

2025

Boletín Oceanográfico Patagonia Norte 2025

Monitoreo dentro del mar interior de Chiloé y Aysén, análisis de las variables físicas, químicas y biológicas de la columna de agua, con énfasis en las condiciones oceanográficas del fiordo Quitralco.

Subsecretaría de Economía y EMT

Diciembre, 2025.



Boletín Oceanográfico Patagonia Norte 2025

Convenio de Desempeño 2024 – 2025

Monitoreo dentro del mar interior de Chiloé y Aysén, análisis de las variables físicas, químicas y biológicas de la columna de agua, con énfasis en las condiciones oceanográficas del fiordo Quintralco.

Subsecretaría de Economía y EMT / Diciembre 2025.

Requirente

**Subsecretaría de Economía y
Empresas de Menor Tamaño**

Subsecretaria de Economía y
Empresas de Menor Tamaño
Javiera Constanza Petersen Muga

Ejecutor

Instituto de Fomento Pesquero, IFOP

Director Ejecutivo

Gonzalo Pereira Puchy

Jefe División Investigación Acuicultura

Gastón Vidal Santana

Jefe Departamento Medio Ambiente

Alejandra Oyanedel Pérez

Jefe de Proyecto

Gabriel Soto Soto



Autores

Gabriel Soto Soto
Elías Pinilla Matamala
Camila Soto Riquelme
Patricio Salas Salas
Marcela Arriagada Ortega
Miguel Vergara Barria
Sebastián Sepúlveda Manríquez
Marcela Toro Flores

1. METODOLOGÍA

Cruceros Patagonia Norte 2025

Dentro del mar interior de Chiloé y Aysén, se realizó un conjunto de mediciones en la columna de agua (2024-2025), denominados crucero oceanográfico, en este crucero se realizaron estaciones de CTDO, (salinidad, temperatura, oxígeno disuelto), utilizando un CTD-OF de AML Oceanographic, modelo Metrec-XL. Este CTDO está equipado con sensores de temperatura, conductividad, presión, oxígeno disuelto. Además, se complementó la caracterización en la columna de agua, con información de nutrientes y biomasa pigmentaria (clorofila total), donde fueron tomadas muestras de aguas a profundidades oceanográficas estándar a 0, 5, 10, 25, 30, 50, 100, 200 y 300 m, mediante el uso de botellas Niskin de 5 L para la recolección de muestras de nutrientes (nitrato, nitrito, fosfato, silicato) y clorofila integrada. Por otro lado, se realizó un comen pedio con resultados relevantes sobre el fiordo Quitralco, e incluyeron resultados desde el 2021 hasta 2024. Los cuales incluyeron estaciones de Agua con muestras de nutrientes y sensores de presión.

2. RESULTADOS

Distribución vertical de la salinidad y relación con las masas de agua (figura 1)

La estructura vertical de la columna de agua evidenció una marcada estratificación, determinada principalmente por la salinidad. Se identificó una haloclina bien definida que separa dos capas: una superficial con salinidades bajas (0–31 psu), correspondiente a aguas estuarinas bien oxigenadas, y una capa subsuperficial donde la salinidad aumenta abruptamente hasta alcanzar valores máximos (~34 psu). Esta estratificación limita el intercambio vertical, lo que tiene implicancias directas sobre la distribución del oxígeno disuelto. La presencia de diferentes masas de agua fue claramente distinguible en función de las categorías características de salinidad. Las aguas estuarinas dominaron desde Laguna San Rafael hasta Quitralco, mientras que en el resto de la transecta se observó la influencia de la Masa de Agua Subantártica Modificada (ASAAM, 31–33 psu) en la capa intermedia, y por debajo de esta, la Masa de Agua Subantártica (ASAA, ~34 psu). Además, entre el canal Jacaf y el fiordo Puyuhuapi se detectó un núcleo de aguas con salinidad de 34 psu, atribuible a la Masa de Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS).

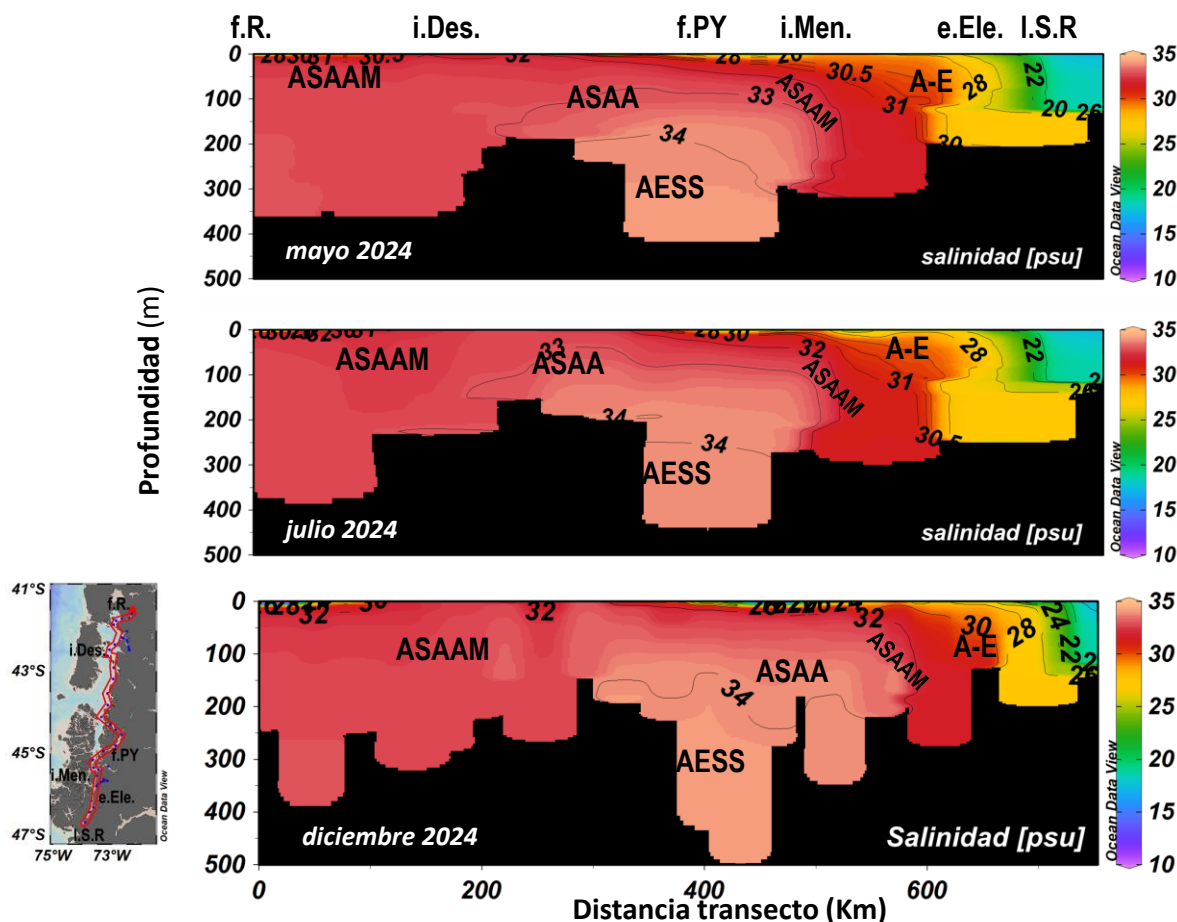


Figura 1: Distribución vertical de salinidad, transecto fiordo Reloncaví (f.R.) hasta laguna San Rafael (I.S.R.).

Distribución vertical de Oxígeno disuelto y masas de agua (figura 2)

La estructura vertical del OD (ml/L), reveló una columna de agua estratificada las capas superficiales desde la superficie a los 30m, en promedio (3 periodos), revelaron una buena oxigenación, con registros mayores a 5 ml/L, destacando un máximo de OD registrado en la estación 31 (Laguna San Rafael) >8ml/L. Debajo de la capa superficial el OD disminuye drásticamente alcanzando los mínimos la zona del fiordo Puyuguapi 2-3 ml/L. El análisis de las masas de agua revela una relación directa con los niveles de OD. La presencia de la Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS), con salinidades de 34 psu, se correlaciona con concentraciones notablemente bajas de OD, de aproximadamente 2-3 ml/L.

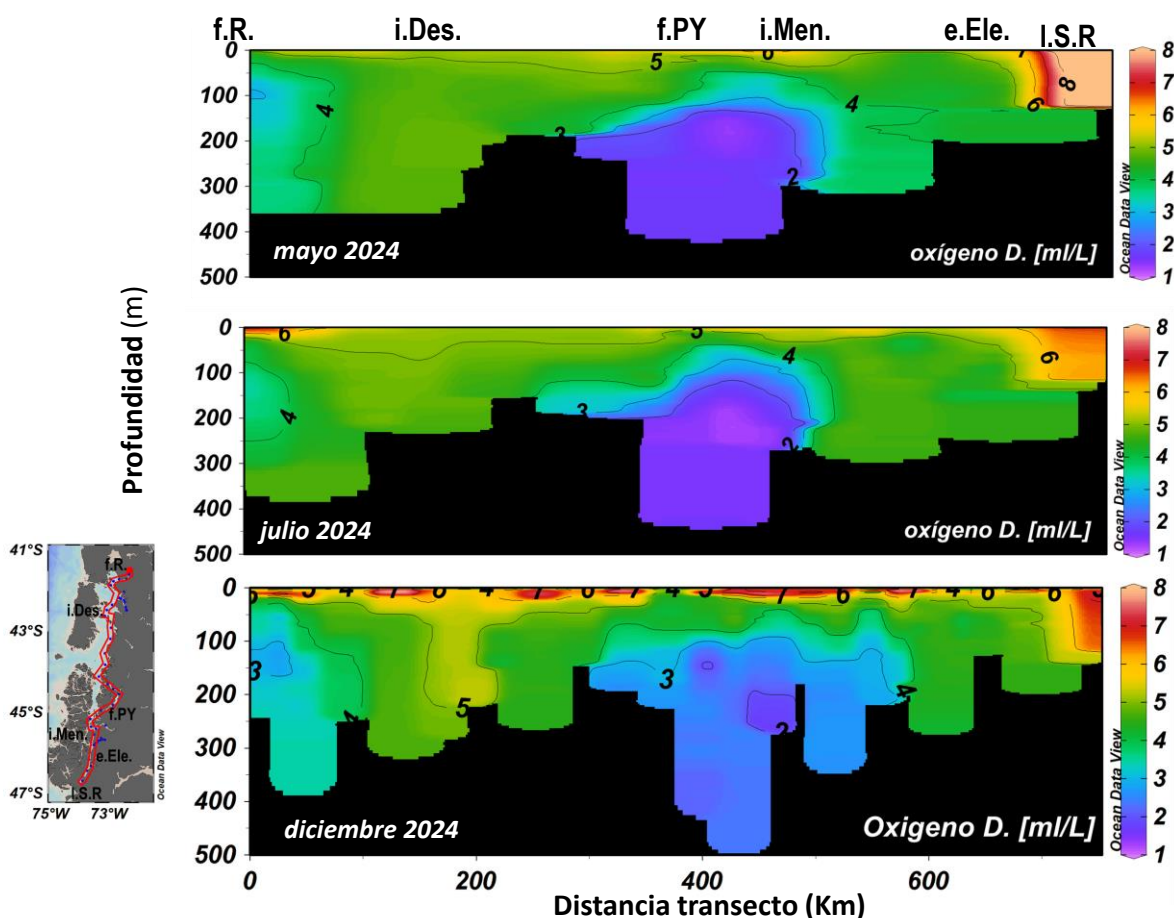


Figura 2. Distribución vertical de salinidad, transecto fiordo Reloncaví (f.R.) hasta laguna San Rafael (I.S.R.).

Concentración de Nutrientes en los Canales y Fiordos de la Patagonia (figura 3)

Se observaron diferencias espaciales y temporales significativas en las concentraciones de nitrato, fosfato y silicato en la columna de agua a lo largo del transecto desde el fiordo Reloncaví hasta la laguna San Rafael, al comparar los periodos de diciembre de 2024 y mayo de 2024.

En mayo, el nitrato presentó una marcada variabilidad espacial. Las concentraciones más elevadas se registraron al norte de las islas Desertores, con valores superiores a $16 \mu\text{M}$, alcanzando máximos de $\sim 18 \mu\text{M}$ en el fiordo Reloncaví. En el fiordo Puyuguapi, el perfil se mantuvo estratificado: los valores superficiales fueron bajos ($\sim 12 \mu\text{M}$), incrementándose con la profundidad para formar un núcleo prominente por encima de los $18 \mu\text{M}$. Hacia el sur, desde la isla Menina, la concentración disminuyó progresivamente hasta alcanzar los valores mínimos del transecto ($\sim 5 \mu\text{M}$) en las proximidades de la laguna San Rafael.

En diciembre, se observó una clara estratificación en toda el área de estudio, con una capa superficial pobre en nitrato ($< 6 \mu\text{M}$). Bajo esta capa, se desarrollaron dos núcleos principales de alta concentración: uno al norte de las Desertores, con un máximo de $26 \mu\text{M}$, y otro en el fiordo Puyuguapi, con valores superiores a $28 \mu\text{M}$. La concentración media fue mayor en mayo ($14.1 \mu\text{M}$) que en diciembre ($12.26 \mu\text{M}$).

El patrón espacial del fosfato en mayo fue similar al del nitrato. Las mayores concentraciones ($2 - 2.5 \mu\text{M}$) se ubicaron en la cuenca al norte de las islas Desertores y, a profundidades superiores a 150 m , en el fiordo Puyuguapi. Hacia el sur, desde la isla Meninea hasta la laguna San Rafael, los valores disminuyeron notablemente, oscilando entre 1.5 y $0.5 \mu\text{M}$.

En diciembre, la columna de agua mostró una estructura en dos capas: un estrato superficial (primeros $\sim 50 \text{ m}$) con concentraciones muy bajas ($< 0.5 \mu\text{M}$), por debajo del cual la concentración aumentó abruptamente. Se destacaron dos núcleos principales: uno al norte de las Desertores con valores $> 2.5 \mu\text{M}$, y otro, de mayor intensidad, dentro del fiordo Puyuguapi, con valores entre 3.5 y $4 \mu\text{M}$. La concentración media también fue superior en mayo ($1.75 \mu\text{M}$) frente a diciembre ($1.5 \mu\text{M}$).

Durante mayo, el silicato mostró un importante acumulación en el fiordo Reloncaví, con núcleos por encima de $30 \mu\text{M}$. En la cuenca entre las islas Desertores y el fiordo Puyuguapi, los valores fueron notablemente más bajos ($\sim 15 \mu\text{M}$). Por debajo de los 200 m de profundidad, se detectó un núcleo relevante con concentraciones $> 25 \mu\text{M}$. Finalmente, en la cuenca al sur de la isla Meninea, el silicato registró valores bajos ($15 - 20 \mu\text{M}$).

En diciembre, la columna de agua fue mayormente homogénea en la capa superficial, pero se identificaron dos núcleos de enriquecimiento: uno en el fiordo Reloncaví ($20 - 30 \mu\text{M}$) y otro, más intenso, en el fiordo Puyuguapi ($30 - 50 \mu\text{M}$). La concentración media de silicato fue significativamente mayor en mayo ($19.6 \mu\text{M}$) que en diciembre ($12.7 \mu\text{M}$).

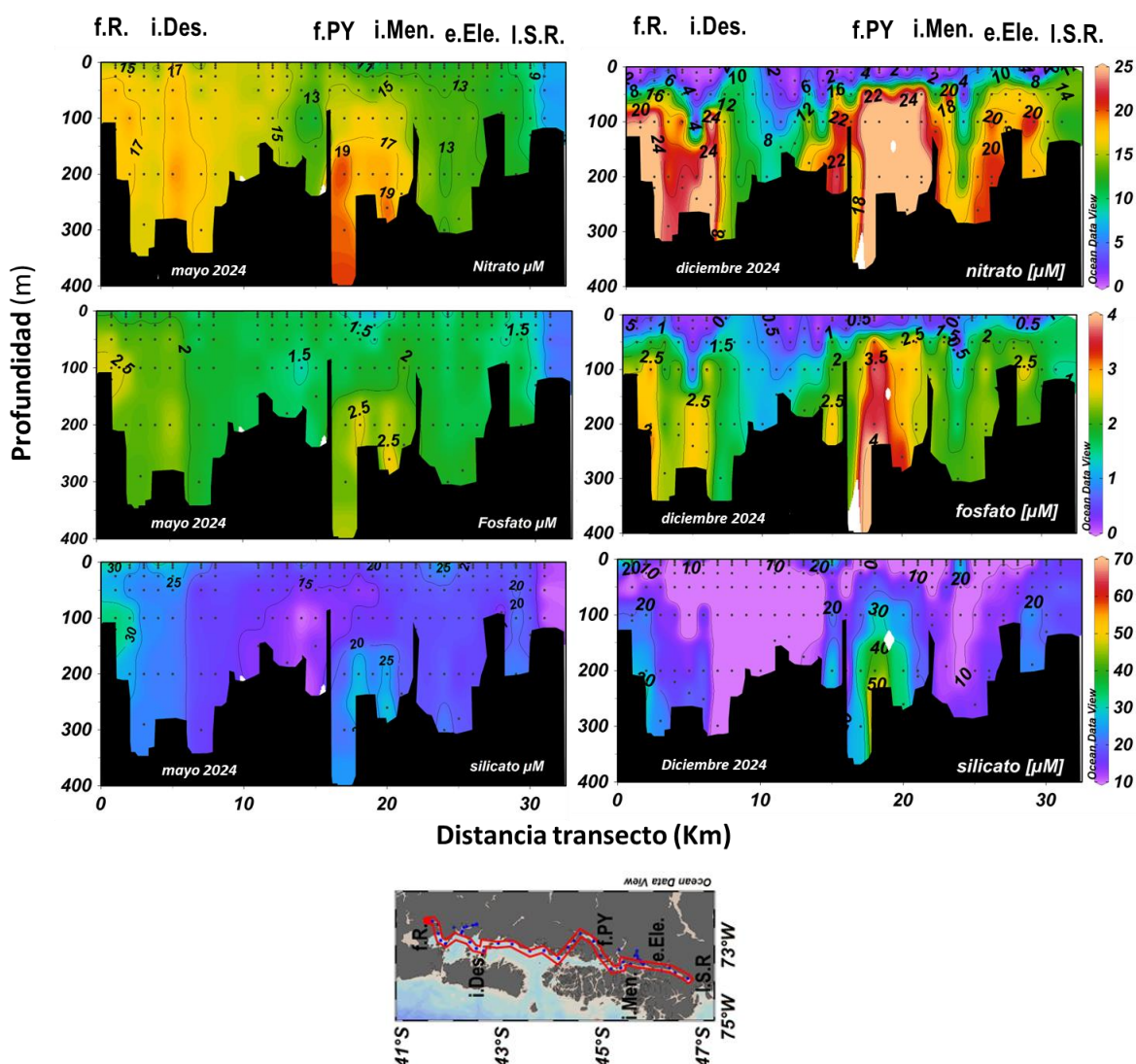


Figura 3. Distribución vertical de los nutrientes nitrato, fosfato y silicato, correspondiente a la campaña de mayo y diciembre 2024.

Variabilidad temporal y espacial de la clorofila integrada en columna de agua (figura 4).

En el periodo entre junio y diciembre de 2024, la clorofila integrada (mg m^{-2}), varió entre un mínimo de 2.95 estación 31, dentro de laguna San Rafael, periodo de invierno y un máximo de 744, focalizado en el fiordo Reloncaví estación 3 periodo de invierno. Se observaron marcadas diferencias temporales, lo mayores de clorofila se registraron en periodo de verano, tal como lo denotan las gráficas boxplot, durante este periodo los registros de clorofila se mantuvieron por sobre el promedio 118.1 (mg m^{-2}), excepto las estaciones dentro del seno y fiordo Reloncaví.

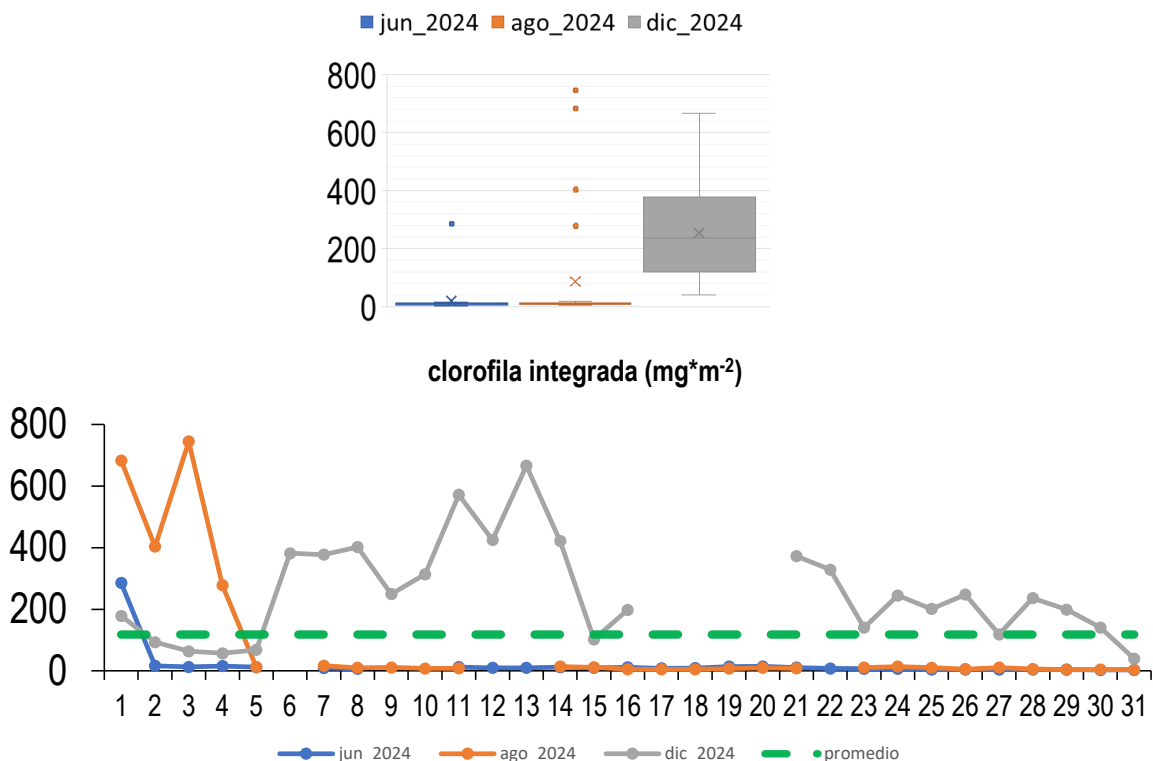


Figura 4: variabilidad temporal y distribución espacial de clorofila integrada. Graficas con los valores de clorofila integrada

Condiciones oceanográficas del fiordo Quitalco.

El fiordo Quitalco es un fiordo con una limitada conexión con el mar interior adyacente (canal Costa - Estero Elefante), por la presencia de un umbral batimétrico en la boca del fiordo y cercano a la cabeza, con una profundidad <50 m. Esto genera un límite o diferenciación entre la circulación adyacente al fiordo, la cual es energética y una débil circulación al interior de Quitalco. La onda de marea ingresa por la boca del fiordo Quitalco, el nivel del mar dentro del fiordo oscila entre 1.5 – 2m, los principales constituyentes mareales son los semidiurnos y diurnos (**Figura 5**), el régimen de marea es semidiurno mixto ($F = 0.30$).

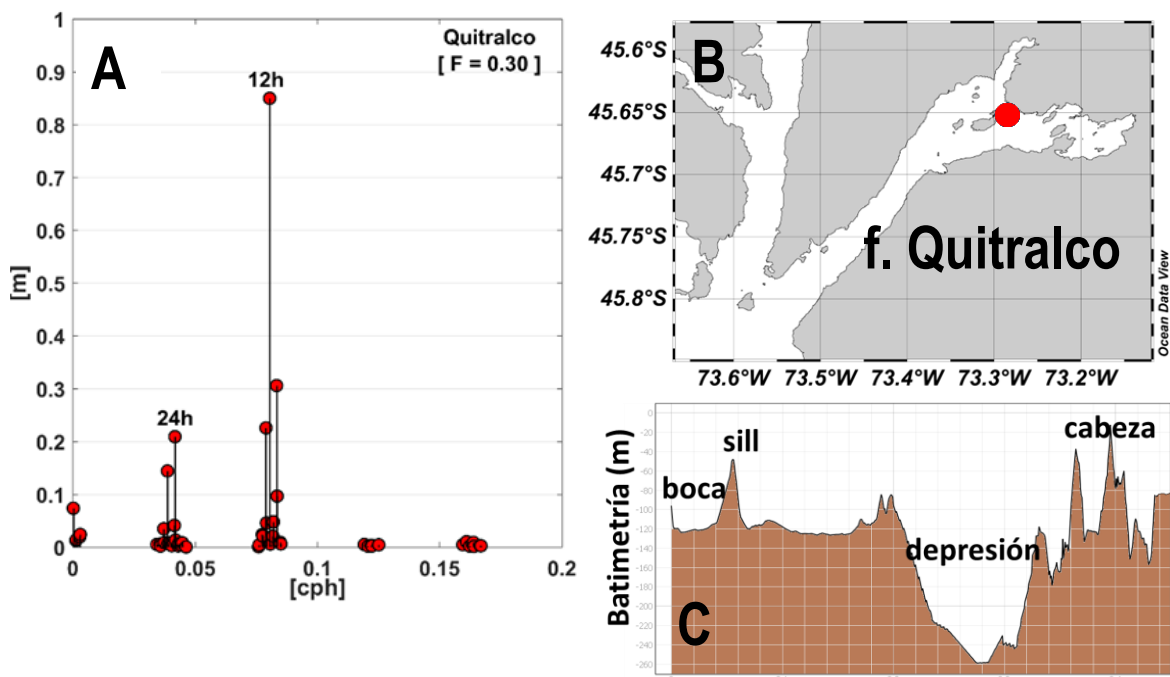


Figura 5: Espectro de amplitud de los principales constituyentes mareales en el fiordo Quitalco. A) espectro de amplitud del nivel del mar, b) mapa ubicación del mareógrafo.

Propiedades físico químicas del agua: Los registros históricos de CTDO dentro de fiordo Quitalco han exhibido permanente zonas con bajas de oxígeno disuelto e importantes áreas hipóxicas y anóxicas, con una estructura físico química, propia de sistemas estuarinos. A partir de estos antecedentes es que se mantiene a partir del 2019 un monitoreo permanente. Por otro lado, un aspecto relevante es que, durante el periodo de estudio, dentro de fiordo Quitalco se pudieron realizar mediciones de amonio, en varias estaciones y varios estratos.

Estratificación y Propiedades Hidrográficas: El fiordo Quitalco exhibió una estratificación permanente de la columna de agua, con una pycnoclina bien definida entre los 0–12 m de profundidad. La capa superficial presentó una salinidad promedio de 26.5 PSU, denotada por la haloclina de 28 PSU, mientras que las capas subsuperficiales (bajo la pycnoclina) registran valores medios de 31 PSU. La ausencia de salinidades superiores a 32 PSU en todo el sistema sugiere una limitada influencia de masas de agua oceánicas (e.g., Agua Subantártica Superficial, ASSA; o Agua Subantártica Modificada, ASAAM), lo que implica un escaso aporte de sus propiedades biogeoquímicas características a la cuenca que aporta al fiordo.

Oxígeno disuelto y eventos de hipoxia: El análisis hidrográfico del fiordo Quitalco evidenció un marcado gradiente vertical en la distribución del oxígeno disuelto (OD), con valores superficiales (0–20 m) con valores sobre 5m/L y máximos de 7 ml/L, indicando condiciones de saturación (90–110%). Debajo de los 50m se observó una marcada ZBO concentración de OD <4 ml/L. En el área de la depresión batimétrica, a partir de los 150, se puede encontrar valores de OD inferior a 3 ml/L, en la zona más profunda destacan las condiciones hipóxicas

y anóxicas de manera persistente. Hacia la cabeza estas condiciones se focalizan entre los 100-150m **Figura 6.**

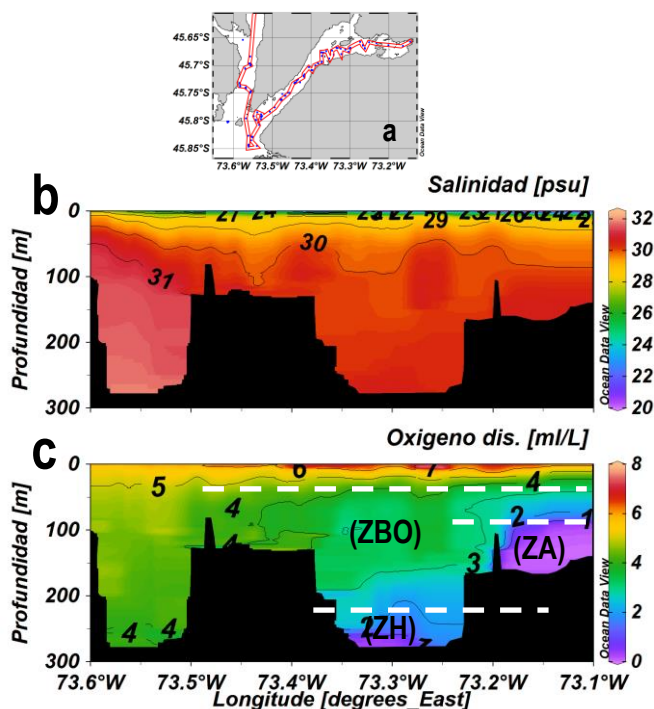


Figura 6: Estructura vertical promedio para transecta desde canal Costa hasta fiordo Quintralco (a). de salinidad (b). oxígeno disuelto (c).

Distribución espacial promedio nitrato y fosfato (figura 7): La distribución vertical de nitrato y fosfato mostró un patrón similar. Por encima de la pycnoclina, las concentraciones fueron bajas (nitrato $<5 \mu\text{M}$ y fosfato $<0.5 \mu\text{M}$). Por debajo de esta capa, la concentración aumentó de forma constante, alcanzando valores máximos de 15-20 μM para el nitrato y 3-4 μM para el fosfato.

Dentro del fiordo, se observaron concentraciones elevadas de nitrato y fosfato, con picos de nitrato de $\sim 20 \mu\text{M}$ en la depresión y $\sim 24 \mu\text{M}$ en la cabecera. A pesar de que los valores máximos de nitrato se registraron en la zona interior del fiordo de Quintralco, las comparaciones mediante un análisis de caja (boxplot) no mostraron diferencias significativas en la concentración promedio de nitrato entre la zona interior y exterior. En cambio, en el caso del fosfato, la concentración promedio y los valores máximos fueron notablemente mayores en el interior del fiordo.

Un aspecto relevante fue la relación entre ambos nutrientes en las zonas anóxicas de la depresión y la cabecera. En estas áreas, se observó que los bajos valores de nitrato coincidieron con altos valores de fosfato, lo que sugiere un proceso de desnitrificación y una rápida remineralización del fosfato.

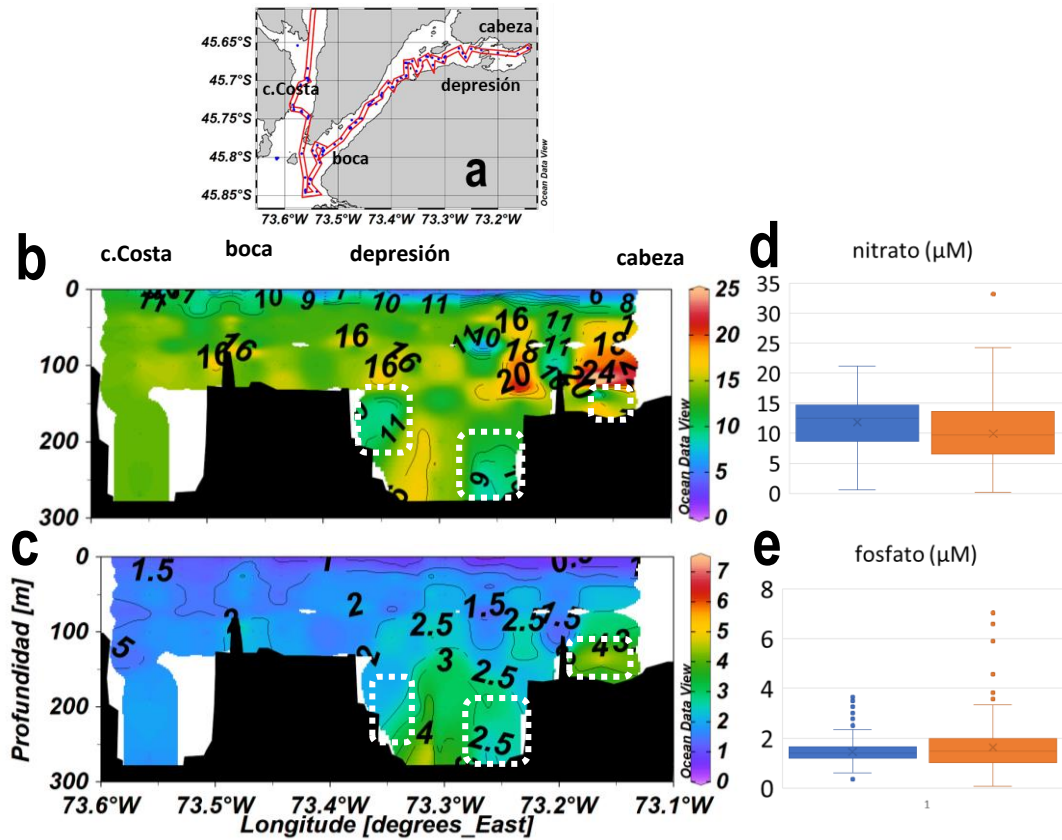


Figura 7: Distribución vertical promedio de nitrato y fosfato en columna de agua. Panel derecho comparación boxplot, entre valores de nutrientes dentro del fiordo y el área exterior adyacente

Dinámica del Amonio en un Fiordo con Hipoxia: Las concentraciones de amonio en el fiordo exhibieron una clara variabilidad espacial y temporal, directamente ligada a la presencia de zonas hipóxicas y anóxicas por debajo de los 150 metros. En Agosto (invierno), los niveles de amonio fueron bajos, con valores superiores a $0.5 \mu\text{mol/L}$ observados entre las estaciones Q1-Q13 en toda la columna de agua, estos valores en la estación Q17 (cabeza) fueron considerablemente elevados $15-23 \mu\text{M}$. En Diciembre (verano) 2024, se replicó una distribución similar a agosto, valores bajos de amonio, de manera homogénea entre las estaciones Q1- Q13, pero se detectó un notable incremento en las concentraciones de amonio, formando un núcleo de altas concentraciones ($17.5 - 25 \mu\text{M}$) en la cabecera (estación Q17). Ambos núcleos de amonio estuvieron asociados con la zona anóxica por debajo de los 150 metros (**figura 8**).

Los resultados expuestos, confirman una relación directa entre la falta de oxígeno y la acumulación de amonio. La dinámica espacial y temporal del fiordo Quitralco estuvo fuertemente influenciada por la recurrente presencia de zonas anóxicas profundas que condicionaron la distribución del amonio y otros procesos biogeoquímicos. Este patrón de zonificación vertical y horizontal es un indicador clave de las condiciones ambientales únicas del fiordo.

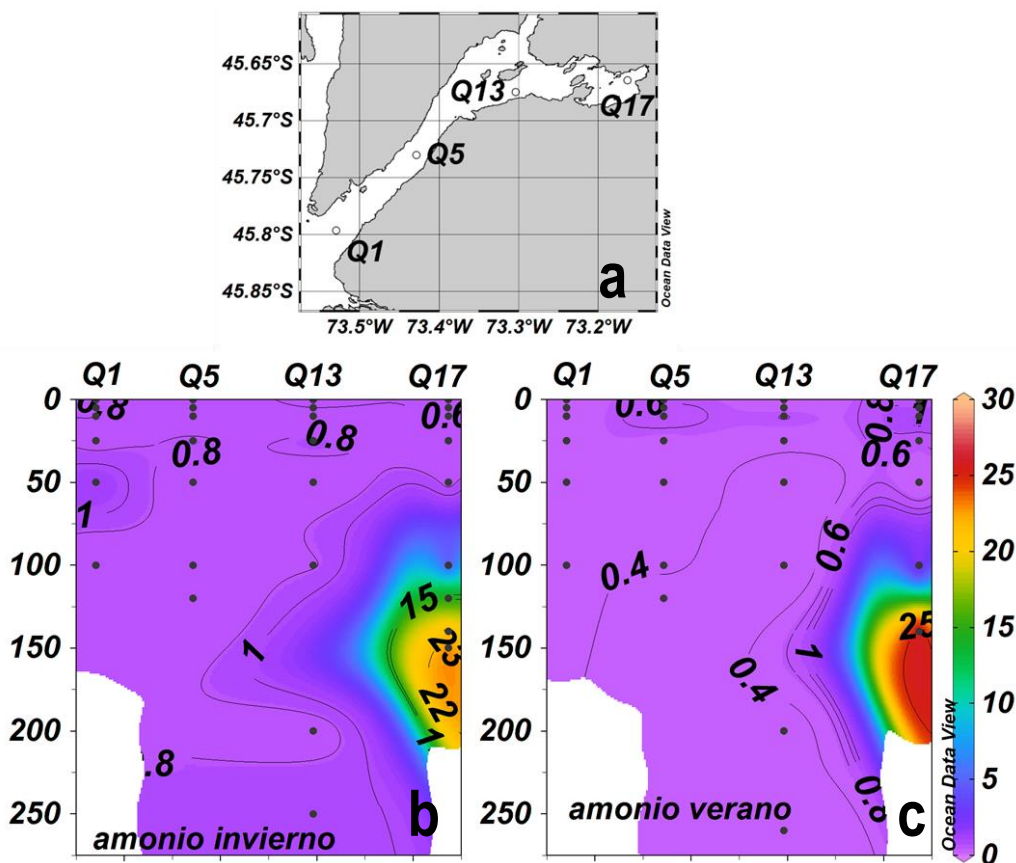


Figura 8: Distribución vertical de amonio en fiordo Quintralco para el periodo de invierno y verano.

3. CONCLUSIONES

Se identificaron distintas masas de agua (estuarinas, Subantártica Modificada, Subantártica y Ecuatorial Subsuperficial) con características particulares de salinidad, oxígeno y nutrientes. La Masa de Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS), por ejemplo, se asocia con bajos niveles de oxígeno (2–3 ml/L), influyendo en las y la disponibilidad de nutrientes.

La columna de agua en los fiordos estudiados presenta una fuerte estratificación, principalmente definida por la salinidad (haloclina), que limita el intercambio vertical. Esto afecta directamente la distribución del oxígeno disuelto, nutrientes y clorofila, generando condiciones diferenciadas entre capas superficiales oxigenadas y subsuperficiales con frecuente hipoxia o anoxia.

Los nutrientes (nitrato, fosfato, silicato) y la clorofila integrada muestran patrones estacionales y espaciales claros, con mayores concentraciones en invierno (mayo) respecto al verano (diciembre)

para nutrientes, y mayor biomasa fitoplanctónica en verano. Se observan núcleos de enriquecimiento en zonas específicas como los fiordos Reloncaví y Puyuguapi.

Fiordo Quitalco, reveló que la estratificación en la columna de agua es el factor clave que controla la distribución del oxígeno disuelto. Además, presentó una hipoxia y anoxia severa y constante debido a su configuración batimétrica, lo que impide una ventilación efectiva de sus aguas profundas.

Dentro de fiordo Quitalco la falta de oxígeno en las capas profundas condiciona la biogeoquímica del fiordo. Estas zonas actúan como "trampas" de nutrientes, donde la remineralización de la materia orgánica y la desnitrificación (evidenciada por la relación inversa entre nitratos y fosfatos) son procesos dominantes. La acumulación de amonio en las zonas anóxicas es un claro indicador de degradación orgánica.