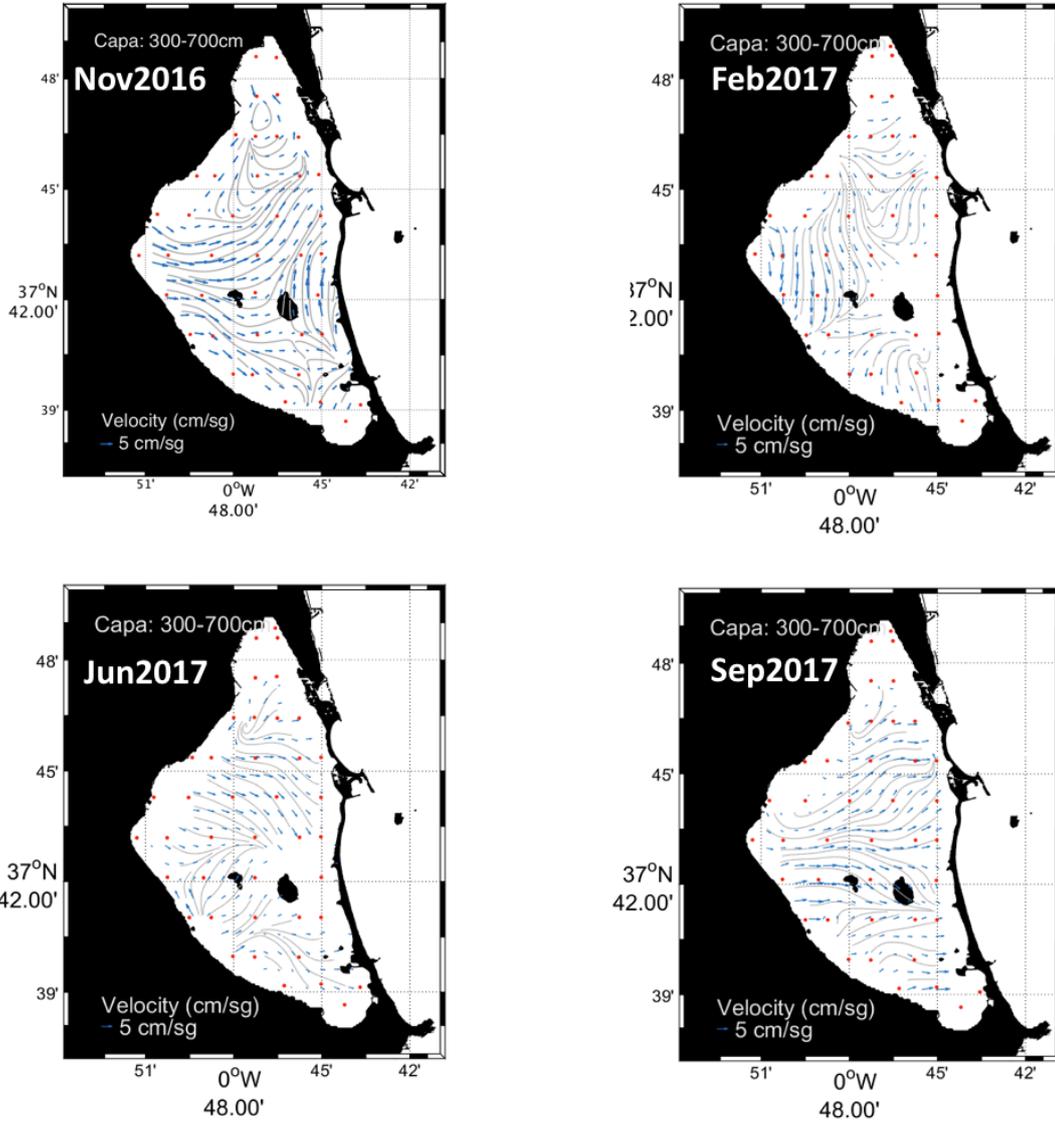


Figura 84.- Mapas de distribución del campo de velocidad promedio para la capa profunda (300-700 cm) para cada una de las 4 campañas realizadas en el Mar Menor (nov16, feb17, jun17 y sep17).

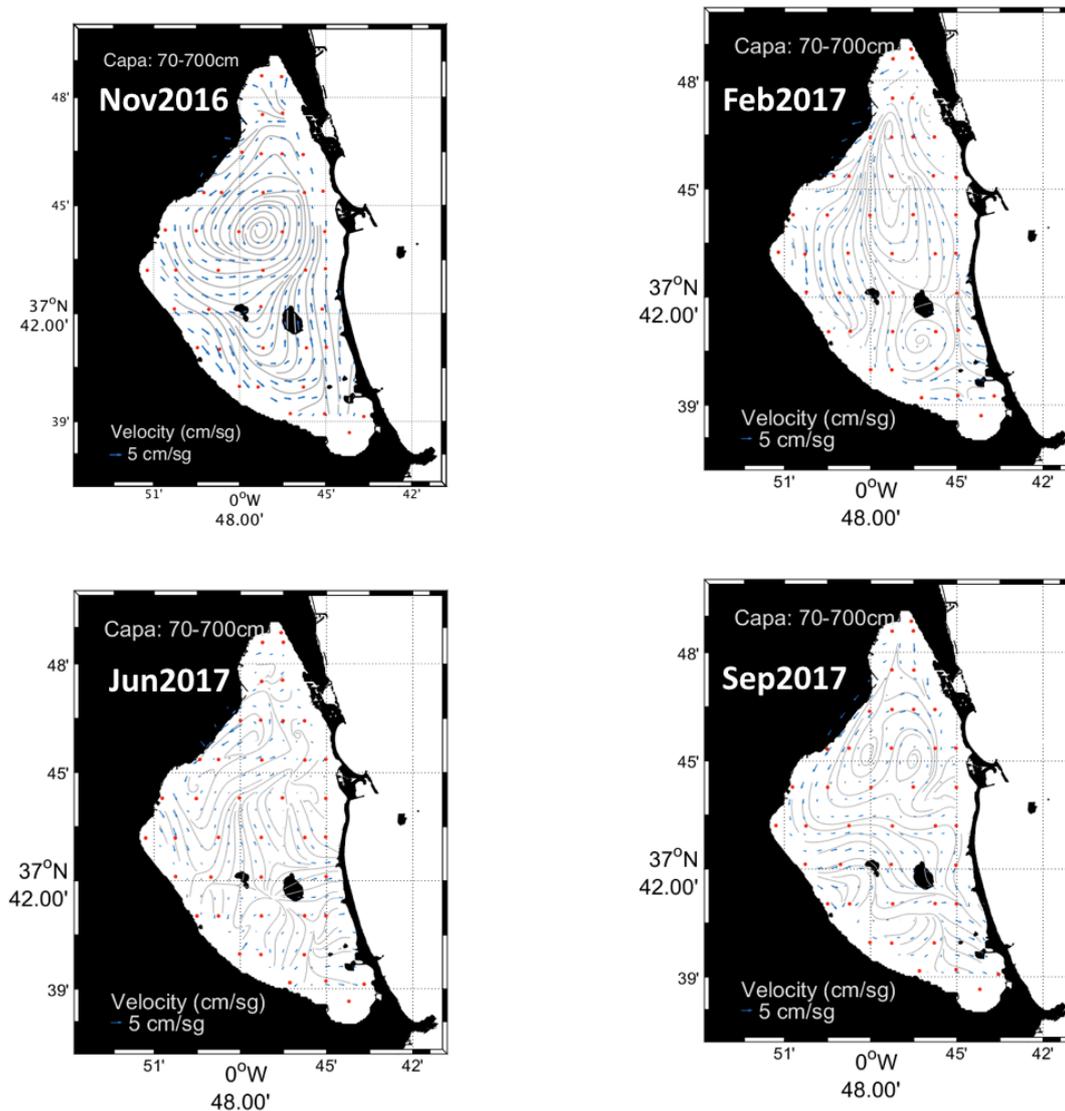


Figura 85.- Mapas de distribución del campo de velocidad promedio para toda la columna de agua (70-700 cm) para cada una de las 4 campañas realizadas en el Mar Menor (nov16, feb17, jun17 y sep17).

Tabla 23. Módulo de la velocidad promedio (cm/s) por estación del año, anual y por capa de profundidad.

Capa/Campaña	Módulo de la velocidad media (cm/s)				
	MM0216	MM0217	MM0617	MM0917	Anual
0-300 cm	2.6 ± 1.2	2.3 ± 1.0	2.6 ± 1.3	2.4 ± 1.1	2.5 ± 1.0
300-700 cm	3.1 ± 1.0	3.3 ± 1.3	2.5 ± 0.9	3.3 ± 1.5	2.9 ± 0.9
0-700 cm	2.2 ± 0.9	2.1 ± 0.8	1.5 ± 0.9	1.7 ± 0.8	1.8 ± 0.8

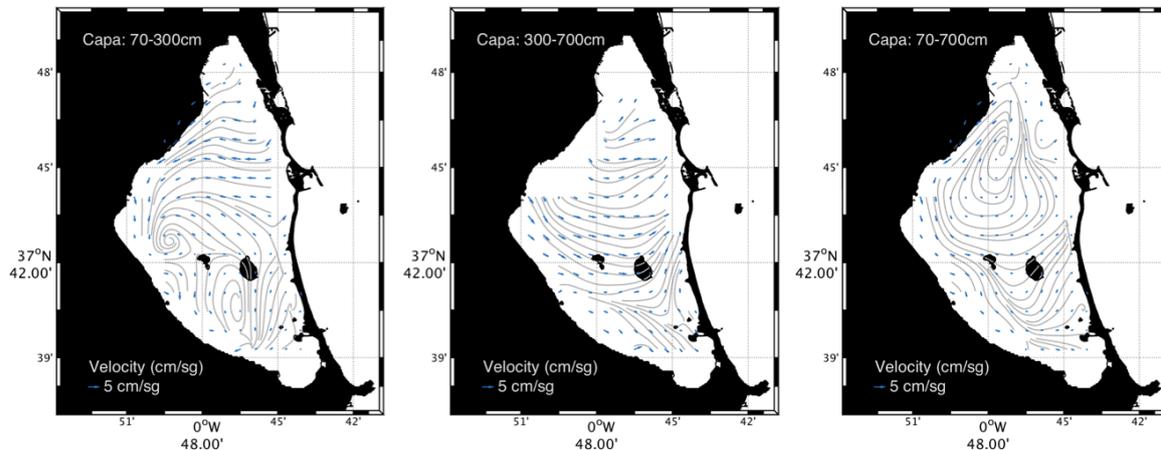


Figura 86.- Mapas de distribución del campo de velocidad promedio de las 4 campañas (anual) para las capas superficial (70-300 cm), intermedia (300-700 cm) y total (70-700 cm).

La Figura 86 muestra los mapas de distribución del campo de velocidad promedio entre las cuatro estaciones muestreadas (media anual) y para la capa superficial (70-300 cm), capa profunda (300-700 cm) y para toda la columna de agua (70-700 cm).

Uno de los objetivos fundamentales y en donde radica gran parte de la importancia de la toma de estas medidas de velocidad era la de incorporarlos a los modelos numéricos ya existentes para la laguna del Mar Menor y así, contribuir a la validación de los resultados con datos in situ.

De forma general, la laguna, lejos de tener un patrón de velocidades único para toda la columna de agua, presenta un patrón dinámico complejo con una estructura bien diferenciada en dos capas. Una capa superficial, entre 0.7-3 metros de profundidad y una capa profunda de entre 3 metros y el fondo. Estos patrones de velocidad están fuertemente ligados a los patrones de viento, así como a diferencias termohalinas propiciadas por las diferentes entradas de agua del Mar Menor, ya sea aportes del Mediterráneo, como aportes continentales.

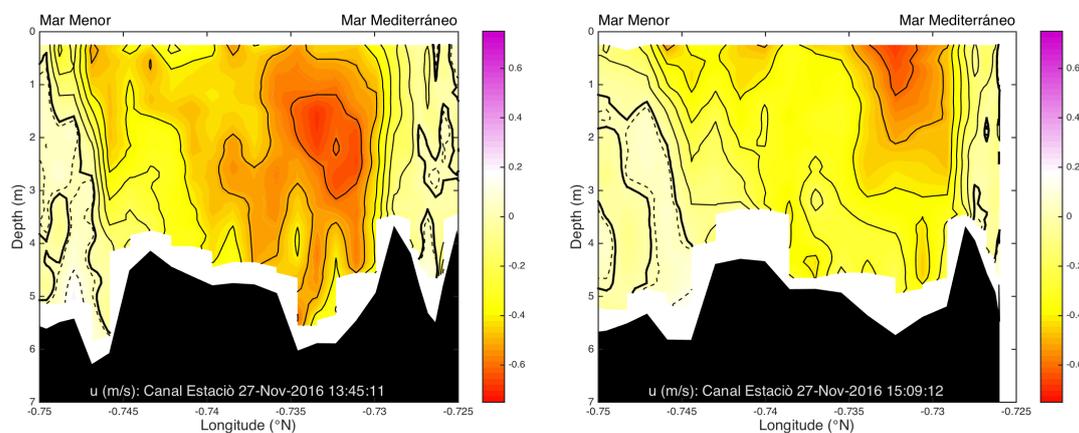
Esta diferenciación, fundamentalmente dividida en dos capas, coincide con la establecida por el campo térmico, eliminando la capa más ligada a la superficie. Por todo ello, los resultados preliminares de la composición termohalina en combinación con la dinámica nos dan a entender que la laguna tiene un comportamiento mayoritariamente bicapa, aunque con una circulación general mayoritariamente ciclónica.

La capa superficial, comprendida entre los tres primeros metros de la columna de agua (70-300 cm) presenta una dinámica con transportes de este a oeste, propiciado

por las entradas de agua procedentes del Mediterráneo con una velocidad promedio variable entre 2.3-2.6 cm/s. La capa profunda, comprendida entre 300-700 cm de profundidad presenta un patrón de corriente inverso a la capa superficial, generalmente de oeste a este y algo más dinámico, con valores medios de entre 2.5-3.3 cm/s. El patrón dinámico general promedio en toda la columna de agua es ciclónico para la cubeta central norte y sur y anticiclónico para la zona norte de la cubeta norte. Los valores medios anuales del promedio de la velocidad varían entre 2.5, 2.9 y 1.8 cm/s para las capas superficiales, profundadas y total, respectivamente.

Transportes de volumen de entrada/salida por El Estacio (MM1116):

Durante la primera de las campañas, no se disponía de un ADCP adicional para ser anclado en el canal de El Estacio, por ello, durante esta primera campaña, los cálculos de los flujos de entrada y salida se realizaron a partir de medidas de la velocidad de la corriente con el ADCP a bordo del buque DeepCore con transectos de entrada y salida por el canal de El Estacio. Estos transectos se realizaron durante los días 27, 29 y 30 de noviembre de 2016 en 6 instantes de tiempo diferentes. La *Figura 87* muestra los contornos verticales de la componente zonal (u) de la velocidad en m/s. Valores negativos de la velocidad muestran flujo procedente del Mar Mediterráneo hacia el Mar Menor y viceversa.



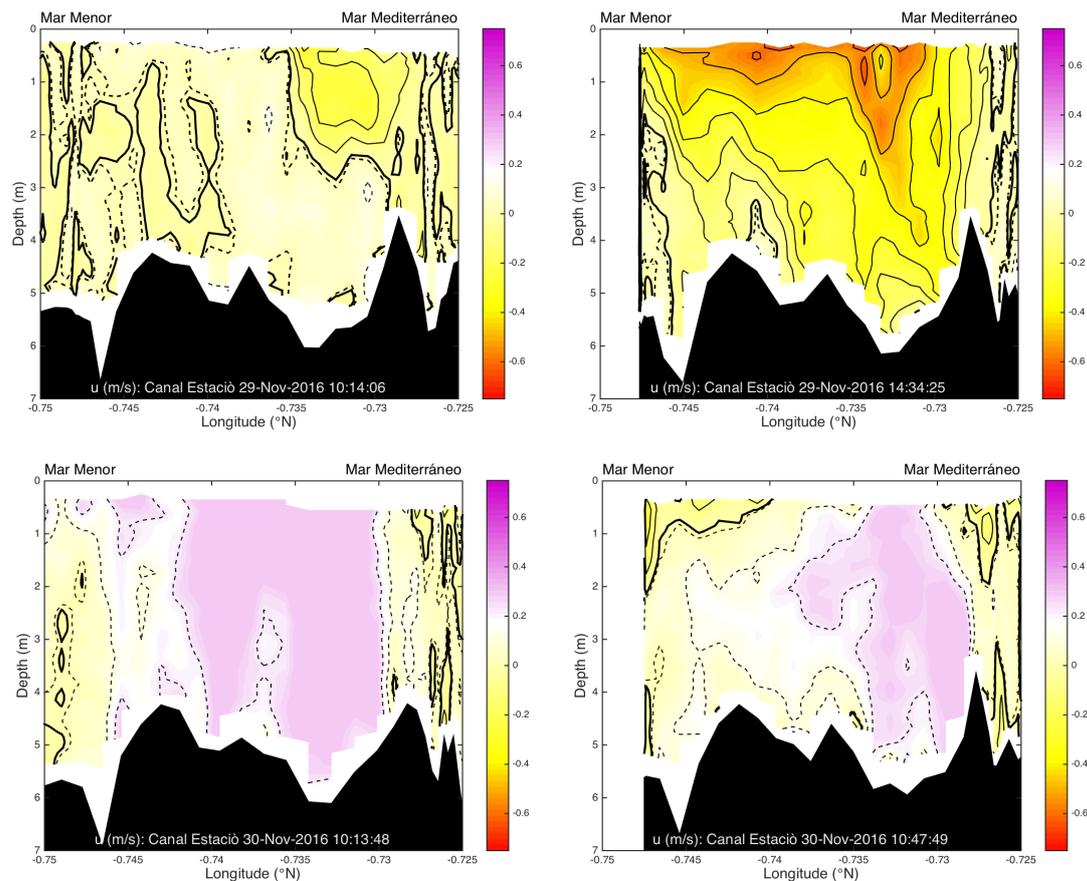


Figura 87.- Contornos verticales de la velocidad zonal en (m/s) a través del canal de El Estacio a partir de datos de ADCP. Velocidades negativas muestran flujo de entrada hacia el Mar Menor y valores positivos de salida hacia el Mediterráneo.

La Tabla 24 muestra los valores de los transportes de volumen total obtenidos a partir de los datos de velocidad del ADCP en 6 instantes de tiempo determinados durante los transectos a través del canal de El Estacio.

Tabla 24. Transporte de volumen total para el canal El Estacio en m³/s a partir de los datos de ADCP en 6 instantes de tiempo determinados. Valores negativos/positivos flujos hacia el interior/ exterior del Mar Menor. El ancho del canal y la profundidad media se han estimado en 40 m y 5 m, respectivamente.

Fecha	27-Nov. 14:03	27-Nov. 15:15	29-Nov. 10:39	29-Nov. 14:49	30-Nov. 10:31	30-Nov. 10:59
Volumen (m ³ /s)	-78.8	-58.1	+23.7	-50.7	+51.4	+42.3

Transportes de volumen de entrada/salida por El Estacio (Anclaje-ADCP):

Los transportes de volumen en el canal de El Estacio se midieron en las sucesivas campañas (feb17, jun17 y sep17) mediante la instalación de un anclaje submarino justo debajo del puente del Estacio y durante las fechas mostradas en la Tabla 25.

El anclaje constaba de una estructura metálica de sujeción con cardán móvil, ADCP 1200 kHz y CTD (*Figura 88*).

Tabla 25. Fechas en las que se colocó el anclaje ADCP+CTD en el canal de El Estacio.

Campañas	MM0216	MM0217	MM0617	MM0917
Fechas	---	21-28 Feb.	6-13 Jun.	21-29 Sep.

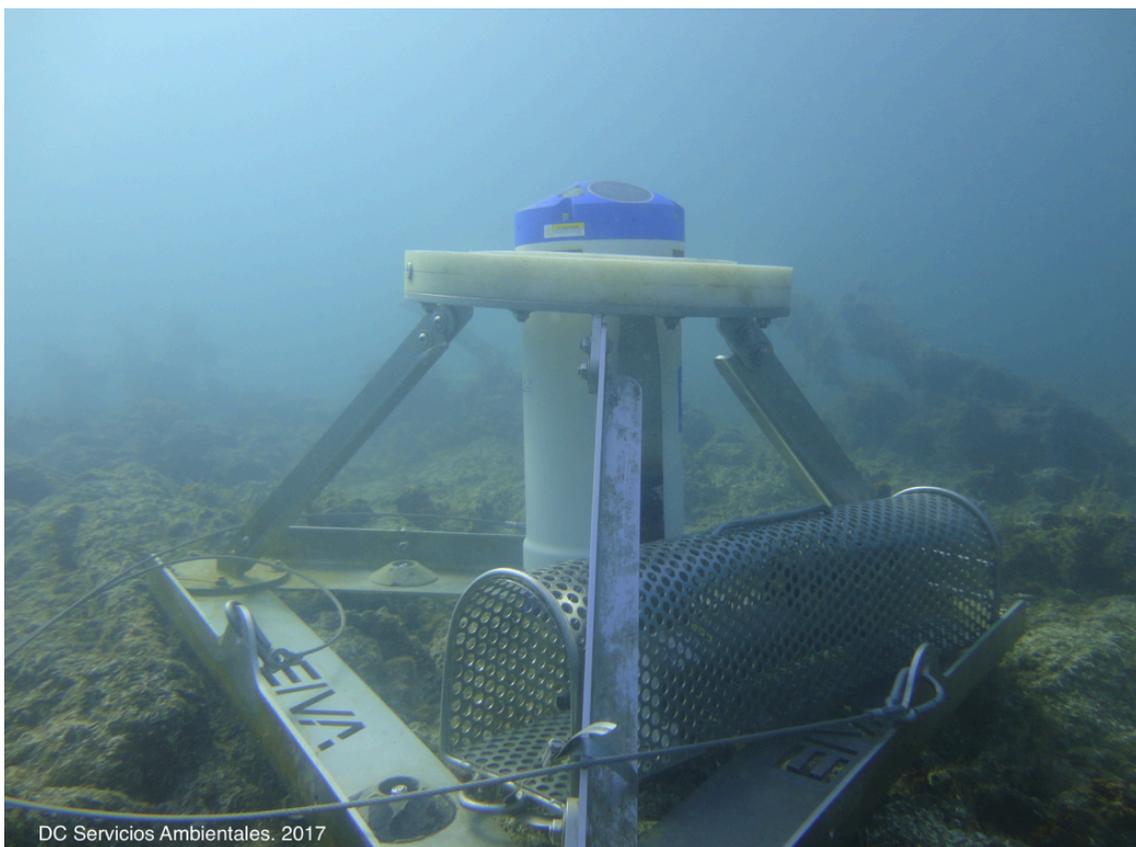


Figura 88.- Anclaje submarino en el canal de El Estacio para la medida de corriente y propiedades termohalinas (ADCP+CTD)

A partir de los datos de CTD del anclaje, se puede determinar si la masa de agua que entra o sale a través del canal tiene características termohalinas propias del Mar Mediterráneo o Mar Menor. Por ello, los resultados de la velocidad de la corriente y por consiguiente, los transportes de volumen obtenidos a través del canal y con el ADCP, deben ser combinados con los resultados derivados por el CTD, con el fin de obtener los transportes de volumen efectivos de entrada y salida a través de El Estacio.

La Figura 89 muestra la evolución de la temperatura, salinidad y presión a partir de los datos del CTD ubicado en el anclaje submarino en el canal de El Estacio durante las tres estaciones realizadas en el año 2017 (feb17, jun17 y sep17). Los datos

muestran como de forma general, las propiedades termohalinas así como los flujos de entrada y salida a través del canal, varían con un marcado patrón mareal. Este patrón cíclico, en ocasiones se rompe muy probablemente debido a eventos atmosféricos importantes (fuertes vientos, tormentas, cambios en la dirección del viento, etc) que modifican a su vez el patrón del transporte de volumen. Esta alta variabilidad dificulta obtener un dato promedio realista con la corta duración de las series obtenidas durante las 3 campañas, por ello, y con el fin de cuantificar de una forma eficiente la dinámica del canal, se hace totalmente necesaria la instalación de un anclaje de este tipo de forma continua y en tiempo presente.

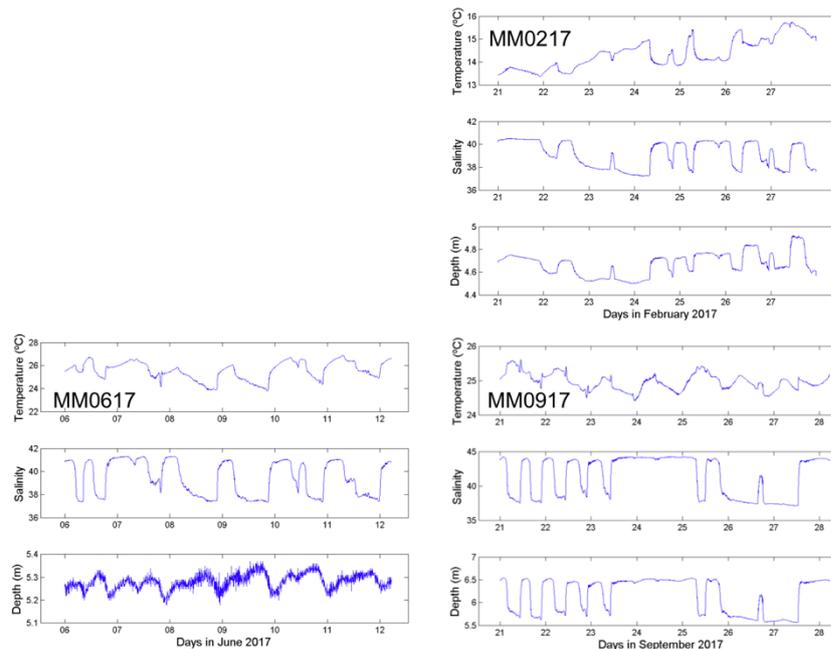


Figura 89.- Evolución de la temperatura, salinidad y presión a partir de los datos del CTD ubicado en el anclaje submarino en el canal de El Estacio durante (feb17, jun17 y sep17).

La Figura 90 muestra la evolución de la temperatura vs salinidad a partir de los datos del CTD ubicado en el anclaje submarino en el canal de El Estacio durante (feb17, jun17 y sep17). Muestra claramente la existencia de dos masas de agua bien diferenciadas (Mar Menor y Mar Mediterráneo).

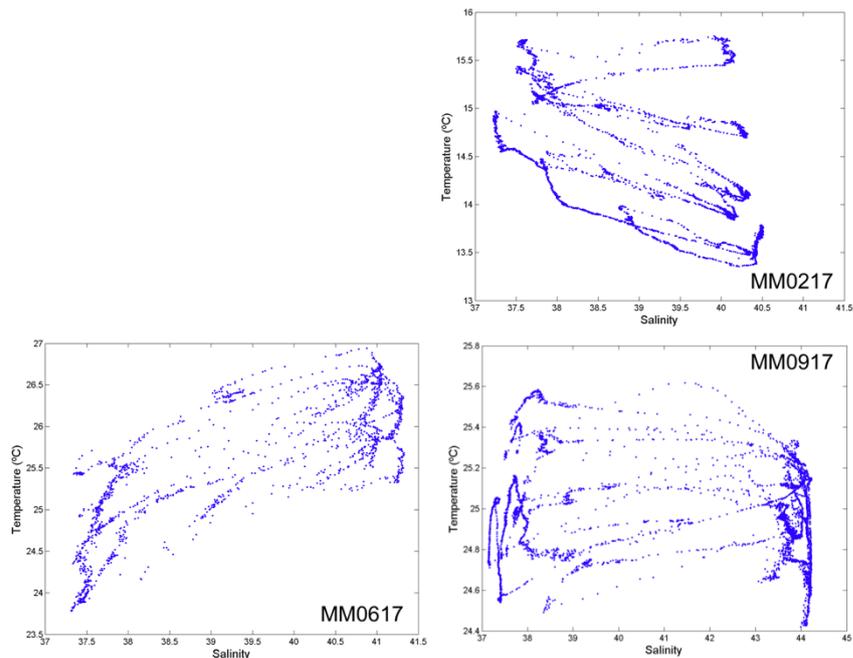


Figura 90.- Evolución de la temperatura vs salinidad a partir de los datos del CTD ubicado en el anclaje submarino en el canal de El Estacio durante (feb17, jun17 y sep17).

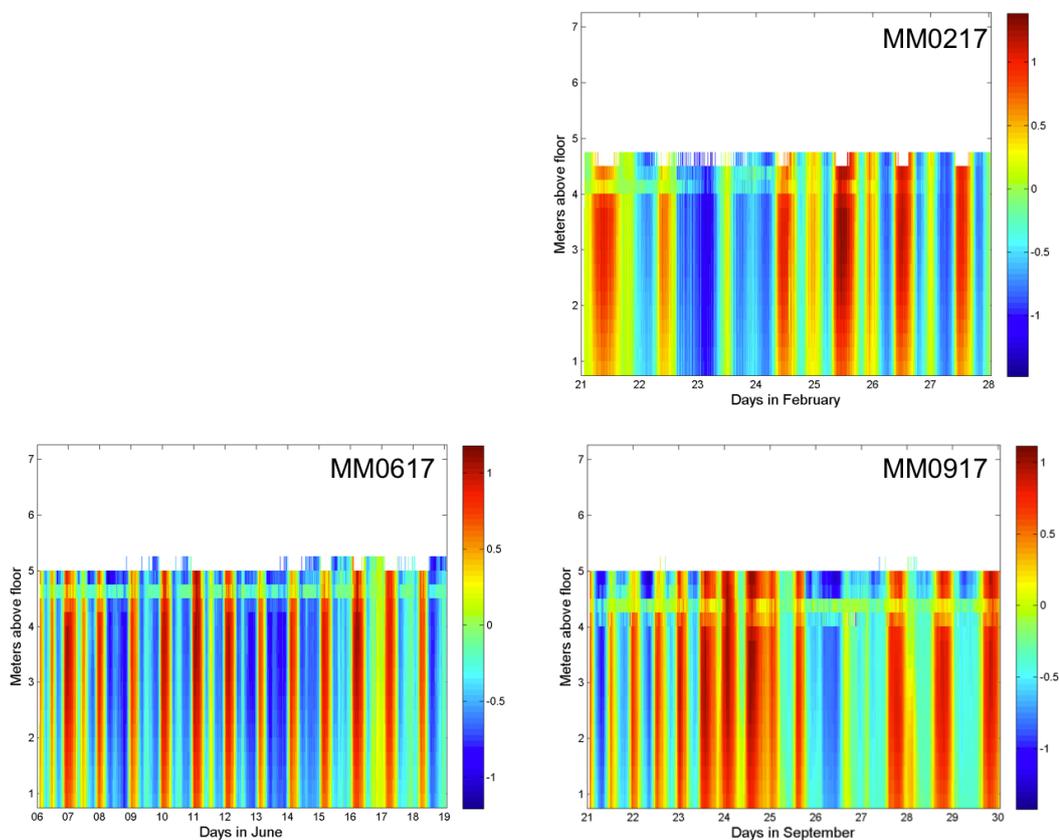


Figura 91.- Evolución la componente zonal de la velocidad (m/s) a través del canal de El Estacio y en toda la columna de agua, medido a través del ADCP ubicado en el anclaje submarino en el canal de El Estacio durante (feb17, jun17 y sep17).

Haciendo uso de los datos de velocidad de corriente suministrados por el ADCP anclado en el canal, la Figura 91 muestra la evolución la componente zonal de la velocidad (m/s) a través del canal de El Estacio y en toda la columna de agua, durante (feb17, jun17 y sep17). Se observa que para toda la columna de agua muestreada por el instrumento (a excepción de las franjas blancas, sin datos, propia de este tipo de instrumentos, entre 0-75 cm del fondo y 0-75 de la superficie), la componente zonal (U, m/s) presenta un patrón de velocidades homogéneo en toda la columna de agua. Es decir, las entradas y salidas de agua a través del canal de El Estacio se producen “en bloque” hacia el Mar Mediterráneo (valores positivos) y hacia el Mar Menor (valores negativos). Así mismo, la *Figura 92* muestra también como la evolución de la dirección de la corriente a través del canal de El Estacio medido a través del ADCP durante las tres estaciones muestreadas se produce de forma totalmente zonal (oeste – este y de este - oeste), dirección geográfica que coincide con la dirección de construcción del canal.

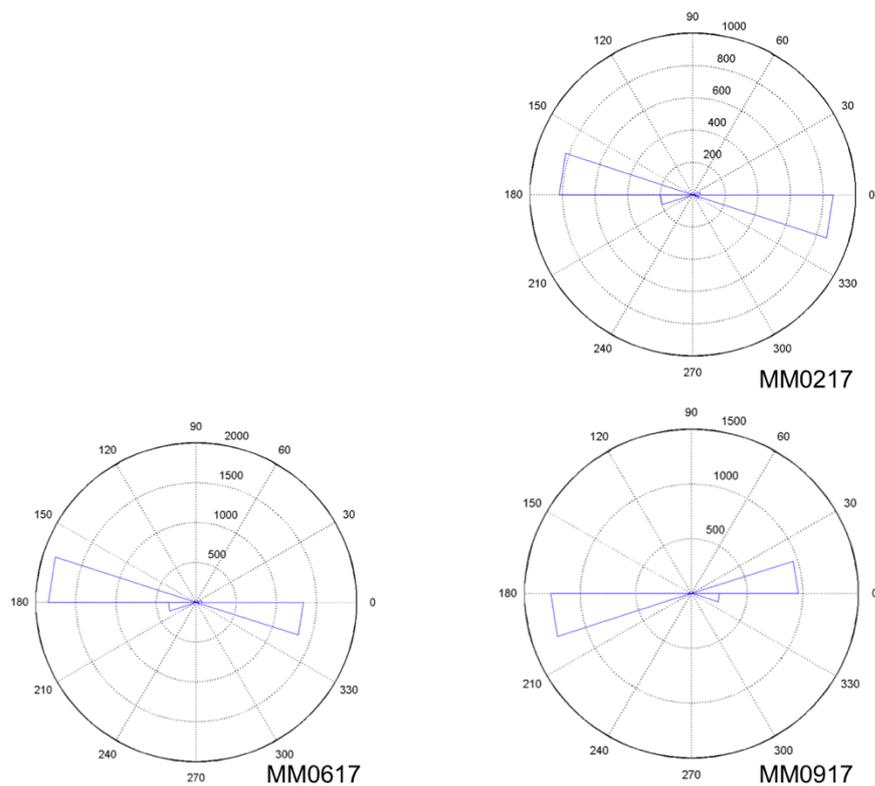


Figura 92.- Evolución la dirección de la corriente a través del canal de El Estacio medido a través del ADCP ubicado en el anclaje submarino en el canal de El Estacio durante (feb17, jun17 y sep17).

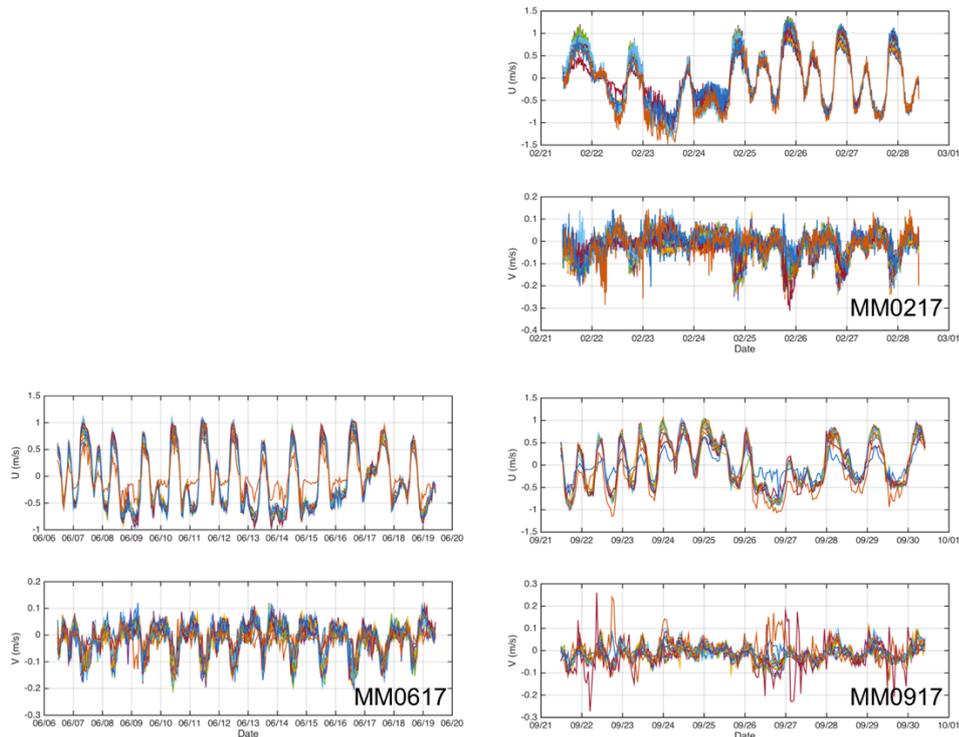


Figura 93.- Evolución la componente de la velocidad zonal (U) y meridional (V) en (m/s) a través del canal de El Estacio y en toda la columna de agua, medido a través del ADCP ubicado en el anclaje submarino en el canal de El Estacio durante (feb17, jun17 y sep17).

La Figura 93 muestra la evolución la componente de la velocidad zonal (U) y meridional (V) en (m/s) a través del canal de El Estacio y en toda la columna de agua, medido a través del ADCP ubicado en el anclaje submarino en el canal de El Estacio durante feb17, jun17 y sep17. La Tabla 26 muestra los datos de la variación estacional del módulo de la velocidad (m/s) y la dirección promedio (°E) de la velocidad en el canal de El Estacio.

Tabla 26. Variación estacional del módulo de la velocidad de la corriente durante las fases de entrada y salida por el canal de El Estacio.

	Velocidad entrada (Mediterráneo - Mar Menor)			Velocidad salida (Mar Menor - Mediterráneo)			Total
	Módulo Velocidad (m/s)	Dir. Media (°E)	Max. Mod. (m/s)	Módulo Velocidad (m/s)	Dir. Media (°E)	Max. Mod. (m/s)	Módulo Velocidad (m/s)
MM1116	---	---	---	---	---	---	---
MM0217	0.50±0.25	190	1.28	0.58±0.32	352	1.29	0.54±0.29
MM0617	0.47±0.19	178	0.96	0.49±0.28	352	1.05	0.48±0.23
MM0917	0.54±0.23	185	1.01	0.43±0.23	357	0.99	0.47±0.23

Como ya se ha comentado anteriormente, los flujos de entrada y salida a través del canal de El Estacio presentan una alta variabilidad temporal, no solo estacional y

anual, sino también debida a procesos, generalmente atmosféricos, de menor escala temporal. De una forma general y con los datos obtenidos con los anclajes durante las campañas del Mar Menor, se ha podido obtener una estimación aproximada de los flujos de entrada y salida del Mar Menor, con medias entre 0.47-0.54 m/s y 0.43-0.58 m/s, respectivamente. Aunque los valores medios no varían significativamente entre estaciones, los valores máximos encontrados por estaciones muestran que, de las tres estaciones del año muestreadas (feb17, jun17 y sep17), los máximos se encuentran en febrero con valores de 1.28-1.29 m/s.

Tiempos de renovación de la laguna:

El enfoque propuesto para la estimación del tiempo de renovación es conocer el balance entre los flujos de masa de entrada y salida en la laguna. Asumiendo que el nivel del Mar Menor se mantiene constante a lo largo del periodo en que se han realizado las campañas, se puede tener como punto de partida que los flujos de entrada deben coincidir con los de salida. De esta manera, no es necesario estimar todos los flujos de intercambio de la laguna con su entorno, sino que es suficiente con estimar los de entrada o los de salida. Una vez tenemos estimados los flujos de entrada o los de salida, el tiempo de renovación lo calculamos como el tiempo necesario para llenar o vaciar el volumen del Mar Menor con esos flujos de entrada o de salida.

Los tres tipos de intercambio tenidos en cuenta han sido los producidos entre el Mar Menor y el Mar Mediterráneo, entre el Mar Menor y la tierra que le rodea y entre el Mar Menor y la atmósfera. Haciendo un repaso a la literatura podemos comprobar que el aporte desde tierra es siempre negativo (Jiménez-Martínez et al., 2016). Por su parte, el intercambio con la atmósfera es variable a lo largo del año, pero siempre es positivo, en tanto que las precipitaciones nunca superan a la evaporación (Martínez-Álvarez et al., 2011b). Sin embargo, la transferencia con el Mar Mediterráneo puede ser positiva o negativa, dependiendo de la época del año (Lopez-Castejon, 2017). De esta manera, podemos tener dos escenarios posibles:

1. que el intercambio con el Mediterráneo sea positivo, esto es, que salga agua desde el Mar Menor. En este caso, los términos a tener en cuenta para la estimación del tiempo de renovación son los positivos, esto es, el intercambio con el Mar Mediterráneo y el intercambio con la atmósfera.
2. que el intercambio con el Mediterráneo sea negativo, con lo que en este caso tendremos en cuenta solo los términos negativos, esto es, la entrada desde el Mediterráneo y el aporte desde tierra.

En cada caso, una vez determinemos los flujos podremos hacer el cálculo del tiempo de renovación.

El intercambio entre el Mar Menor y el Mar Mediterráneo se produce fundamentalmente a través de El Estacio, en tanto que las otras dos conexiones apenas tienen una transferencia significativa. Por este motivo, para conocer el flujo de masa entre el Mar Menor y el Mediterráneo nos centramos en lo que ocurre en El Estacio.

Para la primera de las campañas no se dispuso de un instrumento que midiese las corrientes en El Estacio, de manera que el intercambio de aguas fue estimado de manera indirecta. En este caso nos centramos en estimar la cantidad de agua que era transferida de forma efectiva entre el Mar Menor y el Mediterráneo. Para ello, realizamos un análisis de masas de agua sobre las observaciones tomadas en la boca interior de El Estacio. De esa manera, pudimos comprobar que toda el agua que sale o entra por El Estacio en cada ciclo de marea es del mismo origen, bien del Mar Menor o bien del Mediterráneo.

Así, nos centramos en analizar las mareas en la zona, teniendo el elemento dinámico que de forma indirecta nos permite conocer cómo es el intercambio entre ambos mares. Las velocidades a través de El Estacio debidas a la marea nos permitió establecer que el transporte de volumen durante la campaña de noviembre de 2017 fue de entre 0.5 y 0.8 hm³/día.

Para las restantes campañas se instaló en el canal de El Estacio un ADCP que nos permitió conocer la velocidad en todo momento en ese punto del canal durante los días en que se desarrolló cada una de las campañas. De esa manera resultó más sencillo estimar el sentido del transporte de volumen en ese periodo.

Para tener una estimación de la estabilidad de los resultados, hacemos los cálculos de tiempos de renovación aplicando un análisis de sensibilidad. Esto es, los datos estimados por nosotros o los recogidos por la bibliografía son aumentados y disminuidos en un 20%, y con esos datos estimamos los tiempos de renovación. De esa manera comprobamos cómo de sensibles son los resultados a las estimaciones realizadas. Los resultados del análisis de sensibilidad con los tiempos de renovación se muestran en la Tabla 27.

Tabla 27. Tiempos de renovación en la laguna del Mar Menor. Se muestran estos valores en el contexto de un análisis de sensibilidad de los resultados a las diferentes variables que intervienen en los cálculos.

		Tiempos de renovación (años)					
	Flujo en El Estacio (hm ³)	En función de los flujos en El Estacio	Evaporación menos precipitación		Aporte desde tierra		
			+20%	-20%	+20%	-20%	
MM1116	+0.5	3.27	3.22	3.33			
	+0.8	2.11	2.09	2.13			
MM0217	+0.98 (3 días)	1.72	1.70	1.73			
	-2.98 (7 días)	0.55			0.54	0.56	
MM0617	-1.44	+20%	1.23			1.20	1.27
		-20%	1.72			1.66	1.79

MM0917	+1.09	+20%	0.96	0.91	1.02		
		-20%	1.26	1.17	1.36		

En general, teniendo en cuenta que hay muchísima variabilidad en los resultados, los tiempos de renovación son del orden de 1 año. Para la campaña de noviembre de 2016 fueron marcadamente mayores, del orden de 2-3 años. Resulta conveniente tener en cuenta que en esa campaña no se dispuso de datos directos para estimar los flujos, con lo que probablemente sea la estimación menos fiable de cuantas ofrecemos. Para la campaña de febrero de 2017 tenemos una variabilidad altísima en los tiempos de renovación, desde 0.55 hasta 1.72 años, relacionada con el hecho de que durante el periodo de muestreo fue muy variable el patrón de transferencia entre el Mar Menor y el Mediterráneo. En cambio, en junio y septiembre de 2017 tenemos valores más estables, en torno a 1 año.

Una vez tenemos en cuenta la posible variabilidad en los valores empleados para la transferencia con la atmósfera, vemos que los tiempos de renovación apenas cambian del orden de un 10-15%. Finalmente, la variabilidad que introducen los cambios en los aportes de tierra es aún menor, con cambios en los tiempos de renovación de menos de un 10%. Por tanto, la variable que genera mayor incertidumbre en la estimación del tiempo de renovación es el flujo en El Estacio, esto es, el intercambio entre el Mar Menor y el Mediterráneo.

CONCLUSIONES:

Basándonos en los resultados obtenidos tras la finalización y procesado de todas las muestras de las campañas oceanográficas realizadas para el estudio oceanográfico integral de alta resolución de la laguna costera del Mar Menor (MM1116, MM0217, MM0617 y MM0917), se pueden extraer las siguientes conclusiones:

GENERALES

1. Pese a su reducida dimensión y profundidad, el Mar Menor es un sistema muy complejo que debe ser estudiado con mucho más detalle tanto estacional como anual, desde un punto de vista físico-químico, biológico y geológico. Este sería el único modo de, desde los Organismos Públicos de Investigación y Universidades, dar a las administraciones públicas competentes una respuesta con criterio científico a los interrogantes existentes actualmente en cuanto a:
 - a) ¿cómo funciona el sistema?
 - b) ¿cómo se encuentra el sistema?,
 - c) ¿cómo evolucionará el sistema?,
 - d) ¿se podrá recuperar el sistema?,
 - e) ¿cuánto tiempo tardará en recuperarse, y en qué porcentaje?

ESPECÍFICAS

Desde el punto de vista oceanográfico, los resultados extraídos de la realización de las cuatro campañas oceanográficas planteadas, han proporcionado información relevante para el mejor entendimiento del sistema lagunar y contestar así, con un criterio científico más actualizado, a las preguntas planteadas en el punto anterior.

Conclusiones específicas: campo térmico.

2. En términos generales, el Mar Menor presenta una estructura térmica compleja lejos de lo que cabría esperar para su poca profundidad. Desde el punto de vista térmico presenta hasta dos capas bien diferenciadas. Una capa superficial (0-300 cm de profundidad) con temperaturas medias para toda la laguna de 15.44, 14.85, 27.26 y 24.91 °C, respectivamente para nov16, feb17, jun17 y sep17 y

una la capa profunda (300-700 cm de profundidad) con temperaturas medias para toda la laguna de 15.66, 14.33, 27.10 y 24.80 °C, respectivamente.

3. El Mar Menor presenta una alta variabilidad estacional. Otoño e invierno por debajo de 16°C, mientras que primavera y verano por encima de 24°C. La estación del año más cálida es primavera con temperaturas rondando los 27.5°C de media.
4. Teniendo en cuenta la componente vertical, se encuentran diferencias significativas entre cuencas dentro de la laguna de El Mar Menor. Durante invierno y primavera, las cuencas norte y sur son significativamente diferentes, especialmente entre los 3-7 metros de profundidad. La cuenca sur es significativamente más cálida que la norte. En verano se invierte y la cuenca sur es más fría que la norte, aunque no significativamente.
5. Generalmente, la cuenca sur tiene una menor variación en el rango de temperaturas que la cuenca norte (aunque no significativamente).
6. El ciclo estacional actual sigue el mismo patrón que los ciclos estacionales pasados, especialmente al de 1981, aunque con una primavera mucho más cálida.
7. A partir de los datos de satélite y para los años 2008-2013, la tasa de calentamiento del Mar Menor se ha estimado en tres veces superior a la media global del planeta (0.019 °C y⁻¹), sin embargo, a partir de dicho año 2013-2018, la tasa de calentamiento aumenta considerablemente hasta valores de (0.18 °C y⁻¹). Este hecho, en combinación con la entrada masiva de nutrientes, entre otros, puede haber sido uno de los factores determinantes que hayan propiciado el efecto de eutrofización sufrido en la laguna a partir del año 2015.

Conclusiones específicas: campo halino.

8. El Mar Menor tiene, de forma general, un marcado gradiente halino horizontal y vertical, máximos/mínimos en la costa oeste/este.
9. La distribución halina para toda la columna de agua y para toda la superficie del Mar Menor presenta una alta variabilidad estacional y espacial. En términos generales, en todas las estaciones del año queda plasmada la entrada de agua, menos salina, procedente del Mar Mediterráneo en la zona de El Estacio.

10. La cuenca sur es, en términos generales, más salina que la cuenca norte, a excepción de feb17, debido fundamentalmente, al alto flujo procedente del Mediterráneo por el canal de El Estacio en esta estación del año.
11. Durante verano y otoño se registran las máximas salinidades por encima de 44.5, aunque muy por debajo de los 46 registrados en 1981 y 2002 y parecido a los registrados en 1997. Por otro lado, durante invierno y primavera, la salinidad cae drásticamente a niveles por debajo de 43 y mínimos de 41, por debajo de todos los valores de 1981, 1997 y 2002 (a excepción de mayo de 2002). Estas salinidades mínimas, registradas durante invierno y primavera, puede ser debidas, muy probablemente, a las altas tasas de renovación y ventilación producidas en estas fechas por agua básicamente procedente del Mediterráneo.
12. Teniendo en cuenta la componente vertical, se encuentran diferencias significativas entre cuencas sobre todo en primavera y verano. En otoño, aunque no encontramos diferencias significativas entre cuencas, la salinidad en la cuenca norte, entre 0-3 m, tiene un rango muy amplio de salinidades, con valores mínimos de 41 y máximos de 46. Esa diferencia no existe en profundidad en las que ambas cuencas poseen una salinidad similar y con muy poca variación.
13. Durante invierno, la salinidad prácticamente se mantiene constante con la profundidad y similar para ambas cuencas, con mínimos entre 41.5 y 42.5.
14. Durante primavera, la cuenca sur y norte tienen un comportamiento halino diferente en prácticamente toda la columna de agua, a excepción del primer metro más cercano a superficie.
15. En verano, las cuencas sur y norte también presentan una diferencia significativa, en esta ocasión, en la parte profunda, entre 3 metros y el fondo. Por norma general, la cuenca sur es más salina que la norte, excepto en invierno.

Conclusiones específicas: concentración oxígeno disuelto.

16. El Mar Menor no presenta, en las cuatro campañas realizadas, procesos de anoxia, aunque se observa un cierto déficit de la concentración de oxígeno disuelto con la profundidad.
17. Alta variabilidad del contenido de oxígeno disuelto de forma estacional. Máximos en otoño e invierno y mínimos en primavera y verano.

18. Las máximas concentraciones de oxígeno disuelto se encuentran en invierno que, junto con ser la estación del año con la menor temperatura media y la menor salinidad, es una de las estaciones más ventiladas del año.
19. A partir de 3 metros de profundidad y con carácter general para todas las estaciones del año, la concentración de oxígeno disminuye significativamente con respecto a la capa superficial.
20. La cuenca norte contiene mayor concentración de oxígeno que la sur para todas las estaciones del año.

Conclusiones específicas: turbidez.

21. La turbidez de la columna de agua es en general elevada para todas las estaciones muestreadas. Estos altos valores de turbidez son en buena medida coherentes con medidas adicionales de irradiancia PAR y del coeficiente de extinción de la luz realizadas por el C.O. de Murcia, y es la causa más probable de la regresión masiva de la vegetación bentónica de la laguna.
22. La elevada turbidez de la laguna se debe principalmente a las elevadas concentraciones de material orgánico particulado relacionadas con la elevada productividad fitoplanctónica, pero la descomposición del material vegetal detrítico puede también contribuir.
23. Durante primavera, se produjo una disminución significativa de la turbidez de la laguna de El Mar Menor, obteniéndose los mínimos anuales. Aún así, la turbidez del agua es muy superior a periodos anteriores.
24. En invierno y coincidiendo con la estación del año con más ventilación a través del Mediterráneo, debería ser también una estación con baja turbidez, sin embargo, se obtienen los máximos, muy probablemente debido a las lluvias torrenciales que se produjeron en la región sobre diciembre. En los resultados obtenidos se observa un máximo en la zona de los Alcázares.

Conclusiones específicas: sistema del carbono.

25. Alta variabilidad estacional en el contenido de carbono inorgánico, pH y presión parcial de dióxido de carbono controlada por la variabilidad de temperatura y por la actividad biológica y la remineralización de la materia orgánica.
26. El contenido de C_T , A_T y pH presentan valores similares en las aguas superficiales y profundas, con una importante eliminación de bicarbonato de las

aguas a través de procesos de actividad biológica y especialmente por procesos de calcificación. El bicarbonato se elimina preferentemente en los procesos de calcificación de la Laguna, lo cual es coherente con una proliferación masiva de especies bentónicas con esqueletos carbonatados, principalmente poliquetos tubícolas y balanos, especies que son además componentes dominantes del *fouling* de barcos y estructuras artificiales.

27. La capacidad que tiene la laguna para producir carbonato cálcico en forma de aragonito se muestra sobresaturada a lo largo de todas las estaciones si bien, la dilución producida por la entrada de agua en invierno (dilución de un 7%) produjo valores por debajo de 2 en la zona sur, de bajo pH así como en la zona de la Manga central, en los que la formación de carbonato cálcico podría no verse favorecida.
28. La variabilidad de temperatura estacional sólo controla ligeramente la variación de la presión parcial de dióxido de carbono, jugando un papel fundamental los fenómenos de calcificación y producción biológica en los meses de verano.
29. Toda el agua de la Laguna, tanto superficial como profunda, está sobresaturada de CO₂ a lo largo de todo el año, actuando como una importante fuente de CO₂ hacia la atmósfera, que dependerá de la fuerza del viento.

Conclusiones específicas: concentración de nutrientes inorgánicos.

30. Las concentraciones de nitrato fueron muy elevadas en toda la cuenca durante la campaña de febrero. En las campañas de jun17 y sep17 también se encontraron valores elevados, aunque estos fueron puntuales. Estas concentraciones se encuentran entre las más altas registradas con anterioridad en el mar Menor y evidencian un fuerte impacto antropogénico, cuyo origen no obstante no puede ser determinado con los datos presentados en este informe.
31. Las concentraciones promedias de amonio en feb17 y jun17 fueron relativamente elevadas (especialmente en la cuenta sur durante jun17). En jun17 el amonio fue la principal fuente de nitrógeno inorgánico disponible para el crecimiento del fitoplancton. Las altas concentraciones de amonio pueden estar asociadas a la mineralización de la materia orgánica producida en la cuenca.
32. La concentración de fosfato fue reducida en las cuatro campañas, en comparación con la concentración del nitrógeno inorgánico disuelto. Consecuentemente, la razón molar N:P en la fracción disuelta fue muy elevada, alejada notablemente de la denominada razón de Redfield (16:1), lo que

indicaría que el fósforo es el nutriente que ha actuado limitando (controlando) el crecimiento del fitoplancton en la cuenca.

33. La concentración de silicato experimentó notables oscilaciones entre campañas, con valores muy bajos en feb17 y jun17. En principio este nutriente, que es utilizado por las diatomeas, se encuentra claramente en exceso (incluso a las relativamente bajas concentraciones registradas en esas campañas) por lo que no es de esperar que influya en las altas concentraciones de clorofila encontradas. Sin embargo, sí puede ser un buen indicador de cambios en los aportes relativos de agua hacia la laguna que modifican su composición.

Conclusiones específicas: concentración de clorofila a.

34. Las concentraciones de clorofila obtenidas se encuentran entre las más altas reportadas para la laguna; además, en tres de las cuatro campañas se encontraron muestras con concentraciones mayores a $10 \mu\text{g L}^{-1}$. Estos datos son indicadores del cambio del estado trófico experimentado por la laguna a partir de 2015. Datos recopilados de estudios de décadas anteriores (desde 1980) muestran que las concentraciones de Chl a rara vez han superado $1 \mu\text{g L}^{-1}$, excepto en ocasiones y zonas muy concretas en relación a episodios puntuales de lluvias torrenciales.
35. En promedio, las mayores concentraciones de clorofila se obtuvieron en nov16 y sep17, paradójicamente coincidiendo con las campañas durante las cuales la concentración de nitrato fue menor. Por el contrario, las menores concentraciones de clorofila (en promedio) se produjeron en épocas con elevada concentración de nitrógeno inorgánico disuelto. Estos datos evidencian que la elevada biomasa de fitoplancton está probablemente ligada al exceso de nitrógeno inorgánico disuelto.
36. De acuerdo con la conclusión anterior, y asumiendo que durante el período completo de muestreo ha habido un aporte continuado de nitrógeno inorgánico disuelto, el fosfato parece ser el principal nutriente que limita o controla el crecimiento del fitoplancton en el periodo estudiado.
37. Dada la elevada biomasa de fitoplancton, es muy probable que este componente del plancton haya contribuido significativamente a la baja transparencia de la laguna, así como a la acumulación de carbono orgánico que muy posiblemente está relacionada con los patrones espaciales de variabilidad de la concentración de oxígeno y otras variables químicas analizadas en el informe.

Conclusiones específicas: metales

38. Mediante este estudio, y siempre basándonos en el escaso número de muestras analizadas hasta el momento, podemos concluir que los niveles de metales disueltos en el Mar Menor son mayores, especialmente para el Pb y Zn, en el margen sur de la laguna, asociados a los aportes a través de las ramblas que llegan desde la Sierra Minera de La Unión y a la continua liberación de metales desde los sedimentos contaminados presentes en esta zona del Mar Menor.
39. Una vez estén analizadas todas las muestras de la campaña de muestreo de septiembre de 2017 y de las otras dos campañas de las que se recogieron muestras, podremos sacar conclusiones más claras sobre la distribución espacial y temporal de los metales en este sistema costero.

Conclusiones específicas: batimetría

40. La serie batimétrica realizada entre nov16 a sep17 ha sido validada y contrastada positivamente con los datos de alta resolución y precisión llevados a cabo durante abril 2017 por el equipo de geología marina del IEO y el Instituto Hidrográfico de la Marina con técnica GeoSwath.
41. El área del Mar Menor es de 135 km², sin embargo, debido a imposibilidad de navegación a cotas inferiores a los 1.4 m de profundidad, las batimetrías realizadas contienen datos interpolables válidos desde 1.4 – 7.5 m de profundidad, perdiendo parte del área y por tanto del volumen total real del Mar Menor. Por tanto, el área total del Mar Menor obtenido con los datos de estas 4 campañas desde la isobata de 1.4 metros se ha estimado de media en 122 km², con un volumen promedio de 642 hm³ y una variabilidad estacional de (652, 642, 654 y 649 hm³ para nov16, feb17, jun17 y sep17), respectivamente.
42. La serie batimétrica obtenida desde nov16 a sep17 muestra una profundidad media total de la laguna, de 4.87 m, lo que supone un aumento de 0.28 m en la profundidad media total respecto a 2008, o lo que es lo mismo, una profundización general de la laguna de 28 cm.
43. Observando los datos por cuencas, podemos ver cómo la cuenca norte presenta una profundidad media de 5.46 m con respecto a los 5.11 m obtenidos en 2008, lo que supone una profundización media de 35 cm. La cuenca sur presenta un menor grado de profundización, pasando de una profundidad media de 4.85 m obtenidos en 2008 a 5.01 m, lo que supone 16 cm de profundización media.
44. Partiendo de la base de que los datos batimétricos de la ecocartografía del 2008 muestren la profundidad real de la laguna en esa fecha. Nuestros datos,

validados con los datos del IHM muestran una profundización generalizada de la laguna, lo que podría ser debido a la gran deforestación sufrida en 2014 reportado por el IEO-COMU durante el evento de eutrofización.

45. Anomalía de la profundidad entre nov16 y feb17: se comprueba la existencia de una anomalía positiva (colmatación) en prácticamente toda la superficie de la cuenca sur de la laguna con un valor medio de +26 cm. Esta colmatación podría deberse fundamentalmente a los episodios de fuertes lluvias y llegada de materiales en suspensión a la laguna por medio de fuertes riadas previos a la realización de la campaña de feb17.
46. Anomalía de la profundidad entre feb17 y jun17: se observa que la cuenca sur presenta una ligera profundización con respecto al dato de colmatación de feb17, para ser exactos, se han eliminado/re-distribuidos unos -10 cm de los +26 cm de media acumulados en la cuenca sur.
47. Anomalía de la profundidad entre jun17 y sep17: se observa que la cuenca sur presenta nuevamente una ligera colmatación de +5 cm. Por lo que de los 10 cm que se habían recuperado durante la estación anterior quedando por tanto +16 cm de colmatación con respecto a nov16, habría que sumarle esos +5 cm ganados entre jun17-sep17, obteniendo un resultante de +21 cm de acumulación en la cuenca sur.
48. Anomalía de la profundidad anual entre nov16 y sep17: se observa claramente que, durante las 4 estaciones muestreadas, hubo una variación significativa del transporte de sedimentos de la laguna, propiciados en parte por la pérdida de la vegetación interior de la laguna y por la entrada masiva de sedimentos por los episodios de fuertes lluvias. Aunque la laguna en términos generales presenta una colmatación generalizada con media (+18 cm), es en la cubeta sur donde se obtiene la mayor tasa de acumulación de material con unos +21-24 cm de media.

Conclusiones específicas: patrón de circulación lagunar

49. De forma general, la laguna, lejos de tener un patrón de velocidades único para toda la columna de agua, presenta un patrón dinámico complejo con una estructura bien diferenciada en dos capas. Una capa superficial, entre 0.7-3 metros de profundidad y una capa profunda de entre 3 metros y el fondo. Estos patrones de velocidad están fuertemente ligados a los patrones de viento, así como a diferencias termohalinas propiciadas por las diferentes entradas de agua del Mar Menor, ya sea aportes del Mediterráneo, como aportes continentales.

50. Esta diferenciación, fundamentalmente dividida en dos capas, coincide con la establecida por el campo térmico, eliminando la capa más ligada a la superficie. Por todo ello, los resultados preliminares de la composición termohalina en combinación con la dinámica nos dan a entender que la laguna tiene un comportamiento mayoritariamente bicapa.
51. La capa superficial, comprendida entre los tres primeros metros de la columna de agua (70-300 cm) presenta una dinámica con transportes de este a oeste, propiciado por las entradas de agua procedentes del Mediterráneo con una velocidad promedio variable entre 2.3-2.6 cm/s.
52. La capa profunda, comprendida entre 300-700 cm de profundidad presenta un patrón de corriente inverso a la capa superficial, generalmente de oeste a este y algo más dinámico, con valores medios de entre 2.5-3.3 cm/s.
53. El patrón dinámico general promedio en toda la columna de agua es ciclónico para la cubeta central norte y sur y anticiclónico para la zona norte de la cubeta norte. Los valores medios anuales del promedio de la velocidad varían entre 2.5, 2.9 y 1.8 cm/s para las capas superficiales, profundadas y total, respectivamente.
54. El patrón de circulación promedio en toda la columna de agua es de carácter ciclónico mayoritariamente en toda la laguna, a excepción de la parte más meridional de la cubeta norte, donde el patrón es anticiclónico y con hundimiento de agua.

Conclusiones específicas: flujo entrada/salida canal El Estacio

55. Los flujos de entrada y salida a través del canal, varían con un marcado patrón mareal. Este patrón cíclico, en ocasiones se rompe muy probablemente debido a eventos atmosféricos importantes (fuertes vientos, tormentas, cambios en la dirección del viento, etc) que modifican a su vez el patrón del transporte de volumen. Esta alta variabilidad dificulta obtener un dato promedio realista con la corta duración de las series obtenidas durante las 3 campañas, por ello, y con el fin de cuantificar de una forma eficiente la dinámica del canal, se hace totalmente necesaria la instalación de un anclaje de este tipo de forma continua y en tiempo presente.
56. A través del canal de El Estacio pasan dos masas de agua bien diferenciadas por propiedades termohalinas, las procedentes del Mar Menor hacia el Mar Mediterráneo y viceversa.

57. El flujo a través del canal presenta un comportamiento zonal homogéneo en toda la columna de agua durante las entradas y salidas al Mar Menor. Es decir, las entradas y salidas de agua a través del canal de El Estacio se producen “en bloque” hacia el Mar Mediterráneo (valores positivos) y hacia el Mar Menor (valores negativos).
58. Así mismo, la dirección de la corriente a través del canal de El Estacio se produce de forma totalmente zonal (oeste – este y de este - oeste), dirección geográfica que coincide con la dirección de construcción del canal.
59. Los flujos de entrada y salida a través del canal de El Estacio presentan una alta variabilidad temporal, con estimaciones aproximadas de 0.47-0.54 m/s y 0.43-0.58 m/s, respectivamente.
60. Aunque los valores medios no varían significativamente entre las estaciones muestreadas, los valores máximos encontrados muestran que, de las tres estaciones del año muestreadas (feb17, jun17 y sep17), los máximos se encuentran en febrero con valores de 1.28-1.29 m/s.

Conclusiones específicas: tiempos de renovación lagunar

61. El análisis de sensibilidad indica que existe una notable variabilidad en las estimaciones del tiempo de renovación. Esto en parte es debido a que los tiempos de renovación de la laguna de El Mar Menor han sido obtenidos mediante medidas directas e indirectas, así como medidas muy puntuales en el tiempo.
62. Se hace estrictamente necesaria la instalación de un fondeo en el canal de El Estacio, con el fin de disponer de medidas continuas del flujo de entrada y salida, además de datos de meteorología, nivel del mar y entradas de flujos terrígenos y ajustar así los tiempos de renovación lagunar.
63. Los tiempos de renovación presentan una sensibilidad de un 10-15% con respecto a los valores de evaporación-precipitación empleados, mientras que es una sensibilidad inferior al 10% para los aportes de aguas continentales.
64. Durante invierno y primavera se producen las mayores entradas de agua procedente del Mar Mediterráneo al Mar Menor, con 268.2 hm³ y 128.7 hm³, respectivamente.

65. Durante otoño y verano se producen salidas netas de agua del Mar Menor hacia el Mediterráneo, con valores estimados de 45-72 hm³ y 98.1 hm³, respectivamente.
66. Con estas estimaciones estacionales y sin que se puedan extrapolar a otros años, se obtendría que, en un año, el volumen del Mar Menor se renovarí­a al 92%.
67. Con los datos de los que se dispone podemos concluir que el tiempo de renovación de la laguna de El Mar Menor es del orden de 1 año.

PROPUESTAS PARA LA MINIMIZACIÓN DE LAS PRESIONES Y RECUPERACIÓN DEL SISTEMA

Basándonos en el análisis preliminar de los resultados obtenidos durante las 4 campañas oceanográficas a lo largo de 2016-2017 se recomienda a las instituciones competentes:

1. Continuar apoyando la investigación multidisciplinar de la laguna del Mar Menor con el fin de realizar estudios en tiempo presente que permitan conocer cómo funciona, desde el punto de vista físico, químico, biológico y geológico, el sistema y cómo éste evoluciona con el tiempo.
2. En ese sentido, se recomienda la instalación de instrumentos de medición en tiempo real como landers y/o boyas con sensores físicos-químicos (CTD, ADCP, oxígeno, pH, clorofila, PAR, meteorología, etc) en puntos estratégicos del Mar Menor, que suministren información en tiempo presente.
3. Continuar con el control y eliminación/reducción de cualquier aporte hídrico procedente de la agricultura al Mar Menor, y cualquier otro aporte de otra naturaleza. En este sentido se considera fundamental una cartografía y cuantificación precisa de los aportes continentales, ya sean superficiales o subterráneos.
4. Los datos obtenidos en estas 4 campañas denotan una altísima variabilidad estacional y anual interna de la laguna de El Mar Menor, lo que demuestra sin duda que el sistema lagunar podría tener capacidad propia para revertir las condiciones actuales de la columna del agua y los sedimentos. Esto podría suponer dos implicaciones importantes:
 - a. Que no serían necesarias medidas artificiales adicionales de ingeniería, como la apertura de las golas existentes u otros canales. Excluyendo las propias de mantenimiento de las existentes (siempre y cuando no tenga repercusiones en Red Natura 2000). Lo contrario podría tener incluso consecuencias negativas para la preservación del ecosistema marino del Mar Menor tal y como lo conocemos.
 - b. Que podrían observarse síntomas de reversibilidad y mejora de las condiciones del Mar Menor a corto o medio plazo **siempre y cuando se produzca una eliminación efectiva y significativa de los aportes terrígenos procedente de la agricultura local**. Hay que

tener en cuenta que solo durante las estaciones de invierno y primavera, el Mar Menor renueva hasta un 60% sus aguas.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido financiado gracias a fondos procedentes de la Comunidad de Murcia (OISMA) así como por el Instituto Español de Oceanografía. Los resultados derivados de este estudio han sido posible gracias al trabajo, empeño, colaboración y buen hacer de muchas personas. No nos gustaría personalizar los agradecimientos ya que, al ser tantas las personas involucradas de una u otra manera, cometeríamos, si o si, el gravísimo error de omitir el nombre de alguien, por todo ello, nuestro más sincero agradecimiento a toda aquella persona que, en menor o mayor medida, haya prestado su invaluable contribución a la realización de este trabajo. No obstante, agradecer el apoyo del Club Náutico de Lo Pagán que proporcionó punto de amarre a las embarcaciones que participaron en las campañas. A todos y todas, muchísimas gracias.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.- MAPA DE LA REGIÓN DE ESTUDIO.....	6
FIGURA 2.- MAPA DE ESTACIONES CON CTD (PUNTOS NEGROS) Y TRAYECTOS CON ADCP (LÍNEAS CONTINUAS) SOBRE EL MAR MENOR.....	9
FIGURA 3.- MODELO EXISTENTE DE CORRIENTES DEL MAR MENOR (DEL RÍO, 1990; PÉREZ-RUZAFÁ ET AL., 2005).	14
FIGURA 4.- IMÁGENES DE ALTA RESOLUCIÓN DEL PUNTO PRINCIPAL DE INTERCAMBIO DEL MAR MENOR CON EL MAR MEDITERRÁNEO: EL ESTACIO.....	15
FIGURA 5.- MAPA BATIMÉTRICO DEL MAR MENOR (ECOCARTOGRAFÍA DE MURCIA, 2008-2009).....	17
FIGURA 6.- SONDA MULTIPARAMÉTRICA PARA LA ADQUISICIÓN DE MEDIDAS FÍSICO-QUÍMICAS EN LAS ESTACIONES HIDROGRÁFICAS (IZQUIERDA). PUNTO DE ADQUISICIÓN Y PRE-PROCESADO DE DATOS DE CTD (DERECHA).	18
FIGURA 7.- USO DE LA BOTELLA NISKIN HORIZONTAL EN DIFERENTES PUNTOS DE MUESTREO Y PROFUNDIDAD.	19
FIGURA 8.- MUESTREO DEL SISTEMA DEL DIÓXIDO DE CARBONO POR EL EQUIPO QUIMA DE LA ULPGC (IZQUIERDA) Y MUESTREO DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO POR MÉTODO WINKLER POR LA EMPRESA DC SERVICIOS AMBIENTALES (DERECHA).....	19
FIGURA 9.- MAPA DE ESTACIONES HIDROGRÁFICAS CON CTD Y RECOGIDA DE AGUA IN SITU EN EL INTERIOR DEL MAR MENOR.	20
FIGURA 10.- ADCP 1200 KHZ UBICADO EN LA PLATAFORMA SUMERGIBLE DE POPA DEL BUQUE “DEEPCORE” DE RIVERMAR S.L.	22
FIGURA 11.- PUNTO DE TRABAJO DEL ADCP A BORDO DEL BUQUE “DEEPCORE” DE RIVEMAR.....	22
FIGURA 12.- MAPA DE LOS TRANSECTOS REALIZADOS CON ADCP PARA EL ESTUDIO DE CORRIENTES EN 3D PARA LAS 4 CAMPAÑAS OCEANOGRÁFICAS EN EL MAR MENOR.	23
FIGURA 13.- CANAL PRINCIPAL DE COMUNICACIÓN ENTRE EL MAR MENOR Y EL MAR MEDITERRÁNEO: EL CANAL DE EL ESTACIO.	24
FIGURA 14.- SISTEMA ADCP + CTD ANCLADO EN EL CANAL DE EL ESTACIO DURANTE LAS CAMPAÑAS OCEANOGRÁFICAS (MM0217, MM0617 Y MM0917).....	25
FIGURA 15.- RECOGIDA DE MUESTRAS DE OXÍGENO DISUELTO (IZQUIERDA) Y VALORACIÓN DE LAS MUESTRAS DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO POR MÉTODO WINKLER POR LA EMPRESA DC SERVICIOS AMBIENTALES (DERECHA).	26
FIGURA 16.- MUESTREO IN SITU DE AGUA PARA EL ANÁLISIS DE LAS VARIABLES DEL SISTEMA DEL DIÓXIDO DE CARBON. ANÁLISIS DE PH (IZQUIERDA) Y ALCALINIDAD Y CARBONO INORGÁNICO (DERECHA). GRUPO QUIMA-ULPGC.	27
FIGURA 17.- MUESTREO IN SITU DE AGUA PARA EL ANÁLISIS DE CLOROFILAS Y NUTRIENTES ORGÁNICOS E INORGÁNICOS. GRUPO DEL IEO-MURCIA Y ANALIZADAS EN IEO-MÁLAGA.	27
FIGURA 18.- SISTEMA DE MUESTREO MEDIANTE BOMBA PERISTÁLTICA Y FILTRO DE CARTUCHO PARA RECOGIDA DE AGUA CON EL FIN DE MEDIR METALES DISUELTOS EN AGUAS DEL MAR MENOR. .	28
FIGURA 19.- SISTEMA ELECTROQUÍMICO (METROHM 797 VA COMPUTRACE) Y DIGESTOR ULTRAVIOLETA.	29
FIGURA 20.- MAPAS DE TEMPERATURA POTENCIAL DEL AGUA (°C) PARA LA CAPA MÁS SOMERA (0-3 M) Y PARA TODA LA SUPERFICIE DE EL MAR MENOR. VARIACIÓN ESTACIONAL PARA LAS CUATRO CAMPAÑAS REALIZADAS (NOV2016, FEB2017, JUN2017 Y SEP2017).....	31
FIGURA 21.- MAPAS DE TEMPERATURA POTENCIAL DEL AGUA (°C) PARA LA CAPA MÁS PROFUNDA (3-7 M) Y PARA TODA LA SUPERFICIE DE EL MAR MENOR. VARIACIÓN ESTACIONAL PARA LAS CUATRO CAMPAÑAS REALIZADAS (NOV2016, FEB2017, JUN2017 Y SEP2017).....	32
FIGURA 22.- MAPAS DE TEMPERATURA POTENCIAL DEL AGUA (°C) PARA TODA LA COLUMNA DE AGUA (0-7 M) Y PARA TODA LA SUPERFICIE DE EL MAR MENOR. VARIACIÓN ESTACIONAL PARA LAS CUATRO CAMPAÑAS REALIZADAS (NOV2016, FEB2017, JUN2017 Y SEP2017).	33
FIGURA 23.- EVOLUCIÓN ESTACIONAL DE LA TEMPERATURA POTENCIAL DE LA LAGUNA DEL MAR MENOR PARA TODA LA COLUMNA DE AGUA Y POR CUENCAS.....	34
FIGURA 24.- DISTRIBUCIÓN EN PROFUNDIDAD DE LA TEMPERATURA POTENCIAL DE LA LAGUNA DEL MAR MENOR PARA TODA LA COLUMNA DE AGUA, POR CUENCAS Y POR ESTACIÓN.	35

FIGURA 25.- COMPARACIÓN DE LA EVOLUCIÓN ESTACIONAL DEL CAMPO DE TEMPERATURA POTENCIAL DE LA LAGUNA DEL MAR MENOR PARA TODA LA COLUMNA DE AGUA: (IZQUIERDA) REFERENTE A BASES CLIMATOLÓGICAS Y (DERECHA) FRENTE A DATOS SATELITALES DE ALTA RESOLUCIÓN ESPACIAL (1KM X 1 KM).	36
FIGURA 26.- MAPAS ESTACIONALES DEL CAMPO DE TEMPERATURA SUPERFICIAL DE LA LAGUNA DEL MAR MENOR DEL MEDITERRANEAN SEA ULTRA HIGH RESOLUTION SST L4 ANALYSIS 0.01 DEG. RESOLUTION (MODIS).	37
FIGURA 27.- SERIE TEMPORAL DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL (SST) DEL MAR MENOR A PARTIR DE LA BASE DE DATOS DEL “MEDITERRANEAN SEA ULTRA HIGH RESOLUTION SST L4 ANALYSIS 0.01 DEG. RESOLUTION (MODIS)”. EL PANEL SUPERIOR MUESTRA LA SERIE TEMPORAL DE SST (AZUL) JUNTO CON LA SERIE DE TEMPERATURA SUPERFICIAL DE LAS 4 CAMPAÑAS (ROJO). EL PANEL INFERIOR MUESTRA LA TENDENCIA DE CALENTAMIENTO DEL MAR MENOR PARA LOS 10 AÑOS (AZUL, 2008-2018), 6 AÑOS (NEGRA, 2008-2013) Y 6 AÑOS (ROJA, 2013-2018).	38
FIGURA 28.- MAPAS DE SALINIDAD SUPERFICIAL (0-3 M) Y PARA TODA LA SUPERFICIE DE EL MAR MENOR. VARIACIÓN ESTACIONAL PARA LAS CUATRO CAMPAÑAS REALIZADAS (NOV2016, FEB2017, JUN2017 Y SEP2017).	40
FIGURA 29.- MAPAS DE SALINIDAD PROFUNDO (3-7 M) Y PARA TODA LA SUPERFICIE DE EL MAR MENOR. VARIACIÓN ESTACIONAL PARA LAS CUATRO CAMPAÑAS REALIZADAS (NOV2016, FEB2017, JUN2017 Y SEP2017).	41
FIGURA 30.- MAPAS DE SALINIDAD PARA TODA LA COLUMNA DE AGUA (0-7 M) Y PARA TODA LA SUPERFICIE DE EL MAR MENOR. VARIACIÓN ESTACIONAL PARA LAS CUATRO CAMPAÑAS REALIZADAS (NOV2016, FEB2017, JUN2017 Y SEP2017).	42
FIGURA 31.- EVOLUCIÓN ESTACIONAL DE LA SALINIDAD DE LA LAGUNA DEL MAR MENOR PARA TODA LA COLUMNA DE AGUA Y POR CUENCAS.	43
FIGURA 32.- DISTRIBUCIÓN EN PROFUNDIDAD DE LA SALINIDAD DE LA LAGUNA DEL MAR MENOR PARA TODA LA COLUMNA DE AGUA, POR CUENCAS Y POR ESTACIÓN.	44
FIGURA 33.- COMPARACIÓN DE LA EVOLUCIÓN ESTACIONAL DEL CAMPO HALINO DE LA LAGUNA DEL MAR MENOR PARA TODA LA COLUMNA DE AGUA REFERENTE A BASES CLIMATOLÓGICAS.	44
FIGURA 34.- RECTAS DE REGRESIÓN PARA LA CALIBRACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO MEDIDO POR EL SENSOR DEL CTD Y LAS MUESTRAS IN SITU A TRAVÉS DE LAS BOTELLAS NISKIN EN LAS 4 CAMPAÑAS OCEANOGRÁFICAS.	47
FIGURA 35.- MAPAS DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO SUPERFICIAL (0-3 M) Y PARA TODA LA SUPERFICIE DE EL MAR MENOR. VARIACIÓN ESTACIONAL PARA LAS CUATRO CAMPAÑAS REALIZADAS (NOV2016, FEB2017, JUN2017 Y SEP2017).	48
FIGURA 36.- MAPAS DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO PROFUNDO (3-7 M) Y PARA TODA LA SUPERFICIE DE EL MAR MENOR. VARIACIÓN ESTACIONAL PARA LAS CUATRO CAMPAÑAS REALIZADAS (NOV2016, FEB2017, JUN2017 Y SEP2017).	49
FIGURA 37.- MAPAS DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO PROFUNDO (3-7 M) Y PARA TODA LA SUPERFICIE DE EL MAR MENOR. VARIACIÓN ESTACIONAL PARA LAS CUATRO CAMPAÑAS REALIZADAS (NOV2016, FEB2017, JUN2017 Y SEP2017).	51
FIGURA 38.- EVOLUCIÓN ESTACIONAL DE LA SALINIDAD DE LA LAGUNA DEL MAR MENOR PARA TODA LA COLUMNA DE AGUA Y POR CUENCAS.	52
FIGURA 39.- DISTRIBUCIÓN EN PROFUNDIDAD DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO DE LA LAGUNA DEL MAR MENOR PARA TODA LA COLUMNA DE AGUA, POR CUENCAS Y POR ESTACIÓN.	52
FIGURA 40.- DISTRIBUCIÓN EN PROFUNDIDAD DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO DE LA LAGUNA DEL MAR MENOR PARA TODA LA COLUMNA DE AGUA, POR CUENCAS Y POR ESTACIÓN.	53
FIGURA 41.- MAPAS DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA TURBIDEZ PARA LA CAPA SUPERFICIAL (0-3 M) Y PARA TODA LA SUPERFICIE DE EL MAR MENOR. VARIACIÓN ESTACIONAL PARA LAS CUATRO CAMPAÑAS REALIZADAS (NOV2016, FEB2017, JUN2017 Y SEP2017).	55
FIGURA 42.- MAPAS DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA TURBIDEZ PARA LA CAPA PROFUNDA (3-7 M) Y PARA TODA LA SUPERFICIE DE EL MAR MENOR. VARIACIÓN ESTACIONAL PARA LAS CUATRO CAMPAÑAS REALIZADAS (NOV2016, FEB2017, JUN2017 Y SEP2017).	56

FIGURA 43.- MAPAS DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA TURBIDEZ PARA TODA LA COLUMNA DE AGUA (0-7 M) Y PARA TODA LA SUPERFICIE DE EL MAR MENOR. VARIACIÓN ESTACIONAL PARA LAS CUATRO CAMPAÑAS REALIZADAS (NOV2016, FEB2017, JUN2017 Y SEP2017).	58
FIGURA 44.- EVOLUCIÓN ESTACIONAL DE LA TURBIDEZ DE LA LAGUNA DEL MAR MENOR PARA TODA LA COLUMNA DE AGUA Y POR CUENCAS.	59
FIGURA 45.- DISTRIBUCIÓN EN PROFUNDIDAD DE LA TURBIDEZ DE LA LAGUNA DEL MAR MENOR PARA TODA LA COLUMNA DE AGUA, POR CUENCAS Y POR ESTACIÓN.	59
FIGURA 46.- MAPAS DE LA DISTRIBUCIÓN DEL PH PARA LA CAPA SUPERFICIAL (0-3 M) Y PARA TODA LA SUPERFICIE DE EL MAR MENOR. VARIACIÓN ESTACIONAL PARA LAS CUATRO CAMPAÑAS REALIZADAS (NOV2016, FEB2017, JUN2017 Y SEP2017).	63
FIGURA 47.- MAPAS DE LA DISTRIBUCIÓN CARBONO INORGÁNICO DISUELTO PARA LA CAPA SUPERFICIAL (0-3 M) Y PARA TODA LA SUPERFICIE DE EL MAR MENOR. VARIACIÓN ESTACIONAL PARA LAS CUATRO CAMPAÑAS REALIZADAS (NOV2016, FEB2017, JUN2017 Y SEP2017).	64
FIGURA 48.- MAPAS DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA ALCALINIDAD TOTAL PARA LA CAPA SUPERFICIAL (0-3 M) Y PARA TODA LA SUPERFICIE DE EL MAR MENOR. VARIACIÓN ESTACIONAL PARA LAS CUATRO CAMPAÑAS REALIZADAS (NOV2016, FEB2017, JUN2017 Y SEP2017).	65
FIGURA 49.- MAPAS DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA FUGACIDAD DEL CO ₂ PARA LA CAPA SUPERFICIAL (0-3 M) Y PARA TODA LA SUPERFICIE DE EL MAR MENOR. VARIACIÓN ESTACIONAL PARA LAS CUATRO CAMPAÑAS REALIZADAS (NOV2016, FEB2017, JUN2017 Y SEP2017).	66
FIGURA 50.- MAPAS DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ARAGONITA PARA LA CAPA SUPERFICIAL (0-3 M) Y PARA TODA LA SUPERFICIE DE EL MAR MENOR. VARIACIÓN ESTACIONAL PARA LAS CUATRO CAMPAÑAS REALIZADAS (NOV2016, FEB2017, JUN2017 Y SEP2017).	67
FIGURA 51.- MAPAS DE LA DISTRIBUCIÓN DEL PH PARA LA CAPA PROFUNDA (3-7 M) Y PARA TODA LA SUPERFICIE DE EL MAR MENOR. VARIACIÓN ESTACIONAL PARA LAS CUATRO CAMPAÑAS REALIZADAS (NOV2016, FEB2017, JUN2017 Y SEP2017).	69
FIGURA 52.- MAPAS DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DEL CARBONO INORGÁNICO DISUELTO PARA LA CAPA PROFUNDA (3-7 M) Y PARA TODA LA SUPERFICIE DE EL MAR MENOR. VARIACIÓN ESTACIONAL PARA LAS CUATRO CAMPAÑAS REALIZADAS (NOV2016, FEB2017, JUN2017 Y SEP2017).	70
FIGURA 53.- MAPAS DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA ALCALINIDAD TOTAL PARA LA CAPA PROFUNDA (3-7 M) Y PARA TODA LA SUPERFICIE DE EL MAR MENOR. VARIACIÓN ESTACIONAL PARA LAS CUATRO CAMPAÑAS REALIZADAS (NOV2016, FEB2017, JUN2017 Y SEP2017).	71
FIGURA 54.- MAPAS DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA FUGACIDAD DEL CO ₂ PARA LA CAPA PROFUNDA (3-7 M) Y PARA TODA LA SUPERFICIE DE EL MAR MENOR. VARIACIÓN ESTACIONAL PARA LAS CUATRO CAMPAÑAS REALIZADAS (NOV2016, FEB2017, JUN2017 Y SEP2017).	72
FIGURA 55.- MAPAS DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ARAGONITA PARA LA CAPA PROFUNDA (3-7 M) Y PARA TODA LA SUPERFICIE DE EL MAR MENOR. VARIACIÓN ESTACIONAL PARA LAS CUATRO CAMPAÑAS REALIZADAS (NOV2016, FEB2017, JUN2017 Y SEP2017).	73
FIGURA 56.- MAPAS DE LA DISTRIBUCIÓN DE NITRITOS PARA LA CAPA SUPERFICIAL (0.5 M) Y PARA TODA LA SUPERFICIE DE EL MAR MENOR. VARIACIÓN ESTACIONAL PARA LAS CUATRO CAMPAÑAS REALIZADAS (NOV2016, FEB2017, JUN2017 Y SEP2017).	76
FIGURA 57.- MAPAS DE LA DISTRIBUCIÓN DE NITRITOS PARA LA CAPA INTERMEDIA (3.5 M) Y PARA TODA LA SUPERFICIE DE EL MAR MENOR. VARIACIÓN ESTACIONAL PARA LAS CUATRO CAMPAÑAS REALIZADAS (NOV2016, FEB2017, JUN2017 Y SEP2017).	77
FIGURA 58.- MAPAS DE LA DISTRIBUCIÓN DE NITRITOS PARA LA CAPA PROFUNDA (FONDO) Y PARA TODA LA SUPERFICIE DE EL MAR MENOR. VARIACIÓN ESTACIONAL PARA LAS CUATRO CAMPAÑAS REALIZADAS (NOV2016, FEB2017, JUN2017 Y SEP2017).	78
FIGURA 59.- MAPAS DE LA DISTRIBUCIÓN DE NITRATOS PARA LA CAPA SUPERFICIAL (0.5 M) Y PARA TODA LA SUPERFICIE DE EL MAR MENOR. VARIACIÓN ESTACIONAL PARA LAS CUATRO CAMPAÑAS REALIZADAS (NOV2016, FEB2017, JUN2017 Y SEP2017).	79
FIGURA 60.- MAPAS DE LA DISTRIBUCIÓN DE NITRATOS PARA LA CAPA INTERMEDIA (3.5 M) Y PARA TODA LA SUPERFICIE DE EL MAR MENOR. VARIACIÓN ESTACIONAL PARA LAS CUATRO CAMPAÑAS REALIZADAS (NOV2016, FEB2017, JUN2017 Y SEP2017).	80
FIGURA 61.- MAPAS DE LA DISTRIBUCIÓN DE NITRATOS PARA LA CAPA PROFUNDA (FONDO) Y PARA TODA LA SUPERFICIE DE EL MAR MENOR. VARIACIÓN ESTACIONAL PARA LAS CUATRO CAMPAÑAS REALIZADAS (NOV2016, FEB2017, JUN2017 Y SEP2017).	81

FIGURA 62.- MAPAS DE LA DISTRIBUCIÓN DE FOSFATOS PARA LA CAPA SUPERFICIE (0.5 M) Y PARA TODA LA SUPERFICIE DE EL MAR MENOR. VARIACIÓN ESTACIONAL PARA LAS CUATRO CAMPAÑAS REALIZADAS (NOV2016, FEB2017, JUN2017 Y SEP2017).	82
FIGURA 63.- MAPAS DE LA DISTRIBUCIÓN DE FOSFATOS PARA LA CAPA INTERMEDIA (3.5 M) Y PARA TODA LA SUPERFICIE DE EL MAR MENOR. VARIACIÓN ESTACIONAL PARA LAS CUATRO CAMPAÑAS REALIZADAS (NOV2016, FEB2017, JUN2017 Y SEP2017).	83
FIGURA 64.- MAPAS DE LA DISTRIBUCIÓN DE FOSFATOS PARA LA CAPA PROFUNDA (FONDO) Y PARA TODA LA SUPERFICIE DE EL MAR MENOR. VARIACIÓN ESTACIONAL PARA LAS CUATRO CAMPAÑAS REALIZADAS (NOV2016, FEB2017, JUN2017 Y SEP2017).	84
FIGURA 65.- MAPAS DE LA DISTRIBUCIÓN DE SILICATOS PARA LA CAPA SUPERFICIAL (0.5 M) Y PARA TODA LA SUPERFICIE DE EL MAR MENOR. VARIACIÓN ESTACIONAL PARA LAS CUATRO CAMPAÑAS REALIZADAS (NOV2016, FEB2017, JUN2017 Y SEP2017).	85
FIGURA 66.- MAPAS DE LA DISTRIBUCIÓN DE SILICATOS PARA LA CAPA INTERMEDIA (3.5 M) Y PARA TODA LA SUPERFICIE DE EL MAR MENOR. VARIACIÓN ESTACIONAL PARA LAS CUATRO CAMPAÑAS REALIZADAS (NOV2016, FEB2017, JUN2017 Y SEP2017).	86
FIGURA 67.- MAPAS DE LA DISTRIBUCIÓN DE SILICATOS PARA LA CAPA PROFUNDA (FONDO) Y PARA TODA LA SUPERFICIE DE EL MAR MENOR. VARIACIÓN ESTACIONAL PARA LAS CUATRO CAMPAÑAS REALIZADAS (NOV2016, FEB2017, JUN2017 Y SEP2017).	87
FIGURA 68.- MAPAS DE LA DISTRIBUCIÓN DE AMONIO PARA LA CAPA SUPERFICIAL (0.5 M) Y PARA TODA LA SUPERFICIE DE EL MAR MENOR. VARIACIÓN ESTACIONAL PARA LAS TRES DE LAS CUATRO CAMPAÑAS REALIZADAS (FEB2017, JUN2017 Y SEP2017).	88
FIGURA 69.- MAPAS DE LA DISTRIBUCIÓN DE AMONIO PARA LA CAPA INTERMEDIA (3.5 M) Y PARA TODA LA SUPERFICIE DE EL MAR MENOR. VARIACIÓN ESTACIONAL PARA LAS TRES DE LAS CUATRO CAMPAÑAS REALIZADAS (FEB2017, JUN2017 Y SEP2017).	89
FIGURA 70.- MAPAS DE LA DISTRIBUCIÓN DE AMONIO PARA LA CAPA PROFUNDA (FONDO) Y PARA TODA LA SUPERFICIE DE EL MAR MENOR. VARIACIÓN ESTACIONAL PARA LAS TRES DE LAS CUATRO CAMPAÑAS REALIZADAS (FEB2017, JUN2017 Y SEP2017).	90
FIGURA 71.- DISTRIBUCIÓN ESTACIONAL DE LOS NUTRIENTES INORGÁNICOS PARA TODA LA COLUMNA DE AGUA Y PARA TODA LA EXTENSIÓN DEL MAR MENOR.....	91
FIGURA 72.- MAPAS DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CLOROFILA SUPERFICIAL (0.5 M) Y PARA TODA LA SUPERFICIE DE EL MAR MENOR. VARIACIÓN ESTACIONAL PARA LAS CUATRO CAMPAÑAS REALIZADAS (NOV2016, FEB2017, JUN2017 Y SEP2017).....	93
FIGURA 73.- MAPAS DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CLOROFILA INTERMEDIA (3.5 M) Y PARA TODA LA SUPERFICIE DE EL MAR MENOR. VARIACIÓN ESTACIONAL PARA LAS CUATRO CAMPAÑAS REALIZADAS (NOV2016, FEB2017, JUN2017 Y SEP2017).....	94
FIGURA 74.- MAPAS DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CLOROFILA DEL FONDO (FONDO) Y PARA TODA LA SUPERFICIE DE EL MAR MENOR. VARIACIÓN ESTACIONAL PARA LAS CUATRO CAMPAÑAS REALIZADAS (NOV2016, FEB2017, JUN2017 Y SEP2017).....	95
FIGURA 75.- DISTRIBUCIÓN ESTACIONAL DE LA CLOROFILA PARA TODA LA COLUMNA DE AGUA, PARA TODA LA EXTENSIÓN DEL MAR MENOR Y POR CUENCAS.	96
FIGURA 76.- COBERTURA ESPACIAL DE LOS DATOS DE ADCP EN CADA UNA DE LAS CUATRO CAMPAÑAS REALIZADAS EN EL MAR MENOR.....	100
FIGURA 77.- RECTAS DE CALIBRACIÓN DE LOS DATOS DE PROFUNDIDAD MEDIDOS POR EL ADCP FRENTE A LOS MEDIDOS POR EL CTD.	101
FIGURA 78.- BATIMETRÍAS DEL MAR MENOR OBTENIDAS A PARTIR DE DATOS DE ADCP 1200KHZ DURANTE LAS CUATRO CAMPAÑAS REALIZADAS EN EL MAR MENOR (NOV2016, FEB2017, JUN2017 Y SEP2017) Y CORREGIDAS CON DATOS DE CTD. NO INCLUYE BATIMÉTRICAS INFERIORES A 1.4 METROS.....	102
FIGURA 79.- BATIMETRÍA SONAR INTERFEROMÉTRICO GEOSWATH EN ABRIL DE 2017 POR EL IEO Y EL IHM, PARA ISOBATAS SUPERIORES A 3 METROS (PANEL IZQUIERDA). COMPARATIVA BATIMETRÍA GEOSWATH ABRIL17 Y BATIMETRÍA ADCP JUNIO17 (PANEL DERECHA). NO SE DEBEN TENER EN CUENTA LOS DATOS MENORES A 3 METROS.	103
FIGURA 80.- ECOCARTOGRAFÍA DEL 2008 PARA EL MAR MENOR (IZQUIERDA). ANOMALÍA DE PROFUNDIDAD PARA LA ECOCARTOGRAFÍA DE 2008 Y LA BATIMETRÍA DEL IEO REALIZADA EN NOV16 (DERECHA). VALORES POSITIVOS, COLMATACIÓN (VERDE) Y VALORES NEGATIVOS, PROFUNDIZACIÓN (AZUL)	104

FIGURA 81.- MAPAS DE ANOMALÍAS DE LA PROFUNDIDAD EN LA LAGUNA DE EL MAR MENOR ENTRE PARES DE CAMPAÑAS (NOV16-FEB17, FEB17-JUN17 Y JUN17-SEP17).....	105
FIGURA 82.- MAPA DE ANOMALÍA DE LA PROFUNDIDAD ANUAL EN LA LAGUNA DE EL MAR MENOR ENTRE NOV16-SEP17.....	106
FIGURA 83.- MAPAS DE DISTRIBUCIÓN DEL CAMPO DE VELOCIDAD PROMEDIO PARA LA CAPA SUPERFICIAL (70-300 CM) PARA CADA UNA DE LAS 4 CAMPAÑAS REALIZADAS EN EL MAR MENOR (NOV16, FEB17, JUN17 Y SEP17).	108
FIGURA 84.- MAPAS DE DISTRIBUCIÓN DEL CAMPO DE VELOCIDAD PROMEDIO PARA LA CAPA PROFUNDA (300-700 CM) PARA CADA UNA DE LAS 4 CAMPAÑAS REALIZADAS EN EL MAR MENOR (NOV16, FEB17, JUN17 Y SEP17).	109
FIGURA 85.- MAPAS DE DISTRIBUCIÓN DEL CAMPO DE VELOCIDAD PROMEDIO PARA TODA LA COLUMNA DE AGUA (70-700 CM) PARA CADA UNA DE LAS 4 CAMPAÑAS REALIZADAS EN EL MAR MENOR (NOV16, FEB17, JUN17 Y SEP17).	110
FIGURA 86.- MAPAS DE DISTRIBUCIÓN DEL CAMPO DE VELOCIDAD PROMEDIO DE LAS 4 CAMPAÑAS (ANUAL) PARA LAS CAPAS SUPERFICIAL (70-300 CM), INTERMEDIA (300-700 CM) Y TOTAL (70-700 CM).....	111
FIGURA 87.- CONTORNOS VERTICALES DE LA VELOCIDAD ZONAL EN (M/S) A TRAVÉS DEL CANAL DE EL ESTACIO A PARTIR DE DATOS DE ADCP. VELOCIDADES NEGATIVAS MUESTRAN FLUJO DE ENTRADA HACIA EL MAR MENOR Y VALORES POSITIVOS DE SALIDA HACIA EL MEDITERRÁNEO.	113
FIGURA 88.- ANCLAJE SUBMARINO EN EL CANAL DE EL ESTACIO PARA LA MEDIDA DE CORRIENTE Y PROPIEDADES TERMOHALINAS (ADCP+CTD)	114
FIGURA 89.- EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA, SALINIDAD Y PRESIÓN A PARTIR DE LOS DATOS DEL CTD UBICADO EN EL ANCLAJE SUBMARINO EN EL CANAL DE EL ESTACIO DURANTE (FEB17, JUN17 Y SEP17).	115
FIGURA 90.- EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA VS SALINIDAD A PARTIR DE LOS DATOS DEL CTD UBICADO EN EL ANCLAJE SUBMARINO EN EL CANAL DE EL ESTACIO DURANTE (FEB17, JUN17 Y SEP17).	116
FIGURA 91.- EVOLUCIÓN LA COMPONENTE ZONAL DE LA VELOCIDAD (M/S) A TRAVÉS DEL CANAL DE EL ESTACIO Y EN TODA LA COLUMNA DE AGUA, MEDIDO A TRAVÉS DEL ADCP UBICADO EN EL ANCLAJE SUBMARINO EN EL CANAL DE EL ESTACIO DURANTE (FEB17, JUN17 Y SEP17).	116
FIGURA 92.- EVOLUCIÓN LA DIRECCIÓN DE LA CORRIENTE A TRAVÉS DEL CANAL DE EL ESTACIO MEDIDO A TRAVÉS DEL ADCP UBICADO EN EL ANCLAJE SUBMARINO EN EL CANAL DE EL ESTACIO DURANTE (FEB17, JUN17 Y SEP17).	117
FIGURA 93.- EVOLUCIÓN LA COMPONENTE DE LA VELOCIDAD ZONAL (U) Y MERIDIONAL (V) EN (M/S) A TRAVÉS DEL CANAL DE EL ESTACIO Y EN TODA LA COLUMNA DE AGUA, MEDIDO A TRAVÉS DEL ADCP UBICADO EN EL ANCLAJE SUBMARINO EN EL CANAL DE EL ESTACIO DURANTE (FEB17, JUN17 Y SEP17).	118

LISTA DE TABLAS

TABLA 1.- POSICIONES DE LAS ESTACIONES HIDROGRÁFICAS DURANTE LA PRIMERA CAMPAÑA OCEANOGRÁFICA EN EL MAR MENOR (MM1116) Y POSICIONES DE LAS BOTELLAS NISKIN CERRADAS A DIFERENTES PROFUNDIDADES.....	21
TABLA 2. ESTADÍSTICA DEL CAMPO TÉRMICO PARA LA CAPA MÁS SOMERA (0-3 M) DE LA LAGUNA DE EL MAR MENOR.	31
TABLA 3. ESTADÍSTICA DEL CAMPO TÉRMICO PARA LA CAPA MÁS PROFUNDA (3-7 M) DE LA LAGUNA DE EL MAR MENOR.....	32
TABLA 4. ESTADÍSTICA DEL CAMPO TÉRMICO PARA TODA LA COLUMNA DE AGUA (0-7 M) DE LA LAGUNA DE EL MAR MENOR.	34
TABLA 5. ESTADÍSTICA DEL CAMPO HALINO PARA LA CAPA MÁS SOMERA (0-3 M) DE LA LAGUNA DE EL MAR MENOR.	40
TABLA 6. ESTADÍSTICA DEL CAMPO HALINO PROFUNDO (3-7 M) DE LA LAGUNA DE EL MAR MENOR.....	41
TABLA 7. ESTADÍSTICA DEL CAMPO HALINO PARA TODA LA COLUMNA DE AGUA (0-7 M) DE LA LAGUNA DE EL MAR MENOR.	43
TABLA 8. ESTADÍSTICA DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO SUPERFICIAL (0-3 M) EN LA LAGUNA DE EL MAR MENOR.....	48
TABLA 9. ESTADÍSTICA DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO PROFUNDO (3-7 M) EN LA LAGUNA DE EL MAR MENOR.....	50
TABLA 10. ESTADÍSTICA DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN TODA LA COLUMNA DE AGUA (0-7 M) EN LA LAGUNA DE EL MAR MENOR.	51
TABLA 11. ESTADÍSTICA DE TURBIDEZ SUPERFICIAL (0-3 M) EN LA LAGUNA DE EL MAR MENOR.....	55
TABLA 12. ESTADÍSTICA DE TURBIDEZ PROFUNDA (3-7 M) EN LA LAGUNA DE EL MAR MENOR.	57
TABLA 13. ESTADÍSTICA DE TURBIDEZ EN TODA LA COLUMNA DE AGUA (0-7 M) EN LA LAGUNA DE EL MAR MENOR.	58
TABLA 14. TABLA DE COEFICIENTE DE EXTINCIÓN DE LA LUZ MAR MENOR.....	60
TABLA 15. ESTADÍSTICA PARA LA CONCENTRACIÓN DE NITRITOS EN LA LAGUNA DE EL MAR MENOR....	78
TABLA 16. ESTADÍSTICA PARA LA CONCENTRACIÓN DE NITRATOS EN LA LAGUNA DE EL MAR MENOR. .	81
TABLA 17. ESTADÍSTICA PARA LA CONCENTRACIÓN DE FOSFATOS EN LA LAGUNA DE EL MAR MENOR. .	84
TABLA 18. ESTADÍSTICA PARA LA CONCENTRACIÓN DE SILICATOS EN LA LAGUNA DE EL MAR MENOR. .	87
TABLA 19. ESTADÍSTICA PARA LA CONCENTRACIÓN DE AMONIO EN LA LAGUNA DE EL MAR MENOR. ...	91
TABLA 20. ESTADÍSTICA PARA LA CONCENTRACIÓN DE CLOROFILA EN LA LAGUNA DE EL MAR MENOR.	95
TABLA 21. CONCENTRACIÓN MEDIA (EXPRESADO EN NMOL L ⁻¹), DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y RANGO DE CONCENTRACIONES DE LOS SEIS METALES ANALIZADOS EN ESTE ESTUDIO.....	97
TABLA 22. PROFUNDIDAD MEDIA TOTAL Y POR CUENCAS PARA LA ECOCARTOGRAFÍA DE 2008 Y LAS 4 CAMPAÑAS OCEANOGRÁFICAS REALIZADAS POR EL IEO (NOV16, FEB17, JUN17 Y SEP17).	105
TABLA 23. MÓDULO DE LA VELOCIDAD PROMEDIO (CM/S) POR ESTACIÓN DEL AÑO, ANUAL Y POR CAPA DE PROFUNDIDAD.....	110
TABLA 24. TRANSPORTE DE VOLUMEN TOTAL PARA EL CANAL EL ESTACIO EN M ³ /S A PARTIR DE LOS DATOS DE ADCP EN 6 INSTANTES DE TIEMPO DETERMINADOS. VALORES NEGATIVOS/POSITIVOS FLUJOS HACIA EL INTERIOR/EXTERIOR DEL MAR MENOR. EL ANCHO DEL CANAL Y LA PROFUNDIDAD MEDIA SE HAN ESTIMADO EN 40 M Y 5 M, RESPECTIVAMENTE.	113
TABLA 25. FECHAS EN LAS QUE SE COLOCÓ EL ANCLAJE ADCP+CTD EN EL CANAL DE EL ESTACIO.....	114
TABLA 26. VARIACIÓN ESTACIONAL DEL MÓDULO DE LA VELOCIDAD DE LA CORRIENTE DURANTE LAS FASES DE ENTRADA Y SALIDA POR EL CANAL DE EL ESTACIO.	118
TABLA 27. TIEMPOS DE RENOVACIÓN EN LA LAGUNA DEL MAR MENOR. SE MUESTRAN ESTOS VALORES EN EL CONTEXTO DE UN ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LOS RESULTADOS A LAS DIFERENTES VARIABLES QUE INTERVIENEN EN LOS CÁLCULOS.....	121

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, V.M., González-Real, M.M., Baille, A., Martínez, J.M.M., 2007. A novel approach for estimating the pan coefficient of irrigation water reservoirs. *Agricultural Water Management* 92, 29–40. doi:10.1016/j.agwat.2007.04.011
- Andréfouët, S., Pagès, J., Tartinville, B., 2001. Water renewal time for classification of atoll lagoons in the Tuamotu Archipelago (French Polynesia). *Coral Reefs* 20, 399–408. doi:10.1007/s00338-001-0190-9
- Belando, M.D., Marín, A., Aboal, M., García-Fernández, A.J., Marín-Guirao, L., 2017. Combined in situ effects of metals and nutrients on marine biofilms: Shifts in the diatom assemblage structure and biological traits. *Science of The Total Environment* 574, 381–389. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.08.197
- Buongiorno Nardelli, B., Tronconi, C., Pisano, A., Santoleri, R., 2013. High and Ultra-High resolution processing of satellite Sea Surface Temperature data over Southern European Seas in the framework of MyOcean project. *Remote Sensing of Environment* 129, 1–16. doi:10.1016/j.rse.2012.10.012
- Carpenter, J.H., 1965. THE ACCURACY OF THE WINKLER METHOD FOR DISSOLVED OXYGEN ANALYSIS. *Limnology and Oceanography* 10, 135–140. doi:10.4319/lo.1965.10.1.0135
- Carret, D.E., Carpenter, J.H., 1966. Comparison and evaluation of currently employed modifications of the Winkler Method of determining dissolved oxygen in Sea water. A. Nasco. Report. *J. Mar.*
- Dassenakis, M., Garcia, G., Diamantopoulou, E., Girona, J.D., Garcia-Marin, E.M., Filippi, G., Fioraki, V., 2012. The impact of mining activities on the hypersaline Mar Menor lagoon. *Desalination and Water Treatment* 13, 282–289. doi:10.5004/dwt.2010.1036
- De Pascalis, F., Pérez-Ruzafa, A., Gilabert, J., Marcos, C., Umgieser, G., 2012. Climate change response of the Mar Menor coastal lagoon (Spain) using a hydrodynamic finite element model. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 114, 118–129. doi:10.1016/j.ecss.2011.12.002
- del Río, V.D., 1990. Estudio ecológico del Mar Menor. *Geología*.
- Egbert, G.D., Bennett, A.F., Foreman, M.G.G., 1994. TOPEX/POSEIDON tides estimated using a global inverse model. *J. Geophys. Res.* 99, 24821–24852.
- Firing, E., 1991. Acoustic Doppler current profiling measurements and navigation. WHP Off Rep WHP09-1.
- Folkard, A.R., 1978. Automatic analysis of sea water nutrients.
- Franco, A., Pérez-Ruzafa, A., Drouineau, H., Franzoi, P., Koutrakis, E.T., Lepage, M., Verdiell-Cubedo, D., Bouchoucha, M., López-Capel, A., Riccato, F., Sapounidis, A., Marcos, C., Oliva-Paterna, F.J., Torralva-Forero, M., Torricelli, P., 2012. Assessment of fish assemblages in coastal lagoon habitats: Effect of sampling method. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 112, 115–125. doi:10.1016/j.ecss.2011.08.015
- García, G., Muñoz-Vera, A., 2015. Characterization and evolution of the sediments of a Mediterranean coastal lagoon located next to a former mining area. *MARINE POLLUTION BULLETIN* 100, 249–263. doi:10.1016/j.marpolbul.2015.08.042
- García-Pintado, J., Martínez-Mena, M., Barberá, G.G., Albaladejo, J., Castillo, V.M., 2007. Anthropogenic nutrient sources and loads from a Mediterranean catchment into a coastal lagoon: Mar Menor, Spain. *Science of The Total Environment* 373, 220–239. doi:10.1016/j.scitotenv.2006.10.046
- Gardiner, J., Stiff, M.J., 1975. The determination of cadmium, lead, copper and zinc in ground water, estuarine water, sewage and sewage effluent by anodic stripping voltammetry. *Water Research* 9, 517–523. doi:10.1016/0043-1354(75)90077-9
- Gomis, D., Pedder, M.A., 2005. Errors in dynamical fields inferred from oceanographic cruise data. *Journal of Marine Systems* 56, 317–333. doi:10.1016/j.jmarsys.2005.02.002
- González-Dávila, M., Santana-Casiano, J.M., González-Dávila, E.F., 2007. Interannual variability of the upper ocean carbon cycle in the northeast Atlantic Ocean. *Geophys. Res. Lett.* 34. doi:10.1029/2006GL028145
- Hansen, H.P., 1999. Determination of oxygen, in: *Methods of Seawater Analysis*. Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, Germany, pp. 75–89. doi:10.1002/9783527613984.ch4
- Hernández, J.M., 1994. Mar Menor lagoon. : Relationships, differences and similarities between the coastal lagoon and the adjacent Mediterranean Sea. Universidad Autónoma de Madrid.
- Jeffrey, S.W., Humphrey, G.F., 1975. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochem Physiol Pflanz BPP*.
- Jiménez-Martínez, J., García-Aróstegui, J.L., Hunink, J.E., Contreras, S., Baudron, P., Candela, L., 2016. The role of groundwater in highly human-modified hydrosystems: a review of impacts and mitigation options in the Campo de Cartagena-Mar Menor coastal plain (SE Spain). *Environ. Rev.* 1–16. doi:10.1139/er-2015-0089
- Kérouel, R., Aminot, A., 1997. Fluorometric determination of ammonia in sea and estuarine waters by direct segmented flow analysis. *Marine Chemistry* 57, 265–275. doi:10.1016/S0304-4203(97)00040-6
- León, V.M., Martínez-Gómez, C., García, I., Campillo, J.A., Benedicto, J., 2013. Spatial distribution and temporal trends

- of polycyclic aromatic hydrocarbons in *Mytilus galloprovincialis* from the Iberian Mediterranean coast. *Environ Monit Assess* 185, 1055–1070. doi:10.1007/s10661-012-2614-0
- León, V.M., Moreno-González, R., García, V., Campillo, J.A., 2015. Impact of flash flood events on the distribution of organic pollutants in surface sediments from a Mediterranean coastal lagoon (Mar Menor, SE Spain). *Environ Sci Pollut Res* 24, 4284–4300. doi:10.1007/s11356-015-4628-y
- Lloret, J., Marín, A., Marín-Guirao, L., Velasco, J., 2005. Changes in macrophytes distribution in a hypersaline coastal lagoon associated with the development of intensively irrigated agriculture. *Ocean & Coastal Management* 48, 828–842. doi:10.1016/j.ocecoaman.2005.07.002
- Lopez-Castejon, F., 2017. Caracterización de la hidrodinámica del Mar Menor y los flujos de intercambio con el Mediterráneo mediante datos in situ y modelado numérico. Francisco López Castejón.
- Marín-Guirao, L., Lloret, J., Marín, A., García, G., García Fernández, A.J., 2007. Pulse-discharges of mining wastes into a coastal lagoon: Water chemistry and toxicity. *Chemistry and Ecology* 23, 217–231. doi:10.1080/02757540701339422
- Martínez-Álvarez, V., Gallego-Elvira, B., Maestre-Valero, J.F., Tanguy, M., 2011a. Simultaneous solution for water, heat and salt balances in a Mediterranean coastal lagoon (Mar Menor, Spain). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 91, 250–261. doi:10.1016/j.ecss.2010.10.030
- Martínez-Álvarez, V., Gallego-Elvira, B., Maestre-Valero, J.F., Tanguy, M., 2011b. Simultaneous solution for water, heat and salt balances in a Mediterranean coastal lagoon (Mar Menor, Spain). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 91, 250–261. doi:10.1016/j.ecss.2010.10.030
- Martínez-Fernández, J., Esteve-Selma, M.-A., Martínez-Paz, J.-M., Carreño, M.-F., Martínez-López, J., Robledano, F., Farinós, P., 2014. Trade-Offs Between Biodiversity Conservation and Nutrients Removal in Wetlands of Arid Intensive Agricultural Basins, in: *Ecological Modelling and Engineering of Lakes and Wetlands, Developments in Environmental Modelling*. Elsevier, pp. 275–310. doi:10.1016/B978-0-444-63249-4.00012-9
- 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. doi:10.1016/j.chemosphere.2012.12.022
- Moreno-González, R., Rodríguez-Mozaz, S., Gros, M., Pérez-Cánovas, E., Barceló, D., León, V.M., 2014. Input of pharmaceuticals through coastal surface watercourses into a Mediterranean lagoon (Mar Menor, SE Spain): Sources and seasonal variations. *Science of The Total Environment* 490, 59–72. doi:10.1016/j.scitotenv.2014.04.097
- Pérez-Ruzafa, A., Fernández, A.I., Marcos, C., Gilabert, J., Quispe, J.I., García-Charton, J.A., 2005. Spatial and temporal variations of hydrological conditions, nutrients and chlorophyll a in a Mediterranean coastal lagoon (Mar Menor, Spain), in: *Presented at the Hydrobiologia*, pp. 11–27. doi:10.1007/s10750-005-4356-2
- Pérez-Ruzafa, A., Gilabert, J., Gutiérrez, J.M., Fernández, A.I., Marcos, C., Sabah, S., 2002. Evidence of a Planktonic Food Web Response to Changes in Nutrient Input Dynamics in the Mar Menor Coastal Lagoon, Spain. *Hydrobiologia* 475/476, 359–369. doi:10.1023/A:1020343510060
- Pérez-Ruzafa, A., Marcos, C., Bernal, C.M., Quintino, V., Freitas, R., Rodrigues, A.M., García-Sánchez, M., Pérez-Ruzafa, I.M., 2012. *Cymodocea nodosa* vs. *Caulerpa prolifera*: Causes and consequences of a long term history of interaction in macrophyte meadows in the Mar Menor coastal lagoon (Spain, southwestern Mediterranean). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 110, 101–115. doi:10.1016/j.ecss.2012.04.004
- Ruiz, J.M., Bernardeau-Esteller, J., García-Charton, J.A., León, V.M., 2017. Amenazas ambientales en el medio marino costero de la Región de Murcia: Mar Menor y Mar Mediterráneo.
- Salas, F., Teixeira, H., Marcos, C., Marques, J.C., Pérez-Ruzafa, A., 2008. Applicability of the trophic index TRIX in two transitional ecosystems: The Mar Menor lagoon (Spain) and the Mondego estuary (Portugal). *ICES Journal of Marine Science* 65, 1442–1448. doi:10.1093/icesjms/fsn123
- Santana-Casiano, J.M., González-Dávila, M., Rueda, M.-J., Llinás, O., González-Dávila, E.-F., 2007. The interannual variability of oceanic CO₂ parameters in the northeast Atlantic subtropical gyre at the ESTOC site. *Global Biogeochem. Cycles* 21. doi:10.1029/2006GB002788
- Santos-Echeandía, J., 2011. Direct simultaneous determination of Co, Cu, Fe, Ni and V in pore waters by means of adsorptive cathodic stripping voltammetry with mixed ligands. *Talanta* 85, 506–512. doi:10.1016/j.talanta.2011.04.035
- Scollary, G.R., Chen, G.N., Cardwell, T.J., Vincente-Beckett, V.A., 1995. Rapid determination of manganese in wastewaters and seawater by stripping potentiometry. *Electroanalysis* 7, 386–389. doi:10.1002/elan.1140070416
- Tartinville, B., Deleersnijder, E., Rancher, J., 1997. The water residence time in the Mururoa atoll lagoon: Sensitivity analysis of a three-dimensional model. *Coral Reefs* 16, 193–203. doi:10.1007/s003380050074
- Terrados, J., 1991. Crecimiento y producción de las praderas de macrófitos del Mar menor, Murcia.
- Tréguer, P., Le Corre, P., Courtot, P., 1976. Notes on techniques and methods for sea water analysis: Dosage automatique des orthophosphates dans l'eau de mer utilisation de l'AutoAnalyzer (R) II. *ICES Journal of Marine Science* 36, 289–294. doi:10.1093/icesjms/36.3.289
- Winkler, L.W., Whaley, R.C., 1888. The determination of dissolved oxygen in water.

