

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL
REGISTRO SÍSMICO OFFSHORE “3D”
ÁREA AUS_105, AUS_106 Y MLO_121, ARGENTINA

CAPÍTULO 6 – MODELACIÓN ACÚSTICA

ANEXO I – PERFILES OCEANOGRÁFICOS

FEBRERO DE 2023

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	2
2	MODELO DEL PROGRAMA COPENICUS	4
3	BASE DE DATOS WOD	19
4	COMPARACIÓN COPENICUS – WOD	29
5	DENSIDAD Y VELOCIDAD DEL SONIDO	34

1 INTRODUCCIÓN

Para la selección de los distintos perfiles de temperatura y salinidad del área, que dan lugar a respectivos perfiles de densidad y velocidad del sonido de la columna de agua, se tuvieron en cuenta dos fuentes. Una es el modelo GLOBAL_ANALYSIS_FORECAST_PHY_001_024 de Copernicus, el Programa de Observación de la Tierra de la Unión Europea. La otra, la base de datos oceanográfica World Ocean Database -WOD- (<http://www.nodc.noaa.gov>) de la NOAA.

La región de estudio presenta características peculiares, las que fueron estudiadas por distintos autores, entre ellos:

- Guihou, K., E. D. Palma, A. Piola y M. P. Chidichimo (2020). Dynamical connections between large marine ecosystems of austral South America based on numerical simulations. Ocean Science Discussions. September 2010.
- Palma. E. y R. P. Matano (2012). A numerical study of the Magellanean Plume. Journal of Geophysical Research, Vol. 117, C05041.
- Sabatini, M., R. Reta y R. Matano (2004). Circulation and zooplankton biomass distribution over the southern Patagonian shelf during late summer. Continental Research 24, pp. 1359-1373.

El área de estudio está fuertemente influenciada por las aguas de baja salinidad que entran a través del estrecho de Magallanes.

La concurrencia de una gran amplitud de marea con importantes velocidades de corriente altamente bidireccionales y la influencia de los fuertes vientos del oeste, característicos de estas latitudes, producen la dispersión hacia el sur de la pluma de Magallanes y una gran mezcla que se traduce en una marcada estratificación de la columna de agua (particularmente durante el otoño y el invierno).

La Figura 1 presenta el campo climatológico de la salinidad superficial en la plataforma continental patagónica según Palma y Matano (2012). De los mismos autores, la Figura 2 muestra la forma y posición con respecto a la costa que toma la isohalina 33,5 (característica del límite de la influencia de la pluma de Magallanes) en la sección ubicada frente a Bahía Grande (CII, ver Figura 1).

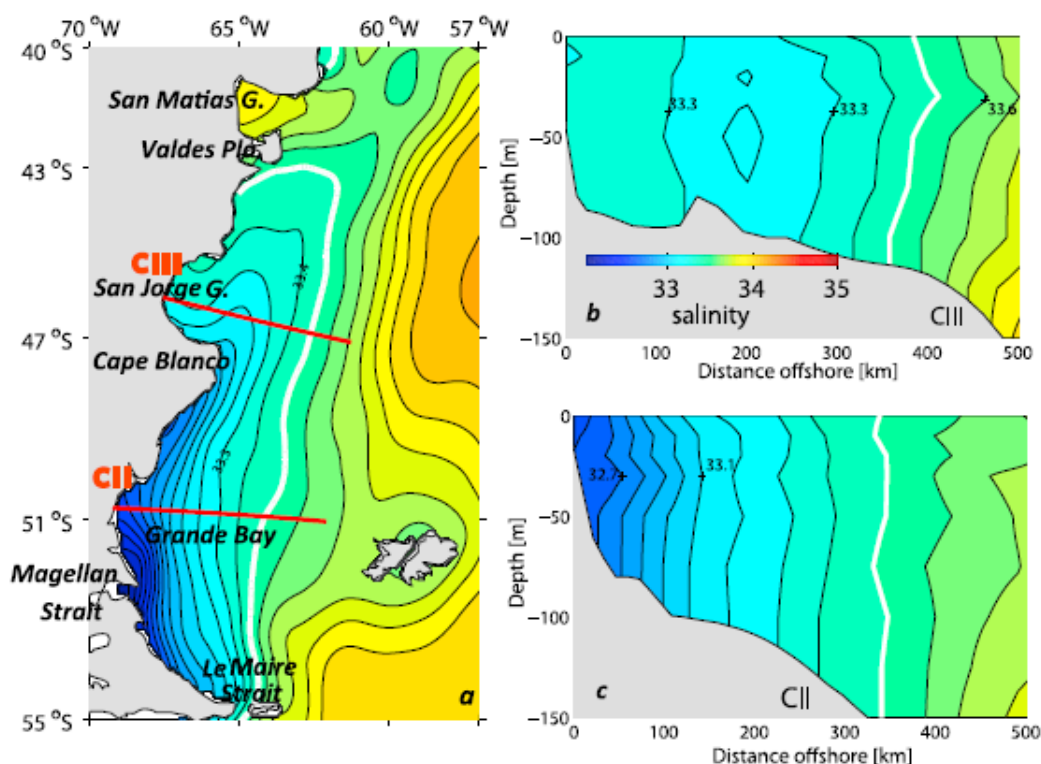


Figura 1. (a) Campo climatológico, obtenido a partir de mediciones, de la salinidad superficial en la plataforma continental patagónica. (b y c) Secciones climatológicas de la salinidad sobre las transectas CIII y CII. La línea blanca indica la posición de la isohalina 33,5. Fuente: Palma y Matano (2012).

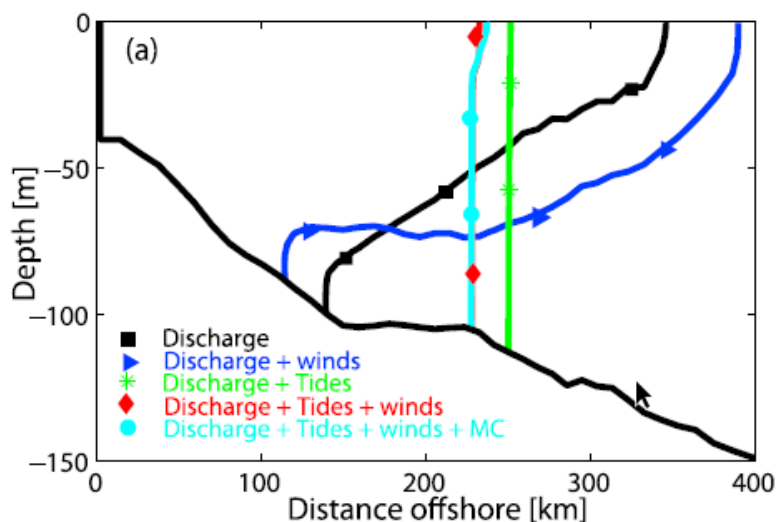


Figura 2. Ubicación sobre la plataforma de la isohalina 33,5 en la sección ubicada frente a Bahía Grande (CII, ver Figura 1) para diferentes forzantes modelados. Fuente: Palma y Matano (2012).

La información de temperatura y salinidad, extraída de las dos fuentes consultadas (mencionadas más arriba) se presenta a continuación.

[Signature]

2 MODELO DEL PROGRAMA COPERNICUS

El análisis de los datos mensuales arrojados por el modelo Copernicus GLOBAL_ANALYSIS_FORECAST_PHY_001_024 muestra que los mismos, particularmente en lo que respecta a la salinidad, no se condicen con la información presentada en distintas publicaciones relacionadas específicamente con el área de estudio.

A modo de ejemplo, se muestran en la Figura 3 los campos de salinidad media superficial provistos por dicho modelo para los meses de enero y julio del año 2019. Con fines comparativos, se presenta en la Figura 4 un detalle en la zona de interés del campo de salinidad en superficie de acuerdo a Palma y Matano (ver Figura 1).

De la observación de la Figura 4 se desprende que los valores de salinidad en el área de estudio varían entre 32,6 UPS (cerca de la costa) y 33,2 UPS (en el borde offshore). Sin embargo, las salinidades arrojadas por el modelo de Copernicus (Figura 3) están entre 33,3 UPS y 33,6 UPS respectivamente.

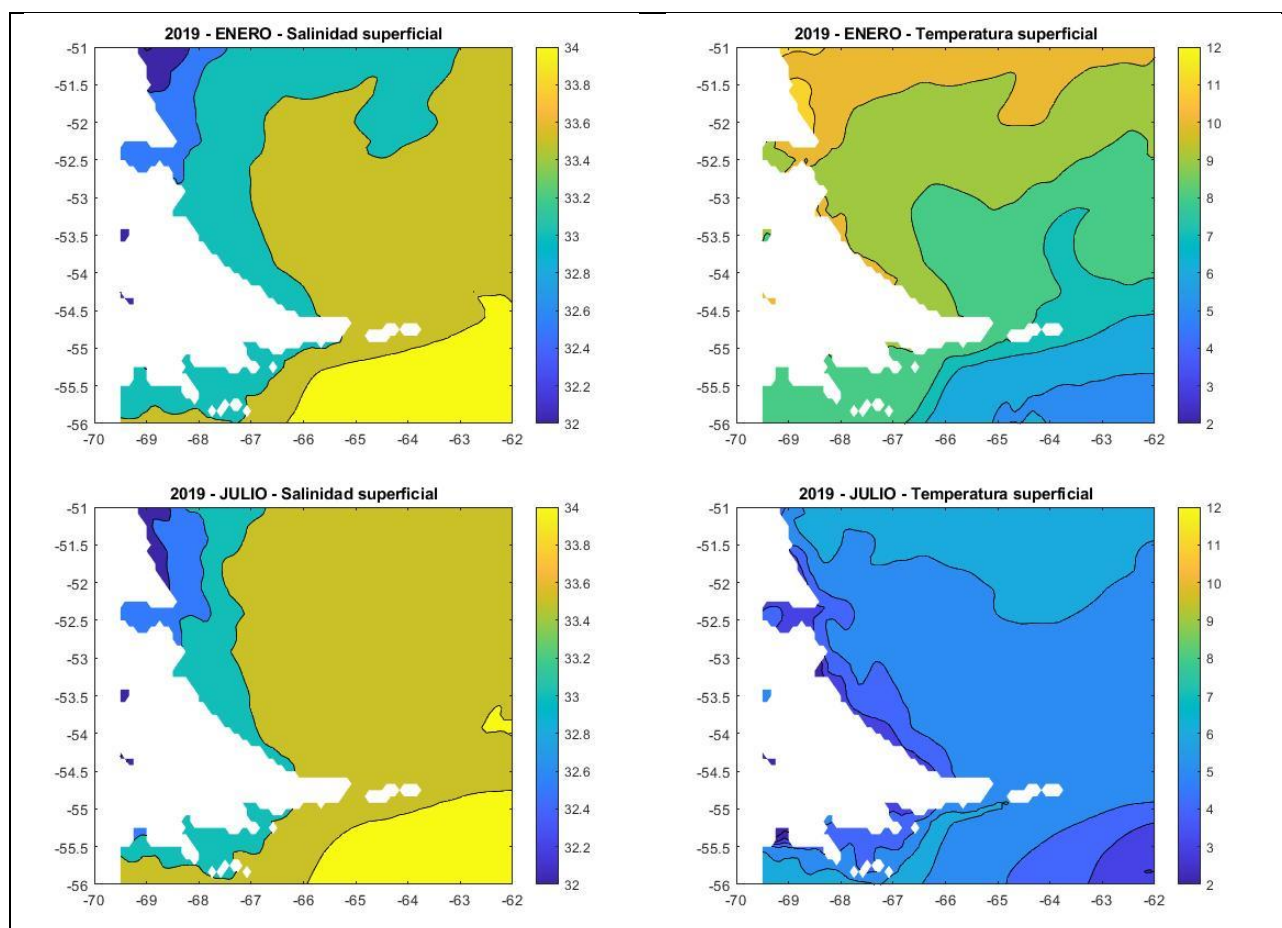


Figura 3. Campos medios mensuales de salinidad superficial correspondientes al año 2019 provistos por el modelo GLOBAL_ANALYSIS_FORECAST_PHY_001_024 del Programa Copernicus.



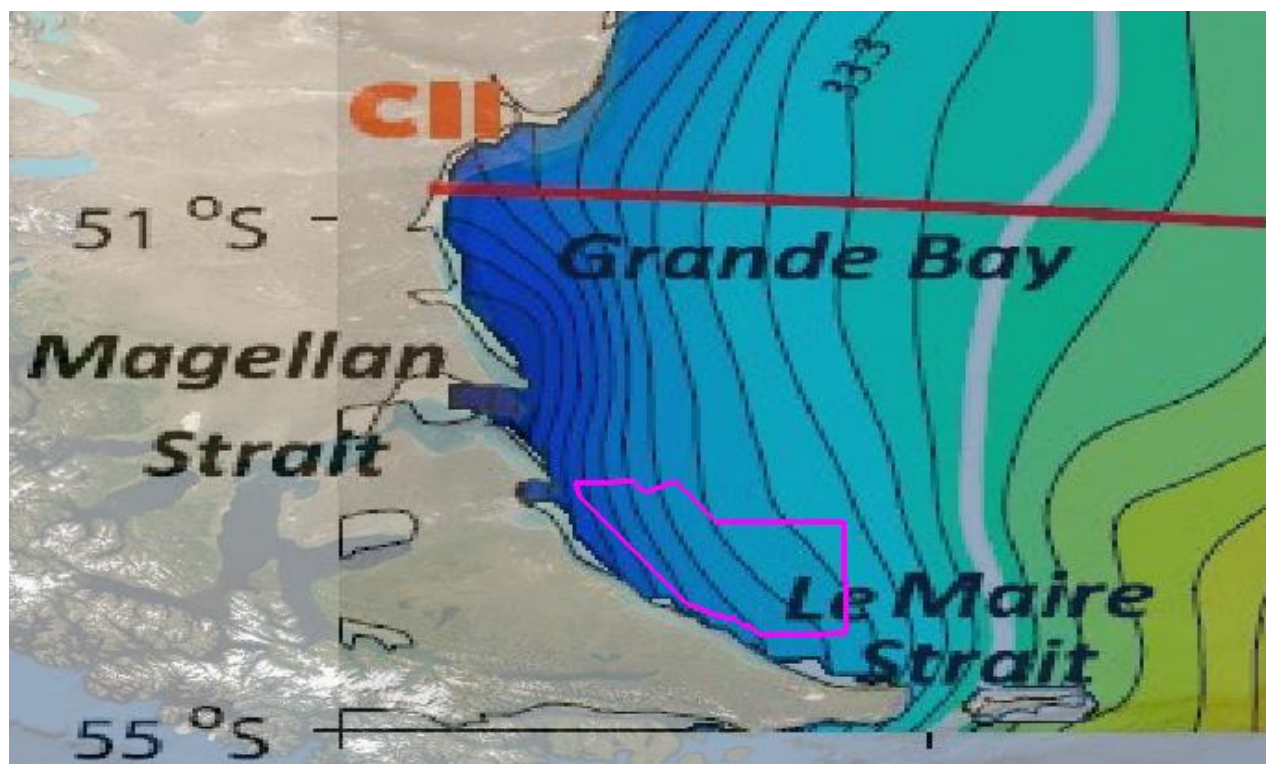


Figura 4. Campo climatológico de la salinidad superficial sobre imagen satelital. La isohalina de 33,5 (línea gruesa blanca) marca el límite de la influencia de la pluma de Magallanes. El polígono magenta representa la zona de operaciones del proyecto. Fuente: modificado de Palma y Matano (2012).

Se analizaron los perfiles de temperatura y salinidad del modelo del Programa Copernicus en un conjunto de 5 puntos para apreciar su variabilidad y finalmente se seleccionaron tres de ellos para ilustrar las condiciones correspondientes a las zonas de menor y mayor profundidad en el área de estudio.

Los puntos en los que se presentan los perfiles de temperatura y salinidad del modelo del Programa Copernicus se muestran en la Figura 5 (dos ubicados en aguas someras: P1 (COP-Som-a) y P5 (COP-Som-b) y uno en el borde offshore del área de operaciones: P3 (COP-Prof).

Los perfiles se obtuvieron para los meses de enero, abril, julio y octubre como representativos de las estaciones verano, otoño, invierno y primavera respectivamente. Los mismos se muestran en las siguientes figuras:

- Perfiles de temperatura para los meses enero, abril, julio y octubre de los años 2016, 2017, 2018 y 2019 en los puntos P1 (COP-Som-a) en la Figura 6, P5 (COP-Som-b) en la Figura 10 y P3 (COP-Prof) en la Figura 14.
- Perfiles de salinidad para los meses enero, abril, julio y octubre de los años 2016, 2017, 2018 y 2019 en los puntos P1 (COP-Som-a) en la Figura 7, P5 (COP-Som-b) en la Figura 11 y P3 (COP-Prof) en la Figura 15.
- Comparación y promedio para los años 2016, 2017, 2018 y 2019 de perfiles de temperatura para los meses enero, abril, julio y octubre en el P1 (COP-Som-a) (Figura 8), P5 (COP-Som-b) (Figura 12) y P3 (COP-Prof) (Figura 16).



- Comparación y promedio para los años 2016, 2017, 2018 y 2019 de perfiles de salinidad para los meses enero, abril, julio y octubre en el Punto P1 (COP-Som-a) (Figura 9), P5 (COP-Som-b) (Figura 13) y P3 (COP-Prof) (Figura 17).

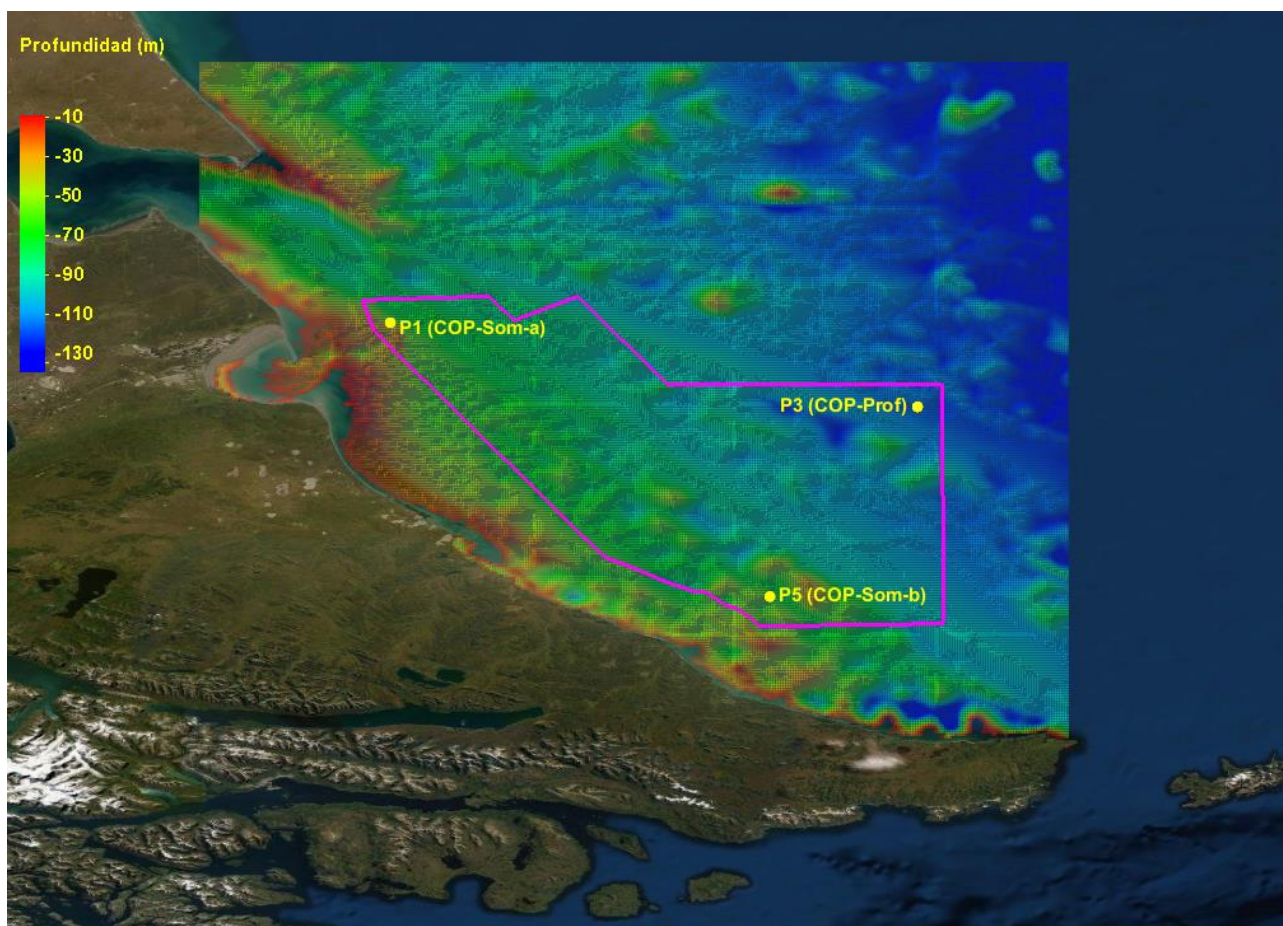


Figura 5. Ubicación de los puntos de extracción de perfiles de temperatura y salinidad del modelo del Programa Copernicus. Se muestra la batimetría GEBCO sobre imagen satelital. El polígono magenta representa la zona de operaciones del proyecto.



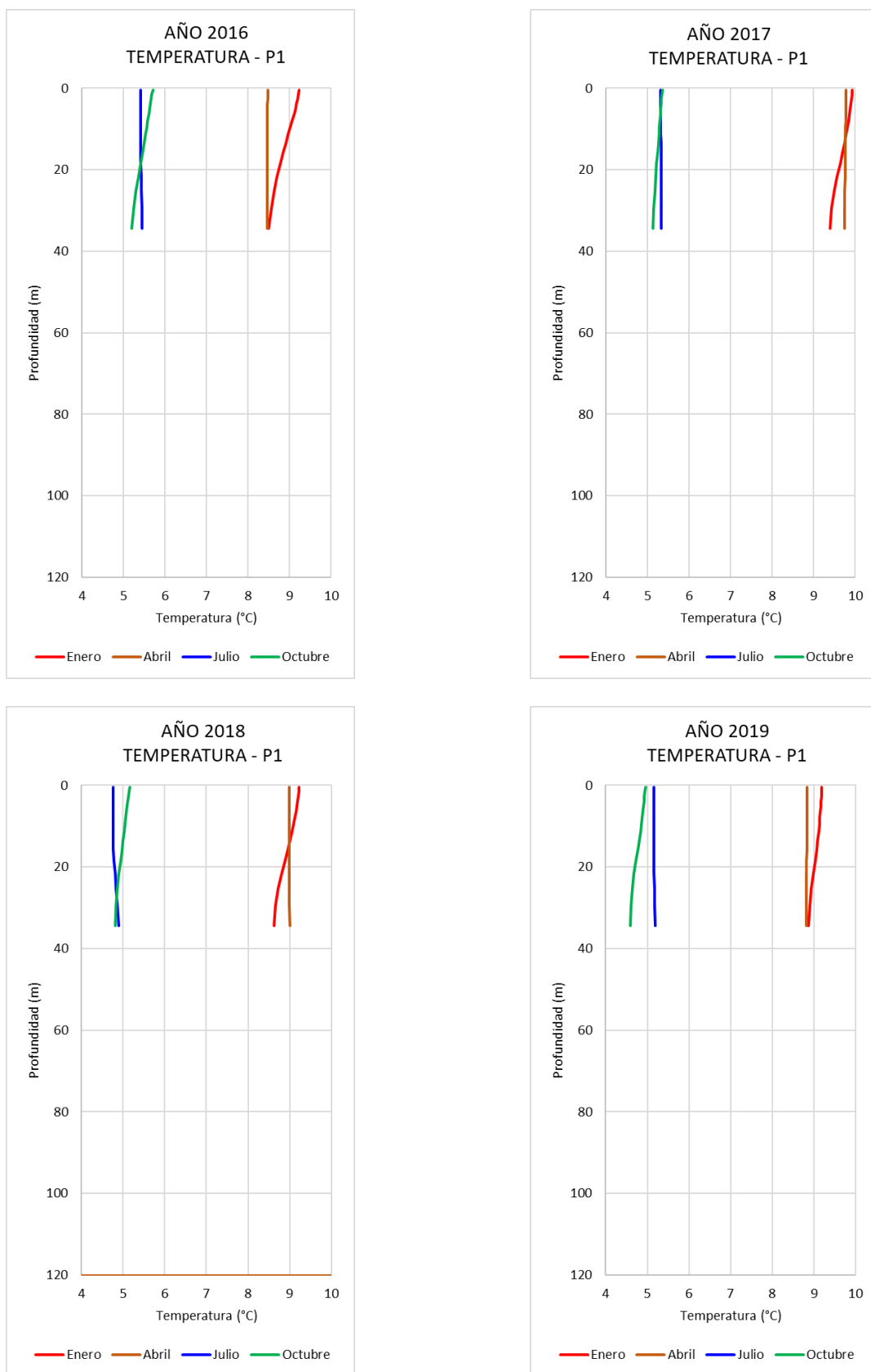
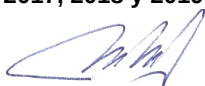


Figura 6. Perfiles de temperatura extraídos del modelo GLOBAL_ANALYSIS_FORECAST_PHY_001_024 del Programa Copernicus en el Punto P1 (COP-Som-a) para los meses enero, abril, julio y octubre de los años 2016, 2017, 2018 y 2019.



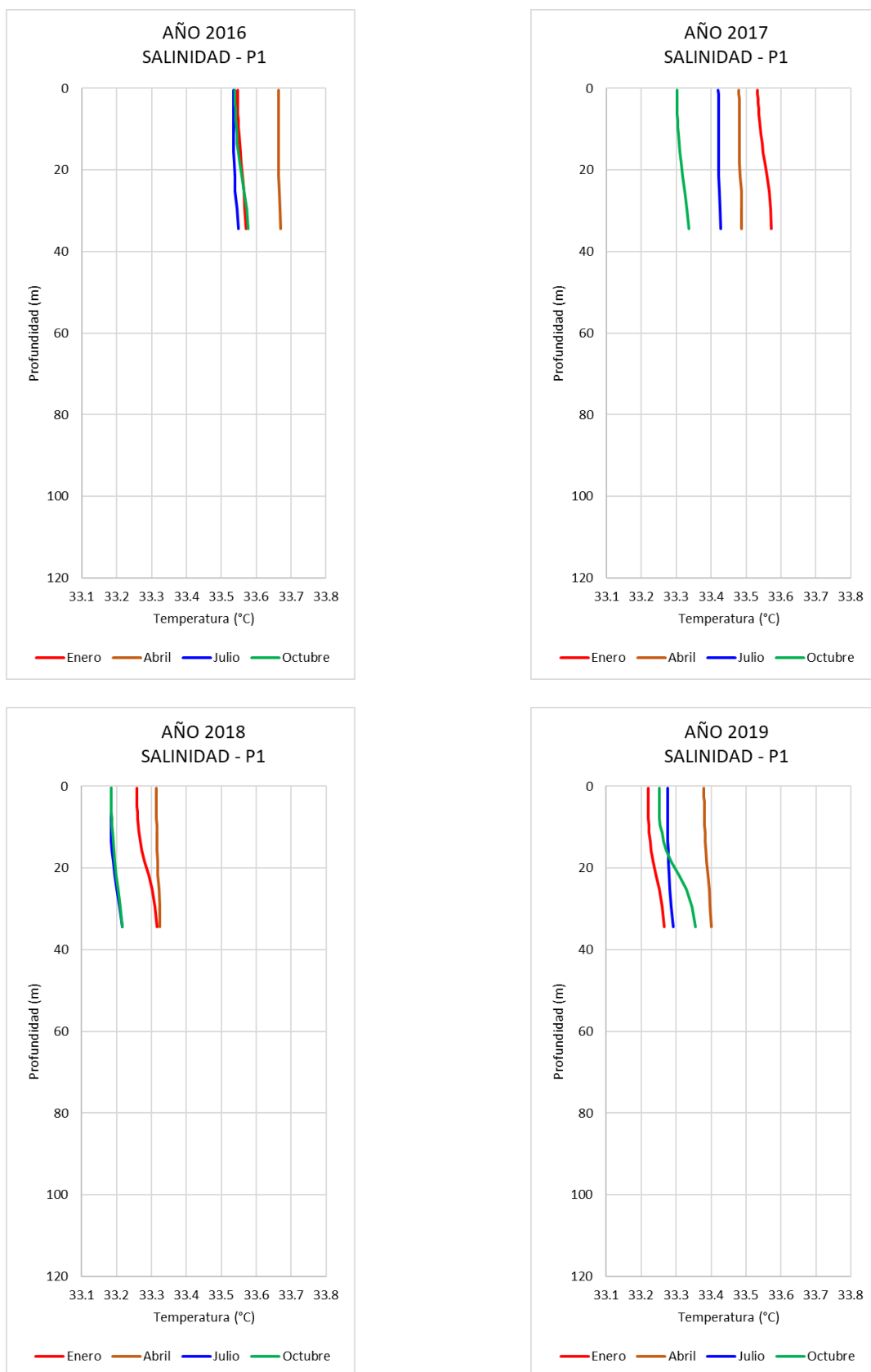
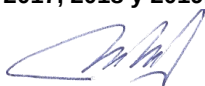


Figura 7. Perfiles de salinidad extraídos del modelo GLOBAL_ANALYSIS_FORECAST_PHY_001_024 del Programa Copernicus en el Punto P1 (COP-Som-a) para los meses enero, abril, julio y octubre de los años 2016, 2017, 2018 y 2019.



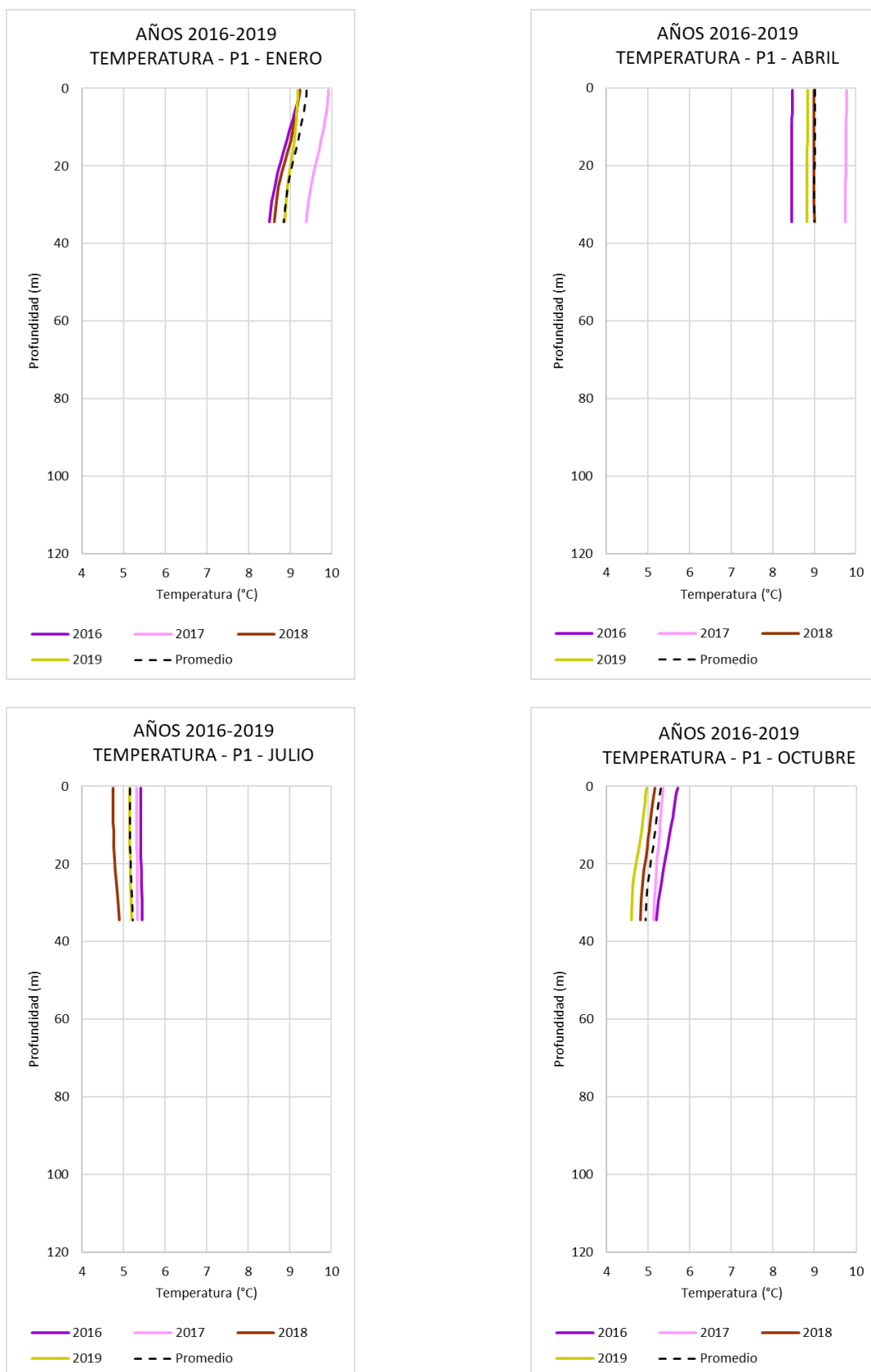


Figura 8. Comparación y promedio para los años 2016, 2017, 2018 y 2019 de perfiles de temperatura extraídos del modelo GLOBAL_ANALYSIS_FORECAST_PHY_001_024 del Programa Copernicus en el Punto P1 (COP-Som-a) para los meses enero, abril, julio y octubre.



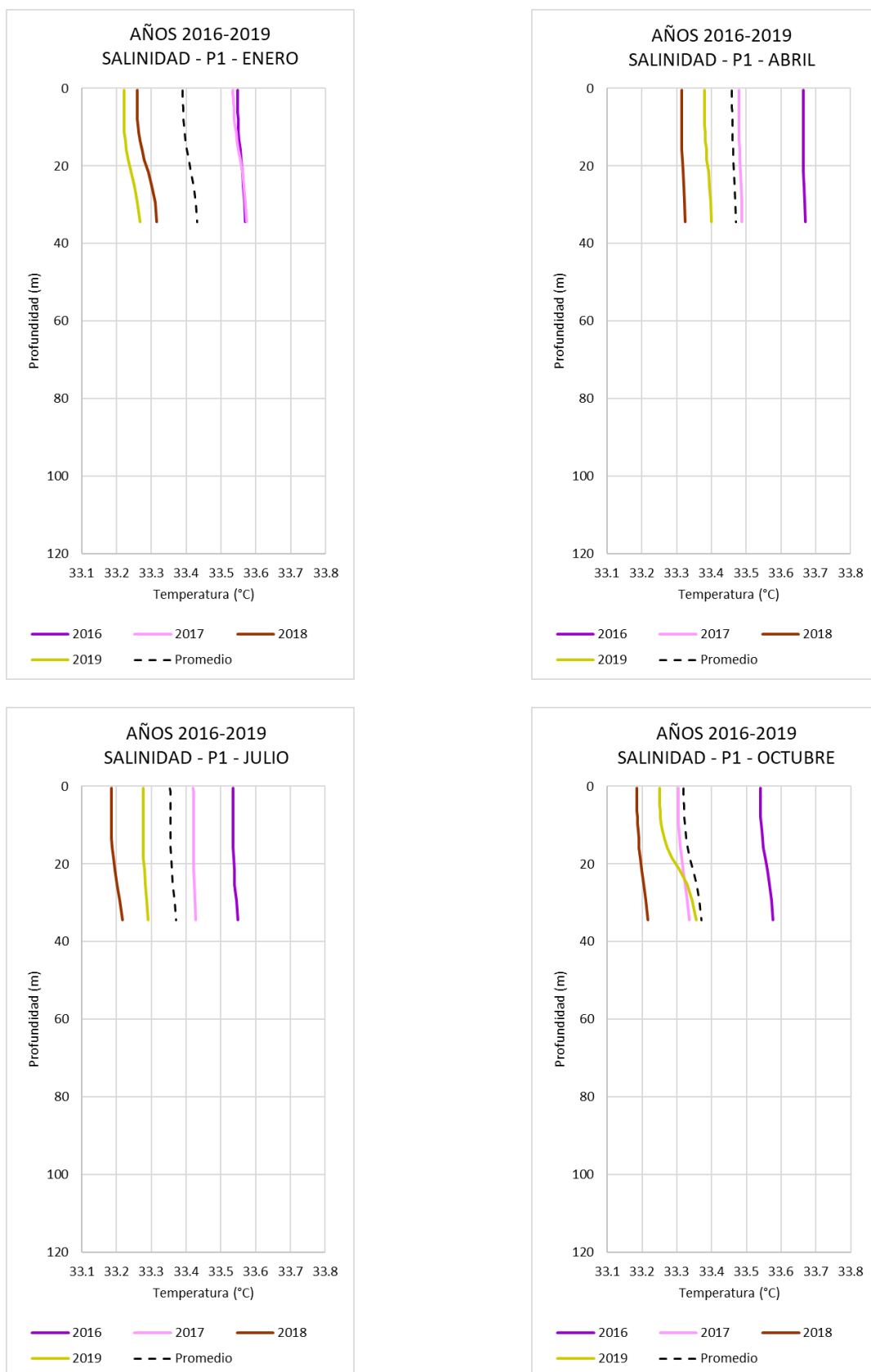


Figura 9. Comparación y promedio para los años 2016, 2017, 2018 y 2019 de perfiles de salinidad extraídos del modelo GLOBAL_ANALYSIS_FORECAST_PHY_001_024 del Programa Copernicus en el Punto P1 (COP-Som-a) para los meses enero, abril, julio y octubre.



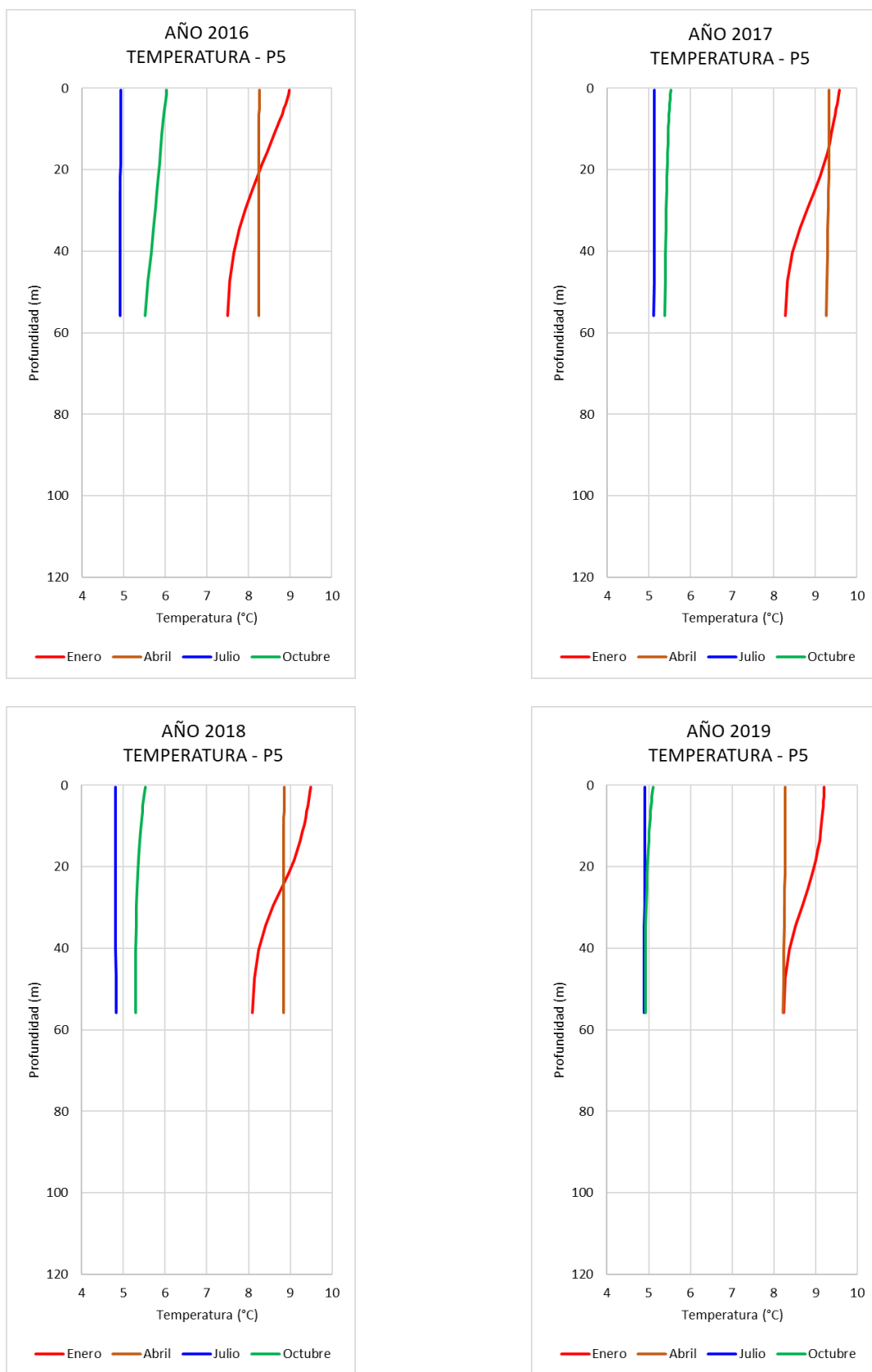


Figura 10. Perfiles de temperatura extraídos del modelo GLOBAL_ANALYSIS_FORECAST_PHY_001_024 del Programa Copernicus en el Punto P5 (COP-Som-b) para los meses enero, abril, julio y octubre de los años 2016, 2017, 2018 y 2019.



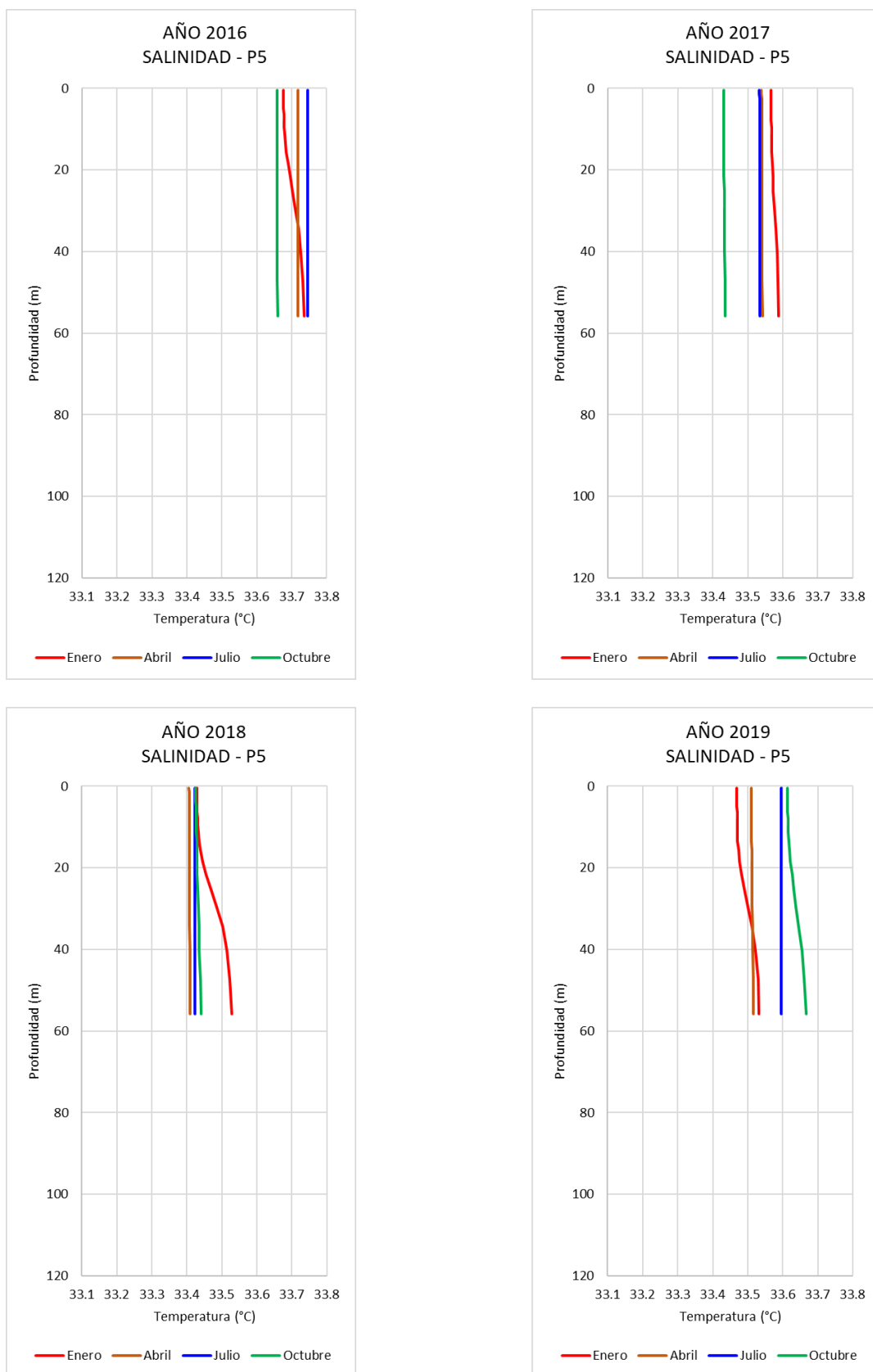


Figura 11. Perfiles de salinidad extraídos del modelo GLOBAL_ANALYSIS_FORECAST_PHY_001_024 del Programa Copernicus en el Punto P5 (COP-Som-b) para los meses enero, abril, julio y octubre de los años 2016, 2017, 2018 y 2019.



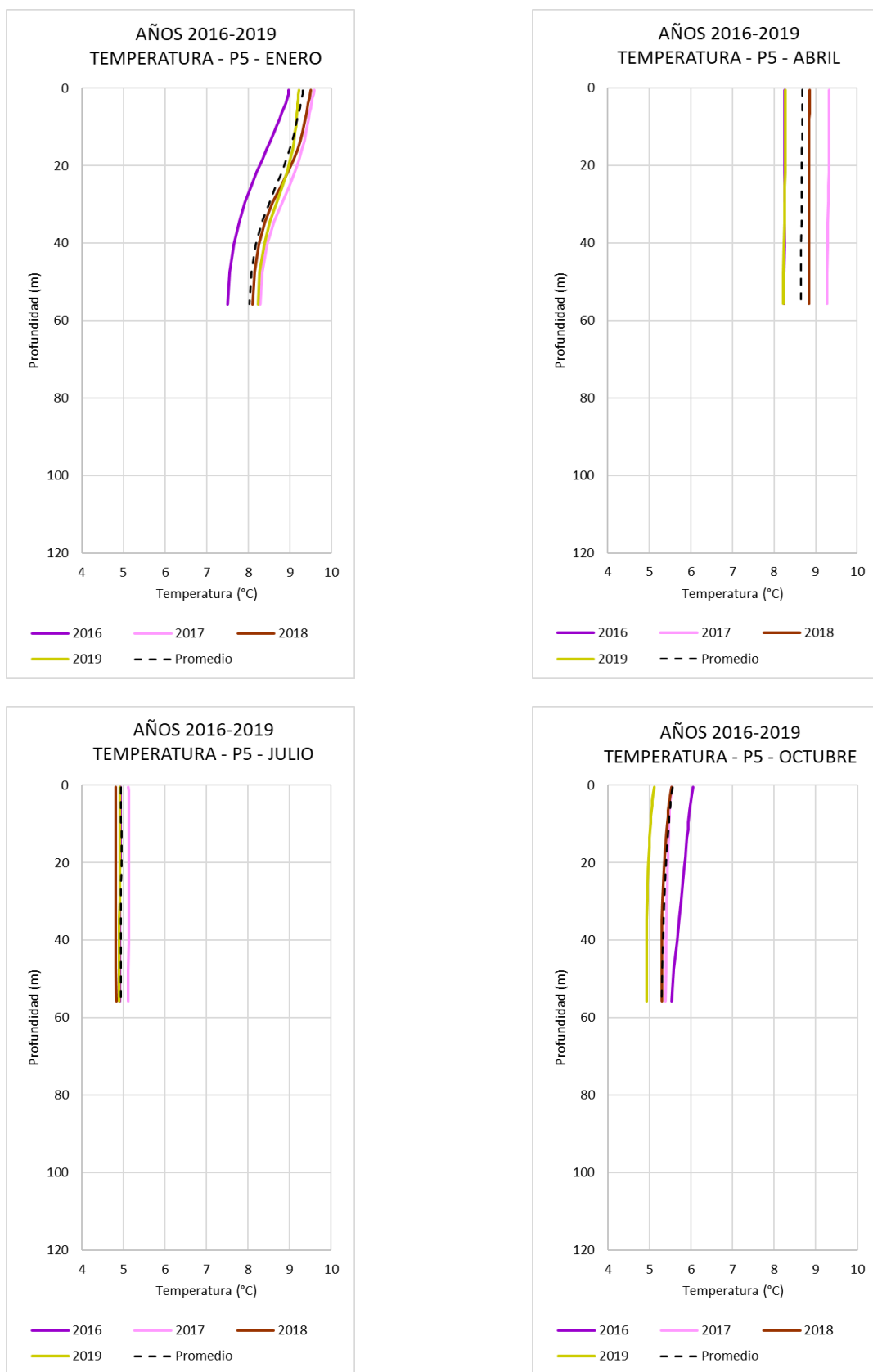


Figura 12. Comparación y promedio para los años 2016, 2017, 2018 y 2019 de perfiles de temperatura extraídos del modelo GLOBAL_ANALYSIS_FORECAST_PHY_001_024 del Programa Copernicus en el Punto P5 (COP-Som-b) para los meses enero, abril, julio y octubre.



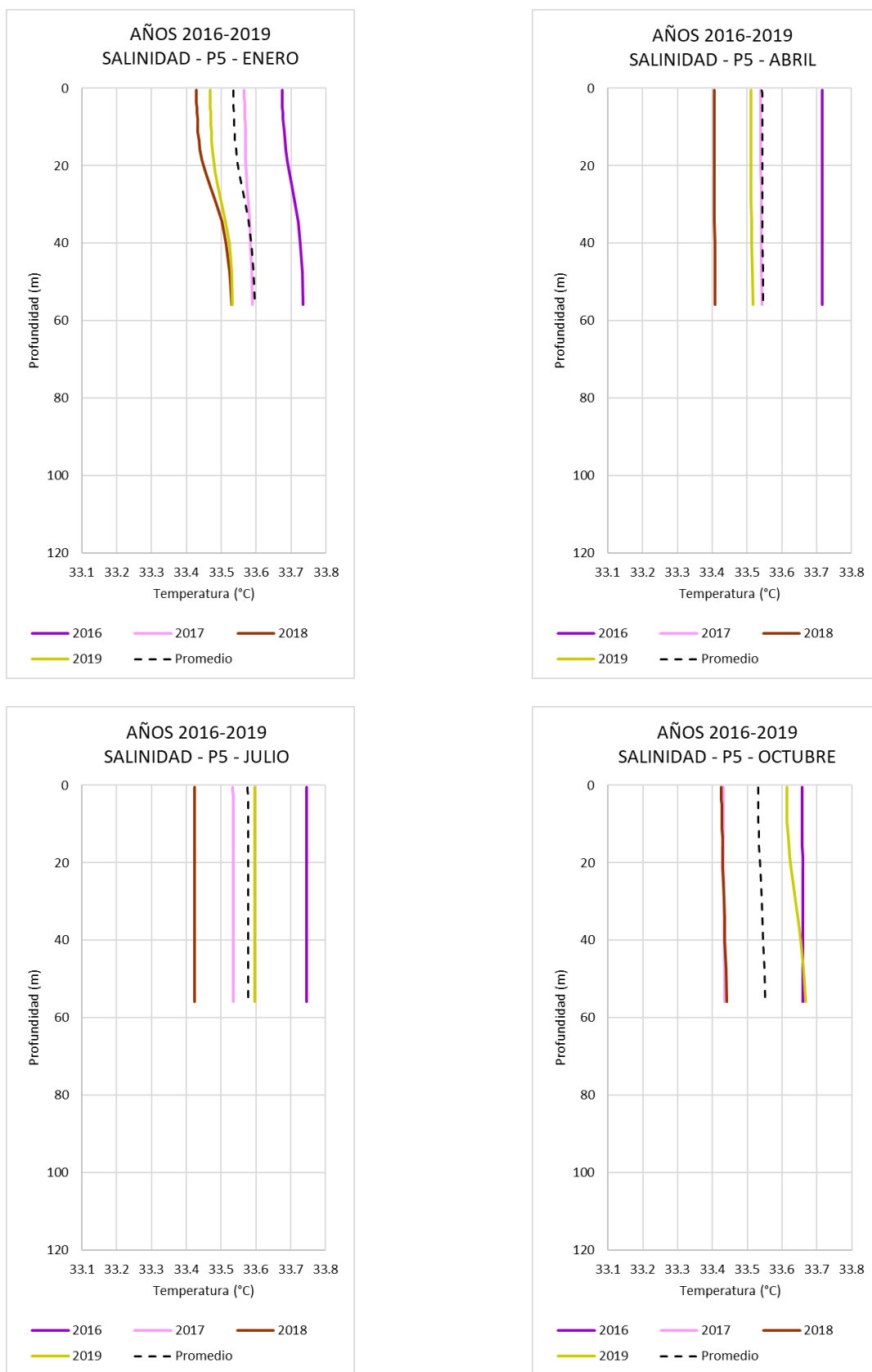


Figura 13. Comparación y promedio para los años 2016, 2017, 2018 y 2019 de perfiles de salinidad extraídos del modelo GLOBAL_ANALYSIS_FORECAST_PHY_001_024 del Programa Copernicus en el Punto P5 (COP-Som-b) para los meses enero, abril, julio y octubre.



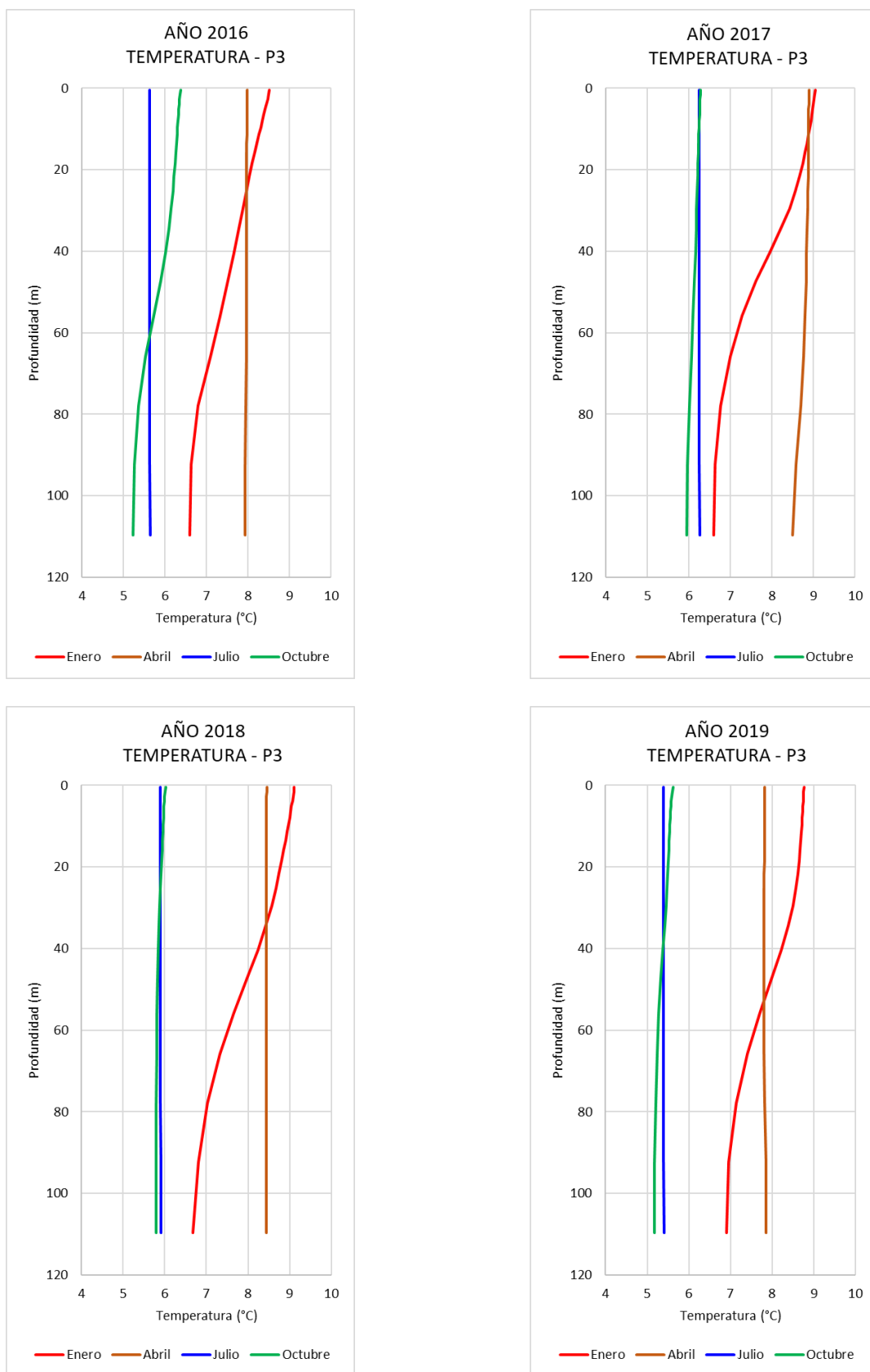
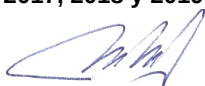


Figura 14. Perfiles de temperatura extraídos del modelo GLOBAL_ANALYSIS_FORECAST_PHY_001_024 del Programa Copernicus en el Punto P3 (COP-Prof) para los meses enero, abril, julio y octubre de los años 2016, 2017, 2018 y 2019.



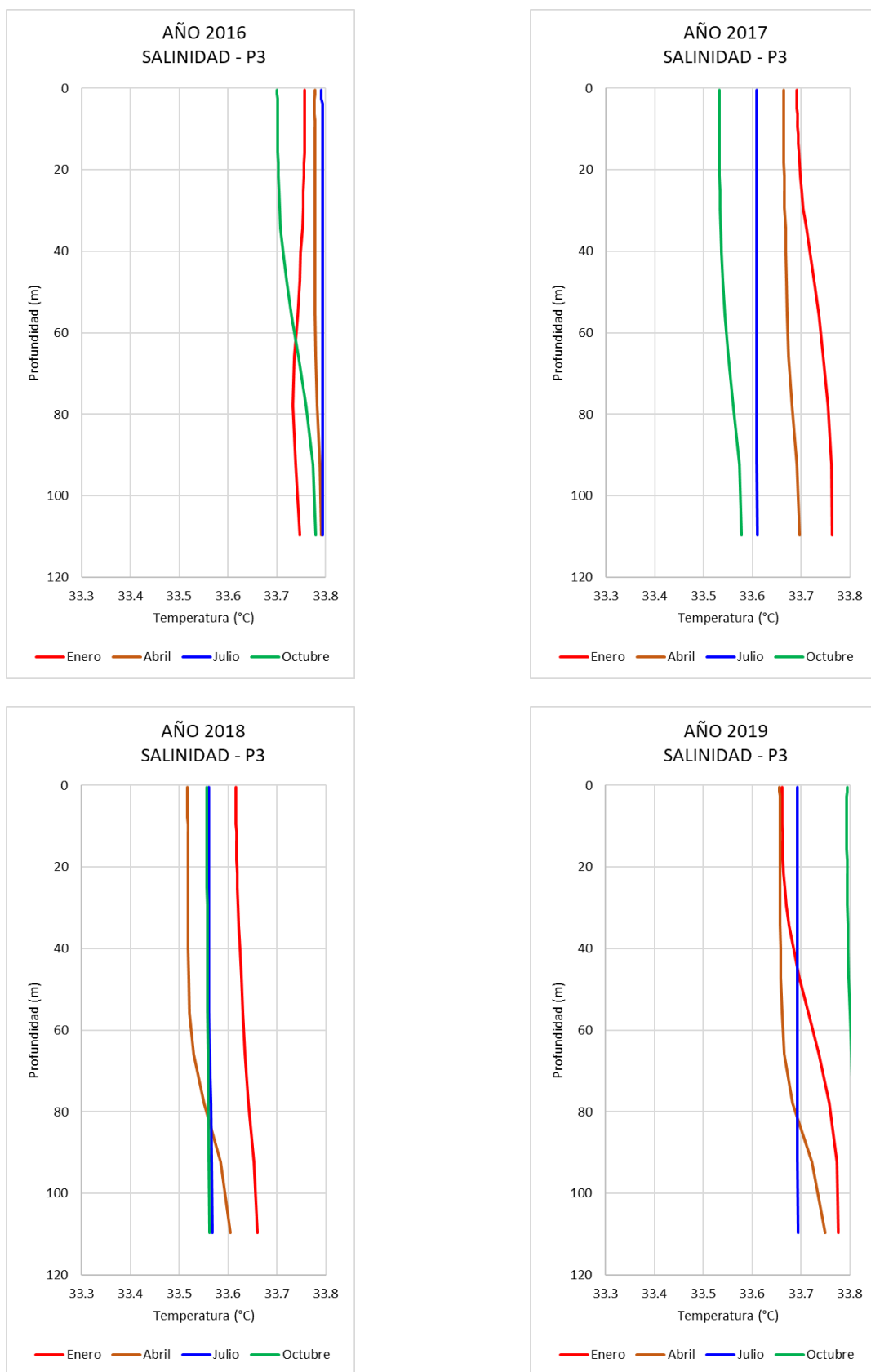
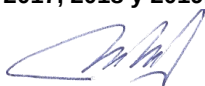


Figura 15. Perfiles de salinidad extraídos del modelo GLOBAL_ANALYSIS_FORECAST_PHY_001_024 del Programa Copernicus en el Punto P3 (COP-Prof) para los meses enero, abril, julio y octubre de los años 2016, 2017, 2018 y 2019.



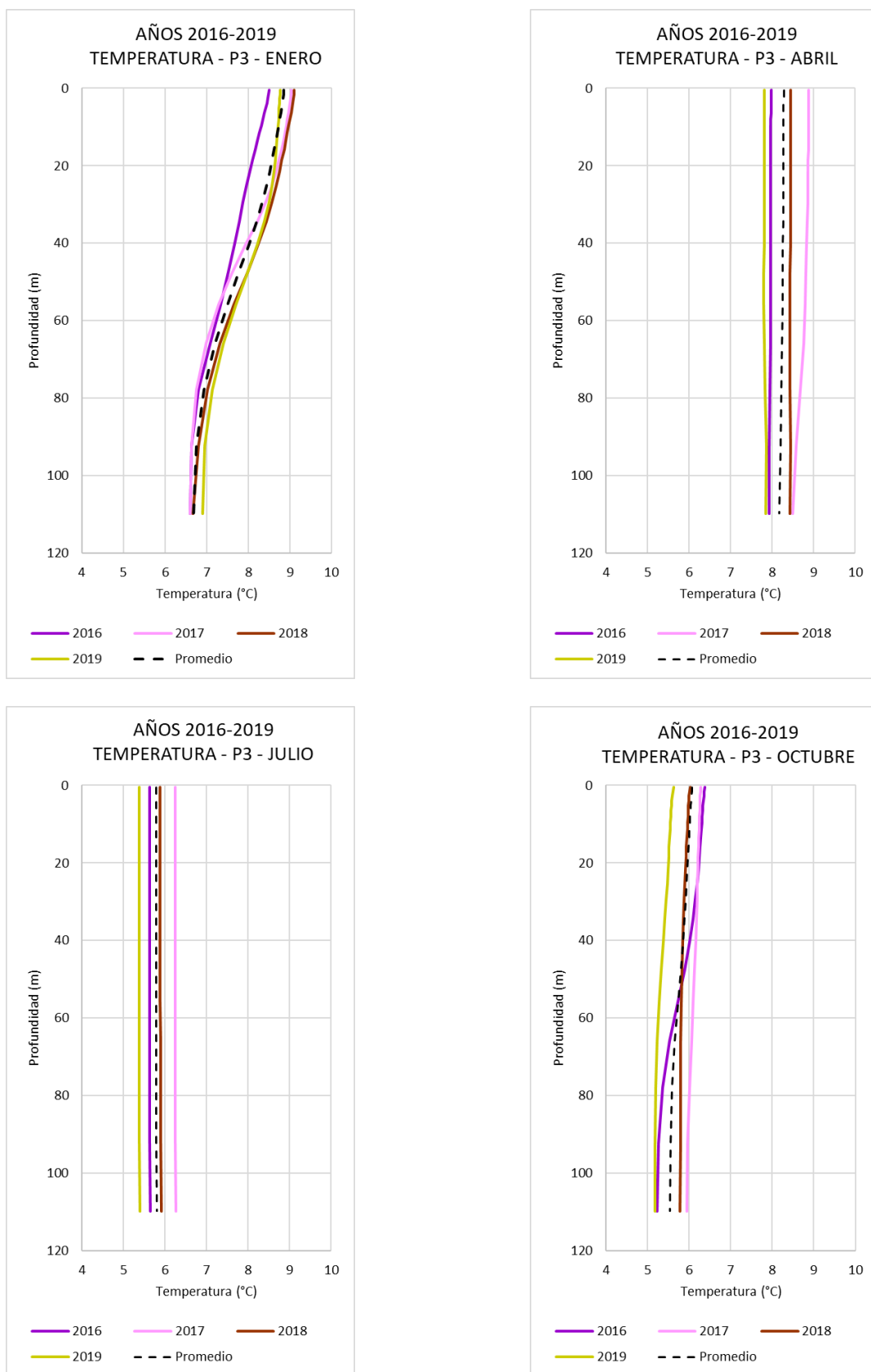
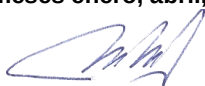


Figura 16. Comparación y promedio para los años 2016, 2017, 2018 y 2019 de perfiles de temperatura extraídos del modelo GLOBAL_ANALYSIS_FORECAST_PHY_001_024 del Programa Copernicus en el Punto P3 (COP-Prof) para los meses enero, abril, julio y octubre.



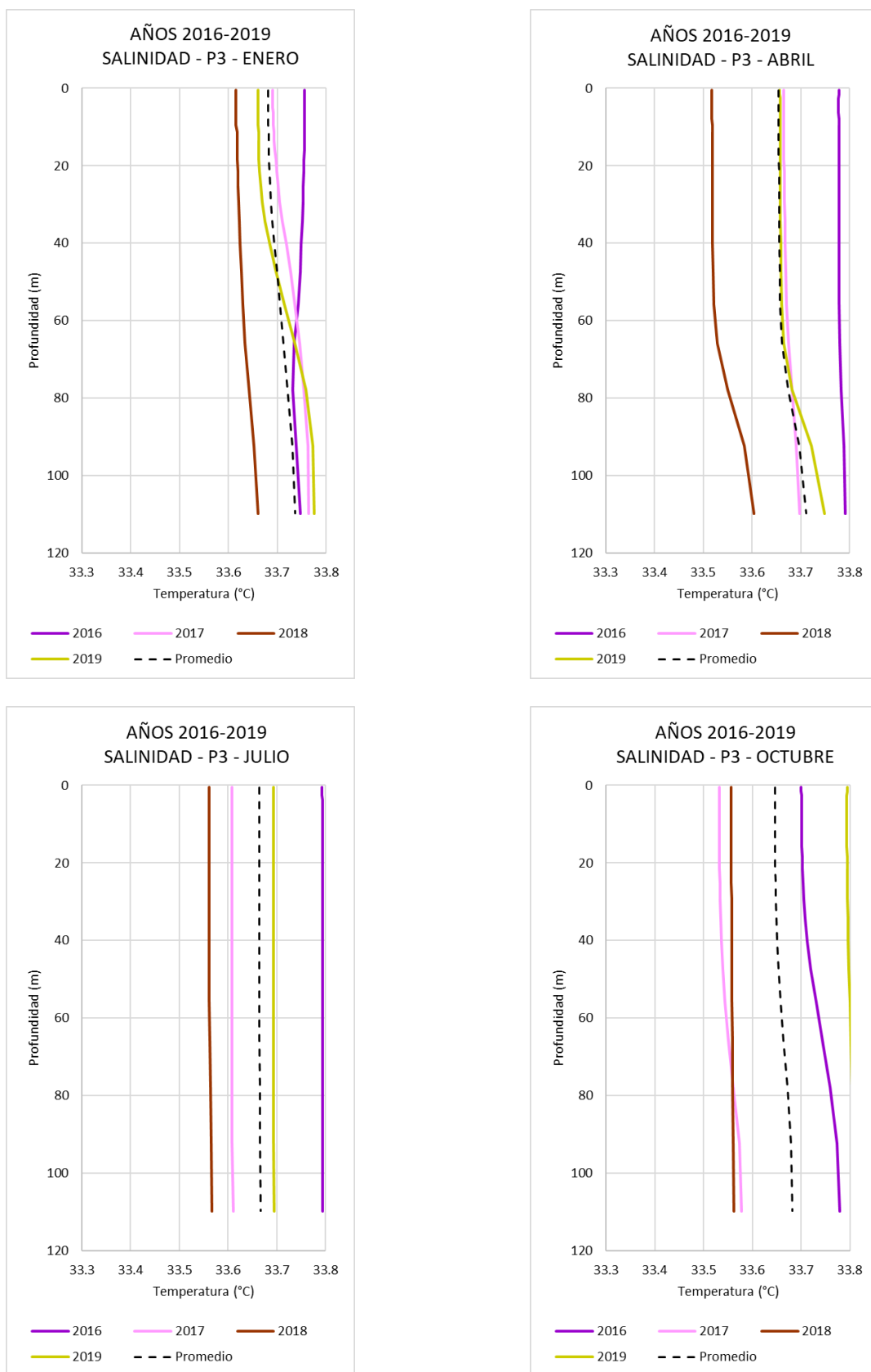


Figura 17. Comparación y promedio para los años 2016, 2017, 2018 y 2019 de perfiles de salinidad extraídos del modelo GLOBAL_ANALYSIS_FORECAST_PHY_001_024 del Programa Copernicus en el Punto P3 (COP-Prof) para los meses enero, abril, julio y octubre.



3 BASE DE DATOS WOD

De la World Ocean Database (WOD) se descargaron perfiles medidos de temperatura y salinidad para toda el área de operación del proyecto, en forma separada para cada estación del año.

La ubicación de dichos perfiles se presenta en la Figura 18.

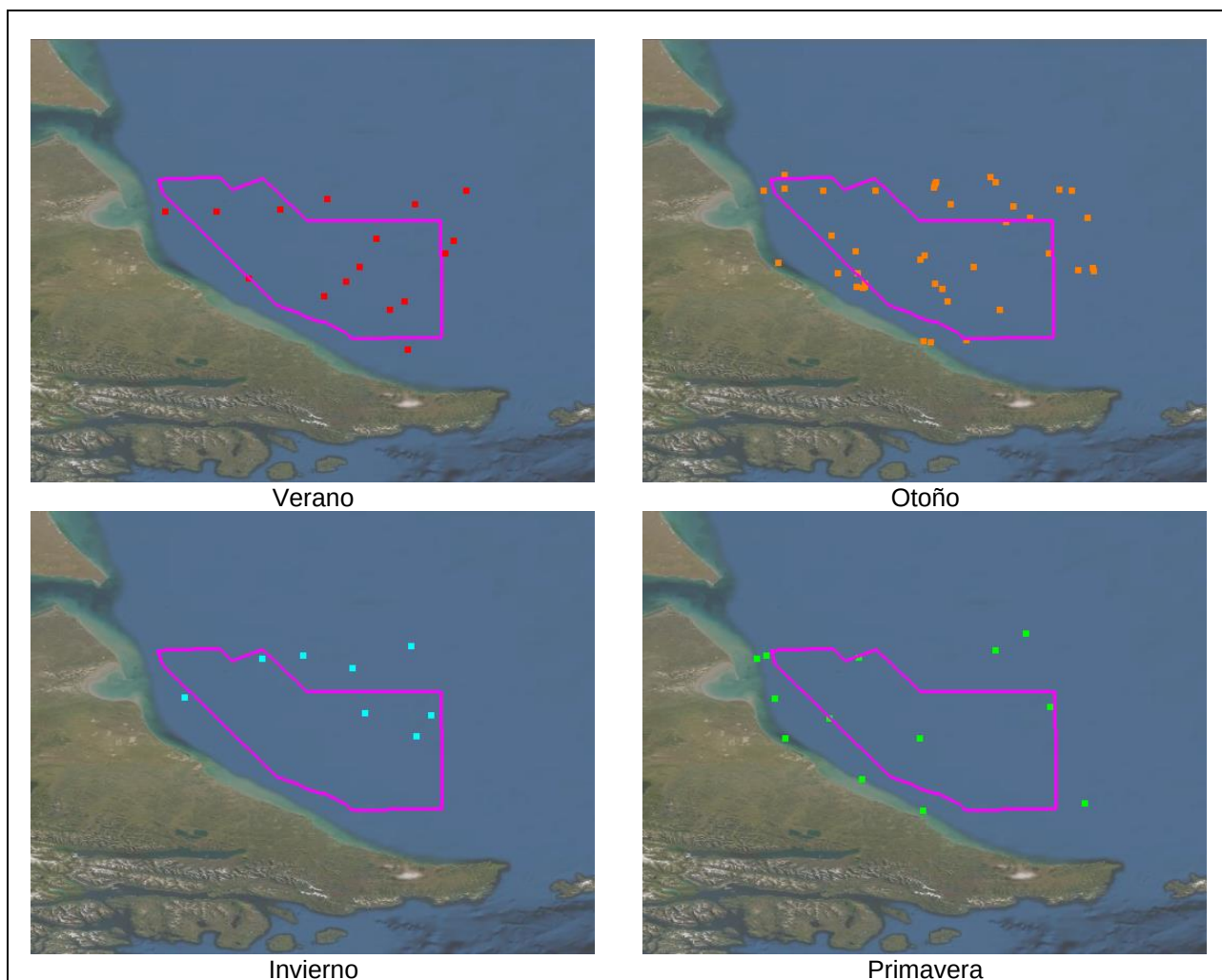


Figura 18. Ubicación de perfiles de temperatura y salinidad extraídos de la base de datos WOD para los meses de: diciembre, enero y febrero (verano); marzo, abril y mayo (otoño); junio, julio y agosto (invierno); septiembre, octubre y noviembre (primavera).

Para cada una de las estaciones del año se seleccionó un perfil en áreas profundas en el borde offshore del área de operaciones (salvo para el verano, que se seleccionaron dos) y un perfil en áreas someras cerca de la costa (Figura 19).



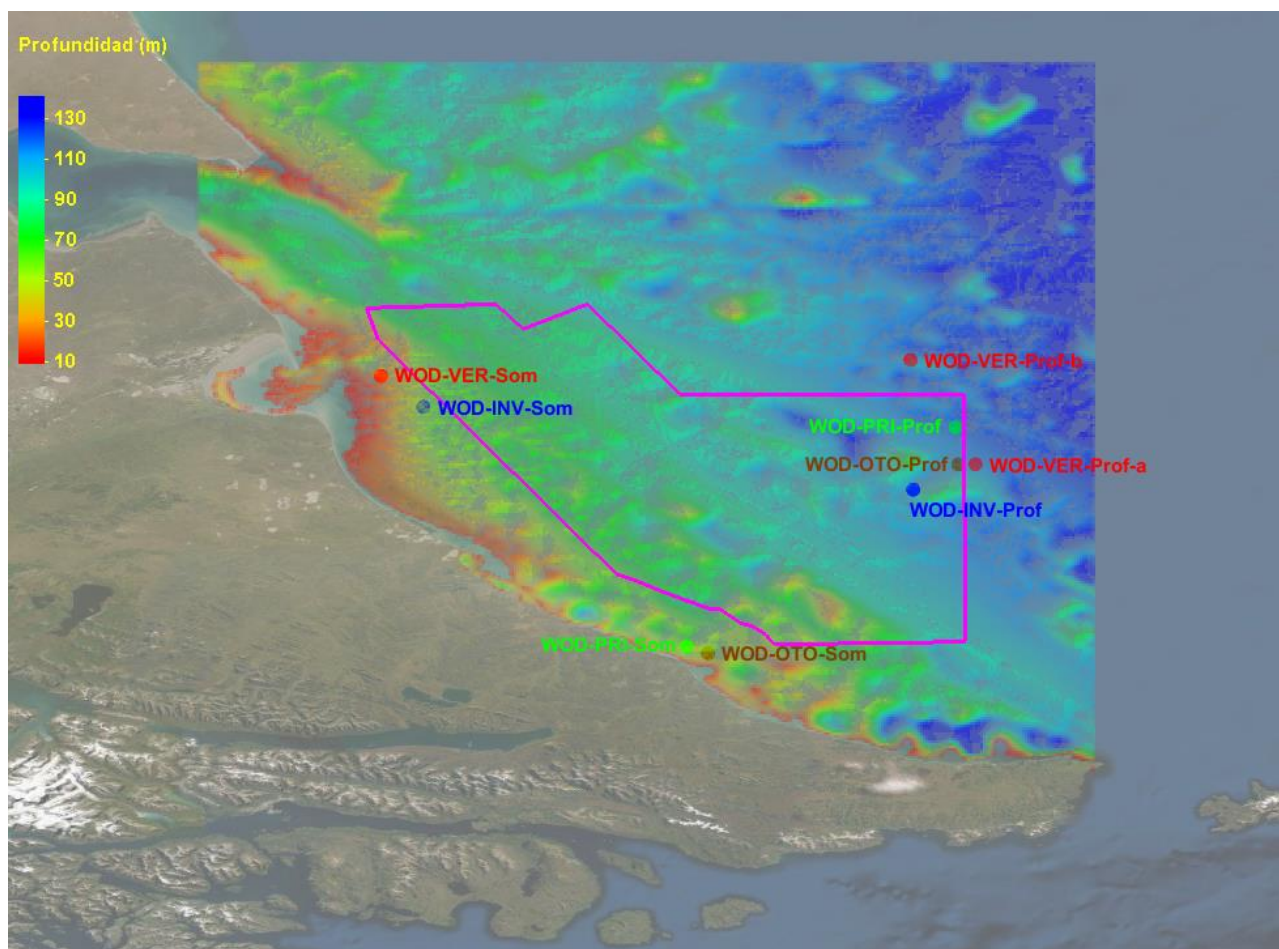


Figura 19. Ubicación de los perfiles de temperatura y salinidad de la base de datos WOD seleccionados para cada una de las estaciones del año. Se muestra la batimetría GEBCO sobre imagen satelital. El polígono magenta representa la zona de operaciones del proyecto.

Los perfiles extraídos se presentan en las figuras siguientes (resaltándose aquellos someros y profundos seleccionados para cada estación del año a los efectos de la modelación del ruido):

- Verano: perfiles medidos durante los meses de diciembre, enero y febrero (Figura 20: temperatura; Figura 21: salinidad)
- Otoño: perfiles medidos durante los meses de marzo, abril y mayo (Figura 22: temperatura; Figura 23: salinidad)
- Invierno: perfiles medidos durante los meses de junio, julio y agosto (Figura 24: temperatura; Figura 25: salinidad)
- Primavera: perfiles medidos durante los meses de septiembre, octubre y noviembre (Figura 26: temperatura; Figura 27: salinidad)



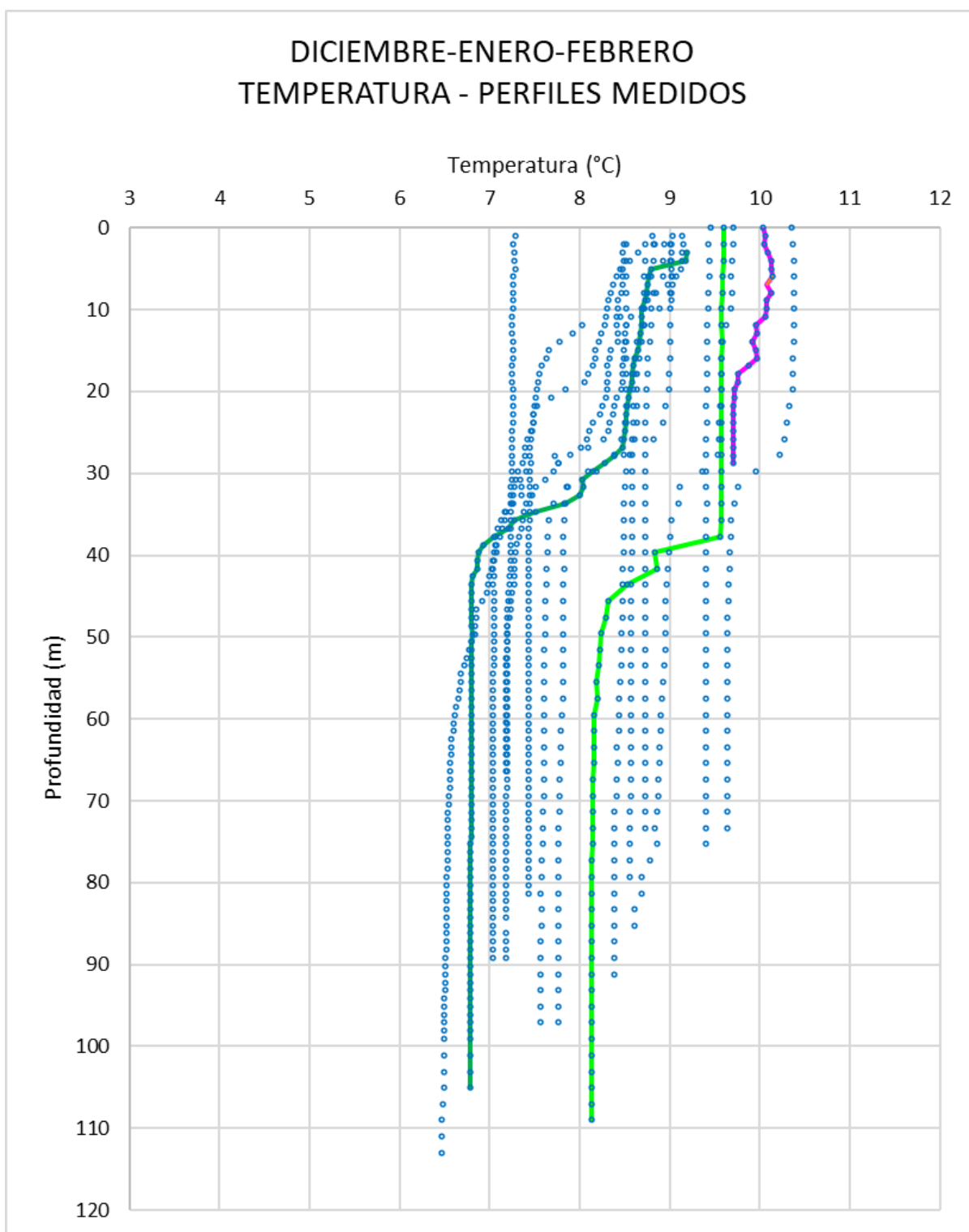


Figura 20. Perfiles de temperatura extraídos de la base de datos WOD para los meses diciembre, enero y febrero (verano).



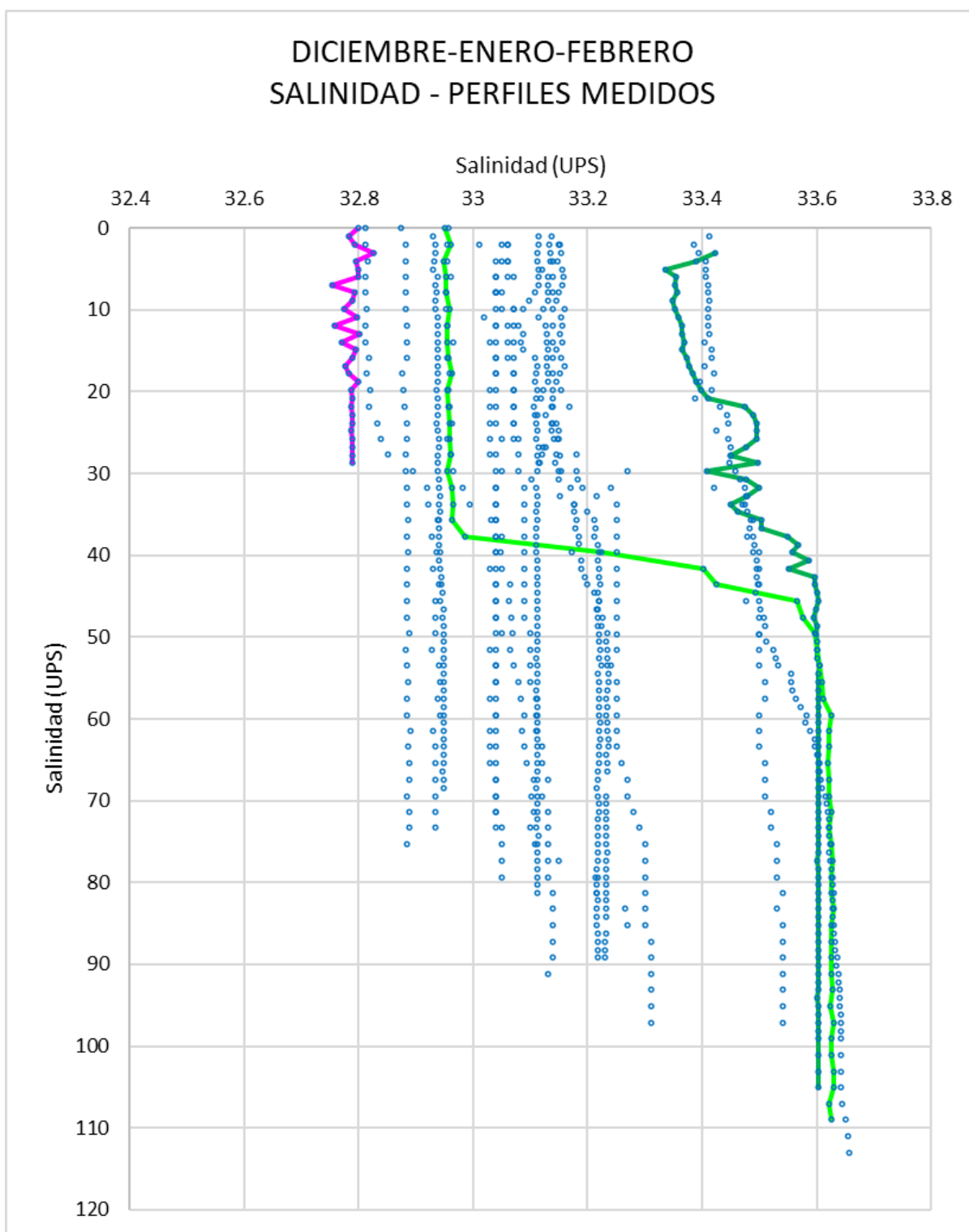


Figura 21. Perfiles de salinidad extraídos de la base de datos WOD para los meses diciembre, enero y febrero (verano).



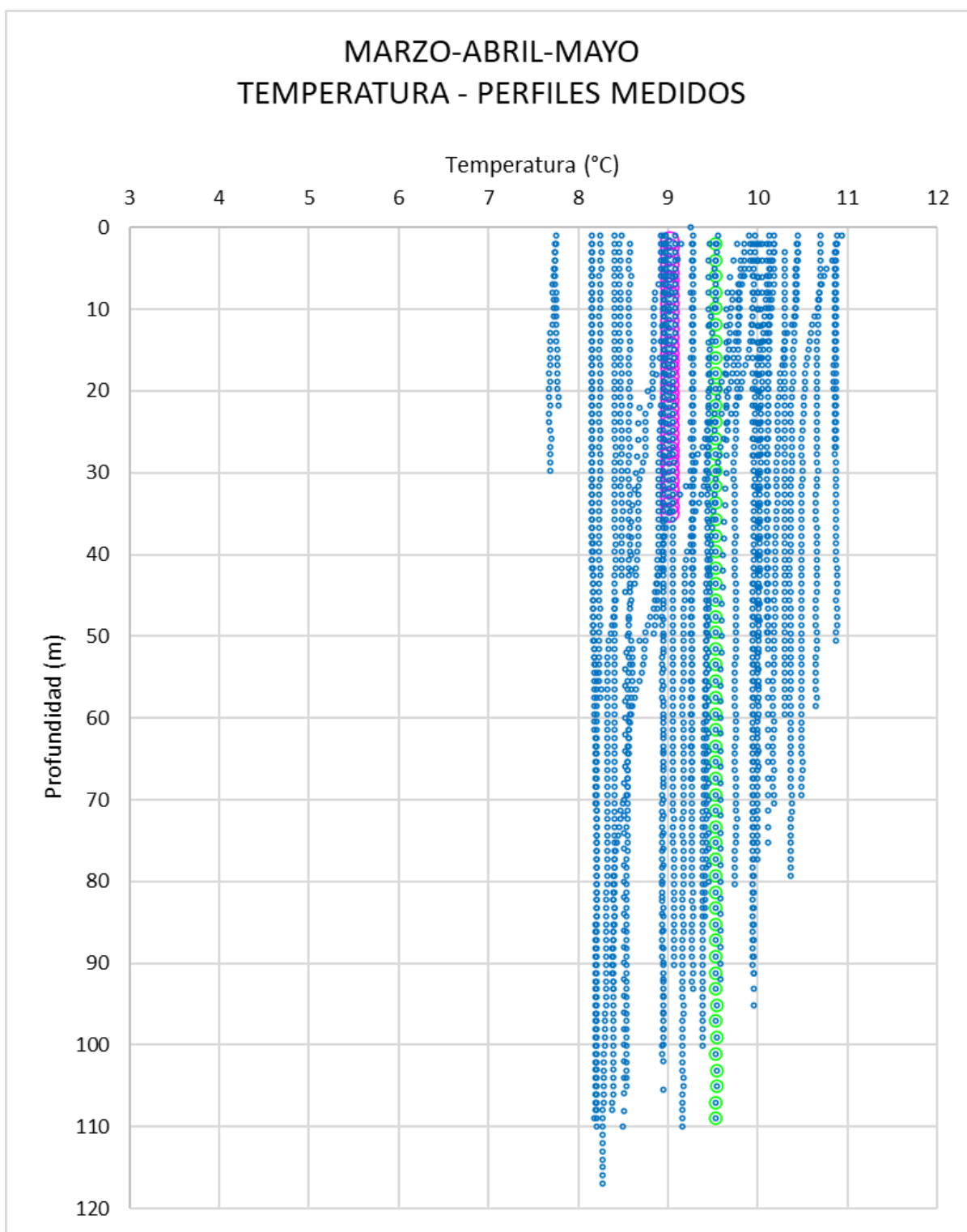


Figura 22. Perfiles de temperatura extraídos de la base de datos WOD para los meses marzo, abril y mayo (otoño).



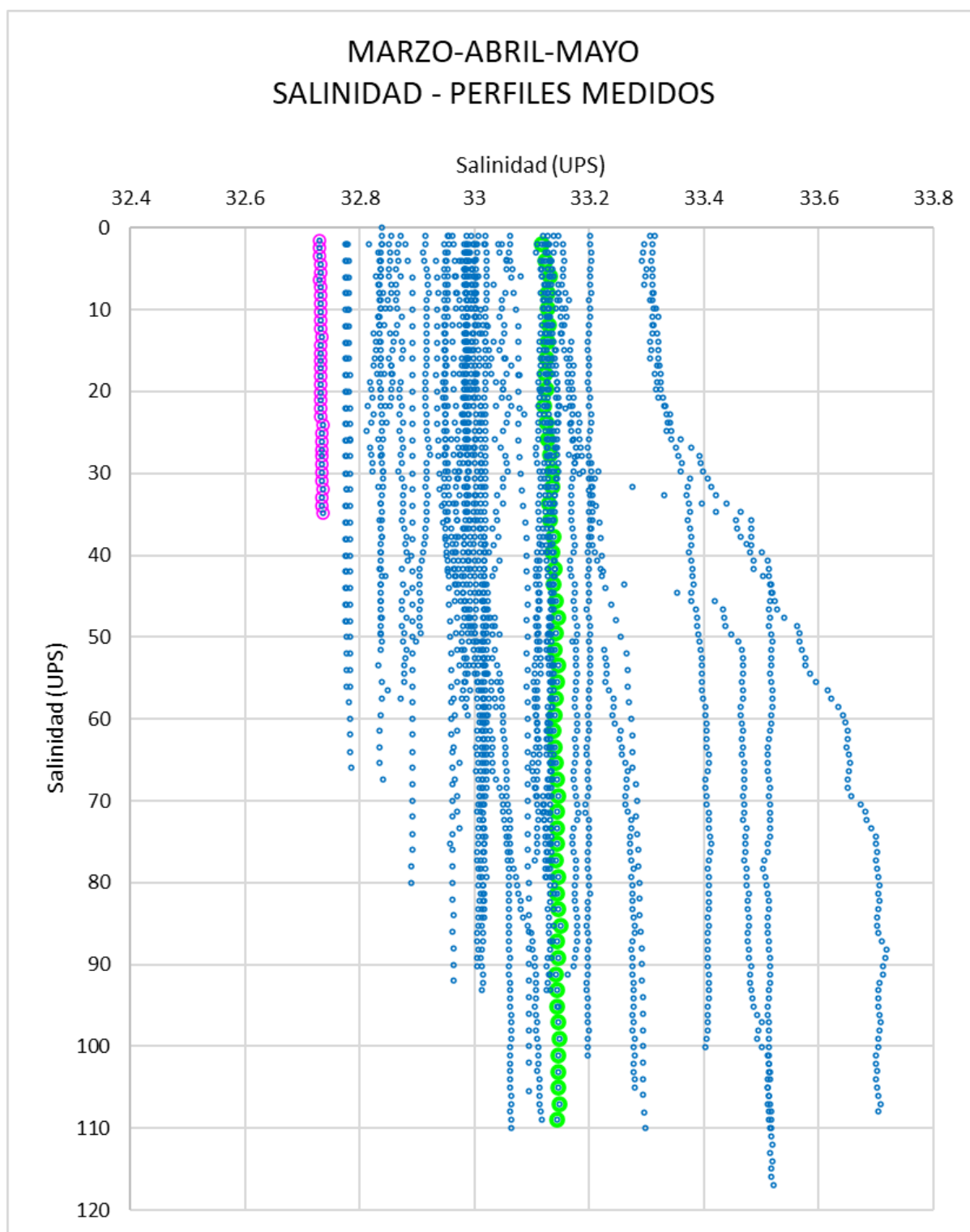


Figura 23. Perfiles de salinidad extraídos de la base de datos WOD para los meses marzo, abril y mayo (otoño).



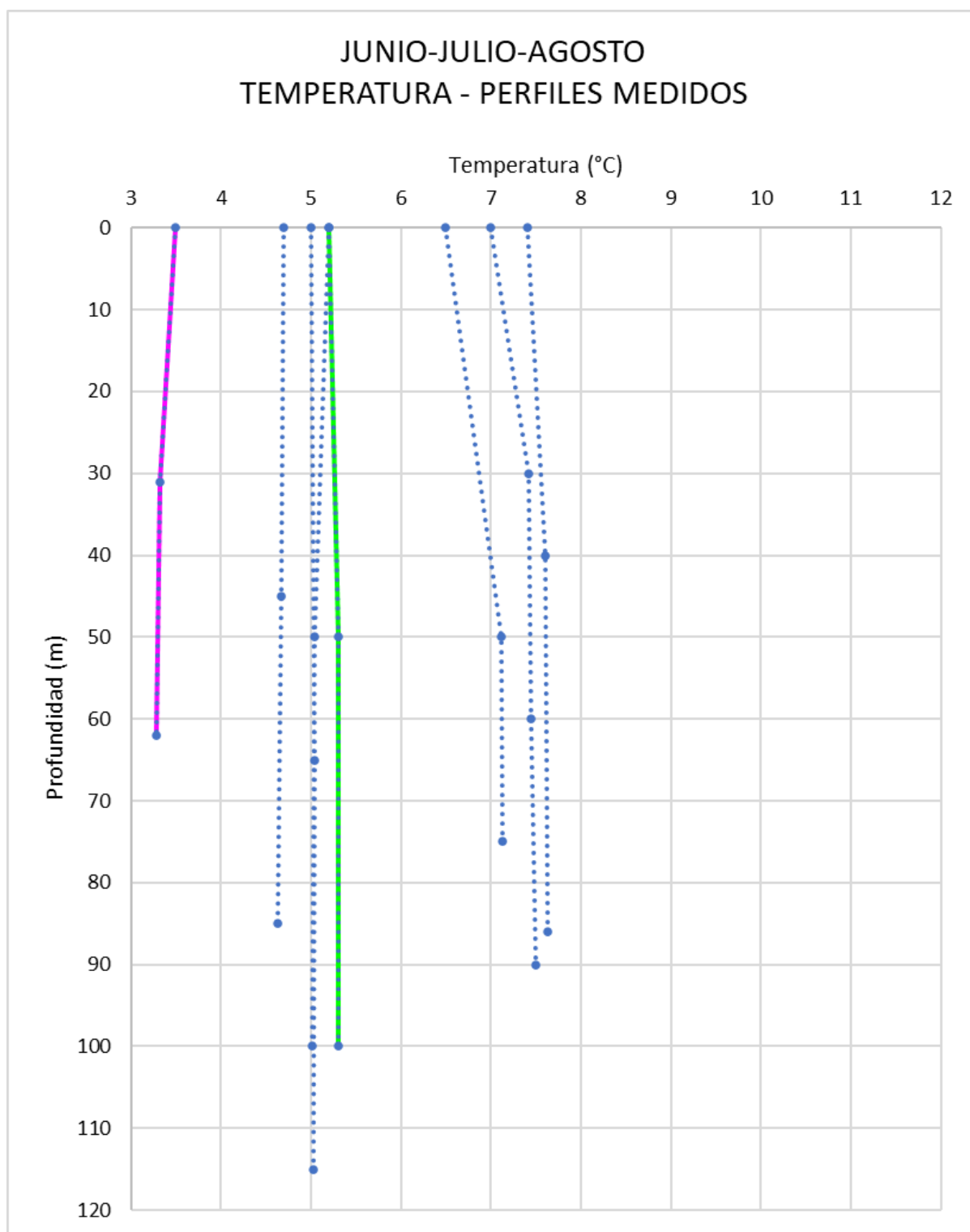


Figura 24. Perfiles de temperatura extraídos de la base de datos WOD para los meses junio, julio y agosto (invierno).



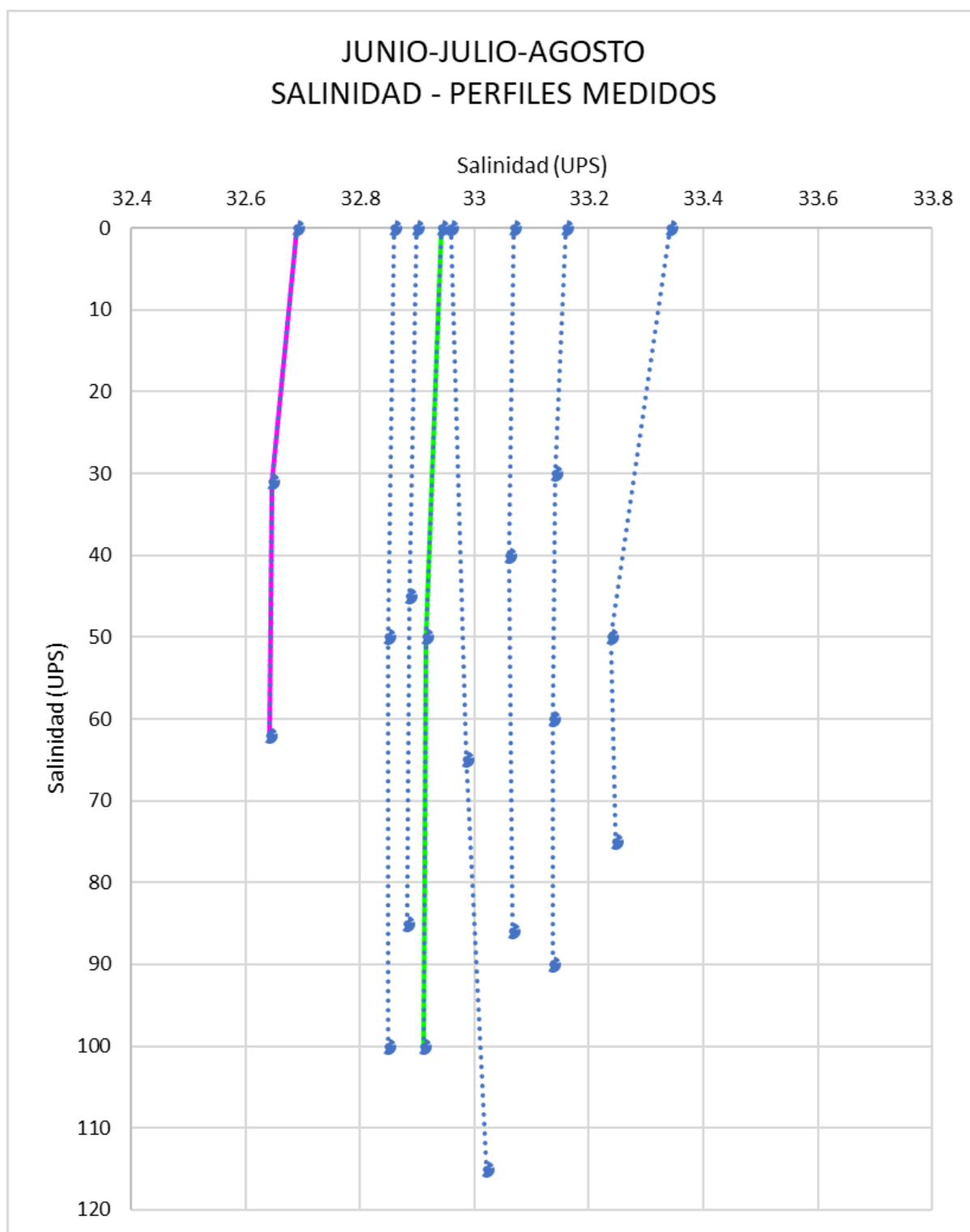


Figura 25. Perfiles de salinidad extraídos de la base de datos WOD para los meses junio, julio y agosto (invierno).



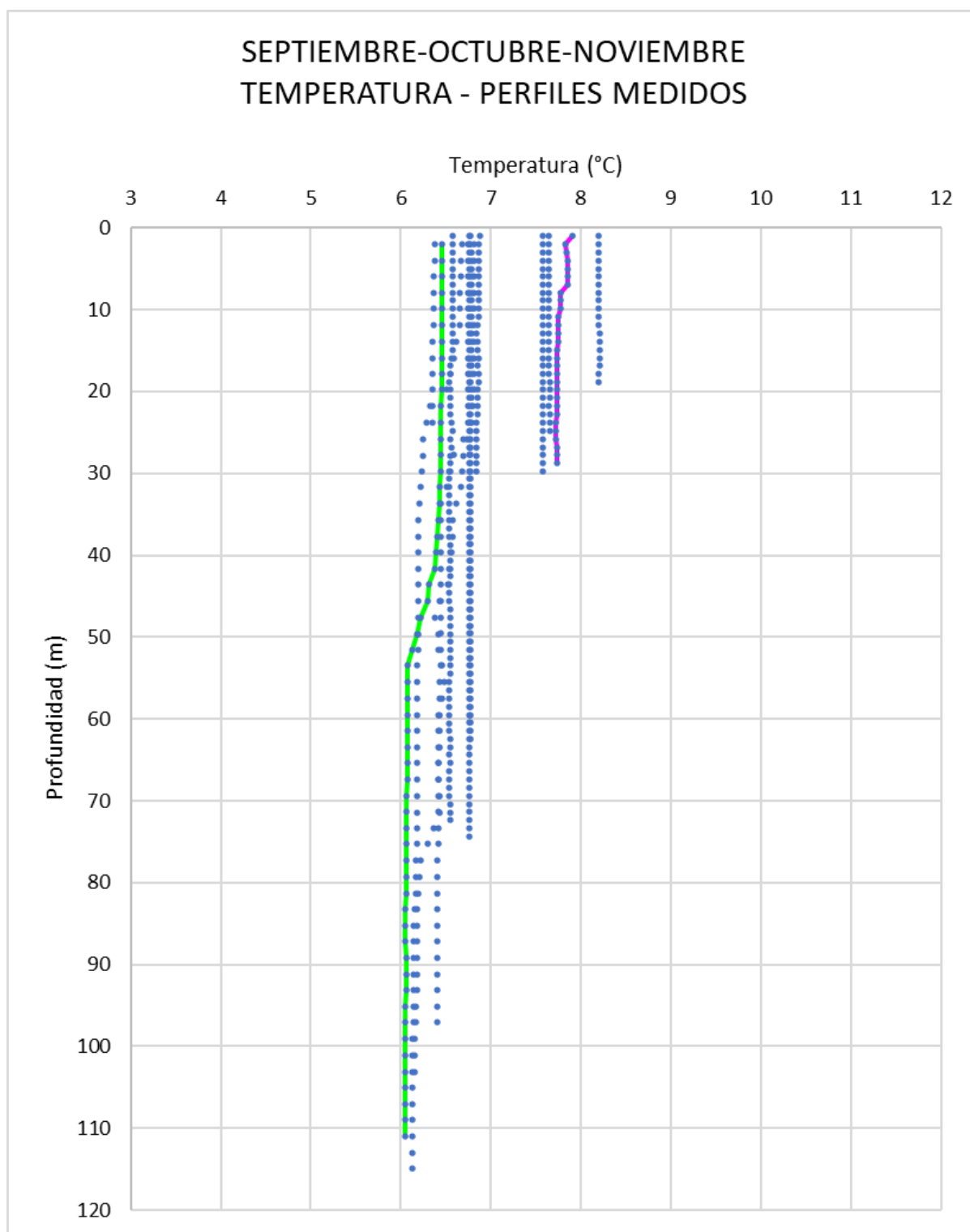


Figura 26. Perfiles de temperatura extraídos de la base de datos WOD para los meses septiembre, octubre y noviembre (primavera).

[Signature]

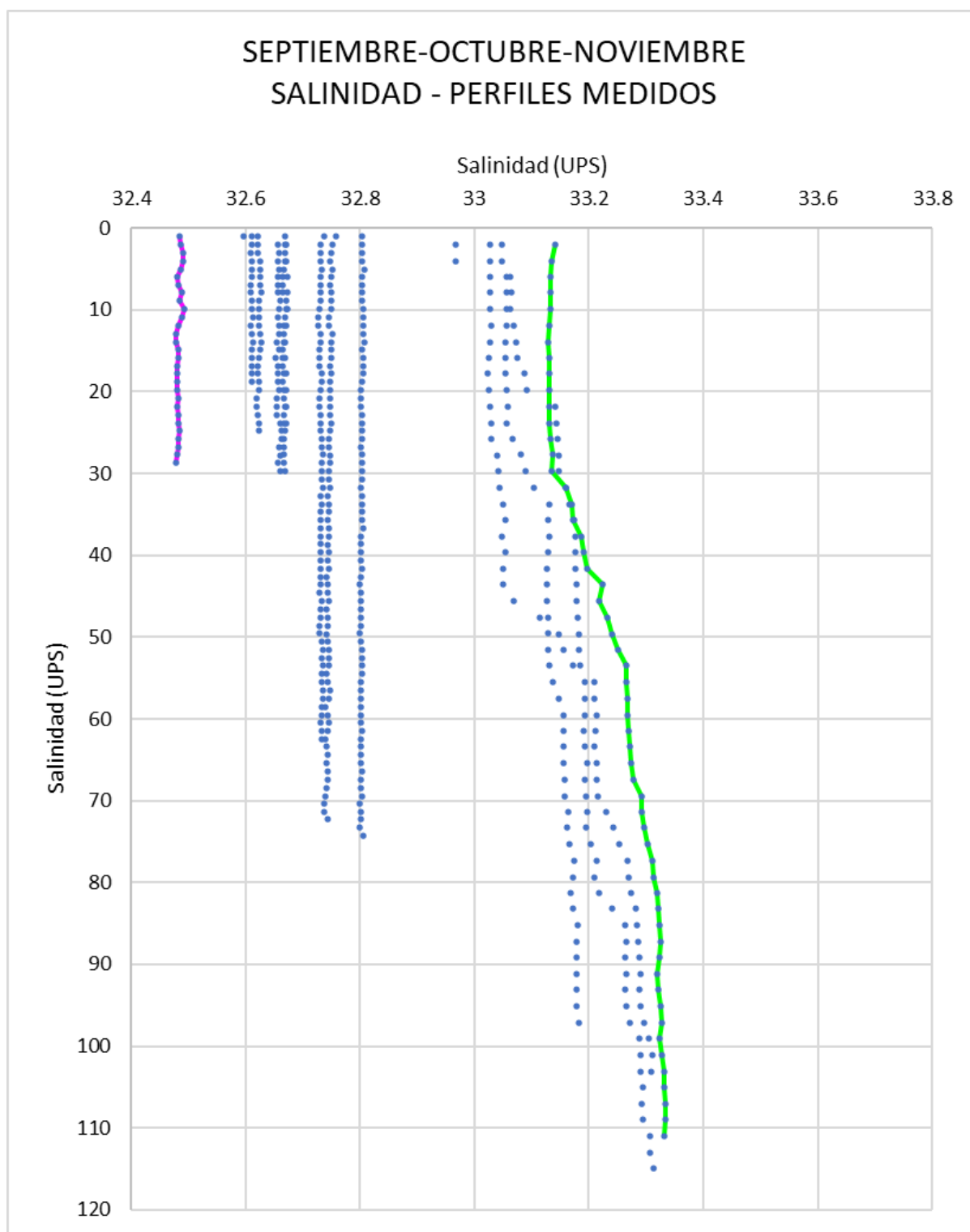


Figura 27. Perfiles de salinidad extraídos de la base de datos WOD para los meses septiembre, octubre y noviembre (primavera).



4 COMPARACIÓN COPERNICUS – WOD

A los fines de comparar las diferencias encontradas en temperatura y salinidad entre las dos fuentes de datos consultadas, se presentan las siguientes figuras:

- Figura 28: perfiles de temperatura (arriba) y salinidad (abajo) para la estación verano.
- Figura 29: perfiles de temperatura (arriba) y salinidad (abajo) para la estación otoño.
- Figura 30: perfiles de temperatura (arriba) y salinidad (abajo) para la estación invierno.
- Figura 31: perfiles de temperatura (arriba) y salinidad (abajo) para la estación primavera.

En un todo de acuerdo a lo mencionado en el Punto 2, es posible observar que los perfiles extraídos del modelo del Programa Copernicus exhiben valores de salinidad sensiblemente más altos que los correspondientes a la base de datos WOD, los que sí muestran valores similares a los descriptos en las distintas publicaciones consultadas.

Como conclusión, puede decirse que el modelo GLOBAL_ANALYSIS_FORECAST_PHY_001_024 del Programa Copernicus no estaría representando con precisión la descarga de aguas poco salinas que se produce a través del estrecho de Magallanes.

Por lo contrario, la base de datos WOD (World Ocean Database), que reúne mediciones realizadas desde distintas plataformas de investigación científica, arroja valores de salinidad compatibles con la información presentada en las publicaciones mencionadas en este documento.



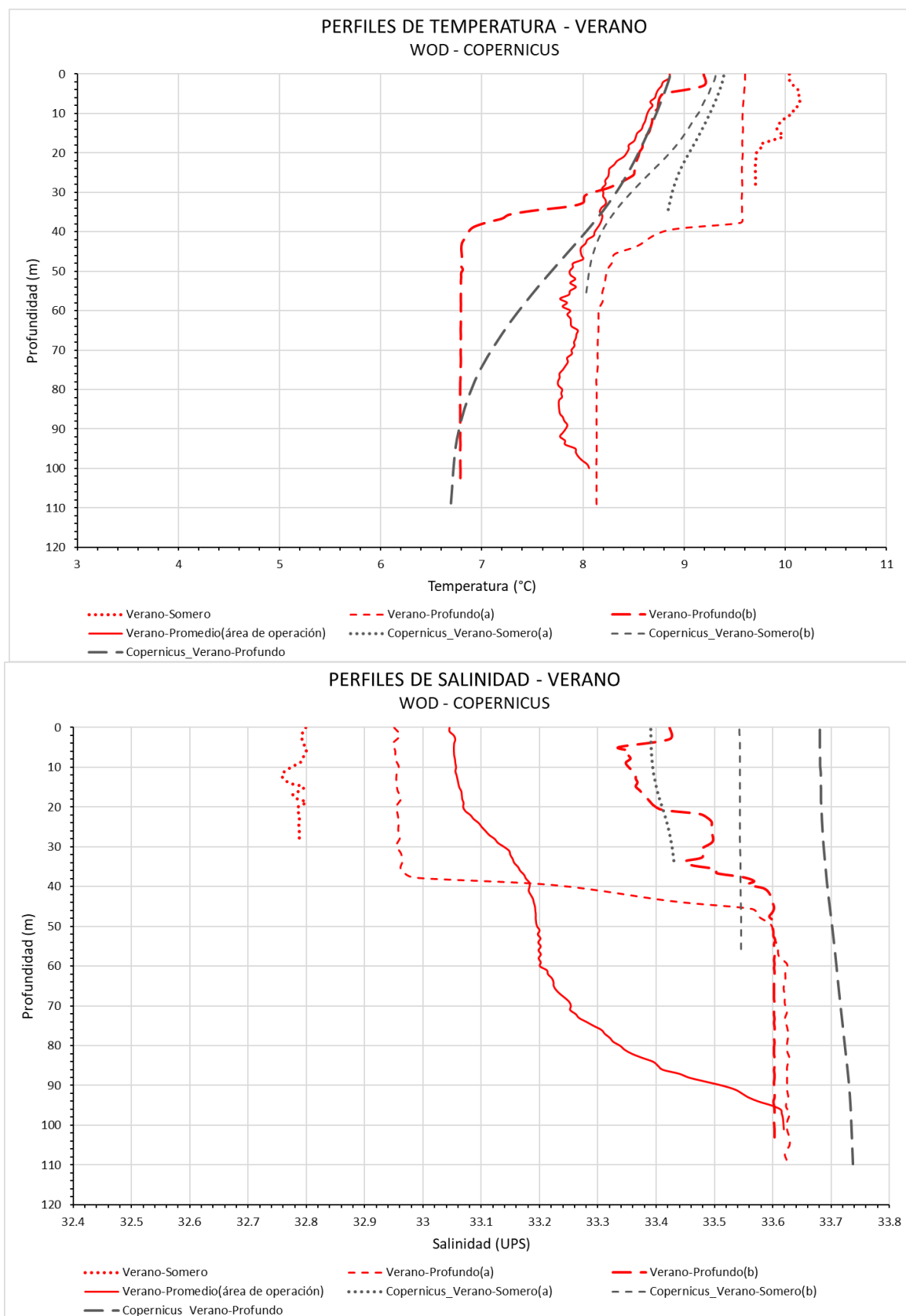


Figura 28. Perfiles de temperatura (arriba) y salinidad (abajo) obtenidos del modelo del Programa Copernicus y de la base de datos WOD para la estación verano.

[Firma]

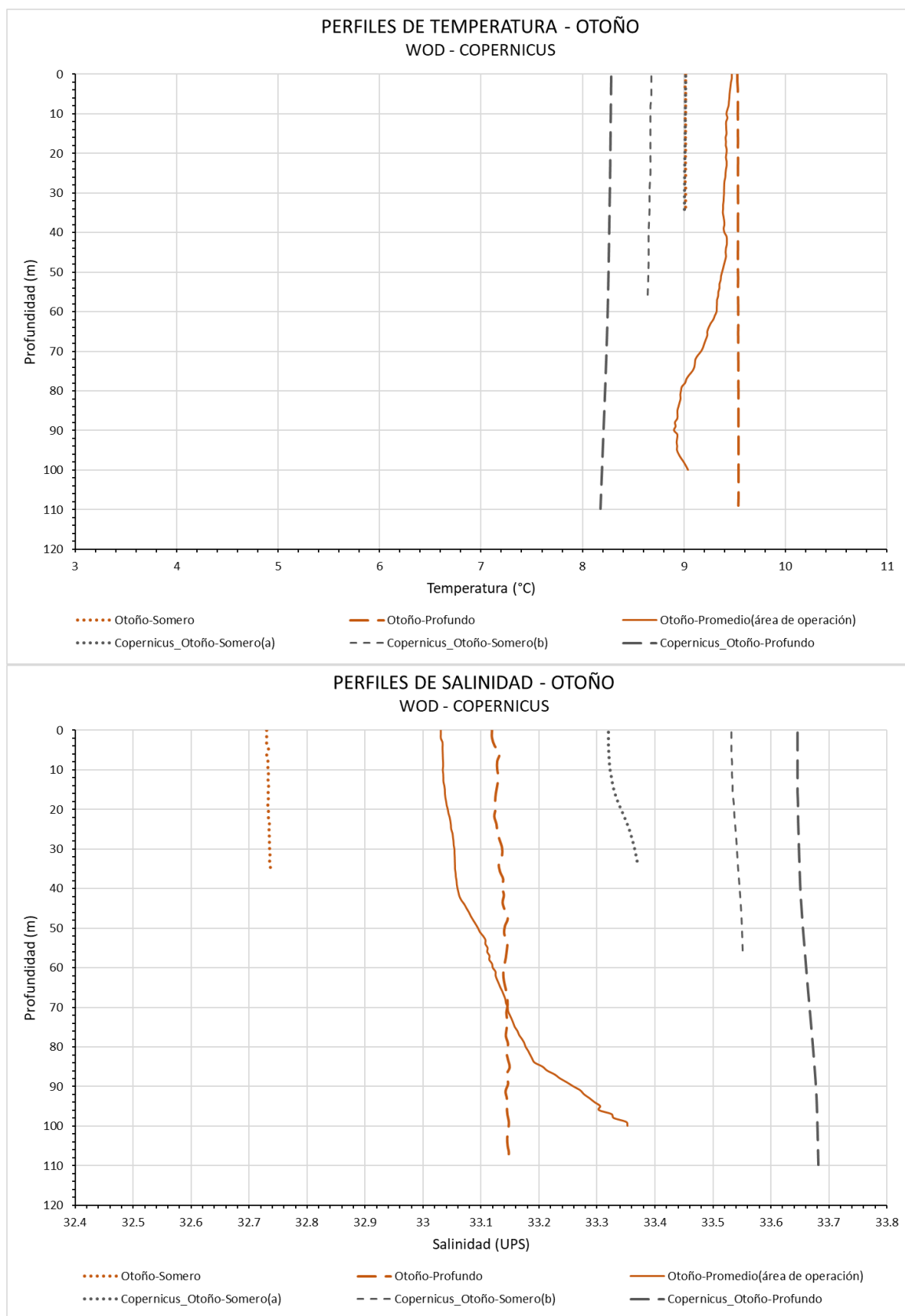


Figura 29. Perfiles de temperatura (arriba) y salinidad (abajo) obtenidos del modelo del Programa Copernicus y de la base de datos WOD para la estación otoño.



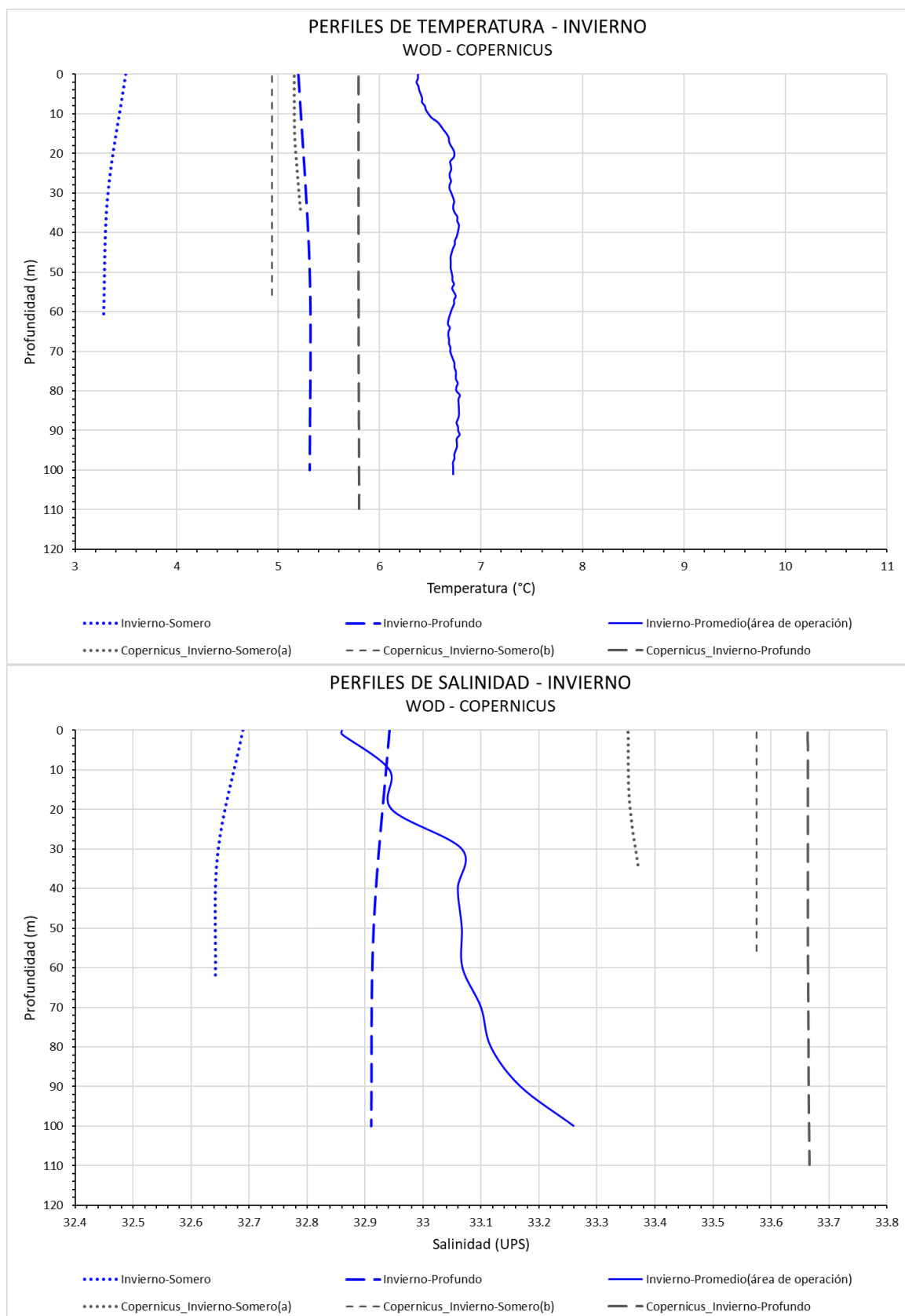


Figura 30. Perfiles de temperatura (arriba) y salinidad (abajo) obtenidos del modelo del Programa Copernicus y de la base de datos WOD para la estación invierno.



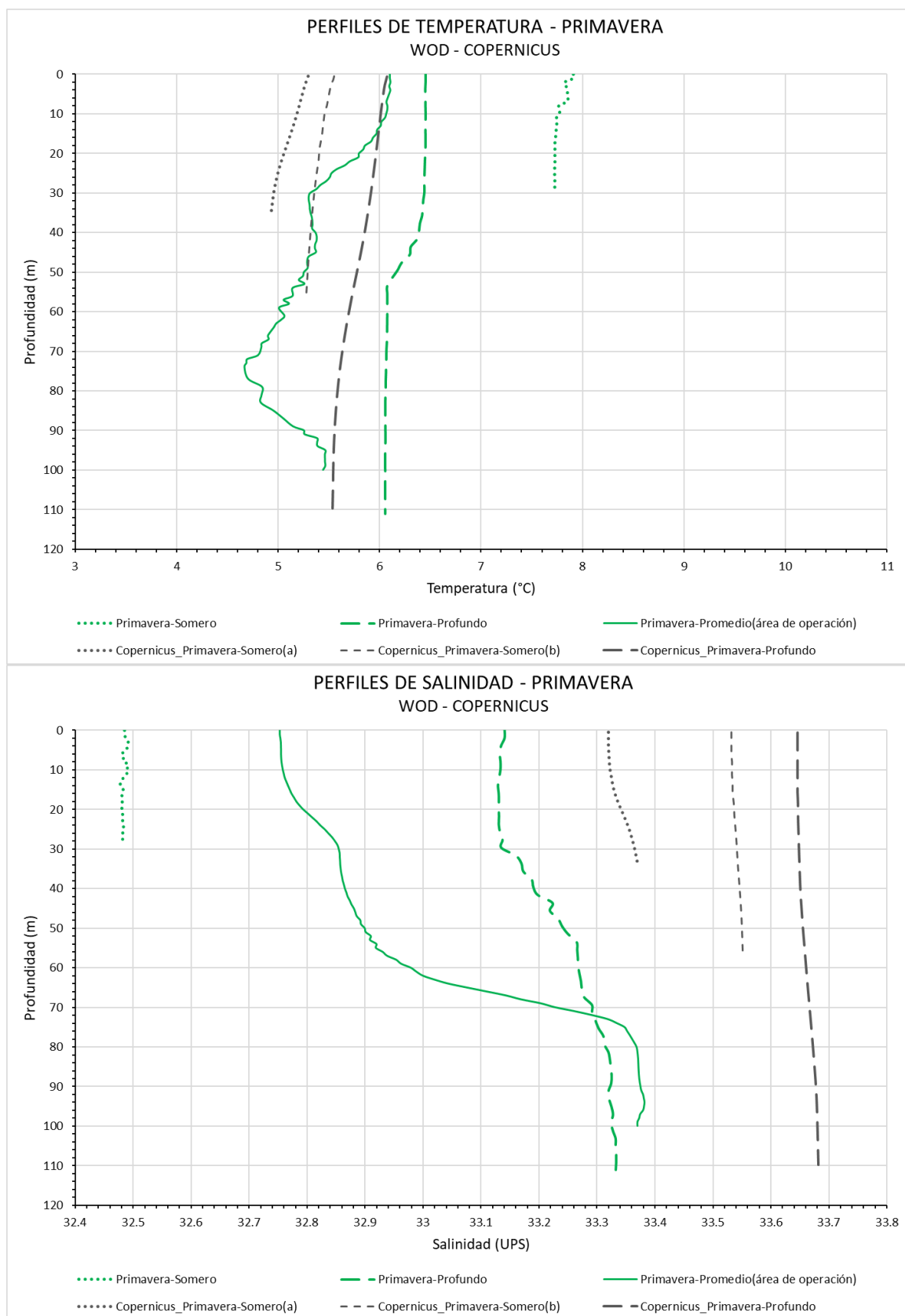


Figura 31. Perfiles de temperatura (arriba) y salinidad (abajo) obtenidos del modelo del Programa Copernicus y de la base de datos WOD para la estación primavera.



5 DENSIDAD Y VELOCIDAD DEL SONIDO

La densidad y la velocidad del sonido fueron calculadas mediante la aplicación de la Ecuación Termodinámica del agua de mar "Thermodynamic Equation Of Seawater - 2010" (TEOS-10; <http://www.teos-10.org/>).

TEOS-10 fue desarrollada por el Grupo de Trabajo 127 SCOR / IAPSO (Scientific Committee on Oceanic Research) / International Association for the Physical Sciences of the Oceans) y fue adoptada por el organismo Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC), en su 25ª Asamblea de junio de 2009, con el objeto de reemplazar la ecuación EOS-80 como la descripción oficial de las propiedades del agua de mar y el hielo en la ciencia marina.

TEOS-10 se basa en una formulación de la función de Gibbs a partir de la cual pueden ser calculadas todas las propiedades termodinámicas del agua de mar (densidad, entalpía, entropía, velocidad del sonido, etc.) de una manera termodinámicamente consistente. La función de Gibbs (expresión polinómica de 75 términos que depende de la salinidad absoluta, temperatura, presión, latitud y longitud) constituye la base del nuevo estándar TEOS-10.

Un cambio significativo comparado con la práctica previa es la manera de describir el contenido de sal en el agua de mar. TEOS-10 usa la Salinidad Absoluta S_A (masa de sal contenida en el agua de mar) en lugar de la Salinidad Práctica (que, esencialmente, es una medida de la conductividad del agua de mar). De esta manera, ahora la salinidad del océano tiene unidades de g/kg.

La Salinidad Absoluta (g/kg) está expresada en el Sistema Internacional de Unidades (SI), sistema métrico moderno usado a nivel mundial. De esta manera, las propiedades termodinámicas del agua de mar, tales como la densidad y la entalpía, están correctamente expresadas como funciones de la Salinidad Absoluta, en lugar de ser funciones de la conductividad del agua de mar. Cabe mencionar que las variaciones espaciales de la composición del agua de mar implican que la Salinidad Absoluta no es directamente proporcional a la Salinidad Práctica y TEOS-10 prevé los procedimientos que corrigen estos efectos.

Es importante destacar que mientras la Salinidad Absoluta (g/kg) es la variable necesaria para calcular la densidad y otras propiedades del agua de mar, la salinidad que debe almacenarse en las bases de datos nacionales y mundiales continúa siendo la salinidad medida, Salinidad Práctica (PSS-78) y, para evitar confusiones, los valores de salinidad informados en las distintas publicaciones deben identificarse como Salinidad Práctica con el símbolo S_P o Salinidad Absoluta con el símbolo S_A .

Las publicaciones que proveen información detallada relacionada con TEOS-10, incluyendo códigos computacionales para su aplicación son: IOC et al. (2010), McDougall y Barker (mayo 2011 - última actualización julio 2017 - versión 3.06.3), Pawlowicz (octubre 2010, última actualización abril 2008 - v8) y McDougall (s/f). Una fórmula anteriormente desarrollada por Leroy, en 2008, permite calcular la velocidad del sonido en base a una expresión de 14 términos que involucran los parámetros: salinidad, temperatura, profundidad y latitud. Los resultados de las fórmulas de TEOS-10 y Leroy son muy similares en la zona bajo análisis.

Los perfiles de densidad y velocidad del sonido, obtenidos mediante la aplicación de TEOS-10 a partir de los perfiles de temperatura y salinidad extraídos, tanto del modelo del Programa Copernicus como de la base de datos WOD, se presentan en la Figura 32 (verano), la Figura 33 (otoño), la Figura 34 (invierno) y la Figura 35 (primavera).



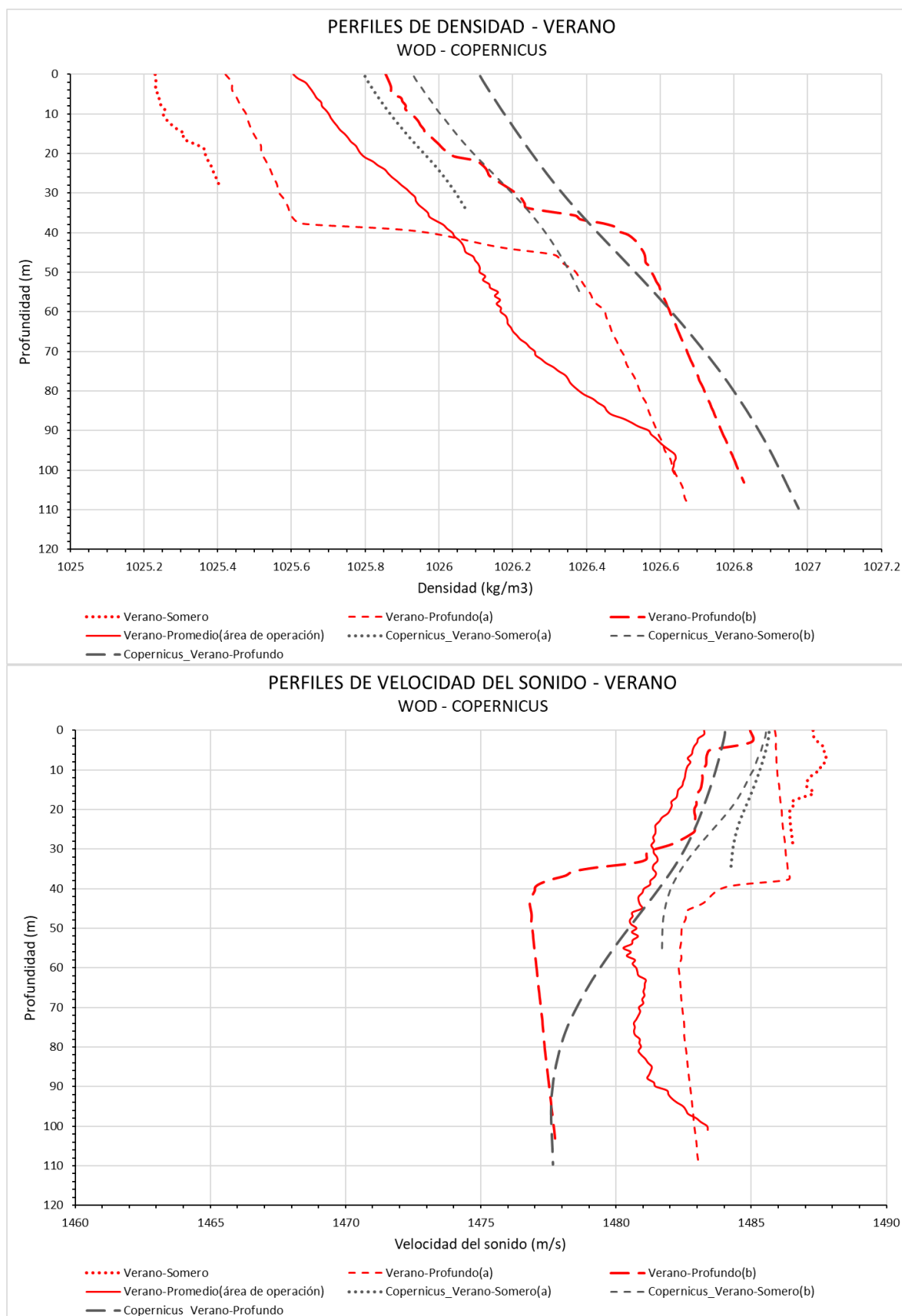


Figura 32. Perfiles de densidad (arriba) y velocidad del sonido (abajo) obtenidos del modelo del Programa Copernicus y de la base de datos WOD para la estación verano.



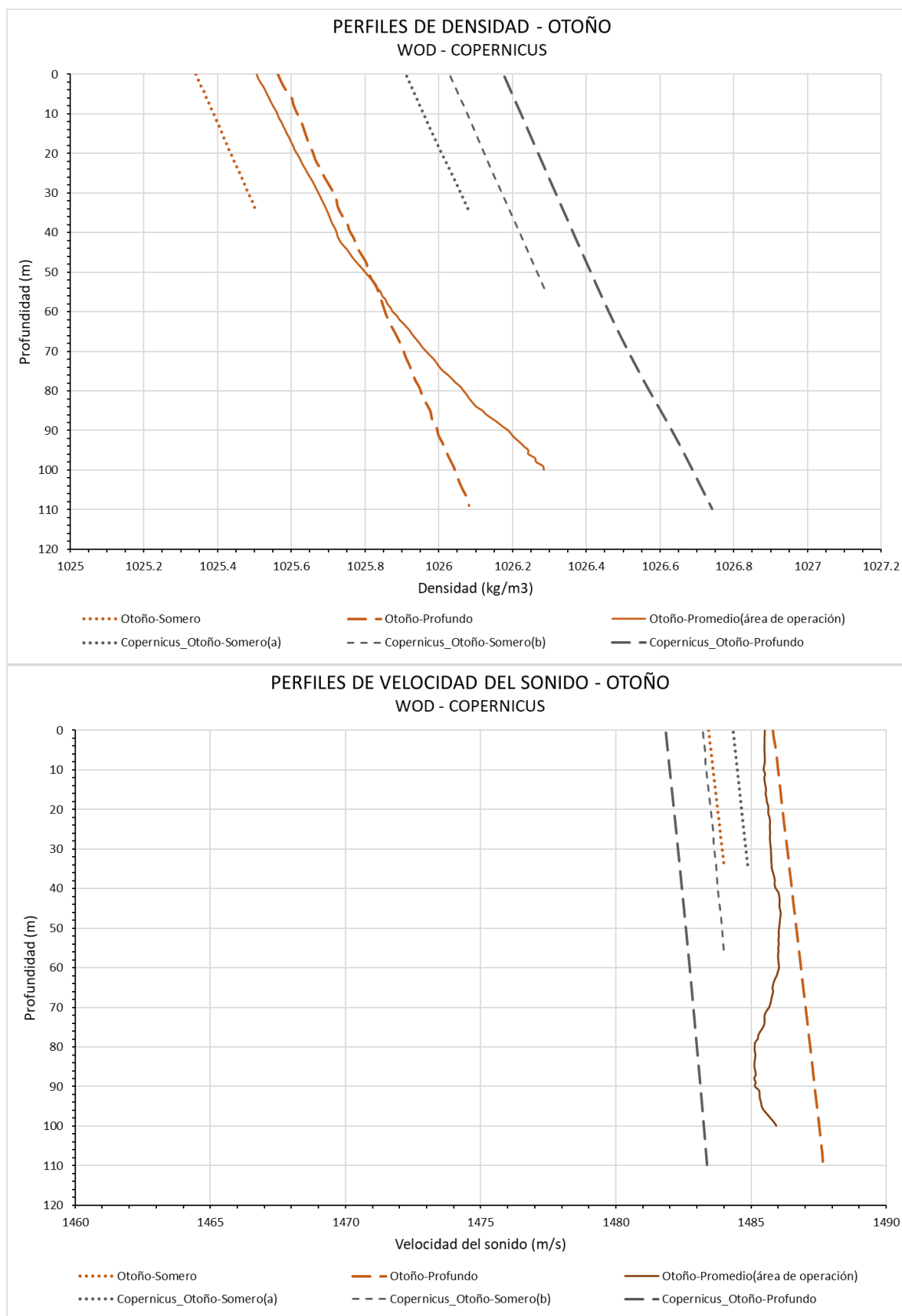


Figura 33. Perfiles de densidad (arriba) y velocidad del sonido (abajo) obtenidos del modelo del Programa Copernicus y de la base de datos WOD para la estación otoño.



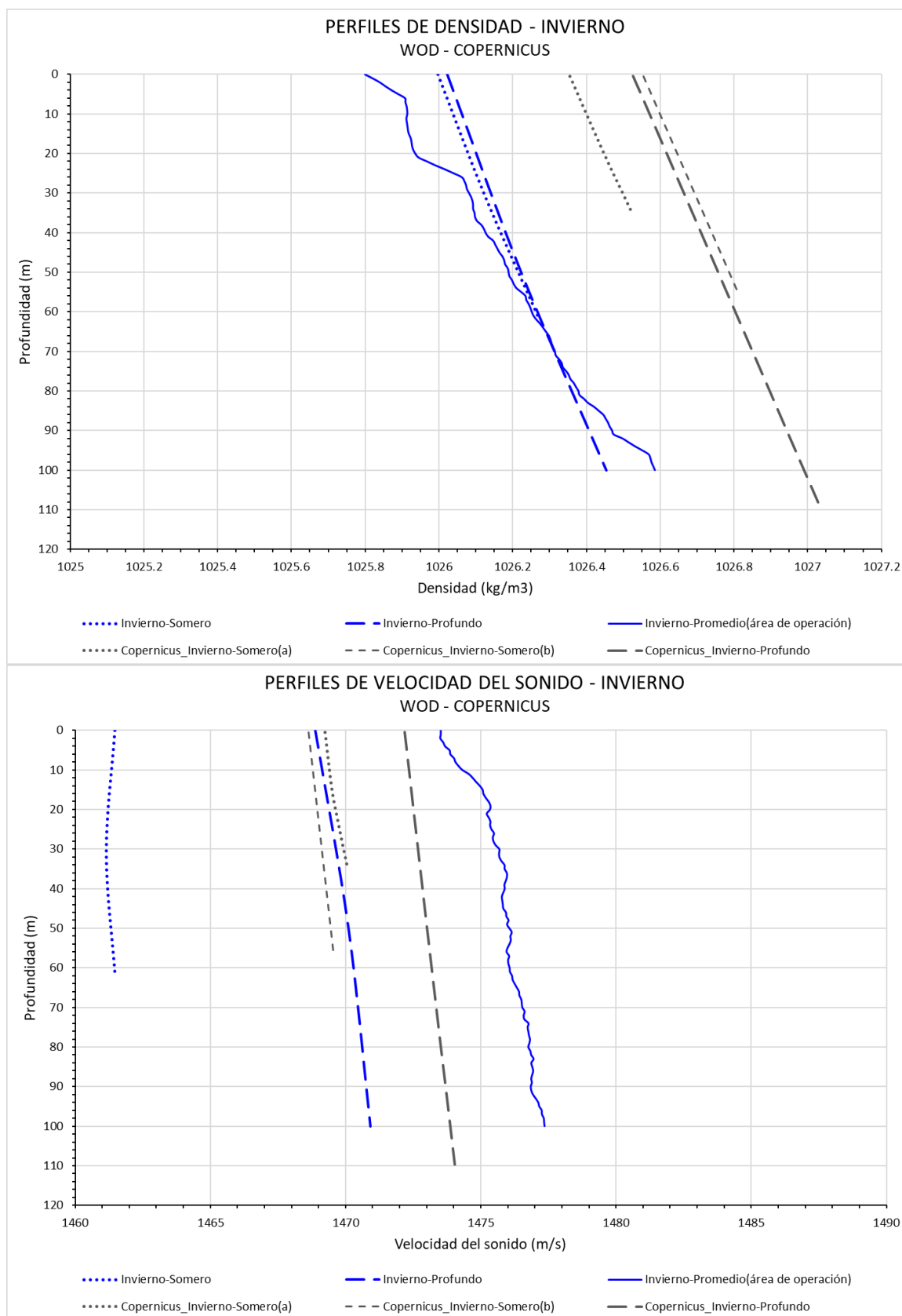


Figura 34. Perfiles de densidad (arriba) y velocidad del sonido (abajo) obtenidos del modelo del Programa Copernicus y de la base de datos WOD para la estación invierno.



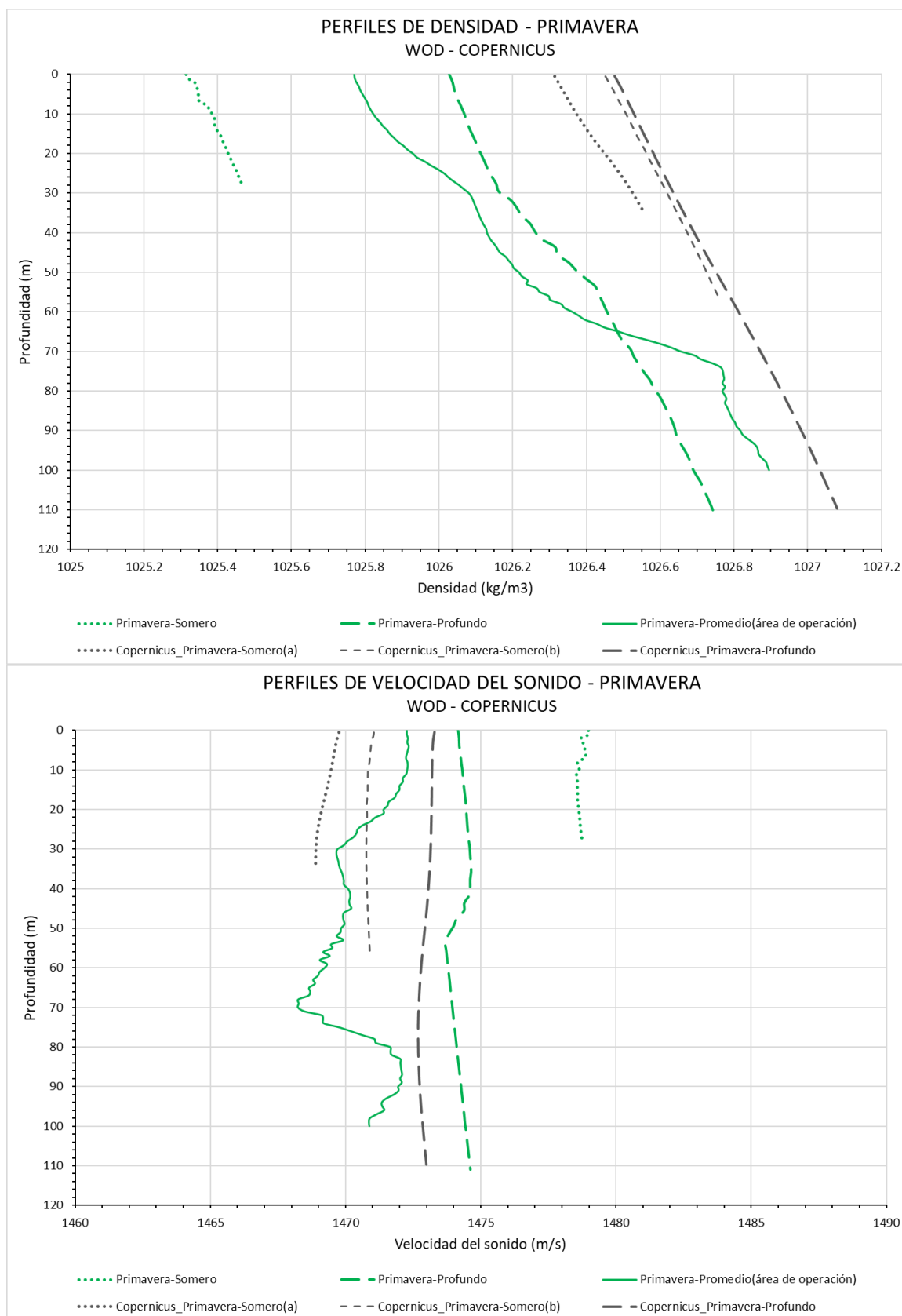


Figura 35. Perfiles de densidad (arriba) y velocidad del sonido (abajo) obtenidos del modelo del Programa Copernicus y de la base de datos WOD para la estación primavera.



6 **BIBLIOGRAFÍA**

- Guihou, K., E. D. Palma, A. Piola y M. P. Chidichimo (2020). Dynamical connections between large marine ecosystems of austral South America based on numerical simulations. Ocean Science Discussions. September 2010.
- Palma. E. y R. P. Matano (2012). A numerical study of the Magelllean Plume. Journal of Geophysical Reserach, Vol. 117, C05041.
- Sabatini, M., R. Reta y R. Matano (2004). Circulation and zooplankton biomass distribution over the southern Patagonian shel during late summer. Continental Research 24, pp. 1359-1373.

