

MEMORIA TÉCNICA

“Estudio Corrientes de entrada para las especies pesqueras e incidencias sobre los fondos para reproducción y desove”, resultados obtenidos durante la campaña MM0217 (febrero de 2017).

1. ZONA DE ESTUDIO

El Mar Menor es una laguna protegida hipersalina situada en el sudeste de España (Fig. 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 m 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, ° 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 (Álvarez 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 de la agricultura (García-Pintado et al., 2007; Pérez-Ruzafa et al., 2005).

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. Por ello se hace hincapié en la necesidad de estudiar durante las cuatro estaciones del año y ver así la evolución estacional y anual.

Aunque el Mar Menor, ha sido extensamente estudiado, el foco principal de la investigación ha sido biológico, ecológico o geológico (del Río, 1990; Franco et al., 2012; Martínez-Fernández et al., 2014; Pérez-Ruzafa et al., 2005; 2002; 2012; Salas et al., 2008). De cualquier forma, aunque existen algunos trabajos oceanográficos en la zona, un gran porcentaje de los datos se remontan a la década de los 80-90 (De Pascalis et al., 2012; del Río, 1990).

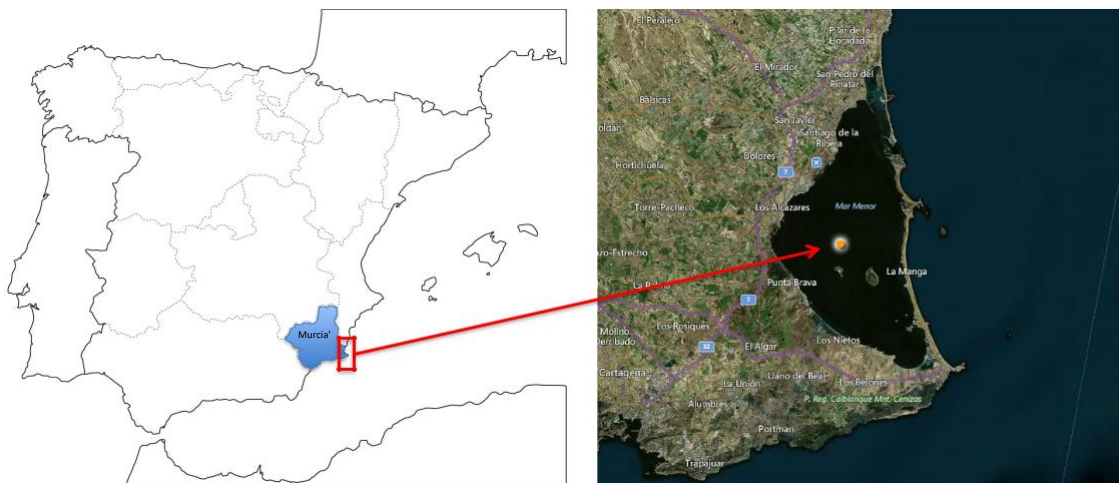


Figura 1.- Mapa de la región de estudio

2. CAMPAÑA MM2017

El objetivo del presente informe es presentar los datos correspondientes a la segunda campaña oceanográfica realizada entre el 15 de febrero y el 27 de febrero de 2017, es decir, la campaña correspondiente a la estación de invierno.

Estudio de los campos de corriente.

La finalidad de esta tarea es la de estudiar la variabilidad espacio-temporal de la dinámica del Mar Menor. 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 55 cm.

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

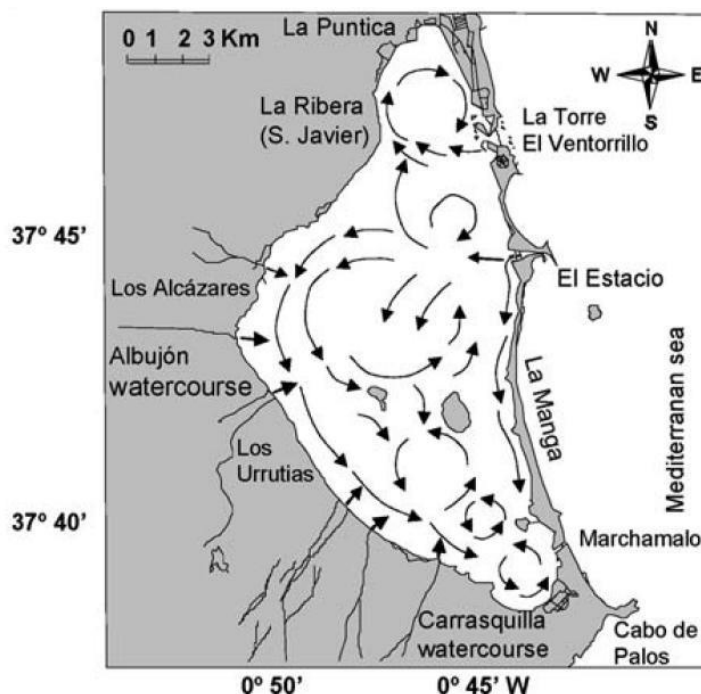


Figura 2.- Modelo existente de corrientes del Mar Menor (del Río, 1990; Pérez-Ruzafa et al., 2005).

3. TRABAJOS REALIZADOS DURANTE LA CAMPAÑA DE INVIERNO DE 2017

Campo de corrientes Lagunar:

Se cubre toda la superficie del Mar Menor durante 12 días 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 3 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 3.- ADCP 1200 KHz ubicado en la plataforma sumergible de popa del buque “DeepCore” de Rivermar S.L.

La Figura 4 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 4.- Punto de trabajo del ADCP a bordo del Buque “DeepCore” de Rivemar

(izquierda). Visita del presidente de la Comunidad de Murcia y otros dirigentes políticos al buque durante la campaña MM0217 (derecha), quienes visualizan los campos de corrientes en tiempo presente.

La Figura 5 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.

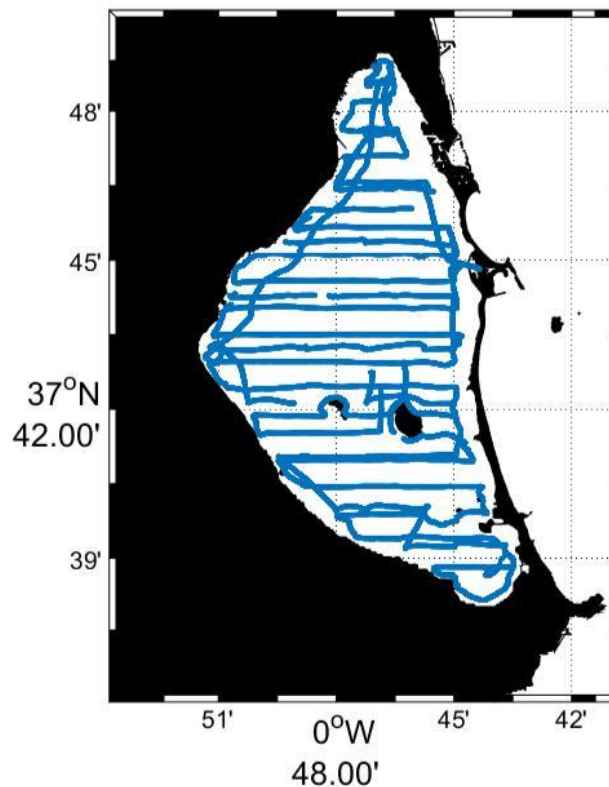


Figura 5.- Mapa de los transectos realizados con ADCP para el estudio de corrientes en 3D.

Campo de corrientes en Encañizadas, El Estacio y Marchamalo

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. Por ello, se realizaron medidas de corriente en toda la columna de agua en las zonas señaladas (Encañizadas, El Estacio y Marchamalo, Figura 6).

En las tres zonas, se realizaron barridos paralelos a costa con el fin de obtener los flujos de entrada y salida de agua. Esta labor se realizó tanto en el interior de la laguna del Mar Menor como por el exterior de ella, en el Mar Mediterráneo.

Además, se realizaron series temporales con buque parado para ver la variación y variabilidad de los flujos de entrada y salida por cada una de las zonas y con diferentes flujos de marea.

El canal El Estacio fue además medido en toda su longitud, desde el Mar Menor al Mar Mediterráneo, por lo que se tiene el sistema de corrientes en 3D de dicho canal hasta en 6 ocasiones coincidiendo con diferentes estados de la marea.

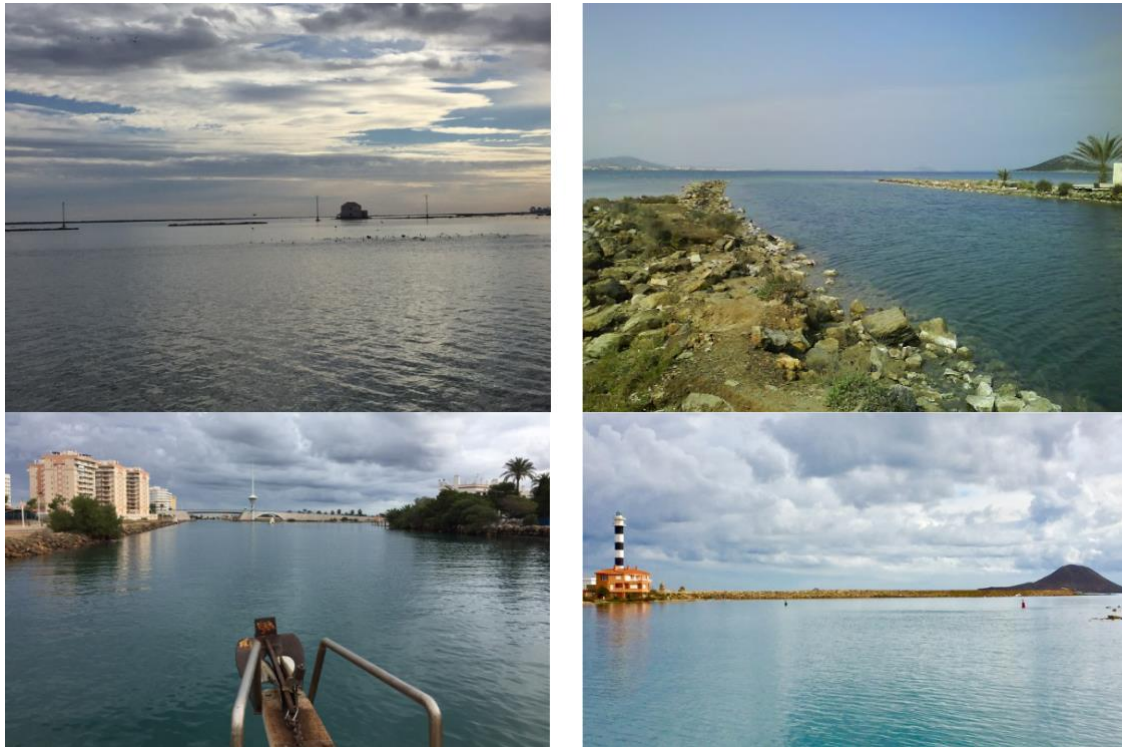


Figura 6.-Toma de medidas en Encañizadas (superior-izquierda), Marchamalo (superior-derecha) y l'Estacio (inferior-izquierda, parte del Mar Menor, y derecha, parte del Mediterráneo).

4. Resultados e interpretación

Durante la campaña MM0217 se ha utilizado un Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) de 1200 kHz para obtener datos de velocidad de alta resolución y precisión en toda la columna de agua de la Laguna del Mar Menor y en intervalos verticales de 10 cm. Los resultados muestran cómo la dinámica promedio lagunar se ajusta en un alto porcentaje a la establecida previamente en la bibliografía (Figura 7), sin embargo, la estructura 3D refleja patrones bien diferenciados en la columna de agua no descritos previamente en la bibliografía.

Desde el punto de vista general y promedio en toda la columna de agua, la laguna del Mar Menor presenta una dinámica ciclónica en la parte central de la cubeta norte. Esta circulación ciclónica está propiciada por las entradas de agua procedente del Mediterráneo por el canal El Estacio y por las aguas procedentes del Albuñón, al oeste de la laguna. En la parte más meridional de la cubeta norte, existe una circulación anticiclónica, propiciada en parte por el transporte de agua del Mediterráneo de El Estacio, una componente de entrada de Las Encañizadas, entrada de agua subterráneas por la parte de San Javier y entrada de agua de las Salinas. Esta parte de la cuenca norte tiene una dinámica característica y bien diferenciada de la cubeta norte, no solo en dinámica, sino también en las características termohalinas.

En cuanto a la circulación de la cubeta sur, ésta presenta una dinámica mayoritariamente ciclónica, con un sistema de corrientes frontales ligadas a la cuenca oeste en sentido sureste procedente de la cubeta norte. Esta cubeta, la más aislada del Mar Menor, está ubicada entre un sistema de islas al norte (Barón y Perdiguera) y cerrada al oeste-sur-este. El único punto de ventilación de la cubeta sur procede de la gola de Marchamalo, la cual produce un aporte de agua Mediterránea de alta temperatura, procedente de su capa más somera. Muy probable, debido a la dinámica ciclónica promedio bien establecida de la cubeta norte, la cubeta sur se encuentra bastante poco ventilada. Por tanto, es esperable que su tasa de renovación sea de forma independiente mucho más alta que la de la cubeta norte, así como la general para toda la laguna. Haciendo uso solo de la tasa de evaporación efectiva del Mar Menor, se puede estimar una tasa máxima de renovación para la cubeta sur, la cual estaría en 5 años.

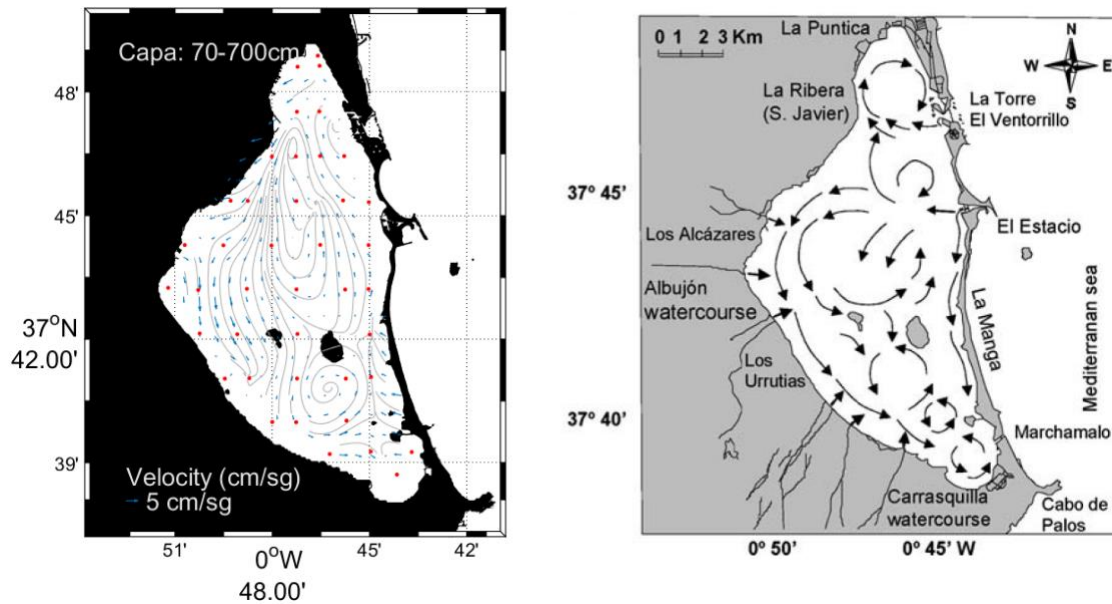
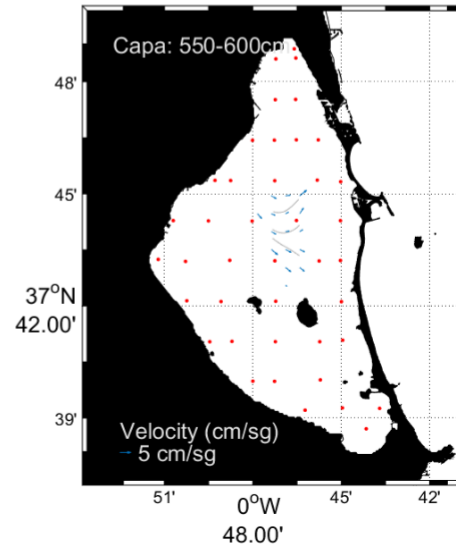
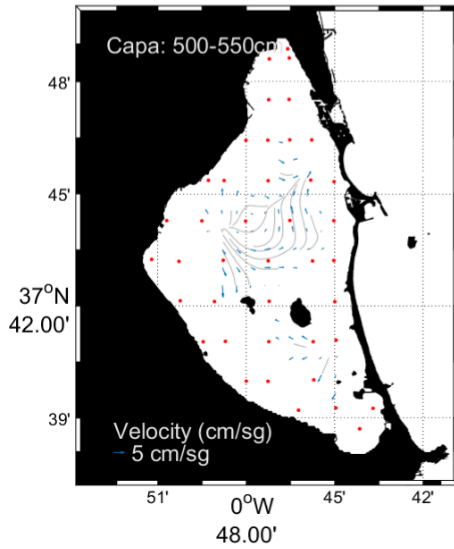
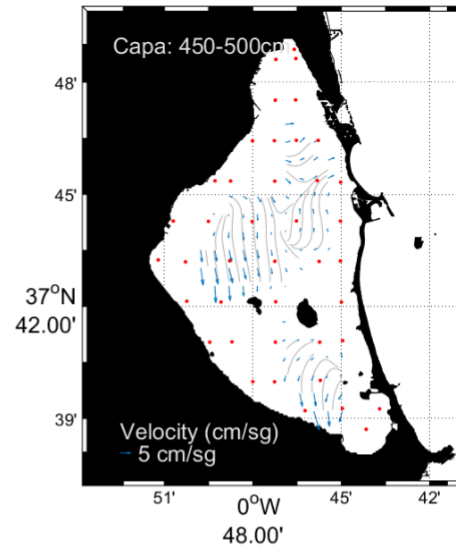
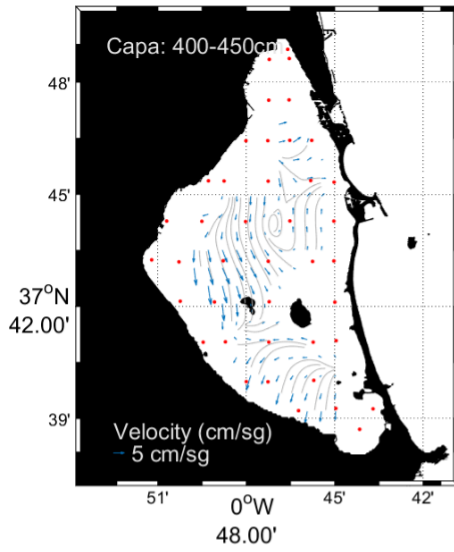


Figura 7.- Esquema de circulación Lagunar. (Izquierda) mapa de velocidad promedio en toda la columna de agua para la campaña MM0217 con ADCP. (Derecha) modelo de corrientes del Mar Menor (del Río, 1990; Pérez-Ruzafa et al., 2005).

Campo 3D de corrientes – Invierno

El campo de corrientes lagunar en toda la columna de agua varía del patrón de velocidades promedio que acabamos de señalar en el apartado anterior. 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 0-3 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 (figura 41).

Esta diferenciación, fundamentalmente dividida en dos capas, cuadra 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 (Figura 8 y Tabla 1).



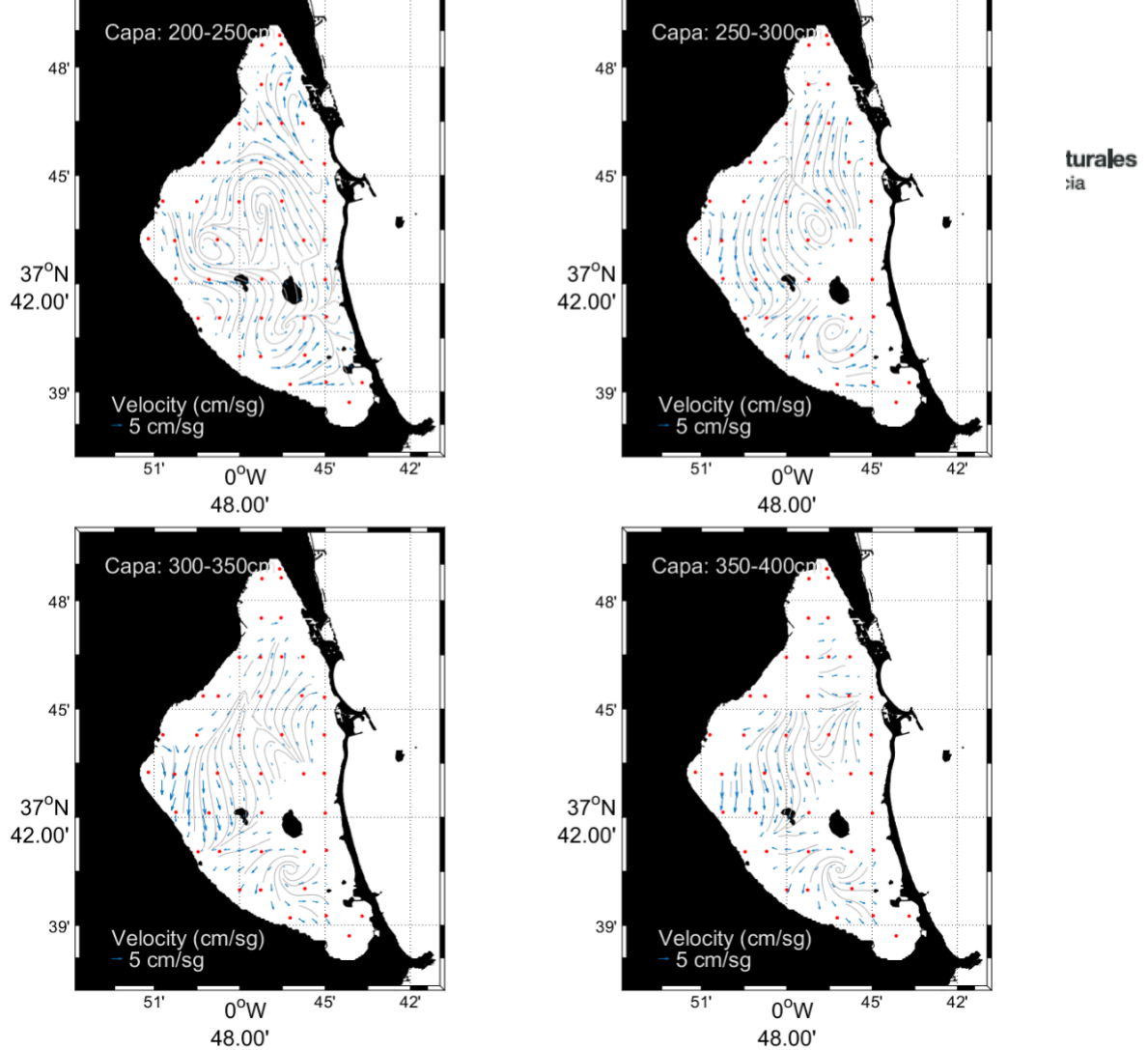


Figura 8.- Esquema de circulación lagunar en 3D.

Tabla 1. Velocidades promedio por capa para la campaña MM0217 en la laguna de El Mar Menor a través de datos de ADCP de 1200 kHz.

Prof. Inicial (cm)	Prof. Final (cm)	Media Mod.Vel. (cm/s)	Std Mod.Vel. (cm/s)	Media U (cm/s)	Media V (cm/s)
70	700	2.08	0.84	0.46	-0.12
70	100	4.99	1.87	-1.57	0.33
100	150	3.90	2.05	-0.92	-0.51
150	200	3.04	1.34	-0.08	0.08
200	250	2.72	1.38	0.19	-0.36
250	300	3.22	1.58	0.48	-0.76
300	350	3.71	1.32	2.22	-0.23
350	400	3.65	1.81	1.38	0.52

400	450	3.32	1.54	2.08	0.24
450	500	3.63	1.83	2.18	1.13
500	550	2.70	1.23	0.65	0.81
550	600	2.99	0.27	2.44	0.64

Transportes de volumen de entrada/salida por El Estacio – Invierno

A partir de los transectos zonales con ADCP a lo largo de todo el canal de El Estacio, hemos podido determinar el transporte de volumen (m^3/s) en 6 instantes de tiempo diferentes a lo largo de tres días. La Figura 9 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.

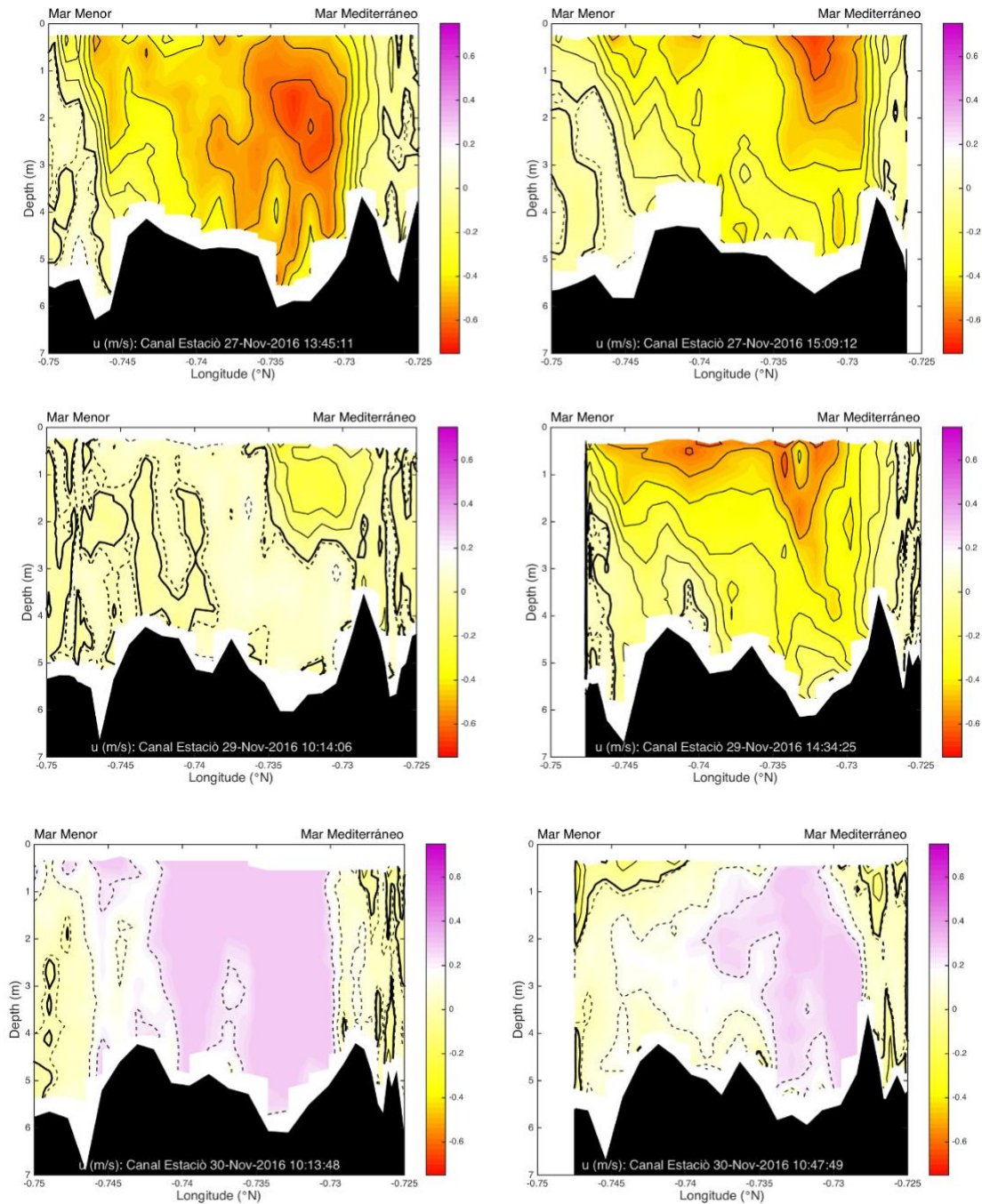


Figura 9.- Contornos verticales de la velocidad zonal en (m/s) a través del canal de l'Estacio a partir de datos de ADCP. Velocidades negativas muestran flujo de entrada hacia el Mar Menor y valores positivos de salida hacia el Mediterráneo.

La Tabla 2 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 El Estacio.

Tabla 2. 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	20-Feb. 14:03	21- Feb.. 15:15	22- Feb. 10:39	23- Feb. 14:49	24- Feb. 10:31	25- Feb. 10:59
Volumen (m ³ /s)	-78.8	-58.1	+23.7	-50.7	+51.4	+42.3

Tasa de renovación de la laguna – Invierno:

La tasa de renovación promedio de la laguna del Mar Menor se ha calculado a partir de los datos de transportes totales de entrada y salida mostrados en la Tabla 2. Con estos datos, junto con los de amplitudes de las componentes de marea astronómica y meteorológica se ha podido estimar el transporte de salida promedio diario por el canal El Estacio, cuantificado en 2.58 hm³/día. En otras palabras, esta sería la cantidad de agua (propia del Mar Menor o Mediterránea de reciente incorporación) que se encuentra en el Mar Menor y que lo abandona hacia el Mar Mediterráneo a través del canal El Estacio por día.

Sin embargo, teniendo en cuenta las características termohalinas y la composición de las masas de agua, el transporte de salida promedio diario efectivo o lo que es lo mismo, la cantidad real de agua con características del Mar Menor que sale hacia el Mar Mediterráneo es de un 20-30% del transporte total; por lo tanto, el transporte efectivo se ha cuantificado entre 0.5 y 0.8 hm³/día.

La Tabla 3 muestra las tasas de renovación (años) para el Mar Menor, calculadas a partir del volumen efectivo de salida, área del Mar Menor, volumen del Mar Menor y tasas de evaporación y precipitación. Los datos marcados con (*) han sido obtenidos de la bibliografía en (Martínez-Álvarez et al., 2011a). Se han distinguido tres supuestos casos:

- Caso 1: datos obtenidos durante la campaña MM0217.
- Caso 2: datos obtenidos durante la campaña MM0217 con área y volumen (*)

Tabla 3. Tabla para el cálculo de la tasa de renovación (años) del Mar Menor. Se describen varios escenarios. Caso 1, datos actuales de la campaña MM0217. Casos 2 y 3, datos de (Martínez-Álvarez et al., 2011b) (*) con salida efectiva de MM0217.

	Caso 1	Caso 2
Área del Mar Menor (km ²)	127	135.5*
Volumen del Mar Menor (hm ³)	656	610*
Evaporación anual (mm)	1350*	1350*

Precipitación anual (mm)	300*	300*
Evaporación efectiva anual (mm)	1050*	1050*
Volumen efectivo evaporado anual (hm ³)	142*	142*
Salida diaria promedio por El Estacio (hm ³ /día)	2.58	2.58
Salida efectiva diaria por El Estacio (hm ³ /día)	0.5 – 0.8	0.5 – 0.8
Salida efectiva anual por El Estacio (hm ³)	182.5 - 292	182.5 - 292
Salida efectiva anual (hm ³)	350 – 460	325 - 434
Tasa de renovación (años)	1.5 – 2.0	1.4 – 1.8

El caso 2 es realmente representativo, ya que haciendo uso del volumen efectivo de salida calculado a partir de los datos de la campaña MM0217 pero con los datos de área y volumen del Mar Menor usados en la bibliografía anterior (135.5 km² y 610 hm³, respectivamente), obtenemos una tasa de renovación de 1.4 años, similar a los 1.2 años reflejados en esa misma referencia bibliográfica (Martínez-Álvarez et al., 2011a).

En el caso 1 se obtiene la tasa de renovación a partir del volumen efectivo de salida, área y volumen de agua calculados a partir de los datos de MM0217. Los resultados muestran una tasa de renovación de entre 1.5 y 2.0 años, algo superior a la calculada en la bibliografía previa.

5. Conclusiones

1. El área del Mar Menor utilizado para los cálculos de volumen y tasas de renovación es de 127 km² (hasta la isobata de 1.4, por imposibilidad de realizar la batimetría en zonas someras de la laguna).
2. 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.
3. El patrón de circulación de la laguna en la vertical para esta estación del año presenta un comportamiento bicapa (0 – 300 cm y de 300 – 700 cm) posiblemente muy condicionado por las diferentes entradas de agua procedente de la cuenca del Mediterráneo, así como por las procedentes de la cuenca oeste (de carácter terrígeno).
4. El volumen promedio diario de salida de agua del Mar Menor hacia el Mar Mediterráneo a través del Estacio se ha estimado en 2.58 hm³/día. Sin embargo, no se han podido estimar por el momento las contribuciones de las Encañizadas y Marchamalo, por estar dentro del error instrumental y metodológico usado en esta campaña.

5. El volumen efectivo promedio diario de salida de agua del Mar Menor hacia el Mar Mediterráneo a través del Estacio se ha estimado a través de técnicas de OMP entre 0.5-0.8 hm³/día, entre un 20-30% del total.
6. La tasa de renovación del Mar Menor se ha estimado en 1.5-2.0 años, lo que supone un aumento de 3-9 meses con respecto a los obtenidos en referencias bibliográficas anteriores.