

En la elaboración de este indicador han participado:
 Natalia Barrientos, Raquel Vaquer-Sunyer, Damià Gomis, Marta Marcos, Biel Jordà, Bàrbara Barceló-Llull, Ananda Pascual e Inmaculada Ruiz-Parrado.

Salinidad

La salinidad es una de las variables fisicoquímicas del océano y es un parámetro que se incluye en las Estrategias Marinas.¹ Se define como la cantidad de sal disuelta en el mar y se cuantifica en base a cuántos gramos de sal se encuentran disueltos en 1.000 g de agua. Por tanto, este parámetro carece de unidades —se anulan— y los valores se reportan en Unidades Prácticas de Salinidad (PSU, del inglés Practical Salinity Units).

Al igual que la temperatura, el seguimiento de la salinidad es de gran relevancia para la interpretación de otros parámetros de estado ambiental, pues influye en la supervivencia de determinadas especies y ecosistemas marinos. Especialmente en el caso de organismos estenohalinos, los cuales no toleran variaciones amplias de salinidad. Por ejemplo, la planta marina *Posidonia oceanica* se ve afectada si se alcanzan salinidades por encima de 42 psu y por debajo de 29 °C.²

La salinidad supone una variable indirecta del cambio global. Cabe mencionar que la cantidad de sal a nivel global se mantiene prácticamente constante, por lo que sus variaciones podrían derivar principalmente de cambios en el agua dulce incorporada por el deshielo de glaciares y hielo continental. A nivel más regional, los cambios están asociados a una redistribución de la sal por las corrientes marinas, y localmente a cambios en los aportes de agua de los ríos y de salmuera provenientes de plantas desalinizadoras.

En las últimas cuatro décadas, las aguas del Mediterráneo occidental han mostrado de promedio un aumento en la salinidad, tanto en superficie como en profundidad.^{3, 4} Las variaciones en la salinidad están conectadas con cambios en el ciclo del agua y la circulación atmosférica, y pueden inducir variaciones en la circulación de las corrientes oceánicas.

Adicionalmente, la salinidad ayuda a detectar el origen y a diferenciar las distintas masas de agua de una región oceánica. En el mar Balear, la salinidad determina la influencia de agua atlántica y sus

grados de modificación a su paso por la cuenca, el intercambio de agua entre los canales de las islas o el afloramiento (conocido como *upwelling* en inglés) producido por frentes atmosféricos.⁴

Por último, la salinidad tiene un papel fundamental —junto con la temperatura— en la determinación de la densidad de una masa de agua y, por tanto, en los gradientes de densidad que generan corrientes marinas.⁵ Mejorar la caracterización y comprensión de las corrientes y la circulación marina resulta clave para gestionar de manera integrada los mares y océanos tanto en mar abierto como en la costa. Las corrientes marinas son esenciales para poder predecir la deriva de plásticos, hidrocarburos, medusas y/o larvas y huevos de peces.

METODOLOGÍA

Se muestran los datos de la salinidad superficial capturados por boyas oceanográficas del SOCIB (Figura 1). Los datos se encuentran en línea en la página del Data Catalog del SOCIB (<http://apps.socib.es/data-catalog/>).

La salinidad se mide a 1 m de profundidad del agua. El sensor de medición tiene una precisión de 0,002 °C y se emplean únicamente los datos de control de calidad igual a 1 (Quality Control, QC = 1). Los datos provienen de la boya del Canal de Ibiza (lat. 38° 49' 28,02'' N; long. 0° 47' 1,201'') entre los años 2013-2018, y de la boya de Palma (lat. 39° 29' 57,998'' N, long. 2° 42' 2,001'' E) entre los años 2012-2020.

¿QUÉ ES?

La salinidad es la cantidad de sal disuelta en un cuerpo de agua. Esta variable fisicoquímica muestra cuántos gramos de sal contiene 1 kg de agua y por tanto carece de unidades. Los valores de salinidad se reportan en psu (Unidades Prácticas de Salinidad, del inglés Practical Salinity Units).

$$\frac{\text{g de sal}}{1.000 \text{ g de agua de mar}}$$

METODOLOGÍA

Se obtienen datos históricos de salinidad superficial —a 1 m de profundidad— colectados por boyas localizadas en estaciones fijas gestionadas por el SO-CIB. Se incluyen datos de la boya del Canal de Ibiza (2013-2018) y de la boya de Palma (2012-2020).

Los datos de salinidad en profundidad provienen de dispositivos CTD (siglas del inglés para Conductividad, Temperatura y Profundidad) del proyecto RAD-MED.² Se muestran datos estacionales históricos de salinidad desde 1994 —de los 5 a los 2.500 m de profundidad— medidos en tres zonas del mar Balear (sur de Mallorca, norte de Menorca y Cabrera).

RESULTADOS

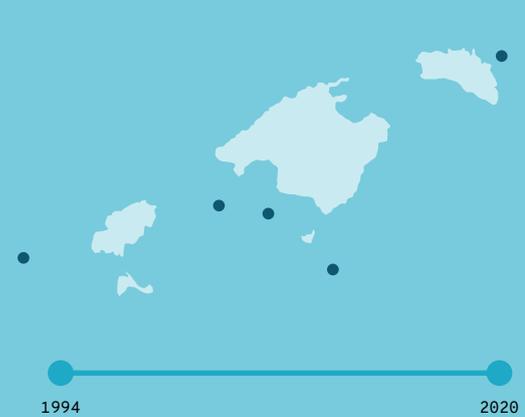
Los datos de salinidad superficial capturados por las boyas muestran cierta ciclicidad estacional muy influenciada por variaciones locales. Los máximos medidos (38,3 psu en 2014) se alcanzan a finales de verano, mientras que los mínimos (dato puntual de ~ 36,2 psu en 2013 y 2019) se observan a finales de otoño.

La boya del Canal de Ibiza muestra menor salinidad que la de Palma, posiblemente debido a una localización más cercana a la entrada de agua del océano Atlántico —más fresca que la mediterránea.

¿POR QUÉ?

Este parámetro se incluye en las Estrategias Marinas.¹ Es necesario conocer su evolución porque influye en la supervivencia de ciertas especies y hábitats marinos (como el de *Posidonia oceanica*). Además, la salinidad es una variable indirecta del cambio global. Junto con la temperatura, interviene en los gradientes de densidad que generan las corrientes oceánicas. La comprensión de las corrientes marinas es crucial para predecir, por ejemplo, la deriva de residuos, medusas y/o larvas y huevos de peces.

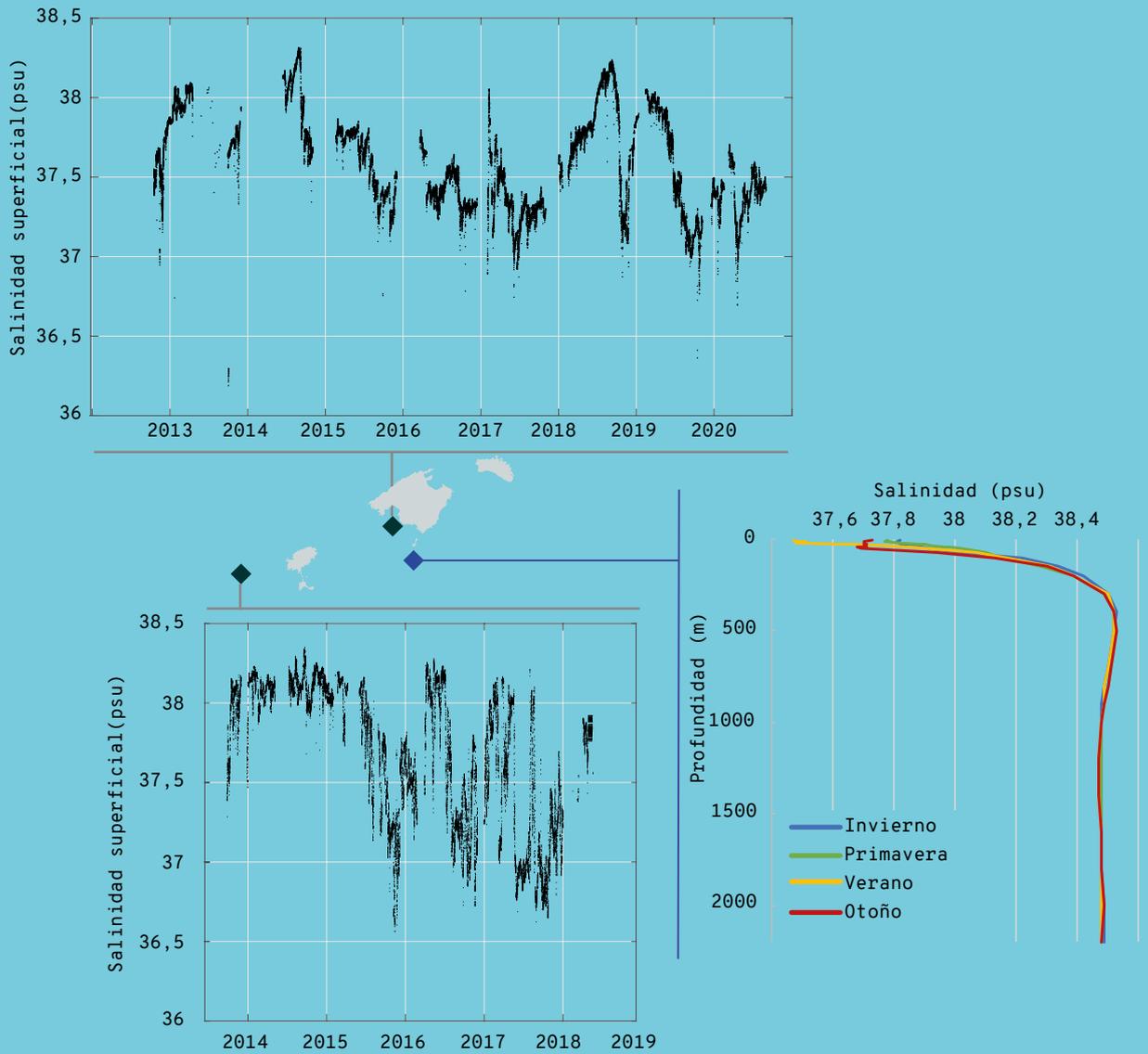
LOCALIZACIÓN



Los cambios de salinidad estacionales son bastante pequeños en comparación con las variaciones espaciales o en profundidad. Estos cambios suelen estar asociados a la redistribución de las masas de agua.

En cuanto a la salinidad de profundidad de las tres estaciones de muestreo CTD, se observa que los valores estacionales convergen en un valor constante de 38,48 psu a partir de los 1.000 m.

Modelos de predicción climática muestran un aumento de salinidad de entre 0,08-0,37 psu a lo largo del siglo XXI en profundidades intermedias (300-700 m).³



Salinidad superficial capturada por boyas del SOCIB y salinidad en profundidad capturada mediante CTD para el proyecto RADMED. FUENTE: SOCIB y RADMED.²

REFERENCIAS

¹ «Estrategias Marinas». <https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/IV_D7_Levantino-Balear_tcm30-130923.pdf>.

² VARGAS-YÁÑEZ, M. *et al.* (2019). *The present state of marine ecosystems in the Spanish Mediterranean in a climate change context*. Tuimagina Editorial, Grupo Mediterráneo de Cambio Climático. ISBN: 978-84-09-13597-4.

³ SOTO-NAVARRO, J. *et al.* (2020). «Evolution of Mediterranean Sea water properties under climate change scenarios in the Med-CORDEX ensemble». *Clim Dyn.* 54(3), 2135-65.



Figura 1. Imagen de la boya de Palma del SOCIB utilizada para medir variables oceanográficas como la salinidad. FUENTE: SOCIB.

Adicionalmente se incluyen valores de salinidad en perfiles de profundidad capturados por rosetas CTD (siglas del inglés para Conductividad, Temperatura y Profundidad) del proyecto nacional RADMED (Radiales del Mediterráneo).⁶ Se muestran los valores medios estacionales de salinidad desde 1994 en tres zonas del mar Balear de los 5 m hasta los 2.500 m de profundidad:

Sur de Mallorca

Estación B1 (lat. 39° 28,6020' N, long. 2° 25,6020' E)

Estación B2 (lat. 39° 24,1020' N, long. 2° 25,6020' E)

Estación B3 (lat. 39° 20,5020' N, long. 2° 25,6020' E)

Norte de Menorca

Estación MH4

(lat. 40° 10,0020' N, long. 4° 34,9620' E)

Cabrera

Estación EPC (lat. 39° 0,0000' N, long. 3° 10,2600' E)

RESULTADOS

Aunque las precipitaciones y la evaporación tienen ciclos anuales, las variaciones en la salinidad superficial (a 1 m) capturadas por las boyas de Palma y del Canal de Ibiza muestran únicamente cierta ciclicidad estacional, aunque muy influenciada por variaciones locales (Figura 2).

La salinidad está muy poco afectada localmente por la lluvia—afecta a una capa muy somera y por poco tiempo, puesto que las anomalías se propagan muy rápidamente—, donde las variaciones tienen una escala espacial relativamente pequeña. Estos hechos dificultan la identificación de tendencias climáticas de la temperatura.

Los valores de salinidad máxima se alcanzan a finales de verano. El valor máximo detectado es de 38,3 psu. Este máximo se detecta a finales de verano de 2014 en ambas boyas.

Los valores mínimos se capturan a finales de otoño. El valor mínimo se encuentra en torno a 36,2 psu (en los años 2013 y 2019) y ocurre puntualmente en la boya de Palma.

En general, la boya del Canal de Ibiza muestra un mayor número de valores con menor salinidad (< 37 psu) que la de Palma. Este hecho podría estar relacionado con la circulación oceánica, ya que en el Canal de Ibiza se suele producir una entrada de agua de origen atlántico menos salina que la mediterránea. Asimismo, esta boya también mantiene mayor número de valores de salinidad alta (> 38 psu).

En profundidad, los perfiles de salinidad media estacional capturados por las rosetas CTD de las campañas RADMED⁶ muestran los valores mínimos de salinidad superficial < 37,5 psu en verano en las estaciones de Mallorca y Cabrera (Figura 3). Sin embargo, al norte de Menorca los mínimos de salinidad superficial de 37,7 psu se alcanzan en otoño. Los máximos de salinidad superficial de 38 psu se registran en invierno en el transecto de Maó, posiblemente indicando un mayor grado de modificación de agua atlántica.⁶

En profundidad, los valores estacionales de salinidad convergen en torno a 38,48 psu y se mantienen constantes a partir de los 1.000 m.

Por otro lado, un estudio de seguimiento de las tendencias de salinidad entre los años 2011-2018 en el Canal de Mallorca muestra un aumento de salinidad de + 0,010/año en profundidades intermedias (300-700 m).⁴

Por último, modelos de proyección de salinidad para el siglo XXI muestran un aumento de salinidad importante (entre 0,08 y 0,37 psu) a profundidades intermedias (150-600 m), debido al aumento de evaporación en la cuenca.⁷ Sin embargo, para la salinidad en superficie existen discrepancias entre los modelos, debido a que se desconoce el efecto y el alcance del agua dulce del deshielo de la zona polar en el Mediterráneo.⁷

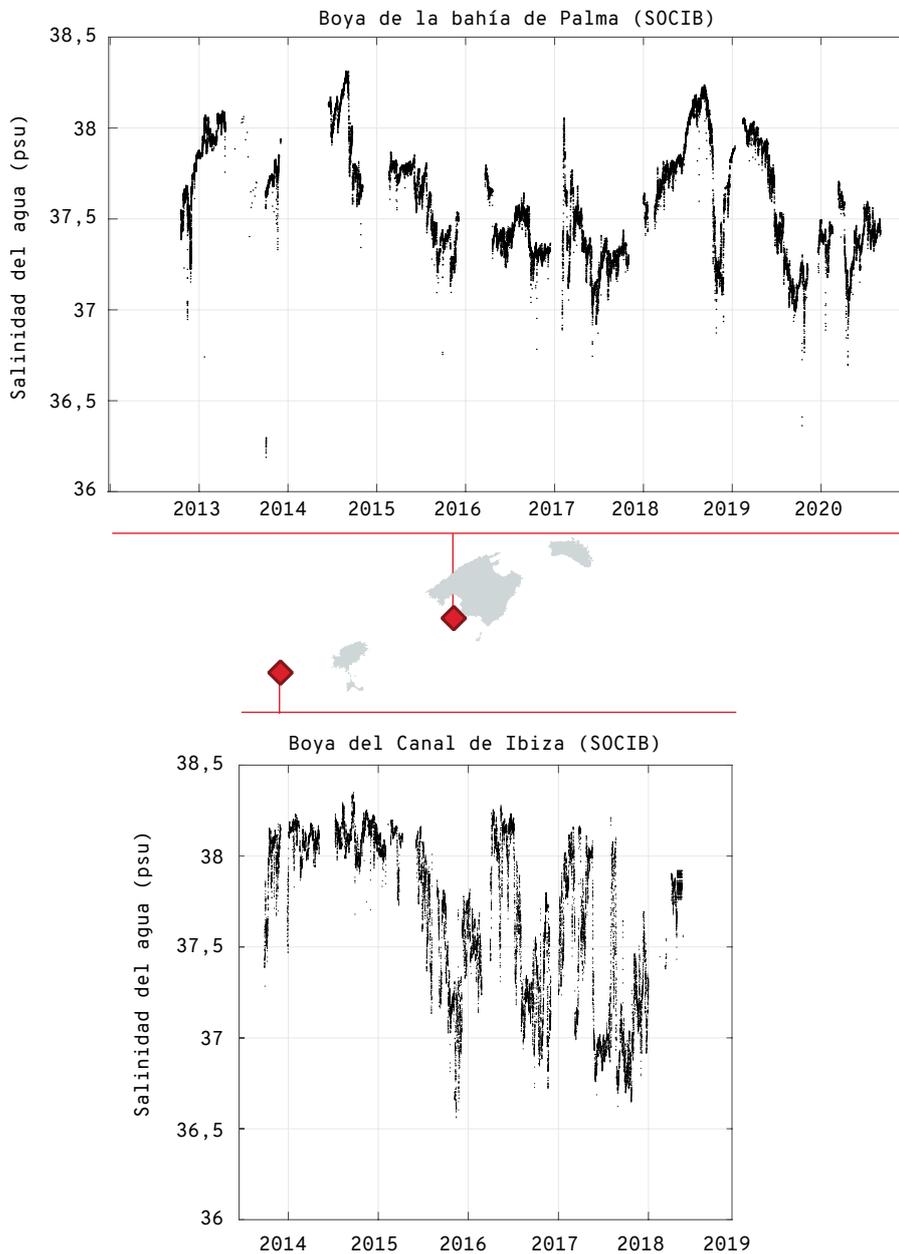


Figura 2. Evolución temporal de la salinidad a 1 m de profundidad capturada por las boyas oceanográficas de Palma y del Canal de Ibiza. FUENTE: SOCIB.

CONCLUSIONES

- En el mar Balear se necesitan series temporales de décadas para poder empezar a inferir cambios en la salinidad.
- El seguimiento de la salinidad superficial desde 2012 muestra que no existe un ciclo estacional marcado con mucha variabilidad intra e interanual. Esta variabilidad está probablemente inducida por cambios en las corrientes y la advección de distintas masas de agua, ya que el mar Balear es una zona de confluencia entre las aguas más viejas del norte (más influenciadas por el agua de la cuenca levantina y más saladas) y las más nuevas del sur (más afectadas por el Atlántico y menos saladas).
- En general, los cambios de salinidad observados, su variabilidad natural en el tiempo y la variabilidad espacial no son muy grandes. El ciclo estacional de la salinidad capturado por CTD muestra que las estaciones del sur de Mallorca y Cabrera son las que alcanzan valores de salinidad mínimos en superficie (< 37,5 psu) durante el verano. Por otro lado, los máximos de salinidad superficial de 38 psu se alcanzan en el norte de Menorca.
- A partir de los 1.000 m de profundidad la salinidad es ~ 38,48 psu en todas las estaciones de muestreo de CTD.
- Modelos de predicción para todo el siglo XXI muestran incrementos sustanciales en la salinidad a profundidades intermedias, de entre 0,08 y 0,37 psu, asociados a aumentos en la evaporación del agua de la cuenca del Mediterráneo.⁷

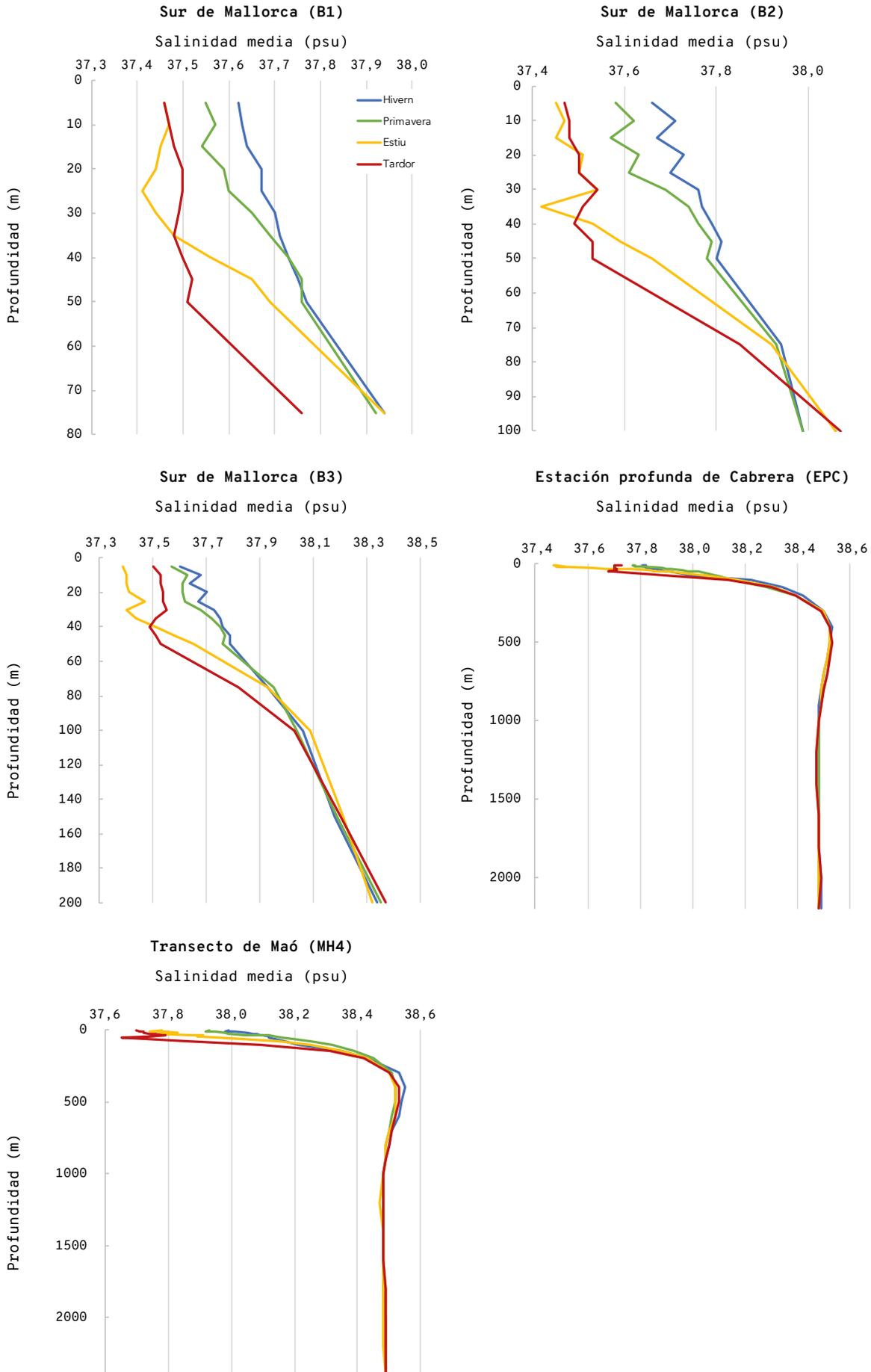


Figura 3. Transectos de salinidad en profundidad recogidos durante las campañas de CTD del proyecto RADMED. FUENTE: Vargas-Yáñez *et al.*⁶

REFERENCIAS

- ¹ «Estrategias Marinas»
[https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/IV_D7_Levantino-Balear_tcm30-130923.pdf].
- ² FERNÁNDEZ-TORQUEMADA, Y; SÁNCHEZ-LIZASO, J. L. (2005). «Effects of salinity on leaf growth and survival of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile». *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 320(1), 57-63.
- ³ BORGHINI, M. *et al.* (2014). «The Mediterranean is becoming saltier». *Ocean Sci.* 10(4), 693-700. <https://doi.org/10.5194/os-10-693-2014>.
- ⁴ BARCELÓ-LLULL, B. *et al.* (2019). «Temporal and Spatial Hydrodynamic Variability in the Mallorca Channel (Western Mediterranean Sea) From 8 Years of Underwater Glider Data». *J Geophys Res Ocean.* 124(4), 2769-86. <https://doi.org/10.1029/2018JC014636>.
- ⁵ PASCUAL, A. *et al.* (2017). «A Multiplatform Experiment to Unravel Meso- and Submesoscale Processes in an Intense Front (AlborEx)». *Frontiers in Marine Science*, 4, 39. <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00039>.
- ⁶ VARGAS-YÁÑEZ, M. *et al.* (2019). *The present state of marine ecosystems in the Spanish Mediterranean in a climate change context*. Tuimagina Editorial, Grupo Mediterráneo de Cambio Climático. ISBN: 978-84-09-13597-4.
- ⁷ SOTO-NAVARRO, J. *et al.* (2020). «Evolution of Mediterranean Sea water properties under climate change scenarios in the Med-CORDEX ensemble». *Clim Dyn.* 54(3), 2135-65.

CITAR COM

BARRIENTOS, N.; VAQUER-SUNYER, R.; GOMIS, D.; MARCOS, M.; JORDÀ, G.; BARCELÓ-LLULL, B.; PASCUAL, A.; RUIZ-PARRADO, I. (2021). «Salinidad». En: Vaquer-Sunyer, R.; Barrientos, N. (ed.). *Informe Mar Balear 2021* <https://www.informemarbalealear.org/es/cambio-global/imb-salinidad-esp_2021.pdf>. <https://doi.org/10.62135/ECDV8493>