

2025

Catastro 2025: Zonas con Bajas de Oxígeno (ZBO).

Caracterización de Zonas con Bajos Niveles de Oxígeno (ZBO), en Fiordos Patagónicos: Volúmenes y Estado Trófico

Subsecretaría de Economía y EMT

Diciembre, 2025.



Catastro 2025: Zonas con Bajas de Oxígeno (ZBO).

Convenio de Desempeño 2024 – 2025

Caracterización de Zonas con Bajos Niveles de Oxígeno (ZBO), en Fiordos Patagónicos: Volúmenes y Estado Trófico.

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

Cuantificación volumétrica de las ZBO.

El primer paso para desarrollar esta actividad, fue construir un DEM modelo de elevación batimétrica (DEM), utilizando el software Q-GIS, utilizando la información de batimetría disponible (cartas Náuticas SHOA). Una vez obtenido el DEM, mediante el mismo software, se estimaron el área (m²) y el volumen (m³), con la extracción de ráster de una zona determinada. Para cada píxel del DEM, se multiplica el área del píxel por la profundidad (o altura relativa al nivel de referencia) del píxel.

La información de oxígeno disuelto, se utilizaron los perfiles de CTDO, obtenidos en las diferentes campañas oceanográficas, se utilizó la data desde el 2012 hasta el 2025.

La determinación de las zonas con bajas de oxígeno disuelto, se utilizará la escala arbitraria propuesta por (Silva & Vargas, 2014). Utilizando las oxilineas según lo detallado a continuación:

>5 ml L-1 = buenas condiciones de oxígeno disuelto

4-2 ml L-1 = zona con bajos niveles de oxígeno disuelto (ZBO)

2-1 ml L-1 = zona con presencia de hipoxia (ZH)

1-0.5 ml L-1 = zona con condiciones de anoxia (ZA)

Para estimar el volumen se utilizaron los perfiles de CTDO (desde la superficie hasta la máxima profundidad de fondo o las limitaciones del equipo lo permitieran (350m), estos perfiles fueron generados durante las campañas de este estudio, agregando además data histórica, con la finalidad de obtener una estimación lo más representativa desde el 2012 hasta el 2025. La extensión (horizontal y vertical) de los diferentes niveles de OD (oxilineas), fueron construidas mediante interpolaciones, utilizando la aplicación ODV (Scitzer, 2021). De esta forma el área representada por un conjunto de perfiles, fuera lo más representativa de la zona determinada, y se aplicaron los criterios señalados por Rolff et al., (2022). quienes estimaron volúmenes de OD, con presencia de zonas hipóxicas y anóxicas en el mar Báltico.

Evaluar la condición trófica.

Para cuantificar la condición trófica de los diferentes sistemas analizados, fue aplicado el índice de eutroficación, descrito por Karydis et al., (1983). Este índice cuantifica cada nutriente por separado, de esta forma se aplicó por separado para el nitrato y para el fosfato. La ecuación principal de este índice es:

$$IE = \frac{C}{C - \log x} + \text{Log } A \quad (9)$$



Donde:

IE: es el índice de eutrofización para un nutriente específico.

C: es la concentración total del nutriente en el área (la suma de las concentraciones en todas las estaciones).

X: es la concentración total del nutriente en un área o estación específica.

A: es el número de estaciones de muestreo en el área

Para generar las diferentes matrices de datos, fueron utilizadas, mediciones históricas realizadas por IFOP, en cada una de las diferentes áreas estudiadas.

Una vez obtenidos los resultados, se aplicó la escala propuesta para dicho índice:

- $IE < 3$: **oligotrófico** (baja productividad biológica).
- $3 \leq IE \leq 5$: **mesotrófico** (productividad biológica moderada).
- $IE > 5$: **eutrófico** (alta productividad biológica)

2. RESULTADOS

Comparación de Zonas con bajas de oxígeno (ZBO) en áreas hipóxicas y anóxicas.

Haciendo una comparación con los resultados obtenidos, podemos ver nítidamente, que el mayor volumen de la ZBO, corresponde al fiordo Comau seguido de la depresión de Vattuone, en cambio las condiciones de hipoxia fueron significativamente mayor en fiordo Ultima Esperanza (f.U.E), para los casos más severos de oxígeno disuelto (anoxia), el mayor volumen se produce en fiordo Ultima Esperanza, seguido del fiordo Poca Esperanza y Quitralco (**figura 1**)

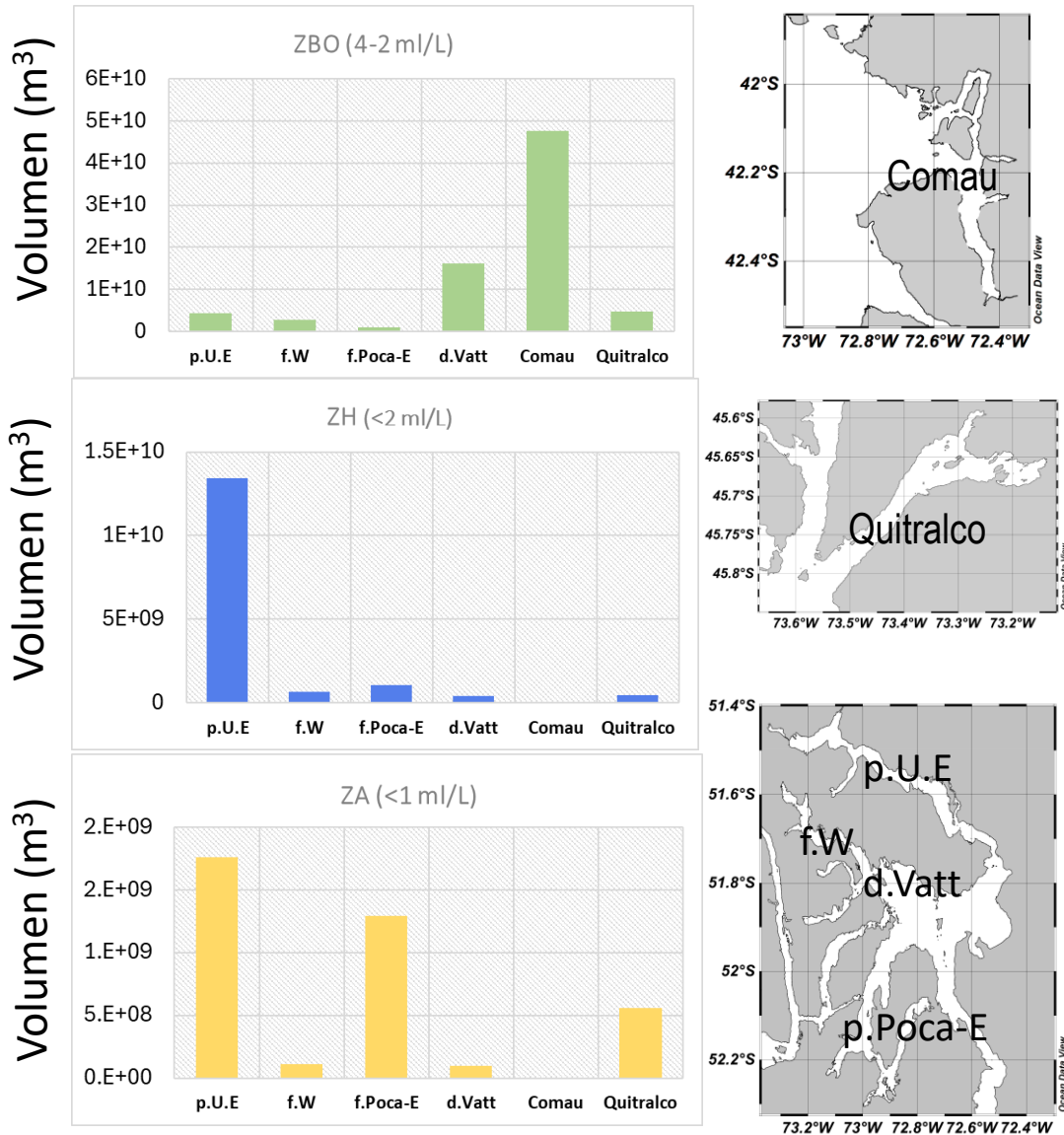


Figura 1: Comparación de los volúmenes de oxígeno entre cada una de las zonas estudiadas.

Índice de eutrofización Karydis (figura 2)

Estado trófico del nitrato: El análisis del índice de eutrofización de Karydis (1983) reveló que todas las estaciones de muestreo (fiordos Comau, Quitralco y Sistema GAM), exhibieron resultados con valores >3 y <5, catalogando a cada uno de los sistemas como mesotróficos, en relación con el nitrato. Esto sugiere una productividad biológica intermedia en estas zonas, impulsada por la disponibilidad de este nutriente. La variabilidad del índice fue relativamente baja en los fiordos Comau y Quitralco, indicando una situación trófica similar. No obstante, las estaciones del Sistema GAM mostraron una



mayor variabilidad, destacando que la única estación con valores bajos (oligotrófico), no se observaron condiciones de hipoxia o anoxia. El fiordo Comau registró los valores más altos del índice, con un promedio de 4.04, seguido por el fiordo Quitalco con 3.62 y el Sistema GAM con 3.7

Estado trófico del fosfato: Los valores para el fiordo Comau variaron entre 2.91 y 3.16. La mayoría de los datos se encuentran en el rango de > 3 y < 5 , con un valor promedio de 3.01, lo que lo clasifica como mesotrófico. El estado mesotrófico representa una condición intermedia, donde la concentración de nutrientes es moderada. Esto se traduce en una productividad biológica mayor que la de un fiordo oligotrófico, pero sin llegar a los niveles de eutrofización.

Los valores del fiordo Quitalco se encuentran entre 2.44 y 3.02, Con una excepción (el valor de 3.02), todos los datos caen dentro del rango de 1 y < 3 , estado oligotrófico Quitalco es un ecosistema con un potencial moderado, en termino de los niveles de fosfato, con un índice promedio de 2.7 (más próximo a una condición mesotrófica).

Los valores para el sistema GAM oscilaron entre 2.36 y 3.29, con un promedio 2.8. La mayoría de las estaciones, se encuentran dentro del rango de 1 y < 3 , lo que indicó un estado oligotrófico, excepcionalmente las estaciones 17 (3.06) y 21 (3.29), indicaron una condición mesotrófica.

De manera complementaria los valores en las relaciones N:P, indicaron que el nutriente limitante sería el nitrógeno, por la baja relación observada en las 3 áreas observadas fiordo Comau (N:P=9), fiordo Quitalco (N:P=12) y sistema GAM (N:P=9), estos valores fueron obtenidos del flujo de nutrientes.

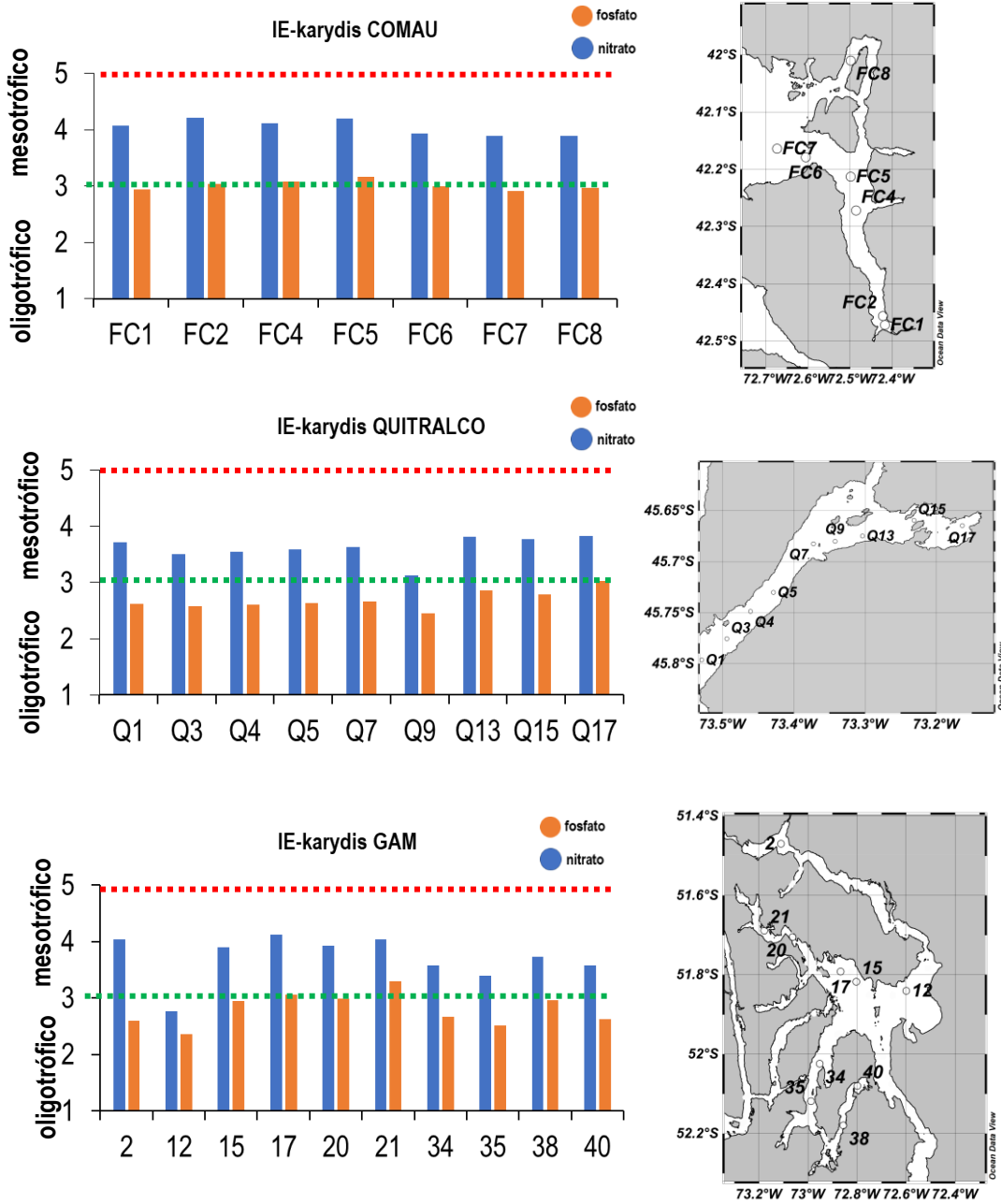


Figura 74. Índice Karydis aplicado a fiordo Comau, fiordo Quitralco y GAM, panel izquierdo. Mapa con las estaciones por zonas (panel derecho).

3. CONCLUSIONES

Los volúmenes de zonas con bajos niveles de oxígeno (ZBO), hipoxia y anoxia varían significativamente entre los fiordos estudiados, siendo el fiordo Comau el que presenta el mayor volumen de ZBO, mientras que el fiordo Última Esperanza registra los mayores volúmenes de hipoxia y anoxia, seguido por los fiordos Poca Esperanza y Quitalco.

Según el Índice de Eutrofización de Karydis, los sistemas analizados presentan una condición trófica predominantemente mesotrófica en relación con el nitrato, con productividad biológica moderada y variabilidad baja en fiordos como Comau y Quitalco. En contraste, el fosfato muestra una condición mayoritariamente oligotrófica, especialmente en Quitalco y el sistema GAM, indicando una menor presión trófica por este nutriente.

Las relaciones N:P sugieren que el nitrógeno es el nutriente limitante en todas las áreas estudiadas, con valores bajos ($N:P \approx 9-12$) que podrían estar influyendo en la dinámica de productividad y en los procesos biogeoquímicos asociados a las zonas hipóxicas y anóxicas.