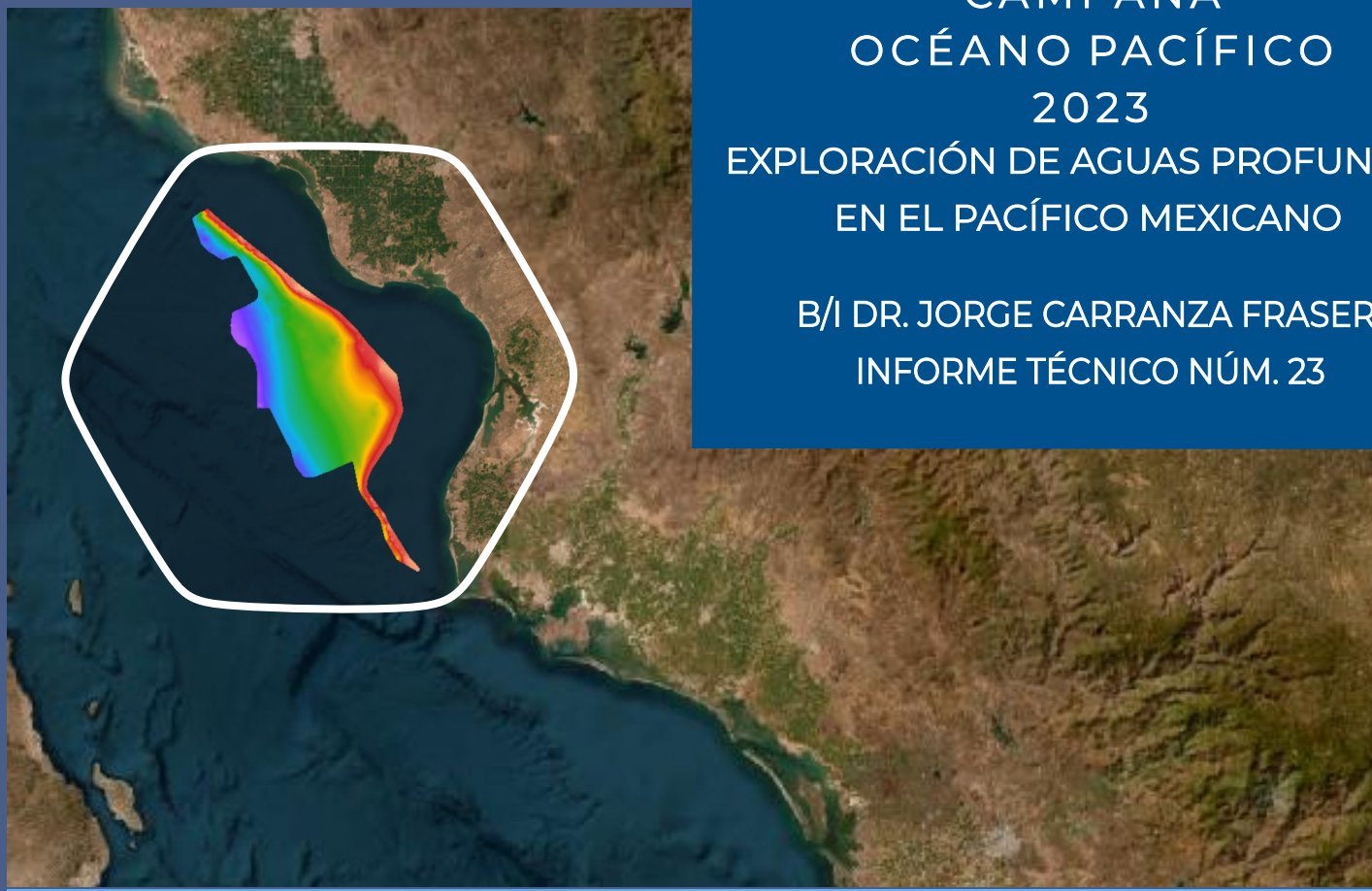


CAMPAÑA  
OCÉANO PACÍFICO  
2023  
EXPLORACIÓN DE AGUAS PROFUNDAS  
EN EL PACÍFICO MEXICANO

B/I DR. JORGE CARRANZA FRASER  
INFORME TÉCNICO NÚM. 23





**AGRICULTURA**  
SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL



**IMIPAS**  
INSTITUTO MEXICANO  
DE INVESTIGACIÓN EN PESCA  
Y ACUACULTURA SUSTENTABLES

**INSTITUTO MEXICANO DE INVESTIGACIÓN EN PESCA Y ACUACULTURA  
SUSTENTABLES (IMIPAS, antes INAPESCA)**

**DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN PESQUERA EN EL ATLÁNTICO**

**B/I DR. JORGE CARRANZA FRASER**

**INFORME TÉCNICO NÚM. 23**

**CAMPAÑA OCÉANO PACÍFICO 2023**

**EXPLORACIÓN DE AGUAS PROFUNDAS EN EL PACÍFICO MEXICANO**

**CRUCERO JCFINP2301**

**Del 31 de enero al 13 de febrero del 2023**



**MARZO 2024**



**AGRICULTURA**  
SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL



**IMIPAS**  
INSTITUTO MEXICANO  
DE INVESTIGACIÓN EN PESCA  
Y ACUACULTURA SUSTENTABLES

## DIRECTORIO

### SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL

**Ing. Víctor Manuel Villalobos Arámbula**

*Secretario de Agricultura y Desarrollo Rural*

### INSTITUTO MEXICANO DE INVESTIGACIÓN EN PESCA Y ACUACULTURA SUSTENTABLES

**Dr. Pablo Roberto Arenas Fuentes**

*Director General del Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y  
Acuacultura Sustentables*

**Dr. Ramón Isaac Rojas González**

*Director de Investigación Pesquera en el Atlántico*

**M. en C. Pedro Sierra Rodríguez**

*Director de Investigación Pesquera en el Pacífico*

**Ocean. Juan Carlos Lapuente Landero**

*Director de Investigación en Acuacultura*

**M. en C. Darío Chávez Herrera**

*Jefe del Centro Regional de Investigación Acuícola y Pesquera Mazatlán*



## LISTA DE AUTORES

**Geog. Mario Vásquez-Ortiz**

*Oficinas centrales, Ciudad de México, IMIPAS*

**Dra. Leticia Huidobro-Campos**

*Oficinas centrales, Ciudad de México, IMIPAS*

**M. en C. Juan Roberto F. Vallarta-Zárate**

*Oficinas centrales, Ciudad de México, IMIPAS*

**M. en C. Víctor Hugo Martínez-Magaña**

*CRIAP Manzanillo, IMIPAS*

**Leslie Altamirano-López**

*Oficinas centrales, Ciudad de México, IMIPAS*

**Ing. Emma Verónica Pérez-Flores**

*Oficinas centrales, Ciudad de México, IMIPAS*

**M. en C. Jesús Enrique Osuna-Soto**

*Oficinas centrales, Ciudad de México, IMIPAS*

**Biól. Daniel Hernández-Cruz**

*Oficinas centrales, Ciudad de México, IMIPAS*

**Dr. Ramón Isaac Rojas-González**

*Oficinas centrales, Ciudad de México, IMIPAS*





## Agradecimientos

Los autores agradecen las facilidades prestadas para el desarrollo del presente informe.

A las autoridades del IMIPAS por facilitar las gestiones para el desarrollo del crucero.

A la Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca por las facilidades prestadas para la gestión del Permiso de Pesca de Fomento No. PPF/DGOPA-001/23 bajo el amparo del cual se desarrollaron las investigaciones contenidas en este documento.

A la tripulación del B/I Dr. Jorge Carranza Fraser, quienes apoyan con gran entusiasmo los cruceros que se desarrollan en el buque.

Al personal científico y estudiantes como capital humano especializado que participa en las investigaciones que realiza el IMIPAS a través de la operación de esta embarcación.

- Diseño de portada y fotografías en portada: Leslie Altamirano López

Como citar este Informe Técnico:

M. Vásquez-Ortiz, L. Huidobro-Campos, Vallarta-Zárate J.R.F., V.H. Martínez-Magaña, L. Altamirano-López, E.V. Pérez-Flores, J.E. Osuna-Soto, D. Hernández-Cruz y R.I. Rojas-González. 2024. Exploración de aguas profundas en el Pacífico mexicano. Campaña Océano Pacífico 2023, B/I Dr. Jorge Carranza Fraser. Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuacultura Sustentables, Dirección de Investigación Pesquera en el Atlántico. Marzo, 2024. Informe Técnico Núm. 23. 73 p.



## Contenido

1	Resumen ejecutivo .....	10
2	Abstract .....	10
3	Introducción .....	11
4	Objetivos .....	14
4.1	Objetivo general .....	14
4.2	Objetivos particulares .....	14
5	Área de estudio .....	15
6	Métodos .....	16
6.1	Acústica pesquera .....	16
6.1.1	Adquisición de información acústica .....	16
6.1.2	Clasificación acústica .....	17
6.1.3	Pesca de reconocimiento (Lances de fondo y media agua) .....	17
6.1.4	Análisis bioestadístico .....	18
6.1.5	Modelación espacial .....	19
6.1.6	Validación cruzada espacial y ajuste de hiperparámetros .....	20
6.2	Geomorfometría marina .....	21
6.3	Características del medio ambiente físico químico de la columna de agua .....	22
6.3.1	Distribución vertical .....	22
6.3.2	Patrón de vientos .....	22
6.3.3	Distribución superficial termohalina .....	22
7	Resultados .....	23
7.1	Pesca de identificación .....	23
7.1.1	Diversidad .....	26
7.1.2	Prueba de asociación Olmstead-Tukey .....	26
7.1.3	Índice de valor de importancia de especies (IVI) .....	27
7.1.4	Especies dominantes y de interés comercial .....	29
7.1.5	Peces dominantes y de interés comercial capturados en los lances de fondo 30	
7.1.6	Captura de merluza del Pacífico norte <i>Merluccius productus</i> .....	30
7.1.7	Estructura de tallas, peso individual y análisis biológico .....	32
7.1.8	Relación Peso-Longitud .....	33



7.1.9	Distribución batimétrica y relación con parámetros ambientales de merluzas	34
7.1.10	<i>Pontinus sierra</i> lapón manchado .....	35
7.1.11	<i>Cherublemma emmelas</i> brótula negra.....	36
7.1.12	<i>Baldwinella eos</i> serrano ojón .....	36
7.1.13	<i>Cynoscion xanthulus</i> corvina amarilla.....	36
7.1.14	<i>Trichiurus nitens</i> cintilla .....	36
7.1.15	<i>Pontinus furcirhinus</i> lapón rojo, <i>Hemanthias signifer</i> cabrilla doncella, <i>Larimus pacificus</i> boquinete del Pacífico .....	37
7.1.16	Crustáceos dominantes y de importancia comercial en los lances de pesca de fondo.....	40
7.1.16.1	<i>Grimothea planipes</i> langostilla .....	40
7.1.16.2	<i>Platymera gaudichaudi</i> cangrejo paco y <i>Cancer johngarhi</i> cangrejo mexicano .....	42
7.2	Modelación espacial.....	43
7.2.1	Geomorfometría marina.....	45
7.3	Oceanografía local.....	47
7.3.1	Distribución vertical y Diagramas termohalinos TS, TS-z y TS-OD.....	48
7.3.2	Distribución superficial.....	49
7.3.3	Secciones verticales .....	50
8	Discusión .....	54
9	Conclusiones.....	57
10	Literatura citada.....	58
11	Anexos.....	67
11.1	Anexo I. Coordenadas del derrotero.....	67
11.2	Anexo II. Esquema técnico de la red de fondo “BSC 79/107”.....	67
11.3	Anexo III. Esquema técnico de la red de media agua Mesh wing trawl 25/25..	68
11.4	Anexo IV. Lances de pesca de identificación realizados en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301. ....	69
11.5	Anexo V. Especies abundantes y de interés comercial entre 200 y 400 m de profundidad, en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.....	70
11.6	Anexo VI. Lista de participantes en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301 a bordo del B/I Dr. Jorge Carranza Fraser. ....	71



## Lista de figuras

Figura 1. Plan para la exploración del mar profundo, en febrero del 2023, en la costa oriental del Golfo de California, crucero JCFINP2301.....16

Figura 2. Distribución de lances de pesca de fondo, en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.....24

Figura 3. Porcentaje de abundancia absoluta (número de individuos), peso absoluto (kg) y riqueza de especies por grupo de organismos, en las capturas de pesca de fondo y media agua en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.....25

Figura 4. Diagrama de Olmstead-Tukey de las especies capturadas en los lances de pesca de fondo a partir de las densidades y las frecuencias de ocurrencia, en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.....27

Figura 5. Índice de valor de importancia para las especies capturadas en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.....28

Figura 6. Distribución y captura de merluza en los lances de pesca de fondo, en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.....31

Figura 7. Captura de la merluza por lance de pesca positivo en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301. Círculos vacíos, cero capturas de merluza .....32

Figura 8. Estructura de talla de merluzas capturadas en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.....33

Figura 9. Relación longitud patrón-peso de la merluza capturada en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.....34

Figura 10. Captura de merluza y relación con parámetros ambientales, en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301. La línea color magenta representa valores menores a 19 ° C, a 36 UPS de salinidad y a 0.6 mg/L de oxígeno.....35

Figura 11. Estructura de talla de especies dominantes y de interés comercial capturados en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.....37

Figura 12. Distribución y captura de peces de interés comercial en los lances de pesca de fondo realizados en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.....38

Figura 13. Distribución y captura de peces de interés comercial en los lances de pesca de fondo realizados en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.....39

Figura 14. Distribución y captura de crustáceos en los lances de pesca de fondo realizados en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.....41

Figura 15. Estructura de tallas de la langostilla capturada en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.....42



Figura 16. Histograma y diagrama de caja y bigotes de los datos (los puntos rojos corresponden a los outliers) de profundidad, en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.....43

Figura 17. Importancia de las variables (expresado en porcentaje) para la interpolación de los datos de profundidad en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301. .... 44

Figura 18. Interpolación de los datos de profundidad mediante Random Forest de acuerdo con las variables geográficas en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.....45

Figura 19. Mapas derivados (geomorfometría) del modelo digital batimétrico en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301..... 47

Figura 20. Estaciones oceanográficas realizadas en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301..... 48

Figura 21. Diagramas TS -panel izquierdo-, respecto a la profundidad (en decibares)-centro- y niveles de oxígeno disuelto -panel derecho. Agua del Golfo de California (AGC), Agua Subsuperficial Subtropical (ASsStr) y Agua Intermedia del Pacífico (AIP), en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301..... 49

Figura 22. Distribución superficial de propiedades fisicoquímicas, en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.....50

Figura 23. Secciones verticales de variables fisicoquímicas (temperatura y salinidad) del Golfo de California. Transecto meridional en dirección a Bahía Santa María, Sonora, febrero de 2023, crucero JCFINP2301..... 51

Figura 24. Secciones verticales de variables fisicoquímicas (oxígeno disuelto y fluorescencia) del Golfo de California. Transecto meridional en dirección a Bahía Santa María, Sonora, febrero de 2023, crucero JCFINP2301..... 52

Figura 25. Secciones verticales de variables fisicoquímicas (temperatura y salinidad) del Golfo de California. Transecto latitudinal en dirección norte, en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301. .... 53

Figura 26. Secciones verticales de variables fisicoquímicas del Golfo de California. Transecto latitudinal en dirección norte, en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.....54

**Lista de tablas**

Tabla I. Coordenadas extremas de la región de estudio..... 15

Tabla II. Cadencia de tiro de repetición de pulsos acústicos del ecosonda científica EK60. .... 17

Tabla III. Listado de especies con mayor IVI, capturadas en los lances de pesca de fondo, en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.....28



Tabla IV. Parámetros poblacionales de las especies dominantes y de interés comercial capturados, en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.....29

Tabla V. Descriptores estadísticos de los datos de la profundidad del fondo marino en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.....43

Tabla VI. Hiperparámetros encontrados para construcción del modelo RF para la interpolación, en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.....44



## 1 Resumen ejecutivo

Durante un crucero de investigación a bordo del B/I Dr. Jorge Carranza Fraser en el Golfo de California, en las costas del norte de Sinaloa y sur de Sonora que tuvo lugar del 31 de enero al 13 de febrero del 2023, se llevó a cabo la exploración del área de estudio con la finalidad de analizar la distribución de los potenciales recursos pesqueros en las profundidades de 200 a 600 metros. A través de la utilización de técnicas acústicas, se realizaron muestreos biológicos cada 100 metros y se registraron las condiciones ambientales en cada punto de muestreo. Además, se registró la información sobre el lecho marino mediante el uso de un ecosonda EK60, con el propósito de mejorar la seguridad de las actividades de arrastre en la zona.

Palabras clave: merluza del Pacífico, Golfo California.

## 2 Abstract

During a research cruise aboard the B/I Dr. Jorge Carranza Fraser in the Gulf of California, off the coasts of northern Sinaloa and southern Sonora that took place from January 31 to February 13, 2023, the exploration of the study area was carried out in order to analyze the distribution of potential fishery resources at depths of 200 to 600 meters. Through the use of acoustic techniques, biological sampling was carried out every 100 meters and environmental conditions were recorded at each sampling point. In addition, information on the seabed was recorded using an EK60 echo sounder, with the purpose of improving the safety of trawling activities in the area.

Key words: Pacific hake, Gulf of California.





### 3 Introducción

El Golfo de California (GC) considerado fisiográficamente como una angosta franja marítima, tiene una longitud de 1,200 kilómetros y anchuras variables entre 92 y 222 kilómetros (Sans-Aguilar 2018), que por acuerdo internacional se considera Mar Patrimonial Mexicano (Castro-Aguirre *et al.* 1995). El GC es muy importante por su alta productividad y condiciones oceanográficas que sustentan una gran biodiversidad de flora y fauna, base importante del sector pesquero en el país y desde el punto de vista académico es considerado un laboratorio natural (Lara-Lara *et al.* 2008), la gran diversidad y enorme productividad biológica solo es equiparable con el Mar Rojo por sus características similares (Calmus *et al.* 2017). La zona oceánica del Golfo de California presenta un fondo muy complejo con relieves abruptos, constituido por cuencas marinas profundas, montes submarinos, pendientes pronunciadas, plataforma continental angosta y ancha, ventilas hidrotermales y más de mil islas entre las que destacan dos de las islas más grandes de México: Ángel de la Guarda y Tiburón (Wilkinson *et al.* 2009, Calmus *et al.* 2017).

Son numerosos los estudios que se han realizado en el Golfo de California, enfocados principalmente en la zona de la plataforma continental (zona fótica) o de especies de importancia pesquera y la fauna de acompañamiento, no obstante, los estudios de la fauna de profundidad son escasos, aunque el mar profundo en México abarca 85% de la Zona Económica Exclusiva (Escobar-Briones y Soto 1993). Los estudios en el Golfo de California en esta área de conocimiento, se remontan a 1888, cuando se realizaron cruceros científicos con el buque (Albatross) de la Comisión de Pesca de Estados Unidos. Posteriormente en 1977 se comenzaron a utilizar sumergibles para estudiar las ventilas hidrotermales de esta zona (Mejía-Mercado *et al.* 2014). A lo largo del tiempo se han utilizado diferentes métodos para la obtención y recolección de organismos que habitan en aguas profundas, como nucleadores de caja, dragas de arrastre, trampas y redes de arrastre. En la actualidad existen diversos equipos sumergibles que tienen la capacidad de ser tripulados o manejados de forma remota desde una embarcación (Hendrickx 2012). El submarino tripulado DeepSee ha realizado inmersiones en el Golfo de California y ha generado listados de especies de macroinvertebrados de aguas profundas (Aburto-Oropeza *et al.* 2010). Asimismo la Institución Woods Hole de Oceanografía llevó a cabo una expedición en el Golfo de California con ayuda de un sumergible manejado remotamente, obteniendo videos y fotografías del fondo marino que permitieron la creación de listas de taxones y sus abundancias en esta zona (Mejía-Mercado *et al.* 2014).

La pesca de aguas profundas es la que se da a unos 500 m de profundidad cerca de los límites inferiores del talud (Koslow *et al.* 2000). Gordon *et al.* (2003) definieron a la pesca de aguas profundas como la explotación de los recursos que viven a profundidades mayores de 400 metros. Estas pesquerías se han dado desde la década de los años 60 a nivel mundial, aportando al mercado miles de toneladas de capturas de especies de aguas profundas. Acevedo-Cervantes *et al.* (2009) mencionan que la estructura de las comunidades de peces de profundidad es compleja, identificando organismos que habitan entre 90 hasta 270 metros de profundidad, o más. Los peces de aguas profundas del Golfo de California tienen afinidades por distintas provincias, tanto tropicales y



templadas (López-Martínez *et al.* 2012), en general la ictiofauna del Golfo de California pertenece a la gran región del Pacífico Oriental Tropical (Castro-Aguirre *et al.* 1995). Aunque México no se encuentra entre los países con una gran cantidad de pesquerías de aguas profundas, la Carta Nacional Pesquera enlista las especies de aguas profundas que aparecen en sus capturas, como algunas especies de tiburones (CONANP 2011). Esta situación también se da en las pesquerías del Golfo de California, donde una de las especies objetivo de aguas profundas es la merluza del Pacífico norte *Merluccius productus*, una especie que puede migrar verticalmente desde menos de 500 metros hasta aguas cercanas a la superficie (Koslow *et al.* 2000). Además, se menciona la captura incidental de una especie en la pesquería de cabrillas y verdillos, la *Brotula clarkae*, que es propia de aguas profundas (DOF 2022). En el mundo existen 16 especies del género *Merluccius*, de las cuales en el Pacífico mexicano se encuentra la merluza del Pacífico norte, cuya distribución comprende de Oregón, EUA al Golfo de California, incluyendo las islas de Revillagigedo, México (Robertson y Allen 2015). La merluza es de hábitos bentopelágicos (es un pez demersal), vive en amplias regiones del fondo marino, en la plataforma continental desde 12 m hasta las regiones superiores del talud (500 m de profundidad) (DOF 2017), incluso puede habitar grandes profundidades de hasta 2,000 m (Bailey *et al.* 1982), muy cercanos al fondo, pero no en él. La composición y estructura específicas de la comunidad de peces demersales sobre la plataforma exterior pueden variar en función de factores como la profundidad, las condiciones fisicoquímicas y la geomorfología del fondo marino (Zhang *et al.* 2022).

La merluza del Pacífico norte *Merluccius productus* Ayres 1855, perteneciente a la familia Merlucciidae, habita en el Pacífico oriental desde la costa de Canadá hasta el Golfo de Tehuantepec-México (Lloris *et al.* 2003). La pesquería de esta especie data desde 1966, en las costas de Canadá y Estados Unidos (Methot y Dorn 1995). El destino de su captura se hace presente en alimentos procesados como el Surimi, eviscerado y sin cabeza (Sylvia 1995), así como filetes de merluza (Helser *et al.* 2006, DOF 2019). En México el primer estudio con enfoque de evaluación de recursos demersales (de peces bentónicos y bentopelágicos), en el Golfo de California, lo realizó en 1968-1969, en conjunto con la FAO, el Instituto Nacional de Investigaciones Biológico-Pesqueras (actual Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuicultura Sustentables IMIPAS). Diez años después, en 1979, el Instituto Nacional de Pesca (INAPESCA) y el Programa de Investigación y Desarrollo Pesquero Integrado MÉXICO/PNUD/FAO, llevaron a cabo una serie de cruceros, en donde el objetivo continuaba siendo la evaluación de los recursos demersales en el Golfo de California, para ello utilizaron redes de arrastre de fondo, en donde encontraron que la proporción entre la captura de camarón y fauna de acompañamiento era de 1 a 5. Entre esta fauna se encontraban especies como la merluza *Merluccius* sp., con un porcentaje menor a 1% con respecto a la captura total. En 1978 las capturas de merluza se documentaron en dos puertos, Mazatlán, Sin. y Guaymas, Son. Concretamente se registraron 2,300 kg en el primer puerto y 9 kg en el segundo (Ehrhardt *et al.* 1980). Los resultados de tal estudio mostraron que la merluza se distribuye principalmente en la parte profunda al noroeste de la isla Ángel de la Guarda, a más de 120 m, con mayor concentración entre 180 y 200 m de profundidad, en donde se registraron merluzas con tallas menores a 40 cm de longitud total. Es importante



mencionar que los resultados de este estudio corresponden a áreas donde fue viable realizar arrastres de fondo y no en áreas rocosas donde es probable que se encuentren las especies comerciales y que los resultados serían posiblemente muy diferentes a los de zonas muestreadas (Ehrhardt *et al.* 1980). Durante el periodo diurno *M. productus* es de hábitos demersales y se encuentra en agregaciones cerca del lecho marino de la plataforma y talud continental, a profundidades de entre 50 y 500 metros, aunque también se ha registrado en profundidades de 900 a 2,000 metros (Alverson y Larkins 1969). En el norte del Golfo de California (NGC) las mayores capturas de merluza y de tallas más grandes se han obtenido entre 180 y 370 metros de profundidad en el mes de febrero (Godínez 2013). En el Golfo de California, la merluza se encuentra principalmente en el Alto Golfo o NGC, donde a partir del año 2000 inició la pesquería de la especie. Desde entonces hasta el 2019, la captura máxima se registró en el 2014 con 6,628 toneladas.

El incremento de la población humana en el planeta ha provocado un aumento en la demanda de los recursos naturales para cubrir sus necesidades básicas. Este impacto repercute en las pesquerías, incrementando la presión de explorar nuevas zonas potenciales de captura de especies de valor comercial con el objetivo de garantizar la seguridad alimentaria de la población (Hayes 2023). El Programa Nacional de Desarrollo (PND) 2019-2024 establece la implementación de un enfoque de desarrollo sostenible con el propósito de proteger y conservar el medio ambiente y los recursos naturales, a fin de no comprometer el bienestar y la vida de las generaciones futuras. Como resultado el sector acuícola-pesquero se ha centrado en adoptar prácticas de producción sostenible en respuesta a los riesgos del cambio climático (DOF 2020). En las últimas dos décadas el Gobierno de México a través de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) en coordinación con los productores, comercializadores, investigadores, organizaciones civiles y autoridades de los gobiernos de Baja California y Sonora, han trabajado en la transformación de la pesquería de la merluza para desarrollarla de manera eficiente y sustentable. Esfuerzos que se vieron reflejados en un Proyecto de Norma para regular el aprovechamiento de merluza del Pacífico en aguas de jurisdicción federal del litoral del Océano Pacífico y el Golfo de California (DOF 2019). Además, a partir de 2017, se incluyó la ficha de la merluza como un recurso con potencial de desarrollo en la Carta Nacional Pesquera y en la versión más reciente de este documento, se reconoce a la merluza como un recurso al Rendimiento Máximo Sustentable (RMS) en el Golfo de California (DOF 2022).

El arte de pesca y método de captura establecidos en la Carta Nacional Pesquera (DOF 2022), como parte de la Normatividad e Instrumentos de política y manejo pesquero de la pesquería de merluza, depende de la pericia de la flota pesquera de este recurso para la captura, así como del conocimiento de las características del fondo, dado que el hábitat de la merluza es muy cercano al fondo. Ambas tareas es posible realizarlas con los métodos apropiados que requiere de tecnología avanzada para la aplicación de un método acústico activo que permita conocer el fondo, operacionalmente. La hidroacústica se utiliza para caracterizar y mapear el fondo marino (McLaren *et al.* 2019). En ausencia de un modelo batimétrico continuo, se han utilizado para generar los datos hidroacústicos puntuales obtenidos a través de ecosondas científicos durante las



evaluaciones pesqueras (Anderson *et al.* 2008, Klemm *et al.* 2021). A partir de estos registros y mediante métodos de interpolación o predicción espacial, es posible obtener un modelo digital de batimetría (Sekulić *et al.* 2020, Landero *et al.* 2021). El algoritmo Random Forest se han convertido en una herramienta útil en la interpolación de datos puntuales, presentado mejoras en comparación con los modelos geoestadísticos como Kriging (Li 2013, McLaren *et al.* 2019). De la batimetría se derivan otros parámetros como los geomorfométricos (Wilson *et al.* 2007). En el ámbito marino se han empleado características geomorfométricas para el modelamiento de la distribución de especies y la predicción del tipo del suelo marino (Li 2013, Pearman *et al.* 2020, Landero *et al.* 2021, Nemani *et al.* 2022). En estos modelos de distribución se han utilizado técnicas de aprendizaje automático (machine learning) basado en árboles como Random Forest (Uhlenkott *et al.* 2022).

En este sentido se realizó un crucero de pesca de profundidad (mayor a 100 metros), con el fin de capturar y estudiar los recursos demersales, que se encuentran en la zona nerítica de Sonora-Sinaloa. Para la obtención de estos organismos fue fundamental conocer la estructura del suelo marino, encima de donde se realizaron los arrastres de pesca de fondo. Por lo tanto, llevar a cabo un mapeo exhaustivo del lecho marino fue una labor esencial para comprender su geomorfometría, ya que esto proporciona una mayor seguridad en todas las actividades de lances de pesca, así como en la gestión, monitoreo y control de los recursos naturales y biológicos que se encuentran en dichas zonas (Urcádiz-Cázares *et al.* 2017).

## **4 Objetivos**

### **4.1 Objetivo general**

Explorar los recursos pesqueros de mar profundo y amplia migración vertical diurna de la región continental del Golfo de California.

### **4.2 Objetivos particulares**

Sondear acústicamente el terreno de la zona de estudio para identificar la batimetría en los sitios de distribución de especies de interés comercial.

Realizar el muestreo biológico de especies marinas por estrato de profundidad cada 100 metros (300-900 m).

Obtener registro fotográfico de las especies capturadas.

Caracterizar las condiciones oceanográficas de la zona de estudio.



## 5 Área de estudio

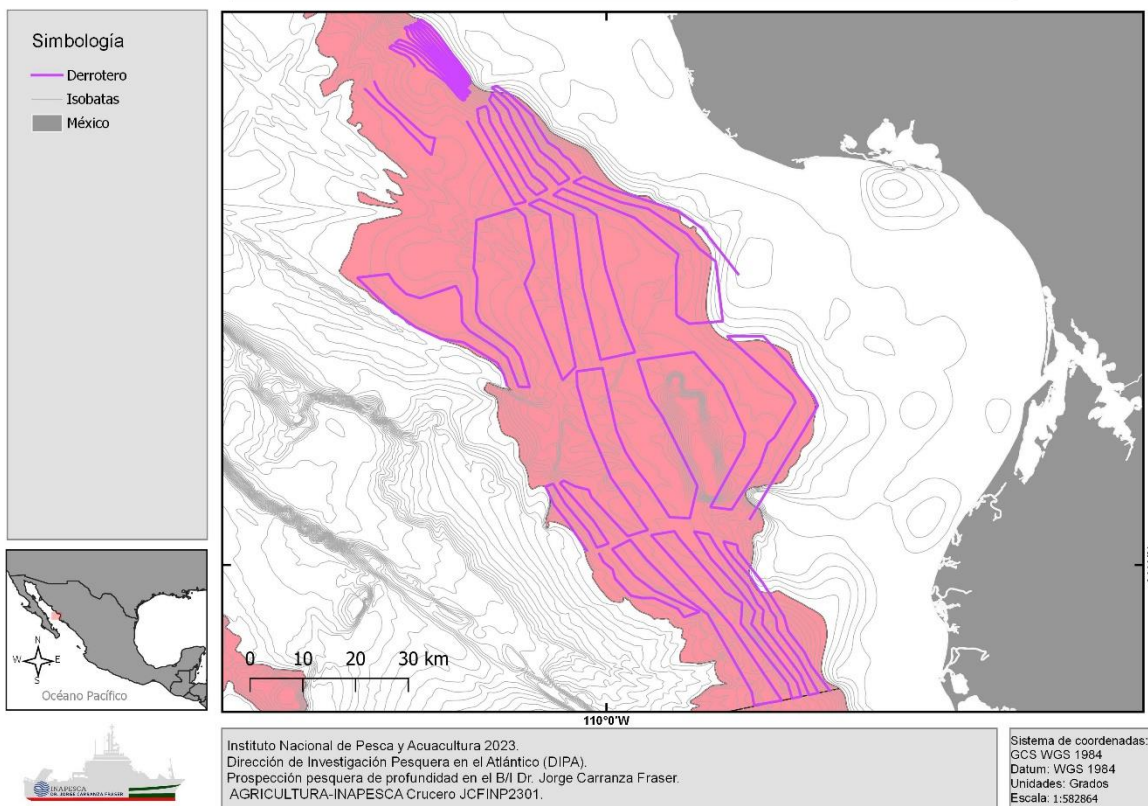
El área de estudio corresponde a la región oriental marina del Golfo de California, correspondiente a la zona nerítica de Sinaloa y Sonora. Esta región fue evaluada en un crucero de investigación con derrotero compuesto de transectos trazados de manera paralela a la costa entre las isobatas de 300 y 900 m (Anexo I), que posee las coordenadas de los vértices extremos de la siguiente tabla.

**Tabla I.** Coordenadas extremas de la región de estudio.

Oeste (°)	Norte (°)
110.4877	26.9407
109.5390	26.9398
109.5427	25.7149
110.4871	25.7148

En la *Figura 1* se muestra el mapa de la zona de estudio y los sitios de interés para arrastre. Durante el crucero fueron utilizadas una variedad de técnicas interdisciplinarias de muestreo para recolectar datos ambientales y biológicos de la zona de estudio, como evaluación hidroacústica, lances de pesca a media agua y pesca de calamar con poteras, para estimar la biología pesquera de los recursos capturados. En conjunto complementadas con lances de CTD para la caracterización de las propiedades de la columna de agua, para conocer el medio físico y químico del hábitat de los diversos organismos, producto de la pesca exploratoria.

En los sitios donde se realizaron los lances de pesca fueron efectuadas las estaciones de muestreo oceanográfico, el cual incluyó lances de perfilador CTD y arrastres oblicuos con redes bongo.



**Figura 1.** Área de estudio para la exploración del mar profundo, en febrero del 2023, en la región continental del Golfo de California, crucero JCFINP2301.

## 6 Métodos

### 6.1 Acústica pesquera

#### 6.1.1 Adquisición de información acústica

La adquisición de datos acústicos durante el crucero se realizó mediante la operación de un ecosonda Simrad EK60 equipada con cinco transductores de haz dividido (18, 38, 70, 120 y 200 kHz), instalados en una quilla retráctil que ubica a los transductores cuatro metros por debajo del casco del buque, lo que implica mediciones acústicas a por lo menos 7 metros de profundidad, con el objeto de evitar la interferencia de ruido o la influencia de la superficie marina cálida en la toma de datos. El ancho del haz fue de 7° para 38, 70 y 120 kHz y de 11° para 18 kHz. El sistema fue operado de manera continua durante todo el crucero, los transductores fueron configurados de la siguiente manera: longitud del pulso de 1,024 ms (18, 38, 70, 120 y 200 kHz) y potencia de 2000 W (18 y 38 kHz), 750 W (70 kHz), 250 (120 kHz) y 105 (200 kHz).





El intervalo de repetición de pulsos emitidos fue adaptativo durante el crucero, aplicando una cadencia de tiro que se ajusta según la profundidad del fondo marino (Tabla II.). El monitoreo se realizó en el derrotero con el objetivo de encontrar detecciones o ecotrazos en pantalla (emitidas por la reflectividad de pulsos acústicos sobre organismos bentónicos, pelágicos, demersales, etc.). Los ecogramas digitales se registraron en el formato de datos crudos (\*.raw), generando cerca de 8.43 GB de información.

El procesamiento de los datos acústicos se realizó en la plataforma Echoview versión 9.0 y el análisis geoespacial se generó con el software estadístico R.

**Tabla II.** Cadencia de tiro de repetición de pulsos acústicos del ecosonda científica EK60.

<b>Ping interval (s)</b>	<b>Intervalo de profundidad (m)</b>	<b>Escala de grabación raw (m)</b>
<b>0.25</b>	0 – 50	100
<b>0.50</b>	50.1 – 100	150
<b>0.75</b>	100.1 – 150	200
<b>1.0</b>	150.1 – 250	300
<b>2.0</b>	250.1 - 500	500

### 6.1.2 Clasificación acústica

Inicialmente, se ingresó la información por transecto recorrido para corregir la línea de fondo mediante los algoritmos de Echoview, de esta manera se discriminó entre la información reflejada por el suelo marino y la superficie (campo cercano) durante el análisis de los datos. Posteriormente, se trazaron “regiones” en los ecogramas digitales para indicar las zonas donde se realizaron las operaciones de pesca u otra actividad ajena a la prospección acústica (p. ej. estaciones de oceanografía). El intervalo de velocidad del buque durante la toma de datos acústicos a lo largo del crucero se validó entre 5.0> y <9.1 nudos, las regiones que no cumplieron con esta característica se descartaron del análisis.

Después de esto se procedió a la exportación de los datos adquiridos con el ecosonda EK60 en archivos con formato de valores separados por comas (CSV), utilizando el programa Echoview, con el objetivo de importarlos y realizar su modelado en el programa estadístico R.

### 6.1.3 Pesca de reconocimiento (Lances de fondo y media agua)

Los lances de pesca de fondo se realizaron con una red de cuatro tapas de gran abertura de arrastre, BSC 79/107 (Anexo II), cuyas características de construcción son: longitud de relinga superior de 24.09 m (79 pies), tamaño de malla en alas, cielo, cuerpo y ante-bolso de 140 mm, construida de paño polietileno trenzado de alto grado, configurada con un tren de arrastre de caucho en la relinga inferior y en la relinga superior provista de boyas con capacidad de soportar la presión hasta 1,200 m de profundidad. El copo o bolso está





provisto en su interior de paño tipo Raschel de nylon sin nudo con un tamaño de 17 mm (Nets Systems 2016).

Cuando la captura se encontró depositada en la cubierta de la embarcación, se procedió a clasificar por especie y se pesaron por separado. De manera práctica la clasificación se realizó de acuerdo con dos criterios: 1) captura menor a 50 kg y; 2) captura mayor a 50 kg.

Cuando el peso del lance fue menor de 50 kg se procesó toda la captura. Cuando la captura excedía los 50 kg se tomó una muestra aleatoria equivalente a 20 kg, de la cual se seleccionaron los individuos de las diferentes especies. Para cada una de las especies se registró la longitud patrón (LP, cm), Longitud total (LT, cm) y el peso individual (P, kg), así como peso total en cada lance. En las que se tuvo una gran cantidad de ejemplares se midieron entre 10 y 30 individuos por lance, datos que permitieron identificar especies que pudieran presentar potencial de aprovechamiento.

Algunos ejemplares de organismos cuya identidad taxonómica no se pudo determinar a bordo, se conservaron ya sea congelado o en formol para su posterior identificación en laboratorio. Dicho material fue preservado en frascos primero en formalina al 10% y posteriormente en alcohol al 70%, cada uno etiquetado con los datos correspondientes de colecta.

Se tomaron fotografías de los ejemplares frescos, información de gran utilidad como apoyo en la determinación e identificación de especies y para formar parte del acervo fotográfico biológico del buque.

#### **6.1.4 Análisis bioestadístico**

Los resultados de las capturas obtenidas en los lances de pesca de identificación permitieron obtener parámetros como la captura en peso (kg) y abundancia (núm. individuos) absolutas, distribución por profundidad en la columna de agua, así como estimar la riqueza específica (S) en número de especies por lance de pesca, para con ellos calcular los parámetros de la población como densidad (ind/km<sup>2</sup>), biomasa (kg/km<sup>2</sup>). Valores que permitieron realizar análisis biológicos y ecológicos, el de asociación de Olmstead-Tukey, el índice de valor de importancia (IVI). A la vez que se obtuvo la estructura de tallas de las especies más abundantes, así como de las de importancia comercial, para ello las clases de tallas se definieron con base en la regla de Sturges. Los análisis pesqueros como Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE), estructura de tallas, relación peso-longitud se realizaron siguiendo los criterios mencionados en Espino *et al.* (2008).

Para jerarquizar la dominancia de las especies se construyó el diagrama de Olmstead-Tukey (Steel y Torrie 1981). En el diagrama se grafican cuatro categorías partir de la relación entre el logaritmo natural de la densidad y sus frecuencias de aparición, tales como dominantes, abundantes, frecuentes y raras. El criterio de discriminación se basa en la media de la frecuencia de aparición relativa y de la media respectiva del logaritmo natural de la sumatoria de la densidad absoluta, de tal forma que al trazar ambas se perfilan cuatro cuadrantes correspondientes a las categorías. Las especies dominantes, son aquellas que presentan la densidad y la frecuencia mayor a ambas medias. Las



frecuentes presentan densidades menores a la media y la frecuencia mayor a la media. Las abundantes son las que presentan densidad mayor a la media y frecuencia menor a la media. Las raras presentan densidades y frecuencias menores a ambas medias.

La dominancia de las especies en las capturas se determinó mediante el Índice de Valor de Importancia (IVI = %B + %A + %FO) (Cottam y Curtis 1956, Brower y Zar 1977).

De la captura total se identificaron las especies que registraron valores altos de captura (B, gr), abundancia (A, núm. inds.), densidad (inds/km<sup>2</sup>), frecuencia de ocurrencia (FO, frecuencia de aparición por lance) y CPUE (kg/hr), valores con los cuales se podía clasificar como especies con posible potencial pesquero.

En el caso de la merluza se obtuvo la relación peso total-longitud total (PT-LT) utilizando el modelo potencial (Ricker 1975).

$$PT = a (LT)^b$$

Donde: a es la ordenada al origen, y b es la pendiente.

### 6.1.5 Modelación espacial

En este trabajo fue utilizado el algoritmo Random Forest (RF) para interpolar datos de la profundidad del fondo marino medido con ecosonda EK60 durante el periodo de estudio, con el objetivo de obtener el modelo digital batimétrico (MDB) para realizar la respectiva cartografía, útil para la pesca de profundidad, por el conocimiento de la fisiografía del lecho marino. Random Forest es una alternativa para generar predicciones espaciales (Nussbaum *et al.* 2018); sin embargo, ignoran el contexto geográfico durante el modelado (Hengl *et al.* 2018). Una de las soluciones a este problema es utilizar Coordenadas Geográficas Oblicuas (OGC por sus siglas en inglés, Møller *et al.* 2020). Además, RF, arroja la importancia de las variables predictoras, y Ribeiro *et al.* (2016) mencionan que en algunos casos puede ser útil tener un modelo lineal mientras que en otros casos una gráfica con las variables más importantes en la explicación del modelo, a pesar de tener un menor grado de interpretabilidad.

La interpolación de los datos de profundidad del fondo marino en la zona de estudio se realizó mediante RF debido a la distribución asimétrica de la variable. Para realizar esta tarea se utilizó el metapaquete *mlr* (Bischi *et al.* 2016) que contienen múltiples técnicas de aprendizaje automático tanto de regresión como de clasificación. Las covariables para el modelo RF fueron la longitud, latitud y 16 coordenadas geográficas oblicuas realizadas mediante el paquete OGC (Møller 2019).

Los árboles de regresión y clasificación (CART por sus siglas en inglés) son modelos que arrojan predicciones de alguna variable objetivo a partir de un conjunto de datos mediante un algoritmo basado en particiones binarias recursivas. Los árboles de regresión son una alternativa a la regresión tradicional (Breiman *et al.* 1984, Genuer y Poggi 2020). Random Forest es construido por un conjunto de árboles de regresión o clasificación. Este grupo de árboles permiten lograr una mejor precisión y estabilidad del modelo. En RF (bosques aleatorios), cuando se dividen los árboles se realiza muestreo bootstrap, una parte se utiliza para el entrenamiento y el otro para el testeo, a este



segundo conjunto de datos se le llama “Out Of Bag” (OOB). Para crear el RF, un número de variables se especifica aleatoriamente para un nodo y ramificar el árbol, posteriormente cada árbol crece. Una vez construido el bosque (Forest) se toma el promedio de las predicciones de todos los árboles (Breiman 2001, Rhys 2020). El error del modelo de entrenamiento respecto a las muestras reales de testeo (OBB) se le llama Out Of Bag Error (OOBE). Este error da una estimación de cuán óptima es la predicción de un modelo RF sin la necesidad de usar datos adicionales o un conjunto de datos diferente. Esto debido a que son los datos (OOB) que no se utilizan en un árbol determinado cuando se crea, pero sí se utiliza para un RF con bastantes árboles ya que se incluirá en algunos de ellos. En un modelo de RF cada árbol tiene un OOBE y se utiliza para evaluar la calidad de cada árbol. Por último, el error medio de todos los árboles es el OOBE del RF (Genuer y Poggi 2020). Sin embargo, para obtener resultados óptimos es necesario realizar la validación cruzada y el ajuste de hiperparámetros (Rhys 2020).

Los hiperparámetros son valores de configuración esenciales al crear un modelo de RF. Los más importantes son el número de árboles individuales (ntree) que forman el bosque y el número de variables elegidas (mtry) en cada una de las particiones (Genuer y Poggi 2020, Rhys 2020).

1. ntree: número de árboles en el bosque, por defecto es 500.
2. mtry: número de variables seleccionadas al azar en cada ramificación. En regresión por default es  $p/3$  (donde  $p$  es el número de variables). El valor óptimo de este parámetro depende del número total de variables y como están relacionadas con la variable respuesta. En la división de los árboles no se utilizan todas las covariables con el propósito de que no presenten correlación entre ellas (Reisinger *et al.* 2021).
3. nodesize: número mínimo de observaciones que debe contener un nodo terminal de un árbol. En regresión el número de observaciones por defecto es 5.
4. sample.fraction: indica la fracción de observaciones que utilizara cada árbol. Los valores más pequeños indican árboles menos correlacionados (Lovelace *et al.* 2019).

### **6.1.6 Validación cruzada espacial y ajuste de hiperparámetros**

En la validación del modelo RF la partición de datos (K-fold) debe ser espacial, así como en la búsqueda de hiperparámetros óptimos. El proceso es similar al tradicional (Rhys 2020), pero integrando las particiones geográficas, para el ajuste de los hiperparámetros (Lovelace *et al.* 2019, Schratz *et al.* 2019). *mlr* realiza la validación cruzada espacial mediante el algoritmo K-means a través del paquete *sperrorest* (Brenning 2012). *mlr* también contiene al paquete *ranger* (Wright y Ziegler 2017), que es utilizado para ejecutar Random Forest. En la validación cruzada se eligió una partición de cinco ( $k=5$ ) subconjuntos repetidos cinco veces. Para el ajuste de los hiperparámetros también se efectuaron cinco particiones espaciales para dividir el conjunto de entrenamiento de cada pliegue. Estos dos procesos se repitieron 50 veces dando en total 1,250 modelos. El modelado espacial y estadístico se realizó con el lenguaje de programación R versión 4.1.3 (R Core Team 2022).



En los modelos de aprendizaje automático como el de RF, para evaluar su capacidad predictiva, se utilizan técnicas de validación cruzada (VC, Picard y Cook 1984, Yang y Huang 2014). Una de las técnicas es el k-fold. El método k-fold se divide en k subconjuntos, uno se utiliza para la validación y el resto (k-1) para el entrenamiento del modelo. Este proceso se repite iterativamente utilizando cada vez un subconjunto distinto para validar y los restantes para entrenar hasta terminar todas las particiones o subconjuntos de los datos (Jung y Hu 2015, Pérez-Planells *et al.* 2015). Posteriormente se calculan para cada registro (punto), las diferencias entre el valor observado y el pronosticado. Con el resultado de esta diferencia se obtienen los errores de predicción como el Error Cuadrático Medio (MSE, por sus siglas en inglés) o Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE). El número de subconjuntos para dividir los datos y realizar la validación cruzada depende de la capacidad de cómputo y el número de datos, aunque comúnmente oscila entre 5 y 10 (Schratz *et al.* 2019, Rhys 2020). Cuando se realiza la validación cruzada es necesario incluir el proceso de ajuste de hiperparámetros (Probst *et al.* 2019, Rhys 2020).

En el caso de los datos geográficos, la partición aleatoria del conjunto de datos conduce a problemas derivado de la presencia de autocorrelación espacial, lo que ocasiona sobreestimación o subestimación del modelo y de los errores de predicción espacial en la evaluación de la precisión. Para evitar este inconveniente se utiliza la validación cruzada espacial (Brenning 2012, Roberts *et al.* 2017, Schratz *et al.* 2019). Esta tarea consiste en realizar particiones de los datos que están separados geográficamente y no de forma aleatoria (Valavi *et al.* 2018). El método que se utiliza en el presente trabajo es mediante la agrupación K-means donde la segmentación se realiza a través de las coordenadas espaciales (Brenning 2012).

## 6.2 Geomorfometría marina

La geomorfometría, se realizó de acuerdo con los cinco pasos descritos en Lecours *et al.* (2016). A continuación, se mencionan brevemente:

1. En el primer paso se obtuvo los valores de la profundidad del fondo marino. El muestreo fue de tipo estratificado-aleatorio con una longitud máxima de transectos de alrededor de 34 mn con una separación variada hasta de 5 mn.
2. En el segundo paso se realizó la limpieza de los datos hidroacústicos (ecogramas), el análisis estadístico y la interpolación espacial con Random Forest para la generación del MDB.
3. En el tercer paso, se efectuó el preprocesamiento del MDB para corregir posibles errores o artefactos.
4. Posteriormente se realizó el análisis del MDB y se obtuvo la geomorfometría marina.
5. Por último, la aplicación en el mapeo de la geomorfometría del suelo marino.

En este sentido, se realizaron los procesamientos previos al MDB y posteriormente se generaron las características geomorfométricas del fondo marino mediante el paquete terra (Hijmans 2022) y MultiscaleDTM (Ilich *et al.* 2021) de R versión 4.1.3 (R Core Team 2022).



En el análisis geomorfométrico, la pendiente se clasificó con los intervalos propuestos por Lugo-Hubp (1988) los cuales van de 0-0.5°, 0.6-1.5°, 1.6-3°, 3.1-6°, 6.1-10°, 10.1-20°, 20.1-30°, 30.1-45° y >45.1°. La rugosidad es la medición cuantitativa de la heterogeneidad topográfica del terreno (Reily et al. 1999). La orientación de los escarpes se clasificó en nueve clases con respecto a los principales puntos cardinales, tomando como origen el polo norte (0-22.5 grados), noreste (22.5-67.5), este (67.5-112.5), sureste (112.5-157.5), sur (157.5-202.5), suroeste (202.5-247.5), oeste (247.5-292.5), noroeste (292.5-337.5) y norte (337.5-360 grados). El Índice de Posición Batimétrica (IPB) representa la diferencia entre la elevación de un píxel y el promedio de la elevación de los píxeles vecinos. Este índice es un descriptor de las estructuras del fondo marino, de las cuales los valores positivos indican las características del terreno que son más altas que los alrededores (crestas, picos) en tanto que los valores negativos corresponden a valles o depresiones (Abad-Uribarren et al. 2022).

### **6.3 Características del medio ambiente físico químico de la columna de agua**

#### **6.3.1 Distribución vertical**

Para medir oxígeno disuelto (OD), clorofila-a (a través de fluorescencia), y potencial de hidrógeno (pH), (parámetros físico-químicos) en la columna de agua se utilizó un perfilador de conductividad, temperatura y profundidad (CTD) Seabird equipado con sensores integrados y periféricos. La profundidad en cada estación se determinó utilizando los ecogramas del ecosonda EK60 y estableciendo una distancia segura de 10 metros del fondo, por encima de la profundidad registrada cuando ésta fue menor de 500 metros en promedio. Los datos de cada lance se registraron y convirtieron en archivos de texto (\*.txt) para su análisis. El límite de velocidad de viento para realizar una estación fue de 25 nudos. Los muestreos de rutina en las estaciones oceanográficas incluyen además el registro continuo de los parámetros fisicoquímicos y meteorológicos de la superficie oceánica, posición geográfica, hora y fecha del muestreo y la profundidad según correspondió, con base en los datos ambientales de los registros del termosalinómetro y la estación meteorológica, la cual contiene sensores de temperatura y conductividad del mar.

#### **6.3.2 Patrón de vientos**

La dirección y velocidad del viento se registró con alta resolución, utilizando una estación meteorológica WEATHERPAK-2000 la cual está configurada para registrar la dirección y velocidad del viento cada 30 segundos, esta estación también midió otros parámetros atmosféricos y coordenadas geográficas, útiles para describir la ubicación del recorrido total, pero particularmente de cada estación oceanográfica (EO) donde se registraron las corrientes marinas.

#### **6.3.3 Distribución superficial termohalina**

Durante la navegación se adquirió información acerca de la superficie del mar con el uso de un termosalinógrafo, el cual tuvo integrado un fluorómetro para medición de clorofila-



a, usando un sistema de bombeo de flujo continuo direccionado hacia un sensor CT SBE-21 que registró cada 10 segundos la temperatura y la salinidad, aproximadamente a 3 metros de profundidad. Esta información fue vaciada como una base de datos para su procesamiento, al integrar los archivos de texto generados por el software Seasave-SBE 21 Seacat Termosalinograph.

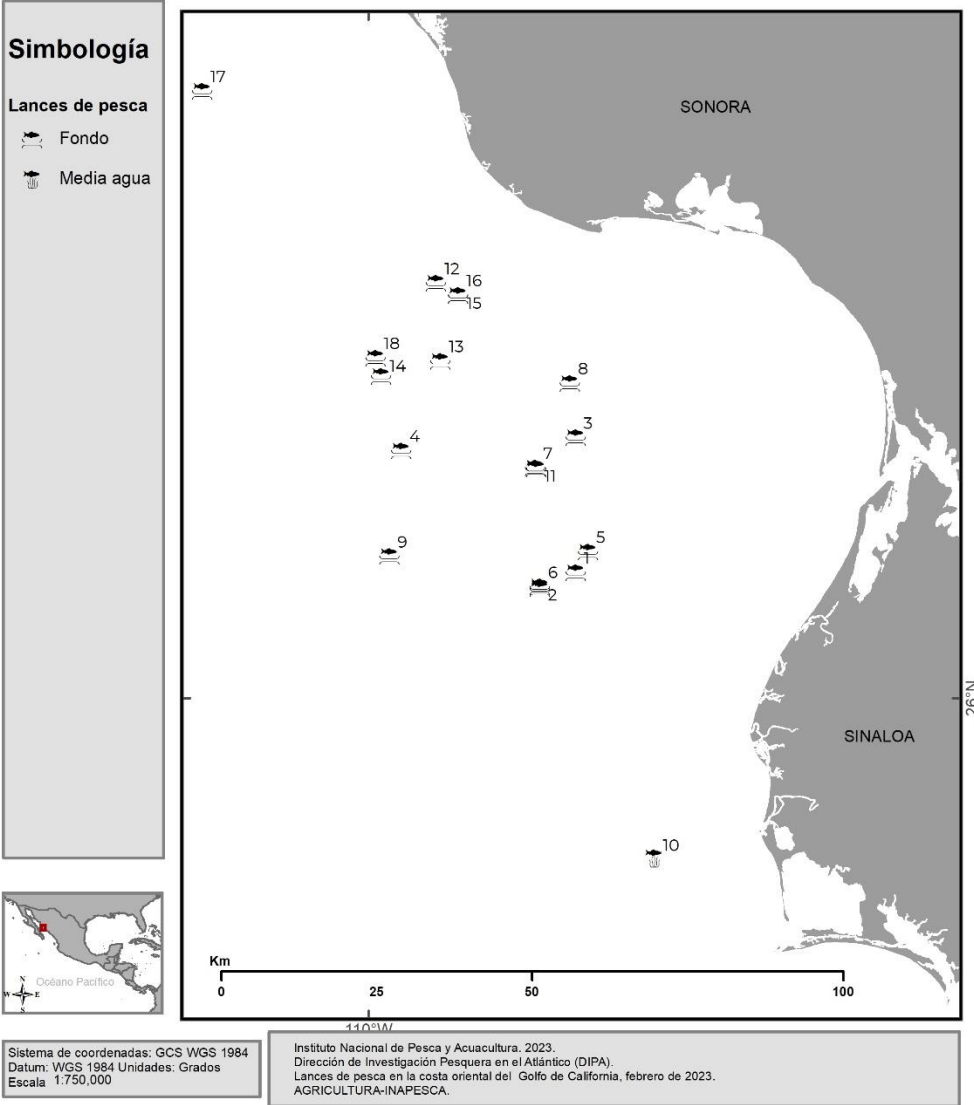
## **7 Resultados**

### **7.1 Pesca de identificación**

Durante la campaña se realizaron 18 arrastres de los cuales 17 fueron de fondo a profundidades determinadas por el ecotrazo y un lance de media agua (Figura 2.). Los lances de pesca se llevaron a cabo con base en el reconocimiento hidroacústico previo de la disponibilidad y abundancia de peces, así como aprovechando las condiciones meteorológicas favorables para las maniobras correspondientes. Los arrastres de fondo tuvieron duración 7 horas y 52 minutos con un promedio de 30 minutos y 2.9 nudos de velocidad media. Mientras que el lance de media agua fue en horario nocturno, con una duración de 34 minutos a una velocidad de 3.2 nudos.



**Lances de pesca en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023.**



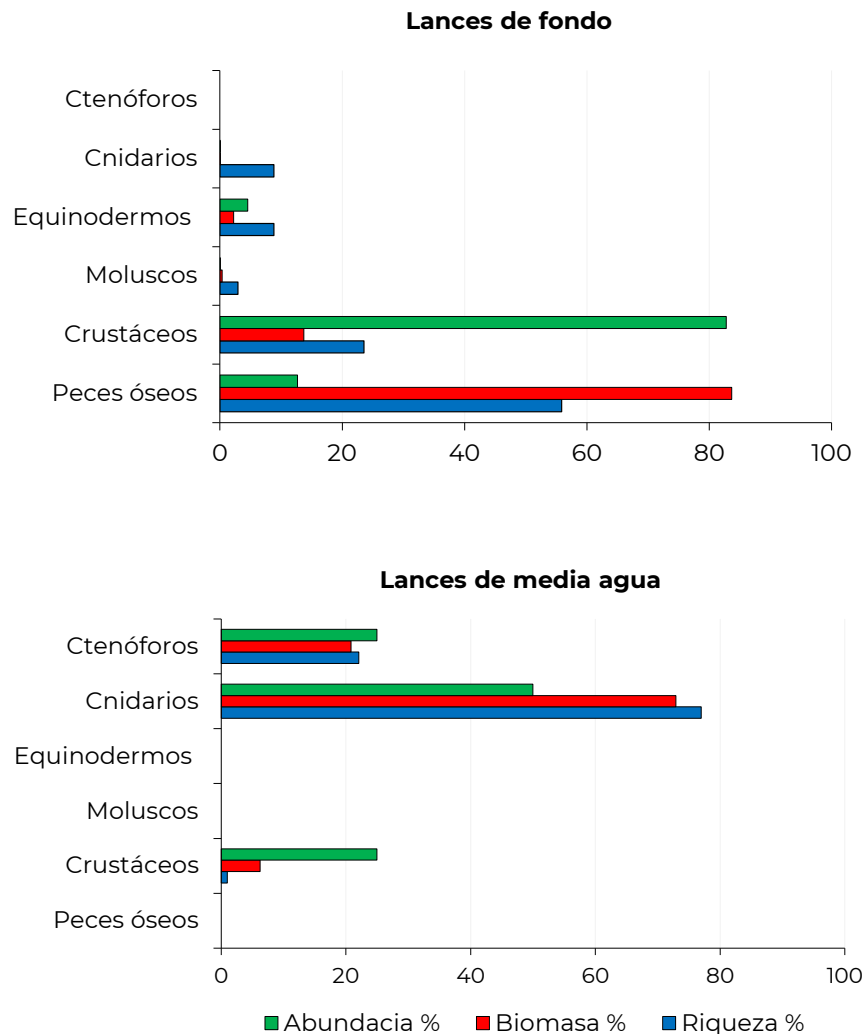
**Figura 2.** Distribución de lances de pesca de fondo y media agua, en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.

El muestreo se realizó a finales de enero y principios de febrero, durante el invierno de 2023, como parte del crucero de investigación JCFIN2301 en la costa oriental del Golfo de California, específicamente en las costas de Sonora y Sinaloa. La profundidad del fondo marino se ubicó entre 187 y 601 m, mientras que los blancos (actividad biológica) se identificaron entre 195 y 601 m, con un promedio del blanco a 402.6 m para los lances de fondo, en tanto que para el lance de media agua la profundidad del blanco fue entre 29





y 41 m con un promedio de 35 m (Anexo IV). Los lances se realizaron a una distancia de la costa comprendida entre 8.8 y 43 mn con un promedio de 21 mn. El área barrida de los lances de fondo fue de 0.54 km<sup>2</sup> y para el lance de media agua fue de 0.06 km<sup>2</sup>. La captura total en los lances fue de 912.29 kg y 33,167 individuos, de los cuales en los lances de fondo se registraron 912.09 kg y 33,119 individuos, en donde se identificaron 34 taxones, pertenecientes a cinco grupos taxonómicos como cnidarios, crustáceos, equinodermos, moluscos y peces óseos. En el lance de media agua la captura fue de 0.204 kg para 48 individuos pertenecientes a tres taxones de los grupos ctenóforos, cnidarios y crustáceos (Figura 3).



**Figura 3.** Porcentaje de abundancia absoluta (número de individuos), peso absoluto (kg) y riqueza de especies por grupo de organismos, en las capturas de pesca de fondo y media agua en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.



En los lances de fondo, los peces óseos resultaron ser los de mayor peso con 83.6%, seguidos por los crustáceos con 13.7%, situación inversa se observó en la abundancia en donde los crustáceos registraron 82.7% en número de individuos mientras que en los peces óseos se registró un 12.6%, el resto de los grupos sumó no más de 4% en peso y abundancia. En cuanto a riqueza de especies, también peces óseos y crustáceos ocuparon el primero y segundo lugar con 55.8% y 23.5% respectivamente, los menos representados fueron los cnidarios, equinodermos y moluscos. En cuanto a la captura con la red de media agua, de los tres grupos capturados, los cnidarios fueron los mejor representados con 73% en peso y 50% en número de individuos, seguidos en mucho menor porcentaje los ctenóforos con 21% y 25% en peso y abundancia respectivamente, los crustáceos sumaron solo 6.2% en el peso total de la captura con 25% de abundancia con una sola especie (Figura 3).

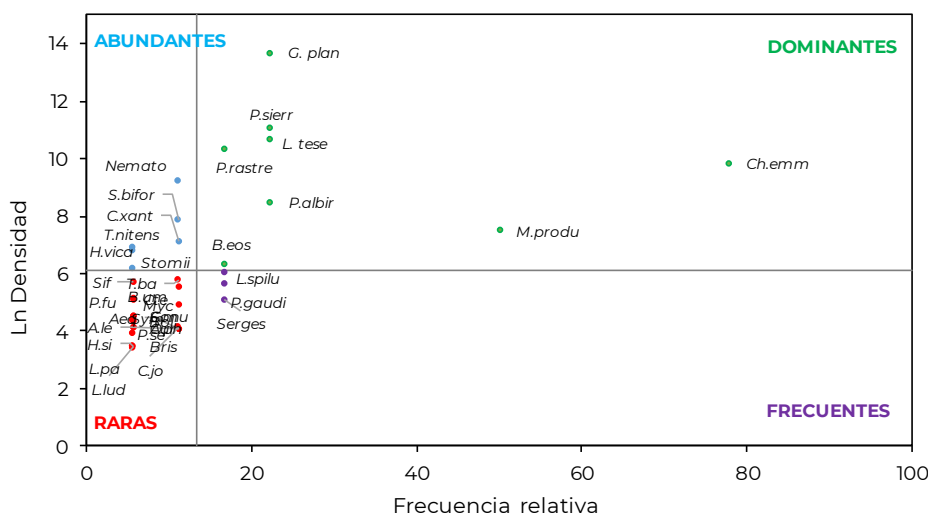
### 7.1.1 Diversidad

La riqueza de especies registrada fue de 37 taxones, correspondientes a 26 familias y 28 géneros. En 14 taxones no fue posible identificar la categoría de especie, por lo que quedan registrados a categoría de Orden (Sifonophorae), familia y género. Los grupos mejor representados fueron los peces óseos con 19 taxones, seguido por los crustáceos con 9, los cnidarios con 3 spp. mientras que los moluscos y ctenóforos solo tuvieron una sola especie. En el grupo de los peces se observó la mayor diversidad en familias, géneros y especies, entre las que destacan los Myctophidae con tres géneros y tres especies. Cuatro familias de peces tuvieron dos especies cada una (Antiadidae, Ophidiidae, Sciaenidae y Scorpaenidae), las restantes 8 familias solo tuvieron una especie cada una. Entre los cnidarios, crustáceos, ctenóforos y moluscos solo se registró una familia, un género y una especie por cada una. Solo en los equinodermos, la familia Luidiidae registró dos especies del género *Luidia*. De esta diversidad registrada, en los lances de media agua se capturaron solo cuatro especies, dos cnidarios de la familia Eirenidae y un sifonóforo, un crustáceo *Phronima sedentaria* y una especie de ctenóforo. El resto correspondió a fauna proveniente de los lances de fondo en donde se encontraron especies del ambiente bentónico y con algunas especies de hábitos demersales.

### 7.1.2 Prueba de asociación Olmstead-Tukey

Para jerarquizar la dominancia de las especies capturadas en los lances de pesca, se realizó la prueba de asociación Olmstead-Tukey (O-T), en la que se identificaron especies en las cuatro categorías: dominantes, frecuentes, abundantes y raras, cada una de las categorías se asignó con respecto al valor de las medianas de la densidad y de la frecuencia de ocurrencia de cada especie (Figura 4.). Las especies **dominantes** agruparon a 21.6% del total de especies capturadas, con valores de densidad y frecuencia de ocurrencia mayores a la media, en este grupo resaltan por ser de interés comercial la merluza del Pacífico norte *Merluccius productus*, y por tener potencial pesquero la langostilla *Grimothea planipes* y el lapón manchado *Pontinus sierra*, mientras que las especies **abundantes** sumaron 16.2% con valores de densidad mayores a la media y menor a la media en el caso de la frecuencia de ocurrencia, en este grupo se encontró a

la corvina amarilla *Cynoscion xanthulus* y a la cintilla *Trichiurus nitens*, en tanto que las especies **frecuentes** registraron apenas 8.1% en donde las especies tenían valores bajos en densidad y altas frecuencia de ocurrencia con respecto al valor de la media en ambos casos, en este grupo no se encontraron especies de interés comercial, y el grupo de las especies **raras** fue el de mayor porcentaje (54%) en donde había una sola especie, en un solo lance o con muy pocos individuos cada una. Las especies con interés comercial se ubicaron en los cuatro grupos identificados: 5 fueron dominantes, 2 abundantes, 1 frecuente y 4 raras (Figura 4.).



**Figura 4.** Diagrama de Olmstead-Tukey de las especies capturadas en los lances de pesca de fondo a partir de las densidades y las frecuencias de ocurrencia, en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.

### 7.1.3 Índice de valor de importancia de especies (IVI)

La importancia ecológica relativa de las especies capturadas en los lances de pesca superficiales se determinó mediante el índice de valor de importancia (IVI), que indica cuál es la contribución de las especies en la comunidad. Los valores de IVI obtenidos mediante la captura, abundancia y frecuencia de ocurrencia de las especies mostraron que solo dos especies alcanzaron valores altos que en conjunto suman 64.6 en valor de importancia (Figura 5., en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.

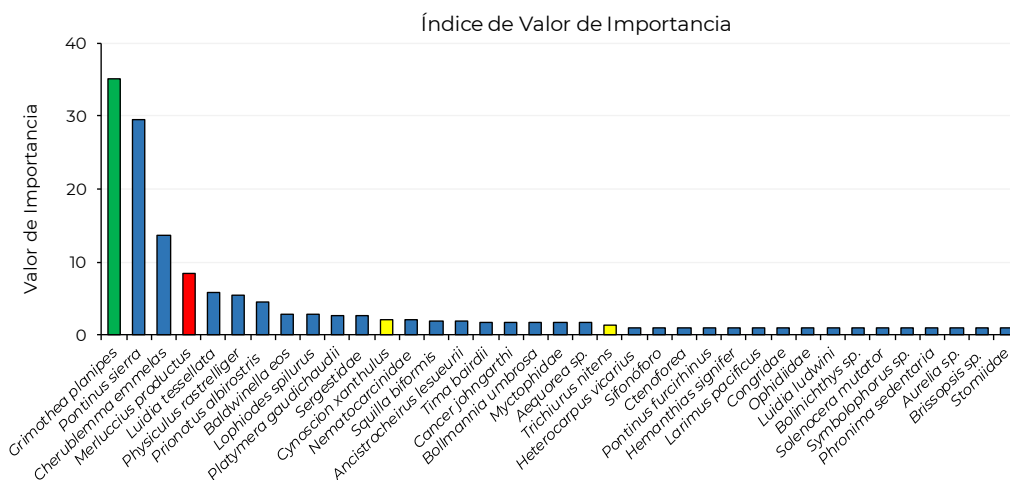
**Tabla III.**), de las cuales la langostilla *G. planipes* es la especie con la mayor contribución en las capturas con un valor de  $IVI=35.1$ , debido a su alta participación con 81% en el número de individuos y con 13.2% en la captura total, sin embargo, su distribución estuvo restringida a solo 4 lances lo que representó casi 11% de los 18 lances de pesca. La segunda especie con el valor más alto de IVI fue el lapón manchado *Pontinus sierra* con  $IVI = 29.5$ , ocupando este lugar por la mayor captura en peso con 649 kg (71% de la captura total), con una abundancia apenas de 6.5% en 4 lances de pesca (10.8%) (Figura 5.).



Con una participación considerablemente menor en las capturas, la brótula negra *Cherublemma emmelas* registró un valor de IVI = 13.6, valor que se alcanzó con la mayor frecuencia de ocurrencia de esta especie que fue en 14 lances lo que dio 77% de participación. Esta brótula fue recurrente en los lances de pesca, aunque su peso y número de individuos fue bajo (12.4 kg en 606 individuos).

La merluza del Pacífico norte *Merluccius productus* registró una participación baja en las capturas con un valor de IVI = 8.4, con apenas 58 individuos que sumaron 6 kg capturados en nueve lances.

Del total de especies capturadas 89% tienen una participación menor a 6 en la escala del valor de importancia, ya sea por su bajo número de individuos, bajo peso o escasa presencia en las capturas realizadas en este estudio (Figura 5.).



**Figura 5.** Índice de valor de importancia para las especies capturadas en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.

**Tabla III.** Listado de especies con mayor IVI, capturadas en los lances de pesca de fondo, en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.

Núm.	Taxón	IVI	Captura (%)	Abundancia (%)	FO (%)	CPUE	O-T
1	<i>Grimothea planipes</i>	35.12	13.28	81.28	10.81	235.18	D
2	<i>Pontinus sierra</i>	29.50	71.18	6.52	10.81	1,298.40	D
3	<i>Cherublemma emmelas</i>	13.68	1.37	1.83	37.84	25.91	D
4	<i>Merluccius productus*</i>	8.40	0.71	0.17	24.32	12.88	D

IVI= índice de valor de importancia, FO= frecuencia de ocurrencia, O-T= Análisis Olmstead-Tukey (D=dominante, \*=comercial).



### 7.1.4 Especies dominantes y de interés comercial

Entre las especies capturadas en los lances de pesca de fondo se identificaron especies de interés comercial como la merluza del Pacífico norte y la corvina amarilla *Cynoscion xanthulus*, y otras que por sus altos valores de captura, abundancia o frecuencia de aparición en las capturas durante el muestreo en febrero de 2023 en la costa oriental del Golfo de California, pueden ser consideradas como posibles recursos potenciales tales como la langostilla *G. planipes*, el lapón manchado, además de otras especies que se capturaron de manera esporádica, pero que son comercializadas en la pesca ribereña, entre los peces se encontró a la cintilla *Trichiurus nitens*, la cabrilla doncella *Hemanthias signifer*, el boquinete del Pacífico *Larimus pacificus*, en los crustáceos a la cajeta paco *Platymera gaudichaudii*, y al cangrejo mexicano del Pacífico *Cancer johngarthi* (Anexo V). Tales especies se capturaron en ocasiones con un solo individuo o en un solo lance (Tabla IV.).

**Tabla IV.** Parámetros poblacionales de las especies dominantes y de interés comercial capturados, en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.

Especie	Nombre común	Peso (kg)	Abundancia (inds.)	FO	Captura (kg/km <sup>2</sup> )	Densidad (ind/km <sup>2</sup> )	CPUE (kg/hr)	Talla	O-T
<b>Crustáceos</b>									
<i>C. johngarthi</i>	Cangrejo mexicano	0.5	2	2	15.3	63.2	1.0	126-146*	R
<i>G. planipes</i>	Langostilla	121.2	26,957	4	3,929.2	87,4319.4	235.2	10-35*	D
<i>P. gaudichaudii</i>	Cajeta paco	0.6	9	3	19.2	282.7	1.2	55-127*	F
<b>Peces óseos</b>									
<i>B. eos</i>	Serrano ojón	2.8	20	3	79.3	568.6	5.6	11-18**	D
<i>C. emmelas</i>	Brótula negra	12.5	606	14	415.4	18,745.9	25.9	8-24***	D
<i>C. xanthulus</i>	Corvina amarilla	9.8	38	2	318.2	1,229.4	19.1	21-33**	A
<i>H. signifer</i>	Cabrilla doncella	0.2	1	1	5.4	32.5	0.3	21***	R
<i>L. pacificus</i>	Boquinete del Pacífico	0.2	1	1	4.9	30.7	0.3	21***	R
<i>M. productus</i>	Merluza del Pacífico norte	6.5	58	9	205.5	1813.2	12.9	12-30***	D
<i>P. furcirhinus</i>	Lapón rojo	0.1	5	1	3.7	162.5	0.2	8-12***	R
<i>P. sierra</i>	Lapón manchado	649.3	2,161	4	18,742.9	64,164.7	1,298.0	7-26***	D
<i>T. nitens</i>	Cintilla	12.6	32	1	397.7	1,010.9	25.2	23-97**	A

\* longitud de caparazón mm, \*\* longitud patrón cm, \*\*\* longitud total cm, A = abundante, F = frecuente, D = dominante, R = rara



### **7.1.5 Peces dominantes y de interés comercial capturados en los lances de fondo**

En el caso de los peces capturados en los lances de peces de fondo, aparte de la merluza, se identificaron ocho especies, de las cuales tres cuentan con valores altos de peso y abundancia que las coloca como dominantes en las capturas, dos especies fueron abundantes y tres especies resultaron ser raras en las capturas.

#### **7.1.6 Captura de merluza del Pacífico norte *Merluccius productus***

La merluza del Pacífico *M. productus* registró una captura de 205.5 kg/km<sup>2</sup> y una densidad de 1,813 inds/km<sup>2</sup>, con presencia positiva en nueve de 17 lances de fondo (Figura 6.), lo que representa una positividad de 53 %, con una captura por unidad de esfuerzo (CPUE) igual a 12.9 kg/hr.

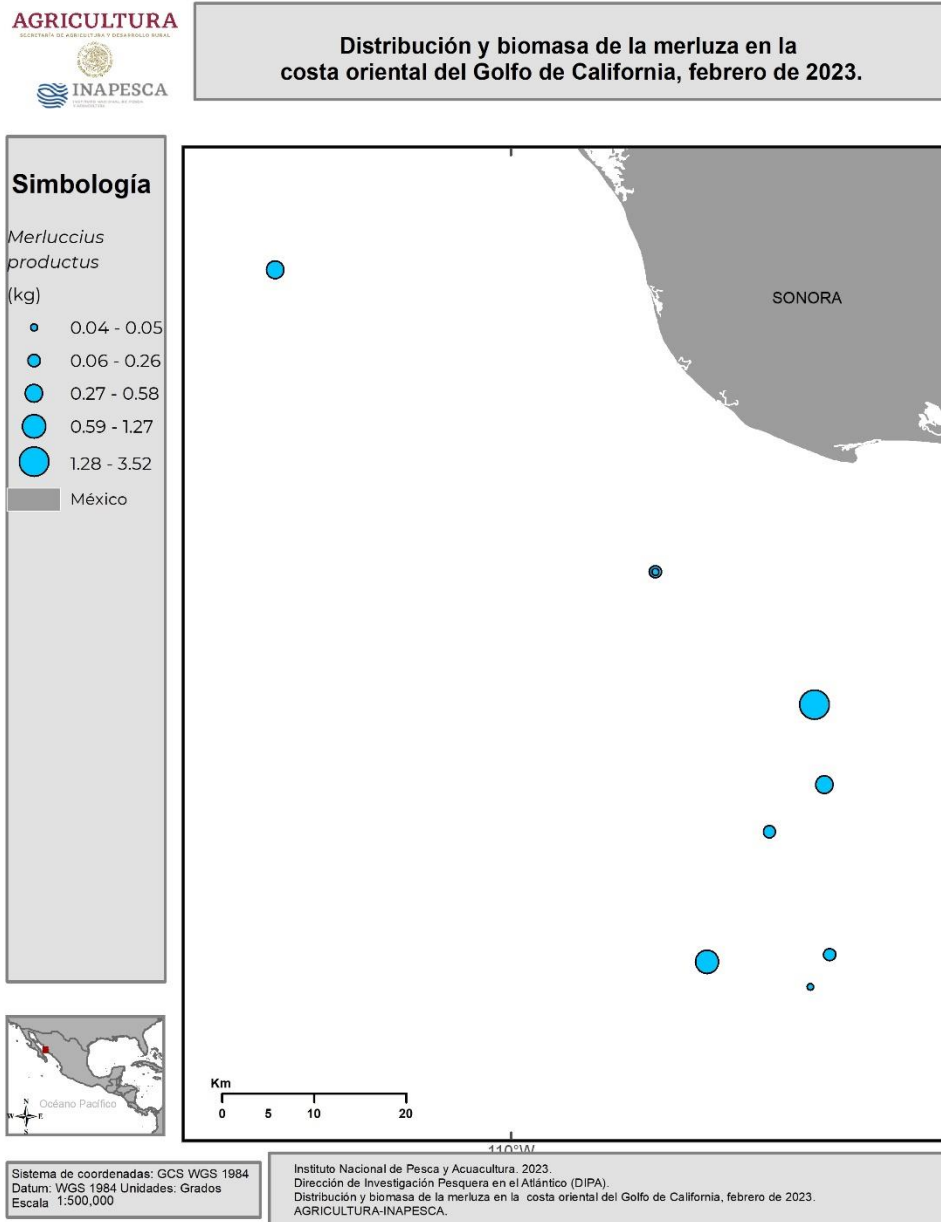
De los nueve lances de pesca donde se capturaron las merluzas, ocho fueron en horario diurno entre las 06:42 y las 17:15, y uno en horario nocturno entre las 21:01 y las 21:31. A una profundidad entre 191 y 403 m, donde la temperatura fue de 15.3 y 18.3 °C con una salinidad de 34.7 y 36 UPS, tales sitios se ubicaron entre 9.8 y 30.2 nm de la costa entre las localidades de Paredón Colorado, Son. y Jitzámuri, Sin. (Figura 6.). Los nueve lances cubrieron un área barrida de 0.3 km<sup>2</sup>, durante un tiempo de arrastre de 4 horas y 29 minutos con un promedio de captura de 30 minutos.

Las mayores capturas de la merluza se concentraron en solo dos lances lo que representó 74% de captura total en los nueve lances positivos para esta especie (Figura 7.), mismos que se ubicaron en el escarpe de la plataforma continental entre 197.5 y 198.5 m de profundidad. En tales lances la merluza representó apenas 2.4 y 5.1% en el peso de cada lance, es decir la presencia de la merluza fue poco significativa, con un máximo de 25 merluzas y un mínimo de una por lance. En los lances donde se registró mayor captura de merluza, en donde también se registró la mayor diversidad asociada a la merluza; lance 8 (25 merluzas en 3.52 kg, con 19 especies asociadas, a 40.6 km de Las Bocas, Son.), lance 9 (11 merluzas en 1.27 kg, con 11 especies asociadas, a 54.5 km de Jitzámuri, Sin.), lance 3 (7 merluzas en 0.58 kg con 8 especies asociadas, a 44 km de Jitzámuri), lance 17 (4 merluzas en 0.52 kg, con 16 especies asociadas, a 37.8 km de Paredón Colorado, Son.). Los lances se ubicaron entre 27 y 50 km desde las costas de Yavaros hasta la barra de Lucernilla, Sinaloa, entre 58 y 349 m de profundidad, con mayor ocurrencia y captura frente a esta última localidad. Entre estos lances, en el número 5 realizado al atardecer entre las 17:46 y 18:16 registró la mayor captura de merluzas con 259 kg en alrededor de 4,280 individuos, lo que representó 78.6% de la captura en ese lance. El lance 16 ubicado a 37 km de Yavaros, fue el lance de mayor profundidad (357.1 km) realizado también por la tarde entre las 15:55 y las 16:24, donde se registró apenas una captura de 0.66 kg lo que representó un 0.2% de la captura total de ese lance.

El peso de las merluzas en las capturas totales fue menor a 78.6%, en tres lances se registraron capturas entre 39.2% y 63.6% (lances 2, 3 y 4) (Figura 7.), en el resto de los lances el porcentaje fue menor a 5.6% hasta llegar a 0.27%. Lo que muestra que las capturas de

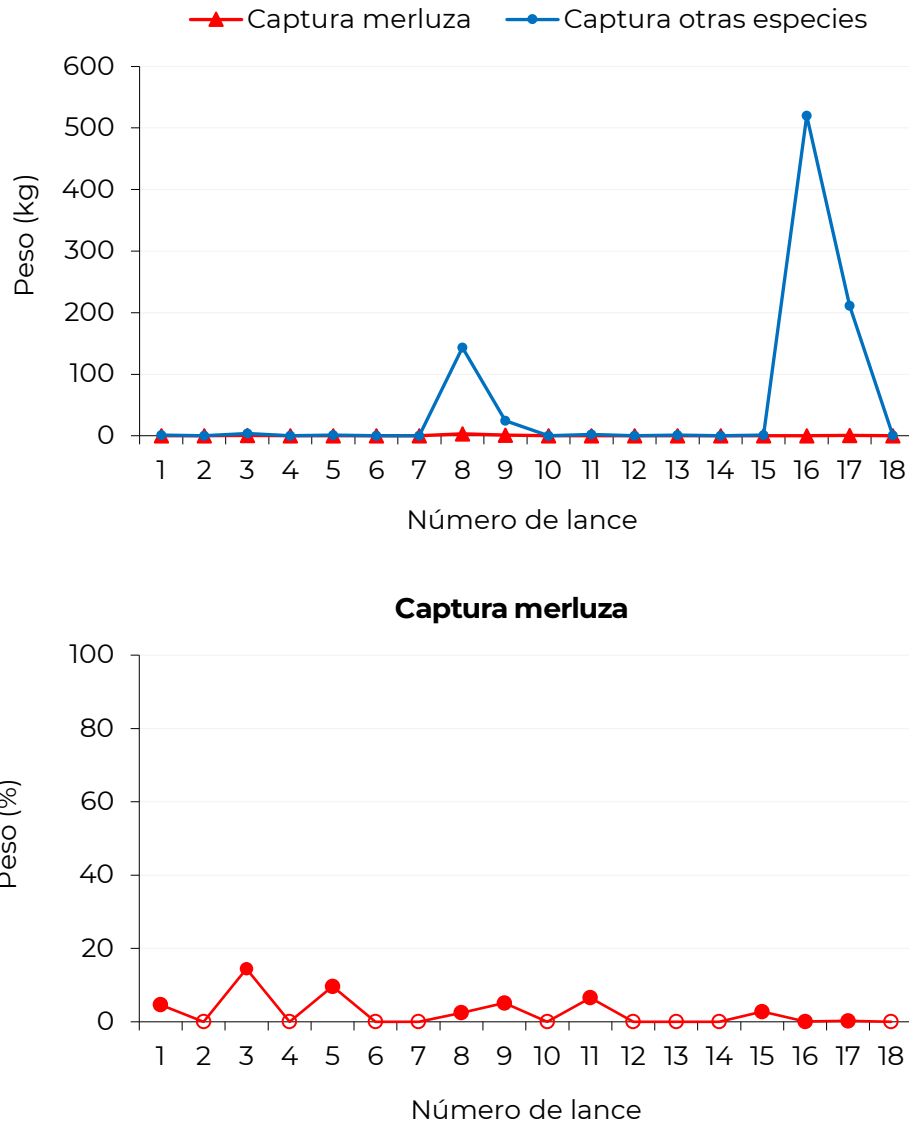


merluzas tuvieron entre un 22 y 99% de fauna asociada. De manera particular el peso registrado para las merluzas osciló entre 0.2 kg y 259 kg (Figura 7).



**Figura 6.** Distribución y captura de merluza en los lances de pesca de fondo, en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.





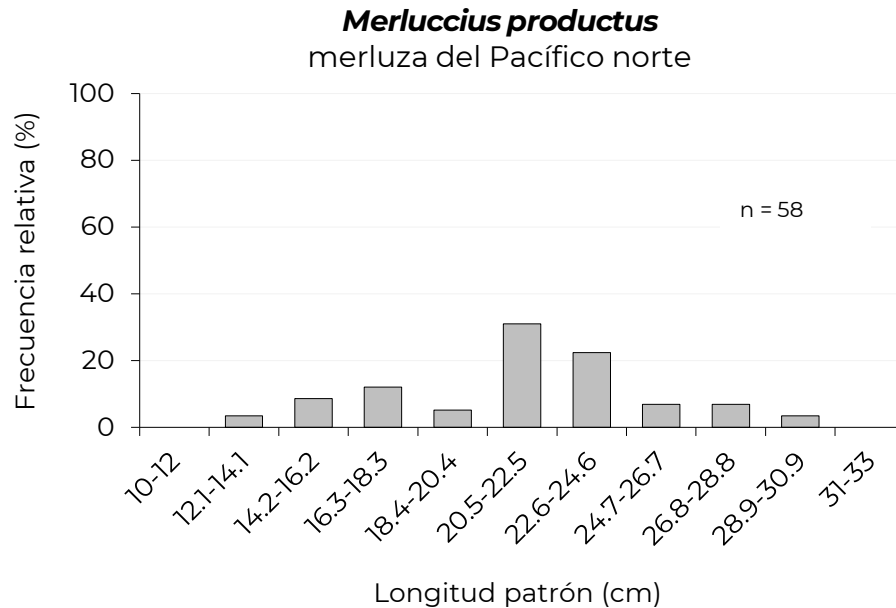
**Figura 7.** Captura de la merluza por lance de pesca positivo en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301. Círculos vacíos, cero capturas de merluza.

### 7.1.7 Estructura de tallas, peso individual y análisis biológico

Las tallas identificadas para la merluza se distribuyeron dentro del intervalo de 29.5 y 12.4 cm de longitud patrón (LP), agrupadas en nueve clases de tallas, con una media de 21.58 cm (DS  $\pm$ 4.0), la distribución fue bimodal, con la moda más grande en la clase 20.5-22.5 cm LP donde se agrupó 31% de las merluzas capturadas (Figura 8.) la segunda moda fue en intervalo 16.3-18.3 cm LP apenas con 12% de las merluzas. Con respecto a la profundidad de captura no se observó que las tallas estén relacionadas con menor o mayor profundidad, ya que se encontraron merluzas tanto pequeñas como grandes en



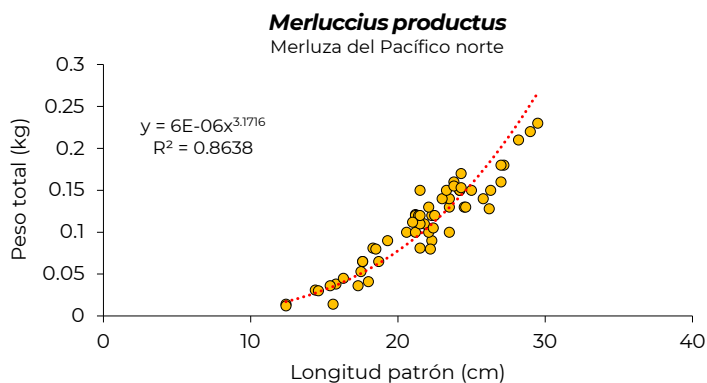
todo el intervalo de profundidades, únicamente se observó que la mayor abundancia se dio entre las tallas de 19.3 y 29.5 cm LP, alrededor de los 200 m de profundidad, donde se identificó el inicio del escarpe. El peso individual de las merluzas se registró entre 0.012 kg y 0.23 kg, con un promedio de 0.011 kg (DS  $\pm$ 0.05). Las tallas corresponden en general a ejemplares juveniles.



**Figura 8.** Estructura de talla de merluzas capturadas en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, cruceo JCFINP2301.

### 7.1.8 Relación Peso-Longitud

La relación entre el peso y la longitud patrón de las merluzas mostró un valor de la pendiente de 3.1, en donde se observó un valor alto de correlación de  $R^2 = 0.86$  (Figura 9). Lo que muestra que el crecimiento de las merluzas es de tipo alométrico positivo. Es decir, en las merluzas de este estudio, la tasa de incremento en peso es mayor que el de la longitud.

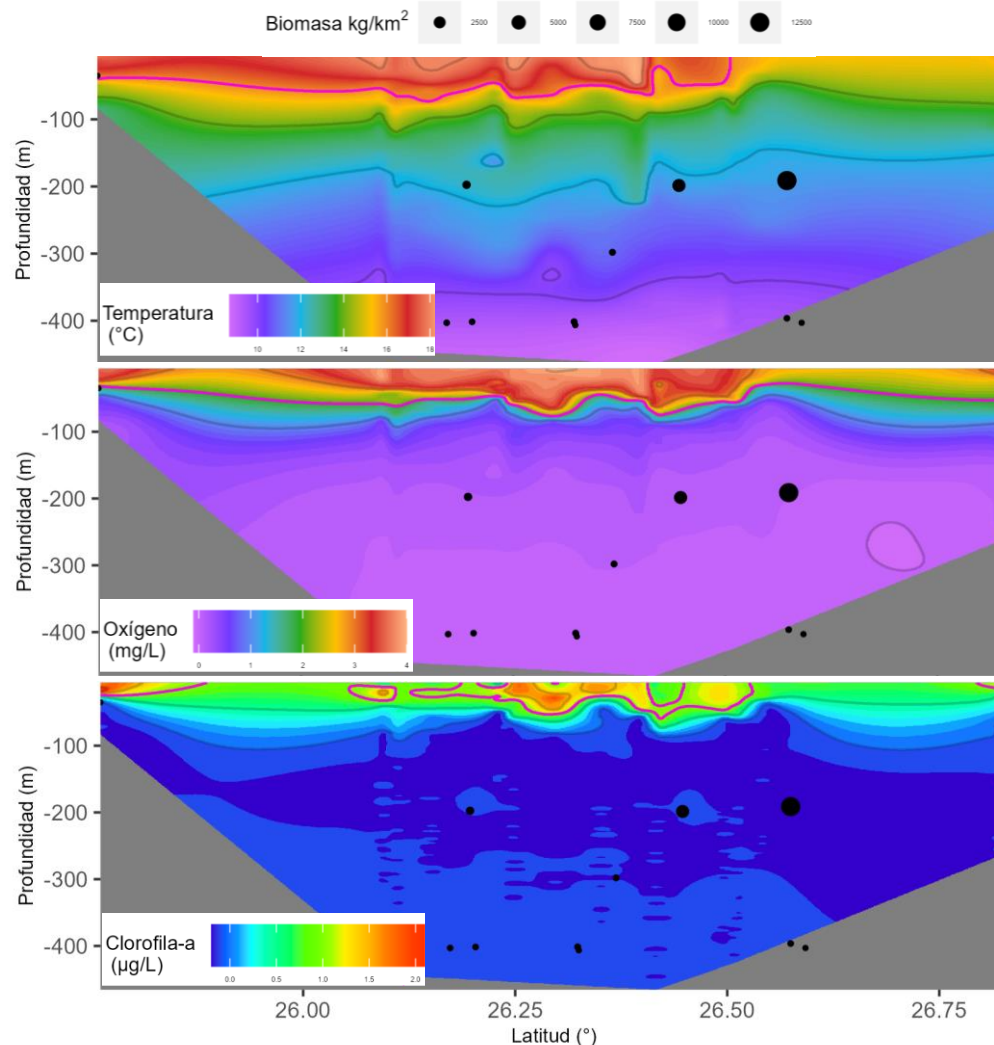


**Figura 9.** Relación longitud patrón-peso de la merluza capturada en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, cruceo JCFINP2301.

### 7.1.9 Distribución batimétrica y relación con parámetros ambientales de merluzas

Las merluzas capturadas en los lances de fondo en la costa oriental del Golfo de California se capturaron en un intervalo de profundidad desde 191.2 m hasta 403.1 m con un promedio de 297.8 m. En tales sitios la temperatura superficial del mar osciló entre 15.3 °C y 18.3 °C, con un promedio de 17.08°C, en cuanto a la salinidad, ésta se mantuvo dentro de un intervalo desde 34.7 hasta 36 ups, con un promedio de 35.4. Respecto al oxígeno disuelto, los valores oscilaron entre 0.2 y 0.6 mg/L con un promedio de 0.4 mg/L (Figura 10. ).

Cabe mencionar que las mayores capturas de merluzas se registraron alrededor de los 200 m de profundidad, con una temperatura de 17.04 a 17.63°C, una salinidad de 35.2 – 35.8 UPS, con 0.3 mg/L de oxígeno (Figura 10. ).



**Figura 10.** Captura de merluza y relación con parámetros ambientales, en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301. La línea color magenta representa valores menores a 19 ° C, a 36 UPS de salinidad y a 0.6 mg/L de oxígeno.

### 7.1.10 *Pontinus sierra* lapón manchado

Entre las especies dominantes de acuerdo con el análisis de asociación Olmstead-Tukey, el lapón manchado *Pontinus sierra* ocupó el segundo lugar con el valor de importancia de 29.5, con una captura de 649-3 kg, en 2,161 individuos, en cuatro lances de pesca. Valores que permitieron calcular una captura de 18,742 kg/km<sup>2</sup>, una densidad de 64,164.7 ind/km<sup>2</sup>, para una CPUE de 1,298.4 kg/hr. Las tallas de los lapones oscilaron entre 7.4 y 26.4 cm de longitud patrón, con una talla promedio de 18.2 cm LP y un peso entre 0.003 y 0.39 kg, con un promedio de 0.163 kg por individuo. La estructura de tallas para esta especie se compuso de siete clases de tallas, con una distribución casi normal, en donde 85% de individuos se concentró entre 13.3 y 25.6 cm de LP. La distribución del lapón fue alrededor de los 200 m de profundidad (Figura 11. y Figura 12.).



### **7.1.11 *Cherublemma emmelas* brótula negra**

La brótula negra *Cherublemma emmelas* fue entre las especies dominantes que registró el tercer lugar en importancia en las capturas, con un valor de  $IVI = 13.67$ , una captura de 12.49 kg en 606 individuos, en 14 lances de pesca, valores que permitieron calcular una captura de 415.4 kg/km<sup>2</sup>, una densidad de 18,745.9 ind/km<sup>2</sup>, y una CPUE de 25.9 kg/hr. Las tallas registradas para esta especie oscilaron entre 8 y 24.2 cm de longitud total, con un promedio de 14.68 (DS±3.08 cm), la distribución de tallas fue normal con una moda en la clase de 13.4 – 15.4 cm LT, lo que correspondió a poco menos de 50% de individuos analizados. La distribución de la brótula negra fue desde 191.2 hasta 600 m de profundidad, con mayor abundancia entre 200 y 400 m, fue una especie de amplia distribución (Figura 11. yFigura 12.).

### **7.1.12 *Baldwinella eos* serrano ojón**

El serrano ojón *Baldwinella eos*, con un valor de importancia de 2.8 que lo coloca en el lugar número 8, registró valores menores a las especies anteriores, pero sigue siendo dominante en las capturas, con un peso de 2.8 kg en 20 individuos, con una frecuencia de aparición de tres lances (Figura 4. yFigura 5.), valores con los que se pudo calcular una captura de 79.3 kg/km<sup>2</sup>, una densidad de 568.6 inds/km<sup>2</sup> y una CPUE de 5.6 kg/hr. Los 20 individuos se colocaron entre las tallas de 11 a 18 cm de LP, con un promedio de 15.7 cm LP, y un peso promedio de 0.133 kg (Tabla IV.). Para esta especie no fue posible realizar la estructura de tallas dado el bajo número de ejemplares. Se menciona en este apartado por la importancia que tiene como recurso de interés comercial en la zona. La distribución geográfica de serrano fue alrededor de los 200 m de profundidad.

### **7.1.13 *Cynoscion xanthulus* corvina amarilla**

La corvina amarilla *Cynoscion xanthulus*, fue una especie abundante que ocupó el lugar número 12 con un valor de importancia igual a 2.1 (Figura 5.), su peso dentro de las capturas fue de 9.83 kg en 38 corvinas, con una frecuencia de ocurrencia de 2 lances de 18 realizados, con una captura calculada de 318.2 kg/km<sup>2</sup>, una densidad de 1,229 ind/km<sup>2</sup>, y una CPUE igual a 19.07 kg/hr. Las tallas de las corvinas amarilla se encontraron en el intervalo de 21.5 a 32.4 cm de LP, distribuidos en seis clases de tallas con una media de 26.66 cm LP (D.S. ±2.3 cm) (Figura 11.), con un peso individual de 0.14 a 048 kg y un promedio de 0.256 kg. Las corvinas se capturaron a una profundidad de captura de alrededor de 200 m (Figura 12.).

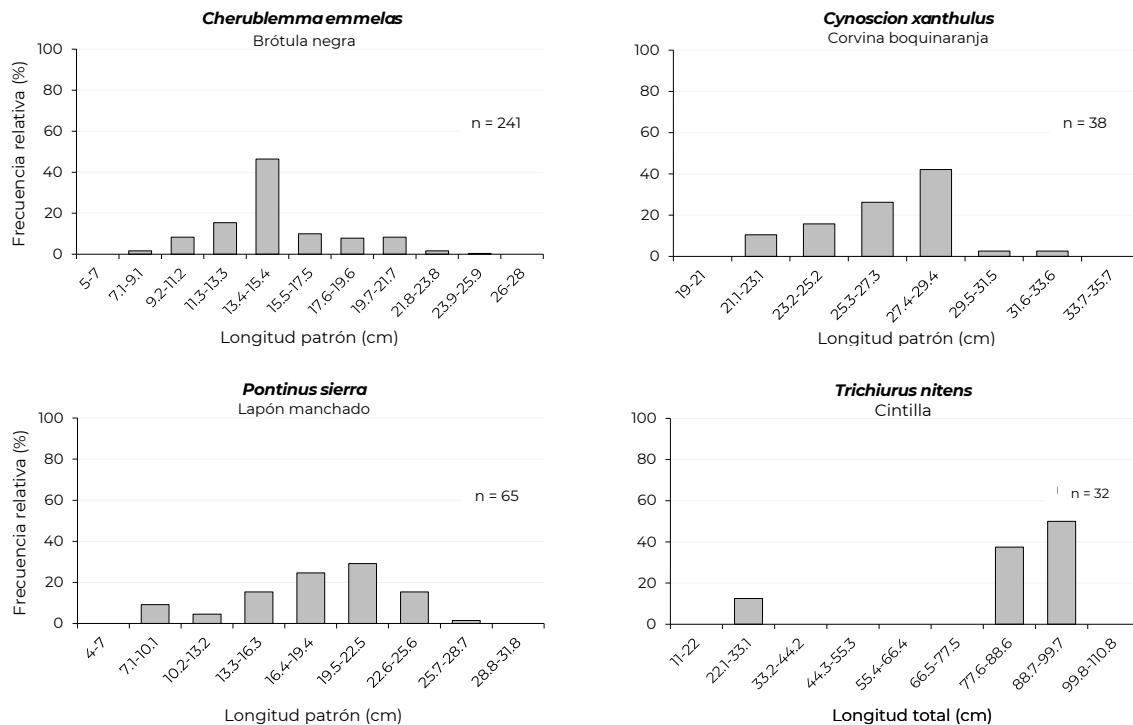
### **7.1.14 *Trichiurus nitens* cintilla**

Otra especie de interés comercial fue la cintilla o pez sable del Pacífico *Trichiurus nitens*, con un peso de 12.59 kg, en 32 individuos, capturados en un solo lance. Valores que la colocaron en el lugar 21 en valor de importancia con un  $IVI = 1.39$ , como una especie abundante en las capturas (Figura 4. yFigura 5.). Para la cintilla, la captura calculada fue de 397.7 kg/km<sup>2</sup>, una densidad de 1,010.87 ind/km<sup>2</sup> y una CPUE de 25.18 kg/hr (Tabla IV.). Se capturaron cintillas con tallas entre 23 y 97 cm de LT, los ejemplares se agruparon en

solo tres clases de tallas, con 4 cintillas de talla pequeña entre 23 y 24 cm LT, y ejemplares de talla bastante grande, en donde 87.5% de las cintillas se concentró entre las tallas 83 a 97 cm LT, con un promedio de 81.7 cm LT (D.S.  $\pm 22.6$  cm), una moda en 89 cm y un peso promedio individual de 0.39 kg (Figura 11.). El sitio donde se capturó la cintilla fue a 197.5 m de profundidad (Figura 12.).

**7.1.15 *Pontinus furcirhinus* lapón rojo, *Hemanthias signifer* cabrilla doncella, *Larimus pacificus* boquinete del Pacífico**

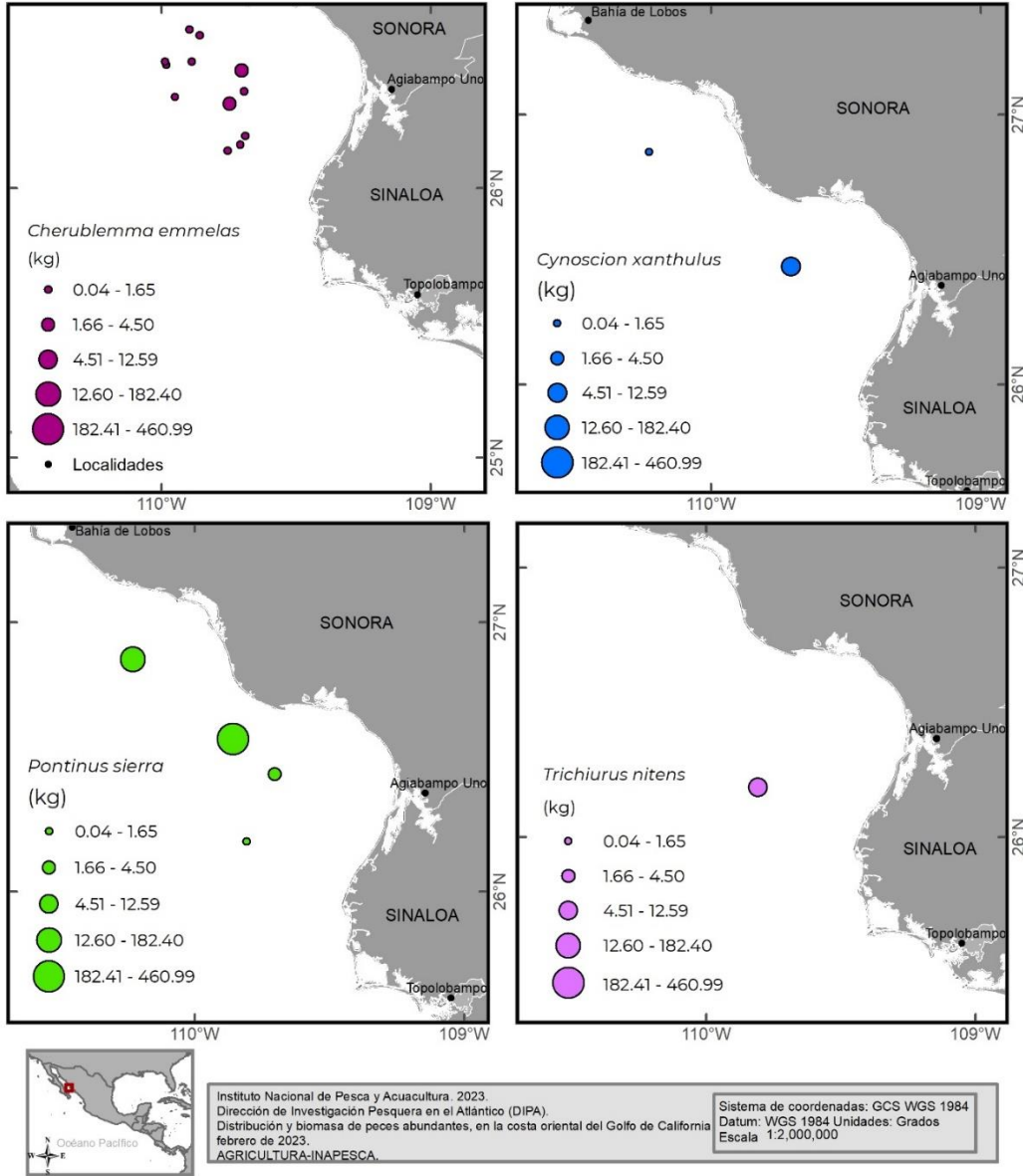
Se mencionan a tres peces con bajos valores de captura, pero que tienen interés comercial, éstos son el lapón rojo *Pontinus furcirhinus*, la cabrilla doncella *Hemanthias signifer*, y el boquinete del Pacífico *Larimus pacificus*. Las tres especies ocuparon los lugares 25, 26 y 27 respectivamente con el valor de importancia de 0.9 cada uno. Fueron especies que se capturaron de manera ocasional que las coloca como raras en el análisis Olmstead-Tukey (Figura 4. y Figura 5.). El lapón rojo y la cabrilla doncella se capturaron en un solo lance, a 198.5 de profundidad y el boquinete del Pacífico en el lance 17 a 188 m de profundidad (Figura 12.). Las tallas de las tres especies oscilaron entre 8.5 y 21 cm LP, siendo de 20.6 cm LP para el boquinete y 21 cm LP para la cabrilla doncella, mientras que el lapón rojo registró talla entre 8.5 y 11.8 cm LP, las tallas para las tres especies corresponden a ejemplares juveniles (Tabla IV.).



**Figura 11.** Estructura de talla de especies dominantes y de interés comercial capturados en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.



**Distribución y biomasa de peces abundantes  
en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023.**

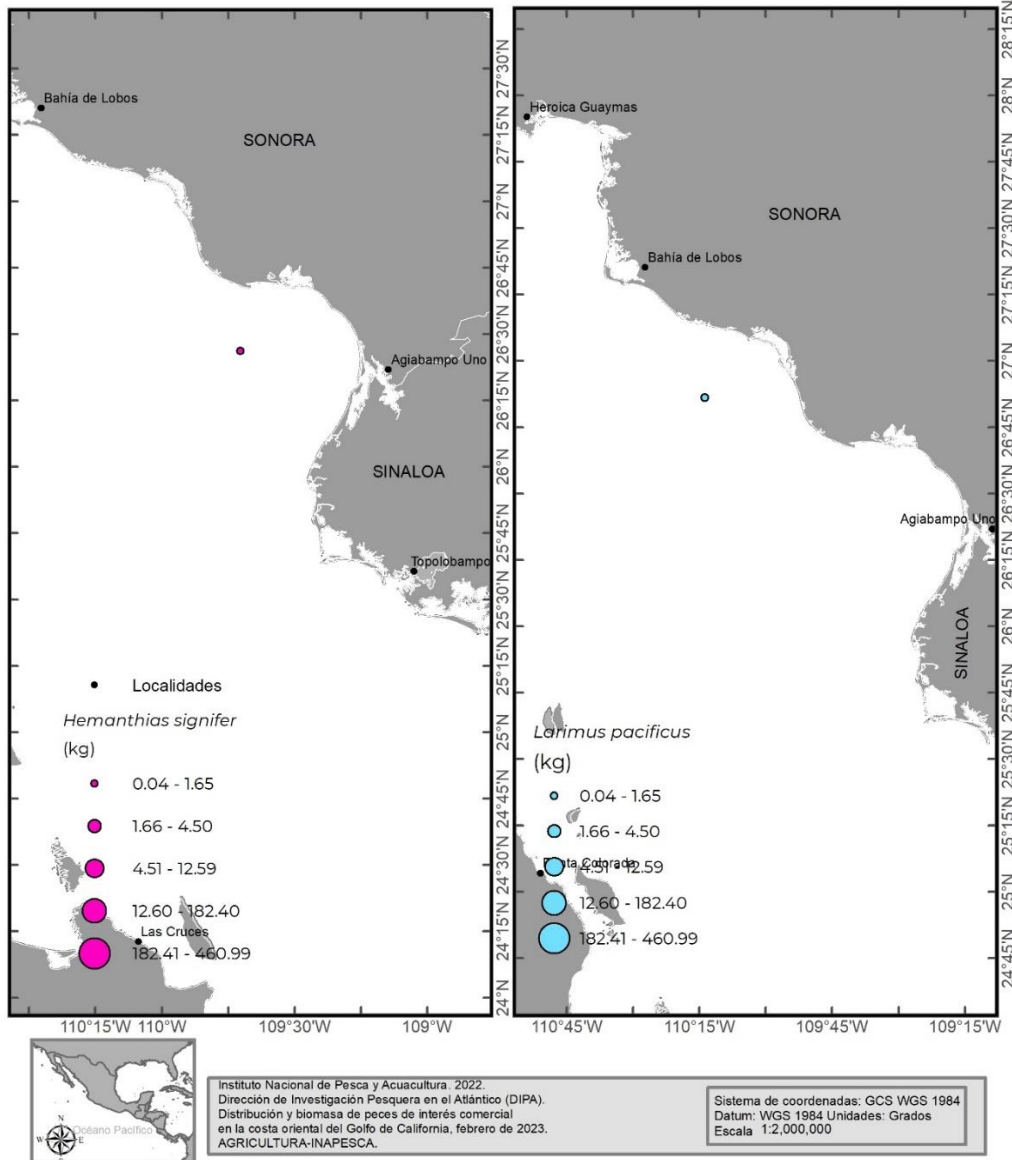


**Figura 12.** Distribución y captura de peces de interés comercial en los lances de pesca de fondo realizados en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.





**Distribución y biomasa de peces de interés comercial en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023.**



**Figura 13.** Distribución y captura de peces de interés comercial en los lances de pesca de fondo realizados en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.



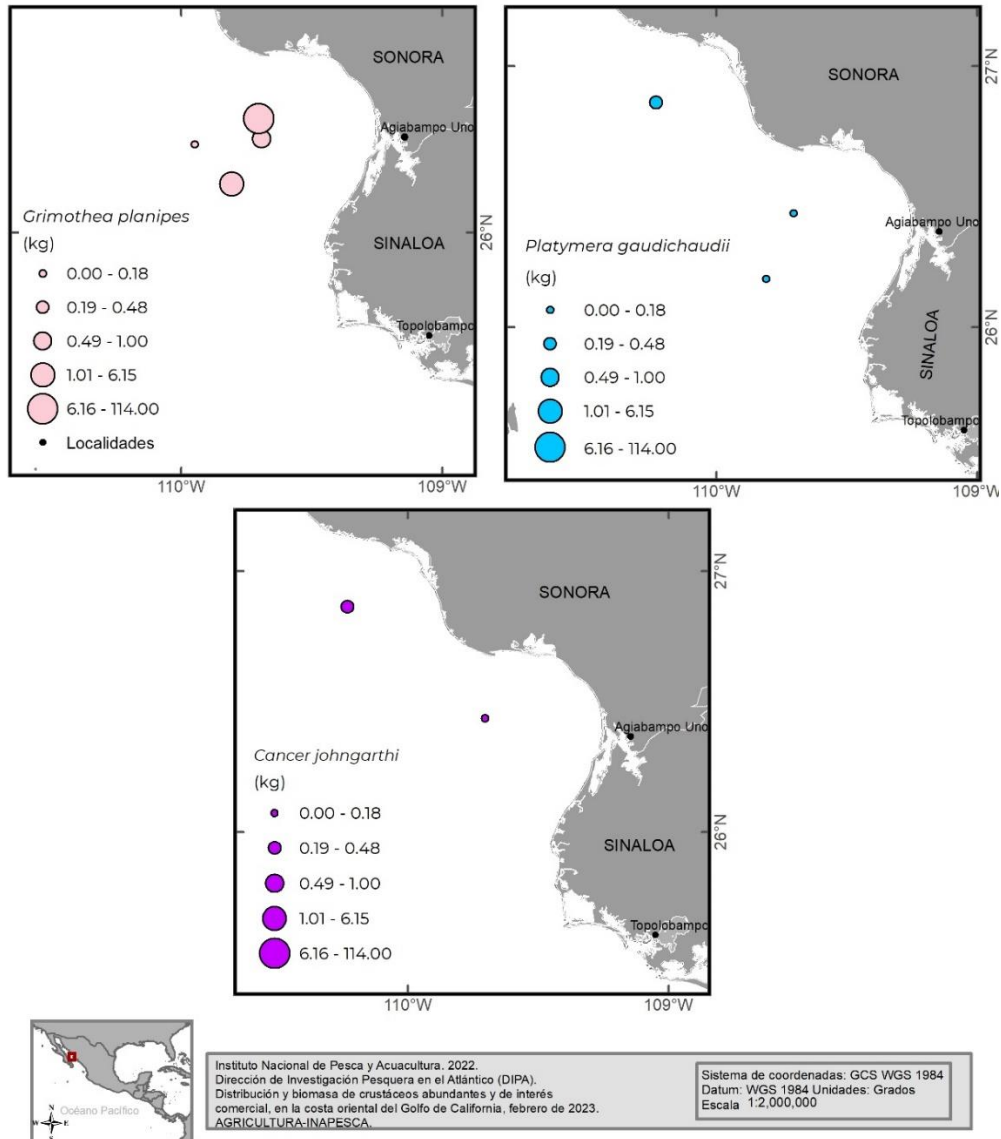
## **7.1.16 Crustáceos dominantes y de importancia comercial en los lances de pesca de fondo**

### **7.1.16.1 *Grimothea planipes* langostilla**

La langostilla *G. planipes* fue la especie con el valor más alto de importancia (IVI=35.1) en la captura total de los lances de pesca de fondo, valor que la colocan en el grupo de las especies dominantes (Tabla IV., Figura 4. y Figura 5.). La dominancia de la langostilla se atribuye a la mayor cantidad de individuos capturados en todo el muestreo en aproximadamente 36,957 individuos, ya que se registró en solo cuatro lances (33.3%) de los 18 lances de pesca realizados, y su captura fue de 121.15 kg (13.2%) con respecto a la captura total, con una CPUE igual a 235.17 kg/hr. Las capturas con mayor peso se ubicaron a 40.6 km de Las Bocas, Son. (lance 8), y a 54.5 km de Jitzámuri, Sin. (lance 9) (Figura 14. ), a una profundidad promedio de 200 m. Su distribución se concentró hacia la parte norte de la cuenca de Guaymas, alrededor del inicio del talud continental (Figura 14. ).

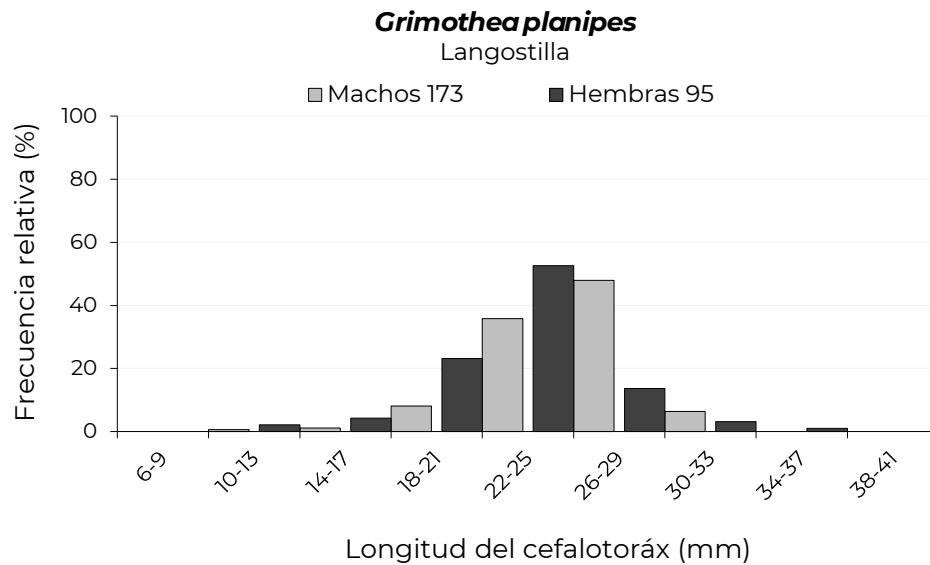


**Distribución y biomasa de crustáceos abundantes y de interés comercial en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023.**



**Figura 14.** Distribución y captura de crustáceos en los lances de pesca de fondo realizados en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.

La distribución de tallas de la langostilla cubrió un intervalo de 10 a 35 mm en la longitud del cefalotórax (LC), con una distribución normal y unimodal agrupada en siete clases de tallas, con un promedio de 24.61 mm LC (DS  $\pm$ 3.5 mm). La proporción sexual entre las langostillas fue de un macho por 1.8 hembras (1M:1.8H) (Figura 15.). En las capturas se encontró casi el doble de machos de langostilla con respecto a las hembras.



**Figura 15.** Estructura de tallas de la langostilla capturada en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, cruceo JCFINP2301.

#### 7.1.16.2 *Platymera gaudichaudi* cangrejo paco y *Cancer johngarthi* cangrejo mexicano

Las otras dos especies de crustáceos capturados en los lances de fondo en este estudio fueron el cangrejo paco *Platymera gaudichaudii*, con un peso de 0.61 kg distribuidos en nueve cangrejos, con una captura de 19.17 kg/km<sup>2</sup>, una densidad de 283.75 ind/km<sup>2</sup>, y una CPUE de 1.23 kg/kr. Con un valor de importancia de 2.7 que coloca a este cangrejo dentro de los primeros 10 lugares en importancia en las capturas de este estudio y en el análisis de asociación Olmstead-Tukey es una especie frecuente (Figura 4. y Figura 5.).

Por otro lado, el cangrejo mexicano *Cancer johngarthi* con solo dos lances de pesca, mismos que sumaron un peso de 0.48 kg con tallas entre 126 y 146 mm de longitud caparazón (LC), con estos dos individuos se pudo calcular una densidad de 63.23 inds/km<sup>2</sup> y una captura de 15.32 kg/km<sup>2</sup>. Una CPUE de 0.96 kg/hr. En las capturas fue una especie rara de acuerdo con el análisis de asociación O-T, con un valor de importancia de 1.8 mismo que lo coloca en el lugar 17 de 37 especies capturadas en los lances de fondo de este estudio (Figura 4. y Figura 5.).

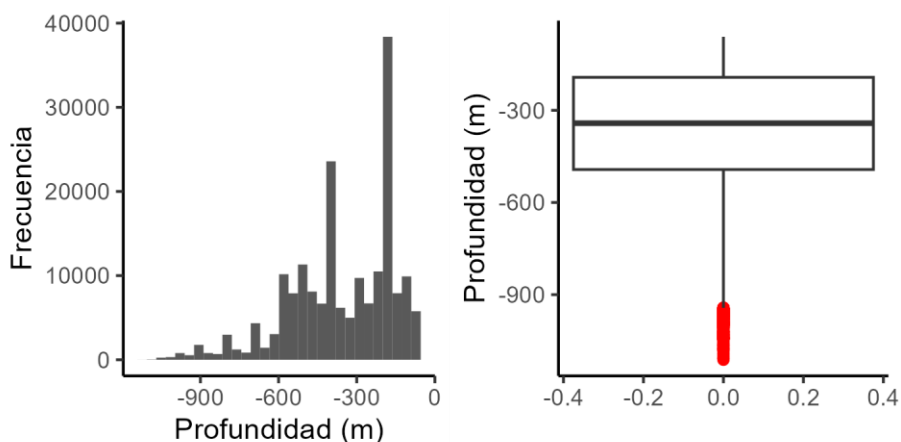
Tanto el cangrejo paco como el mexicano se capturaron de manera esporádica con pocos ejemplares cada uno en solo tres y dos lances (Figura 14. ). A 38 km al suroeste de Paredón Colorado, Son. y a 32 km al sur de Guaymas, Son. Es importante mencionar que se capturaron juntas ambas especies, excepto en el lance 9 donde solo se registró la presencia del cangrejo paco.

## 7.2 Modelación espacial

El resultado de la prospección hidroacústica con el ecosonda EK60 arrojó 186,839 datos puntuales con valores de profundidad. Se probó la normalidad con el modelo estadístico Kolmogorov-Smirnov ( $p\text{-value} < 2.2e-16$ ). La distribución no fue normal (**Tabla V**, Figura 16. ).

**Tabla V.** Descriptores estadísticos de los datos de la profundidad del fondo marino en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, cruceo JCFINP2301.

Parámetro	Profundidad (m)
Observado	186,839
Mínimo	1111.89
Máximo	60.68
Mediana	341.94
Media	358.9
1er cuartil	492.72
3er cuartil	192.64
SD	200.13
Simetría	-0.78
Curtosis	3.19



**Figura 16.** Histograma y diagrama de caja y bigotes de los datos (los puntos rojos corresponden a los outliers) de profundidad, en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, cruceo JCFINP2301.

La interpolación de los datos de la profundidad del fondo marino se realizó con el algoritmo Random Forest (RF) debido a la distribución asimétrica de la variable. Para realizar esta tarea se ajustaron los hiperparámetros mediante la validación cruzada espacial. En el caso del mtry se probaron desde una covariable predictora hasta con todas las variables, así como lo recomendado  $p/3$ . Por otro lado, el min.node.size se configuró

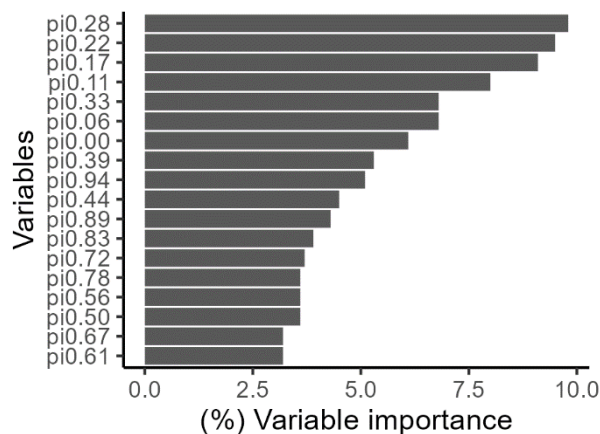


desde uno hasta 10 y el valor por default que es cinco. El hiperparámetro `sample.fraction` fue elegido desde 0.2 hasta 1.0. Los hiperparámetros encontrados mediante la validación cruzada espacial y que se utilizaron en la creación del modelo RF para la generación del modelo digital batimétrico se presentan en la *Tabla VI.*

**Tabla VI.** Hiperparámetros encontrados para construcción del modelo RF para la interpolación, en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, cruceo JCFINP2301.

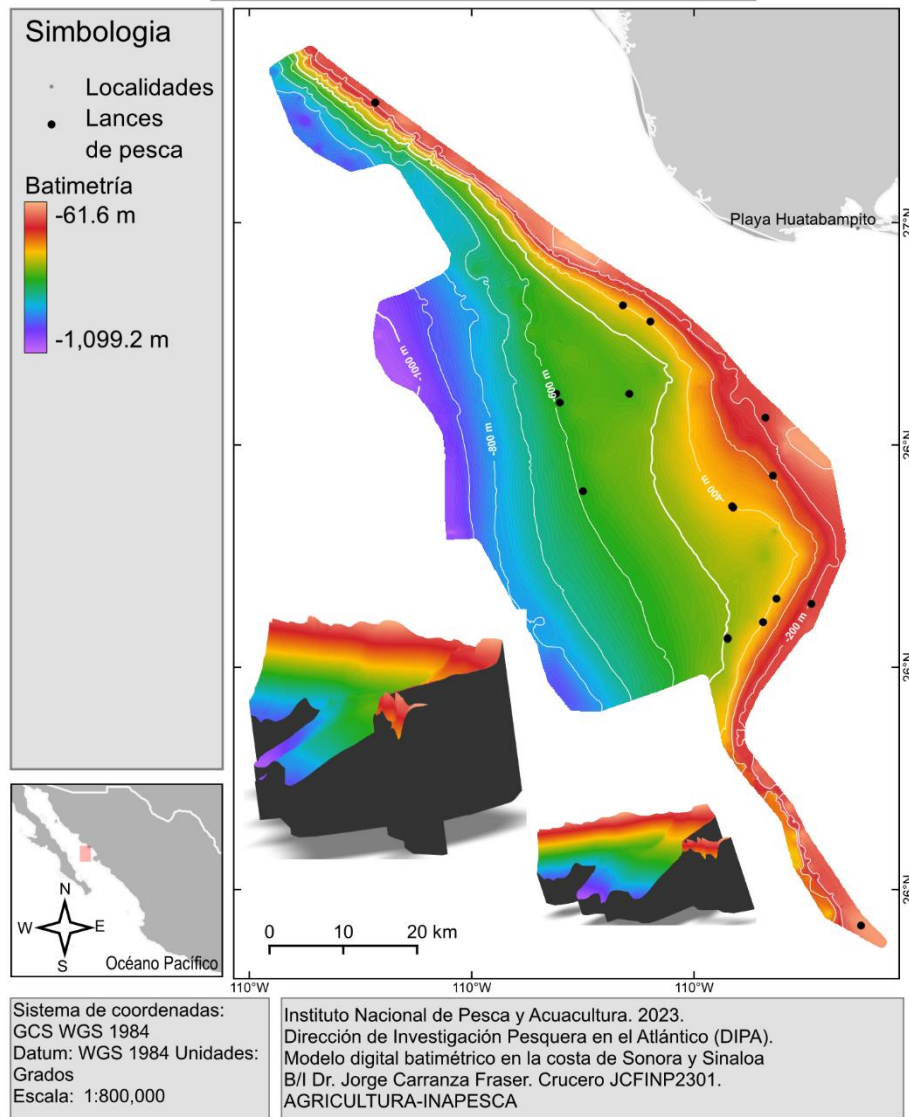
num.trees	mtry	min.node.size	sample.fraction	RMSE
804	2	7	0.804	172.976

Las variables geográficas (coordenadas latitud, longitud y oblicuas) que se utilizaron en el modelo RF se muestran en la siguiente grafica (Figura 17.) desde la más importante hasta la menos importante. Las variables más importantes fueron las coordenadas geográficas oblicuas (> 7.5% de importancia relativa) con ángulo en dirección noroeste.



**Figura 17.** Importancia de las variables (expresado en porcentaje) para la interpolación de los datos de profundidad en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, cruceo JCFINP2301.

La interacción entre las variables geográficas permitió generar la interpolación de los datos de profundidad medidos con el ecosonda EK60. En la *Figura 18* se muestra el MDB de la zona de estudio, así como el modelo en tercera dimensión. El MDB mostró que en la zona de estudio la profundidad oscila entre 61 y 1,099 m. Sin embargo, donde se realizaron los arrastres de pesca de fondo el rango de la profundidad fluctúa entre 103 y 600 metros.



**Figura 18.** Interpolación de los datos de profundidad mediante Random Forest de acuerdo con las variables geográficas en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.

### 7.2.1 Geomorfometría marina

Con el modelo digital batimétrico se realizaron los parámetros geomorfométricos para la descripción del fondo marino. Los mapas generados con estos parámetros se presentan en la *Figura 19*.

En los lances número 16 y 17 la pendiente del fondo marino fue superior a 4 grados. Dichos lances se ubicaron al norte de la zona de estudio, a una profundidad de 192 metros. En el resto de los arrastres la pendiente fue menor a 2 grados. Estos valores bajos de pendiente



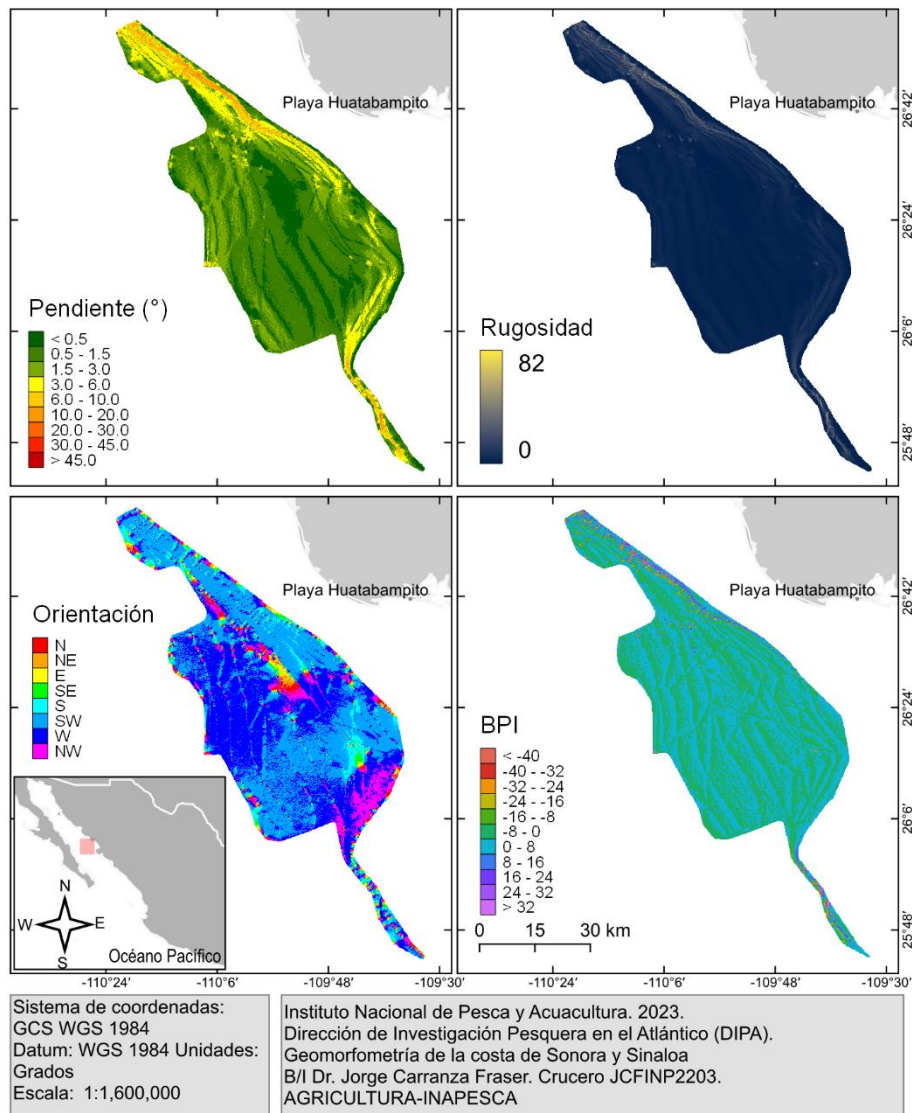


del fondo marino son debido a que los lances se realizaron sobre las isobatas de ciertas profundidades (200, 300, 400 etc.) por la seguridad de la maniobra y embarcación. La pendiente más abrupta (> 6 grados) se encontró al sur y norte del área de investigación (Figura 19.).

En los lances 16 y 17 el lecho marino se encontró más heterogéneo, caracterizado por una mayor rugosidad, con valores superiores a 12 m, en comparación con el resto del área donde la rugosidad fue menor a los 5 m. La baja heterogeneidad del suelo marino en donde se realizaron 80% de los lances, indica que es influenciado por la erosión marina, dando como resultado una forma suave del terreno (Figura 19.). Por el contrario, en las zonas norte y sur se presentaron estructuras como picos y crestas, lo que se traduce en valores más elevados de rugosidad, superiores a los 20 m.

En el área de investigación, la orientación predominante fue suroeste (entre 202.5 y 247.5 grados) y oeste (entre 247.5 y 292.5 grados). Se realizaron seis lances de pesca con una orientación del escarpe hacia el suroeste, mientras que otros seis se realizaron hacia el oeste. Esta tendencia se debe a que los lances de pesca se llevaron a cabo de forma paralela a la costa, buscando condiciones favorables del terreno (sobre ciertas isobatas) para la obtención de la muestra biológica (Figura 19.).

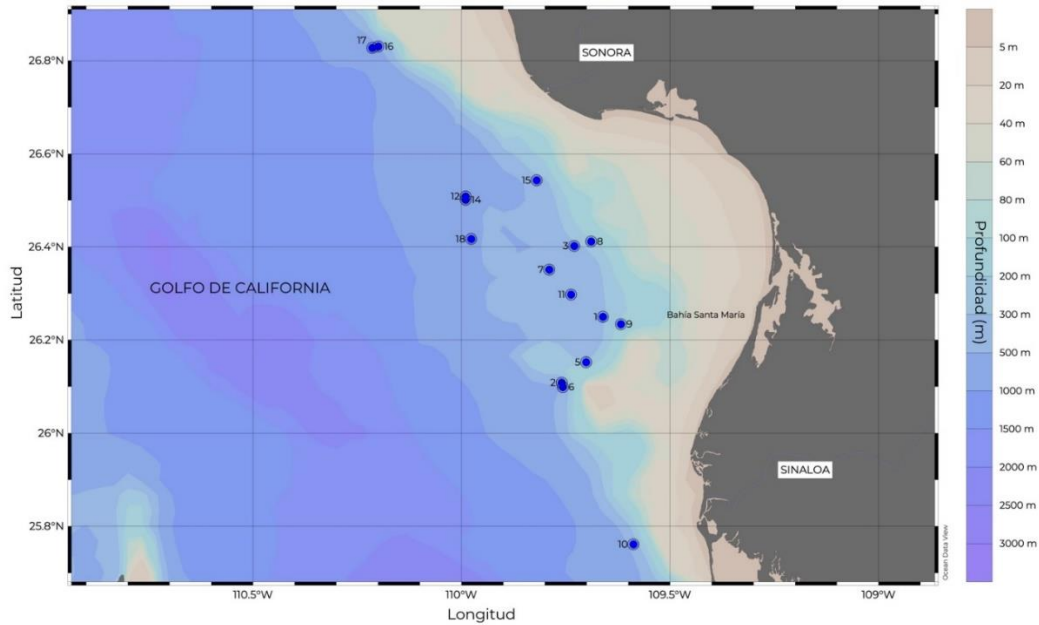
En los lances 16 y 17, se observó un valor positivo en el índice de posición batimétrica (IPB), lo que indica la presencia de pequeños picos y un relieve marino abrupto en el área de los arrastres. Por otro lado, en el resto de la zona donde se efectuaron los lances, se pudo apreciar que el fondo marino es levemente plano, ya que el índice oscila entre 3.2 y -2.2. En el extremo norte y sur del área de estudio se encontraron picos superiores a 24 y valles menores a -24, respectivamente. Además, en estas zonas, la rugosidad y el índice (IPB) sugieren que el fondo marino tiende a ser rocoso, a diferencia del resto de la región que presenta características arenosas (Figura 19.).



**Figura 19.** Mapas derivados (geomorfometría) del modelo digital batimétrico en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.

### 7.3 Oceanografía local

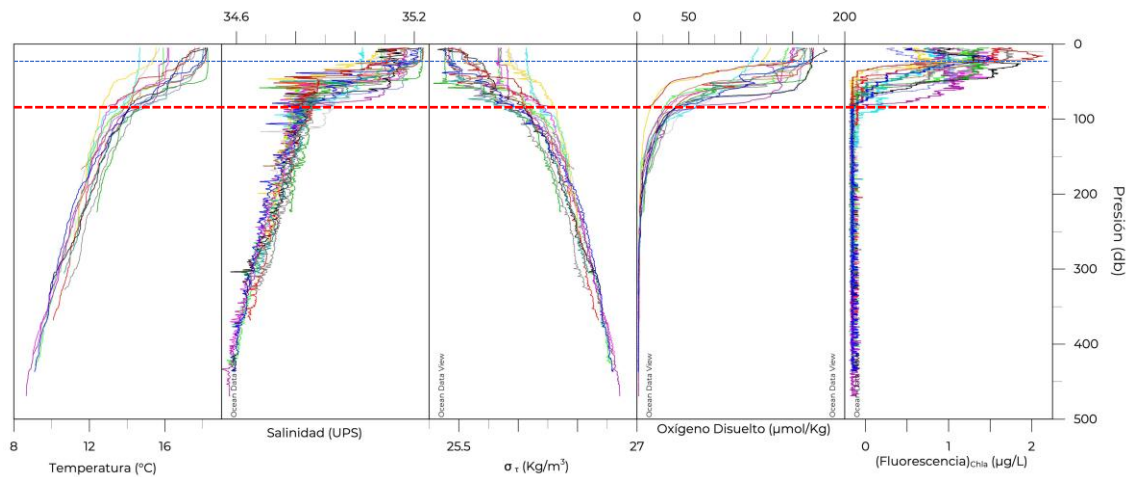
La información obtenida ayudó a comprender mejor la biodiversidad y los recursos naturales de esta importante zona del Golfo de California. En la *Figura 20*, se muestran los sitios donde fueron realizadas 16 estaciones de muestreo oceanográfico, el cual incluyó lances de sonda CTD y arrastres oblicuos con redes bongo en los sitios donde se lograron también, lances de pesca de media agua.

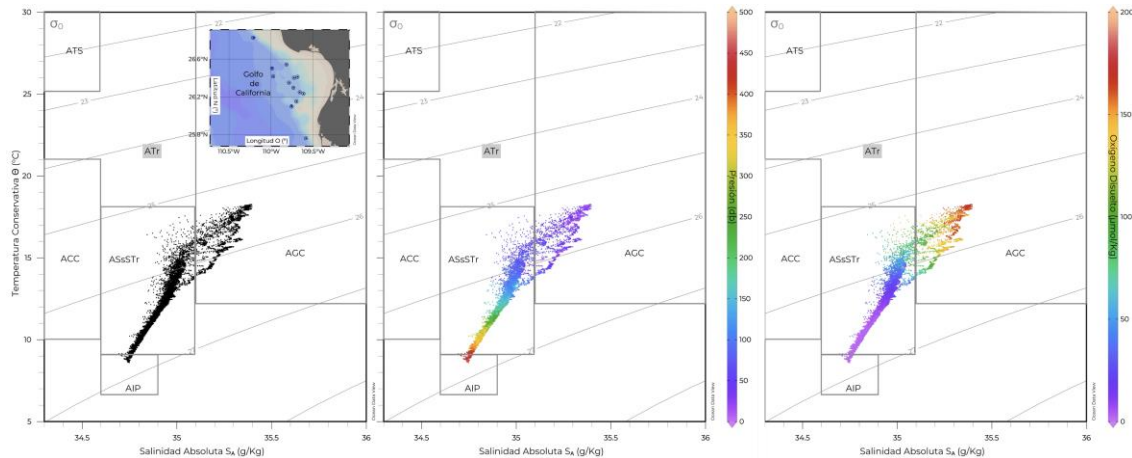


**Figura 20.** Estaciones oceanográficas realizadas en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.

### 7.3.1 Distribución vertical y Diagramas termohalinos TS, TS-z y TS-OD

El comportamiento de las propiedades termohalinas permitió observar un mar estratificado con clinas ubicadas ~75 metros de profundidad, donde se observaron cambios bruscos de las propiedades fisicoquímicas de la columna de agua. Sin embargo, en el caso del oxígeno disuelto, los gradientes iniciaron a los 25 metros de profundidad, específicamente en las estaciones frente a la Bahía y al norte del área de muestreo, con características de baja productividad biológica por una oligotrofia evidente no mayor a 2 microgramos por litro de clorofila-a en el agua de mar local, detectada por fluorescencia.



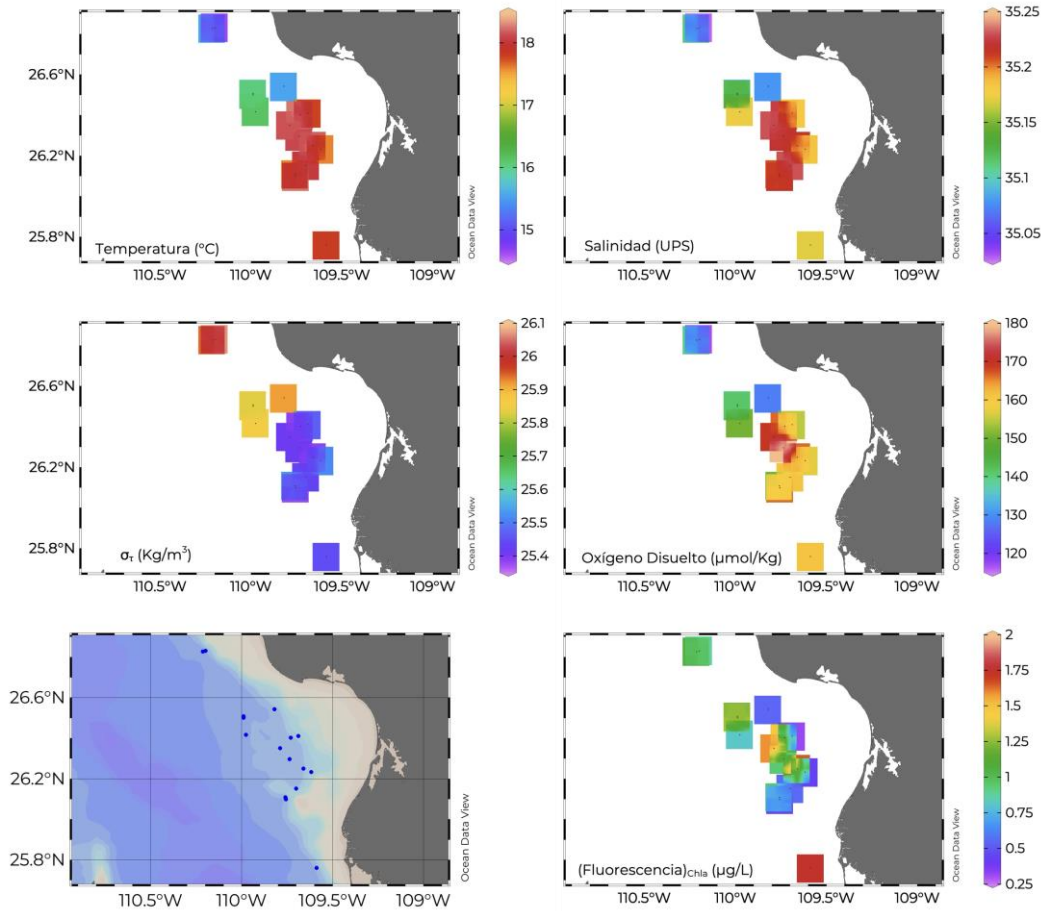


**Figura 21.** Diagramas TS -panel izquierdo-, respecto a la profundidad (en decibares)-centro- y niveles de oxígeno disuelto -panel derecho. Agua del Golfo de California (AGC), Agua Subsuperficial Subtropical (ASsSTr) y Agua Intermedia del Pacífico (AIP), en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.

La caracterización ambiental, permitió la identificación de tres masas de agua: AGC, ASsSTr y AIP. Aunque son posibles los registros del Agua Tropical Superficial (ATS), Agua Transicional (Atr) y Agua de la Corriente de California (ACC), en la zona de estudio solo fueron registradas las masas de agua señaladas arriba. Con los diagramas TS correspondientes (Figura 22.), fue posible observar que la oxiclina fortalece su gradiente en la piconclina  $\sigma_0 = 26 \text{ kg/m}^3$ .

### 7.3.2 Distribución superficial

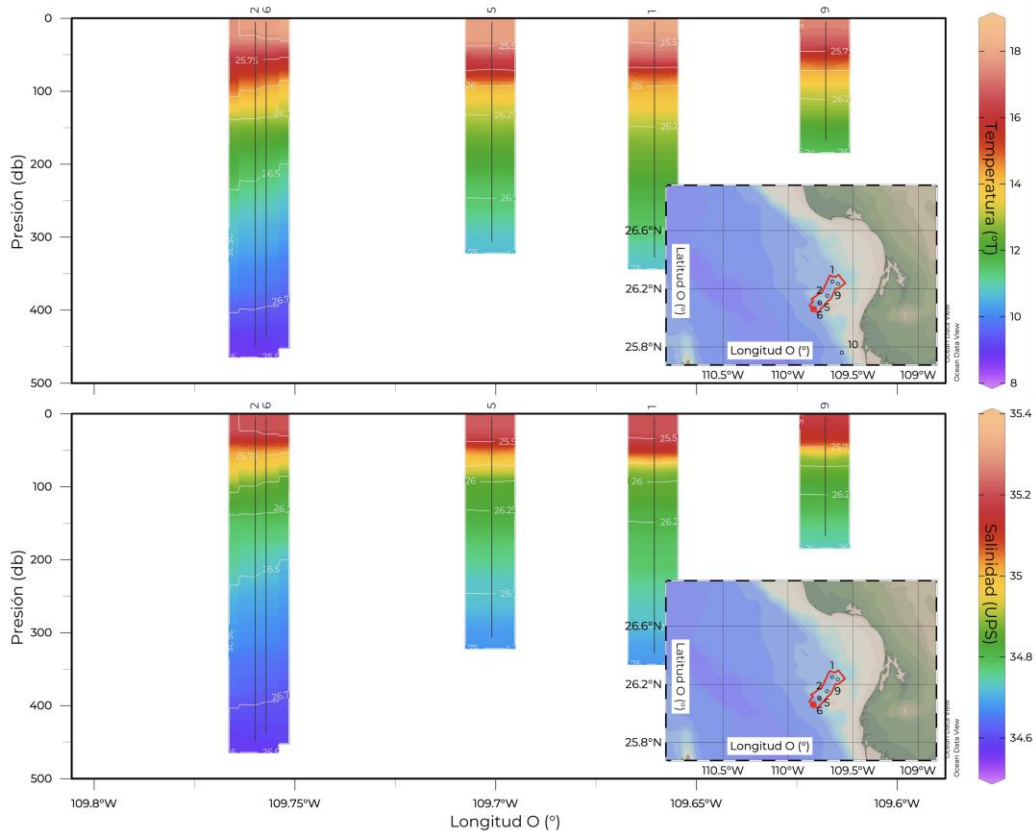
La distribución de las variables ambientales en la superficie (~3 metros de profundidad), mostró una capa relativamente cálida en la zona sur, respecto al centro y el norte de la zona de estudio. Aunque toda la zona presentó características del AGC, en el sector norte se observaron características del ASsSTr. Esto implicó un aumento relativo de la isopigna  $\sigma_0 = 26 \text{ kg/m}^3$ , esencialmente en las dos EO norteñas (EO, 16 y 17). Este contraste sectorial sur-norte, influyó la distribución del OD y la Chla, mostrando aguas relativamente más oxigenadas y con mayor productividad de sur a norte, especialmente la EO 10. No obstante, es notable la oligotrofia mínima hacia el interior de la bahía, respecto a los niveles hacia el interior del GC.



**Figura 22.** Distribución superficial de propiedades fisicoquímicas, en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.

### 7.3.3 Secciones verticales

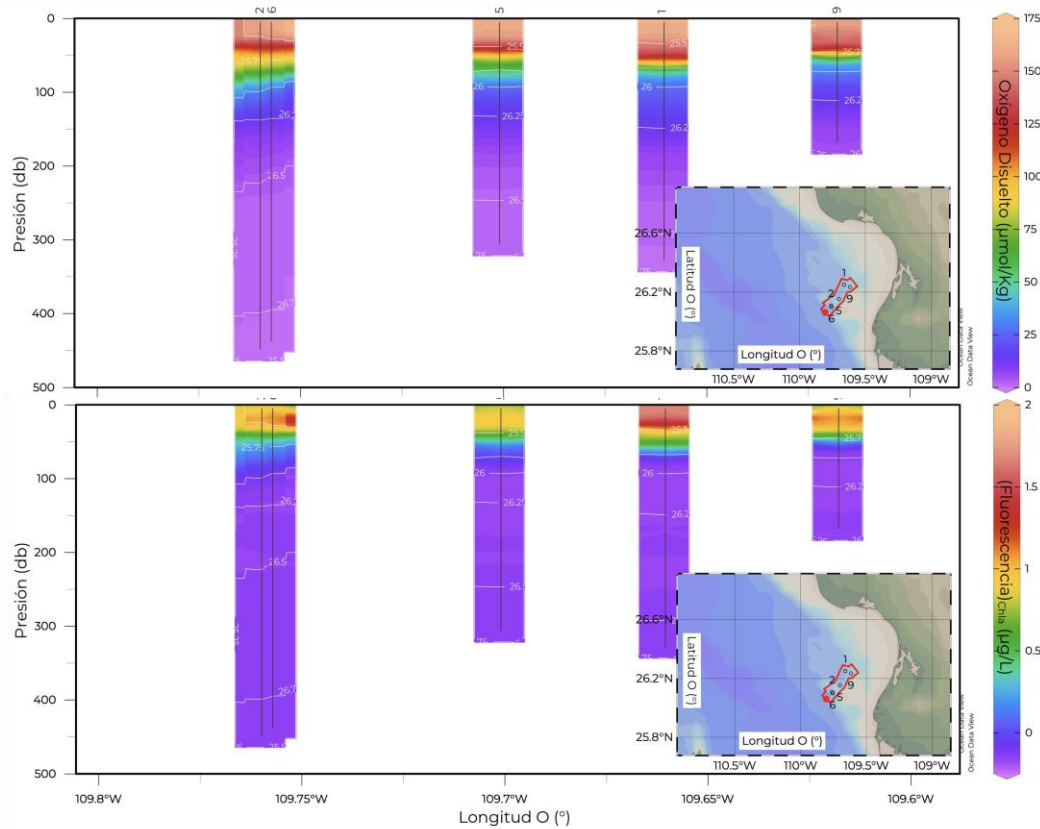
La distribución espacial vertical confirmó la estratificación dividida por la anomalía de densidad potencial  $\sigma_0 = 26 \text{ kg/m}^3$ . También fue posible distinguir que en un transecto longitudinal en dirección hacia la Bahía Santa María, Son. (Figura 23.), la isopicna fue más profunda en las estaciones marinas respecto a las más cercanas a la costa de la localidad. Esta diferencia ascendió hasta 25 metros, en la distribución vertical de las variables ambientales, de la costa a mar abierto (de 50 a 75 metros de profundidad).



**Figura 23.** Secciones verticales de variables fisicoquímicas (temperatura y salinidad) del Golfo de California. Transecto meridional en dirección a Bahía Santa María, Sonora, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.

La superficie del agua mostró un temperatura más cálida y salada, con máximos termohalinos de 19°C y 35.2 UPS, así mismo, también se observan máximos en los niveles de OD y Chl, con valores de 175 $\mu$ mol/kg y 2 $\mu$ g/L respectivamente (EO 1). La Chla en específico, presentó una distribución superficial heterogénea en este transecto, en la capa superficial, aumentando hacia mar abierto, pero con altibajos, entre las estaciones 2, 5 y 6 (Fig. 24). Los gradientes de OD y Chla, cambian según la masa de agua, de AGC a ASSTr, cambio que puede inferirse con la división en la isopícnica de  $\sigma_0 = 26 \text{ kg/m}^3$ .

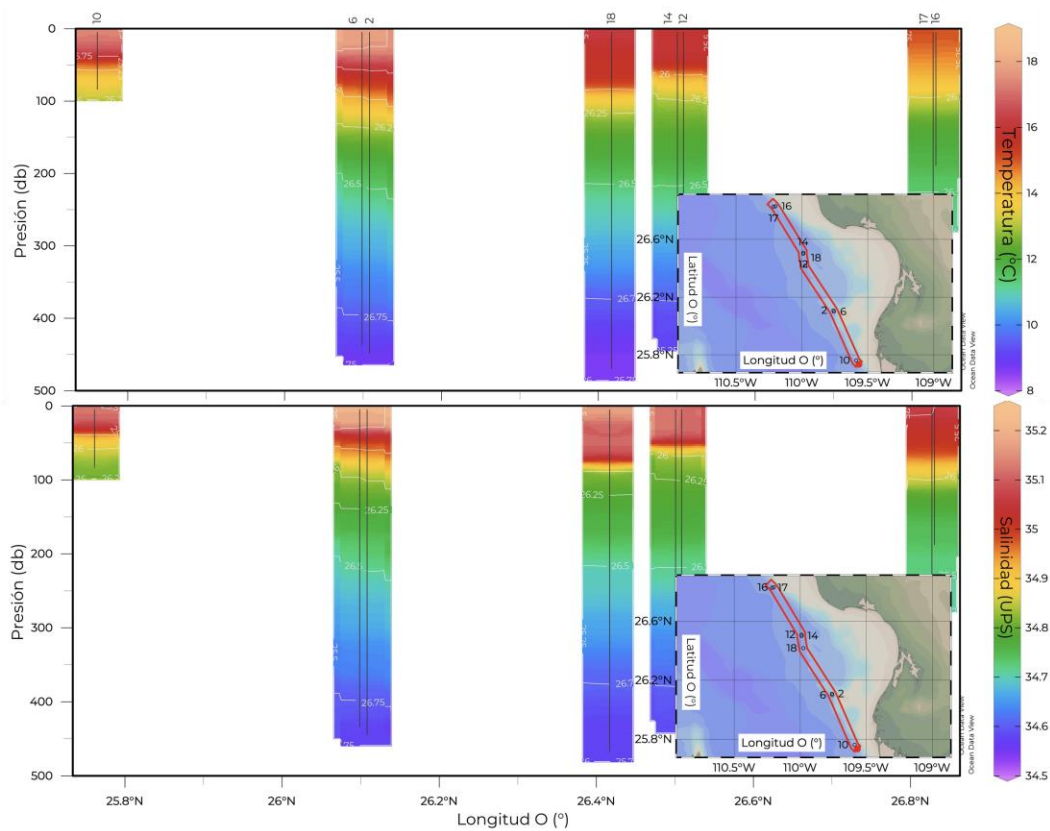




**Figura 24.** Secciones verticales de variables fisicoquímicas (oxígeno disuelto y fluorescencia) del Golfo de California. Transecto meridional en dirección a Bahía Santa María, Sonora, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.

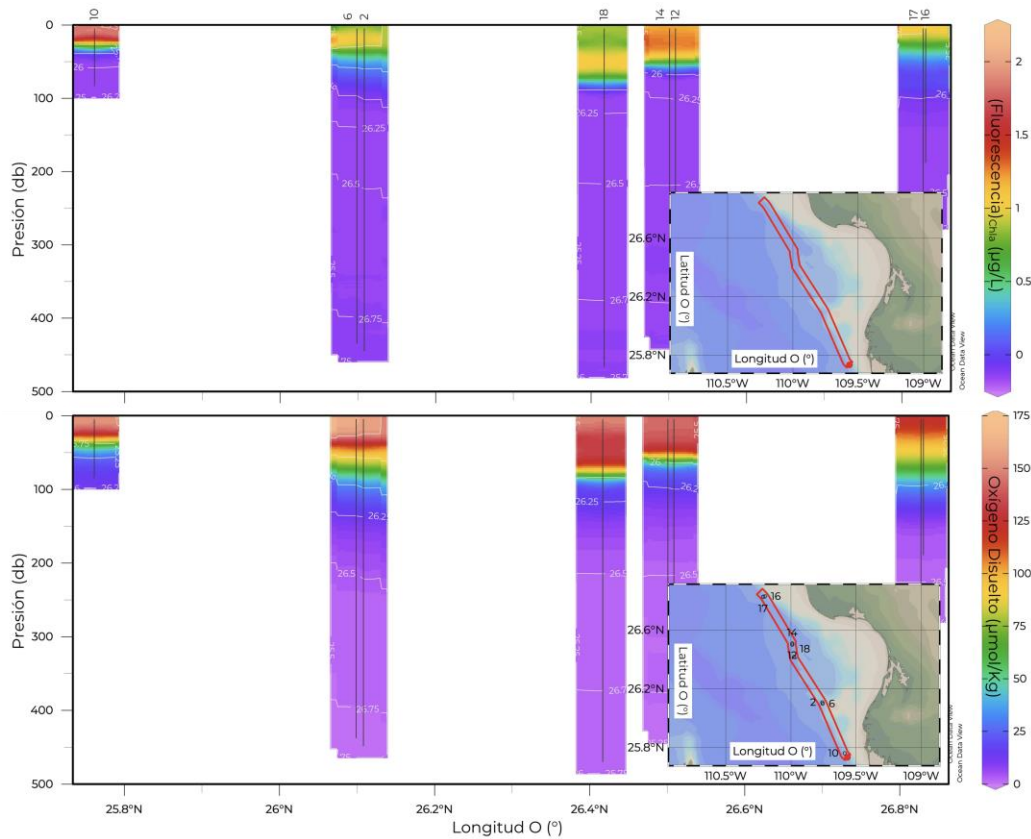
Por otro lado, se observó en un transecto latitudinal de 0.2°N que incluye 8 EO (Figura 25.), cómo las irregularidades fisiográficas del fondo marino, influyeron en la ubicación de los gradientes. Las diferencias fisiográficas ocurrieron por la irregularidad del fondo, entre 100 a 300 metros de profundidad. De esta forma, las estaciones 10, 16 y 17, ubicadas en los extremos sur y norte respectivamente, presentaron una relativa similitud en su fisiografía (Figura 25.). La distribución vertical de la temperatura (T), en los primeros 100 metros de profundidad, fue similar en las tres estaciones, pero con gradientes de 50 metros en la primera y de 100 metros en las otras dos. A su vez, las estaciones 14 y 12, similares fisiográficamente a la EO 10, la isopícula  $\sigma_{\theta} = 26 \text{ kg/m}^3$ , se ubicó ~75 metros, mientras que en la estación 18, muy próxima a éstas, el gradiente inició a 100 m de profundidad. Algo similar ocurrió con la distribución de la salinidad (S). Donde el máximo superficial se encontró en las estaciones 2 y 6 (idéntico cuando la  $T > 18^{\circ}\text{C}$ ).





**Figura 25.** Secciones verticales de variables fisicoquímicas (temperatura y salinidad) del Golfo de California. Transecto latitudinal en dirección norte, en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.

En relación a la Chla, el máximo se registró en la estación 10, la cual no superó los 100 m de profundidad. En términos de productividad, le siguen en magnitud de importancia las estaciones 12 y 14, situadas al centro norte de la bahía pero muy cerca de la EO 18, con una valor de  $0.75\mu\text{g/L}$ , menor que las anteriores ( $1.25\mu\text{g/L}$ ). Las demás estaciones tuvieron un nivel similar de Chla en la superficie ( $\sim 1\mu\text{g/L}$ ), aunque con mayor profundidad en las estaciones 2 y 6 ( $z=450\text{ m}$ ), en comparación con las 16 y 17 ( $z\sim 275\text{m}$ ). Con base en la observación mencionada anteriormente, la isopícnica del gradiente, es mayor en las estaciones más profundas (26).



**Figura 26.** Secciones verticales de variables fisicoquímicas del Golfo de California. Transecto latitudinal en dirección norte, en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.

## 8 Discusión

La evaluación hidroacústica con el ecosonda EK60 permitió obtener ecogramas donde se mostraba la profundidad del fondo marino. Durante la prospección se localizaron las zonas adecuadas (con pendientes suaves o planas) mayores a 100 m y menores a 900 m de profundidad para efectuar los arrastres de pesca de fondo y al mismo tiempo obtener datos para la generación del modelo digital batimétrico. El modelo digital batimétrico funcionó para derivar parámetros geomorfométricos de la zona de estudio y posteriormente generar la respectiva cartografía. Por otra parte, estos parámetros aunados a las variables ambientales fueron utilizados para el modelamiento de distribución de especies marinas bentónicas y demersales, pero también pueden ser utilizadas para conocer la distribución de especies pelágicas, así como para la gestión y ordenamiento de los mares (Vides Casado *et al.* 2011, Pearman *et al.* 2020, Misiuk *et al.* 2021, Abad-Urribarren *et al.* 2022). Random Forest es un algoritmo flexible que se puede utilizar tanto en la interpolación espacial como en el modelamiento de distribución de especies (Landeró *et al.* 2021). En cuanto al enfoque tecnológico pesquero, las bondades del aprendizaje automatizado con Ranfom Forest, la orientación de la ladera es útil para la búsqueda de las mejores pendientes para realizar arrastres de pesca ya que pueden



apoyar en tomar decisiones sobre la dirección y rumbo de la maniobra. Además, para identificar las pendientes orientadas hacia el sur donde son más propensas a la iluminación (zona fótica) y que benefician (actividad fotosintética) o afectan a la diversidad biológica. Asimismo, los grados de la pendiente permitieron conocer la inclinación del fondo marino para la ejecución segura de cualquier actividad de inspección del suelo marino, como por ejemplo inmersión de vehículo operado vía remota (ROV, Huidobro-Campos *et al.* 2023). El índice de posición batimétrica apoyó en el conocimiento de las estructuras del fondo marino, como crestas, picos o valles (Abad-Uribarren *et al.* 2022), y fue posible evitar estos sitios y efectuar lances seguros minimizando pérdidas económicas. Por último, la profundidad (batimetría) fue una variable importante, ya que de ella se derivaron múltiples parámetros, además se ha demostrado que su inclusión en el modelamiento de distribución de especies es crítica (Landeró *et al.* 2021).

Sabiendo que los recursos pesqueros de profundidad son vulnerables de ser sobre explotados debido a que poseen alta longevidad, crecimiento lento, madurez tardía, baja fecundidad y resiliencia (Koslow *et al.* 2000, FAO 2010), es importante contar con la mayor cantidad de información referente tanto a su biología, entorno físico y biológico, así como la interacción que tienen con otras especies y recursos. Más aun cuando se ha documentado que existe interacción entre especies costeras con especies de profundidad, entendiéndose como aquellas que se encuentran más allá de los 200 m, particularmente sobre el talud continental y zonas abisales (FAO 2010).

Entre los peces destaca por tener el mayor valor en peso (649.3 kg) el lapón manchado *Pontinus sierra* un escorpaenido de la familia de los rocotes (DOF 2023), esta especie ha sido documentada como pesca incidental de la pesca objetivo de la merluza *Merluccius gayi peruanus* en las capturas de fondo en las costas de Ecuador (Herrera *et al.* 2018, Rosales-Matos 2020), tal asociación parece ser común entre tales especies, como se observó en este estudio en las capturas de la merluza *Merluccius productus* de la bahía de Guaymas. Ambas especies son habitantes de aguas profundas hasta 700 m (*P. sierra*, Pedraza-Milton *et al.* 2002) y hasta 1,000 m (*M. productus*, Inada 1995), esta última especie se capturó entre 191 y 403 m de profundidad, dentro de la profundidad (hasta 500 m) a la cual se captura en el Golfo de California (DOF 2019, 2022). Las merluzas capturadas en este estudio registraron tallas entre 12 y 29 cm de longitud total, con un promedio de 21 cm, las cuales se encuentran entre las tallas observadas en la pesca comercial que es de 8 a 108 cm LT (Zamora-García y Stavrinsky 2018), cabe mencionar que las tallas capturadas fueron de ejemplares notoriamente menores a la talla promedio de 53.9 cm LT en las capturas comerciales, lo que hace suponer que eran ejemplares juveniles (Vallarta *et al.* 2023), incluso eran inferiores al peso promedio comercial (0.11 vs 1.1 kg) (Zamora-García 2021).

La presencia de la merluza en los lances de exploración en aguas profundas fue de 53% en 2023 porcentaje mayor al encontrado en la misma temporada en 2022 y en donde se cubrió una mayor parte del área de muestreo en 2003, en el que la positividad fue de 38.8%, sin embargo, el peso, abundancia y CPUE fueron notoriamente inferiores en 2023. Es probable que se deba a que los lances en 2023 fueron en un área muy pequeña y no



precisamente en el área donde se registraron las mayores capturas en 2022 (Vallarta *et al.* 2023). Las mayores capturas en 2022 fueron en promedio a 100 m de profundidad, mientras que en 2023 se registraron mayores capturas alrededor de los 200 m. Las tallas de las merluzas fueron muy semejantes en ambas temporadas, encontrándose ejemplares juveniles con tallas inferiores a 53.9-60 cm talla promedio en pesquería comercial (Inada 1995, Zamora-García y Stavrinsky 2018).

Se mantuvo la relación entre la merluza y la langostilla *G. planipes* (Lloris *et al.* 2003), en todos los lances donde apareció langostilla se observó merluza, ambas en grandes cantidades, es probable que responda a los hábitos alimenticios de la merluza, ya que es un voraz depredador de langostilla (Balart-Páez y Castro-Aguirre 1995).

La langostilla se mantiene como un componente importante en las capturas de fondo, ya que mediante el análisis de asociación Olmstead-Tukey, se clasificó dentro del grupo de las especies dominantes, esta langostilla es recurrente en los lances de pesca de media agua, siempre ocupando los primeros lugares en IVI (Vallarta-Zárate *et al.* 2019, 2020, 2023). La langostilla ha sido considerada desde hace varias décadas como el decápodo más abundante en la costa occidental del Pacífico mexicano (Auriol-Gamboa y Balart 1995, Balart-Páez 1996, Vega-Villasante *et al.* 2002, 2006, Robinson *et al.* 2004, De anda Montañez *et al.* 2015).

Aun cuando fueron solo 18 lances de pesca, se identificaron tres especies con interés comercial además de la langostilla, el cangrejo mexicano *Cancer johngarthi* y el cangrejo paco *Platymera gaudichaudii* (Carvacho y Bonfil 1989, Fiol y Cervantes 1996). Los cangrejos registraron bajos valores de abundancia y peso, y por su aparición en los lances se identificaron como especies raras y frecuentes respectivamente. Los registros del cangrejo mexicano en este estudio son importantes ya que aportan información de distribución y tallas de este recurso que desde 1992 ha sido considerado como potencial de comercialización (Leija *et al.* 1992, Hendrickx 1995), y en 2004 se aprobó la pesquería de prueba con nasas en la costa suroeste de la Península de Baja California (Ramírez y Arreguín 2008). En tanto que el cangrejo armado, aun cuando es abundante tiene poco interés comercial y es solo a nivel local (Hendrickx 1995). En este estudio como en otros se ha documentado que tanto el cangrejo mexicano como el cangrejo armado suelen estar juntos (Fiol y Cervantes 1996, Sánchez-Ortiz *et al.* 1997).

También se encontraron peces con interés comercial, como la corvina amarilla *Cynoscion xanthurus*, la cintilla *Trichiurus nitens*, la cabrilla doncella *Hemanthias signifer*, el boquinete del Pacífico *Larimus pacificus*, todos ellos con valores bajos en peso y número de individuos. Su baja representabilidad es muy probable que se deba a que son especies con afinidad más costera (Heemstra 1995, Chao 1995), en tanto que en este estudio los muestreos fueron a más de 200 m de profundidad.

La fauna asociada a la pesca de merluza en México es de 69 especies entre moluscos, crustáceos, peces óseos y elasmobranquios (DOF 2022), mientras en las costas de Chile se documentan una lista de 73 especies (CeDePesca 2018), lo que refleja la gran diversidad de especies asociadas a esta pesquería. En este estudio se encontraron 29 de las cuales solo tres se mencionan en la Carta Nacional Pesquera, el registro de las



restantes 26, aporta información para conocer la interacción entre éstas y la merluza, así como de aquellas especies que tiene interés comercial o tienen un posible potencial pesquero. En el estudio de 2022 (Vallarta *et al.* 2023), registraron 48 especies asociadas a la merluza, de las cuales solo 9 están compartidas con el presente estudio, sin embargo, cabe mencionar que el área de estudio en 2023 es un tercio de lo analizado en 2022.

## 9 Conclusiones

- La exploración que se realizó en el presente trabajo es de suma importancia para el entendimiento de la biodiversidad demersal y bentónica del Golfo de California ya que esta zona es reconocida por la elevada actividad biológica y productividad (Brusca 2010).
- Dichos mapas se pueden utilizar para guiar un muestreo futuro, diseñar estrategias de monitoreo de especies demersales y bentónicas, actualización de las cartas batimétricas con el objetivo de conocer la geomorfología del suelo marino y en un futuro realizar lances de pesca de forma segura.
- La presencia de merluza fue recurrente en la región oriental del Golfo de California frente a Sinaloa y Sonora, con tallas entre 12 y 30 cm de longitud patrón, inferiores a los ejemplares que se capturan en la pesquería desarrollada en el alto Golfo de California donde se observan tallas superiores a 40 cm de longitud patrón.
- Las mayores capturas de merluza se registraron ~200 db de profundidad, en un ambiente termohalino típico de la masa de agua del Golfo de California (AGC), bajo condiciones de temperaturas frescas, alta salinidad relativa y anoxia.
- Se identificaron especies de interés comercial tales como lapón manchado *Pontinus sierra*, brótula negra *Cherublemma emmelas*, corvina amarilla *Cynoscion xanthulus* y la cintilla o pez sable del Pacífico *Trichiurus nitens*.
- La Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) de las especies que se capturaron asociadas a las especies objetivo que se incluyen en el presente documento, representan información independiente a la pesca de gran valor para los programas de manejo regionales.
- La caracterización de las propiedades fisicoquímicas del agua de mar en la zona de estudio permitió observar un mar estratificado con clinas ubicadas aproximadamente a 75 metros de profundidad, donde los cambios bruscos de las propiedades fisicoquímicas de la columna de agua, ocurrieron en la isopicna  $\sigma_0 = 26 \text{ kg/m}^3$ .
- En el caso del oxígeno disuelto, los gradientes inician a los 25 metros de profundidad, específicamente en las estaciones más someras, ante un paisaje marino oligotrófico generalizado.
- La característica ambiental del mar interior en el crucero JCFINP2301 permitió detectar tres masas de agua diferentes: AGC, ASsSTR y AIP. En las estaciones oceanográficas del norte y sur de la zona de estudio, se apreciaron contrastes termohalinos en comparación con las estaciones del centro de la Bahía. Estas diferencias se hicieron evidentes tanto en los diagramas superficiales como en los perfiles y secciones verticales. Además, estas variaciones se vieron influenciadas



por la fisiografía del fondo marino. En las estaciones someras, los cambios fueron más superficiales, mientras que en las estaciones profundas, los cambios bruscos se produjeron a una profundidad no mayor de 100 metros

## 10 Literatura citada

- Abad-Uribarren A., E. Prado, S. Sierra, A. Cobo, A. Rodríguez-Basalo, M. Gómez-Ballesteros and F. Sánchez. 2022. Deep learning-assisted high-resolution mapping of vulnerable habitats within the Capbreton Canyon System, Bay of Biscay. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 275: 107957.
- Aburto-Oropeza O., M. Caso, R. Cudney-Bueno, B. Erisman, E. Ezcurra, L. Rosenzweig, C. Sánchez Ortiz, F.A. Solís-Marín y V. Solís-Weiss. 2010. Marisla. En: O. Aburto-Oropeza, M. Caso, B. Erisman y E. Ezcurra (Eds.). *Bitácora del Mar Profundo. Una expedición por el Golfo de California*. Instituto Nacional de Pesca, U.C. Mexus y Scripps Institution of Oceanography. México. Pp: 79-88.
- Acevedo-Cervantes A., J. López Martínez, E. Herrera Valdivia y J. Rodríguez-Romero. 2009. Análisis de la abundancia, dominancia y diversidad de la comunidad de peces demersales de profundidad de 90 a 540 metros en el Golfo de California, México. *Interciencia* 34: 660-665.
- Alverson D.L. and H.A Larkins. 1969. Status of knowledge of the Pacific hake resource. *Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep* 13: 24-31.
- Anderson J.T., D. Van Holliday, R. Kloser, D.G. Reid and Y. Simard. 2008. Acoustic seabed classification: current practice and future directions. *ICES Journal of Marine Science* 65(6): 1004–1011, <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsn061>.
- Aurioles-Gamboa D. and E.F. Balart. 1995. The red crab: biology, ecology and exploitation. *Northwest Biological Research Center, La Paz*, :221-233 (in Spanish).
- Balart-Páez E.F 1996. Recurso merluza. En: M. Casas-Valdez y G. Ponce-Díaz (eds.). *Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur*. SEMARNAP, Gobierno del estado de Baja California Sur. México. Pp: 264-271.
- Balart-Páez E.F. y J.L. Castro-Aguirre. 1995. Estimación del impacto de la depredación de merluza sobre la langostilla. En: Aurióles-Gamboa D. y E.F. Balart-Páez (eds.). *La langostilla: biología, ecología y aprovechamiento*. CIBNOR S.C. Primera edición. Pp: 139-162.
- Bailey K.M., R.C. Francis and P.R. Stevens. 1982. The life history and fishery of Pacific whiting, *Merluccius productus*. *CalCOFI Rep.* 13: 81-98.
- Bischi B., M. Lang, L. Kotthoff, J. Schiffner, J. Richter, E. Studerus, G. Casalicchio and Z.M. Jones. 2016. mlr: Machine Learning in R. *Journal of Machine Learning Research* 17(170): 1–5.
- Breiman L. 2001. Random forests. *Machine learning* 45(1): 5-32.





- Breiman L., J.H. Friedman, R.A. Olshen and C.J. Stone. 1984. *Classification And Regression Trees*. Chapman & Hall. New York USA. 368p.
- Brenning A. 2012. Spatial cross-validation and bootstrap for the assessment of prediction rules in remote sensing: The R package sperrorest. In *2012 IEEE international geoscience and remote sensing symposium*, 5372-5375.
- Brower J.E. and J.H. Zar. 1977. Brown comp. *Field and laboratory methods for general ecology*. 185 p.
- Brusca R.C. 2010. *The Gulf of California Biodiversity and Conservation*. Arizona University Press, Tucson, AZ. 354 p.
- Calmus T., A. Búrquez y A. Martínez. 2017. El golfo de California: Un océano joven, región megadiversa, vínculo entre tectónica y ecología. *Ciencia*. UANL 85: 59-64.
- Carvacho A. y R. Bonfil. 1989. El género *Cancer* L. en el Pacífico mexicano (Crustacea: Decapoda: Brachyura). *Revista de Biología Tropical* 37 (1): 37-48.
- Castro-Aguirre J.L., E.F. Balart y J. Arvizu Martínez. 1995. Contribución al conocimiento del origen y distribución de la ictiofauna del Golfo de California, México. *Hidrobiológica* 5(01-002): 57-78.
- CeDePesca. 2018. Programa privado de observadores del proyecto de mejoras de la pesquería de merluza peruana. Abril 2018 – febrero 2018. Informe Técnico No. 1. 12 p.
- Chao N.L. 1995. Sciaenidae. Corvinas, barbiches, bombaches, corvinatas, corvinetas, corvinillas, lambes, pescadillas, roncachos, verrugatos. En: Fischer W., Krupp F., Schneider W., Sommer C., Carpenter K.E., Niem V.H. (eds.). *Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca*. Pacífico centro-oriental. Volumen III. Vertebrados - Parte 2. Roma, FAO. 1995. Vol. III: 1201-1813.
- CONANP. 2011. Estudio Previo Justificativo para el establecimiento del área natural protegida con la categoría de Reserva de la Biosfera Zona Marina Profunda Golfo de California, localizada frente a las costas de los Estados de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa, Nayarit y Jalisco, México, 117 páginas + 4 anexos. Marzo 2012.
- Cottam G. and J.T. Curtis. 1956. The use of distance measures in phytosociological sampling. *Ecology* 37: 451-460.
- De Anda-Montañez J.A., S. Martínez-Aguilar, E.F. Balart, T. Zenteno-Savín, L. Méndez-Rodríguez, E. Amador-Silva and M. Figueroa-Rodríguez. 2015. Spatio-temporal distribution and abundance patterns of red crab *Pleuroncodes planipes* related to ocean temperature from the Pacific coast of the Baja California Peninsula. *Fish Sci* 81(5): DOI 10.1007/s12562-015-0938-8
- DOF. 2017. ACUERDO por el que se da a conocer la actualización de la Carta Nacional Pesquera. *Diario Oficial de la Federación*, México. Junio 6 de 2018.





- DOF. 2019. PROYECTO de Norma Oficial Mexicana NOM-020-SAG/PESC-2019, Especificaciones para regular el aprovechamiento de merluza (*Merluccius productus*) en aguas de jurisdicción federal del litoral del Océano Pacífico y el Golfo de California. *Diario Oficial de la Federación*, México. Noviembre 27 de 2019.
- DOF. 2020. PROGRAMA Sectorial de Agricultura y Desarrollo Rural 2020-2024. *Diario Oficial de la Federación*, México. Junio 25 de 2020.
- DOF 2022. Acuerdo por el que se da a conocer la actualización de la Carta Nacional Pesquera. *Diario Oficial de la Federación*, México. Julio 6 de 2022.
- DOF 2023. Acuerdo mediante el cual se da a conocer la Actualización de la Carta Nacional Pesquera. *Diario Oficial de la Federación*, México. 7 de julio de 2023.
- Ehrhardt N.M., E.M. Ramírez R., P. Arenas F., A. Carranza B., C. de la Garza M., P. Jacquemin P., P. Prado de S. y A. Solís N. 1980. Evaluación de los recursos demersales accesibles a redes de arrastre de fondo en el Golfo de California (Mar de Cortés), México, durante 1979. Programa de Investigación y Desarrollo Pesquero Integrado México/PNUD/FAO. 144 p.
- Espino B.E., Á. González Vega, H. Santana Hernández y H. González Vega. 2008. *Manual de biología pesquera*. Instituto Nacional de la Pesca-Universidad Autónoma de Nayarit. 131 p.
- Escobar-Briones E. y L.A. Soto. 1993. Bentos del mar profundo en México. *En: S.I. Salazar-Vallejo y N.E. González (eds.). Biodiversidad Marina y Costera de México*. Com. Nal. Biodiversidad y CIQRO, México. 865 p.
- FAO. 2010. Pesquerías de Aguas Profundas en Alta Mar. Hacia una utilización sostenible de los recursos marinos y la protección de los ecosistemas marinos vulnerables. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma. 11 p.
- Fiol O. J. y J. Cervantes-Duarte. 1996. Recurso Cangrejo. Estudio del Potencial Pesquero y Acuícola de Baja California Sur. *En: Casas Valdez M. y G. Ponce Díaz (eds.). SEMARNAP. FAO. INP. UABCS. CIB. CICIMAR. CETMAR. Vol. 1. 350 p.*
- Genuer R. and J.M Poggi. 2020. *Random Forests with R*. Springer. South San Francisco, USA. 98 p.
- Godínez P.C.A. 2013. Estimación de la biomasa de la merluza del pacífico norte, *Merluccius productus* (Ayres, 1855), en el golfo de Ulloa, B.C.S. Tesis de licenciatura. Departamento Académico de Biología Marina, UABCS, La Paz, Baja California Sur. 72 p.
- Gordon J.D.M., A.O. Bergstad, I. Figueiredo and G. Menezes. 2003. Deep water fisheries of the Northeast Atlantic: I. Description and current Trends. *J. Northw. Atl. Fish. Sci.* 31: 137-150.



- Guinan J., A.J. Grehan, M.F.J. Dolan and C. Brown. 2009. Quantifying relationships between video observations of cold-water coral cover and seafloor features in Rockall Trough, west of Ireland. *Marine Ecology Progress Series* 375: 125-138.
- Hayes M. 2023. Maximizing Use of Pelagic Capture Fisheries for Global Protein Supply: Potential and Caveats Associated with Fish and Co-Product Conversion into Value-Add Ingredients. *Global Challenges* 2200098.
- Heemstra P.C. 1995. Serranidae. Meros, serranos, guasetas, enjambres, baquetas, indios, loros, gallinas, cabrillas, garropas. *En*: W. Fischer, F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K.E. Carpenter and V. Niem (eds.). *Guía FAO para Identificación de Especies para los Fines de la Pesca*. Pacífico Centro-Oriental. 3 Vols. FAO, Roma.
- Helser T.E., I.J. Stewart, G.W. Fleischer and S. Martell. 2006. Stock assessment of Pacific hake (whiting) in U.S. and Canadian waters in 2006. In Pacific Fishery Management Council, Appendix: status of the Pacific coast groundfish fishery through 2005, stock assessment and fishery evaluation: stock assessments and rebuilding analyses, Volume VI. Pac. Fish. Manage. Council, Portland, Oreg. 228 p.
- Hendrickx M.E. 1995. Cangrejos. *En*: W. Fischer, F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K.E. Carpenter and V. Niem (eds.). *Guía FAO para Identificación de Especies para los Fines de la Pesca*. Pacífico Centro-Oriental. 3 Vols. FAO, Roma.
- Hendrickx M.E. 2012. Operaciones oceanográficas en aguas profundas: los retos del pasado, del presente y del proyecto TALUD en el Pacífico mexicano (1989-2009). *En*: Zamorano P., M.E. Hendrickx y M. Caso (eds.). *Biodiversidad y comunidades del talud continental del Pacífico mexicano*. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Instituto Nacional de Ecología (INE). Pp: 23-104.
- Hengl T., M. Nussbaum, M.N Wright, G.B. Heuvelink and B. Gräler. 2018. Random forest as a generic framework for predictive modeling of spatial and spatio-temporal variables. *PeerJ* 6, e5518.
- Herrera M., I. Saa and D. Coello. 2018. *Identificación de la fauna asociada a la pesquería de Merluza (Merluccius gayi) con espinel de fondo en el Ecuador*. Editorial Grupo Compás, Instituto Nacional de Pesca, Guayaquil Ecuador. 194 p.
- Hijmans R.J. 2022. terra: Spatial Data Analysis. R package version 1.6-3. <https://CRAN.R-project.org/package=terra>
- Huidobro-Campos L., M. Vásquez-Ortiz, V.H. Martínez-Magaña, J.R.F. Vallarta-Zárate, D. Hernández-Cruz, E.V. Pérez-Flores, L. Altamirano-López y R.I. Rojas-González. 2023. Abundancia de calamar gigante y prospección del ecosistema bentónico al sur de las grandes islas, Golfo de California. Campaña Océano Pacífico 2021, B/I Dr. Jorge Carranza Fraser. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura, Dirección de Investigación Pesquera en el Atlántico. Abril, 2023. Informe Técnico Núm. 18 p.
- Ilich A.R., B. Misiuk, V. Lecours and S.A. Murawski. 2021. MultiscaleDTM, doi:10.5281/zenodo.5548338. <https://github.com/ailich/MultiscaleDTM>.



- Inada T. 1995. Merlucciidae. Merluzas. *En: W. Fischer, F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K.E. Carpenter y V. Niem (eds.). Guía FAO para Identificación de Especies para los Fines de la Pesca. Pacífico Centro-Oriental. 3 Vols. FAO, Rome. Pp: 1272-1274.*
- Jung Y. and J. Hu. 2015. A k-fold averaging crossvalidation procedure. *Journal of Nonparametric Statistics* 27(2): 167-179. <http://dx.doi.org/10.1080/10485252.2015.1010532>
- Klemm A., A. Platel, B. Gallagher, C. Schroeder, E. Meyer, G. Rice, J. Riley and R. Burkhalter-Castro. 2021. Hydrography from fisheries surveys–Filling Coverage Gaps with Bathymetry Extracted from Simrad EK60 Water Column Data. *International Hydrographic Organization*. <https://ihr.iho.int/articles/hydrography-from-fisheries-surveys-filling-coverage-gaps-with-bathymetry-extracted-from-simrad-ek60-water-column-data/>
- Koslow J.A., G.W. Boehlert, J.D.M. Gordon, R.L. Haendrich, P. Lorange and N. Parin. 2000. Continental slop and deep-sea fisheries: implications for a fragile ecosystem. *ICES J. Mar. Sci.* 57: 548-557.
- Landero Figueroa M.M., M.J.G. Parsons, B.J. Saunders, B. Radford, C. Salgado- Kent and I.M. Parnum. 2021. The use of singlebeam echo- sounder depth data to produce demersal fish distribution models that are comparable to models produced using multibeam echo- sounder depth. *Ecology and Evolution* 11: 17873–17884.
- Lara-Lara J.R., V. Arenas Fuentes, C. Bazán Guzmán, V. Díaz Castañeda, E. Escobar Briones, M. de la Cruz García Abad, G. Gaxiola Castro, G. Robles Jarero, R. Sosa Ávalos, L.A. Soto González, M. Tapia García y J.E. Valdez-Holguín. 2008. Los ecosistemas marinos. *En: Capital natural de México*, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. CONABIO, México. Pp: 135-159.
- Lecours V., M.F.J Dolan, A. Micallef, and V.L Lucieer. 2016. A review of marine geomorphometry, the quantitative study of the seafloor. *Hydrology and Earth System Sciences* 20(8): 3207-3244.
- Leija A.T., M. Monteforte, E.S. Amador y M. Huerta 1992. Distribución, abundancia y reproducción del cangrejo rojo *Cancer jonhgarthi* (Decapoda: Cancridae), en Baja California Sur, México. *Revista de Biología Tropical* 40(2): 199-207.
- Li J. 2013. Predicting the spatial distribution of seabed gravel content using random forest, spatial interpolation methods and their hybrid methods. In *The International Congress on Modelling and Simulation* 1-6.
- Lloris D., J. Matallanas y P. Oliver. 2003. Merluzas del mundo (Familia Merlucciidae). Catálogo comentado e ilustrado de las merluzas conocidas. FAO Catálogo de especies para los fines de la pesca 2: 57 p.
- López-Martínez J., A. Acevedo-Cervantes, E. Herrera-Valdivia, J. Rodríguez-Romero y D.S. Palacios-Salgado. 2012. Composición taxonómica y aspectos zoogeográficos de peces de profundidad (90-540 m) del Golfo de California, México. *Revista de Biología Tropical* 60(1): 347-360.



- Lovelace R., J. Nowosad and J. Muenchow. 2019. *Geocomputation with R*. Chapman and Hall/CRC. 334p.
- Lugo-Hubp J. 1988. *Elementos de geomorfología aplicada*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- McLaren K., K. McIntyre and K. Prospere. 2019. Using the random forest algorithm to integrate hydroacoustic data with satellite images to improve the mapping of shallow nearshore benthic features in a marine protected area in Jamaica. *GIScience & Remote Sensing* 56(7): 1065-1092.
- Mejía-Mercado B.E., A. Hinojosa-Corona y M.E. Hendrickx (eds.). 2014. *Explorando el Mar Profundo del Golfo de California 2008-2014*. CICESE. 245 p. ISBN: 978-607-95688-1-8.
- Methot R.D. and M.W. Dorn. 1995. Biology and fisheries of North Pacific hake (*M. productus*). In: Alheit J. and Pitcher T.J. (eds). *Hake*. Chapman & Hall Fish and Fisheries Series, vol 15. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-011-1300-7\\_14](https://doi.org/10.1007/978-94-011-1300-7_14).
- Misiuk B., V. Lecours, M.F.J. Dolan and K. Robert. 2021. Evaluating the suitability of multi-scale terrain attribute calculation approaches for seabed mapping applications. *Marine Geodesy* 44(4): 327-385.
- Møller A. B. 2019. OGC: Generation of oblique geographic coordinates as covariates for spatial prediction. *R package version 1.0.1*.
- Møller A.B., A.M. Beucher, N. Pouladi and M.H Greve. 2020. Oblique geographic coordinates as covariates for digital soil mapping. *Soil* 6(2): 269-289. <https://doi.org/10.5194/soil-6-269-2020>.
- Nemani S., D. Cote, B. Misiuk, E. Edinger, J. Mackin-McLaughlin, A. Templeton, J. Shaw and K. Robert. 2022. A multi-scale feature selection approach for predicting benthic assemblages. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 277: 108053.
- Nets Systems. 2016. Plano técnico de red: Bering Sea Combination 79/107. DWG No. 079BSC06i, copyright by Net Systems Inc.
- Nussbaum M., K. Spiess, A. Baltensweiler, U. Grob, A. Keller, L. Greiner, M.E. Schaepman and A. Papritz. 2018. Evaluation of digital soil mapping approaches with large sets of environmental covariates. *Soil* 4: 1-22, <https://doi.org/10.5194/soil-4-1-2018>.
- Pearman T.R.R., K. Robert, A. Callaway, R. Hall, C.L. Iacono and V.A.I Huvenne. 2020. Improving the predictive capability of benthic species distribution models by incorporating oceanographic data—Towards holistic ecological modelling of a submarine canyon. *Progress in Oceanography* 184: 102338.
- Pedraza-Milton J., E.A. Rubio and L.A. Zapata. 2002. Nuevo hallazgo del pez escorpión *Pontinus sierra* (Gilbert 1890) (Pisces: Osteichthyes: Scorpaenidae) en aguas del oceano Pacífico colombiano. *Cayana (Concepción)* 66(1): 69-72. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-65382002000100009>.



- Pérez-Planells L.L., J. Delegido, J.P. Rivera-Caicedo y J. Verrelst. 2015. Análisis de métodos de validación cruzada para la obtención robusta de parámetros biofísicos. *Revista Española de Teledetección* 44: 55-65.
- Picard R.R. and R.D. Cook. 1984. Cross-validation of regression models. *Journal of the American Statistical Association* 79(387): 575-583.
- Probst P., M. Wright and A.L. Boulesteix. 2019. Hyperparameters and tuning strategies for random forest. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery* 9(3): e1301.
- Ramírez R.M. and F. Arreguín S. 2008. Fishing Time and Trap Ghost Fishing for *Cancer johngarthi* along the Baja California Peninsula's Southwestern Coast, Mexico, *Journal of Shellfish Research* 27(5): 1265-1269. (1 de diciembre de 2008). <https://doi.org/10.2983/0730-8000-27.5.1265>.
- R Core Team. 2022. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Reily S.J., S.D. DeGloria and R. Elliot. 1999. Terrain Ruggedness Index That Quantifies Topographic Heterogeneity. *Intermountain. Journal of Science* 5(1-4): 23.
- Reisinger R.R., A.S. Friedlaender, A.N. Zerbini, D.M. Palacios, V. Andrews-Goff, L.D. Rosa, M. Double, K. Findlay, C. Garrigue, J. How, C. Jenner, M-N. Jenner, B. Mate, H.C. Rosenbaum, S.M. Seakamela, and R. Constantine. 2021. Combining regional habitat selection models for large-scale prediction: circumpolar habitat selection of Southern Ocean humpback whales. *Remote Sensing* 13(11): 2074.
- Rhys H. 2020. *Machine Learning with R, the tidyverse and mlr*. Manning Publications Co. United States of America. 511p.
- Ribeiro M.T., D. Singh and C. Guestrin. 2016. Model-agnostic interpretability of machine learning. *arXiv preprint arXiv:1606.05386*.
- Ricker W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bulletin Fisheries Research Board of Canada* 191: 382.
- Roberts D.R., V. Bahn, S. Ciuti, M.S. Boyce, J. Elith, G. Guillera-Aroita, S. Hauenstein J.J. Lahoz-Monfort, B. Schröder, W. Thuiller, D.I. Warton, B.A. Wintle, F. Hartig and C.F. Dormann. 2017. Cross-validation strategies for data with temporal, spatial, hierarchical, or phylogenetic structure. *Ecography* 40(8): 913-929.
- Robertson D.R. y G.R. Allen. 2015. *Peces Costeros del Pacífico Oriental Tropical: sistema de Información en línea. Versión 2.0* Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales, Balboa, República de Panamá.
- Robinson C.J., V. Anislado and A. López. 2004. The pelagic red crab (*Pleuroncodes planipes*) related to active upwelling sites in the California Current off the west coast of Baja California. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 51 (6-9): 753-766.



- Rosales-Matos D.E. 2020. Diagnóstico de la pesca artesanal con espinel de fondo en el puerto pesquero de Anconcito, provincia de Santa Elena. La Libertad. UPSE, Matriz. Facultad de Ciencias del Mar. 1 p.
- Sánchez-Ortiz C., C.I. Huerta, J.L. Cervantes y J. Fiol. 1997. Crustáceos Decápodos de Aguas Profundas de la Bahía de La Paz, B. C. S. La Bahía de la Paz, Investigación y Conservación. *En: Urbán R. J. y M. Ramírez R. (eds.). 1997. UABCS. CICIMAR. SCRIPPS. 129-138 p.*
- Sans-Aguilar C.A. 2018. El Golfo de California en su Totalidad como Aguas Interiores o Territoriales Mexicanas. Centro de Estudios Superiores Navales. SEMAR. 18 p.
- Schratz P., J. Muenchow, E. Iturrity, J. Richter and A. Brenning. 2019. Hyperparameter tuning and performance assessment of statistical and machine-learning algorithms using spatial data. *Ecological Modelling* 406: 109-120.
- Sekulić A., M. Kilibarda, G. Heuvelink, M. Nikolić and B. Bajat. 2020. Random forest spatial interpolation. *Remote Sensing* 12(10): 1687.
- Steel G.D.R. and H.J. Torrie. 1981. Chapter 24: Non-parametric statistics. *In: G.D.R Steel., H.J Torrie and D.A. Dickey(eds.). Principles and procedures of statistics: A biometrical approach. Second Edition. Tokyo: McGrawHill International Book Company Pp: 533-553.*
- Sylvia G. 1995. Global markets and products of hake. *In: Alheit J. and T. Pitcher. (eds.). Hake: Biology, Fisheries and Markets. London, Chapman & Hall, 1995. Pp: 415-35.*
- Uhlenkott K., E. Simon-Lledó, A. Vink, and P. Martínez. 2022. Investigating the benthic megafauna in the eastern Clarion Clipperton Fracture Zone (north-east Pacific) based on distribution models predicted with random forest. *Nature Sci Rep* 12(1): 8229. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12323-0>
- Urcádiz-Cázares F.J., V.H. Cruz-Escalona, E.H. Nava-Sánchez y A. Ortega-Rubio. 2017. Clasificación de unidades del fondo marino a partir de la distribución espacial de los sedimentos superficiales de la Bahía de La Paz, Golfo de California. *Hidrobiológica* 27(3): 399-409.
- Valavi R., J. Elith, J.J. Lahoz-Monfort and G. Guillera-Aroita. 2018. block CV: An r package for generating spatially or environmentally separated folds for k-fold cross-validation of species distribution models. *Methods in Ecology and Evolution* 10(2): 225-232.
- Vallarta-Zárate J.R.F., V.H. Martínez-Magaña, L. Huidobro-Campos, M. Vásquez-Ortiz, E.V. Pérez-Flores, L. Altamirano-López, S. del C. Morales-Gutiérrez y D. Hernández-Cruz. 2019. Evaluación acústica de peces pelágicos menores en la región occidental de la península de Baja California durante la primavera-verano del 2019. Campaña Océano Pacífico 2019, B/I Dr. Jorge Carranza Fraser. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura, Dirección General Adjunta de Investigación Pesquera en el Atlántico. Noviembre, 2019. Informe Técnico No. 5. 79 p.





- Vallarta-Zárate J.R.F., V.H. Martínez-Magaña, L. Huidobro-Campos, M. Vásquez-Ortiz, A.J. Alatorre-Alba, E.V. Pérez-Flores, L. Altamirano-López, S. del C. Morales-Gutiérrez, D. Hernández-Cruz y R.I. Rojas-González. 2020. Evaluación acústica de peces pelágicos menores en la región occidental de la península de Baja California durante el otoño del 2020. Campaña Océano Pacífico 2020, B/I Dr. Jorge Carranza Fraser. Instituto Nacional de Pesca y Acuacultura, Dirección General de Investigación Pesquera en el Atlántico. Diciembre, 2020. Informe Técnico No. 9. 102 p.
- Vallarta-Zárate J.R.F., L. Huidobro-Campos, E.V. Pérez-Flores, M. Vásquez-Ortiz, L. Altamirano-López, V.H. Martínez-Magaña, D. Hernández-Cruz y R.I. Rojas-González. 2023. Prospección de merluza del Pacífico (*Merluccius productus*) en la costa oriental del Golfo de California. Campaña Océano Pacífico 2022, B/I Dr. Jorge Carranza Fraser. Instituto Nacional de Pesca y Acuacultura, Dirección de Investigación Pesquera en el Atlántico. Febrero, 2023. Informe Técnico No. 18. 86 p.
- Vega-Villasante F., H. Nolasco, A. Fallarero and O. Carrillo-Farnés. 2002. Biochemical characterization of crude extract from *Pleuroncodes planipes* (Crustacea: Galatheidae) as potential feed additive, considerations for a new fishery on the Mexico Pacific coast. *Hidrobiológica* 12: 119-128.
- Vega-Villasante F., U. Bécquer-Zúñiga, N. Hernández, H. Nolasco-Soria y O. Carrillo-Farnés. 2006. La langostilla roja (*Pleuroncodes planipes* Stimpson, 1860) (Crustacea:Galatheidae), como alimento funcional en el crecimiento, supervivencia y composición corporal de larvas de camarón blanco (*Litopenaeus schmitti* Burkenroad, 1936) (Crustacea:Penaeidae). *Hidrobiológica* 16(3): 241-249.
- Vides Casado M.P. 2011. Distribución de la megafauna bentónica del Caribe colombiano asociada a variables ambientales del fondo marino. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR* 40(2): 249-270.
- Wilson M.F.J., B. O'Connell, C. Brown, J.C. Guinan and A.J. Grehan. 2007. Multiscale terrain analysis of multibeam bathymetry data for habitat mapping on the continental slope. *Marine Geodesy* 30(1-2): 3-35.
- Wilkinson T., E. Wiken, J. Bezaury Creel, T. Hourigan, T. Agardy, H. Herrmann, L. Janishevski, C. Madden, L. Morgan y M. Padilla. 2009. *Ecorregiones Marinas de América del Norte*. Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal. 200 p.
- Wright M.N. and A. Ziegler. 2017. ranger: A Fast Implementation of Random Forests for High Dimensional Data in C++ and R. *Journal of Statistical Software* 77(1): 1-17. doi:10.18637/jss.v077.i01.
- Yang Y. and S. Huang. 2014. Suitability of five cross validation methods for performance evaluation of nonlinear mixed-effects forest models – a case study. *Forestry* 87: 654-662. <http://dx.doi.org/10.1093/forestry/cpu025>.





Zamora-García Ó.G. 2021. Ecología pesquera y dinámica poblacional de la merluza norteña *Merluccius productus* (Ayres, 1855) del norte del Golfo de California. Tesis Doctoral. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología. UNAM. 210 p.

Zamora-García Ó.G. y A. Stavrinsky Suárez. 2018. Ficha técnica merluza del Pacífico Norte. Environmental Defense Fund de México A.C., 16 p. En línea en: [https://mexico.edf.org/sites/mexico.edf.org/files/luchamerluza\\_final\\_sept\\_2018.pdf](https://mexico.edf.org/sites/mexico.edf.org/files/luchamerluza_final_sept_2018.pdf)

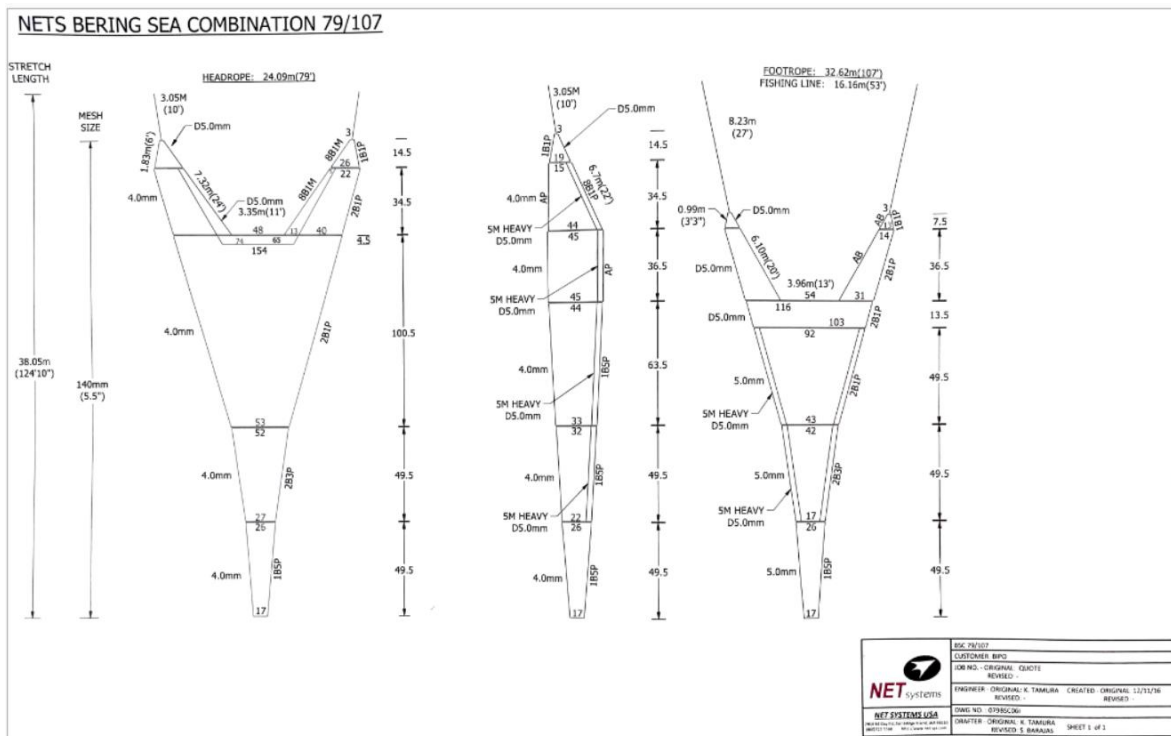
Zhang J., K. Zhang, Y. Jiang, Y. Li, W. Yu, Z. Chen. 2022. Diversity and Structure of Demersal Fish Community Over the Northern Slope in the South China Sea. *Frontiers in Marine Science* Vol. 9. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2022.809636>. DOI=10.3389/fmars.2022.809636

## 11 Anexos

### 11.1 Anexo I. Coordenadas del derrotero.

Derivado de la complejidad de las actividades de reconocimiento del terreno, las coordenadas del área de trabajo se entregaron diariamente de manera rutinaria al Capitán del buque, de acuerdo con los objetivos diarios de trabajo.

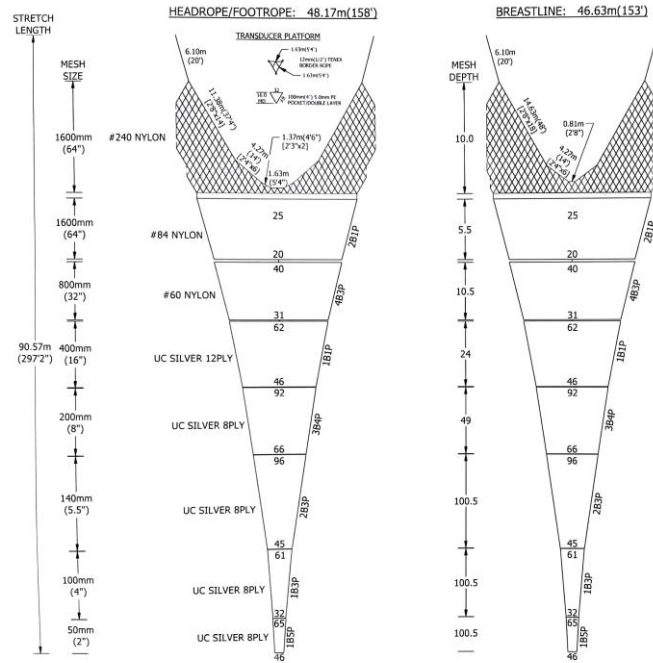
### 11.2 Anexo II. Esquema técnico de la red de fondo “BSC 79/107”.





**11.3 Anexo III. Esquema técnico de la red de media agua Mesh wing trawl 25/25.**

**NETS MESH WING TRAWL 25/25**



- NOTES:**
1. USE 18m(3/4") TENEX FOR HEADROPE, BREASTLINES, AND BOLSHLINE.
  2. USE 11mm(7/16") GUNNEBO G80-ML CHAIN FOR FOOTROPE.
  3. USE 12mm(1/2") TENEX FOR CORNER SUPPORTS.
  4. USE 6mm(1/4") TENEX FOR FLYMESH 1:1.
  5. LASH 16mm(5/8") SLING LINK ON THE WING TIPS.

	MESH WING TRAWL 25/25
	CUSTOMER BIDD
NET SYSTEMS USA	JOB NO. ORIGINAL: BILLS/NNHW2525/0304
	ENGINEER - ORIGINAL: K. TAMURA CREATED - ORIGINAL: 12/11/2016
	DRAWER - ORIGINAL: K. TAMURA
	REVISOR: S. BANAGAS
	DWG NO.: 25JMWTRD
	SHEET 1 of 1

SOURCE: COMPILATED BY NET SYSTEMS INC. THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF NET SYSTEMS INC. UNAUTHORIZED USE IS PROHIBITED.

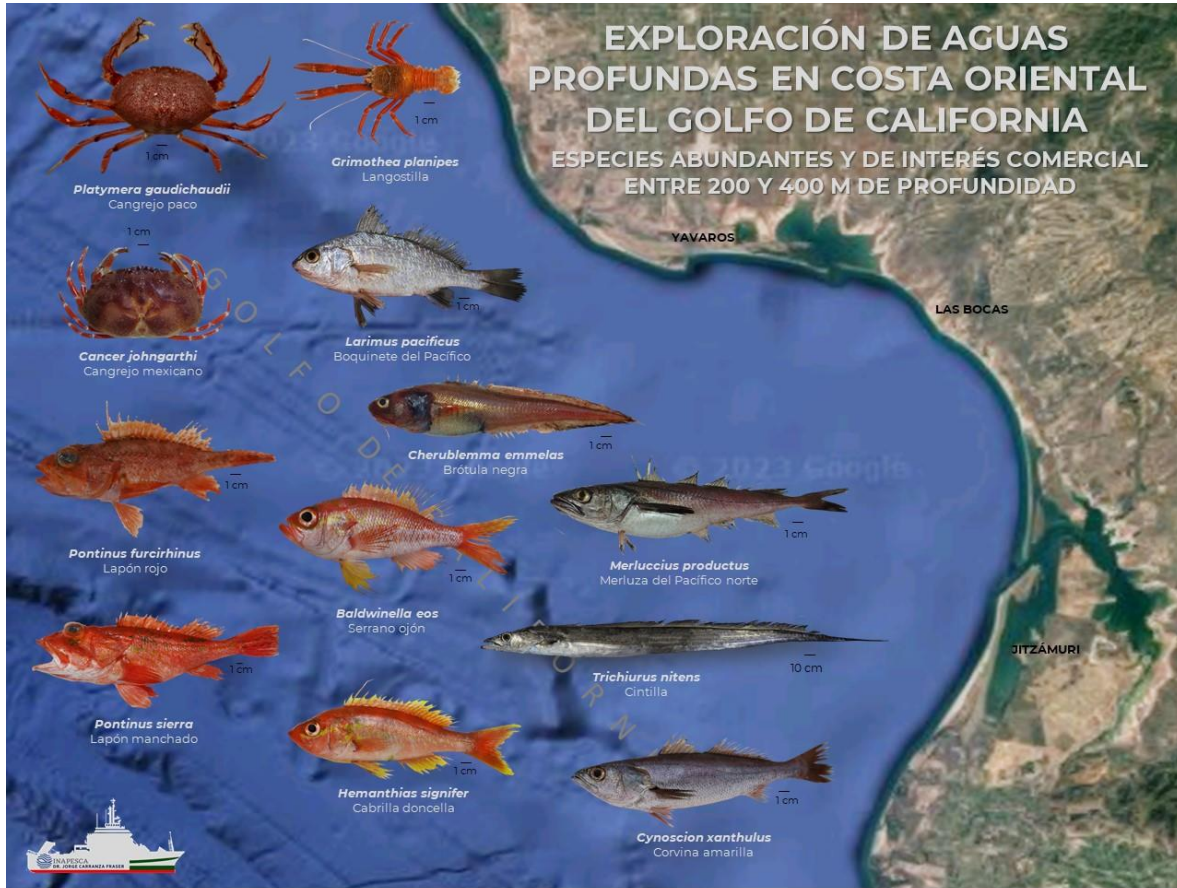


**11.4 Anexo IV. Lances de pesca de identificación realizados en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.**

Lance	Fecha	Actividad/Ubicación	Hora	Distancia de la costa (mn)	Prof. promedio blanco (m)
1	02/02/2023	NOCTURNA/FONDO	21:01-21:31	19.3	403.1
2	03/02/2023	NOCTURNA/FONDO	00:24-00:59	21.3	500
3	03/02/2023	DIURNA/FONDO	06:42-07:09	26	298
4	03/02/2023	NOCTURNA/FONDO	00:08-00:38	18.5	596.8
5	04/02/2023	DIURNA/FONDO	08:47-09:18	18.5	401.6
6	04/02/2023	DIURNA/FONDO	12:44-13:14	23.6	499.7
7	04/02/2023	NOCTURNA/FONDO	23:27-23:57	21.5	406.5
8	05/02/2023	DIURNA/FONDO	10:44-11:15	13.5	198.5
9	05/02/2023	DIURNA/FONDO	16:05-16:35	17.9	197.5
10	05/02/2023	NOCTURNA/MEDIA AGUA	21:26-22:03	8.8	35
11	06/02/2023	DIURNA/FONDO	16:45-17:15	30.2	401.5
12	06/02/2023	DIURNA/FONDO	16:45-17:15	10.4	403.1
13	08/02/2023	NOCTURNA/FONDO	20:48-21:18	15.7	561.3
14	09/02/2023	DIURNA/FONDO	14:12-14:17	43	600
15	10/02/2023	DIURNA/FONDO	12:56-13:17	9.8	396.4
16	10/02/2023	DIURNA/FONDO	12:56-13:27	21.6	191.2
17	11/02/2023	DIURNA/FONDO	13:39-14:09	15.1	192.4
18	11/02/2023	DIURNA/FONDO	18:28-18:58	43	597.5



**11.5 Anexo V. Especies abundantes y de interés comercial entre 200 y 400 m de profundidad, en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301.**





**11.6 Anexo VI. Lista de participantes en la costa oriental del Golfo de California, febrero de 2023, crucero JCFINP2301 a bordo del B/I Dr. Jorge Carranza Fraser.**

No.	Nombre	Área	Adscripción
1	Juan Roberto Felipe Vallarta Zárate*	Jefe de crucero	DIPA
2	Leslie Altamirano López	Acústica	DIPA
3	Mario Vásquez Ortíz	Acústica	DIPA
4	Jesús Enrique Osuna Soto	Acústica/Oceanografía	UAS
5	Estefanía Onésima De La Rosa Herrera	Acústica	FI UNAM
6	Lia Marian Cruz Gaytan	Acústica	FI UNAM
7	Leticia Huidobro Campos*	Biología	DIPA
8	Daniel Hernández Cruz	Biología	DIPA
9	Jorge Emanuel Ramírez Rosales	Biología	FC UNAM
10	Karla Hernández Tello	Biología	FC UNAM
11	David Rivas Landa	Biología	ITNM-BB
12	Laura Thelma Hernández Aguilera	Biología	UAM XOCHIMILCO
13	Bryan Antonio Chiquete Hernández	Biología	UAS
14	Jesús Antonio Hernández García	Biología	UAS
15	Juan Andrés Sánchez Noriega	Biología	UAS
16	Sergio Paul Padilla Galindo*	Tec. De Capturas	DIPP
17	Gabriel Siordia López	Tec. De Capturas	ITMAZ
18	Daniel Siordia López	Tec. De Capturas	ITMAZ



**AGRICULTURA**  
SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL



**IMIPAS**  
INSTITUTO MEXICANO  
DE INVESTIGACIÓN EN PESCA  
Y ACUACULTURA SUSTENTABLES

Este informe se presenta con el fin de difundir algunos de los resultados de las campañas del IMIPAS en el Golfo de California y costa occidental de la península de Baja California. El análisis integral de la información obtenida se realiza acorde con los estándares de la investigación científica de este tipo, en colaboración con instituciones relacionadas con investigaciones en materia pesquera y los resultados serán publicados próximamente.

Si desea información más detallada, favor de comunicarse al IMIPAS por medio de su portal [www.gob.mx/imipas](http://www.gob.mx/imipas)



**AGRICULTURA**  
SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL



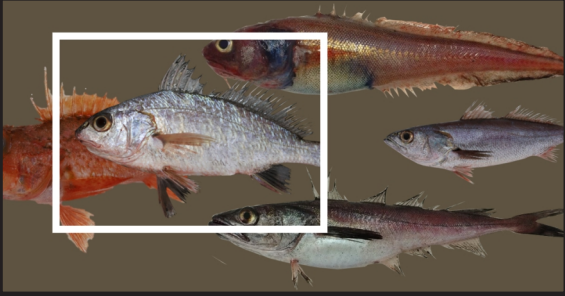
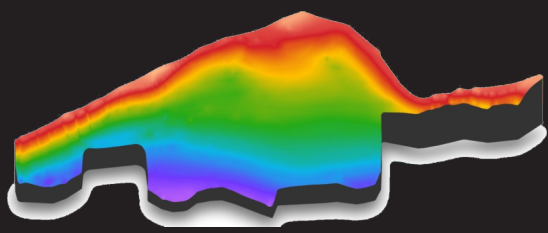
**IMIPAS**  
INSTITUTO MEXICANO  
DE INVESTIGACIÓN EN PESCA  
Y ACUACULTURA SUSTENTABLES



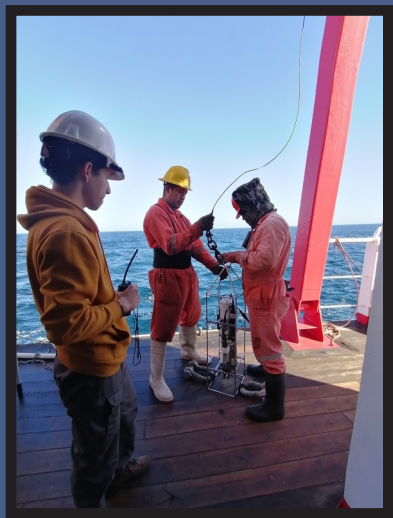
**INSTITUTO MEXICANO DE INVESTIGACIÓN EN PESCA  
Y ACUACULTURA SUSTENTABLES**

**2024**





Durante un crucero de investigación a bordo del B/I Dr. Jorge Carranza Fraser en el Golfo de California, en las costas del norte de Sinaloa y sur de Sonora que tuvo lugar del 31 de enero al 13 de febrero del 2023, se llevó a cabo la exploración del área de estudio con la finalidad de analizar la distribución de los potenciales recursos pesqueros en las profundidades de 200 a 600 metros. A través de la utilización de técnicas acústicas, se realizaron muestreos biológicos cada 100 metros y se registraron las condiciones ambientales en cada punto de muestreo. Además, se registró la información sobre el lecho marino mediante el uso de un ecosonda EK60, con el propósito de mejorar la seguridad de las actividades de arrastre en la zona.



ESTADOS UNIDOS MEXICANOS  
**GOBIERNO DE MÉXICO**

**AGRICULTURA**  
SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL

**IMIPAS**  
INSTITUTO MEXICANO DE INVESTIGACIÓN EN PESCA Y ACUICULTURA SUSTENTABLES