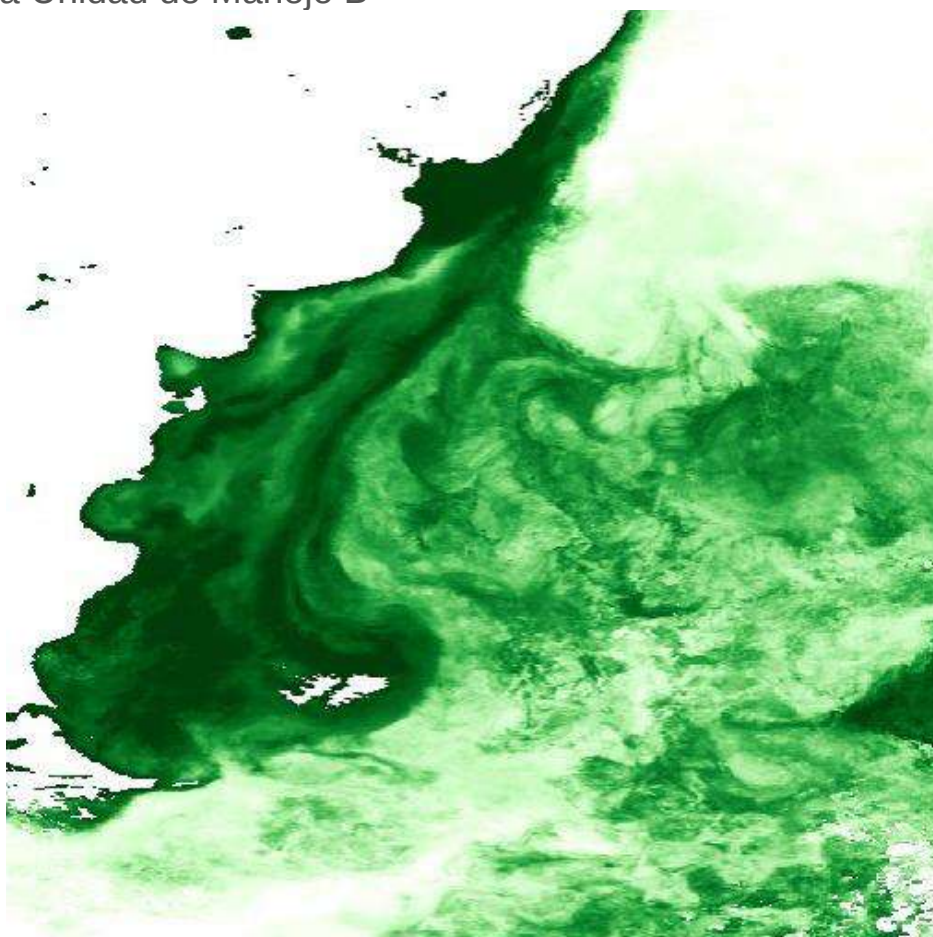


Serie: Informes científico-técnicos del
Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras

Informe Técnico N°52

Caracterización espacial de la actividad pesquera y condiciones ambientales asociadas a la pesquería de *Zygochlamys patagonica* en la Unidad de Manejo B



Autores: Lautaro Vassallo, Juan Alberti, Macelo Kittlein.
Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (IIMyC) UNMdP-CONICET
Mar del Plata, Argentina

Mar del Plata, junio 2026

Citar como: Vassallo L, Alberti J, Kittlein M. (2026). Caracterización espacial de la actividad pesquera y condiciones ambientales asociadas a la pesquería de *Zygochlamys patagonica* en la Unidad de Manejo B. Informes científico-técnicos del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras N°52 (UNMDP-CONICET). 17 pp.

Este informe es el resultado de un Servicio Técnico de Alto Nivel (STAN; CONICET) a las Empresas Glaciar Pesquera S.A.

Las opiniones expresadas en este producto informativo son las de su(s) autor(es), y no reflejan necesariamente los puntos de vista o políticas del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras.

ISSN 2796-9088

La “Serie: Informes científico-técnicos del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras” se aloja en el sitio <https://www.iimyc.gob.ar/iimyc/es/informes-tecnicos/>

La utilización, redistribución, traducción y creación de obras derivadas de la presente publicación están autorizadas, a condición de que se cite la fuente original y que las obras que resulten sean publicadas bajo las mismas condiciones de libre acceso. Esta licencia se aplica exclusivamente al texto de la presente publicación. Para utilizar cualquier otro material que aparezca en ella (tal como textos, imágenes, ilustraciones o gráficos), será necesario pedir autorización a la Dirección del IIMyC iimyc@mdp.edu.ar. No está permitido utilizar el logotipo del IIMyC.

Si la obra se traduce, debe añadirse el siguiente descargo de responsabilidad junto a la referencia requerida: “La presente traducción no es obra del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (IIMyC). El IIMyC no se hace responsable del contenido ni de la exactitud de la traducción. La edición original en el/los idiomas que se publique será el texto autorizado”.

Mar del Plata, junio 2026

Informe



Caracterización espacial de la actividad pesquera y condiciones ambientales asociadas a la pesquería de *Zygochlamys patagonica* en la Unidad de Manejo B

Lautaro Vassallo¹, Juan Alberti¹ y Marcelo J. Kittlein¹

¹Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (IIMyC). Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Mar del Plata. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina.

RESUMEN. La distribución espacial de la actividad pesquera sobre la vieira patagónica (*Zygochlamys patagonica*) depende de la interacción entre la distribución del recurso, las decisiones operacionales de la flota, las medidas de manejo y las condiciones ambientales. En este trabajo se integraron bases de datos biológicas, pesqueras y ambientales con el objetivo de caracterizar espacialmente el uso del recurso en la Unidad de Manejo B (UMB). Se procesaron datos de campañas de evaluación del INIDEP y registros de observadores a bordo de la empresa Argentina MMO, incluyendo ubicación de lances, composición de tallas y fracción de vieira comercial. A partir de estos datos se ajustó un modelo aditivo generalizado (GAM) para estimar la distribución espacial de la fracción comercial durante 2024. Posteriormente, esta información fue integrada con registros operacionales de la flota para generar estimaciones espaciales de captura de vieira comercial y evaluar su relación con la intensidad de la actividad pesquera. Además, se procesaron capas ambientales grilladas de clorofila-a, carbono orgánico particulado (POC), temperatura superficial, temperatura de fondo y profundidad para el período 2012–2025, con el fin de evaluar si la actividad pesquera se concentra en subconjuntos ambientales distinguibles. Los resultados mostraron que la actividad pesquera se concentró principalmente sobre una franja sudoeste–noreste de la UMB, coincidente con el sector donde el modelo GAM estimó mayores valores de fracción de vieira comercial. Además, se observó una relación aproximadamente lineal entre la intensidad de la actividad pesquera y el peso estimado de vieira comercial capturada, y una concentración de la actividad en rangos ambientales caracterizados por mayores valores de clorofila-a y POC, menor temperatura superficial y de fondo, y profundidades próximas al intervalo batimétrico principal de la pesquería.

ABSTRACT. The spatial distribution of fishing activity on the Patagonian scallop (*Zygochlamys patagonica*) depends on the interaction among resource distribution, fleet operational decisions, management measures, and environmental conditions. In this study, biological, fishery, and environmental databases were integrated to spatially characterize resource use in Management Unit B (UMB). Data from INIDEP assessment surveys and onboard observer records from the company Argentina MMO were processed, including haul location, size composition, and the fraction of commercial-sized scallops. Based on these data, a generalized additive model (GAM) was fitted to estimate the spatial distribution of the commercial scallop fraction during 2024. This information was then integrated with fleet operational records to generate spatial estimates of catch of commercial-sized scallops and evaluate their relationship with the intensity of fishing activity. In addition, gridded environmental layers of chlorophyll-a, particulate organic carbon (POC), sea surface temperature, bottom temperature, and depth were processed for the 2012–2025 period to assess whether fishing activity is concentrated in distinguishable environmental subsets. The results showed that fishing activity was mainly concentrated along a southwest–northeast band within the UMB, coinciding with the sector where the GAM estimated higher values of commercial scallop fraction. In addition, an approximately linear relationship was observed between the intensity of fishing activity and the estimated weight of captured commercial scallops, along with a concentration of fishing activity in environmental ranges characterized by higher chlorophyll-a and POC values, lower surface and bottom temperatures, and depths close to the main bathymetric range of the fishery.

Palabras clave: Vieira patagónica, fracción de vieira comercial, datos operacionales pesqueros, análisis espacial, modelos aditivos generalizados, esfuerzo pesquero, forzantes ambientales.

Key words: Patagonian scallop, commercial scallop fraction, fishery operational data, spatial analysis, generalized additive models, fishing effort, environmental drivers.

INTRODUCCIÓN

La vieira patagónica (*Zygochlamys patagonica*) es un molusco bivalvo perteneciente a la Familia Pectinidae, distribuido en el sur de Sudamérica, desde aproximadamente los 42°S en el océano

Pacífico y los 35°50'S en el Atlántico sudoccidental (Lasta y Bremec 1998; Campodónico *et al.* 2019). En el Mar Argentino, los principales bancos utilizados por la pesquería se localizan sobre la plataforma continental externa, en sectores próximos a

la transición hacia el talud continental, principalmente entre las isóbatas de 80 y 120 m de profundidad (Gutiérrez y Defeo 2003; Bogazzi *et al.* 2005). La distribución espacial de estos bancos presenta una fuerte asociación con sistemas frontales y estructuras oceanográficas de la región patagónica, particularmente con el Frente de Talud, donde los procesos de productividad, convergencia y retención pueden favorecer tanto la persistencia de agregaciones adultas como los procesos de reclutamiento (Bogazzi *et al.* 2005; Mauna *et al.* 2008; Campodónico *et al.* 2019).

La pesquería de vieira patagónica constituye actualmente uno de los recursos bentónicos de mayor importancia económica del país. Su manejo se encuentra regulado por el Consejo Federal Pesquero en el marco de la Ley Federal de Pesca N° 24.922, mediante un esquema que contempla talla mínima de captura, delimitación de unidades de manejo, protección de áreas de reproducción y recomendaciones de manejo pesquero basadas en campañas periódicas de evaluación (Soria *et al.* 2016; Campodónico *et al.* 2019). Estas campañas, realizadas por el Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP), generan información georreferenciada sobre abundancia, composición de tallas y estructura poblacional del recurso. Paralelamente, los registros de actividad de la flota pesquera y los datos recolectados por observadores a bordo de la empresa Argentina MMO aportan información operacional detallada sobre ubicación de los lances, esfuerzo de pesca, llenado de bolsas (fracción estimada de la captura retenida respecto a la capacidad total de la red de pesca) y características de las capturas. En conjunto, estas bases de datos conforman un registro histórico de gran detalle espacial y temporal sobre la dinámica de la actividad pesquera y la evaluación de la vieira patagónica en el Atlántico Sudoccidental (Alberti y Funes 2022).

El análisis integrado de esta información resulta de interés tanto desde el punto de vista pesquero como ecológico. Debido a la naturaleza sedentaria de los adultos (Soria *et al.* 2016), la estructura espacial de la actividad pesquera puede reflejar no solo la distribución local del recurso, sino también procesos ambientales y oceanográficos que actúan sobre distintas etapas del ciclo de vida. En este contexto, considerar la dimensión espacial de los datos permite avanzar desde descripciones agregadas hacia representaciones más detalladas de la actividad pesquera y de la distribución espacial de la fracción de vieira comercial. Estudios recientes han resaltado además la importancia de incorporar información espacial y ambiental en modelos pesqueros, particularmente en especies bentónicas cuya dinámica puede estar fuertemente condicionada por procesos de conectividad, retención y heterogeneidad del hábitat (McDonald *et al.* 2021, 2022, 2023).

Actualmente se dispone de productos oceanográficos satelitales y reanálisis numéricos que permiten caracterizar condiciones ambientales mediante campos grillados con resolución espacial y temporal definida. En este trabajo, dicha información se utilizó para evaluar si la actividad pesquera observada en la Unidad de Manejo B (UMB) se concentra en subconjuntos ambientales distinguibles. La integración de esta información con registros de actividad pesquera permite avanzar hacia una descripción ambiental de las áreas efectivamente utilizadas por la flota y aporta una base para futuros análisis espaciales de biomasa. En particular, la identificación de zonas con distinta intensidad de actividad pesquera y condiciones ambientales diferenciadas puede contribuir a definir subregiones internas de la unidad de manejo para modelos posteriores, ya sea mediante parámetros

espaciales diferenciados o mediante estructuras de correlación entre áreas ambientalmente relacionadas.

En este trabajo se presentan avances preliminares orientados a la caracterización espacial de la actividad pesquera dirigida a la vieira patagónica en la Unidad de Manejo B. Para ello, se integraron datos provenientes de campañas de evaluación, registros de observadores a bordo, información operacional pesquera y capas ambientales grilladas. A partir de esta información se estimó la distribución espacial de la fracción de vieira comercial, se derivaron estimaciones espaciales de captura de vieira comercial y se exploró la asociación entre la actividad pesquera, la disponibilidad regulatoria y distintos gradientes ambientales persistentes.

METODOLOGÍA

Fuentes de información biológica y pesquera

Se utilizaron registros provenientes de campañas de evaluación realizadas por el INIDEP¹ y datos obtenidos mediante observadores a bordo de Argentina MMO en los buques pesqueros comerciales de vieira patagónica (*Zygochlamys patagonica*). Ambas fuentes incluyeron información georreferenciada de los lances, fecha de operación y variables asociadas a la captura.

Las campañas de evaluación del INIDEP aportaron información sobre la distribución espacial de los lances, las distribuciones de frecuencia de tallas (DFT) y el peso de captura bruta registrado en cada lance. Esta captura bruta incluye vieira comercial, vieira no comercial y fauna acompañante, por lo que no representa directamente el peso de vieira comercial. A partir de las DFT se calculó, para cada lance, la fracción de individuos correspondientes a la categoría comercial, definida como aquellos ejemplares con altura valvar igual o superior a 55 mm, de acuerdo con la normativa vigente para la pesquería (Soria *et al.* 2016; Campodónico *et al.* 2019). Adicionalmente, las tallas registradas en las DFT fueron convertidas a peso individual mediante la relación talla–peso reportada por Lomovasky *et al.* (2008). De este modo, el peso estimado de vieira comercial por lance se obtuvo sumando los pesos correspondientes a las clases de talla comercial.

De manera complementaria, se utilizaron registros provenientes de observadores de la empresa Argentina MMO a bordo de buques pesqueros comerciales. Estas observaciones incluyeron muestras biológicas obtenidas durante operaciones de pesca, con información sobre la proporción en peso de vieira comercial, vieira no comercial y fauna acompañante, además de la localización espacial de cada muestra. Esta fuente permitió ampliar la cobertura espacial de la información biológica utilizada para modelar la distribución de la vieira comercial dentro de la UMB. Cabe destacar que las campañas de evaluación y los registros de observadores provienen de operaciones con artes de pesca diferentes: las campañas del INIDEP utilizan rastra como arte de muestreo, mientras que los registros de observadores a bordo corresponden a operaciones comerciales realizadas con red. Dado el carácter exploratorio del análisis, no se incorporaron correcciones específicas por diferencias de selectividad o eficiencia entre artes, aspecto que deberá ser considerado en futuros desarrollos metodológicos.

Por último, se utilizaron registros operativos de la flota pesquera comercial correspondientes a los lances realizados

¹ Los datos fueron digitalizados de los informes de campaña, informes técnicos e informes científico-técnicos públicamente disponibles en <https://www.argentina.gob.ar/inidep/informes-tecnicos-oficiales>

durante la actividad pesquera. Estos registros incluyeron la ubicación de los lances y el porcentaje de llenado de las bolsas de captura, constituyendo la base principal para caracterizar espacialmente la intensidad de actividad pesquera.

En el presente informe, la estimación espacial de la fracción de vieira comercial se realizó para el año 2024, debido a que dicho período presentó la mejor cobertura espacial conjunta entre campañas de evaluación y registros de observadores dentro de la UMB. Complementariamente, los registros operacionales de la flota pesquera, incluyendo el llenado de bolsas y la localización de los lances, fueron integrados para el período 2012–2025, permitiendo caracterizar patrones multianuales de la actividad y su relación con variables ambientales durante el mismo período.

Modelado espacial de la fracción de vieira comercial

La variabilidad espacial de la fracción de vieira comercial fue modelada mediante un Modelo Aditivo Generalizado (GAM) utilizando el paquete *mgcv* de R (Wood 2017). La variable respuesta correspondió a la fracción de vieira comercial estimada a partir de los lances provenientes de las campañas de evaluación del INIDEP y de las muestras biológicas obtenidas por los observadores a bordo de los buques pesqueros comerciales.

El modelo fue ajustado utilizando una distribución cuasi-Binomial y una función de enlace *logit*, adecuada para una variable respuesta expresada como fracción acotada entre 0 y 1. Debido a la elevada densidad espacial de observaciones en determinados sectores de pesca, particularmente en los registros provenientes de observadores a bordo, previo al ajuste los datos fueron agregados sobre una grilla regular de 6000 m de resolución. Sobre cada celda se calcularon valores promedio de fracción de vieira comercial y número de observaciones, con el objetivo de reducir la autocorrelación espacial de muy corta escala y evitar la sobrerrepresentación de áreas intensamente muestreadas durante el ajuste de los modelos espaciales. Aún así, aquellas celdas con mayor cantidad de observaciones asociadas fueron ponderadas con mayor peso.

A partir del modelo ajustado se generó un mapa continuo de predicción espacial de la fracción de vieira comercial dentro de la UMB. Asimismo, se calculó un mapa de incertidumbre utilizando el error estándar de las predicciones obtenido durante el proceso de interpolación espacial.

Como análisis exploratorio complementario, también se evaluó el uso de regresiones de procesos gaussianos espaciales (Erickson 2024) para representar la estructura espacial de la fracción de vieira comercial, utilizando funciones de covarianza tipo Matérn. Sin embargo, los modelos GAM presentaron un comportamiento más estable e interpretable para los objetivos del presente análisis, motivo por el cual fueron utilizados como enfoque principal.

Estimación indirecta de captura

A partir de los registros de llenado de bolsas y de la superficie espacial de fracción de vieira comercial obtenida mediante GAM, se realizó una estimación indirecta de captura comercial para los lances de pesca. Para este cálculo, el valor predicho por el modelo en la ubicación de cada lance fue utilizado como estimador local de la proporción de vieira de talla comercial en la captura.

La captura estimada para cada lance fue calculada como:

$$C = P \times B \times F \quad (1)$$

donde C representa la captura estimada de vieira comercial, P corresponde al peso promedio de una bolsa completa, B a la fracción de llenado de bolsa reportada por los buques pesqueros y F a la fracción local de vieira comercial predicha por el modelo GAM. Nótese que la necesidad de multiplicar por F en la expresión radica en que los registros de llenado de bolsa de los buques pesqueros incluyen todo el material retenido en el lance, incluyendo vieira de talla comercial, no comercial y fauna acompañante.

La estimación obtenida fue agregada espacialmente y comparada con la cuota de captura permitida para la pesquería durante el año analizado, con el objetivo de evaluar la consistencia general de las aproximaciones realizadas.

Asimismo, se analizaron las relaciones entre el llenado total de bolsas y la captura estimada mediante modelos lineales y análisis de correlación.

Información ambiental y análisis ambiente-actividad pesquera

El análisis ambiente-actividad pesquera tuvo dos objetivos principales. En primer lugar, caracterizar el ambiente representativo de cada celda de la UMB a partir de variables ambientales resumidas a escala multianual. En segundo lugar, evaluar si la actividad pesquera se concentró en determinados rangos ambientales, considerando previamente la disponibilidad espacio-temporal de las celdas para la pesca, definida a partir de su superficie y tiempo de disponibilidad regulatoria.

Para caracterizar las condiciones ambientales de la UMB se utilizó un conjunto acotado de variables grilladas. Se incluyeron variables satelitales provenientes del sensor MODIS-Aqua: concentración de clorofila-*a* (Hu *et al.* 2012), concentración de carbono orgánico particulado (POC) (Stramski *et al.* 2008) y temperatura superficial del mar (TS) (Brown *et al.* 1999). Estas variables fueron seleccionadas para representar tres dimensiones ambientales superficiales: productividad fitoplanctónica, materia orgánica particulada y temperatura del mar. Complementariamente, se incorporó la profundidad del fondo marino a partir de la grilla batimétrica global GEBCO (GEBCO Compilation Group 2025) y la temperatura de fondo (TF) estimada por el reanálisis GLORYS12V1 de Copernicus Marine (Lellouche *et al.* 2021). La profundidad permitió caracterizar la posición batimétrica de las celdas de análisis, reteniendo únicamente valores menores o iguales a 200 m para excluir sectores más profundos del extremo oriental de la UMB que no corresponden al rango batimétrico principal de la pesquería. A su vez, la temperatura de fondo fue utilizada como descriptor térmico más próximo al ambiente bentónico de la especie. Esta última debe ser interpretada con cautela, dado que proviene de un producto de reanálisis, y fue considerada como complemento de la temperatura superficial observada satelitalmente.

La información ambiental fue previamente curada, sistematizada y almacenada en una base de datos raster propia, junto con su información espacial y temporal correspondiente. Las variables dinámicas fueron almacenadas con resolución temporal mensual, mientras que la profundidad fue incorporada como una capa estática. Para cada variable dinámica y píxel del raster se calculó la mediana temporal multianual a partir de todos los registros mensuales disponibles entre 2012 y 2025. Este valor fue utilizado como descriptor representativo de condiciones ambientales persistentes. Para la profundidad, al tratarse de una capa estática, se utilizó directamente el valor batimétrico correspondiente.

Por otro lado, los registros de pesca comercial fueron integrados espacialmente sobre una grilla regular de 1000 m construida sobre la UMB durante el mismo período temporal que la información ambiental. Para cada lance se calculó una medida de intensidad de actividad pesquera a partir de la suma del llenado relativo de las bolsas de pesca. Luego, cada lance fue asignado a una celda de la grilla mediante operaciones de intersección espacial, y la intensidad acumulada de actividad pesquera de cada celda se calculó como:

$$I_i = \sum_{j \in i} B_j,$$

donde I_i representa la intensidad acumulada en la celda i , y B_j corresponde al llenado total de bolsas del lance j .

Cabe aclarar que del dominio de análisis se excluyeron las áreas correspondientes a reservas reproductivas permanentes dentro de la UMB. Dentro del dominio restante, la disponibilidad espacial para la pesca puede variar entre años por la implementación de vedas regulatorias temporales. Por ello, a la intensidad de actividad pesquera definida en el párrafo anterior se le incorporó una corrección por disponibilidad anual de cada celda. Estas vedas forman parte de las medidas de manejo de la pesquería y pueden establecerse en función de criterios biológicos, entre ellos la protección de áreas con elevada presencia relativa de juveniles, considerando como referencia una relación mínima juveniles:vieira comercial de 1:1 (Campodónico *et al.* 2019). Por este motivo, las celdas con baja disponibilidad regulatoria no fueron interpretadas como áreas de baja actividad pesquera, sino como una categoría espacial independiente. Para ello, las geometrías de veda correspondientes a la UMB fueron intersectadas con la grilla de análisis para cada año del período considerado. En cada celda i y año t se calculó la proporción de área vedada y, complementariamente, la proporción disponible para pesca, denotada como $a_{i,t}$. Esta variable toma valores entre 0 y 1, donde $a_{i,t} = 1$ indica que la celda estuvo completamente disponible durante ese año y $a_{i,t} = 0$ indica que estuvo completamente vedada. La disponibilidad regulatoria acumulada de cada celda fue expresada como años-equivalentes disponibles:

$$D_i = \sum_t a_{i,t},$$

donde D_i representa el tiempo total equivalente durante el cual la celda i estuvo disponible para la actividad pesquera. De este modo, una celda completamente disponible durante todo el período analizado alcanza un valor de D_i igual al número total de años considerados, mientras que una celda parcial o recurrentemente vedada presenta valores menores. A partir de esta magnitud se calculó una intensidad normalizada de actividad pesquera por disponibilidad:

$$I_i^* = \frac{I_i}{D_i}, \quad (2)$$

definida únicamente para celdas con $D_i > 0$. Esta variable representa la intensidad de actividad pesquera por unidad de tiempo disponible y permite comparar celdas que tuvieron distinta disponibilidad regulatoria durante el período analizado.

A partir de la integración entre variables ambientales e intensidad de actividad pesquera se desarrollaron dos análisis complementarios. En primer lugar, se calculó un índice de uso relativo a lo largo de gradientes ambientales. Para cada variable ambiental, las celdas fueron agrupadas en intervalos de valores

según sus valores de mediana multianual. En cada intervalo ambiental k se calculó la intensidad acumulada de actividad pesquera:

$$U_k = \sum_{i \in k} I_i,$$

y la disponibilidad regulatoria acumulada correspondiente:

$$D_k = \sum_{i \in k} D_i.$$

El índice de uso relativo se definió como:

$$UR_k = \frac{U_k / \sum_k U_k}{D_k / \sum_k D_k}. \quad (3)$$

De esta manera, UR_k compara la proporción de actividad pesquera acumulada observada en un intervalo ambiental con la proporción de disponibilidad regulatoria acumulada correspondiente a ese mismo intervalo. Esta disponibilidad integra tanto la extensión espacial del intervalo, dada por la cantidad de celdas que lo componen, como el tiempo durante el cual dichas celdas estuvieron disponibles para la pesca. Por lo tanto, valores de $UR_k > 1$ indican rangos ambientales sobreutilizados respecto de su disponibilidad espacio-temporal, mientras que valores de $UR_k < 1$ indican rangos subutilizados.

En segundo lugar, se evaluó si las celdas con distinto nivel de actividad pesquera presentaban distribuciones ambientales diferenciables. Para ello, las celdas con una disponibilidad regulatoria menor a 5 años fueron clasificadas como una categoría independiente para este análisis, dado que su baja actividad pesquera observada puede estar determinada por restricciones de manejo asociadas a criterios biológicos y no por ausencia de interés pesquero. Las celdas restantes, consideradas suficientemente disponibles, fueron clasificadas según su intensidad normalizada de actividad pesquera (Ec. (2)). Las celdas sin registros de pesca fueron clasificadas como 'disponibles sin actividad pesquera registrada', mientras que las celdas con actividad pesquera registrada fueron divididas en clases de baja, media y alta intensidad utilizando los cuantiles 1/3 y 2/3 de I_i^* calculados sobre las celdas con actividad pesquera registrada. De esta manera, las categorías finales combinaron información sobre disponibilidad regulatoria y actividad pesquera observada, evitando interpretar como baja actividad pesquera aquellas celdas cuya oportunidad de pesca estuvo fuertemente limitada por vedas.

Las distribuciones ambientales entre categorías fueron comparadas mediante gráficos de violín y boxplots. Adicionalmente, se calcularon estadísticos descriptivos por categoría, incluyendo media, desvío estándar, mediana y rango intercuartílico. Para facilitar la comparación entre categorías, se estimó también la diferencia relativa porcentual entre medianas, utilizando como referencia la categoría de celdas 'disponibles sin actividad pesquera registrada'.

Como medida complementaria de separación entre distribuciones se calculó el *delta* de Cliff, una medida no paramétrica de tamaño de efecto que toma valores entre -1 y 1 , donde valores cercanos a cero indican alta superposición entre distribuciones y valores absolutos mayores indican mayor separación (Cliff 1993). Estos análisis fueron interpretados de manera descriptiva, con el objetivo de evaluar si las zonas con actividad pesquera registrada, sin actividad pesquera registrada y de baja disponibilidad regulatoria ocupan subconjuntos ambientales diferenciables dentro de la UMB.

RESULTADOS

Distribución espacial de lances y composición comercial

Como primera aproximación a la cobertura espacial y a la composición biológica de las fuentes de información utilizadas, se evaluó la distribución geográfica de los lances provenientes de campañas de evaluación del INIDEP y de observadores a bordo sobre la UMB, correspondiente al año 2024. La Fig. 1 muestra la localización de ambas fuentes de información, permitiendo apreciar su complementariedad espacial. Las campañas del INIDEP aportan una cobertura más amplia pero menos densa, orientada a la evaluación científica del recurso, mientras que los registros de observadores a bordo presentan una mayor densidad de observaciones en la región de mayor actividad pesquera comercial. En conjunto, estas bases proporcionan el soporte espacial sobre el cual se desarrollaron los análisis posteriores de fracción de vieira comercial y actividad pesquera.

A continuación, se examinó la distribución de la fracción de vieiras de talla comercial para ambas fuentes de datos por separado (Fig. 2). En el caso de los datos del INIDEP, la distribución mostró valores predominantemente bajos, con media 0.12, mediana 0.09 y desvío estándar 0.10, indicando una fracción comercial reducida y relativamente concentrada en torno a valores bajos. En cambio, los registros de observadores a bordo presentaron una distribución desplazada hacia valores más altos, con media y mediana próximas a 0.41 y una mayor dispersión (desvío estándar 0.19), reflejando una mayor proporción de vieiras comerciales en las muestras asociadas a la actividad pesquera. Esta diferencia entre fuentes es consistente con el tipo de muestreo de cada base y con el hecho de que los observadores a bordo registran muestras tomadas durante la operación pesquera comercial, la cual se enfoca en áreas con predominancia de vieiras adultas.

Modelado espacial de la fracción de vieira comercial

La fracción de vieira comercial mostró una estructura espacial marcada dentro de la UMB (Fig. 3). El modelo GAM fue ajustado utilizando una distribución quasi-Binomial con función de enlace *logit*, considerando como predictores las coordenadas espaciales UTM mediante un suavizado bidimensional $s(x, y)$. La variable respuesta correspondió a la fracción de vieira comercial estimada a partir de las bases biológicas del INIDEP y observadores a bordo, luego del procedimiento de agregación espacial descrito en la sección metodológica. Los puntos circulares superpuestos en el mapa corresponden a las observaciones agregadas utilizadas para el ajuste del modelo.

El término espacial resultó significativo ($F = 10.36$, $p < 0.001$), indicando que la fracción de vieira comercial no se distribuyó de manera homogénea en la región analizada. El modelo explicó el 91.7 % de la devianza, con un $R^2_{adj} = 0.878$, lo que indica un buen desempeño descriptivo para representar la estructura espacial general de la variable. Además, los diagnósticos del modelo no indicaron problemas relevantes de convergencia ni evidencias de que la complejidad del suavizado utilizado fuera insuficiente.

La superficie predicha mostró una franja de valores relativamente altos orientada en sentido sudoeste-noreste, con máximos localizados principalmente hacia sectores del centro-este y norte de la UMB. Este patrón coincide con la distribución espacial de varias de las observaciones con mayor fracción de vieira comercial, aunque el modelo genera una superficie continua

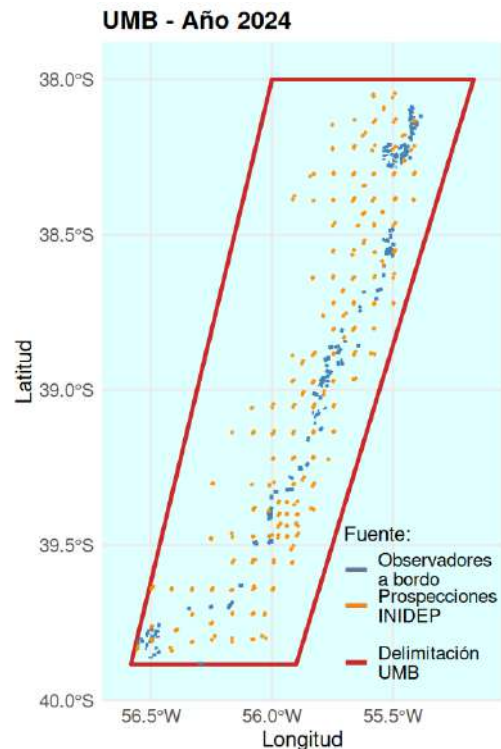


Fig. 1. Distribución espacial de los lances utilizados en el análisis dentro de la Unidad de Manejo B (UMB). En azul se indican los lances correspondientes a observadores a bordo y en amarillo los lances provenientes de campañas de evaluación del INIDEP. El contorno rojo delimita la UMB.

que suaviza la variabilidad local de las muestras. En contraste, amplios sectores occidentales de la unidad presentaron valores bajos de fracción de vieira comercial predicha. Este resultado sugiere una marcada heterogeneidad espacial en la abundancia de vieira comercial dentro de la UMB.

El error estándar de la predicción presentó valores más elevados en sectores periféricos y en regiones con menor densidad de observaciones, particularmente hacia el extremo noreste de la unidad y en áreas alejadas del núcleo principal de muestreo. Por este motivo, las predicciones en zonas con escasa cobertura de muestras deben interpretarse con cautela. En particular, los valores predichos en sectores poco muestreados representan extrapolaciones espaciales del modelo y no estimaciones locales directamente respaldadas por una alta densidad de observaciones. Aun así, el patrón general obtenido permite identificar una estructura espacial consistente de la fracción de vieira comercial y proporciona una base para su integración con los registros operacionales de la flota pesquera.

Integración con registros operacionales de la flota

La superficie espacial de fracción de vieira comercial estimada mediante GAM fue integrada con los registros operacionales de la flota pesquera correspondientes al año 2024. Aquí, definimos la intensidad de actividad pesquera como la suma espacialmente agregada de la fracción de llenado de bolsas registrado en los lances comerciales. Esta variable puede interpretarse como una medida de bolsas equivalentes completas acumuladas por celda espacial.

La Fig. 4a muestra la distribución de los lances comerciales de 2024 sobre la superficie estimada de fracción de vieira comercial.

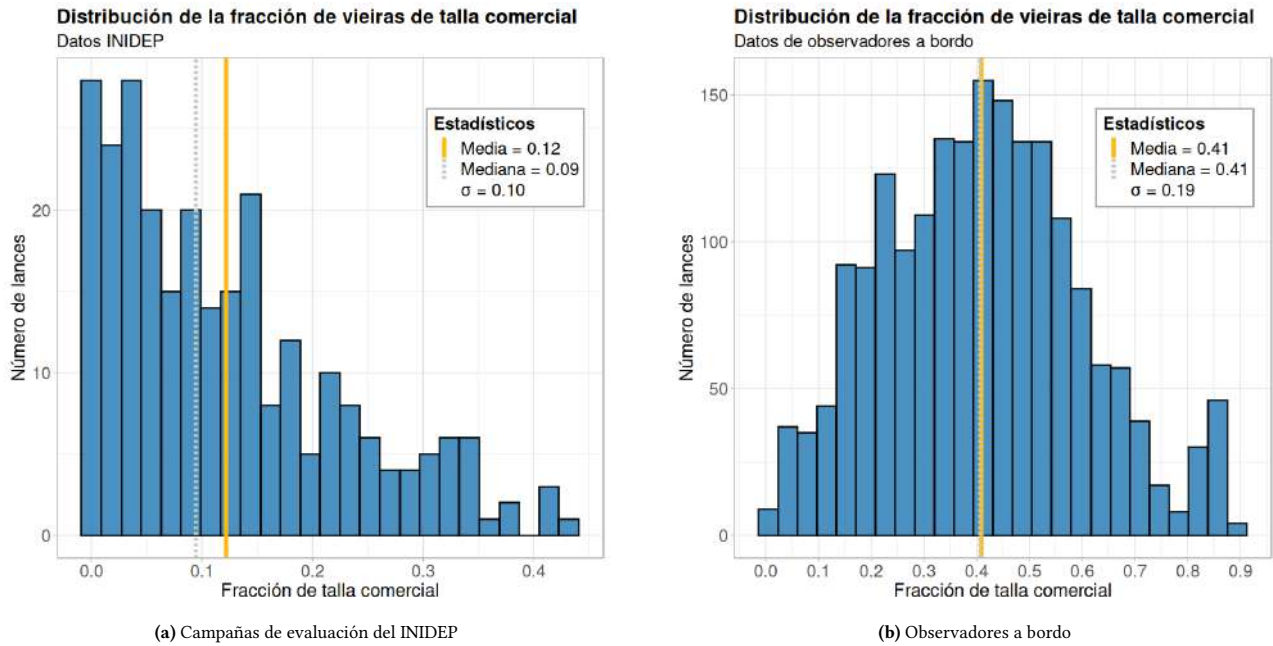


Fig. 2. Distribución de la fracción de vieira de talla comercial (≥ 55 mm) para las dos fuentes de información utilizadas en el análisis. Se indican la media, la mediana y el desvío estándar de cada distribución.

Los lances se concentraron principalmente sobre una franja orientada en sentido sudoeste–noreste, parcialmente coincidente con las zonas con mayor fracción de vieira comercial predicha. Esta distribución no fue homogénea dentro de la UMB, sino que presentó núcleos de actividad más intensos en sectores específicos, particularmente hacia el centro-este, noreste y extremo sudoeste de la unidad.

Al agregar los lances sobre una grilla regular de 1000 m, la intensidad de actividad pesquera mostró una estructura espacial concentrada en parches discretos (Fig. 4b). Estos parches representan áreas donde se acumularon mayores valores de llenado de bolsas, y por lo tanto mayor actividad pesquera relativa. A partir de la fracción de vieira comercial predicha por el modelo GAM, se calculó una estimación indirecta de captura comercial para cada lance mediante:

$$C = 2300 \text{ kg} \times B \times F,$$

donde se utilizó la Ec. (1) con peso promedio de bolsa llena $P = 2300$ kg. La agregación espacial de esta variable generó un patrón muy similar al de la intensidad de actividad pesquera (Fig. 4c), indicando que la estructura espacial de la captura estimada estuvo fuertemente determinada por la distribución del esfuerzo operativo de la flota, mientras que la fracción de vieira comercial actuó como un factor de corrección espacial.

La captura total de vieira comercial estimada mediante este procedimiento fue de aproximadamente 24 048 t para el año 2024. Este valor resultó muy próximo a la cuota anual permitida para la pesquería durante ese año, establecida en 24 000 t (Consejo Federal Pesquero 2024), representando aproximadamente el 100.2 % de dicho valor. Esta proximidad sugiere una consistencia general entre la estimación espacial obtenida a partir del modelo GAM y los registros operacionales de la flota, aunque la comparación debe interpretarse como una validación exploratoria, dado que la estimación depende de la fracción comercial local inferida y del peso promedio asumido por bolsa

completa. La incertidumbre propagada exclusivamente a partir del error estándar de predicción del GAM fue baja en relación con la magnitud total estimada (0.08 %), aunque no incorpora otras fuentes de variabilidad asociadas al llenado de bolsas, representatividad espacial de las muestras biológicas o errores operacionales de registro.

La relación entre intensidad de actividad pesquera y captura estimada fue aproximadamente lineal (Fig. 5a). El ajuste lineal forzado al origen presentó una pendiente de 979 kg por bolsa equivalente y un $R^2 = 0.98$, indicando que la suma de llenado de bolsas explicó la mayor parte de la variabilidad de la captura estimada. Esta relación es esperable, dado que la captura fue calculada a partir del producto entre llenado de bolsas y la proporción comercial local derivada de la fracción de vieira comercial. Sin embargo, el resultado muestra que, a escala espacial agregada, la variabilidad del llenado de bolsas dominó la estructura de la captura estimada, mientras que la fracción de vieira comercial moduló dicha estimación sin alterar sustancialmente el patrón general. El gráfico en escala logarítmica incluido como recuadro muestra que esta relación se mantuvo a lo largo de varios órdenes de magnitud de intensidad de actividad pesquera.

La distribución ponderada de la fracción comercial en los lances comerciales mostró que la mayor parte de la actividad pesquera efectiva se concentró en regiones con valores intermedios de fracción de vieira comercial (Fig. 5b). La distribución presentó una media de 0.39, con dos modas principales próximas entre sí en 0.35 y 0.45, y un desvío estándar de 0.09. Esta bimodalidad sugiere la contribución de al menos dos conjuntos espaciales de lances con distinta composición comercial, uno de ellos asociado a sectores con mayor fracción de vieira comercial ubicados hacia el noreste de la UMB, según la predicción del modelo GAM ajustado a partir de la información biológica integrada para 2024. En conjunto, los resultados indican que, aunque con diferencias espaciales dentro de la unidad de manejo, la flota operó predominantemente sobre rangos acotados de fracción de vieira comercial.

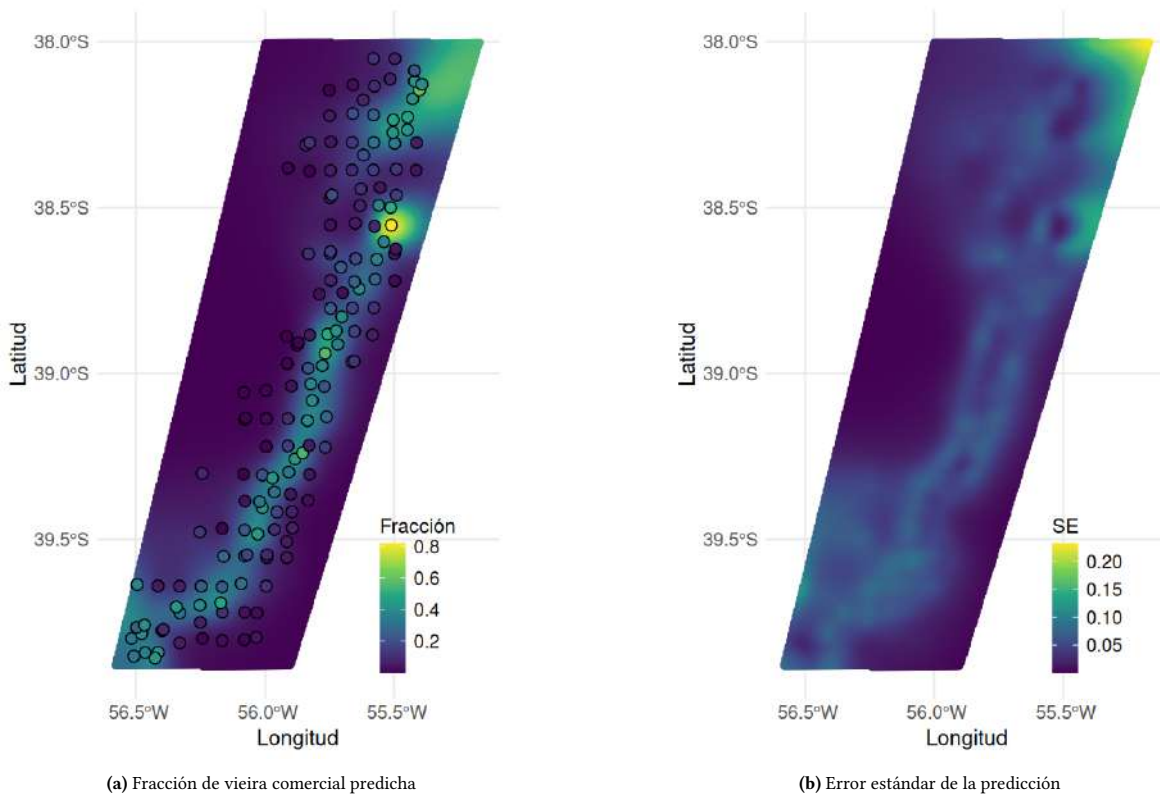


Fig. 3. Modelado espacial de la fracción de vieira comercial mediante un modelo aditivo generalizado con distribución quasi-Binomial y enlace *logit*. El panel (a) muestra la superficie predicha para la UMB, con las observaciones agregadas utilizadas en el ajuste indicadas mediante puntos circulares. El panel (b) muestra el error estándar de la predicción, utilizado como indicador de la incertidumbre asociada al componente espacial ajustado.

Disponibilidad regulatoria e intensidad de actividad pesquera (2012–2025)

La disponibilidad regulatoria acumulada presentó una estructura espacial heterogénea dentro de la UMB (Fig. 6a). Las celdas con mayor número de años-equivalentes disponibles se distribuyeron principalmente hacia los márgenes de la unidad de manejo, mientras que los valores más bajos se concentraron en una región amplia del sector norte-centro de la UMB. Esta configuración indica que una fracción relevante del área de estudio estuvo sujeta a restricciones recurrentes durante el periodo 2012–2025. Dado que las vedas pueden estar asociadas a criterios biológicos de manejo, esta estructura espacial fue considerada explícitamente al comparar la actividad pesquera acumulada entre celdas.

La intensidad acumulada de actividad pesquera mostró una distribución espacial fuertemente agregada (Fig. 6b). La mayor parte de la actividad se concentró sobre una franja orientada aproximadamente en sentido sudoeste–noreste, con núcleos localizados de mayor intensidad. Esta distribución es consistente con la disposición espacial de los lances de prospección y con el patrón estimado previamente para la fracción de vieira comercial durante 2024 mediante el modelo GAM (Fig. 3a). La actividad pesquera se concentró principalmente sobre sectores donde la información biológica disponible indica una mayor presencia relativa de vieira comercial. En este sentido, el análisis multianual de actividad pesquera aporta una caracterización complementaria y temporalmente integrada de una estructura espacial ya sugerida por las prospecciones y el modelado espacial de la fracción de vieira comercial.

Al normalizar la intensidad acumulada por los años-equivalentes disponibles, el patrón espacial general se mantuvo, aunque se modificó la magnitud relativa de algunos núcleos de actividad pesquera (Fig. 6c). Esta normalización permite expresar la intensidad de actividad pesquera en relación con el tiempo efectivo de disponibilidad regulatoria de cada celda, evitando interpretar como baja actividad pesquera aquellas áreas cuya oportunidad de pesca estuvo reducida por vedas recurrentes. En conjunto, estos resultados muestran que la estructura espacial de actividad pesquera se organiza sobre una franja principal, parcialmente superpuesta con sectores de distinta disponibilidad regulatoria.

Análisis ambiental preliminar

Los mapas ambientales obtenidos a partir de las medianas multianuales se presentan en la Fig. 7. Estos mapas resumen la estructura espacial persistente de las variables consideradas dentro de la UMB y fueron utilizados como base para los análisis de uso relativo y comparación entre categorías de disponibilidad y actividad pesquera. Las variables satelitales de MODIS-Aqua incluyeron temperatura superficial del mar, clorofila-a y carbono orgánico particulado, mientras que la temperatura de fondo y la profundidad fueron incorporadas como descriptores complementarios del ambiente bentónico.

El índice de uso relativo permitió evaluar si la intensidad acumulada de actividad pesquera se distribuyó proporcionalmente a la disponibilidad regulatoria de las celdas a lo largo de distintos gradientes ambientales. En todos los casos, valores superiores a 1 indican rangos ambientales utilizados con mayor intensidad que

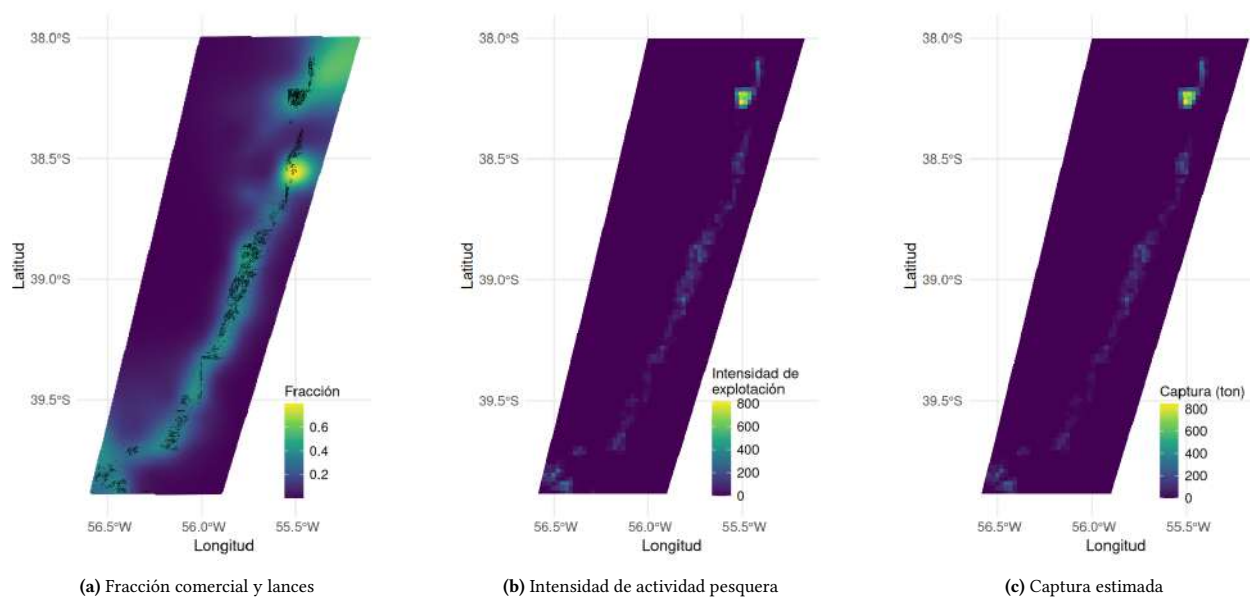


Fig. 4. Integración entre la fracción de vieira comercial estimada mediante GAM y los registros operacionales de la flota pesquera durante 2024. El panel (a) muestra la superficie de fracción de vieira comercial predicha junto con los lances comerciales registrados. El panel (b) muestra la intensidad de actividad pesquera, definida como la suma del llenado de bolsas por celda de 1000 m. El panel (c) muestra la captura comercial estimada a partir del llenado de bolsas, el peso medio de bolsa completa y la fracción de vieira comercial predicha.

la esperada de acuerdo con su disponibilidad espacio-temporal, mientras que valores inferiores a 1 indican rangos subutilizados.

Los histogramas de uso relativo mostraron que la actividad pesquera se concentró en subconjuntos ambientales bien definidos (Fig. 8). Para la clorofila-a, los mayores valores se observaron en rangos intermedios-altos, aproximadamente entre 1.5 y 2.1 mg/m³, con un máximo cercano a 1.7 mg/m³. Los valores bajos de clorofila-a, por debajo de aproximadamente 1.4 mg/m³, presentaron uso relativo cercano a cero, indicando una baja contribución de esos rangos a la actividad pesquera acumulada. El carbono orgánico particulado (POC) mostró un patrón similar, con baja utilización relativa en los rangos inferiores y una concentración de la actividad pesquera en valores intermedios-altos. Los mayores valores de uso relativo se ubicaron aproximadamente entre 208 y 222 mg/m³, con un máximo alrededor de 214 mg/m³.

En el caso de la temperatura superficial del mar (TS), se presentó un patrón unimodal marcado. La actividad pesquera se concentró principalmente entre aproximadamente 11.8 y 12.5 °C, con un máximo cercano a 12.1 °C. Por su parte, la temperatura de fondo (TF) también mostró una concentración de la actividad pesquera en un intervalo térmico definido, desplazado hacia valores menores respecto de la TS. Los mayores valores de uso relativo se ubicaron aproximadamente entre 6.8 y 8.0 °C, con un máximo cercano a 7.4 °C. Fuera de este intervalo, el uso relativo fue menor, especialmente en los extremos fríos y cálidos del gradiente.

Finalmente, la profundidad mostró una concentración clara de la actividad pesquera en un rango batimétrico intermedio. Los mayores valores de uso relativo se observaron aproximadamente entre 99 y 122 m de profundidad, con un máximo cercano a 103 m. Las celdas más someras y las más profundas presentaron uso relativo bajo, consistente con una concentración de la actividad pesquera en una franja batimétrica específica dentro de la UMB.

En conjunto, estos resultados indican que la actividad pesquera acumulada no se distribuyó proporcionalmente a la dis-

ponibilidad espacio-temporal dentro de la UMB, sino que se concentró en rangos específicos de productividad superficial, materia orgánica particulada, temperatura y profundidad.

Las distribuciones ambientales por categoría de disponibilidad y actividad pesquera se presentan en la Fig. 9. En todos los casos, las celdas con baja disponibilidad regulatoria se muestran como una categoría independiente, dado que su baja intensidad de actividad pesquera observada puede responder a restricciones de manejo y no necesariamente a una menor utilización preferencial por parte de la flota. Las tablas completas con los estadísticos descriptivos, diferencias relativas de medianas y valores de *delta* de Cliff se presentan en el Anexo.

Para la clorofila-a, las celdas disponibles sin actividad pesquera registrada presentaron una mediana de 1.45 mg/m³, mientras que las clases de actividad pesquera baja, media y alta presentaron medianas de 1.66, 1.77 y 1.70 mg/m³, respectivamente. Esto representa incrementos relativos aproximados de 15%, 22% y 18% respecto de la categoría 'disponible sin actividad pesquera registrada'. Los valores de *delta* de Cliff indicaron una separación mediana a grande entre las categorías con actividad pesquera registrada y las disponibles sin actividad pesquera registrada ($\delta = 0.44-0.58$), mientras que las diferencias entre las propias categorías con actividad pesquera registrada fueron pequeñas o despreciables. La categoría de baja disponibilidad regulatoria mostró una distribución más acotada, con mediana de 1.55 mg/m³, consistente con su concentración espacial en una región restringida de la UMB.

El carbono orgánico particulado mostró un patrón similar. La mediana de POC en celdas disponibles sin actividad pesquera registrada fue 201.7 mg/m³, mientras que las clases de actividad pesquera baja, media y alta presentaron medianas de 210.1, 212.1 y 211.1 mg/m³, respectivamente, equivalentes a diferencias relativas de aproximadamente 4-5%. Los tamaños de efecto respecto de la categoría 'disponible sin actividad pesquera registrada' fueron medianos a grandes ($\delta = 0.41-0.57$), pero las comparaciones entre clases con actividad pesquera registrada

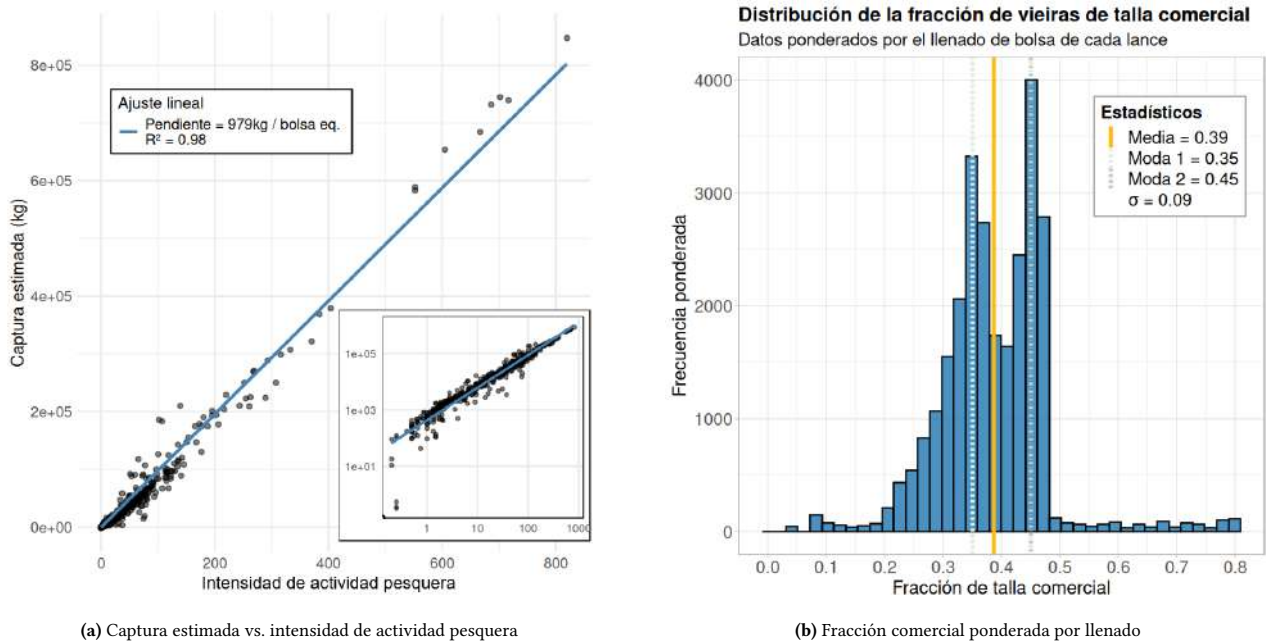


Fig. 5. Relación entre los registros operacionales de la flota y la captura comercial estimada. El panel (a) muestra la relación entre intensidad de actividad pesquera y captura estimada por celda, junto con un ajuste lineal forzado al origen; el recuadro interno presenta la misma relación en escala logarítmica. El panel (b) muestra la distribución de la fracción comercial ponderada por el llenado de bolsa de cada lance comercial de 2024.

tuvieron magnitudes despreciables o pequeñas. Esto indica que el POC diferencia principalmente las celdas con actividad pesquera registrada de las sin actividad pesquera registrada, más que niveles crecientes de actividad pesquera dentro de las áreas utilizadas.

La temperatura superficial del mar (TS) presentó un comportamiento inverso al observado para clorofila-a y POC. Las celdas disponibles sin actividad pesquera registrada tuvieron una mediana de 13.00 °C, mientras que las clases de actividad pesquera baja, media y alta presentaron medianas de 12.38, 12.20 y 12.34 °C, respectivamente. Estas diferencias corresponden a reducciones relativas aproximadas de 4.7–6.1 % respecto de las celdas disponibles sin actividad pesquera registrada. Los tamaños de efecto fueron medianos a grandes al comparar las clases con actividad pesquera registrada con las disponibles sin actividad pesquera registrada, especialmente para la actividad pesquera media ($\delta = 0.54$). En cambio, las diferencias entre clases con actividad pesquera registrada fueron menores, con mayor superposición de distribuciones.

La temperatura de fondo (TF) mostró una separación marcada de las celdas con baja disponibilidad regulatoria, cuya mediana fue 9.90 °C, superior a la de todas las demás categorías. Esta diferencia debe interpretarse considerando que dichas celdas se concentran espacialmente en un sector particular de la UMB, pero es notable que este sector coincida con la zona de altas temperaturas de fondo que se evidencian en la Fig. 7d (zona amarilla en el centro-norte de la UMB). Entre las celdas suficientemente disponibles, la mediana de TF fue 8.41 °C en las sin actividad pesquera registrada y 7.53, 7.24 y 7.44 °C en las clases de actividad pesquera baja, media y alta, respectivamente. Las diferencias relativas respecto de las disponibles sin actividad pesquera registrada fueron del orden de 10–14 %, con tamaños de efecto pequeños a moderados al comparar clases con y sin actividad pesquera registrada. Por lo tanto, la TF muestra una tendencia hacia valores menores en las áreas utilizadas por

la flota, aunque con una separación menos marcada que la observada para TS.

Finalmente, la profundidad mostró una concentración de la actividad pesquera en rangos batimétricos más profundos que los observados en las celdas disponibles sin actividad pesquera registrada. La mediana de profundidad de las celdas sin actividad pesquera registrada fue de aproximadamente 90 m, mientras que las clases de actividad pesquera baja, media y alta presentaron medianas cercanas a 99, 106 y 104 m, respectivamente. Las diferencias relativas de mediana respecto de la categoría disponible sin actividad pesquera registrada fueron de aproximadamente 10–18 %. Los valores de *delta* de Cliff indicaron una separación mayor para las categorías de actividad pesquera media y alta respecto de las disponibles sin actividad pesquera registrada ($|\delta| \approx 0.53$ –0.58), mientras que las diferencias entre las clases con actividad pesquera registrada fueron pequeñas o despreciables.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos muestran que la actividad pesquera en la UMB presenta una estructura espacial definida y persistente. La intensidad acumulada de actividad pesquera se concentró principalmente sobre una franja orientada en sentido sudoeste–noreste, patrón consistente con la información biológica disponible para la unidad de manejo y con el modelo GAM ajustado previamente para la fracción de vieira comercial durante 2024. Asimismo, la captura total de vieira comercial estimada para 2024 fue prácticamente coincidente con la cuota anual permitida, lo que aporta una verificación preliminar de consistencia para el procedimiento de estimación espacial. En este sentido, la concentración espacial de la actividad pesquera no constituye un resultado inesperado, sino que refleja una estructura ya sugerida por las campañas de evaluación y por los registros pesqueros. La contribución principal del análisis multianual es integrar esa información a escala espacial regular y vincularla con gradientes ambientales y regulatorios explícitos.

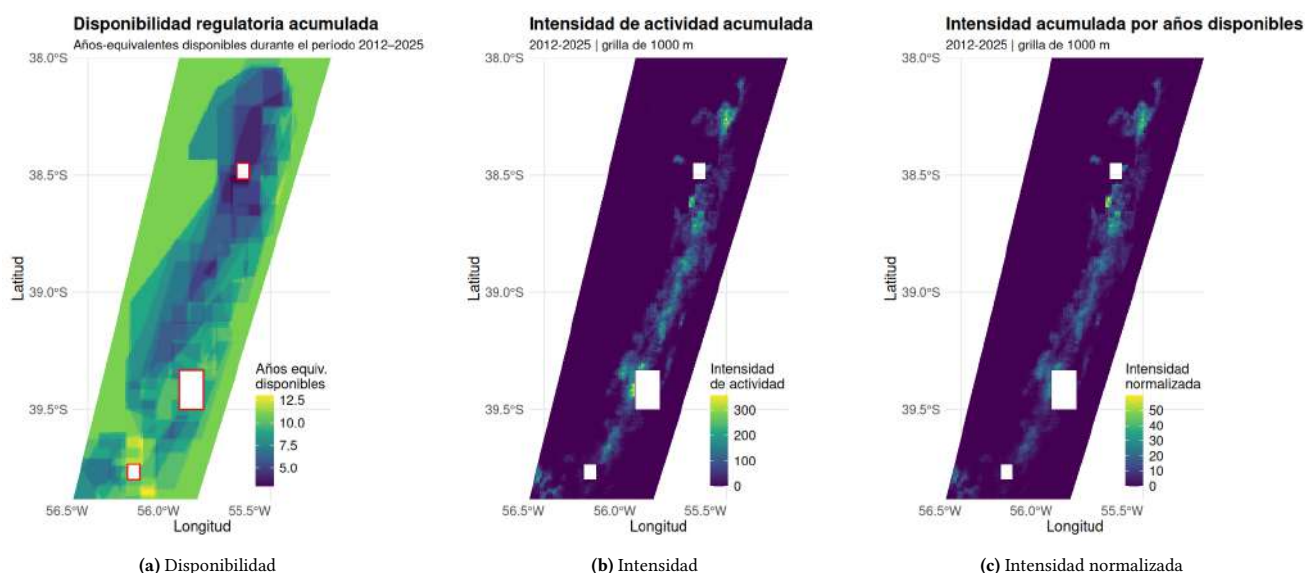


Fig. 6. Disponibilidad regulatoria e intensidad de actividad pesquera en la UMB durante el período 2012–2025. (a) Disponibilidad regulatoria acumulada, expresada como años-equivalentes disponibles por celda. Las regiones blancas limitadas por rectángulos rojos corresponden a reservas reproductivas permanentes, excluidas de los análisis. (b) Intensidad de actividad pesquera acumulada, calculada como la suma del llenado relativo de bolsas de los lancos comerciales asignados a cada celda de la grilla. (c) Intensidad normalizada de actividad pesquera por disponibilidad regulatoria, calculada como la intensidad acumulada dividida por los años-equivalentes disponibles de cada celda. La grilla utilizada tiene una resolución espacial de 1000 m.

La incorporación de la disponibilidad regulatoria permitió distinguir entre áreas con baja actividad pesquera registrada por ausencia de registros pesqueros y áreas cuya oportunidad de pesca estuvo restringida por vedas. Esta distinción es relevante porque las vedas pueden responder a criterios biológicos de manejo, incluyendo la protección de zonas con alta proporción de juveniles respecto de vieira comercial (Campodónico *et al.* 2019). Por lo tanto, las celdas con baja disponibilidad regulatoria no deben interpretarse como zonas de baja actividad pesquera en sentido estricto, sino como un subconjunto espacial condicionado por decisiones de manejo. La distribución relativamente acotada de sus valores ambientales es consistente con la concentración espacial de estas celdas en una región restringida de la UMB.

Los histogramas de uso relativo indicaron que la actividad pesquera acumulada no se distribuyó proporcionalmente a la disponibilidad espacio-temporal de las celdas a lo largo de los gradientes ambientales. En particular, la actividad pesquera se concentró en rangos intermedios-altos de clorofila-*a* y POC, en un intervalo relativamente acotado de temperatura superficial, en temperaturas de fondo cercanas a 7–8 °C y en profundidades próximas al rango batimétrico principal de actividad pesquera. Estos patrones sugieren que las áreas utilizadas por la flota ocupan un subconjunto ambiental distinguible dentro de la UMB. Sin embargo, estas asociaciones no deben interpretarse como relaciones causales directas, ya que la actividad pesquera observada resulta de la combinación entre distribución del recurso, historia de pesca, accesibilidad, decisiones operativas de la flota y restricciones regulatorias.

Las comparaciones entre categorías de disponibilidad y actividad pesquera reforzaron esta interpretación. En términos generales, las celdas con actividad pesquera registrada presentaron mayores valores de clorofila-*a* y POC, menores valores de temperatura superficial, temperaturas de fondo algo menores y profundidades más próximas al rango de mayor uso relativo que las celdas disponibles sin actividad pesquera registrada. No

obstante, las diferencias entre las clases de actividad pesquera baja, media y alta fueron menores que las observadas entre celdas con actividad pesquera registrada y celdas disponibles sin actividad pesquera registrada. Esto indica que las variables analizadas discriminan principalmente el dominio ambiental utilizado por la flota, más que un gradiente monótonico simple de intensidad de actividad pesquera. Por este motivo, los tamaños de efecto y las diferencias de medianas fueron utilizados como complemento de los gráficos de distribución, evitando basar la interpretación únicamente en pruebas de significancia sensibles al tamaño muestral y a la autocorrelación espacial.

Las variables ambientales consideradas tienen distinto grado de proximidad con los procesos ecológicos que podrían influir sobre la vieira patagónica. La clorofila-*a* y el POC representan descriptores superficiales asociados a productividad fitoplanctónica y materia orgánica particulada, mientras que la temperatura superficial del mar fue incorporada como variable física complementaria (Hu *et al.* 2012; Stramski *et al.* 2008; Brown *et al.* 1999). Estas variables pueden relacionarse con procesos relevantes para el ciclo de vida de la especie, incluyendo disponibilidad de alimento, condiciones de desarrollo larval y estructura oceanográfica regional. La profundidad, por su parte, caracteriza la posición batimétrica de las celdas y se vincula directamente con la localización conocida de los bancos de vieira. La temperatura de fondo aporta una aproximación más cercana al ambiente bentónico experimentado por los adultos, aunque debe interpretarse con cautela por tratarse de una variable modelada, dependiente de la resolución, los supuestos físicos y los procedimientos de asimilación del reanálisis (Lellouche *et al.* 2021).

Una limitación importante del enfoque utilizado es que las variables dinámicas fueron resumidas mediante medianas multianuales. Esta decisión permitió caracterizar gradientes ambientales persistentes y reducir la influencia de eventos extremos o transitorios, pero también implica una pérdida de información estacional e interanual. En el caso de una especie con fase larval

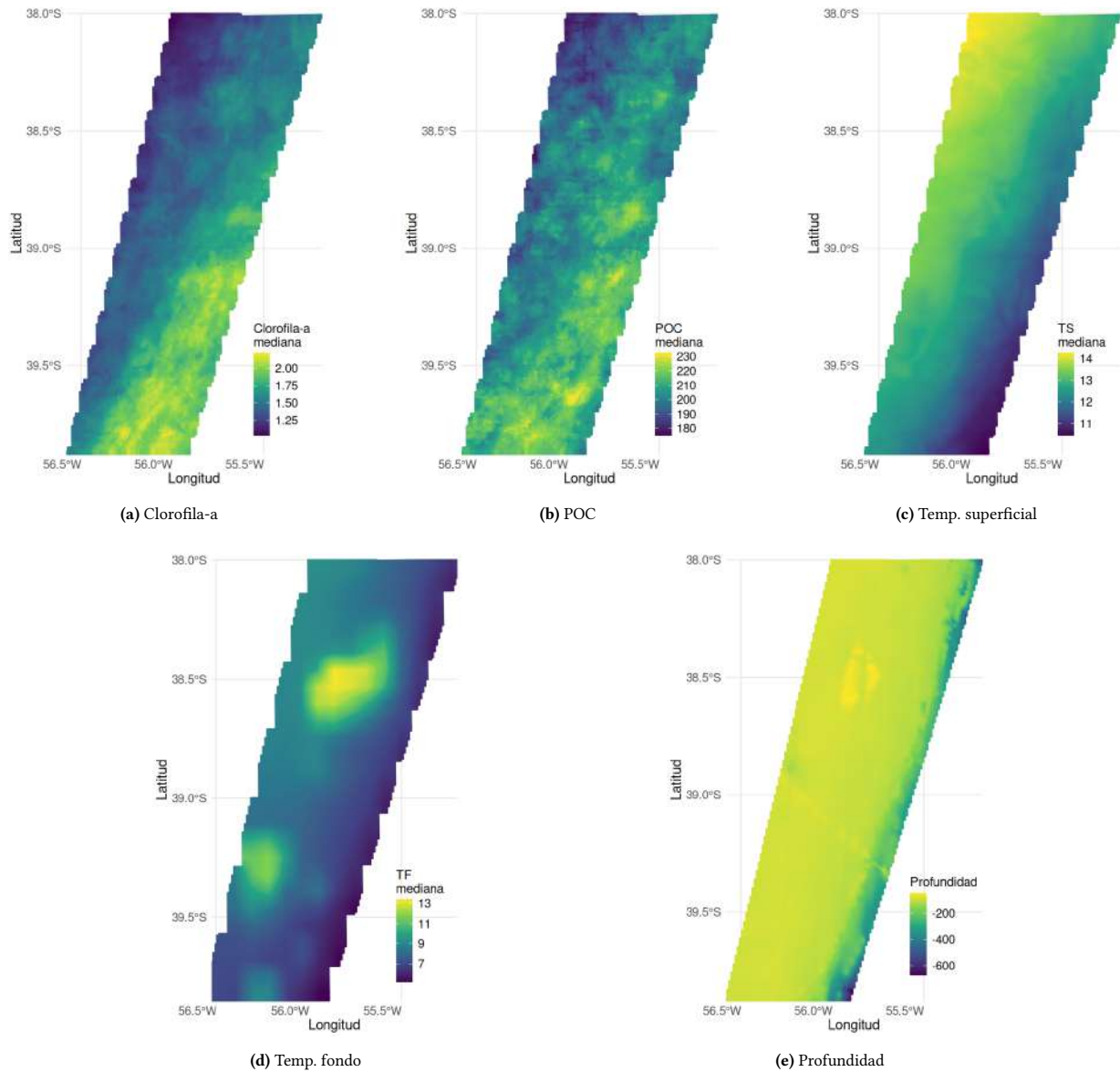


Fig. 7. Mapas ambientales utilizados para caracterizar la UMB. (a) Clorofila-a mediana multianual derivada de MODIS-Aqua. (b) Carbono orgánico particulado (POC) mediano multianual derivado de MODIS-Aqua. (c) Temperatura superficial del mar (TS) mediana multianual derivada de MODIS-Aqua. (d) Temperatura de fondo (TF) mediana multianual estimada a partir del reanálisis GLORYS12V1. (e) Profundidad del fondo marino derivada de GEBCO. Las variables temporales fueron resumidas mediante la mediana multianual por celda; la profundidad corresponde a una variable estática.

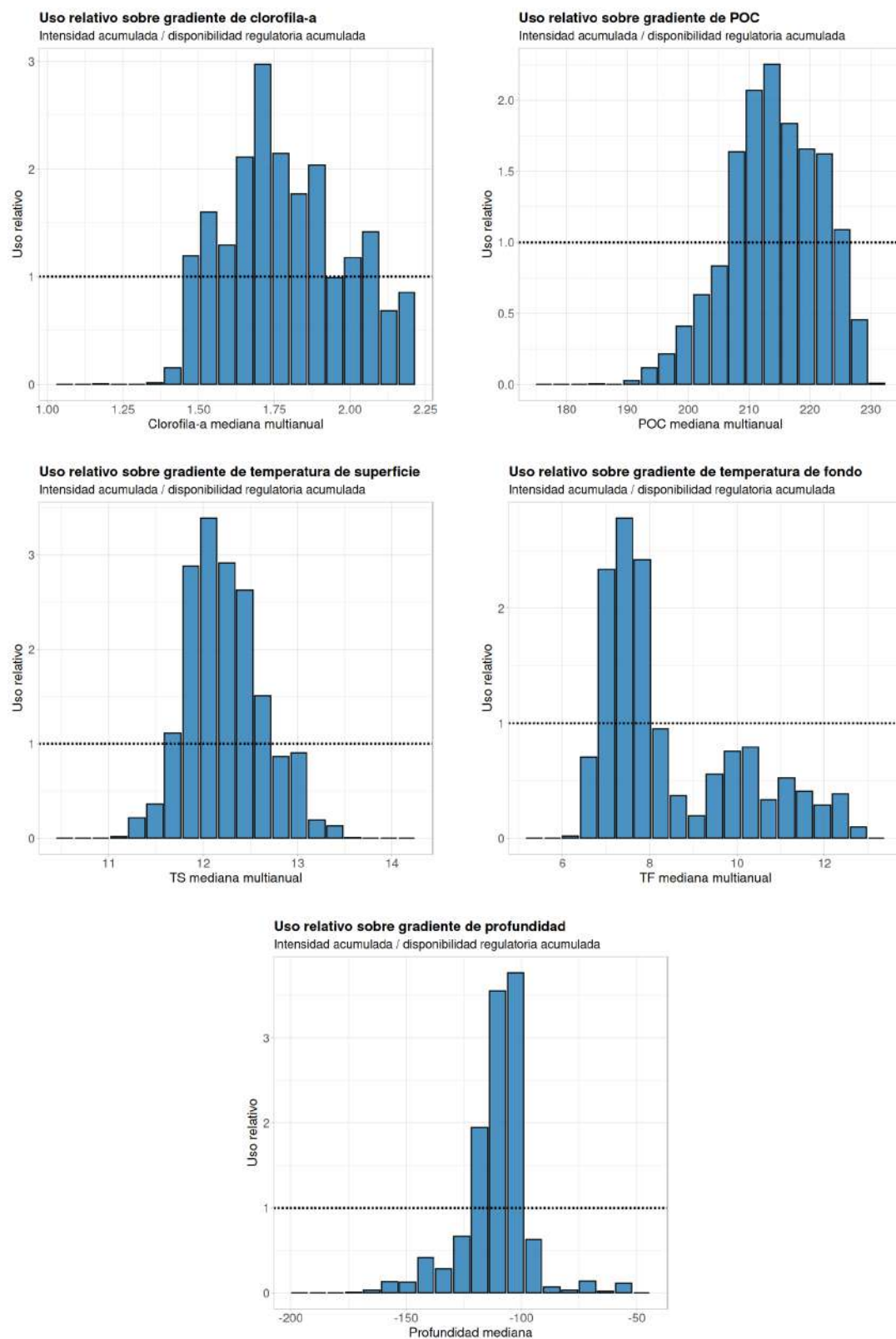


Fig. 8. Uso relativo de la actividad pesquera acumulada a lo largo de gradientes ambientales dentro de la UMB. (a) Clorofila-a mediana multianual. (b) Carbono orgánico particulado (POC) mediano multianual. (c) Temperatura superficial del mar (TS) mediana multianual. (d) Temperatura de fondo (TF) mediana multianual. (e) Profundidad del fondo marino. El uso relativo fue calculado como la proporción de intensidad acumulada de actividad pesquera en cada intervalo ambiental dividida por la proporción de disponibilidad acumulada correspondiente al mismo intervalo. La línea horizontal en 1 indica uso proporcional a la disponibilidad; valores superiores a 1 indican sobreutilización relativa y valores inferiores a 1 indican subutilización relativa.

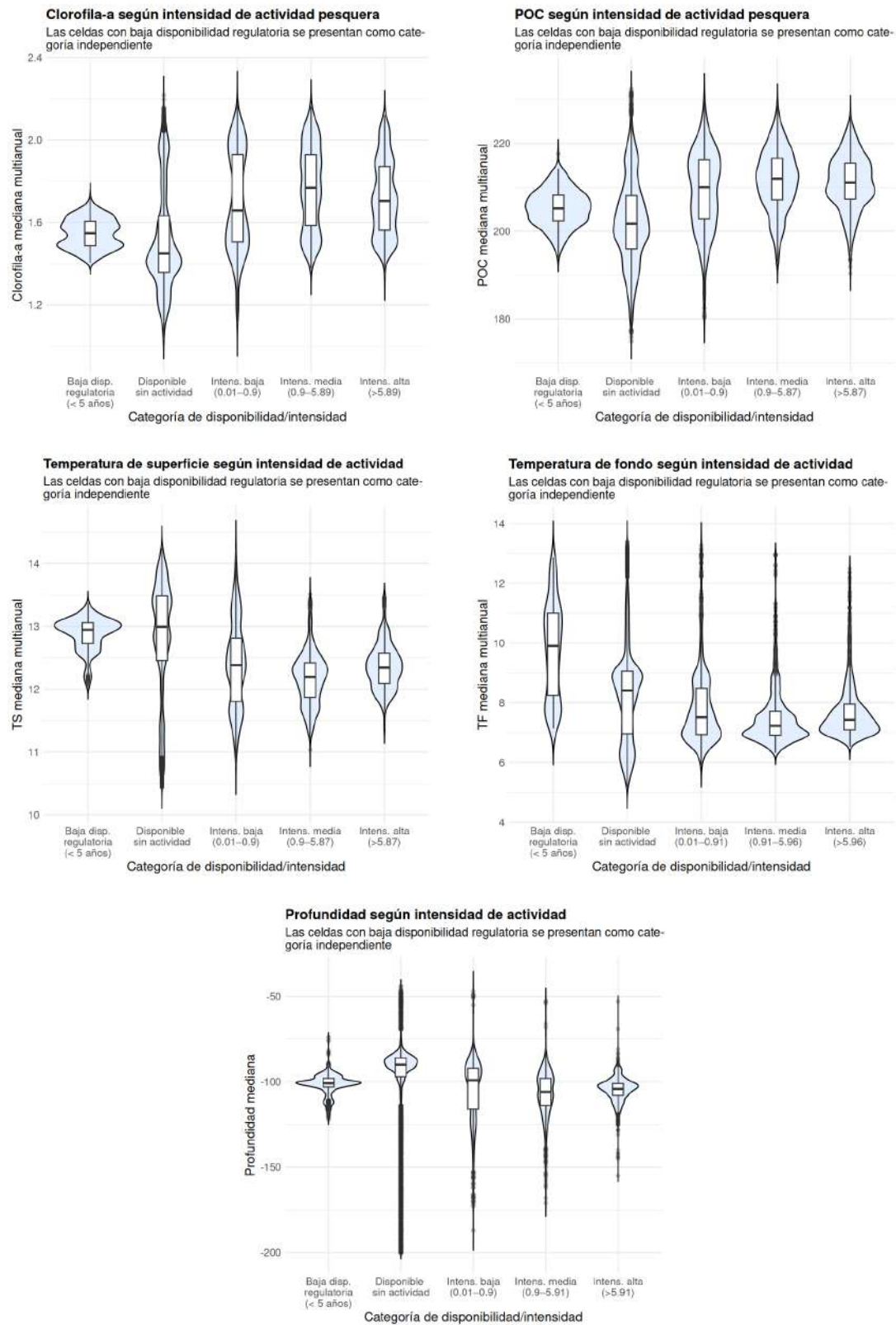


Fig. 9. Distribuciones ambientales según categorías de disponibilidad regulatoria e intensidad de actividad pesquera. (a) Clorofila-a mediana multianual. (b) Carbono orgánico particulado (POC) mediano multianual. (c) Temperatura superficial del mar (TS) mediana multianual. (d) Temperatura de fondo (TF) mediana multianual. (e) Profundidad del fondo marino. Las celdas con baja disponibilidad regulatoria corresponden a celdas con menos de 5 años-equivalentes disponibles durante el período analizado y se presentan como categoría independiente. Las restantes categorías corresponden a celdas suficientemente disponibles clasificadas según intensidad normalizada de actividad pesquera. Las cajas indican el rango intercuartílico y la línea central representa la mediana.

pelágica, los efectos ambientales relevantes podrían depender de ventanas temporales específicas, desfases entre condiciones oceanográficas y respuesta poblacional, o procesos de transporte y retención larval. Por lo tanto, los resultados obtenidos deben interpretarse como una caracterización ambiental integrada de las áreas utilizadas por la flota, y su vinculación con los mecanismos temporales que determinan reclutamiento, supervivencia o biomasa debe realizarse con cautela.

En este sentido, la incorporación futura de corrientes marinas y variables asociadas a circulación regional representa un paso necesario. La dinámica de corrientes puede modificar la distribución de temperatura, productividad y partículas en suspensión, además de influir directamente sobre la conectividad larval, la retención en la plataforma y el transporte hacia zonas de asentamiento o exportación (Acha *et al.* 2004; Franco *et al.* 2017; Berden *et al.* 2022; Alberto *et al.* 2025). La profundidad también interactúa con estos procesos al condicionar la estructura de la columna de agua, la influencia de frentes y la circulación sobre el talud. Por lo tanto, un análisis posterior que incorpore campos de velocidad, ventanas temporales específicas y posibles desfases entre condiciones ambientales y respuesta biológica permitiría avanzar desde una caracterización espacial descriptiva hacia modelos mecanísticos o predictivos más completos.

A pesar de estas limitaciones, el enfoque desarrollado permite integrar registros pesqueros, disponibilidad regulatoria y capas ambientales en una estructura espacial común. Esto aporta una base útil para futuros modelos espaciales de biomasa o proporción de vieira comercial, ya sea mediante la inclusión de covariables ambientales, la definición de subregiones internas ambientalmente diferenciadas o la incorporación de estructuras de correlación espacial entre áreas. En particular, la identificación de un dominio ambiental característico de las celdas con actividad pesquera registrada puede contribuir a orientar análisis posteriores sobre persistencia de bancos, variabilidad espacial del rendimiento y posibles diferencias internas dentro de la UMB.

En síntesis, los resultados muestran que la actividad pesquera en la UMB se concentra en sectores espacialmente definidos y ambientalmente distinguibles. Las asociaciones observadas deben interpretarse como patrones descriptivos y no causales, pero constituyen una primera caracterización cuantitativa de la relación entre actividad pesquera, disponibilidad regulatoria y ambiente. Esta base será útil para extender el análisis hacia modelos que incorporen dinámica temporal, circulación marina y procesos de reclutamiento, así como para evaluar si la unidad de manejo puede ser representada mediante subregiones con propiedades ambientales y pesqueras diferenciadas.

AGRADECIMIENTOS

Este informe se realiza en el marco del Servicio Tecnológico de Alto Nivel (STAN) del CONICET ST5236, a solicitud de la empresa Glaciar Pesquera S. A. Agradecemos también a Mario Lasta y Oscar Iribarne por la lectura de este trabajo y por sus oportunas sugerencias.

LITERATURA CITADA

- Acha, E. M., Mianzan, H. W., Guerrero, R. A., Favero, M., y Bava, J. (2004). Marine fronts at the continental shelves of austral south america: physical and ecological processes. *Journal of Marine systems*, 44(1-2):83–105.
- Alberti, J. y Funes, M. (2022). Curado de posiciones de pesca entre 1995 y 2011 en la base de datos de la vieira patagónica. Informe científico-técnico N° 31, IIMyC, CONICET-UNMDP. [Link](#).
- Alberto, M. T., Bodnariuk, N., Saraceno, M., y Acha, E. (2025). Subantarctic front variability: a potential driver of patagonian scallop *Zygochlamys patagonica* recruitment fluctuations. *Marine Ecology Progress Series*, 762:51–63.
- Berden, G., Piola, A. R., y Palma, E. D. (2022). Cross-shelf exchange in the southwestern atlantic shelf: Climatology and extreme events. *Frontiers in Marine Science*, 9:855183.
- Bogazzi, E., Baldoni, A., Rivas, A., Martos, P., Reta, R., Orensanz, J. M., Lasta, M., Dell’Arciprete, P., y Werner, F. (2005). Spatial correspondence between areas of concentration of patagonian scallop (*Zygochlamys patagonica*) and frontal systems in the southwestern atlantic. *Fisheries Oceanography*, 14(5):359–376.
- Brown, O. B., Minnett, P. J., Evans, R., Kearns, E., Kilpatrick, K., Kumar, A., Sikorski, R., y Závody, A. (1999). Modis infrared sea surface temperature algorithm algorithm theoretical basis document version 2.0. Technical report, University of Miami.
- Campodónico, S., Escolar, M., García, J., y Aubone, A. (2019). Historical overview and current status of the patagonian scallop *Zygochlamys patagonica* (king 1832) fishery in argentina. biology, stock assessment and management. *Marine and Fishery Science (MAFIS)*, 32(2):125–148.
- Cliff, N. (1993). Dominance statistics: Ordinal analyses to answer ordinal questions. *Psychological Bulletin*, 114(3):494–509.
- Consejo Federal Pesquero (2024). Acta CFP N° 1/2024. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
- Erickson, C. (2024). GauPro: R package for Gaussian process modeling. Astrophysics Source Code Library, record ascl:2405.007.
- Franco, B. C., Palma, E. D., Combes, V., y Lasta, M. L. (2017). Physical processes controlling passive larval transport at the patagonian shelf break front. *Journal of Sea Research*, 124:17–25.
- GEBCO Compilation Group (2025). GEBCO 2025 Grid. General Bathymetric Chart of the Oceans.
- Gutiérrez, N. y Defeo, O. (2003). Development of a new scallop *Zygochlamys patagonica* fishery in uruguay: latitudinal and bathymetric patterns in biomass and population structure. *Fisheries Research*, 62(1):21–36.
- Hu, C., Lee, Z., y Franz, B. (2012). Chlorophyll a algorithms for oligotrophic oceans: A novel approach based on three-band reflectance difference. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 117(C1).
- Lasta, M. L. y Bremec, C. S. (1998). *Zygochlamys patagonica* in the argentine sea: a new scallop fishery. *Journal of Shellfish Research*, 17(1):103–111.
- Lellouche, J.-M., Greiner, E., Le Galloudec, O., Garric, G., Regnier, C., Drevillon, M., Benkiran, M., Testut, C.-E., Bourdalle-Badie, R., Gasparin, F., Hernandez, F., Levier, B., Drillet, Y., Remy, E., y Le Traon, P.-Y. (2021). The copernicus global 1/12 oceanic and sea ice glorys12 reanalysis. *Frontiers in Earth Science*, 9:698876.
- Lomovasky, B. J., Lasta, M., Valiñas, M., Bruschetti, M., Ribeiro, P., Campodónico, S., e Iribarne, O. (2008). Differences in shell morphology and internal growth pattern of the patagonian scallop *Zygochlamys patagonica* in the four main beds across their sw atlantic distribution range. *Fisheries Research*, 89(3):266–275.
- Mauna, A. C., Franco, B. C., Baldoni, A., Acha, E. M., Lasta, M. L., e Iribarne, O. O. (2008). Cross-front variations in adult abundance and recruitment of patagonian scallop (*Zygochlamys*

- patagonica*) at the sw atlantic shelf break front. *ICES Journal of Marine Science*, 65(7):1184–1190.
- McDonald, R. R., Keith, D. M., Sameoto, J. A., Hutchings, J. A., y Flemming, J. M. (2021). Explicit incorporation of spatial variability in a biomass dynamics assessment model. *ICES Journal of Marine Science*, 78(9):3265–3280.
- McDonald, R. R., Keith, D. M., Sameoto, J. A., Hutchings, J. A., y Flemming, J. M. (2022). Incorporating intra-annual variability in fisheries abundance data to better capture population dynamics. *Fisheries Research*, 246:106152.
- McDonald, R. R., Keith, D. M., Sameoto, J. A., y Mills Flemming, J. (2023). Integrating habitat features into spatio-temporal biomass dynamics models for a better understanding of stock productivity: a case study of sea scallop in the bay of fundy. *ICES Journal of Marine Science*, 80(6):1710–1726.
- Soria, G., Orensanz, J. L., Morsán, E. M., Parma, A. M., y Amoroso, R. O. (2016). Scallops biology, fisheries, and management in argentina. En *Developments in aquaculture and fisheries science*, volumen 40, pp. 1019–1046. Elsevier.
- Stramski, D., Reynolds, R. A., Babin, M., Kaczmarek, S., Lewis, M. R., Röttgers, R., Sciandra, A., Stramska, M., Twardowski, M., y Franz, B. (2008). Relationships between the surface concentration of particulate organic carbon and optical properties in the eastern south pacific and eastern atlantic oceans. *Biogeosciences*, 5(1):171–201.
- Wood, S. N. (2017). *Generalized Additive Models: An Introduction with R*. Chapman & Hall - CRC Press, 2 edición.

ANEXO: ESTADÍSTICOS DE VARIABLES AMBIENTALES

En este anexo se presentan los estadísticos utilizados como complemento de los gráficos de distribución ambiental por categoría de disponibilidad regulatoria e intensidad de actividad pesquera. Para cada variable se reporta el número de celdas, mediana, cuantiles 25 y 75, media, desvío estándar y diferencia relativa porcentual de la mediana respecto de la categoría de celdas 'disponibles sin actividad pesquera registrada'. Adicionalmente, se presentan matrices de *delta* de Cliff (en valor absoluto $|\delta|$), utilizadas como medida no paramétrica de separación entre distribuciones. Valores cercanos a cero indican alta superposición entre categorías, mientras que valores mayores indican mayor separación.

Tabla A1. Estadísticos descriptivos de clorofila-a.

Categoría	<i>n</i>	Mediana	<i>q</i> ₂₅	<i>q</i> ₇₅	Media	SD	Δ mediana (%)
Baja disponibilidad regulatoria	546	1.55	1.49	1.60	1.55	0.07	6.9
Disponible sin actividad pesquera registrada	8665	1.45	1.36	1.63	1.52	0.25	-
Actividad pesquera baja	1280	1.66	1.50	1.93	1.70	0.24	14.5
Actividad pesquera media	1277	1.77	1.59	1.93	1.77	0.20	22.2
Actividad pesquera alta	1279	1.70	1.56	1.87	1.72	0.18	17.6

Tabla A2. Valores del módulo de la *delta* de Cliff para clorofila-a

Categoría	Baja disp. reg.	Disp. sin act. pesq.	Act. pesq. baja	Act. pesq. media
Disponible sin actividad pesquera registrada	0.29			
Actividad pesquera baja	0.36	0.44		
Actividad pesquera media	0.63	0.58	0.16	
Actividad pesquera alta	0.57	0.53	0.06	0.14

Tabla A3. Estadísticos descriptivos de POC.

Categoría	<i>n</i>	Mediana	<i>q</i> ₂₅	<i>q</i> ₇₅	Media	SD	Δ mediana (%)
Baja disponibilidad regulatoria	546	205.23	202.34	208.22	205.30	4.18	1.7
Disponible sin actividad pesquera registrada	8665	201.74	195.97	208.12	202.19	9.62	-
Actividad pesquera baja	1283	210.07	202.78	216.26	209.23	8.85	4.1
Actividad pesquera media	1280	212.05	207.17	216.60	211.65	6.90	5.1
Actividad pesquera alta	1281	211.05	207.33	215.51	211.14	6.16	4.6

Tabla A4. Valores del módulo de la *delta* de Cliff para POC

Categoría	Baja disp. reg.	Disp. sin act. pesq.	Act. pesq. baja	Act. pesq. media
Disponible sin actividad pesquera registrada	0.26			
Actividad pesquera baja	0.31	0.41		
Actividad pesquera media	0.57	0.57	0.15	
Actividad pesquera alta	0.57	0.57	0.11	0.05

Tabla A5. Estadísticos descriptivos de temperatura superficial.

Categoría	<i>n</i>	Mediana	<i>q</i> ₂₅	<i>q</i> ₇₅	Media	SD	Δ mediana (%)
Baja disponibilidad regulatoria	546	12.95	12.73	13.06	12.88	0.27	-0.4
Disponible sin actividad pesquera registrada	8665	13.00	12.45	13.48	12.81	0.93	-
Actividad pesquera baja	1283	12.38	11.81	12.81	12.39	0.68	-4.7
Actividad pesquera media	1280	12.20	11.87	12.42	12.17	0.41	-6.1
Actividad pesquera alta	1281	12.34	12.09	12.58	12.36	0.36	-5.0

Tabla A6. Valores del módulo de la *delta* de Cliff para temperatura superficial

Categoría	Baja disp. reg.	Disp. sin act. pesq.	Act. pesq. baja	Act. pesq. media
Disponible sin actividad pesquera registrada	0.12			
Actividad pesquera baja	0.47	0.36		
Actividad pesquera media	0.84	0.54	0.20	
Actividad pesquera alta	0.75	0.47	0.02	0.26

Tabla A7. Estadísticos descriptivos de temperatura de fondo.

Categoría	<i>n</i>	Mediana	<i>q</i> ₂₅	<i>q</i> ₇₅	Media	SD	Δ mediana (%)
Baja disponibilidad regulatoria	536	9.90	8.25	11.01	9.75	1.59	17.7
Disponible sin actividad pesquera registrada	8398	8.41	6.97	9.06	8.29	1.68	-
Actividad pesquera baja	1242	7.53	6.94	8.49	7.84	1.25	-10.5
Actividad pesquera media	1241	7.24	6.92	7.73	7.50	0.93	-13.9
Actividad pesquera alta	1242	7.44	7.09	7.96	7.73	0.97	-11.5

Tabla A8. Valores del módulo de la *delta* de Cliff para temperatura de fondo

Categoría	Baja disp. reg.	Disp. sin act. pesq.	Act. pesq. baja	Act. pesq. media
Disponible sin actividad pesquera registrada	0.46			
Actividad pesquera baja	0.67	0.18		
Actividad pesquera media	0.80	0.31	0.15	
Actividad pesquera alta	0.73	0.23	0.01	0.21

Tabla A9. Estadísticos descriptivos de profundidad.

Categoría	<i>n</i>	Mediana	<i>q</i> ₂₅	<i>q</i> ₇₅	Media	SD	Δ mediana (%)
Baja disponibilidad regulatoria	505	101	103	98	101.43	6.16	12.2
Disponible sin actividad pesquera registrada	7027	90	97	86	99.48	27.10	-
Actividad pesquera baja	1220	99	116	92	104.72	18.75	10.0
Actividad pesquera media	1219	106	114	98	106.92	13.53	17.8
Actividad pesquera alta	1219	104	108	101	104.59	7.75	15.6

Tabla A10. Valores del módulo de la *delta* de Cliff para profundidad

Categoría	Baja disp. reg.	Disp. sin act. pesq.	Act. pesq. baja	Act. pesq. media
Disponible sin actividad pesquera registrada	0.55			
Actividad pesquera baja	0.06	0.36		
Actividad pesquera media	0.24	0.53	0.17	
Actividad pesquera alta	0.31	0.58	0.17	0.07