

CAMPAÑA  
OCÉANO PACÍFICO  
2022

PROSPECCIÓN DE MERLUZA DEL  
PACÍFICO (*Merluccius productus*) EN LA  
COSTA ORIENTAL DEL GOLFO DE  
CALIFORNIA  
B/I DR. JORGE CARRANZA FRASER  
INFORME TÉCNICO NO. 17

Juan Roberto F. Vallarta Zárate, Leticia Huidobro Campos, Emma Verónica Pérez Flores, Mario Vásquez Ortiz, Leslie Altamirano López, Víctor Hugo Martínez Magaña, Daniel Hernández Cruz, Ramón Isaac Rojas González.





**AGRICULTURA**  
SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL



**INAPESCA**  
INSTITUTO NACIONAL DE PESCA  
Y ACUACULTURA

**DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN PESQUERA EN EL ATLÁNTICO**

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

**INFORME TÉCNICO NO. 17**

**CAMPAÑA OCÉANO PACÍFICO 2022**

**PROSPECCIÓN DE MERLUZA DEL PACÍFICO (*Merluccius productus*) EN LA  
COSTA ORIENTAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA**

**CRUCERO JCFINP2201**

**Del 28 de enero al 11 de febrero del 2022**



**MARZO 2023**



## DIRECTORIO

### SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL

**Dr. Víctor Manuel Villalobos Arámbula**

*Secretario de Agricultura y Desarrollo Rural*

### INSTITUTO NACIONAL DE PESCA Y ACUACULTURA

**Dr. Pablo Roberto Arenas Fuentes**

*Director General del Instituto Nacional de Pesca y Acuacultura*

**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. Alejandro Pérez Muñoz**

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

**M. en C. Darío Chávez Herrera**

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



## LISTA DE AUTORES

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

*Oficinas centrales, Ciudad de México, INAPESCA*

**Dra. Leticia Huidobro-Campos**

*Oficinas centrales, Ciudad de México, INAPESCA*

**Ing. Emma Verónica Pérez-Flores**

*Oficinas centrales, Ciudad de México, INAPESCA*

**Geóg. Mario Vásquez-Ortiz**

*Oficinas centrales, Ciudad de México, INAPESCA*

**Ing. Leslie Altamirano-López**

*Oficinas centrales, Ciudad de México, INAPESCA*

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

*CRIAP Manzanillo, INAPESCA*

**Biól. Daniel Hernández-Cruz**

*Oficinas centrales, Ciudad de México, INAPESCA*

**Dr. Ramón Isaac Rojas-González**

*Oficinas centrales, Ciudad de México, INAPESCA*



### **Agradecimientos**

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

A la Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca por las facilidades prestadas para la gestión del Permiso de Pesca de Fomento No. PPF/DGOPA-0004/22 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 como capital humano especializado que participa en las investigaciones que realiza el INAPESCA a través de la operación del buque.

A los jóvenes estudiantes de servicio social, en especial a Jorge Emanuel Ramírez Rosales, que apoyan en el procesamiento de información y material derivado de las campañas.

Como citar este Informe Técnico:

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 pp.



**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 ..... 14
- 6 Métodos ..... 16
  - 6.1 Acústica pesquera ..... 16
    - 6.1.1 Adquisición de información acústica ..... 16
    - 6.1.2 Calibración del ecosonda científica EK60 ..... 16
    - 6.1.3 Clasificación acústica ..... 17
    - 6.1.4 Pesca de reconocimiento ..... 18
    - 6.1.5 Análisis bioestadístico ..... 19
    - 6.1.6 Análisis geoestadístico ..... 20
    - 6.1.7 Modelación espacial ..... 22
    - 6.1.8 Validación cruzada y ajuste de hiperparámetros ..... 23
    - 6.1.9 Random Forest para predicción espacial ..... 24
    - 6.1.10 Validación cruzada espacial y ajuste de hiperparámetros ..... 24
    - 6.1.11 Modelamiento espacial mediante Random Forest ..... 25
  - 6.2 Oceanografía pesquera ..... 26
    - 6.2.1 CTD (Conductividad Temperatura Profundidad) ..... 26
    - 6.2.2 Red Bongo ..... 26
    - 6.2.3 Muestreo continuo superficial de huevos de peces (CUFES, por sus siglas en inglés)  
26
    - 6.2.4 Meteorología ..... 27
    - 6.2.5 Termosalinómetro ..... 27
  - 6.3 Oceanografía Satelital ..... 27
    - 6.3.1 Anomalía de la temperatura superficial marina ..... 27
    - 6.3.2 Índices climáticos ..... 28



|        |   |    |
|--------|---|----|
| 7      | Resultados .....  | 28 |
| 7.1    | Pesca de identificación .....   | 28 |
| 7.2    | Diversidad.....   | 30 |
| 7.3    | Prueba de asociación Olmstead-Tukey .....   | 31 |
| 7.4    | Índice de valor de importancia de especies (IVI) .....  | 32 |
| 7.5    | Captura de merluza en lances de fondo .....   | 33 |
| 7.6    | Estructura de tallas, peso individual y análisis biológico .....  | 35 |
| 7.7    | Sexo y madurez gonadal .....  | 36 |
| 7.8    | Relación Peso-Longitud.....   | 36 |
| 7.9    | Distribución batimétrica y relación con parámetros ambientales de merluzas .....                                    | 37 |
| 7.10   | Pesca de peces pelágicos menores .....  | 38 |
| 7.11   | <i>Oligoplites refulgens</i> sardina piña .....   | 39 |
| 7.12   | <i>Scomber japonicus</i> macarela.....  | 40 |
| 7.13   | Especies dominantes y de interés comercial .....  | 41 |
| 7.14   | <i>Pleuroncodes planipes</i> langostilla .....  | 41 |
| 7.15   | <i>Penaeus californiensis</i> camarón café .....  | 43 |
| 7.16   | <i>Cynoscion xanthulus</i> curvina amarilla .....   | 43 |
| 7.17   | <i>Balistes polylepis</i> cochito.....  | 43 |
| 7.18   | <i>Caulolatilus affinis</i> blanquillo .....  | 44 |
| 7.19   | <i>Trichiurus nitens</i> pez sable .....  | 44 |
| 7.20   | Geoestadística .....  | 46 |
| 7.21   | Modelamiento espacial.....  | 48 |
| 7.22   | Ecointegración.....   | 49 |
| 7.23   | Ecointegración por capas de profundidad .....   | 50 |
| 7.24   | Distribución vertical del NASC de pelágicos menores.....  | 53 |
| 7.25   | Random forest para la predicción espacial del NASC en el área de investigación mediante variables ambientales ..... | 53 |
| 7.26   | Ecointegración, variables geomorfométricas marinas y ambientales .....  | 55 |
| 7.26.1 | Pendiente del fondo marino .....  | 55 |
| 7.26.2 | Batimetría.....   | 56 |
| 7.26.3 | Clorofila-a .....   | 56 |
| 7.26.4 | Oxígeno disuelto.....   | 56 |



7.26.5 Temperatura superficial marina..... 57

7.26.6 Anomalía de la temperatura superficial marina ..... 58

7.27 Índices climáticos ..... 58

7.28 Oceanografía ..... 59

7.28.1 Perfilador CTD ..... 59

8 Discusión ..... 63

8.1 Acústica ..... 63

8.2 Biología..... 66

9 Conclusiones..... 67

10 Recomendaciones ..... 68

11 Literatura citada ..... 69

12 Anexos..... 78

12.1 Anexo I. Coordenadas del derrotero del crucero JCFINP2201..... 78

12.2 Anexo II. Coordenadas de las estaciones de muestreo oceanográfico y pesca de calamar del crucero JCFINP2201..... 79

12.3 Anexo III. Esquema técnico de la red de fondo “BSC 79/107”..... 80

12.4 Anexo IV. Lances de pesca de identificación realizados en el invierno del 2022, en la costa oriental del Golfo de California, crucero JCFINP2201..... 82

12.5 Anexo V. Especies abundantes y de interés comercial capturadas con red de fondo en la costa oriental del Golfo de California, crucero JCFINP2201. .... 83

12.6 Anexo VI. Lista de participantes en el crucero JCFINP2201..... 85

**Lista de figuras**

**FIGURA 1.** DERROTERO DEL CRUCERO JCFINP2201 PARA LA EXPLORACIÓN DE MERLUZA DEL PACÍFICO EN LA COSTA ORIENTAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA..... 15

**FIGURA 2.** DISTRIBUCIÓN DE LANCES DE PESCA DE FONDO EN LA COSTA ORIENTAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA, EN EL INVIERNO DEL 2022, CRUCERO JCFINP2201. .... 29

**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 EN LA COSTA ORIENTAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA, INVIERNO DEL 2022, CRUCERO JCFINP2201. .... 30

**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, INVIERNO DEL 2022, CRUCERO JCFINP2201..... 32



**FIGURA 5.** DISTRIBUCIÓN Y CAPTURA DE MERLUZA Y PELÁGICOS MENORES EN LOS LANCES DE PESCA DE FONDO EN LA COSTA ORIENTAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA, INVIERNO DEL 2022, CRUCERO JCFINP2201..... 34

**FIGURA 6.** CAPTURA DE LA MERLUZA POR LANCE DE PESCA POSITIVO EN EL INVIERNO DEL 2022, EN LA COSTA ORIENTAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA, CRUCERO JCFINP2201..... 35

**FIGURA 7.** ESTRUCTURA DE TALLA DE MERLUZAS CAPTURADAS EN EL INVIERNO DEL 2022, COSTA ORIENTAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA, CRUCERO JCFINP2201..... 35

**FIGURA 8.** PROPORCIÓN DE ESTADIO GONADAL DE LA MERLUZA CAPTURADA EN EL INVIERNO DEL 2022, EN LA COSTA ORIENTAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA, CRUCERO JCFINP2201. NOTA:  $\diamond$  = NO SEXADO. .... 36

**FIGURA 9.** RELACIÓN LONGITUD PATRÓN-PESO DE LA MERLUZA CAPTURADA EN EL INVIERNO DEL 2022, EN LA COSTA ORIENTAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA, CRUCERO JCFINP2201. .... 37

**FIGURA 10.** CAPTURA DE MERLUZA Y RELACIÓN CON PARÁMETROS AMBIENTALES, CAPTURADA EN EL INVIERNO DEL 2022, EN LA COSTA ORIENTAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA, CRUCERO JCFINP2201. LA LÍNEA COLOR MAGENTA REPRESENTA VALORES MENORES A 16 ° C, A 35 UPS DE SALINIDAD Y A 0.2 MG/L DE OXÍGENO..... 38

**FIGURA 11.** ESTRUCTURA DE TALLA DE PELÁGICOS MENORES CAPTURADOS EN EL INVIERNO DEL 2022, EN LA COSTA ORIENTAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA, CRUCERO JCFINP2201. .... 39

**FIGURA 12.** PROPORCIÓN SEXUAL, ESCALA DE LLENADO ESTOMACAL Y CONTENIDO GRASO EN LOS PELÁGICOS MENORES, CAPTURADOS EN EL INVIERNO DEL 2022, EN LA COSTA ORIENTAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA, CRUCERO JCFINP2201..... 40

**FIGURA 13.** DISTRIBUCIÓN Y CAPTURA DE CRUSTÁCEOS EN LOS LANCES DE PESCA DE FONDO REALIZADOS EN EL INVIERNO DEL 2022, COSTA ORIENTAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA, CRUCERO JCFINP2201..... 42

**FIGURA 14.** ESTRUCTURA DE TALLAS DE LA LANGOSTILLA Y DEL CAMARÓN CAFÉ CAPTURADOS EN EL INVIERNO DEL 2022, EN LA COSTA ORIENTAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA, CRUCERO JCFINP2201. .... 43

**FIGURA 15.** ESTRUCTURA DE TALLA DE ESPECIES DOMINANTES Y DE INTERÉS COMERCIAL CAPTURADOS EN EL INVIERNO DEL 2022, EN LA COSTA ORIENTAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA, CRUCERO JCFINP2201..... 45

**FIGURA 16.** DISTRIBUCIÓN Y DENSIDAD DE PECES DE INTERÉS COMERCIAL EN LOS LANCES DE PESCA DE FONDO REALIZADOS EN EL INVIERNO DEL 2022, EN LA COSTA ORIENTAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA, CRUCERO JCFINP2201. .... 46

**FIGURA 17.** DISTRIBUCIÓN DE LOS VALORES DEL COEFICIENTE DE RETRODISPERSIÓN POR MILLA NÁUTICA CUADRADA ( $S_A$ ). DISTRIBUCIÓN DEL  $S_A$  LOG. COSTA ORIENTAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA, INVIERNO DE 2022, CRUCERO JCFINP2201. .... 47

**FIGURA 18.** SEMIVARIOGRAMA ANISOTRÓPICO EXPERIMENTAL (PUNTOS) Y TEÓRICO (LÍNEAS). LÍNEA AZUL MUESTRA EL SILL (C) Y ROJO EL RANGO (H) EN MILLAS NÁUTICAS. COSTA ORIENTAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA, INVIERNO DE 2022, CRUCERO JCFINP2201..... 48

**FIGURA 19.** GRÁFICO DE BURBUJAS DE LOS VALORES DE  $S_A$  ( $M^2 \cdot MN^{-2}$ ) QUE MUESTRA LA DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA CLASIFICADA DE PECES PARA LA FRECUENCIA DE 38 KHZ EN LA COSTA ORIENTAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA, INVIERNO DE 2022, CRUCERO JCFINP2201. .... 50

**FIGURA 20.** DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL COEFICIENTE DE RETRODISPERSIÓN INTEGRADO POR ESTRATOS DE PROFUNDIDAD 5-15 M, 15-20 M, 20-30 M Y 30-40 M A PARTIR DE LA FRECUENCIA



DE 38 KHZ PARA PECES ( $S_A, M^2 \cdot MN^{-2}$ ) EN LA COSTA ORIENTAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA, INVIERNO DE 2022, CRUCERO JCFINP2201..... 51

**FIGURA 21.** DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL COEFICIENTE DE RETRODISPERSIÓN INTEGRADO POR ESTRATOS DE PROFUNDIDAD 40-50 M, 50-75 M, 75-100 M Y 100-1000 M A PARTIR DE LA FRECUENCIA DE 38 KHZ PARA PECES ( $S_A, M^2 \cdot MN^{-2}$ ) EN LA COSTA ORIENTAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA, INVIERNO DE 2022, CRUCERO JCFINP2201. .... 52

**FIGURA 22.** DISTRIBUCIÓN VERTICAL DEL COEFICIENTE DE RETRODISPERSIÓN INTEGRADO POR MILLA NÁUTICA CUADRADA DE LA FRECUENCIA DE 38 KHZ PARA PECES ( $S_A, M^2 \cdot MN^{-2}$ ) EN LA COSTA ORIENTAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA, INVIERNO DE 2022, CRUCERO JCFINP2201..... 53

**FIGURA 23.** IMPORTANCIA DE LAS VARIABLES (EXPRESADO EN PORCENTAJE) PARA LA PREDICCIÓN ESPACIAL DEL NASC EN LA COSTA ORIENTAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA, INVIERNO DE 2022, CRUCERO JCFINP2201..... 54

**FIGURA 24.** PREDICCIÓN DEL NASC CON RANDOM FOREST DE ACUERDO CON LAS DIFERENTES VARIABLES AMBIENTALES, GEOGRÁFICAS Y BIOLÓGICAS EN LA COSTA ORIENTAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA, INVIERNO DE 2022, CRUCERO JCFINP2201. .... 55

**FIGURA 25.** DENSIDAD DE ENERGÍA ACÚSTICA, GEOMORFOMETRÍA MARINA, BATIMETRÍA Y VARIABLES AMBIENTALES EN LA COSTA ORIENTAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA, INVIERNO DE 2022, CRUCERO JCFINP2201..... 57

**FIGURA 26.** DENSIDAD DE ENERGÍA ACÚSTICA, TEMPERATURA SUPERFICIAL MARINA Y ANOMALÍA DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL MARINA EN LA COSTA ORIENTAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA, INVIERNO DE 2022, CRUCERO JCFINP2201..... 58

**FIGURA 27.** PERFILES VERTICALES DE TEMPERATURA, SALINIDAD, DENSIDAD, OXÍGENO DISUELTOS Y CLOROFILA EN EL INVIERNO DEL 2022 EN EL SUR DEL GOLFO DE CALIFORNIA, CRUCERO JCFINP2201..... 60

**FIGURA 28.** MASAS DE AGUA: AGUA GOLFO DE CALIFORNIA (AGC), AGUA SUBTROPICAL SUBSUPERFICIAL (ASTSS) Y AGUA INTERMEDIA DEL PACÍFICO (AIP), EN EL INVIERNO DEL 2022 EN EL SUR DEL GOLFO DE CALIFORNIA, CRUCERO JCFINP2201..... 61

**FIGURA 29.** SECCIONES VERTICALES OCEÁNICAS DE VARIABLES OCEANOGRÁFICAS (LÍNEAS BLANCAS, ISOCLINAS  $KG/M^3$ ) EN EL INVIERNO DEL 2022 EN EL SUR DEL GOLFO DE CALIFORNIA, CRUCERO JCFINP2201..... 62

**FIGURA 30.** SECCIONES VERTICALES COSTERAS DE VARIABLES OCEANOGRÁFICAS (LÍNEAS BLANCAS, ISOCLINAS  $KG/M^3$ ) EN EL INVIERNO DEL 2022 EN EL SUR DEL GOLFO DE CALIFORNIA, CRUCERO JCFINP2201..... 63

### Lista de tablas

**TABLA 1.** COORDENADAS EXTREMAS DE LA REGIÓN DE ESTUDIO..... 14

**TABLA 2.** CADENCIA DE TIRO DE REPETICIÓN DE PULSOS ACÚSTICOS DEL ECOSONDA CIENTÍFICA EK60. .... 16

**TABLA 3.** LISTADO DE ESPECIES CON MAYOR  $IVI$ , CAPTURADAS EN LOS LANCES DE PESCA DE FONDO EN EL INVIERNO DEL 2022 EN LA COSTA ORIENTAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA, CRUCERO JCFINP2201..... 33

**TABLA 4.** PARÁMETROS BIOLÓGICOS DE ESPECIES DE PELÁGICOS MENORES, CAPTURADOS EN EL INVIERNO DEL 2022, EN LA COSTA ORIENTAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA, CRUCERO JCFINP2201. .... 39



|  |    |
|--|----|
| <b>TABLA 5.</b> PARÁMETROS POBLACIONALES DE LAS ESPECIES DOMINANTES Y DE INTERÉS COMERCIAL CAPTURADOS EN EL INVIERNO DEL 2022, EN LA COSTA ORIENTAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA, CRUCERO JCFINP2201..... | 41 |
| <b>TABLA 6.</b> DESCRIPTORES ESTADÍSTICOS DEL NASC Y LOG (NASC) EN LA COSTA ORIENTAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA, INVIERNO DE 2022, CRUCERO JCFINP2201.....  | 47 |
| <b>TABLA 7.</b> PRUEBA DE NORMALIDAD DE LOS DATOS DEL NASC (LOG) EN LA COSTA ORIENTAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA, INVIERNO DE 2022, CRUCERO JCFINP2201.....   | 47 |
| <b>TABLA 8.</b> VALORES DEL VARIOGRAMA TEÓRICO AJUSTADO AL MODELO DEL VARIOGRAMA EXPERIMENTAL. COSTA ORIENTAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA, INVIERNO DE 2022, CRUCERO JCFINP2201.....                     | 48 |



## 1 Resumen ejecutivo

El INAPESCA a través de la operación del buque Dr. Jorge Carranza Fraser trabaja para identificar la presencia de recursos pesqueros que habitan zonas profundas y que pudieran ser potencialmente aprovechables, para proponer análisis posteriores con tecnologías específicas. Durante un crucero realizado a bordo del B/I Dr. Jorge Carranza Fraser del 28 de enero al 11 de febrero del 2022 se realizó exploración pesquera para conocer la distribución de recursos pesqueros potenciales a profundidades de 100 a 300 metros, a través de prospección acústica y biológica pesquera, así como del registro de las condiciones ambientales que influyeron en la estructura de los ensambles analizados. Los organismos de interés comercial con mayores abundancias fueron la merluza del Pacífico (*Merluccius productus*), la curvina amarilla (*Cynoscion xanthulus*) y el cochito (*Balistes polylepis*). La mayor captura de merluza se obtuvo a una profundidad de 150 metros por debajo de la capa mínima de oxígeno. Las tallas de esta especie fueron menores en comparación con el promedio de talla que se obtiene regularmente en el alto Golfo de California, sin embargo, es necesario continuar con la exploración pesquera para determinar la biomasa y los sitios donde se agrega este recurso.

Palabras clave: merluza del Pacífico, cochito, curvina.

## 2 Abstract

Through the operation of the research vessel Dr. Jorge Carranza Fraser, INAPESCA works to identify the presence of fishing resources that inhabit deep areas and that could be potentially exploitable to propose subsequent analyzes with specific technologies. During a cruise carried out on board the R/V Dr. Jorge Carranza Fraser from January 28 to February 11, 2022, a fishing exploration was made to determine the distribution of potential fishing resources in depths of 100 to 300 meters, through the acoustic and biological sampling, as well as the recording of the environmental conditions that influenced the structure of the analyzed ecosystems. The organisms of commercial interest with the highest abundances were Pacific hake (*Merluccius productus*), Orangemouth weakfish (*Cynoscion xanthulus*), and Finescale triggerfish (*Balistes polylepis*). The largest hake catch was obtained at a depth of 150 meters below the oxygen minimum layer. The sizes of this species were smaller compared to the average size that is regularly obtained in the upper Gulf of California, however, it is necessary to continue with the fishing exploration to determine the biomass and the sites where this resource is added.

Keywords: Pacific hake, Finescale triggerfish, weakfish.



### 3 Introducción

En el año 2020 de acuerdo con la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura) la pesquería alcanzó una cifra récord con 214 millones de toneladas. Esta cantidad de captura genera empleo a 58.5 millones de personas aproximadamente y contribuye a la disminución de la pobreza en el planeta (FAO 2022). En México, según la CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social) entre los años 2018 y 2020 aumento la pobreza de 41.9% (51.9 millones de personas) a 43.9% (55.7 millones de personas) de la población. Asimismo, la pobreza extrema se incrementó de 7.0% (8.7 millones de personas) a 8.5% (10.8 millones de personas) entre 2018 y 2020. Por otro lado, en este periodo la carencia por acceso a la alimentación nutritiva y de calidad aumento de 22.2% (27.5 millones de personas) a 22.5% (millones de personas). En el caso de las entidades federativas que se encuentran en las inmediaciones del Golfo de California y que dependen en gran parte de los recursos pesqueros; en Baja California Sur y Sonora el porcentaje de población en situación de pobreza aumentó de 18.6% a 27.6% y de 26.7% a 29.9% respectivamente. En contraste, en Baja California y Sinaloa disminuyó ligeramente de 23.6% a 22.5% y de 31.0% a 28.1% (CONEVAL 2021). Para minimizar este problema de la región y el país (México) y tratar de garantizar la seguridad alimentaria con productos de alto valor nutritivo como los recursos pesqueros es necesario aumentar esfuerzos de forma responsable y sustentables en especies de profundidad que aún no han sido capturadas o que se capturan a pequeña escala pero que cuentan con potencial pesquero como en el caso de la merluza del Pacífico (Lluch-Cota *et al.* 2006).

La pesquería de merluza del Pacífico *Merluccius productus* Ayres 1855 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 también en filetes (Helser *et al.* 2006, DOF 2019). En México el primer estudio con enfoque de evaluación de recursos demersales en el Golfo de California lo realizó en 1968-1969 el Instituto Nacional de Investigaciones Biológico-Pesqueras en conjunto con la FAO, diez años después en 1979 el Instituto Nacional de Pesca 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, 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. Las estadísticas de capturas de merluza en 1978 se registraron en solo dos puertos, Mazatlán, Sin. y Guaymas, Son. Con 2,300 kg y 9 kg respectivamente (Ehrhardt *et al.* 1980). Los resultados de tal estudio arrojaron 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 en este estudio los resultados se realizaron en áreas donde era posible realizar arrastre de fondo, y no en áreas rocosas donde es posible que se encuentren las especies comerciales y que los



resultaros serían posiblemente muy diferentes a los de zonas muestreadas (Ehrhardt et al. 1980).

La merluza del Pacífico *Merluccius productus* perteneciente a la familia Merlucciidae, en el Pacífico oriental habita desde la costa de Canadá hasta el Golfo de Tehuantepec-México (Lloris et al. 2003). En el Golfo de California, la merluza se encuentra principalmente en el Alto Golfo o Norte del Golfo de California (NGC), donde a partir del año 2000 inicio la pesquería de la especie. Desde ese año hasta el 2019, la captura máxima se registró en el 2014 con 6,628 toneladas. Los arrastres de fondo para capturar a la especie ocurren en el periodo diurno (tres lances en promedio, por la mañana, al mediodía y en la tarde) entre invierno y primavera (enero a marzo) en el NGC (Zamora-García 2020). Para gestionar la sostenibilidad de la pesquería de merluza en el NGC, se ha establecido 80 barcos para la captura desde 2018. Se han realizado propuestas de control y establecimiento de cuotas para administrar esta pesquería (Parra-Alaniz y Ramírez-Rodríguez 2022).

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 (*Merluccius productus*) en aguas de jurisdicción federal del litoral del Océano Pacífico y el Golfo de California (DOF 2019); y que a partir de 2017 se incluyera la ficha de la merluza en la Carta Nacional Pesquera, como un recurso con potencial de desarrollo y en la versión de este documento en el 2022 como un recurso al Rendimiento Máximo Sustentable (RMS) en el Golfo de California (DOF 2022).

En el mundo existen 16 especies del género *Merluccius*, de las cuales en el Pacífico mexicano se encuentra la merluza del Pacífico *Merluccius productus*, 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, vive en amplias regiones del fondo marino, en la plataforma continental desde los 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).

*Merluccius productus* durante el periodo diurno es de hábitos demersales y se encuentra en agregaciones cerca de la plataforma y talud continental, entre 50 y 500 metros, pero llegan hasta profundidades de 900 a 2,000 metros (Alverson y Larkins 1969). En el NGC las mayores capturas con las tallas más grandes de merluzas se han obtenido entre 180 y 370 metros de profundidad en el mes de febrero (Godínez-Pérez 2016). Parra-Alaniz y Ramírez-Rodríguez (2022) encontraron mediante modelos lineales generalizados que los estratos de 200 a 300 y más de 300 metros de profundidad, son más productivos que las profundidades menores de 200 metros. Además, descubrieron que la pesca al mediodía es 11% mejor que la de la mañana, mientras que la captura por la tarde disminuye un 7% comparado con la pesca por la mañana.



Los estudios de las poblaciones de merluza del Pacífico mediante técnicas hidroacústicas (integrated acoustic and trawl IAT) comenzaron a partir de 1977 en el sistema de la Corriente de California en la costa de Estados Unidos y Canadá (Barner *et al.* 1984, De Blois 2019). Las estimaciones de biomasa con estas técnicas se llevan a cabo regularmente (bianual o trianual) en esta región (Fleischer *et al.* 2005, Berger *et al.* 2019), en la cual utilizan la fuerza de blanco (TS de  $-68.5$  dB) para individuos entre 47 y 60 cm propuesta por Traynor (1996). En esta zona, la pesquería de *M. productus* es de gran envergadura llegando a capturar hasta 440,944 toneladas anuales en el año 2017 (De Blois 2019). En el caso de los estudios de hidroacústica en aguas mexicanas, estos iniciaron en el Golfo de Ulloa al oeste de Baja California Sur (Godínez Pérez 2013). El Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INAPESCA) a través del Centro Regional Investigación Acuícola y Pesquera (CRIAP) de Guaymas-Sonora ha realizado investigaciones hidroacústicas (análisis bi-frecuencia) en el NGC periódicamente desde el 2014 en sitios donde se aprovecha habitualmente este recurso con el objetivo principal de información acerca de su dinámica poblacional (Godínez-Pérez 2016, Alvarez-Trasviña *et al.* 2022). En cuanto a las condiciones oceanográficas que tienen influencia en la distribución vertical de la *M. productus*, Alvarez-Trasviña *et al.* (2022) mediante modelos aditivos generalizados encontraron que la temperatura del agua en la columna de agua tiene influencia en la distribución de la merluza en el NGC. Con el modelo explicaron que las mayores capturas se ubicaron donde las temperaturas oscilaron entre 13.2 a 14.0 °C. Por lo tanto, el conocimiento de las condiciones ambientales permite un estudio más completo sobre la dinámica de la especie en la costa oriental del Golfo de California.

De 100% de las capturas de merluza reportadas en el Golfo de California, aproximadamente 8% se concentra en el Puerto de Mazatlán-Sinaloa (Zamora-García 2020). Para generar información biológica y acústica de la especie en la costa oriental del Golfo de California (costa de Sinaloa y sur de Sonora) que permita conocer opciones de aprovechamiento para el sector pesquero, el INAPESCA realizó un crucero denominado "Prospección de merluza del Pacífico (*M. productus*) en la costa oriental del Golfo de California" del 28 de enero al 11 de febrero de 2022 (invierno de 2022) en el B/I Dr. Jorge Carranza Fraser. Además, se recopilaron datos ambientales mediante lances de sonda CTD, termosalinómetro y parámetros meteorológicos.



## 4 Objetivos

### 4.1 Objetivo general

Prospección de merluza del Pacífico (*Merluccius productus*) en la costa oriental del Golfo de California.

### 4.2 Objetivos particulares

- Realizar la prospección acústica con fines de exploración de la especie de interés en la zona de estudio.
- Realizar muestreos de especies de recursos potenciales mediante diferentes artes de pesca en la zona de estudio.
- Caracterización de las condiciones oceanográficas de la zona de estudio mediante la obtención de variables físico-químicas, obteniendo perfiles T-S de la columna de agua.
- Relación de factores físico químicos con la distribución de la especie.

## 5 Área de estudio

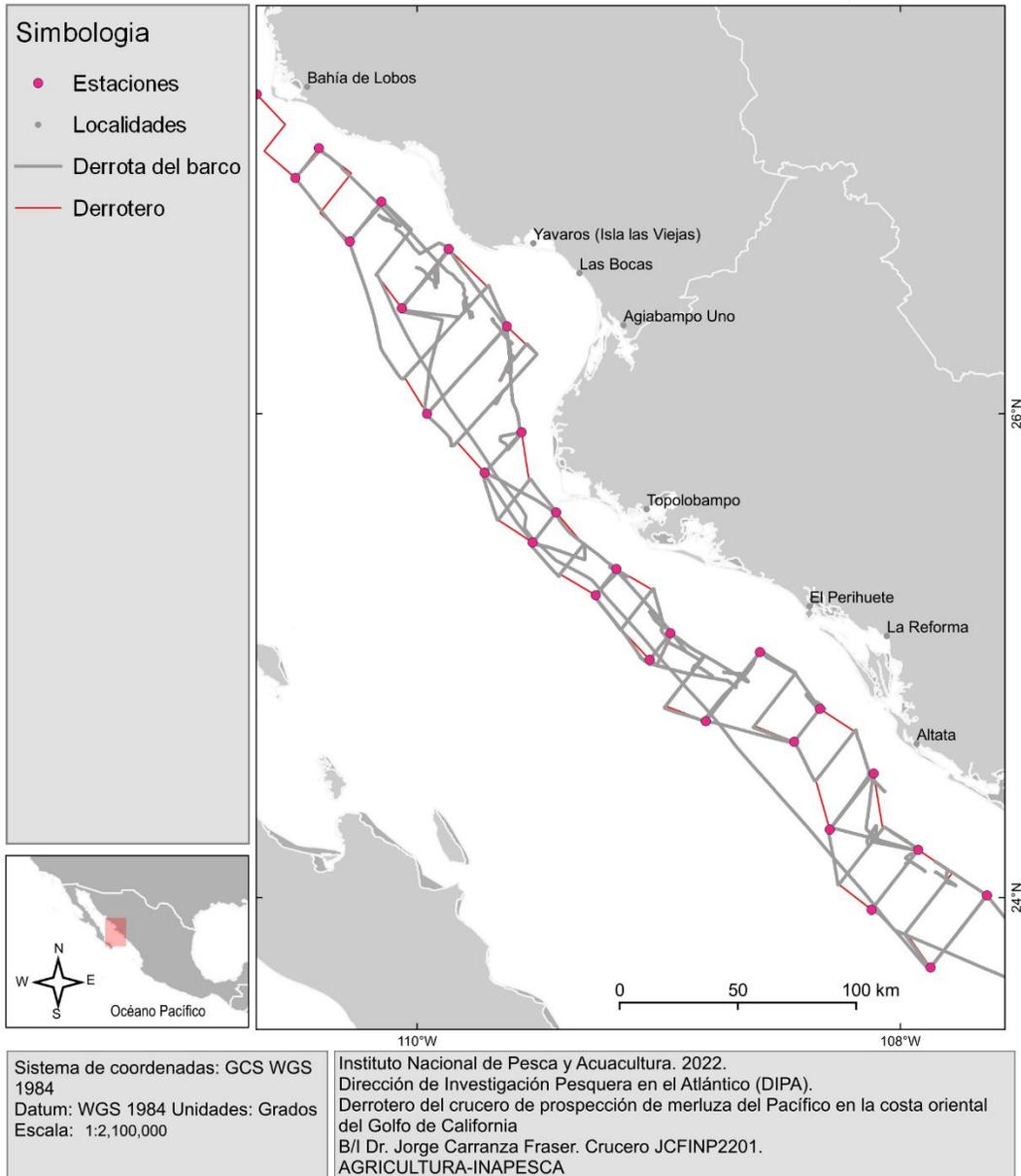
El área de estudio corresponde a la región de la costa oriental del Golfo de California, abarcando los litorales de Sinaloa y Sonora (Figura 1). Esta región fue evaluada en un crucero de investigación con derrotero compuesto de 30 transectos trazados de manera perpendicular a la costa entre las isobatas de 100 y 1,000 m (Anexo I), que posee las coordenadas de los vértices extremos de la siguiente tabla.

**Tabla 1.** Coordenadas extremas de la región de estudio.

| ° Oeste | ° Norte |
|---------|---------|
| 110.938 | 27.796  |
| 111.089 | 27.606  |
| 107.876 | 23.709  |
| 107.643 | 24.007  |



### Derrotero del crucero de prospección de merluza del Pacífico en la costa oriental del Golfo de California



**Figura 1.** Derrotero del crucero JCFINP2201 para la exploración de merluza del Pacífico en la costa oriental del Golfo de California.



## 6 Métodos

### 6.1 Acústica pesquera

#### 6.1.1 Adquisición de información acústica

La adquisición de datos se realizó mediante la operación de un ecosonda Simrad EK60 equipada con cuatro 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 durante el crucero, evitando 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 1024 ms para todas las frecuencias y potencia de 2000 W (18 y 38 kHz), 750 W (70 kHz), 250 W (120 kHz) y 105 W (200 kHz).

El intervalo de repetición de pulsos emitidos fue adaptativo durante el crucero, aplicando una cadencia de tiro que funciona de acuerdo con la profundidad del fondo marino (Tabla 2). El monitoreo se realizó durante alrededor de 12 horas 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 7.07 GB de información de los cuales 3.05 corresponden a la actividad diurna, 2.93 GB a la nocturna y el resto al traslado.

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

| Ping interval (s) | Intervalo de profundidad (m) | Escala de grabación raw (m) |
|-------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 0.25              | 0 – 50                       | 100                         |
| 0.5               | 50.1 – 100                   | 150                         |
| 0.75              | 100.1 – 150                  | 200                         |
| 1                 | 150.1 – 250                  | 300                         |
| 2                 | 250.1 - 500                  | 500                         |

#### 6.1.2 Calibración del ecosonda científica EK60

El ecosonda fue calibrado al sur de isla Isabel (Nayarit) con una esfera de carburo de Tungsteno de 38.1 mm y una esfera de cobre de 68 mm, la primera se utilizó para las frecuencias de 38 y 70 kHz mientras que la segunda para la frecuencia de 18 kHz, de acuerdo con el método propuesto por Foote (1983) y Demer *et al.* (2015). Previo a la



ubicación de la esfera en posición de calibración, se realizó un lanzamiento de sonda CTD para actualizar en el sistema EK60 los parámetros abióticos *in situ* como la temperatura, salinidad, pH y velocidad del sonido en la columna de agua.

Las esferas fueron posicionadas utilizando tres cañas de pesca deportiva colocadas dos en la banda de babor y una en la de estribor, con controles manuales de izado y cobrado de línea. Para la operación de las cañas el equipo de acústica contó con el apoyo del personal participante en el crucero. Tres frecuencias fueron calibradas exitosamente, los transductores fueron configurados de la siguiente manera: longitud del pulso de 1024 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). En la calibración de la frecuencia de 18 kHz se obtuvo un RMSE de 0.27 dB, en la de 38 kHz 0.13 dB y en la de 70 kHz 0.21 dB, posteriormente se cargaron los parámetros al sistema EK60 antes de iniciar el crucero en la costa oriental del Golfo de California.

### 6.1.3 Clasificación acústica

En principio, se cargó la información por transecto recorrido para realizar la corrección de la línea de fondo mediante los algoritmos de Echoview, de esta manera se discriminó la información reflejada por el suelo marino y en la superficie (campo cercano) durante el análisis de los datos. Posteriormente se definieron ocho capas a diferentes profundidades (5-15, 15-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-75, 75-100, 100-200), con el objetivo de acotar la información en función a los hábitos biológicos y distribución en la columna de agua de las especies de interés. El procesamiento también consistió en el trazo de “regiones” en los ecogramas digitales, de las zonas donde se realizaron los lances de pesca o alguna otra actividad ajena a la prospección acústica (p. ej. estaciones de oceanografía). El intervalo de velocidad del buque en prospección a lo largo del derrotero del crucero se validó entre  $5.0 <$  y  $< 9.1$  nudos, las regiones que no cumplieron con esta característica se descartaron del análisis.

Se generaron dos tipos de análisis multifrecuencia para separar los ecos de los peces en general durante la primera etapa del crucero, de los ecos reflejados por organismos de otros grupos biológicos (plancton, medusas, etc.). Este procedimiento consistió en generar un filtro al “sumar” los ecogramas de 18, 38, 70, 120 y 200 kHz, mediante la implementación de un algoritmo en el módulo de variables virtuales de Echoview (Fernandes 2009). La suma de las muestras de fuerza de retrodispersión por volumen ( $S_v$ , en dB re  $1 \text{ m}^{-1}$ ) de las tres frecuencias, se generó con un umbral de -215 dB, obtenido empíricamente hasta conseguir el ecograma limpio (Fernandes 2009). El análisis multifrecuencia se limitó de 5 a 200 metros de profundidad debido a que es la cobertura máxima para la frecuencia de 120 kHz. Como resultado de este procedimiento se generaron ecogramas de 38 kHz únicamente con los registros de los peces. Posteriormente se generó la eointegración (EI) en unidades de muestreo elemental (ESU, por sus siglas en inglés) de 1 mn con las capas de profundidad descritas anteriormente (Simmonds y MacLennan 2005).

La Eointegración (EI) se realizó de acuerdo con el método descrito por Simmonds y MacLennan (2005), en unidades de muestreo (ESU) de 1 mn en cada transecto. La



información resultante se expresó como  $s_A$  o NASC (coeficiente de retrodispersión por milla náutica) con unidades en  $m^2 \cdot mn^{-2}$ . Tales valores fueron convertidos en unidades de biomasa (expresada en número de individuos o volumen) (Simmonds y MacLennan 2005).

Los métodos acústicos para estimar abundancia de peces se basan en el conocimiento de la reflectividad (Target strength) de los peces, la cual es particular para cada especie y se basa en la talla, morfología y fisiología de los organismos (Foote *et al.* 1987). Cuando no se tiene esta información, los resultados no deben ser expresados en términos de biomasa o abundancia absoluta (por ejemplo, en toneladas), sino en unidades de abundancia relativa (por ejemplo en  $m^2 \cdot mn^{-2}$ ) (Castillo *et al.* 2009). Con tal información se generaron mapas de distribución de los valores de energía  $s_A$  o NASC ( $m^2 \cdot mn^{-2}$ ). Para la descripción del NASC, se tomaron como referencia cuatro categorías de concentración descritas en Segura y Aliaga (2013): muy disperso (0-10  $m^2 \cdot mn^{-2}$ ), disperso (10-100  $m^2 \cdot mn^{-2}$ ), denso (100-1,000  $m^2 \cdot mn^{-2}$ ) y muy denso (>1,000  $m^2 \cdot mn^{-2}$ ).

#### **6.1.4 Pesca de reconocimiento**

Los lances de pesca de fondo se realizaron con una red que consiste en un diseño de red de cuatro tapas de gran abertura de arrastre denominado BSC 79/107, 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, Anexo III).

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 objetivo. Una vez seleccionadas las especies objetivo, a las merluzas se realizó el muestreo biológico que consistió en registrar la longitud patrón (LP, cm) y el peso individual (P, kg) de cada una de ellas. En el caso de los pelágicos menores se realizó el muestreo masivo y biológico, mientras que para el resto de la fauna se toman datos de peso o captura (kg) y abundancia (inds.) totales por especie.

El muestreo masivo en pelágicos menores consistió en tomar la longitud patrón (LP, mm) y peso (total, gr) de cada individuo, el cual se colocó en la clase de talla correspondiente (las clases de tallas en calamares se definieron con base en la regla de Sturges, para pelágicos menores se dividen en grupos con intervalos de 5 mm entre cada clase). De manera particular en pelágicos menores, al finalizar la medición y pesaje se contabiliza el número de organismos por clase de talla para obtener la frecuencia por intervalo, enseguida se separaron 5 individuos por clase para el muestreo biológico. De



cada organismo seleccionado se registró el peso individual, LP, longitud furcal (LF, mm), contenido graso, estado de llenado del estómago, sexo, madurez y otolitos sagitales. Los otolitos se preservaron en cápsulas marcadas para su posterior análisis en laboratorio. Cada uno de los datos obtenidos durante el crucero se registró y capturó en formatos y bases de datos específicos, para pelágicos menores cuando era el caso, los cuales sirvieron para el procesamiento y análisis de dicha información.

Al finalizar el procesamiento del muestreo masivo y biológico de merluzas y pelágicos menores, se realizó el registro merístico de otras especies que pudieran presentar potencial de aprovechamiento, así como el registro fotográfico de las especies identificadas en la captura.

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.

### 6.1.5 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 ( $\text{ind}/\text{km}^2$ ), biomasa ( $\text{kg}/\text{km}^2$ ). 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. 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 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).

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

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

### 6.1.6 Análisis geoestadístico

En las investigaciones ambientales y biológicas se obtienen muestras de sitios puntuales debido al tiempo que representaría el estudio de toda una región, aunado a un alto costo económico. En este sentido la geoestadística y la interpolación resultan ser herramientas fundamentales cuando se desea analizar los patrones de distribución geográfica de las variables a partir de muestreos puntuales realizados en el área de estudio (Moral 2004). La geoestadística ha contribuido en el estudio de los recursos pesqueros y en especial a la estimación de la biomasa en sitios no muestreados. Esto debido a que la distribución de la densidad de peces en dos puntos cercanos presenta autocorrelación espacial, por lo tanto, es posible realizar una estimación de la abundancia siempre y cuando el espaciamiento de las muestras esté más cerca que el rango obtenido del semivariograma (Rivoirard *et al.* 2000). La geoestadística utiliza el semivariograma o variograma para analizar el comportamiento espacial de una variable sobre una zona en distintas direcciones y distancias. El variograma es una representación gráfica, donde en el eje de las abscisas se encuentra el intervalo de muestreo con dirección y sentido, mientras que en el eje de las ordenadas se registra la semivarianza. El variograma mide la correlación espacial entre dos puntos (Isaaks y Srivastava 1989). El análisis geoestadístico se lleva a cabo en tres etapas.

La primera etapa consiste en el análisis exploratorio de los datos. En este paso se realizan los análisis estadísticos descriptivos como la media, mediana, desviación estándar y la prueba de normalidad.

En la segunda etapa se realiza el análisis estructural de los datos. En este punto se calcula el variograma experimental mediante la siguiente ecuación:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} + \sum_{i=1}^{Nh} \{Z(x_i) - Z(x_i + h)\}^2$$

donde  $\gamma(h)$  es el semivariograma experimental.  $Z(x_1)$  indica el valor de la propiedad en el lugar  $x_i$ ,  $Z(x_i + h)$  es el valor de una propiedad a una distancia h del lugar  $x_i$ .  $Nh$ , es el



número de pares de datos separados por una distancia  $h$  (Isaaks y Srivastava 1989, Armstrong 1998).

El variograma y su representación gráfica está compuesto de tres partes:

El efecto pepita o nugget: la intersección de la curva del variograma con el origen, sin embargo, puede presentar discontinuidad con el origen lo que produce al efecto pepita ( $C_0$ ). Cuando el valor del nugget es negativo por defecto es cero.

La meseta o sill: es el valor constante de la semivarianza y expresa la ausencia de correlación espacial ( $C_0+C_1$ ).

El rango: es la zona de influencia en la cual se presenta autocorrelación espacial mientras que al llegar a la meseta (sill) se vuelve nula.

Otro paso esencial después de la construcción del variograma experimental es el ajuste a un variograma teórico de acuerdo con los modelos definidos. Entre los más comunes se encuentran el modelo esférico, gaussiano y pepita.

El modelo esférico muestra un comportamiento con una tendencia lineal hasta que alcanza una cierta distancia (rango) y después se estabiliza en la meseta. Tiene una ecuación polinomial y es el más utilizado (Armstrong 1998). La expresión matemática del modelo teórico está representada por

$$\gamma(h) = \{C \left( 1.5 \frac{|h|}{a} - 0.5 \left( \frac{|h|^3}{a^3} \right) \right), \quad \text{si } |h| \leq a$$

o

$$\gamma(h) = \{C \mid |h| \geq a$$

donde  $C$ , es la meseta

$C = (C_0+C_1)$ ,  $C_0$  es el efecto pepita y  $C_1$  es la varianza espacial

$h$  es la distancia,  $a$  es el rango del variograma donde la variable ya no presenta autocorrelación espacial.

El modelo gaussiano representa un fenómeno extremadamente continuo. La representación gráfica del variograma inicialmente presenta un comportamiento parabólico cerca del origen y posteriormente se estabiliza (Armstrong 1998). La expresión matemática está dada por

$$\gamma(h) = C(1 - \exp(-\frac{|h|^2}{a^2}))$$

El modelo pepita (Nugget) puro corresponde a un fenómeno aleatorio sin correlación espacial entre valores cercanos (Armstrong 1998).



$$\gamma(h) = 0 \quad h = 0$$

o

$$= C \quad |h| > 0$$

Para describir la dependencia espacial se utilizó la clasificación propuesta por Cambardella *et al.* (1994). Estos autores establecen el porcentaje de la variabilidad aleatoria (nugget) dentro de la variabilidad total (sill, proporción  $C_0/(C_0+C_1)$ ), dichas categorías corresponden a: dependencia espacial fuerte (nugget <25% del sill), dependencia espacial moderada (nugget entre 25 y 75 % del sill) y dependencia espacial débil (nugget >75% del sill). Cuando el variograma muestra un comportamiento similar en todas las direcciones (eg. 0°, 45°, 90°, 135°) representa un fenómeno isotrópico (variograma omnidireccional) mientras que cuando muestran ciertos comportamientos en direcciones específicas es anisotrópico (variograma direccional; Isaaks y Srivastava 1989). Para determinar el grado de confiabilidad del modelo teórico del semivariograma se utiliza la validación cruzada. La validación con el método k-fold se realizó mediante el paquete gstat de R (Pebesma 2004, Bivand *et al.* 2013). El número de iteraciones (k) fue de cinco.

La tercera etapa consiste en la predicción de la variable en toda el área de estudio.

### 6.1.7 Modelación espacial

Los árboles de clasificación y regresión (CART por sus siglas en inglés) son modelos que arrojan predicciones 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 y son utilizados cuando la variable dependiente es continua (Breiman *et al.* 1984). Los CART contienen tres elementos principales:

1.      Nodo raíz: en este paso se realiza la primera división de acuerdo con la variable más importante.
2.      Nodos intermedios: posterior a la división del nodo raíz se realizan las particiones de los datos en función a las variables.
3.      Ramas: resultado de las particiones de los nodos inmediatamente superiores.
4.      Hojas. nodos finales que indican la predicción del valor de la variable respuesta.

En el árbol de regresión cada nodo tiene como objetivo encontrar la variable explicativa que permita generar una predicción de la variable respuesta. Los valores de los nodos terminales contienen la media de las observaciones en esa región. En el árbol de regresión para elegir la división, el algoritmo utiliza la varianza más baja. La división se repite hasta alcanzar su máximo crecimiento, pero para evitar el sobreajuste del modelo se realiza la poda que consiste en buscar el mejor subárbol del árbol máximo (Breiman *et al.* 1984, Genuer y Poggi 2020).



Random Forest (RF) son modelos formados 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. Cada uno de los árboles crece hasta su máxima extensión. 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 que 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 si 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, en el modelo RF para conocer la validez del modelo y 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: el número de árboles en el bosque, por defecto es 500.
2. mtry: el 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: el 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: este hiperparámetro indica la fracción de observaciones que utilizara cada árbol. Los valores más pequeños indican árboles menos correlacionados (Lovelace *et al.* 2019).

### **6.1.8 Validación cruzada y ajuste de hiperparámetros**

En los modelos de aprendizaje automático, para evaluar su capacidad predictiva, se utilizan técnicas de validación cruzada o cross-validation (VC o CV; 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 (subconjuntos) de los datos (Jung y Hu 2015, Pérez-Planells *et al.* 2015). Posteriormente se calcula 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). Esta tarea genera un CV-anidado el cual inicia con dividir los datos en  $k$  subconjuntos y se denomina bucle externo. Los datos de entrenamiento ( $k-1$ ) sirven para realizar una CV de cada valor del espacio de búsqueda de hiperparámetros, este paso se denomina bucle interno. Posteriormente el hiperparámetro con el mejor rendimiento de la CV de cada bucle interno se pasa al externo. En el siguiente paso se entrena el modelo en cada conjunto ( $k$ ) del bucle externo utilizando el mejor hiperparámetro del bucle interno. Todos estos modelos se utilizan para hacer predicciones en sus conjuntos de prueba. Por último, los hiperparámetros promedio de los modelos en el bucle externo informan la mejora del modelo final y como funcionaria con otros datos. Este proceso se resume en que se utiliza la validación cruzada para validar el modelo RF incluido el ajuste de hiperparámetros óptimos (Rhys 2020).

### **6.1.9 Random Forest para predicción espacial**

Random Forest es una alternativa para generar predicciones espaciales (Nussbaum *et al.* 2018); sin embargo ignora el contexto geográfico durante el modelado. Una de las soluciones a este problema es utilizar como covariables la longitud y latitud, aunque Møller *et al.* (2020) mencionan que conduce a problemas lineales y ortogonales en la predicción, por lo tanto, recomiendan utilizar Coordenadas Geográficas Oblicuas (OGC por sus siglas en inglés). Por otro lado, Hengl *et al.* (2018) proponen usar *Random Forest predicción espacial* al cual denomina “RFsp”. En el presente estudio se utilizan coordenadas geográficas oblicuas debido a que Møller *et al.* (2020) muestran mejoras en los resultados que la técnica tradicional (Random Forest) y el método de *RFsp*.

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

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) proponen tres estrategias para realizar particiones espaciales. La primera la denominan “bloque espacial”, el cual divide los datos espaciales mediante



bloques cuadrados o rectangulares. La segunda “bloque por buffer” el cual genera bloques de entrenamiento y prueba separados de acuerdo con un radio específico alrededor de cada punto. El tercer método es el “bloque ambiental” que utiliza el método de agrupación K-means de las covariables ambientales, el número de bloques (clúster) es el que se elige para realizar la agrupación. Este último, también se puede agrupar a través de las coordenadas espaciales en lugar de realizar la agrupación por las covariables. El método que se utiliza en el presente trabajo es mediante la agrupación K-means (Brenning 2012).

En la validación del modelo RF la partición de datos (K-fold) necesita ser espacial, así como en la búsqueda de hiperparámetros óptimos. El proceso es similar al descrito anteriormente, pero integrando las particiones geográficas, para el ajuste espacial de los hiperparámetros (Lovelace *et al.* 2019, Schratz *et al.* 2019).

### **6.1.11 Modelamiento espacial mediante Random Forest**

Los modelos de aprendizaje automático se han convertido en una herramienta común en los modelos de distribución de especies a pesar de no contar con la interpretación de los modelos clásicos como la regresión (Redfern *et al.* 2017, Péron *et al.* 2018, Muhling *et al.* 2020, Ryo *et al.* 2021). El modelo Random Forest, arroja la importancia de las variables predictoras, 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 predicción del coeficiente de retrodispersión por milla náutica cuadrada (NASC o  $s_A$ ) en el área de estudio, se realizó mediante Random Forest 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. Por otro lado, *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. Todo el modelado espacial y estadístico se realizó con el lenguaje de programación R versión 4.1.3 (R Core Team 2022).

Las covariables se obtuvieron de los datos del CTD, termosalinómetro, imágenes satelitales, el modelo digital de batimetría (MDB), obtenido del GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans; GEBCO 2020) y las coordenadas geográficas oblicuas (OGC por sus siglas en inglés) mediante el paquete OGC desarrollado por Møller (2019). Por otro lado, la covariable distancia a la costa (distancia euclidiana), se realizó con el algoritmo *Proximity raster* de SAGA utilizando el software QGIS versión 3.18.2 (QGIS.org 2021).

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 6250 modelos.

## **6.2 Oceanografía pesquera**

### **6.2.1 CTD (Conductividad Temperatura Profundidad)**

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) Idronaut 320 plus 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. Sin embargo, también se realizaron algunas estaciones oceanográficas a mil metros de profundidad, aplicando el mismo criterio. 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.

### **6.2.2 Red Bongo**

Para el muestreo de zooplancton se realizaron simultáneamente 72 lances oblicuos con una red tipo Bongo (dos aros de aluminio unidos entre sí, de 70 cm de diámetro), con dos redes cónicas de 4 metros de longitud de 300 y 505  $\mu\text{m}$  de luz de malla respectivamente. La máxima profundidad de estos arrastres fue hasta 200 metros, donde la profundidad de la estación lo permitió. Cada muestra fue revisada a bordo y separada en grandes grupos de zooplancton para su identificación.

Para la preservación y fijación de 144 muestras de zooplancton de cada tipo de red, se tomó una muestra dependiendo de la biomasa obtenida; el zooplancton capturado en la red de 300 micras fue conservado en alcohol al 96%, mientras que las muestras de la red de 500 micras fueron fijadas en formol al 4 % amortiguado con borato de sodio, ambas en contenedores de plástico debidamente etiquetados con la clave del crucero, el número de la estación, las coordenadas geográficas, la profundidad máxima del arrastre, la hora y la fecha de muestreo. La muestra en alcohol fue destinada para análisis de ADN, con el objeto de determinar las especies capturadas. La muestra de formol, para clasificación de grupos y especies, así como biomasa obtenida.

### **6.2.3 Muestreo continuo superficial de huevos de peces (CUFES, por sus siglas en inglés)**

El sistema CUFES es un aparato que realiza muestreos superficiales de huevos, larvas de peces e ictioplancton por medio de un mecanismo de flujo continuo y regular, el cual



bombee agua de mar desde el casco del buque al laboratorio húmedo. Para el muestreo se trazaron segmentos con una longitud de 8 millas náuticas (duración aproximada de 60 minutos), sobre el derrotero del crucero, los cuales se llevaron a cabo durante la navegación en periodos diurnos y nocturnos. Se registraron los datos necesarios para calcular la biomasa capturada en base al tiempo de arrastre con un caudal de 20 L/minuto; fueron obtenidas 127 muestras de ictioplancton con este método de captura y conservadas en formol al 4% en contenedores de vidrio de borosilicato, etiquetado con clave de crucero, fecha, hora inicial, secuencia numérica y número de SCAN del termosalinógrafo. Se realizó un análisis preliminar de cada muestra a bordo del buque durante el crucero (algunas muestras no alcanzaron a analizarse y quedarán para su posterior estudio).

#### **6.2.4 Meteorología**

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. En cada EO fue activado el perfilador acústico o ADCP y se obtuvieron más de mil archivos en total para su posterior análisis.

#### **6.2.5 Termosalinómetro**

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.

### **6.3 Oceanografía Satelital**

#### **6.3.1 Anomalía de la temperatura superficial marina**

La anomalía (desviación respecto al promedio que permite establecer condiciones cálidas o frías) de la temperatura superficial del mar satelital con resolución espacial de 1 km utilizada en este informe fue calculada por el Physical Oceanography Distributed Active Archive Center (PODAAC-JPL-NASA) y puestas a disposición en la base de datos de ERDDAP-NOAA. La temperatura superficial marina se obtuvo por la fusión de los datos provenientes del sensor MODIS (Aqua y Terra), AVHRR, microondas y datos *in situ*. Estas temperaturas fusionadas denominadas MUR (Multi-scale Ultra-high Resolution) son obtenidas principalmente durante el periodo nocturno. Dicha fusión, así como su resolución proporciona un mejor producto respecto a otros análisis existentes (Chin *et al.* 2017). Estas imágenes son un producto dinámico obtenido como elementos de apoyo para el análisis ambiental.



### **6.3.2 Índices climáticos**

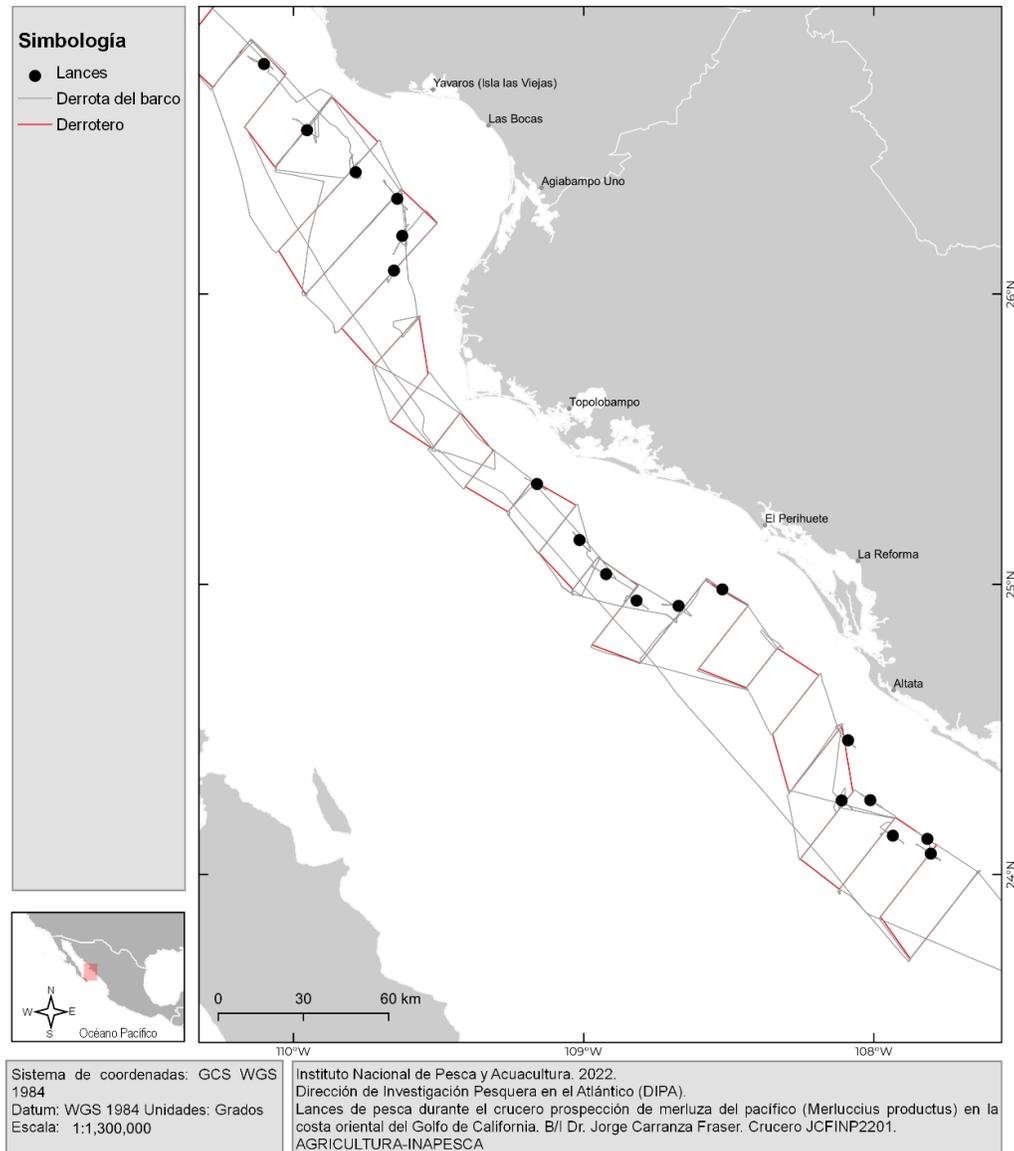
El Niño Oscilación del Sur (ENSO por sus siglas en inglés) es un fenómeno natural con perturbaciones oceánicas y atmosféricas que ocurre en el Pacífico tropical y tiene impactos globales. El impacto principal es el calentamiento superficial del océano que ocurre cada 2-7 años mientras que la fase fría se le conoce como La Niña (Capotondi *et al.* 2015). Los índices climáticos como el Índice Oceánico de El Niño (ONI) y el Índice Multivariado de El Niño (MEI) son indicadores que evalúan el estado del ENSO en el Pacífico tropical y que tienen influencia en el Pacífico mexicano. Estos índices se revisaron en la misma temporalidad de la investigación, para identificar las condiciones del ambiente.

Los valores de los índices climáticos se extrajeron de las bases de datos del Climate Prediction Center-CPC (National Weather Service) de la NOAA (ONI; [https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/detrend.nino3.4.ascii.txt](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/detrend.nino3.4.ascii.txt)) y el Physical Sciences Laboratory de la NOAA (MEI; <https://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/data/meiv2.data>).

## **7 Resultados**

### **7.1 Pesca de identificación**

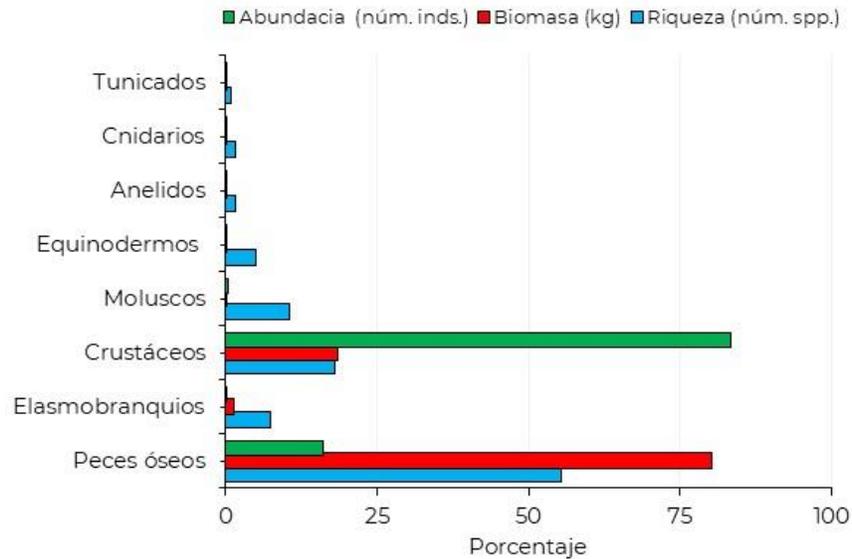
Durante la campaña se realizaron un total de 18 arrastres de fondo a profundidades determinadas por el ecotrazo (Figura 2). Los lances de pesca se llevaron a cabo con base en el reconocimiento hidroacústico previo de la disponibilidad y abundancia de peces, así como aprovechando las condiciones meteorológicas favorables para las maniobras correspondientes. Los arrastres tuvieron duración promedio de 30 minutos y 3.2 nudos de velocidad media.



**Figura 2.** Distribución de lances de pesca de fondo en la costa oriental del Golfo de California, en el invierno del 2022, crucero JCFINP2201.

El muestreo se realizó a finales de enero y principios de febrero, durante el invierno de 2022, como parte del crucero de investigación JCFIN2201 en la costa oriental del Golfo de California, específicamente en las costas de Sonora y Sinaloa. La profundidad del fondo marino se ubicó entre 39-555 m, mientras que los blancos (actividad biológica) se identificaron entre 30 y 550 m, con un promedio del blanco a 134 m (Anexo IV). Los lances tuvieron un tiempo efectivo de 9 horas y 48 minutos, con un promedio de 33 minutos por lance. Los lances se realizaron a una distancia de la costa comprendida entre 1.37 y 4.6

mn con un promedio de 3.1 (Anexo IV). El área barrida de los 18 lances fue de 0.65 km<sup>2</sup> en donde se registró una captura total de 4.5 t y una abundancia calculada de 163,386 individuos, con una riqueza específica de 123 taxones. En los que se identificaron ocho grandes grupos taxonómicos: tunicados, cnidarios, anélidos, equinodermos, moluscos, crustáceos, elasmobranquios y peces óseos (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 en la costa oriental del Golfo de California, invierno del 2022, crucero JCFINP2201.

Se observa que proporcionalmente los peces óseos fueron los mejor representados en peso (80%) y riqueza específica (55.2%) mientras que en la abundancia calculada (16%) cada especie registró entre 1 y 7,507 individuos (Figura 3). El segundo grupo más importante fue el de los crustáceos con la mayor abundancia (83.4%) de la captura total, en tanto que la captura y riqueza específica no rebasó más de 20%. Entre los crustáceos, la langostilla *Pleuroncodes planipes*<sup>1</sup> registró 99.2% en abundancia. El resto de los grupos mostraron valores menores a 1.2% en peso y abundancia (Figura 3), salvo los moluscos que tuvieron 10.5% en riqueza. Lo que muestra que los peces y crustáceos tuvieron mayor presencia en los lances de fondo durante el presente muestreo.

## 7.2 Diversidad

La riqueza de especies registrada en los lances de pesca superficial ascendió a 124 taxones, correspondientes a 77 familias y 88 géneros. En 34 taxones no fue posible identificar la categoría de especie, por lo que quedan registrados a categoría de Clase (Anthozoa), familia y género. Los grupos mejor representados fueron los peces óseos con 68 taxones, seguido por los crustáceos con 22, moluscos con 13, elasmobranquios con 9, equinodermos con 7, los anélidos y cnidarios con 2 cada uno y, tunicados con un solo taxón. A nivel grupo los peces óseos registraron 36 familias, los crustáceos con 16, los

<sup>1</sup> La langostilla *Pleuroncodes planipes* cambio de género recientemente a *Grimothea planipes* (Worms 2023), sin embargo, por ser de uso común el nombre anterior, en este estudio se sigue considerando como tal.



moluscos con 12, los equinodermos y elasmobranquios con 5 familias cada uno, los tunicados, cnidarios y anélidos con una sola familia cada uno.

El grupo de peces óseos registró la mayor riqueza específica en la categoría de familia, siendo las más diversas la familia Triglidae (6 spp.), Paralichthyidae (5 spp.), Cyclopseptidae y Scorpaenidae (4 spp.). En los otros grupos taxonómicos, la familia Urotrygonidae (elasmobranquios) mostró una riqueza específica de tres. El resto de los grupos taxonómicos tuvieron entre una y dos especies por familia.

### **7.3 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 la categoría se asignó con respecto al valor de las medianas de la densidad y de la frecuencia de ocurrencia de cada especie. En el análisis O-T se identificó que poco más de la mitad de los taxones (52.48%) se ubicaron en el grupo de especies **Raras** (Figura 4), los cuales representan un porcentaje alto dentro de la comunidad, aunque su presencia fue en muchos casos de un solo ejemplar, con valores de densidad y frecuencia de ocurrencia muy baja (menores a la media de ambos parámetros). El siguiente grupo con alta representatividad fue el grupo de especies **Dominantes**, con valores de densidad y frecuencia de ocurrencia mayores a la media, tales taxones representaron 25.8% en las colectas de lances de fondo. Una quinta parte de la diversidad de taxones integraron el grupo de **Abundantes**, con valores de densidad mayores a la media y menor a la media en el caso de la frecuencia de ocurrencia. Apenas cuatro taxones (3.2%) integraron el grupo de los **Frecuentes** los cuales mostraron baja densidad y alta frecuencia de ocurrencia (Figura 4). Entre las especies dominantes se encontraron la merluza objeto de estudio de este crucero, así como la langostilla *P. planipes*, la vaca voladora *Prionotus stephanophrys* y la curvina amarilla *Cynoscion xanthulus*.





La lista de especies capturadas ascendió a 123, solo se muestran los primeros 15 lugares en valor de importancia de 44.5 a 1.85, donde aparecieron las merluzas. Las restantes 108 especies alcanzaron valores de importancia entre 9.6 y 1.8, lo que representa que un 88% son especies con menor participación en las capturas de pesca de fondo en la costa oriental del Golfo de California en el invierno de 2022 (Tabla 3).

**Tabla 3.** Listado de especies con mayor IVI, capturadas en los lances de pesca de fondo en el invierno del 2022 en la costa oriental del Golfo de California, cruceo JCFINP2201.

| Núm.     | Taxón                              | IVI         | Captura (%)  | Abundancia (%) | FO (%)      | CPUE          | O-T |
|----------|------------------------------------|-------------|--------------|----------------|-------------|---------------|-----|
| 1        | <i>Pleuroncodes planipes</i>       | 44.5        | 17.501       | 82.697         | 33.3        | 1168.1        | D   |
| 2        | <i>Prionotus stephanophrys</i>     | 26          | 9.254        | 1.938          | 66.7        | 777.12        | D   |
| 3        | <i>Cynoscion xanthulus</i>         | 17.5        | 11.499       | 2.254          | 38.9        | 932.2         | D   |
| 4        | <i>Zalieutes elater</i>            | 16.8        | 0.147        | 0.196          | 50          | 11.74         | D   |
| <b>5</b> | <b><i>Merluccius productus</i></b> | <b>15.9</b> | <b>6.012</b> | <b>2.734</b>   | <b>38.9</b> | <b>537.11</b> | D   |
| 6        | <i>Pontinus sierra</i>             | 15.8        | 29.641       | 1.066          | 16.7        | 2598.2        | D   |
| 7        | <i>Lophiodes caulinaris</i>        | 15          | 0.495        | 0.094          | 44.4        | 41.66         | D   |
| 8        | <i>Luidia</i> sp.                  | 14.8        | 0.018        | 0.032          | 44.4        | 1.64          | D   |
| 9        | <i>Achelous xantussi</i>           | 13.1        | 0.061        | 0.201          | 38.9        | 4.88          | D   |
| 10       | <i>Platymera gaudichaudii</i>      | 13          | 0.069        | 0.03           | 38.9        | 5.63          | D   |
| 11       | <i>Sicyonia picta</i>              | 13          | 0.003        | 0.035          | 38.9        | 0.26          | D   |
| 12       | <i>Baldwinella eos</i>             | 12.3        | 15.675       | 4.636          | 16.7        | 1412.7        | D   |
| 13       | <i>Citharichthys fragilis</i>      | 11.2        | 0.073        | 0.166          | 33.3        | 5.42          | D   |
| 14       | <i>Hippoglossina bollmani</i>      | 11.2        | 0.185        | 0.052          | 33.3        | 14.24         | D   |
| 15       | <i>Trichiurus nitens*</i>          | 9.7         | 0.417        | 0.785          | 27.8        | 34.77         | D   |

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

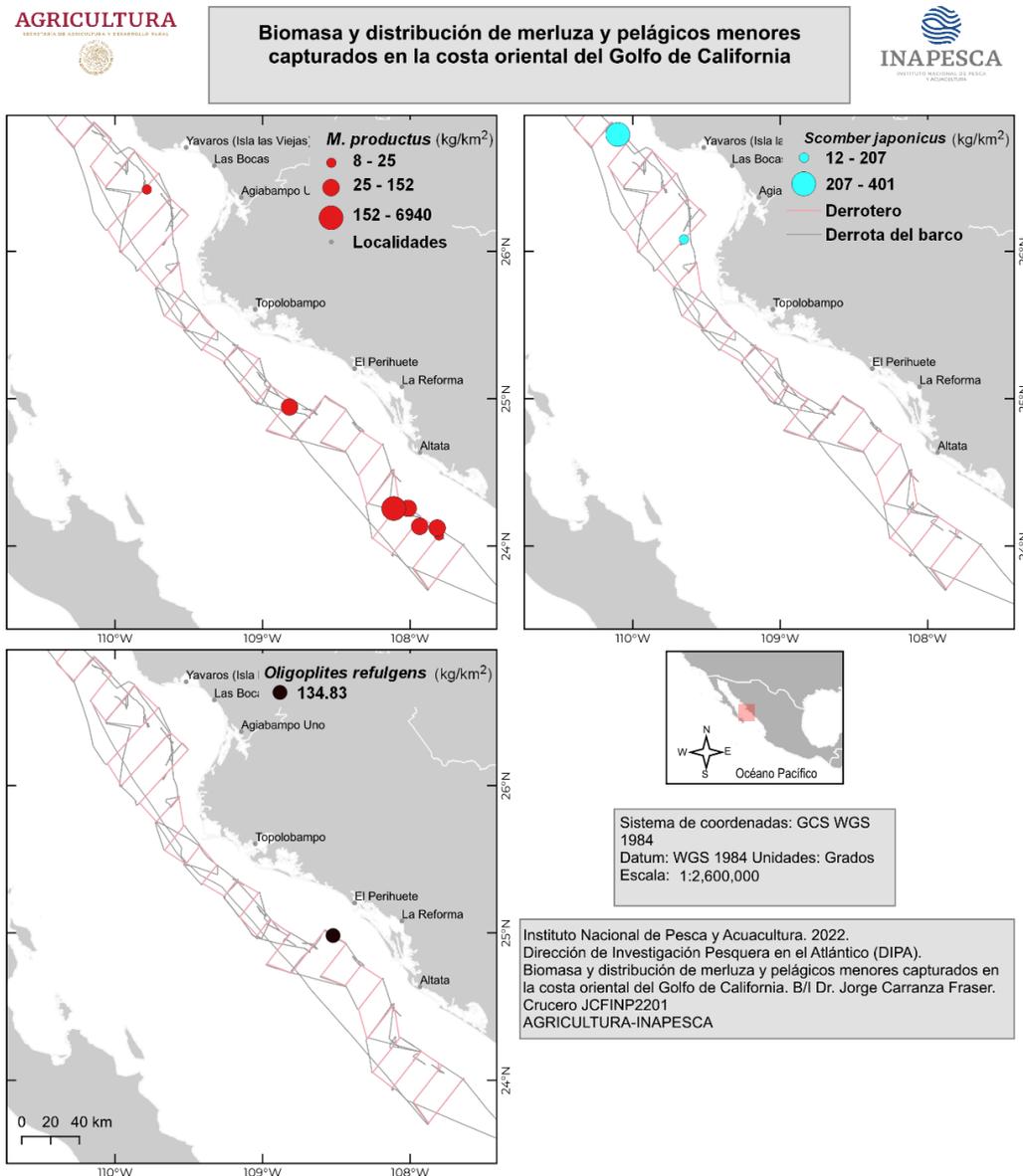
### 7.5 Captura de merluza en lances de fondo

Las capturas de la merluza *M. productus* registraron una captura y abundancia estimadas de 271.02 kg y 4,467 individuos, respectivamente, con presencia positiva en siete de 18 lances de fondo, lo que representa una positividad de 38.8%, con una captura por unidad de esfuerzo (CPUE) igual a 537.1 kg/hr.

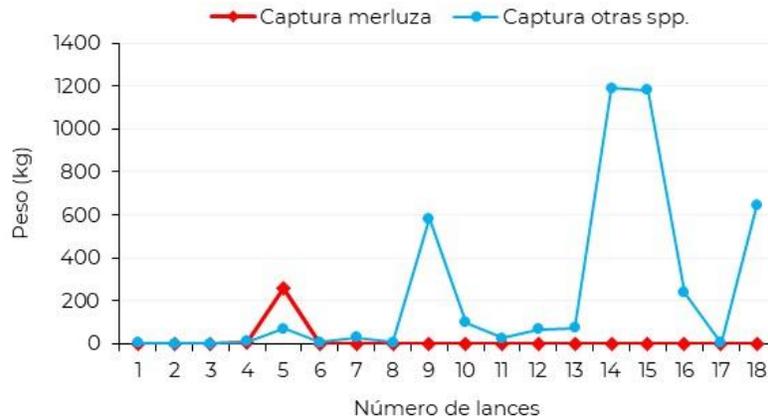
Los siete lances de pesca donde se capturaron las merluzas fueron en horario diurno entre las 09:58 y las 19:10, se ubicaron entre 27 y 50 km desde las costas de Yavaros hasta la barra de Lucernilla, Sinaloa, entre 58 y 349 m de profundidad, con mayor ocurrencia y captura frente a esta última localidad. 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 6), 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 6).



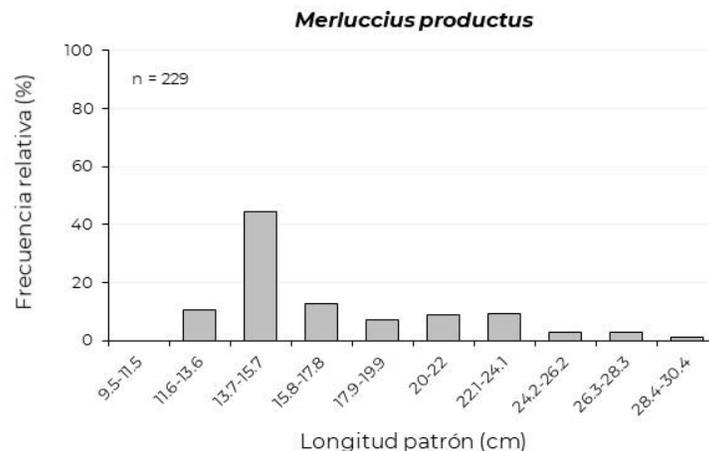
**Figura 5.** Distribución y captura de merluza y pelágicos menores en los lances de pesca de fondo en la costa oriental del Golfo de California, invierno del 2022, crucero JCFINP2201.



**Figura 6.** Captura de la merluza por lance de pesca positivo en el invierno del 2022, en la costa oriental del Golfo de California, cruceo JCFINP2201.

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

El intervalo de tallas para la merluza se ubicó entre 11.6 y 30.4 cm de longitud patrón (LP), tallas distribuidas en siete clases de tallas, con una media de 17.28 cm (DS  $\pm 4.0$ ), la moda en la clase 13.7-15.7 cm LP donde se agrupó 44.5% de las merluzas capturadas (Figura 7). 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 11.6 y 17.7 cm LP, alrededor de los 100 m de profundidad, donde se identificó el inicio del escarpe. El peso individual de las merluzas se registró entre 0.02 kg y 0.34 kg, con un promedio de 0.07 kg (DS  $\pm 0.05$ ).

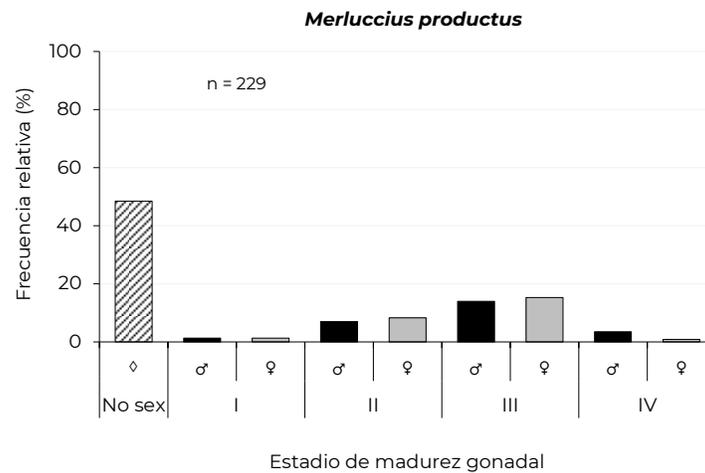


**Figura 7.** Estructura de talla de merluzas capturadas en el invierno del 2022, costa oriental del Golfo de California, cruceo JCFINP2201.

### 7.7 Sexo y madurez gonadal

La identificación de sexo y la madurez gonadal en las merluzas se realizó a 118 individuos de 229 analizados, de los cuales 59 fueron machos y 59 hembras, lo que da una relación 1M:1H, cabe mencionar que para 111 merluzas no fue posible identificar el sexo, debido a que se guardaron para otros estudios y los individuos no fueron eviscerados, por lo que fueron considerados como no sexados.

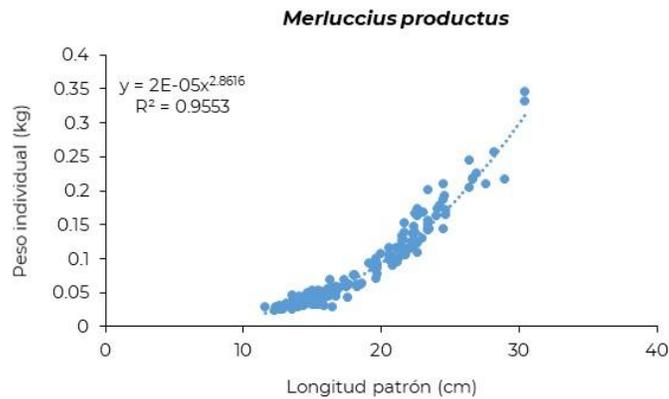
En las merluzas que fue posible identificar el grado de madurez gonadal, se encontró que presentaban cuatro estadios de desarrollo: inmaduro=I, gónadas en desarrollo=II, en proceso de maduración=III y, predesove=IV). Se observó que 86.4% de las merluzas tenían gónadas en desarrollo y en proceso de maduración, mientras que muy pocas merluzas (13.5%) eran inmaduras o ya estaban en predesove (Figura 8).



**Figura 8.** Proporción de estadio gonadal de la merluza capturada en el invierno del 2022, en la costa oriental del Golfo de California, crucero JCFINP2201. Nota:  $\diamond$  = no sexado.

### 7.8 Relación Peso-Longitud

La relación entre el peso y la longitud patrón de las merluzas mostró un valor de la pendiente de 2.8, en donde se observó un valor alto de correlación de  $R^2 = 0.95$  (Fig. 9). Lo que muestra que el crecimiento de las merluzas es de tipo alométrico negativo.

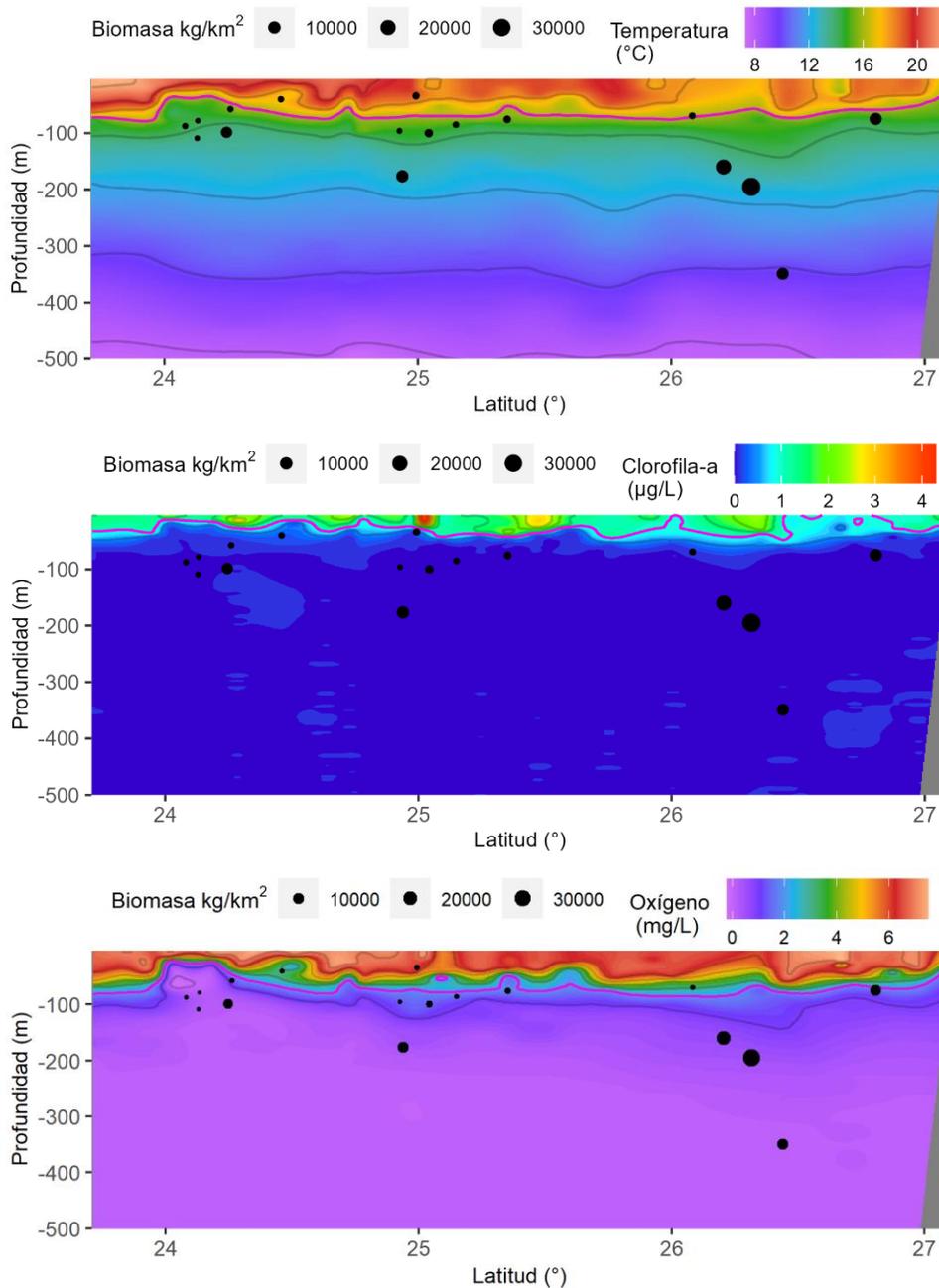


**Figura 9.** Relación longitud patrón-peso de la merluza capturada en el invierno del 2022, en la costa oriental del Golfo de California, crucero JCFINP2201.

### 7.9 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 58 m hasta 349 m con un promedio de 137 m. En tales sitios la temperatura osciló entre 13.45 °C y 16.24 °C, con un promedio de 14.8°C, en cuanto a la salinidad, ésta se mantuvo casi constante dentro de un intervalo desde 34.76 hasta 34.99 ups, con un promedio de 34.8. Respecto al oxígeno disuelto, los valores oscilaron entre 0.2 y 1.64 mg/L con un promedio de 0.61 mg/L (Figura 10).

Cabe mencionar que las mayores capturas de merluzas se registraron alrededor de los 100 m de profundidad, con una temperatura de 13.45°C, una salinidad de 34.8 ups, con 0.2 mg/L de oxígeno (Figura 10).



**Figura 10.** Captura de merluza y relación con parámetros ambientales, capturada en el invierno del 2022, en la costa oriental del Golfo de California, crucero JCFINP2201. La línea color magenta representa valores menores a 16 ° C, a 35 ups de salinidad y a 0.2 mg/L de oxígeno.

### 7.10 Pesca de peces pelágicos menores

En las capturas de los lances de fondo se registró la presencia de dos especies de pelágicos menores, la sardina piña *Oligoplites refulgens* y la macarela *Scomber japonicus* (Figura 5). Es muy probable que su presencia se deba a que fueron capturados cuando

la red de fondo estaba en proceso de recuperación, ya que son especies que se encuentran normalmente en las capas superficiales de la columna de agua.

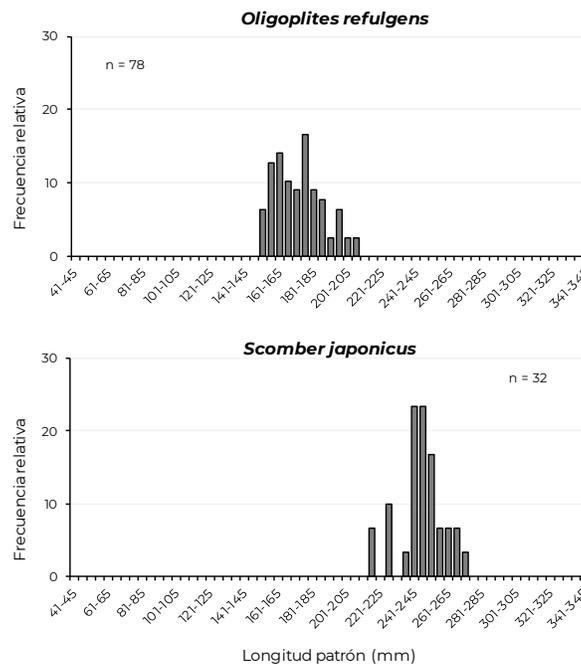
### 7.11 *Oligoplites refulgens* sardina piña

La sardina piña se registró en un solo lance de fondo (L7) con una captura de 4.3 kg distribuida en 78 individuos. La captura calculada de la sardina piña fue de 134.8 kg/km<sup>2</sup> y su densidad en el área fue de 2,445 individuos por km<sup>2</sup>. Lo que permitió calcular la captura por unidad de esfuerzo de 8.63 kg/hr. El análisis de asociación coloca a la sardina piña en el grupo de las especies *abundantes*, con un valor de IVI = 1.9 (Tabla 4). El lance se localizó a 33.6 km de la isla Altamura, Sinaloa a una profundidad entre 30 y 38 m. La captura de pelágicos menores representó 14.6% de la captura total del lance 7.

**Tabla 4.** Parámetros biológicos de especies de pelágicos menores, capturados en el invierno del 2022, en la costa oriental del Golfo de California, crucero JCFINP2201.

| Taxón                        | Peso (kg)   | Abundancia (inds.) | FO       | Captura (kg/km <sup>2</sup> ) | Densidad (ind/km <sup>2</sup> ) | CPUE (kg/hr) | IVI | O-T |
|------------------------------|-------------|--------------------|----------|-------------------------------|---------------------------------|--------------|-----|-----|
| <i>Oligoplites refulgens</i> | 4.3         | 78                 | 1        | 134.83                        | 2445.79                         | 8.6          | 1.9 | A   |
| <i>Scomber japonicus</i>     | 15.1        | 64                 | 2        | 413.66                        | 1753.37                         | 26.64        | 3.8 | A   |
| <b>Total general</b>         | <b>19.4</b> | <b>142</b>         | <b>3</b> | <b>548.49</b>                 | <b>4199.17</b>                  | <b>35.24</b> |     |     |

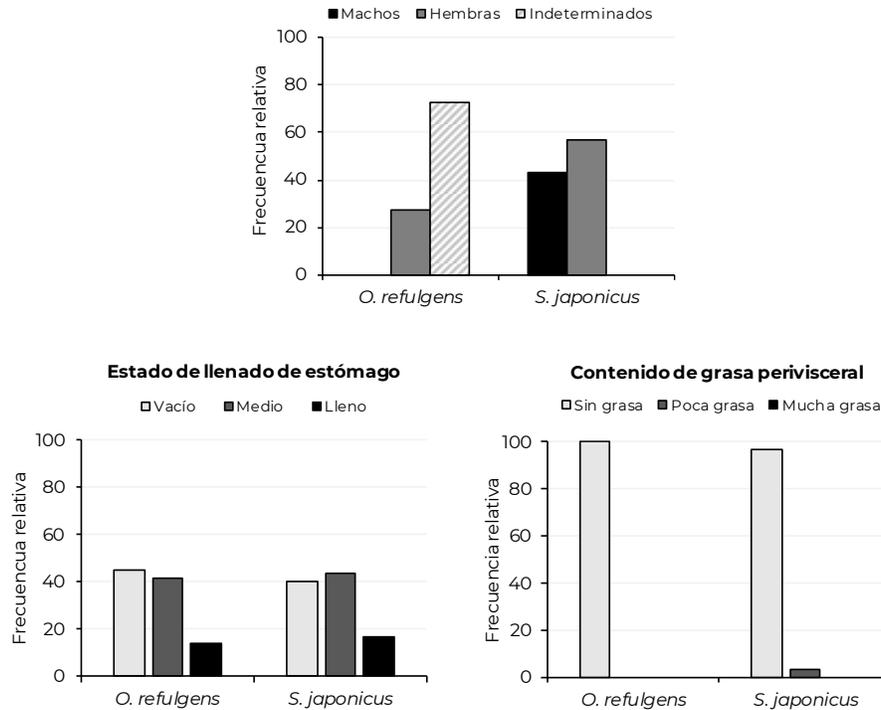
Las sardinas se ubicaron dentro de un intervalo de tallas de 154 a 210 mm LP con una media de 178.5 mm (D.S. ± 14.9). Aun cuando las tallas se integraron en un grupo multimodal muy compacto, se formaron 12 clases de tallas, con una tendencia de mayor cantidad de sardinas en las clases de 156-160 a 176-180 (Figura 11).



**Figura 11.** Estructura de talla de pelágicos menores capturados en el invierno del 2022, en la costa oriental del Golfo de California, crucero JCFINP2201.

La proporción de sexos fue de una hembra por 2.6 sardinas indiferenciadas (1H:2.6 indif.), no se identificaron machos. De las 14 hembras, 9 eran inmaduras y 5 tenían gónadas en desarrollo. No se encontraron machos y 72% eran sardinas piña indiferenciadas (Figura 12).

Los estómagos de las sardinas piña, estaban en un 45% vacíos y 41% estaba medio lleno, solo un 13.7% estaba lleno de alimento. Los 30 estómagos de las sardinas no tenían nada de grasa perivisceral (Figura 12).



**Figura 12.** Proporción sexual, escala de llenado estomacal y contenido de grasa en los pelágicos menores, capturados en el invierno del 2022, en la costa oriental del Golfo de California, cruceo JCFINP2201.

### 7.12 *Scomber japonicus macarela*

La macarela se capturó en solo dos lances con una captura de 15.1 kg en 64 individuos, con una biomasa calculada de 413.6 kg/km<sup>2</sup>, una densidad calculada de 1753.4 ind/km<sup>2</sup>, una CPUE igual a 26.6 km/hr. La macarela ocupó el lugar número 40 de 124, con un IVI=3.8, definida como especie abundante de acuerdo con el análisis de Olmstead-Tukey (Figura 4).

El lance 13 (L13) se localizó a 27 km de Playa San Juan, Sin. A una profundidad promedio de 69 m, y el segundo lance 18 a 62 km de Yavaros, Son. En el L13 el peso de la macarela fue de 0.484 kg correspondiente a dos hembras de 251 y 253 mm LP (Figura 5). En el segundo lance (L18), la macarela registró un peso de 14.6 kg en 62 individuos, donde las tallas registradas se ubicaron en un intervalo de 216 y 271 mm LP con una media de 243



mm LP (DS  $\pm$ 13.08). Las tallas se distribuyeron en 10 clases de tallas con una moda en las clases 241-245 y 246-250 mm LP (Figura 11), con un peso promedio individual de 0.214 kg.

La proporción sexual en la macarela fue de un macho por 1.4 hembras (1M:1.4H). La madurez sexual se vio reflejada en tres estadios de desarrollo gonadal: gónadas en desarrollo (Estadio II), en proceso de maduración (estadio III) y gónadas en predesove (Estadio IV). De los cuales 87% tenían gónadas en predesove (40% de machos y 53% de hembras). En cuanto a cantidad de alimento en el estómago, poco menos de la mitad de las macarelas tenía medio lleno el estómago, 37.5% estaba vacío y 15.6 estaba lleno. Se observó que las macarelas casi no tenían grasa perivisceral, ya que 96.8% estaba sin grasa y solo 3.1% tenía poca grasa (Figura 12).

### 7.13 Especies dominantes y de interés comercial

Entre las especies que por sus altos valores de captura, abundancia o frecuencia de aparición en las capturas de los lances de fondo, durante el muestreo en el invierno de 2022 en la costa occidental de la Península de Baja California, y que pueden ser consideradas como posibles recursos potenciales fue la langostilla *P. planipes*. Otras especies que se capturaron en este estudio son de interés comercial local y regional incluso son especies objetivo como el camarón café *Penaeus californiensis* y la curvina amarilla *Cynoscion xanthulus*, por otro lado se registraron especies con valores bajos de peso, fueron poco abundantes y/o frecuentes, entre ellas se identificaron el cochito *Balistes polylepis* el blanquillo *Caulolatilus affinis* y el pez sable *Trichiurus nitens* (Tabla 5, Anexo V).

**Tabla 5.** Parámetros poblacionales de las especies dominantes y de interés comercial capturados en el invierno del 2022, en la costa oriental del Golfo de California, cruceo JCFINP2201.

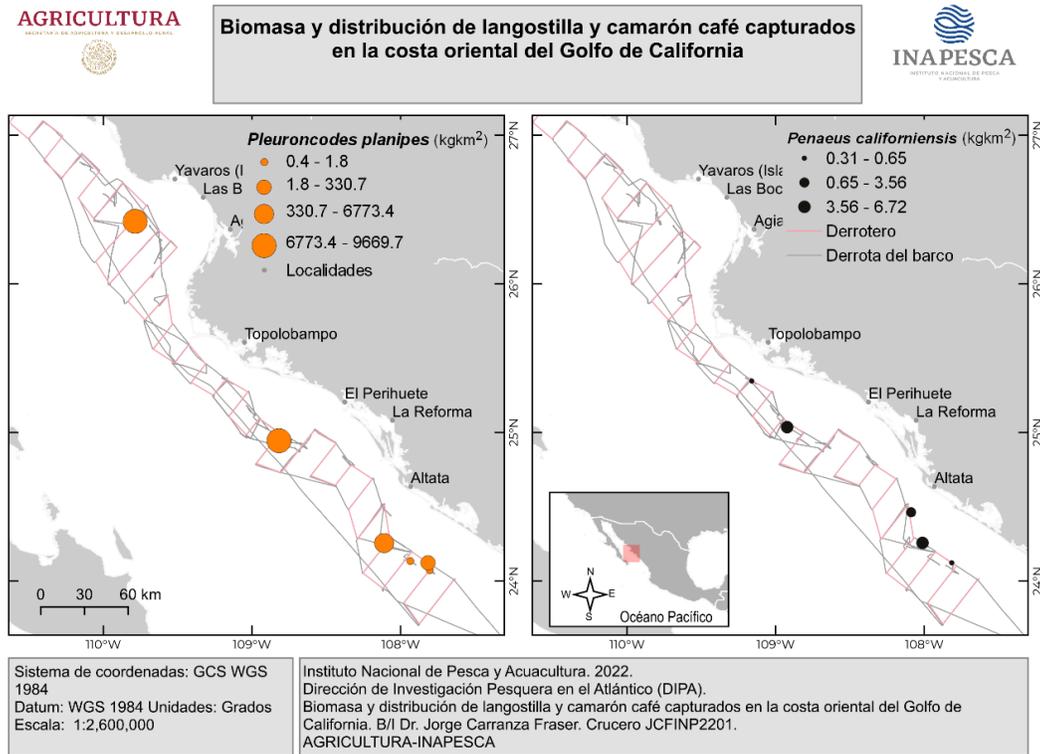
| Taxón                         | Nombre común     | Peso (kg) | Abundancia (ind.) | FO | Capturaa (kg/km <sup>2</sup> ) | Densidad (ind/km <sup>2</sup> ) | CPUE (kg/hr) | Talla           |
|-------------------------------|------------------|-----------|-------------------|----|--------------------------------|---------------------------------|--------------|-----------------|
| <i>Balistes polylepis</i>     | Cochito          | 20.8      | 29                | 2  | 647.44                         | 892.28                          | 44.35        | 15.5-36 (27.7)* |
| <i>Caulolatilus affinis</i>   | Blanquillo       | 25.2      | 81                | 3  | 671.4                          | 2153.6                          | 45.3         | 12.3-35 (24.5)* |
| <i>Cynoscion xanthulus</i>    | Curvina amarilla | 518.6     | 3682              | 7  | 13924.95                       | 98576.14                        | 932.2        | 10.8-27 (20)*   |
| <i>Trichiurus nites</i>       | Pez sable        | 18.8      | 1283              | 5  | 473.42                         | 34251.04                        | 34.77        | 22-37.2 (30.7)* |
| <i>Penaeus californiensis</i> | Camarón café     | 0.5       | 33                | 5  | 13.35                          | 882.25                          | 0.84         | 24-50 (37.7)*   |

\* cm, \*\* mm

### 7.14 *Pleuroncodes planipes* langostilla

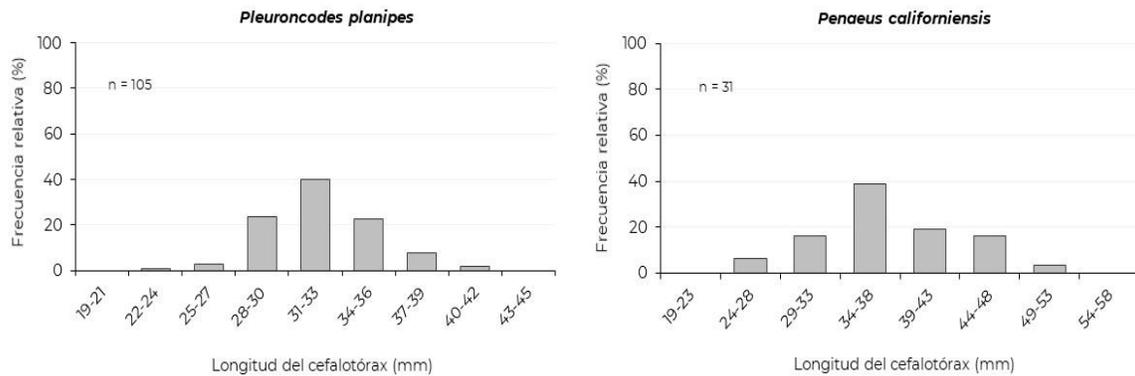
La langostilla *P. planipes* fue la especie con el valor más alto de importancia (IVI=44.5) en la captura total de los lances de pesca de fondo, valor que la colocan en el grupo de las especies dominantes (Tabla 3, Figura 4). La dominancia de la langostilla se atribuye a la mayor cantidad de individuos capturados en todo el muestreo (135,116 individuos), ya que se registró en solo seis lances (33.3%) de los 18 lances de pesca realizados, y su captura fue

de 17.5% (788.9 kg) con respecto a la captura total, con una CPUE igual a 1,168.05 kg/hr. Las capturas con mayor peso se ubicaron entre las costas frente a Yavaros, Son. y Las Glorias, Sin. (Figura 13) a una profundidad de 177 y 349 m. Siendo éstas las de mayor profundidad en comparación a las capturas donde sus valores de captura fueron entre 0.003 y 24.5 kg a profundidades entre 78 y 109 m. Aun cuando su distribución estuvo sesgada hacia la parte sur del área de estudio, su presencia se vio notoriamente mermada siendo ausente en 12 lances, en los que su captura no pasó de 0.15 kg con un total de 13 langostillas (Figura 13).



**Figura 13.** Distribución y captura de crustáceos en los lances de pesca de fondo realizados en el invierno del 2022, costa oriental del Golfo de California, crucero JCFINP2201.

La distribución de tallas de la langostilla cubrió un intervalo de 22 a 40 mm en la longitud del cefalotórax (LC), con una distribución normal y unimodal agrupada en siete clases de tallas, con un promedio de 32.3 mm LC (DS ±2.9 mm). La proporción sexual entre las langostillas fue de un macho por 0.8 hembras (1M:0.8H) (Figura 14).



**Figura 14.** Estructura de tallas de la langostilla y del camarón café capturados en el invierno del 2022, en la costa oriental del Golfo de California, crucero JCFINP2201.

### 7.15 *Penaeus californiensis* camarón café

Entre las especies de importancia comercial se identificó al camarón café *P. californiensis*, capturado en cuatro lances de pesca, con una captura de apenas 0.5 kg (0.02%) en 33 camarones, con una densidad de 882 ind/km<sup>2</sup>, una CPUE de 0.84 kg/hr. El análisis de asociación mostró que el camarón café pertenece al grupo de las especies dominante en las capturas del presente estudio (Figura 4). Los camarones cafés alcanzaron tallas comprendidas entre 24 y 50 mm de longitud de cefalotórax con un promedio de 37.7 mm LC ( $\pm$ DS 5.9) (Figura 14) y un peso promedio de 0.010 kg por camarón café. La temperatura y salinidad de los sitios donde se capturó el camarón café fue de 17.9-20.44 °C y 34.85-36.37 ups, respectivamente. En profundidades de captura entre 40 y 100 m, entre 30 y 35.8 km de las costas frente a la Lucernilla y Topolobampo, Sin. (Figura 13).

### 7.16 *Cynoscion xanthulus curvina* amarilla

La especie que ocupó el tercer lugar en valor de importancia igual a 17.5, fue la curvina amarilla, su peso dentro de las capturas fue de 518.8 kg (11.5%) en 3,682 curvinas (2.2%), con una frecuencia de ocurrencia de 7 lances (38.9%) de 18 realizados y una CPUE igual a 932.2 kg/hr. Las tallas de las curvinas amarillas se encontraron en el intervalo multimodal de 10.8 a 27 cm de LP, distribuidos en seis clases de tallas con una media de 20.08 cm LP (D.S.  $\pm$ 4.1) (Figura 15). Por sus valores de densidad y frecuencia de ocurrencia la curvina amarilla formó parte del grupo de las especies dominantes (Figura 4), de acuerdo con el análisis de asociación de Olmstead-Tukey. Las curvinas amarillas se capturaron en toda el área de muestreo, desde las costas de Yavaros, Son hasta las costas a la altura de la boca del Río San Lorenzo, Sin. (Figura 16), a una profundidad de captura de entre 75 y 160 m.

### 7.17 *Balistes polylepis* cochito

El cochito *B. polylepis*, fue un pez con poca aparición en los lances de pesca, ya que solo se registró su presencia en dos lances con una captura de 20.8 kg (0.4%) en la captura total, una densidad de 892 ind/km<sup>2</sup>, una CPUE igual a 44 kg/hr, lo que la ubican como una especie abundante (Figura 4) en el análisis de asociación O-T. Los cochitos se



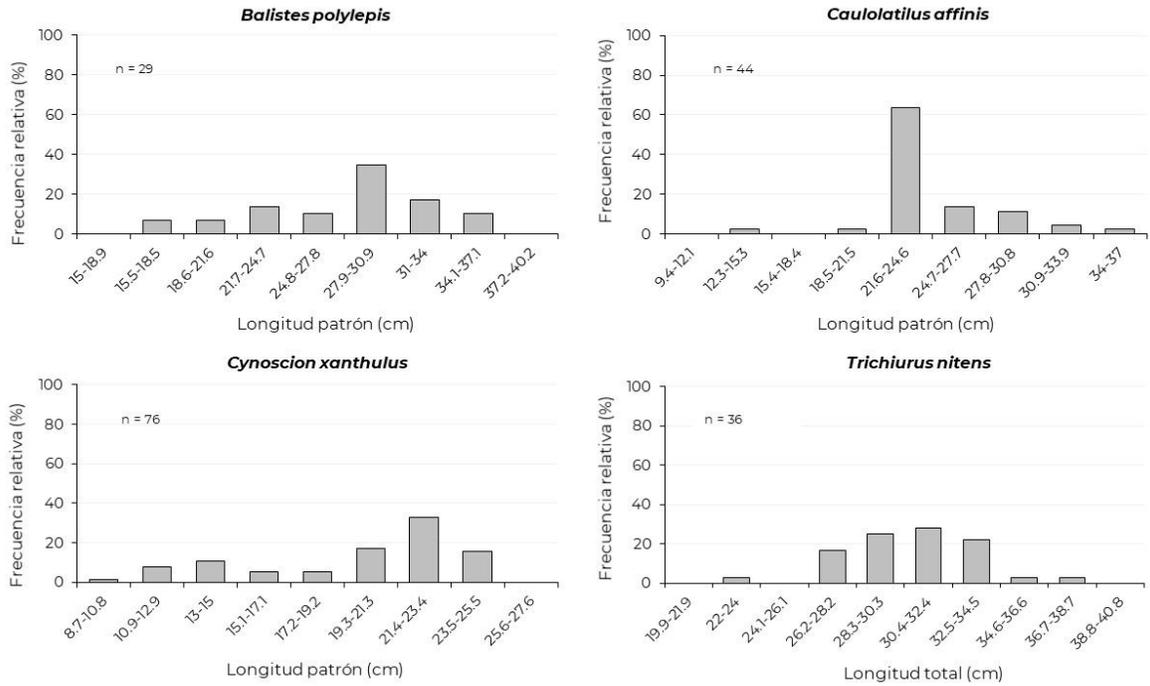
distribuyeron en un intervalo de tallas de 15.5 y 36 cm de LP con un promedio de 27.7 cmLP ( $\pm$ DS 5.2) (Figura 15). con un peso promedio de 7.7 kg. A una profundidad de captura de 34 y 69 m, a una temperatura entre 17.7 y 18.9 °C y una salinidad de 34.9 y 36.1 ups. A una distancia de la costa de 38 y 27 km a la altura de Los Mochis y El Dorado, Sin. (Figura 16).

### **7.18 *Caulolatilus affinis* blanquillo**

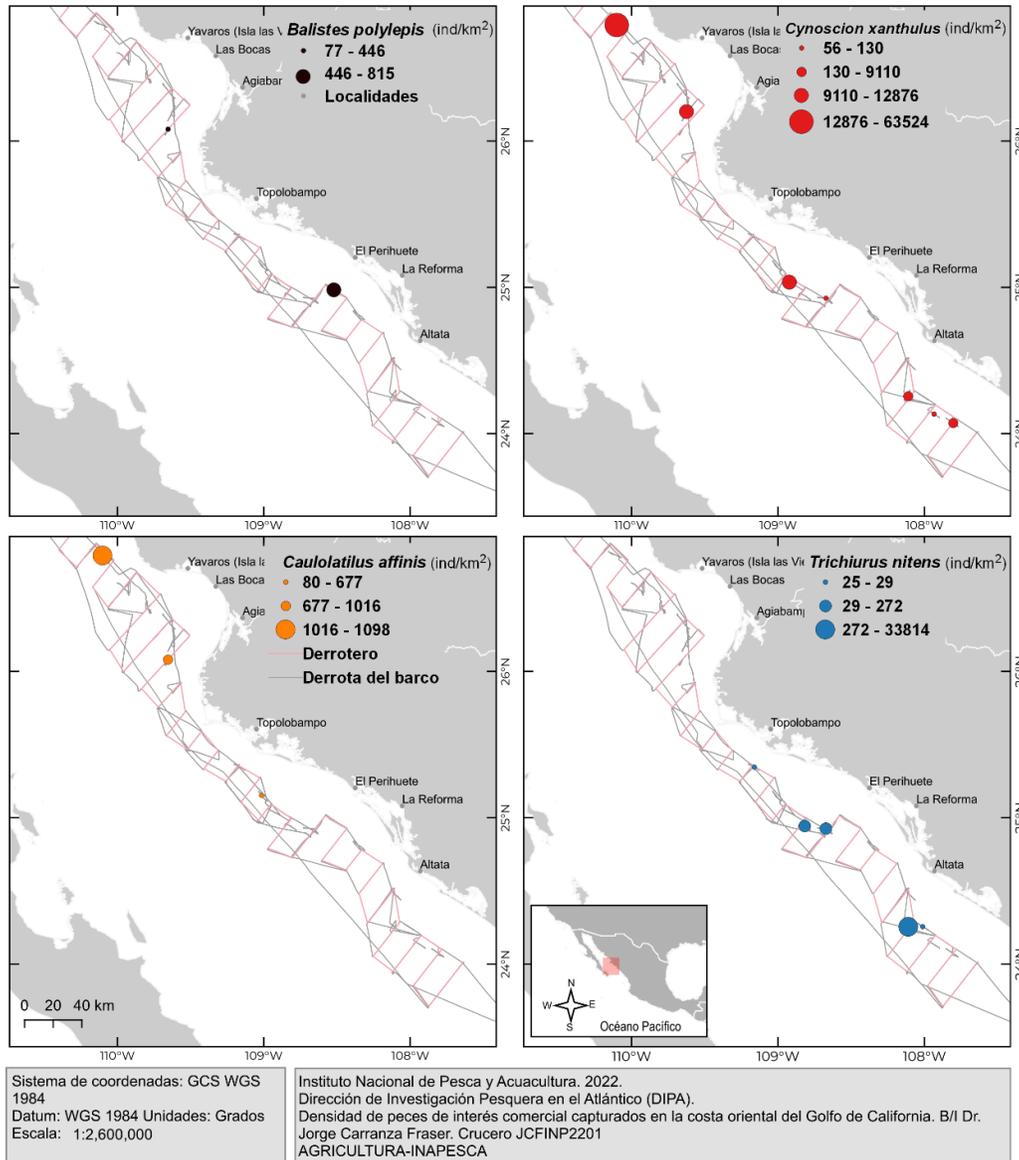
El blanquillo *C. affinis*, es otro pescado que manifestó mayor abundancia que el cochito, con una densidad igual 2,153 ind/km<sup>2</sup>, en tres lances de pesca de fondo con una captura de 25.2 kg (0.55%) en la captura total, con lo que se registró una CPUE de 45.3 kg/hr, valores con los que se analizó su participación en las capturas, resultando que es una especie dominante en el análisis de asociación O-T (Figura 4). Las tallas del blanquillo se encontraron entre 12.3 y 35 cm de LP, con un promedio de talla de 24.5 cm Lp ( $\pm$ DS 3.7) (Figura 15) y un peso promedio de 0.29 kg. La profundidad a la cual se capturó el blanquillo fue de 69 y 85 m, con una temperatura de 17.7 y 18.8 °C, una salinidad de 34.1 y 35.1 ups. A una distancia de la costa entre 26 y 31 km desde el sur de Topolobampo, Sin. hasta Yavaros, Son. (Figura 16).

### **7.19 *Trichiurus nitens* pez sable**

En caso del pez sable *T. nitens*, se observó que su captura fue de 18.8 kg (0.41%) en la captura total. Peso que correspondió a una densidad de 34,251 ind/km<sup>2</sup>, en cinco lances de pesca, obteniendo una CPUE de 34.77 kg/hr. Valores que ubican al pez sable como una especie con categoría de dominante (Figura 4) en el análisis O-T. Cabe mencionar que se pudieron medir 36 individuos de esta especie, los cuales se ubicaron dentro de un intervalo de tallas de 22 a 37 cm de longitud total con un promedio de 30.8 cm LT ( $\pm$ DS 2.9) (Figura 15) y peso promedio entre 0.008 y 0.012 kg, las capturas de estos individuos en su mayoría fueron de talla pequeña. Las capturas de este pez se obtuvieron entre 58 y 177 m de profundidad, con temperatura y salinidad en la columna de agua de 19.3-20.32 °C y 35.05-36.37 ups, respectivamente. Su distribución geográfica abarcó desde La Lucernilla hasta el sur de Topolobampo, Sin. (Figura 16) a una distancia de la costa entre 29 y 35 km.



**Figura 15.** Estructura de talla de especies dominantes y de interés comercial capturados en el invierno del 2022, en la costa oriental del Golfo de California, crucero JCFINP2201.



**Figura 16.** Distribución y densidad de peces de interés comercial en los lances de pesca de fondo realizados en el invierno del 2022, en la costa oriental del Golfo de California, cruceo JCFINP2201.

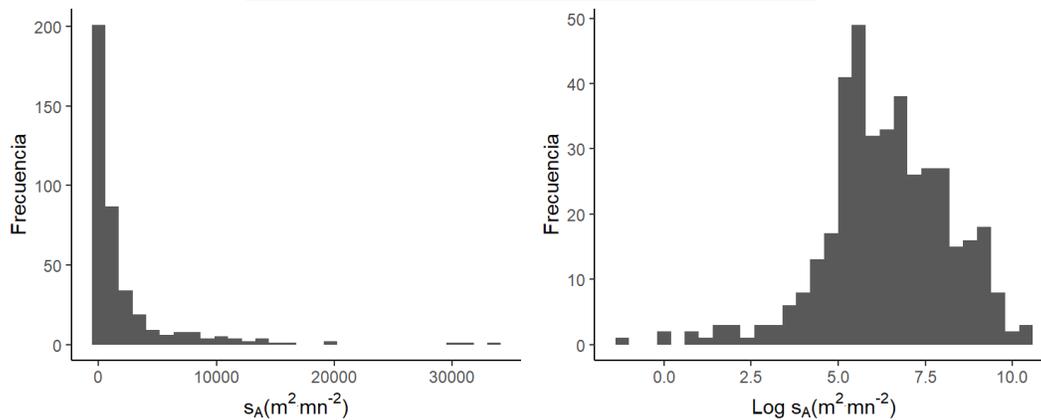
### 7.20 Geoestadística

Los descriptores estadísticos (Tabla 6) del NASC clasificado para peces indican que la mediana ( $563.93 \text{ m}^2\text{mn}^{-2}$ ) y la media ( $2,143.85 \text{ m}^2\text{mn}^{-2}$ ) son muy bajas respecto al máximo ( $33,539.09 \text{ m}^2\text{mn}^{-2}$ ). El 75 % de los datos está por debajo de  $1980.1 \text{ m}^2\text{mn}^{-2}$  mientras que el 25% por debajo de  $208.24 \text{ m}^2\text{mn}^{-2}$  (disperso). La distribución de los valores del  $s_A$  se

observan en el histograma de la *Figura 17*. La distribución es asimétrica sesgada a valores bajos de NASC. Además, se registran valores extremos ( $>10,000 \text{ m}^2\text{mn}^{-2}$ ) que corresponden a cardúmenes de peces o agregaciones de otros organismos.

**Tabla 6.** Descriptores estadísticos del NASC y log (NASC) en la costa oriental del Golfo de California, invierno de 2022, crucero JCFINP2201.

| Parámetro       | NASC     | Log (NASC) |
|-----------------|----------|------------|
| Obs.            | 398      | 398        |
| Min.            | 0.3126   | -1.16      |
| Q1              | 208.24   | 5.34       |
| Mediana         | 563.93   | 6.33       |
| Media           | 2143.85  | 6.38       |
| Media recortada | 1736.75  | 6.43       |
| Q3              | 1980.1   | 7.59       |
| Máx.            | 33539.09 | 10.42      |
| Varianza        | 17017798 | 3.26       |
| SD              | 4125.26  | 1.81       |
| Asimetría       | 3.97     | -0.57      |
| Curtosis        | 20.7     | 1.22       |



**Figura 17.** Distribución de los valores del coeficiente de retrodispersión por milla náutica cuadrada ( $s_A$ ). Distribución del  $s_A$  Log. Costa oriental del Golfo de California, invierno de 2022, crucero JCFINP2201.

Se efectuó la transformación logarítmica con la finalidad de reducir la variabilidad de los datos del NASC y determinar si se distribuyen normalmente. En la Tabla 7 se muestran los resultados de las pruebas Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk, en las cuales se observó que los datos no presentaron una distribución normal.

**Tabla 7.** Prueba de normalidad de los datos del NASC (log) en la costa oriental del Golfo de California, invierno de 2022, crucero JCFINP2201.

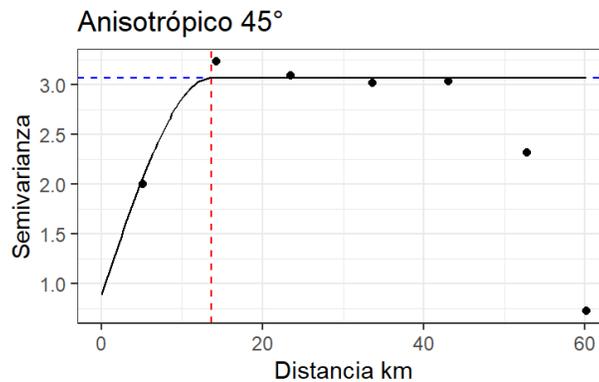
| Pueba              | P-valor  | Alpha | Resultado     |
|--------------------|----------|-------|---------------|
| Shapiro-Wilk       | 5E-07    | 0.05  | No-normalidad |
| Kolmogorov-Smirnov | 0.000167 | 0.05  | No-normalidad |

### 7.21 Modelamiento espacial

En el análisis exploratorio de los valores del NASC (398 registros), se observó que la variable tiene una distribución asimétrica positiva. En el análisis estructural del NASC se elaboraron semivariogramas experimentales omnidireccionales y direccionales. Posteriormente se ajustaron variogramas teóricos esféricos a los semivariogramas experimentales. Con la validación cruzada (método k-fold, con cinco iteraciones) se obtuvo que el modelo anisotrópico con dirección de 45 grados obtuvo la mejor predicción con una raíz cuadrada del error cuadrático medio de  $2.43 \text{ m}^2\text{mn}^{-2}$  (log). Este variograma anisotrópico (45 grados) presentó una dependencia espacial de 13.6 km. En la Tabla 8 se muestra los valores de los parámetros de este modelo mientras que en la Figura 18 se visualiza el semivariograma. El efecto pepita (nugget) del modelo anisotrópico es 0.89 (proporción  $C_0/(C_0+C_1)$ ; 29 %) y mostró una dependencia espacial moderada (nugget entre 25 y 75%).

**Tabla 8.** Valores del variograma teórico ajustado al modelo del variograma experimental. Costa oriental del Golfo de California, invierno de 2022, crucero JCFINP2201.

| Variable | Nugget | Sill | Rango (km) | Modelo   |
|----------|--------|------|------------|----------|
| NASC 45° | 0.89   | 3.07 | 13.6       | Esférico |



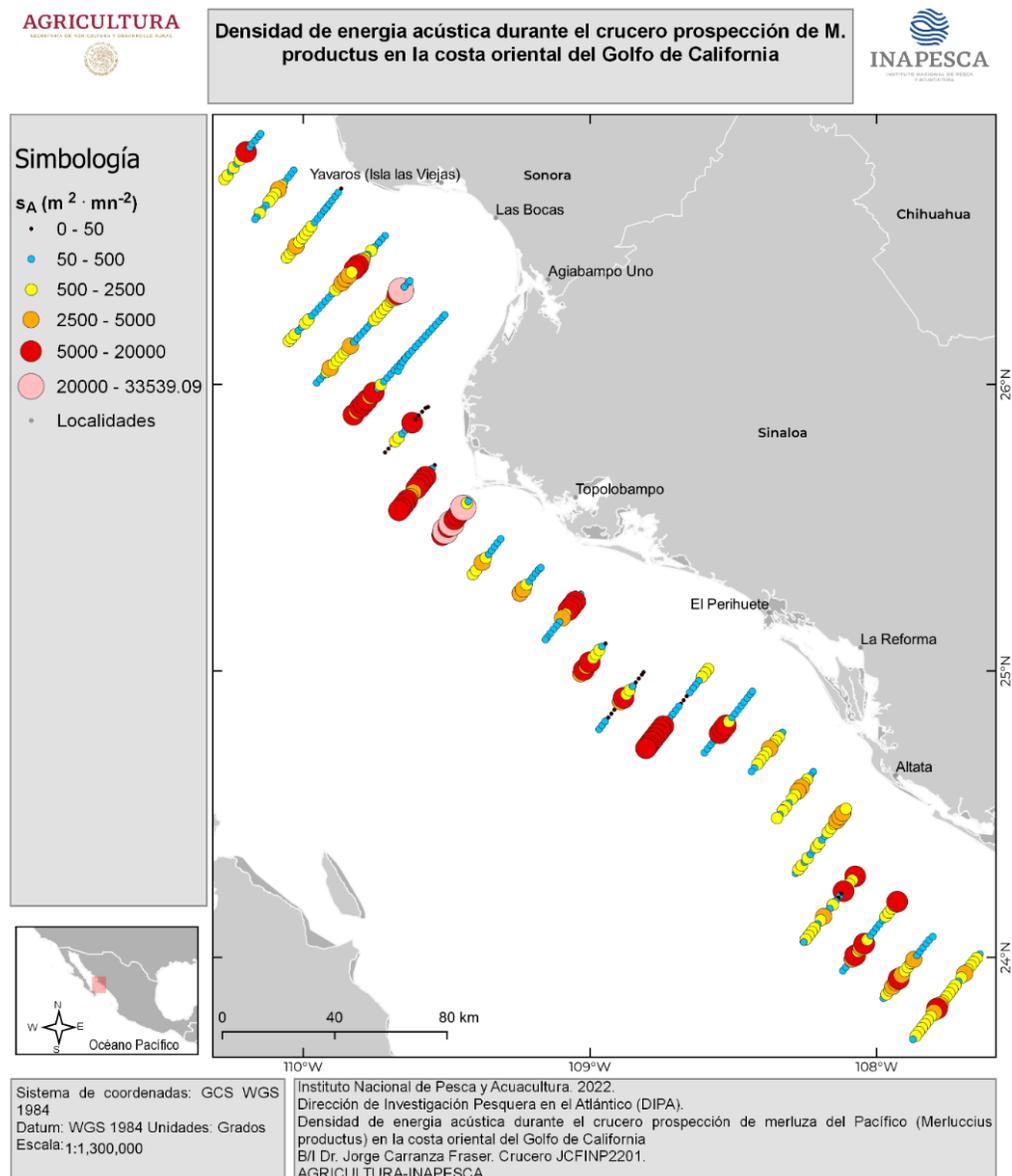
**Figura 18.** Semivariograma anisotrópico experimental (puntos) y teórico (líneas). Línea azul muestra el sill (C) y rojo el rango (h) en millas náuticas. Costa oriental del Golfo de California, invierno de 2022, crucero JCFINP2201.

La dependencia espacial del NASC de acuerdo con el modelo isotrópico tuvo un rango de 13.6 km (7.34 mn) abarcando la distancia entre las muestras (UBM) que están separadas cada 1852 metros (1 mn). Con base en el rango proporcionado por el

variograma y los arrastres de pesca en donde se capturaron diferentes especies, se puede definir el alcance del NASC perteneciente a estas poblaciones.

### 7.22 Ecointegración

La distribución del coeficiente de retrodispersión por milla náutica cuadrada ( $s_A \text{ m}^2 \cdot \text{mn}^{-2}$ ) en el área de investigación se puede observar en el mapa de *la Figura 19*. Las detecciones más altas ( $>25000 \text{ m}^2 \cdot \text{mn}^{-2}$ ) se presentaron al oeste (transecto 15) de la localidad Topolobampo-Sinaloa, donde se encuentra un relieve submarino muy escarpado. En los transectos (líneas imaginarias perpendiculares a la costa) ubicados entre Agiabampo y el sur de El Perihuate se encontraron los cardúmenes de peces más importantes durante la campaña (del transecto número 15 hasta el 18). Asimismo, en el resto de la región la concentración fue muy densa.



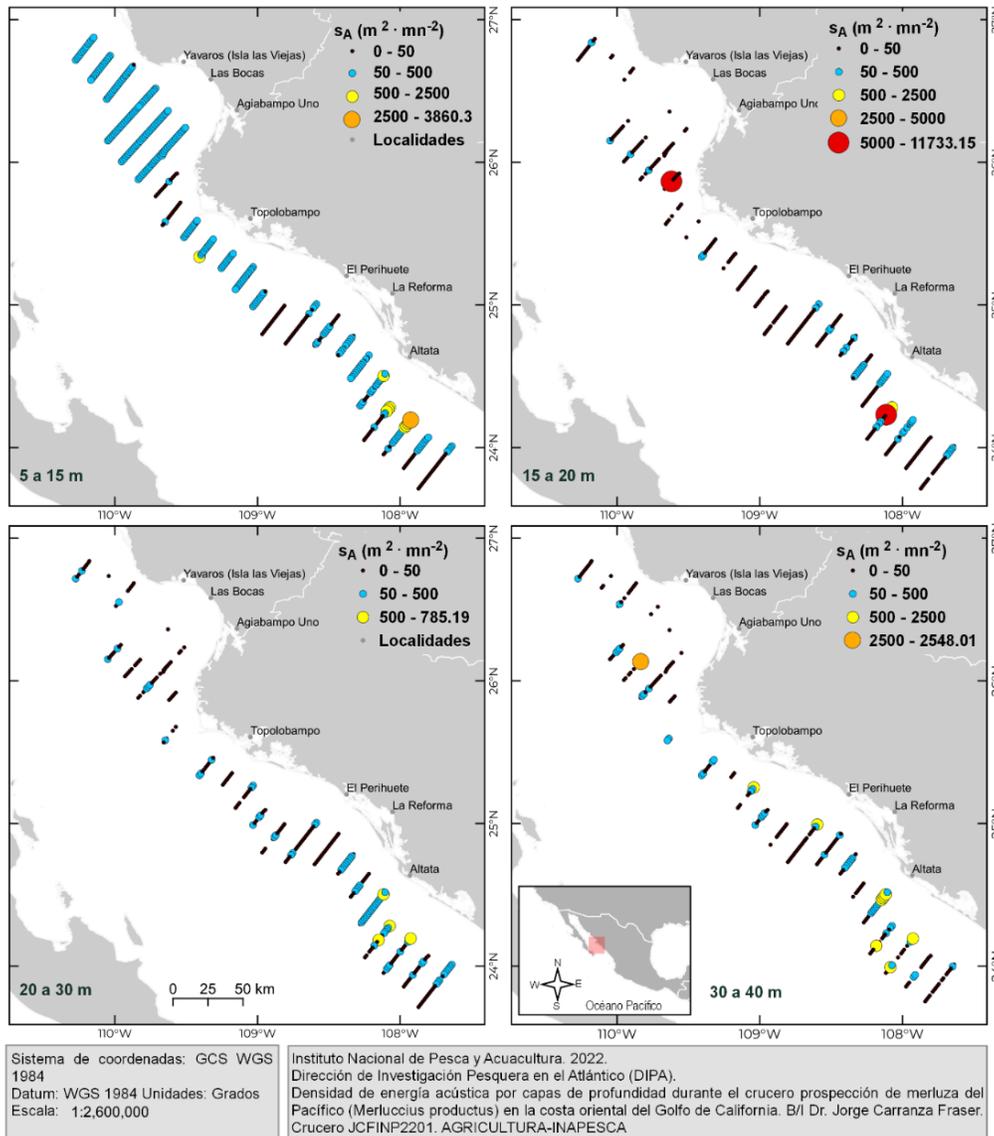


**Figura 19.** Gráfico de burbujas de los valores de  $s_A$  ( $m^2 \cdot mn^{-2}$ ) que muestra la distribución de la energía clasificada de peces para la frecuencia de 38 kHz en la costa oriental del Golfo de California, invierno de 2022, cruceo JCFINP2201.

### **7.23 Ecointegración por capas de profundidad**

Con el propósito de describir la densidad de peces en diferentes capas de profundidad, se generaron mapas con la energía clasificada para diferentes estratos de la columna de agua. En la capa de 5 a 15 metros de profundidad los valores ecointegrados más altos ( $>500 m^2 \cdot mn^{-2}$ ) se concentraron al sur de la localidad Altata, Sinaloa mientras que en el resto de la zona de estudio los valores fueron inferiores a  $500 m^2 \cdot mn^{-2}$ . En la capa de 15 a 20 m las detecciones fueron dispersas con valores menores a  $500 m^2 \cdot mn^{-2}$ , aunque al sur de Altata y noroeste Topolobampo se midieron ecoabundancias altas ( $>5,000 m^2 \cdot mn^{-2}$ ). En el caso del estrato de 20 a 30 metros, los valores relativamente altos se registraron al sur de Altata ( $500-785.19 m^2 \cdot mn^{-2}$ ) en tanto que en el resto fueron escasos y en algunas regiones ausentes. En la capa de 30 a 40 metros de profundidad el valor más alto ( $2,548.01 m^2 \cdot mn^{-2}$ ) se detectó al oeste de Agiabampo y en algunos transectos la ecoabundancia fue nula (Figura 20).

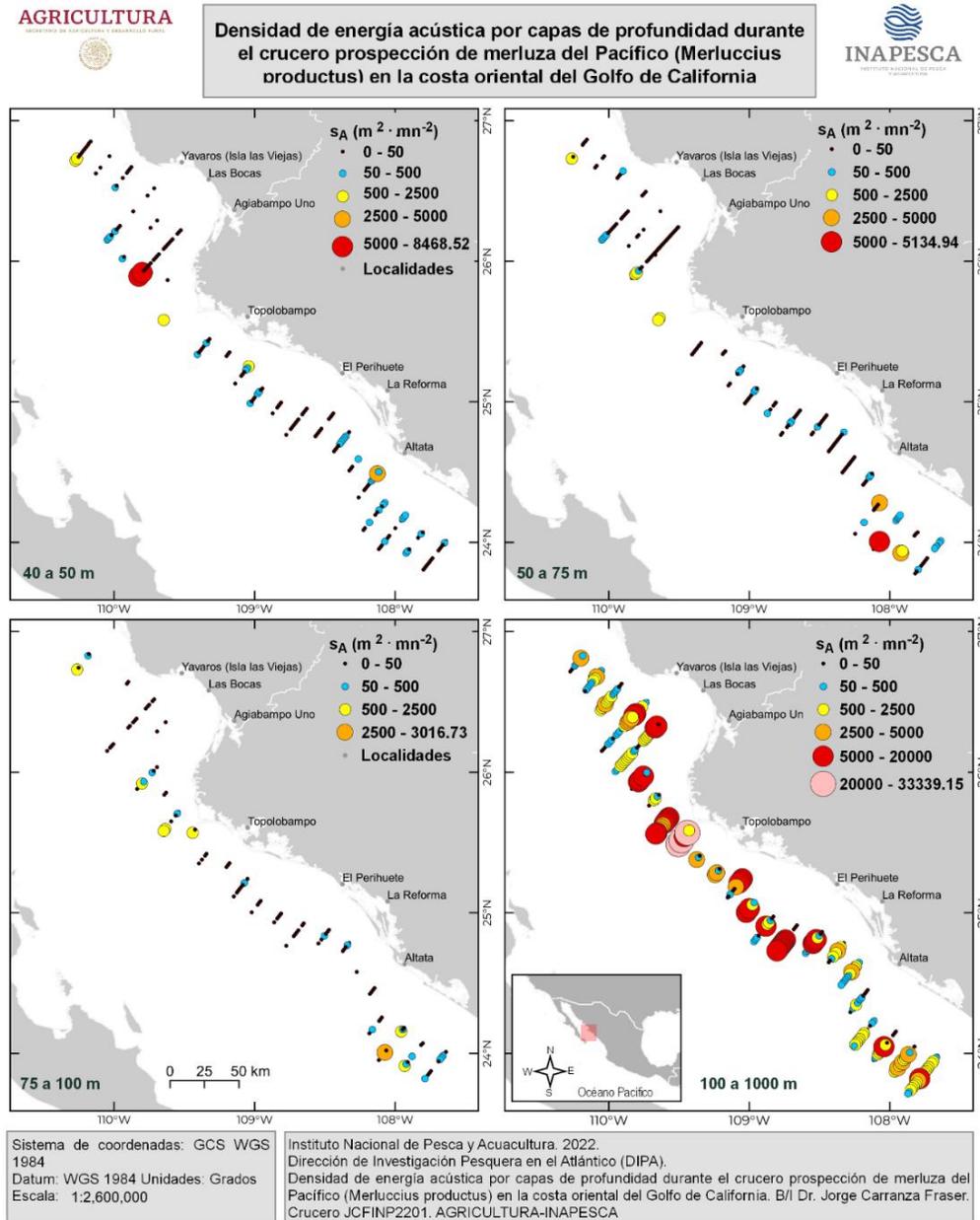
**Densidad de energía acústica por capas de profundidad durante el crucero prospección de merluza del Pacífico (*Merluccius productus*) en la costa oriental del Golfo de California**



**Figura 20.** Distribución espacial del coeficiente de retrodispersión integrado por estratos de profundidad 5-15 m, 15-20 m, 20-30 m y 30-40 m a partir de la frecuencia de 38 kHz para peces ( $s_A$ ,  $m^2 \cdot mn^{-2}$ ) en la costa oriental del Golfo de California, invierno de 2022, crucero JCFINP2201.

A mayor profundidad la actividad biológica aumentó debido a la migración vertical hacia el fondo de las especies durante el periodo diurno. En la capa de 40 a 50 metros dominaron los valores de ecoabundancia bajos (0 a  $500 m^2 \cdot mn^{-2}$ ) aunque al suroeste de Agiabampo hubo detecciones entre 5,000 y  $8,468.52 m^2 \cdot mn^{-2}$ . En el estrato de 50 a 75 metros, en la parte suroeste de la localidad Altata se concentró una actividad notable ( $5,134.94 m^2 \cdot mn^{-2}$ ) en tanto que en el resto de la zona de estudio fueron bajos. En la columna

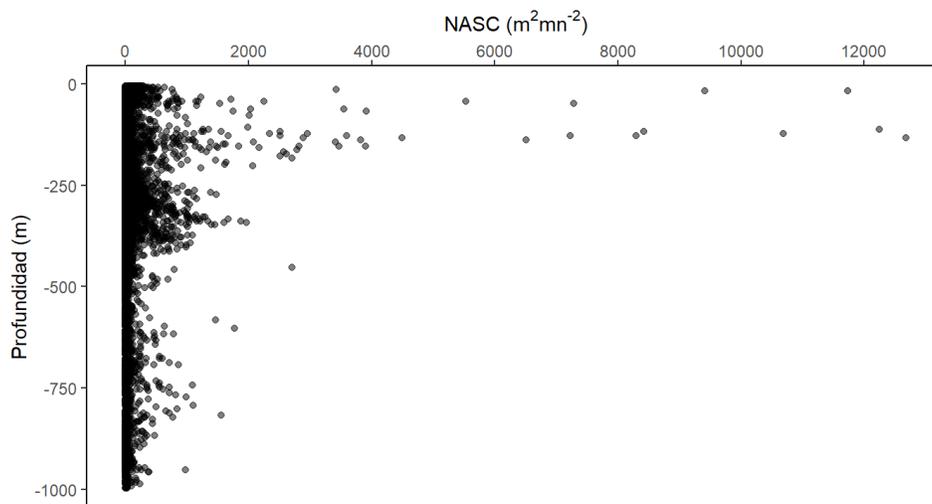
de agua entre 75 y 100 metros, la densidad de energía fue muy dispersa, aunque hubo zonas puntuales con valores entre 500 y 3,016.73  $m^2 \cdot mn^{-2}$ . En la capa superior a 100 metros de profundidad se registraron los valores más elevados de  $s_A$  ( $>5,000 m^2 \cdot mn^{-2}$ ) de la columna de agua. Al este de Topolobampo, se concentraron las densidades de peces más importantes con valores que oscilaron entre 20,000 y 33,339.15  $m^2 \cdot mn^{-2}$  (Figura 21).



**Figura 21.** Distribución espacial del coeficiente de retrodispersión integrado por estratos de profundidad 40-50 m, 50-75 m, 75-100 m y 100-1000 m a partir de la frecuencia de 38 kHz para peces ( $s_A$ ,  $m^2 \cdot mn^{-2}$ ) en la costa oriental del Golfo de California, invierno de 2022, crucero JCFINP2201.

## 7.24 Distribución vertical del NASC de pelágicos menores

La distribución del  $s_A$  ( $m^2mn^{-2}$ ) en la columna de agua durante el periodo diurno se detectó hasta 1,000 metros de profundidad (Figura 22). Los valores del NASC superiores a  $5,000 m^2mn^{-2}$  se distribuyeron entre 17 y 138 metros de profundidad. En cuanto al número de detecciones, las mayores abundancias se presentaron en dos capas, la primera entre 5 y 200 metros mientras que la segunda entre 250 y 450 metros de profundidad. El valor más alto de  $s_A$  ( $12,679.88 m^2mn^{-2}$ ) se mostró en 132.5 metros de profundidad en el transecto 15 (cerca de Topolobampo) a 16 km de la costa, la segunda detección más elevada ( $12,241.23 m^2mn^{-2}$ ) se registró en 112.47 metros en el transecto 15 a 12 km del litoral, mientras que el tercer valor ( $11,733.15 m^2mn^{-2}$ ) en 17.49 metros en el transecto 17 (cerca de Punta Ahome) a 10.8 km de la playa. En general, las detecciones más densas se encuentran cerca del talud continental mientras que las más profundas en mar abierto.



**Figura 22.** Distribución vertical del coeficiente de retrodispersión integrado por milla náutica cuadrada de la frecuencia de 38 kHz para peces ( $s_A$ ,  $m^2mn^{-2}$ ) en la costa oriental del Golfo de California, invierno de 2022, crucero JCFINP2201.

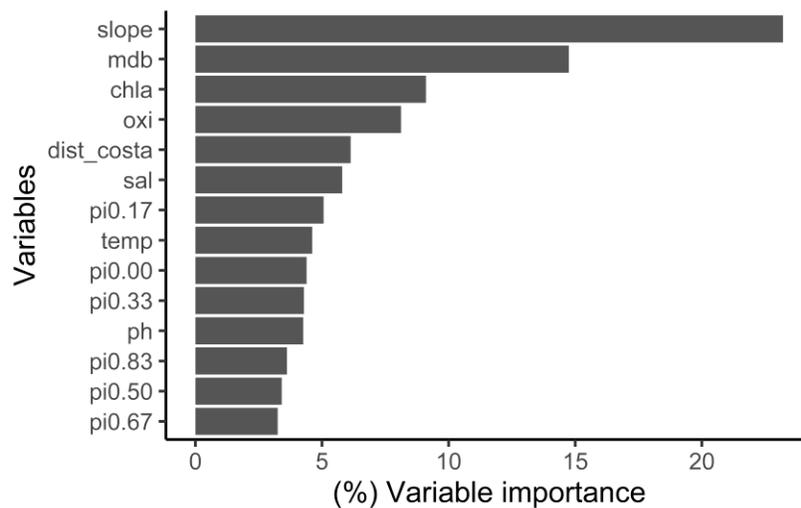
## 7.25 Random forest para la predicción espacial del NASC en el área de investigación mediante variables ambientales

La predicción espacial del NASC en el área de estudio se realizó mediante Random Forest debido a la distribución asimétrica negativa de la variable descrita anteriormente. Además, el modelo RF espacial mostró la variable más importante para la predicción espacial del NASC en el área de estudio mediante las variables bióticas, abióticas y geográficas (coordenadas geográficas oblicuas).

Para realizar el modelo 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

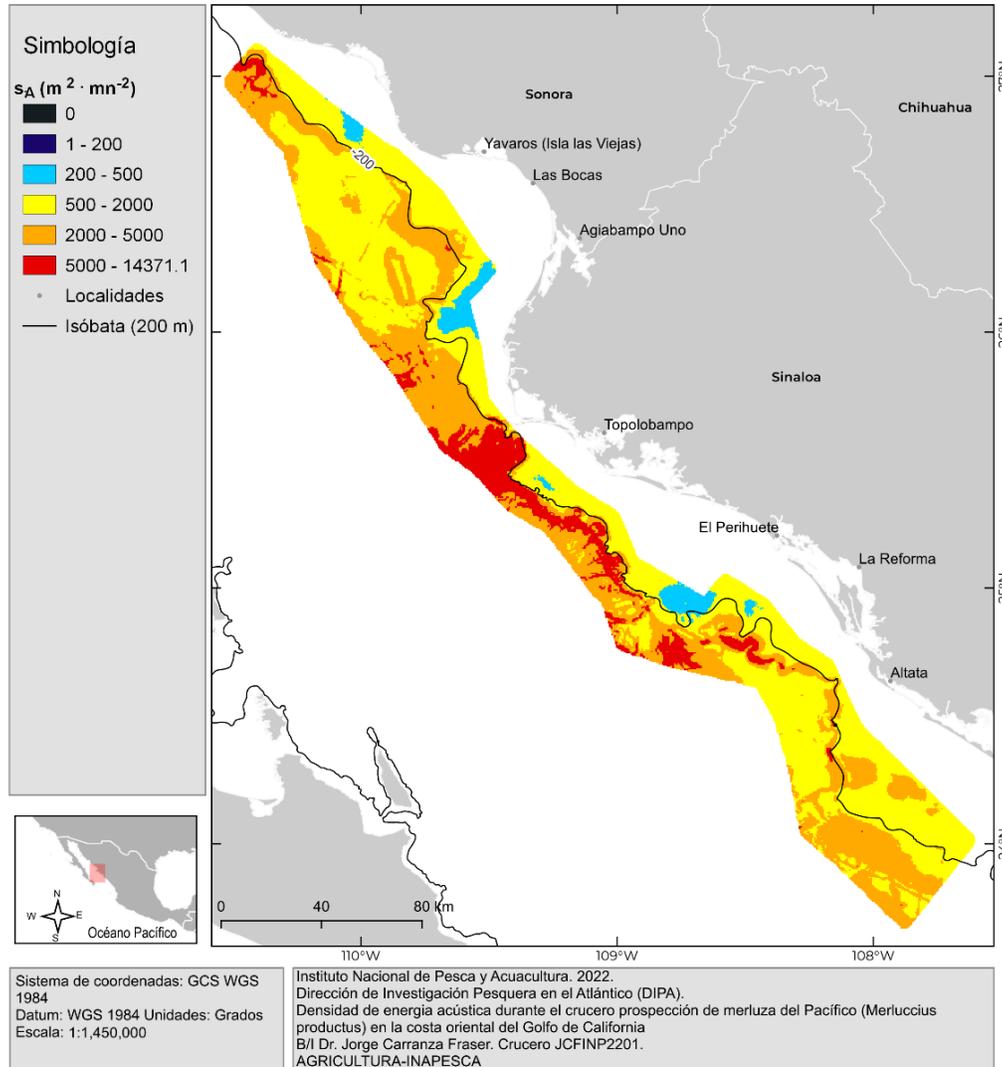
cruzada espacial fueron: num.trees 777, mtry 14, min.node.size 2, sample.fraction 0.223 y un RMSE de  $4310.4 \text{ m}^2\text{mn}^{-2}$ .

Las variables ambientales (temperatura superficial marina, salinidad, pH y oxígeno), bióticas (clorofila-a) y geográficas (coordenadas latitud, longitud y oblicuas, pendiente modelo digital batimétrico y distancia a la costa) que se utilizaron en el modelo RF se muestran en la siguiente gráfica desde la más importante hasta la menos importante (Figura 23). Durante el periodo de estudio, de acuerdo con el modelo RF la variable más importante fue la pendiente (23.2% de importancia relativa), seguida de la profundidad del fondo marino (14.7%), la clorofila-a (9.1% de importancia relativa), el oxígeno disuelto (8.12%), distancia a la costa (6.13%) y salinidad (5.8% de importancia relativa).



**Figura 23.** Importancia de las variables (expresado en porcentaje) para la predicción espacial del NASC en la costa oriental del Golfo de California, invierno de 2022, crucero JCFINP2201.

La interacción entre las variables permitió generar predicciones de la densidad de peces (NASC) en la costa oriental del Golfo de California en el invierno de 2022 (Figura 24). El modelo mostró que las mayores densidades de peces ( $> 5,000 \text{ m}^2\text{mn}^{-2}$ ) se encontraron al oeste de Topolobampo, así como en una mancha al suroeste de la localidad El Perihuate y en la parte norte de la zona de estudio. Además, se presenta una actividad biológica importante en el talud continental ( $2,000$  a  $5,000 \text{ m}^2\text{mn}^{-2}$ ). La presencia de esta actividad está influenciada por la pendiente ( $>5^\circ$ ) y el modelo digital batimétrico ( $>200 \text{ m}$ ) principalmente (en las inmediaciones del escarpe) como se mostró previamente en la gráfica (Figura 23) de importancia de las variables arrojada por el modelo RF. En algunas zonas de la plataforma continental se detectaron concentraciones de peces dispersas ( $<500 \text{ m}^2\text{mn}^{-2}$ ).



**Figura 24.** Predicción del NASC con Random Forest de acuerdo con las diferentes variables ambientales, geográficas y biológicas en la costa oriental del Golfo de California, invierno de 2022, crucero JCFINP2201.

## 7.26 Eointegración, variables geomorfométricas marinas y ambientales

### 7.26.1 Pendiente del fondo marino

En el análisis geomorfométrico, la pendiente (la tasa de cambio de los valores de profundidad) se clasificó con los intervalos 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°. En la mayor parte del área de estudio la pendiente del fondo marino osciló entre 0.5 y 10 grados. La pendiente más fuerte (>20°) se observó en el talud continental, aunque el más pronunciado en el relieve complejo ubicado enfrente de Topolobampo (Figura 25). En el trayecto de la prospección la pendiente



fluctuó entre 0.12 y 25.92 grados, en tanto que el promedio fue de 3.03° y la mediana de 2.12 grados. En la zona donde se registró el valor más elevado del  $s_A$  (33,539.1 m<sup>2</sup>mn<sup>-2</sup>, 17.88 km de la costa) la pendiente fue de 12.12 grados. Por otro lado, cuando la pendiente fue más abrupta (25.92°) la ecointegración fue de 4,349.79 m<sup>2</sup>mn<sup>-2</sup>.

### **7.26.2 Batimetría**

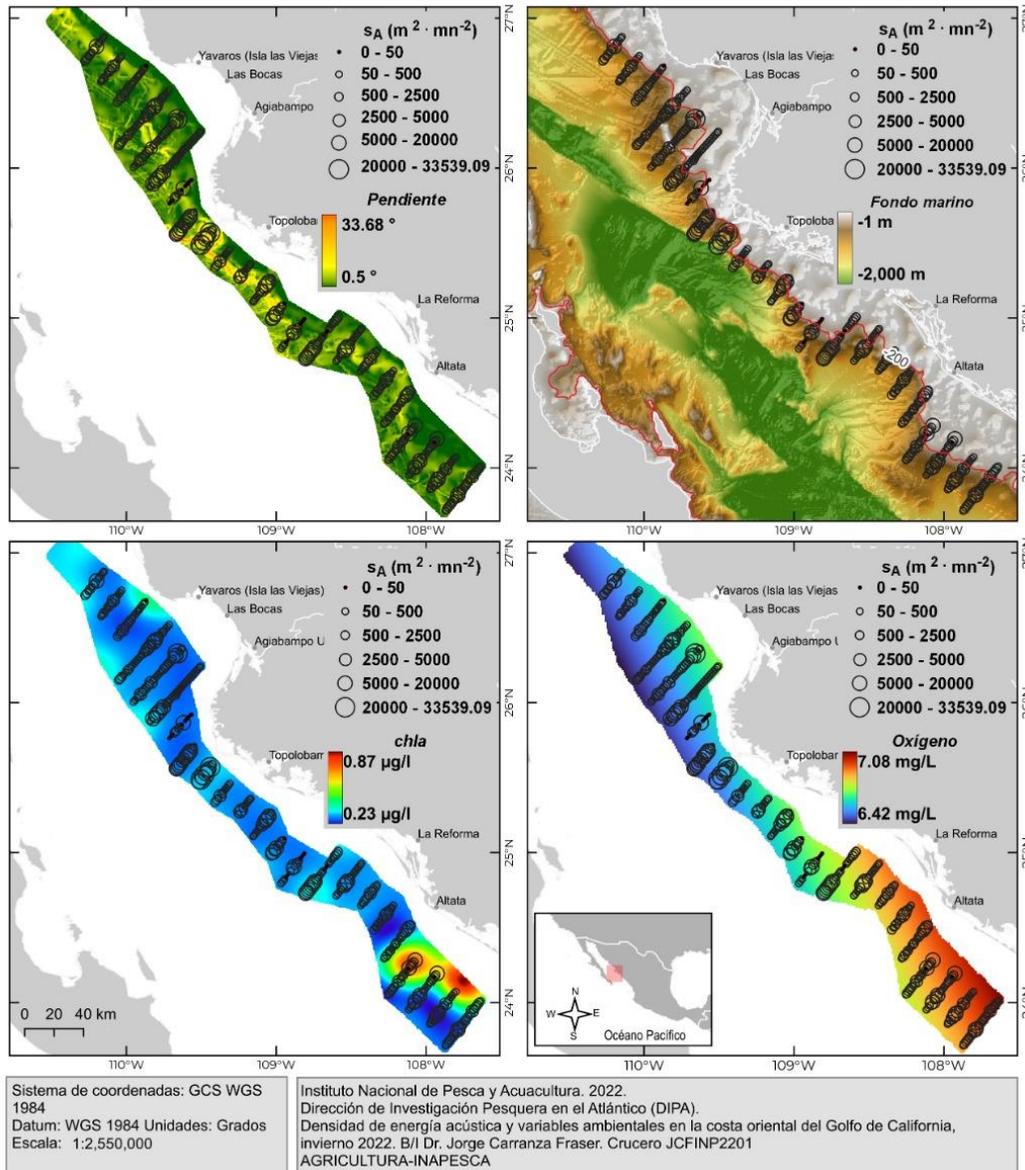
En gran parte de la zona de estudio se presenta un relieve escarpado de acuerdo con la pendiente. La plataforma continental es más amplia al sur de la localidad Altata, Sinaloa, así como en la costa de Agiabampo, Sonora (Figura 25). Posteriormente, se presentó el talud continental donde existe una pendiente abrupta. Enfrente de Topolobampo, se presentan estructuras geomorfológicas complejas como montañas submarinas y el cañón de San Ignacio. En la zona donde se registró el valor más elevado del  $s_A$  (33,539.1 m<sup>2</sup>mn<sup>-2</sup> 17.88 km de la línea de costa) la profundidad del fondo marino fue de -1344.25 metros y se encuentra en las estructuras previamente mencionadas. En contraste, en la zona más profunda de los transectos recorridos (-1,823.58 m) la ecointegración fue de 1,134.83 m<sup>2</sup>mn<sup>-2</sup>.

### **7.26.3 Clorofila-a**

La distribución superficial de la clorofila-a (chl<sub>a</sub>) durante el periodo de investigación mostró que al sur de la localidad Altata se presentaron los valores relativamente más elevados (>0.5 ug/l) mientras que en el resto de la región fueron bajos (Figura 25). En el recorrido de la prospección la clorofila-a varió entre 0.24 y 0.78 ug/ml con un promedio y mediana de 0.3 ug/ml. En el sitio donde se presentó el máximo valor de chl<sub>a</sub> (0.78 ug/ml) la ecointegración fue de 948.85 mm<sup>2</sup>mn<sup>-2</sup> localizado al sur de Altata. Por otra parte, en la zona (17.88 km de la costa) donde se registró el valor más alto de  $s_A$  (33,539.1 m<sup>2</sup>mn<sup>-2</sup>) la clorofila fue de 0.32 ug/ml.

### **7.26.4 Oxígeno disuelto**

El oxígeno disuelto, fue relativamente más alto al sur de la zona de estudio mientras que más bajo en la parte norte y centro (Figura 25). En el trayecto de la prospección acústica la variable fluctuó entre 6.64 y 6.78 mg/L con una media y mediana de 6.72 (mg/L). La zona donde el oxígeno disuelto estuvo más elevado (6.78 mg/L) la ecointegración fue de 49.56 m<sup>2</sup>mn<sup>-2</sup>, mientras que en el sitio donde se visualizó el valor más alto de la ecointegración (33,539.1 m<sup>2</sup>mn<sup>-2</sup>) el oxígeno fue de 6.69 mg/L.



**Figura 25.** Densidad de energía acústica, geomorfometría marina, batimetría y variables ambientales en la costa oriental del Golfo de California, invierno de 2022, crucero JCFINP2201.

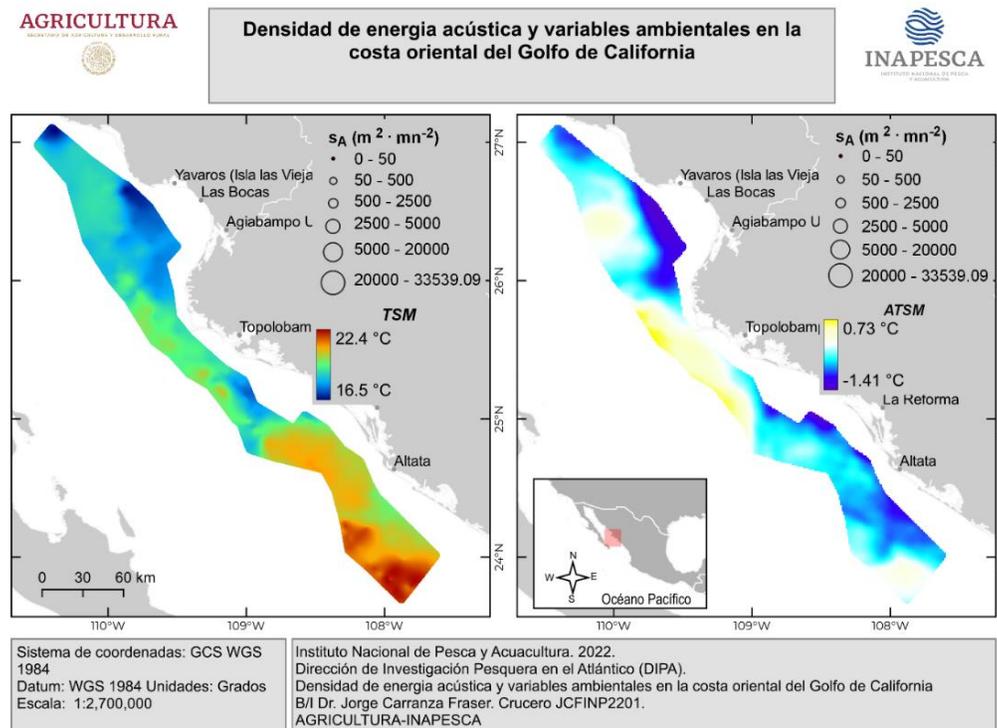
### 7.26.5 Temperatura superficial marina

La distribución de la temperatura superficial marina obtenida con el termosalinómetro durante el presente crucero mostró zonas templadas (<18 °C) en la parte norte del área de estudio, así como enfrente de la localidad El Perihuate-Sinaloa. En la parte oeste de Yavaros se presentaron las aguas más frías (~16.5 °C) en tanto que en la parte sur las más cálidas superiores a 20 °C (Figura 26). En el trayecto de la prospección la temperatura

varió entre 17.15 y 22.43 °C, con un promedio de 19.55 ° y mediana de 19.37 °C. En el sitio (17.88 km de la costa) donde se registró el valor más elevado del  $s_A$  (33,539.1  $m^2 \cdot mn^{-2}$ ) la temperatura superficial fue de 19.47 °C. Por otra parte, en la zona donde la temperatura superficial fue más baja (17.15 °C) la ecointegración fue de 178.15  $m^2 \cdot mn^{-2}$ .

### 7.26.6 Anomalía de la temperatura superficial marina

Las anomalías térmicas durante el periodo de estudio variaron entre condiciones normales y templadas. En la mayor parte del área de estudio las características fueron neutras (-0.5 y 0.5 °C) a excepción de zonas cercanas a la costa donde las características fueron templadas (<-0.5 °C) respecto al promedio 2003-2022 (Figura 26). En el recorrido de la prospección la anomalía de la temperatura superficial varió entre -1.33 y 0.66 °C, con una media y mediana de -0.37 °C. En el sitio (17.88 km de la costa) donde se registró el valor más elevado del  $s_A$  (33,539.1  $m^2 \cdot mn^{-2}$ ) la anomalía fue de 0.4 °C. La zona donde la temperatura superficial fue más baja que el promedio (-1.33 °C) la ecointegración fue de 95.19  $m^2 \cdot mn^{-2}$  mientras que cuando la temperatura fue más alta que la normal (0.66 °C) la ecointegración fue de 10,884.19  $m^2 \cdot mn^{-2}$ .



**Figura 26.** Densidad de energía acústica, temperatura superficial marina y anomalía de la temperatura superficial marina en la costa oriental del Golfo de California, invierno de 2022, crucero JCFINP2201.

### 7.27 Índices climáticos

Durante el periodo de estudio (invierno 2022) las características ambientales y marinas en el Pacífico tropical (región Niño 3.4) correspondieron a un evento “La Niña” debido a



que la temperatura estuvo ligeramente por debajo del promedio (-0.9, enero-febrero-marzo) como lo indica el índice ONI y el valor del índice MEI (-0.97, enero-febrero).

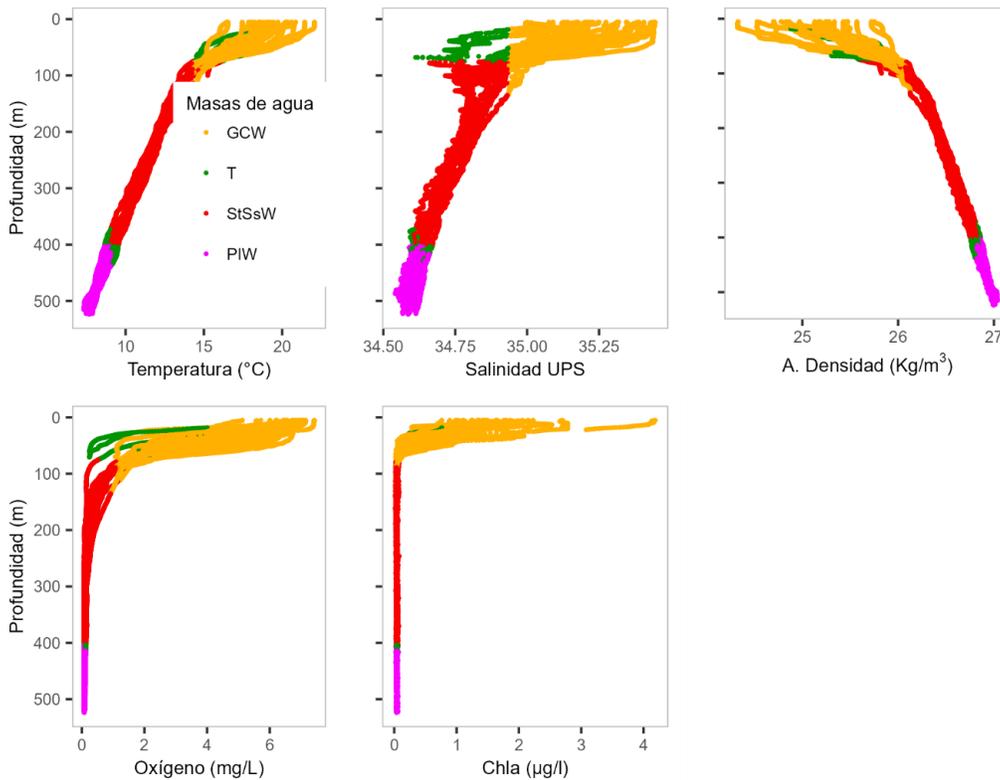
## **7.28 Oceanografía**

Se realizaron 26 estaciones oceanográficas (EO) de las cuales se obtuvieron 27 mediciones con CTD y 24 arrastres con red Bongo, la diferencia en número se debió a la cancelación de un lance de red a causa de un evento de fuerte marejada. También se obtuvieron 26 muestras CUFES. Alternativamente se generaron 10 archivos de texto del termosalinómetro; un archivo de texto de la estación meteorológica por día dentro del periodo del crucero y cuatro archivos por estación oceanográfica, generados con el perfilador de corrientes marinas.

### **7.28.1 Perfilador CTD**

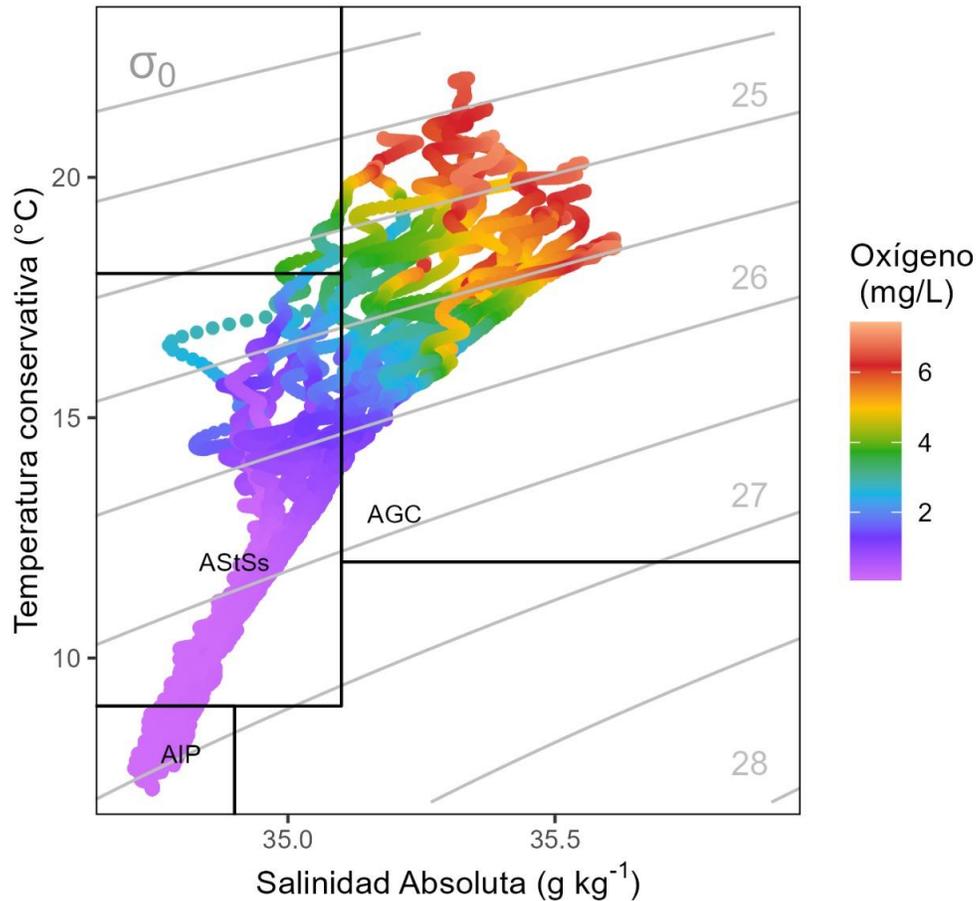
#### **7.28.1.1 Perfiles verticales**

El comportamiento vertical de las variables ambientales mostró una columna de agua estratificada, con una capa superior profunda de la superficie a 100 m de profundidad. La capa de mezcla muy somera, no mayor a 10 m y con un intervalo termohalino posiblemente originado por la variación latitudinal, con aguas más cálidas y saladas al norte. Pudo observarse también una haloclina de menor fuerza y con características diferentes a la zona norte, a 50 metros, profundidad en la que se infiere la mezcla de agua transicional con Agua del Golfo. La representación gráfica de las masas de agua en los perfiles verticales permitió observar que la masa de AT contiene menor oxígeno que la masa de AGC y que la frontera estratíficate con la masa de Agua Subtropical Subsuperficial ocurre aproximadamente a 100 metros. Esta capa inferior con un espesor de 300 metros. Entre 400 y 500 m ocurrió el Agua del Pacífico Intermedia de mayor densidad derivada de las más bajas temperaturas y salinidades registradas, compartiendo mínimas concentraciones de oxígeno y clorofila con la masa de ASsSt (Figura 27).



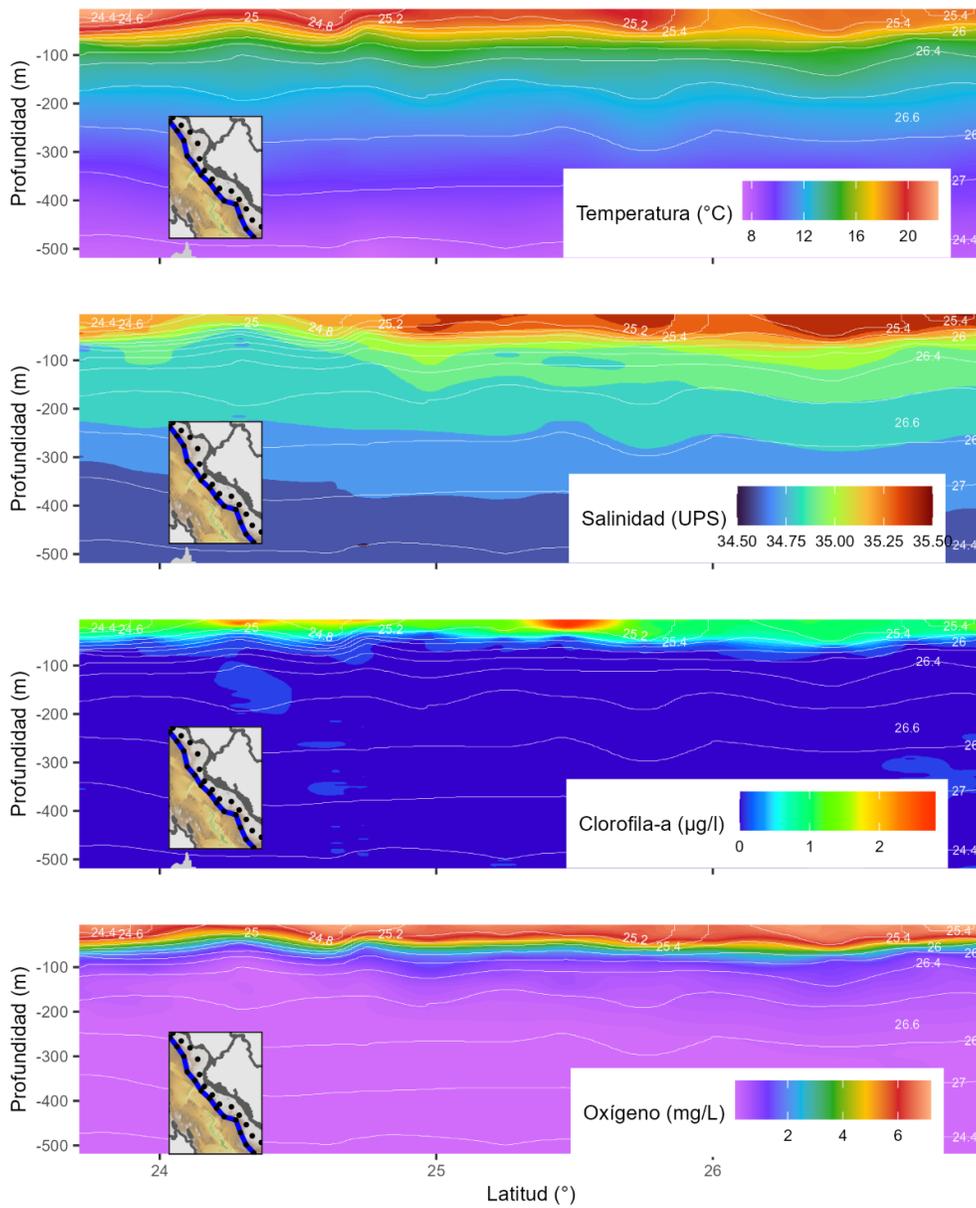
**Figura 27.** Perfiles verticales de temperatura, salinidad, densidad, oxígeno disuelto y clorofila en el invierno del 2022 en el sur del Golfo de California, cruceo JCFINP2201.

El diagrama TSO permitió observar que en periodo invernal son tres las masas de agua dominantes. Al no registrar salinidades menores a 34.6 ups, entre 10 a 21°C, descarta rastros de la masa de Agua de la Corriente de California. Un alto porcentaje de las masas de agua fue del Golfo de California en un espesor de aproximadamente 100 metros. A esta profundidad, la masa de Agua Subsuperficial Subtropical disminuye su temperatura y salinidad en un espesor de agua de 300 m, profundidad en la que permanece sobre la masa de Agua Intermedia del Pacífico. De esta última solo fue registrada una sexta parte del espesor conocido (Figura 28).

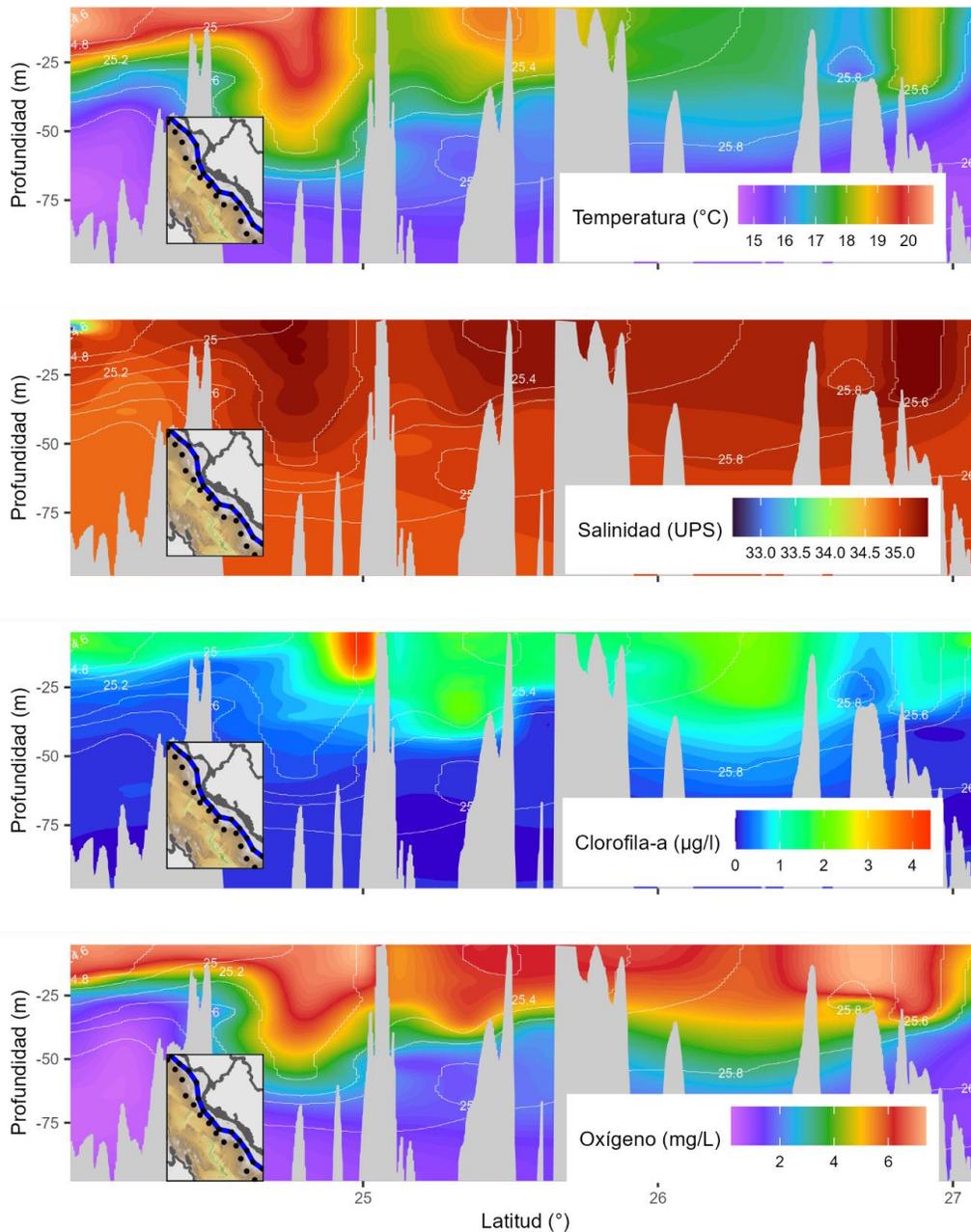


**Figura 28.** Masas de agua: Agua Golfo de California (AGC), Agua Subtropical Subsoperficial (AStSs) y Agua Intermedia del Pacífico (AIP), en el invierno del 2022 en el sur del Golfo de California, cruceo JCFINP2201.

Conociendo el comportamiento vertical de las propiedades fisicoquímicas del agua de mar, así como las características de las masas de agua identificadas, se elaboraron los perfiles verticales de las variables ambientales, correspondientes a la zona nerítica y oceánica. Una diferencia evidente es la batimetría y la mayor fluctuación aparente de las variables, ocasionada por la interpolación de las variables en la zona nerítica, donde la batimetría es menor o igual a 100 m de profundidad. Un océano estratificado deriva hacia la costa tal diferenciación de la capa superior con espesor de 100 m, pero que en la zona nerítica se manifiesta a partir de 25 m de profundidad. En la zona nerítica se observó mayor fluctuación de las variables, principalmente asociada a la batimetría evidenciando leves gradientes latitudinales, donde la temperatura y la salinidad parecen influir en la distribución de la clorofila y el oxígeno disuelto. Debido a que la masa de Agua del Golfo predomina la superficie, esta masa de agua controla dicha distribución de las demás variables con temperaturas más cálidas hacia el norte y de mayor salinidad mayormente concentrada en las zonas relativamente más someras (Figura 29 y Figura 30).



**Figura 29.** Secciones verticales oceánicas de variables oceanográficas (líneas blancas, isoclinas  $\text{kg/m}^3$ ) en el invierno del 2022 en el sur del Golfo de California, cruceo JCFINP2201.



**Figura 30.** Secciones verticales costeras de variables oceanográficas (líneas blancas, isoclinas  $\text{kg/m}^3$ ) en el invierno del 2022 en el sur del Golfo de California, crucero JCFINP2201.

## 8 Discusión

### 8.1 Acústica

En este trabajo se utilizó RF para la predicción espacial del  $s_A$  debido a que las variables predictoras (ambientales, geográficas y biológicas) no presentaron una distribución normal a pesar de la transformación de los datos. En contraste la geoestadística requiere



supuestos estadísticos rigurosos (Isaaks y Srivastava 1989) mientras que los modelos de aprendizaje automático son más flexibles ya que permiten modelar variables con distribuciones complejas y sesgadas como en el caso del NASC (Sekulić *et al.* 2020). Sin embargo, se aplicó el análisis geoestadístico con una transformación logarítmica del  $s_A$  y se encontró que el modelo esférico con una dirección de 45 grados mostró una autocorrelación espacial moderada con un rango de 13.6 km abarcando siete Unidades Básicas de Muestreo separadas cada 1,852 metros. Esta dirección está influenciada por la posición de los transectos perpendiculares a la costa.

La pendiente del fondo marino en el área de estudio es compleja porque existen superficies relativamente planas y elevaciones montañosas que se observaron durante la prospección acústica mediante el ecosonda EK60, por lo tanto, su representación cartográfica para el presente trabajo se clasificó con lo propuesto por Lugo-Hubp (1988) ya que menciona que es conveniente diferenciar intervalos en grados (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°). A pesar de que esta clasificación fue propuesta para relieves terrestres en México, se aplicó a esta región marina donde quedaron expuestas las zonas más inclinadas en el mapa de la pendiente.

El resultado del modelo RF muestra que la pendiente fue la variable que más influyó en la distribución espacial del NASC, es decir, entre mayor es la pendiente mayor es la actividad biológica ( $R^2 = 0.38$ , p-value:  $3.586e-15$ ) en la costa oriental del Golfo de California durante el invierno de 2022. La pendiente induce a la agregación de organismos y el aumento de la producción primaria (Virgili *et al.* 2018). Además, las especies habitan cerca de las zonas escarpadas donde pueden encontrar protección de sus depredadores aunado a que son zonas altamente productivas (Fernandez-Arcaya *et al.* 2017). El modelo RF mediante la pendiente superior a 5 grados y batimetría ( $R^2 = 0.236$ , p-value:  $1.853e-06$ ) con profundidades mayores a 200 metros realizó la predicción de la mayor concentración de peces ( $>5,000 \text{ m}^2\text{mn}^{-2} s_A$ ) enfrente de Topolobampo y es en donde se encuentra el Cañón de San Ignacio (CONANP 2011). Asimismo, en las inmediaciones del talud continental se presentaron concentraciones densas de peces (2000 a 5000  $\text{m}^2\text{mn}^{-2}$ ). Esto concuerda con el trabajo de Fernandez-Arcaya *et al.* (2017) donde mencionan que los cañones submarinos juegan un papel importante en el hábitat de los organismos debido a la interacción entre su compleja geomorfología y las corrientes marinas que dan origen a zonas de alta productividad. Asimismo, De Leo *et al.* (2010) encontraron que, en la costa oriental de Nueva Zelanda, en el cañón Kaikoura existen grandes cantidades de especies bentónicas por debajo de los 500 metros de profundidad. Clavel-Henry *et al.* (2020) analizó la distribución espaciotemporal (2005-2014) de las capturas de camarón con las variables ambientales y la topografía en el noroeste del mar Mediterráneo en una zona de tres cañones submarinos y encontraron que la batimetría fue la variable más importante para explicar la distribución geográfica de las capturas de la flota de camarón, donde las mayores tasas de pesca ocurrieron entre 475 y 565 metros de profundidad. Por otra parte, Santora *et al.* (2018) analizaron las características geomorfométricas de los cañones (área, longitud, ancho y profundidad media) que se encuentran en el sistema de la corriente de California para conocer su influencia en la distribución y abundancia de Krill y encontraron que las abundancias ocurrieron un 76% donde se encuentran estos relieves marinos. Por lo tanto, mencionan que la geomorfometría de los cañones debe



considerarse al estudiarse especies pelágicas, mamíferos marinos o incluso aves en la elaboración de modelos de distribución de especies.

Por otro lado, el modelo efectuó predicciones dispersas ( $<200 \text{ m}^2\text{mn}^{-2}$ ), al suroeste de las localidades El Perihuate y Agiabampo así como en otros pequeños parches replegados hacia la costa donde se encuentra la plataforma continental y la pendiente es suave ( $<3^\circ$ ) con profundidades menores a 200 metros. En el modelamiento de la distribución espacial con RF se pudo apreciar que en la costa oriental del Golfo de California (invierno 2022) la pendiente y la batimetría fueron las variables más importantes para la predicción del NASC y existe concordancia con los trabajos citados previamente. Sin embargo, para un posible aprovechamiento de las especies con potencial pesquero que se encuentran cerca del fondo podría ser complicado debido al complejo relieve submarino y que podrían dañar las redes de arrastre de fondo.

En la gráfica de distribución vertical del NASC (Figura 22) y en los mapas de ecointegración por capas de profundidad (Figuras 20 y 21) se observó que en las zonas con profundidades superiores a 100 metros y cerca del talud continental se encontraron los valores más altos de ecoabundancia y que probablemente estén asociados a *M. productus* y otros peces. Estos resultados sugieren que durante el periodo diurno la merluza se encuentra cerca del fondo marino mientras que en el periodo nocturno migran verticalmente hacia la superficie como lo mostró Alverson y Larkins (1969) en la costa oeste de Estados Unidos de América. Esta misma tendencia se observó en la captura total de los arrastres de pesca ya que el mayor volumen se obtuvo en las zonas más profundas ( $>100 \text{ m}$ ) y es coherente con la operación de la flota que captura merluza entre 110 y 300 n en el Alto Golfo (Alvarez-Trasviña *et al.* 2022). Por esta razón se comprobó el beneficio de realizar la prospección acústica y los lances de pesca de fondo durante el periodo diurno.

La variable biológica que más influyó en la distribución del  $s_A$  ( $\text{m}^2\text{mn}^{-2}$ ) durante el horario diurno fue la clorofila-a. Esta variable funciona como indicador de presencia fitoplancton y la productividad biológica del océano, donde tienden a concentrarse el zooplancton y las poblaciones de peces (Sigman y Hain 2012). Solanki *et al.* (2003) realizaron un estudio en la costa de Gujarat al noroeste de la India (norte del Mar Árabe) donde integraron productos satelitales de clorofila-a y temperatura superficial marina para encontrar zonas potenciales de pesca (ZPP). Dichas ZPP fueron validadas con lances de pesca. Estos autores encontraron que hubo aumentos de hasta dos y tres veces en las capturas obtenidas en las ZPP que en otras zonas. Por lo tanto, encontraron que el agua fría es un indicador de alta concentración de clorofila-a y resultan ser variables útiles para explorar recursos pesqueros.

Alvarez-Trasviña *et al.* (2022), mediante modelos aditivos generalizados encontraron que la temperatura en la columna de agua tiene influencia en la distribución de la merluza en el NGC. Con el modelo explicaron que las mayores capturas se ubicaron donde las temperaturas oscilaron entre 13.2 a 14.0 °C. En el presente estudio se obtuvo que los dos lances con mayor captura se obtuvieron a una profundidad de entre 180 y 200 metros, donde la temperatura del agua osciló en 12 y 14 °C.



En el Pacífico tropical en la temporada de estudio (28 de enero al 11 de febrero de 2022) se presentó el evento “La Niña”. No obstante, en la mayor parte del área de investigación la temperatura superficial marina estuvo cerca del promedio, aunque en las inmediaciones de la zona costera se presentaron condiciones levemente templadas.

## 8.2 Biología

La presencia de merluza *Merluccius productus* en las capturas realizadas con red de fondo en la costa oriental del Golfo de California a finales de enero y principios de febrero de 2022, fue de 39%, con lo que se obtuvo una CPUE de 537.1 kg/hr. Las capturas con valores más altos en peso y abundancia de merluzas se observaron en sitios de pesca ubicados en el escarpe de la plataforma continental, alrededor de la isobata de los 100 m, profundidad a la cual se ha documentado el recurso (Funes-Rodríguez *et al.* 2007).

La merluza es un depredador de langostilla (Balart-Páez y Castro-Aguirre 1995), se ha documentado la relación merluza y langostilla *P. planipes* (Lloris *et al.* 2003), en este estudio aun cuando no se identificó el contenido estomacal en las merluzas capturadas, si se observó que en los sitios donde se registraron mayores capturas de merluza coinciden con las mayores capturas de langostilla.

Las tallas de las merluzas se encontraron entre 11.6 y 30.4 cm LP, con un promedio de 17.28 cm LP, las cuales se encuentran entre las tallas observadas en la pesca comercial que es de 8 a 108 cm LT, con un promedio de 53.9 cm LT (Zamora-García y Stavrinaky 2018). No obstante, se capturaron merluzas de tallas pequeñas al promedio registrado en el Golfo de California, que es de 47.5 cm LP (Zamora-García 2021). El peso promedio de las merluzas en la pesca comercial es de 1.1 kg (Zamora-García 2021), mucho mayor al registrado en las capturas de este estudio, probablemente corresponde a merluzas pequeñas. Tales tallas corresponden a merluzas juveniles de acuerdo con su grado de desarrollo gonadal (Zamora-García 2021), tallas que proporcionalmente fueron entre 27 y 32% de la captura total, es decir, en las capturas se registró alrededor de 30% merluzas juveniles, aproximadamente 65% fueron merluzas adultas en proceso de maduración y en predesove.

La fauna asociada a las capturas de merluza es alrededor de 69 especies (DOF 2022), en este estudio se identificaron 124, de las cuales solo 19 son compartidas, el resto son especies no documentadas como fauna asociada, información importante para el conocimiento de la especie, ya que en cuestiones de fauna asociada se conoce poco sobre este recurso, siendo importante por la conexión que mantiene con muchas especies tanto en la función como de alimento y como de depredador (Alvarez-Trasviña *et al.* 2020).

La captura de pelágicos menores como la macarela *Scomber japonicus* y la sardina piña *Oligoplites refulgens*, fue fortuita ya que probablemente entraron a la red de pesca cuando ésta estaba siendo izada, ya que los lances fueron de fondo. Sin embargo, es importante el registro puesto que está dentro del área de distribución de estos pelágicos (DOF 2022). Cabe mencionar que la captura total calculada en este estudio fue de 4.5 toneladas con una abundancia aproximada de 163 mil individuos, de los cuales los valores de abundancia para los dos pelágicos fue alto con respecto a los totales, por lo que en el



análisis de asociación entre frecuencia de ocurrencia y densidad (Olmsted-Tukey) los colocan entre las especies abundantes.

Entre las especies que registraron un IVI (Índice de Valor de Importancia) alto, así como la categoría de dominante mediante el análisis Olmstead-Tukey, se encontraron especies como la langostilla *P. planipes*, crustáceo recurrente en los lances de pesca de media agua, siempre ocupando los primeros lugares en IVI (Vallarta-Zárate *et al.* 2019, 2020). La langostilla ha sido considerada desde hace varias décadas como el decápodo más abundante en la costa occidental del Pacífico mexicano (Auriolos-Gamboa y Balart 1995, Balart-Páez 1996, Vega-Villasante *et al.* 2002, 2006, Robinson *et al.* 2004, De anda Montañez *et al.* 2015, Vallarta-Zárate *et al.* 2023).

Finalmente, se menciona la presencia de especies objetivo como la curvina amarilla y el camarón café *P. californiensis* quienes se identificaron en las capturas de la pesca de fondo de este estudio, esto por su amplia distribución en la zona y porque son parte del hábitat bentónico (Hendrickx 1995). El camarón café es un recurso pesquero importante en el país, ya que representó 32.3% de la captura de camarón entre 1997 y 2007 en el Pacífico mexicano (DOF 2010), valor que se incrementó a 67% de la captura en embarcaciones mayores entre 2013 y 2015, mientras que sumo 11% en las capturas de embarcaciones menores en este mismo periodo de tiempo (DOF 2017), en este estudio su captura fue apenas representativa, con 33 individuos y 0.5 kg, lo que la incluyo en la categoría de especies raras. En el caso de la corvina *C. xanthulus*, lacual forma parte de la pesca de curvinas y berrugas (DOF 2010), esta curvina alcanza tallas de hasta 90 cm (Chao 1995, Robertson y Allen 2015), talla mucho mayor a la registrada en los lances de pesca de este estudio, estos mismos autores reportan es una especie costera, sin embargo, en este estudio se registró desde 75 hasta 160 m de profundidad y con tallas entre 10 y 27 cm de longitud patrón.

## 9 Conclusiones

- La presencia de merluza fue recurrente en la región oriental del Golfo de California frente a Sinaloa y Sonora, con tallas entre 11 y 36 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.
- Una pequeña parte de la población de merluza se encontraba en proceso de maduración y predesove.
- En la zona con mayor pendiente y con profundidades superiores a 100 m en la región norte de Sinaloa se encontró mayor actividad biológica, incluyendo a la merluza.
- El posible aprovechamiento de la merluza en las zonas con mayor pendiente podría ser complicado operando redes de arrastre de fondo, por lo que se podrían operar otros sistemas de pesca.
- Con el modelo Random Forest se predijo que la mayor concentración de peces ( $>5,000 \text{ m}^2\text{mn}^{-2} \text{ s}_A$ ) se encontró enfrente de Topolobampo, así como en las inmediaciones del talud continental se presentaron concentraciones densas de peces ( $2,000$  a  $5,000 \text{ m}^2\text{mn}^{-2}$ ).



- La curvina amarilla (*Cynoscion xanthulus*) fue una de las especies más importantes en términos de captura e indicadores de abundancia en la región.
- 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 temperatura, salinidad y oxígeno disuelto tienen una mayor influencia en la distribución de las especies demersales.

## 10 Recomendaciones

Se recomienda ampliar el área de estudio particularmente en las costas de Sonora y Sinaloa, para verificar la presencia de la merluza fuera de las zonas de pesca en el Alto Golfo de California, incluyendo áreas someras y profundas.

Dado que las capturas comerciales de merluzas se registran de diciembre a mayo, se recomienda realizar muestreos que cubran el periodo completo.

Se recomienda continuar con los estudios de prospección en el fondo marino para identificar zonas de pesca que permitan un aprovechamiento de los recursos sin riesgo de daños en las artes de pesca.

Además, se recomienda ampliar estudios encaminados a la evaluación pesquera particularmente en sitios donde el buque Jorge Carranza ha identificado especies de interés para el sector.



## 11 Literatura citada

- Alvarez-Trasviña E., D.I Arizmendi-Rodríguez, E. Marín-Enríquez, L.A. Salcido-Guevara, R. Sánchez-Cárdenas and G. Rodríguez-Domínguez. 2022. Distribution and abundance of the Pacific hake, *Merluccius productus*, and relationship with the environment in the Gulf of California, Mexico. *Ciencias Marinas* 48(1). <https://doi.org/10.7773/cm.y2022.3256>
- 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.
- Armstrong M. 1998. *Basic Linear Geostatistics*. Springer. Berlín, Germany Springer-Verlag.
- Aurioles-Gamboa D. and E.F. Balart. 1995. The red crab: biology, ecology and exploitation. *Northwest Biological Research Center, La Paz*. Pp: 221-233 (in Spanish).
- Barner L.W., R. Kieser and T.J. Mulligan. 1984. A hydroacoustic survey for Pacific hake on the Continental Shelf off British Columbia and Washington from 48 to 49 degrees North latitude: August 22 to September 8, 1983. *Can. Data Rep. Fish. Aquat. Sci.* 458: 98.
- 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.
- Berger A.M., A.M. Edwards, C.J. Grandin and K.F. Johnson. 2019. Status of the Pacific Hake (whiting) stock in U.S. and Canadian waters in 2019. Prepared by the Joint Technical Committee of the U.S. and Canada Pacific Hake/Whiting Agreement, National Marine Fisheries Service and Fisheries and Oceans Canada. 249 p.
- Bischl 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.
- Bivand R.S., E. Pebesma and V. Gómez-Rubio. 2013. *Applied Spatial Data Analysis with R* (2ed). New York, United States of America: Springer.
- 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.
- 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* Pp: 5372-5375.



- Brower J.E. and J.H. Zar. 1977. Brown comp. *Field and laboratory methods for general ecology*. 185 p.
- Cambardella C.A., T.B. Moorman, T.B. Parkin, D.L. Karlen, J.M. Novak, R.F. Turco and A.E. Konopka. 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal* 58: 1501-1511.
- Capotondi A., A.T. Wittenberg, M. Newman, E.D. Lorenzo, J.Y. Yu, P. Braconnot, J. Cole, B. Dewitte, B. Giese, E. Guilyardi, F.F. Jin, K. Karnauskas, B. Kirtman, T. Lee, N. Schneider, Y. Xue and S.W. Yeh. 2015. Understanding ENSO diversity. *Bulletin of the American Meteorological Society* 96(6): 921-938.
- Castillo P.R., S. Peraltilla, A. Aliaga, M. Flores, M. Ballón, J. Calderón y M. Gutiérrez. 2009. Protocolo técnico para la evaluación acústica de las áreas de distribución y abundancia de recursos pelágicos en el mar peruano. Versión 2009. *Instituto del Mar del Perú* 36: 1-2.
- Chao N.L. 1995. Corvinas, barbiches, bombaches, corvinatas, corvinetas, corvinillas, lambes, pescadillas, roncachos, verrugatos. *En: W. Fischer, F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K.E. Carpenter y V.H. Niem (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. Pp: 1427-1518.* Chin T.S., J. Vazquez-Cuervo and E.M. Armstrong. 2017. A multi-scale high-resolution analysis of global sea surface temperature. *Remote Sensing of Environment* 200: 154-169. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.07.029>.
- Clavel-Henry M., N. Bahamon, J. Solé, G. Gorelli, J.G. del Arco, M. Carretón, G. Rotllant and J.B. Company. 2020. Modeling the spatiotemporal distribution of the deep-sea shrimp *Aristeus antennatus* (Crustacea: Decapoda) on the northwestern Mediterranean continental margin crossed by submarine canyons. *Journal of Marine Systems* 209: 103372.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 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
- CONEVAL. 2021. Medición de la pobreza. Anexo estadístico de pobreza en México 2018-2020. [https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Paginas/AE\\_pobreza\\_2020.aspx](https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Paginas/AE_pobreza_2020.aspx) Consulta: 03 de octubre de 2022
- 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.



- Demer D.A., L. Berger, M. Bernasconi, E. Bethke, K.M. Boswell, D. Chu, R. Domokos, A. Dunford, S. Fässler, S. Gauthier, L.T. Hufnagle, J.M. Jech, N. Bouffant, A. Lebourges-Dhaussy, X. Lurton, G.J. Macaulay, Y. Perrot, T. Ryan, S. Parker-Stetter, S. Stienessen, T. Webern and N. Williamson. 2015. Calibration of acoustic instruments. *ICES Cooperative Research Report* 326(32): 133.
- Denton-Castillo J. 2018. Agregaciones y aspectos reproductivos de la merluza *Merluccius productus* (Ayres, 1855) en el centro y norte del Golfo de California. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa. México. 108 p.
- De Blois S. 2019. The 2017 Joint U.S. and Canada Pacific Hake Integrated Acoustic and Trawl Survey: Cruise Report SH-17-07. U.S. Department of Commerce, NOAA Processed Report NMFS-NWFSC 2019-02. <https://doi.org/10.25923/fk29-dx71>
- De Leo F.C., C.R. Smith, A.A. Rowden, D.A. Bowden and M.R. Clark. 2010. Submarine canyons: hotspots of benthic biomass and productivity in the deep sea. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 277(1695): 2783-2792.
- DOF. 2010. ACUERDO mediante el cual se da a conocer la actualización de la Carta Nacional Pesquera. *Diario Oficial de la Federación*, México. Diciembre 2 de 2010.
- 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. 2022. ACUERDO mediante el cual se da a conocer la actualización de la Carta Nacional Pesquera. *Diario Oficial de la Federación*, México. Julio 26 de 2022.
- Ehrardt 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.
- FAO. 2022. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. Hacia la transformación azul. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461es>
- Fernandes P.G. 2009. Classification trees for species identification of fish-school echotraces. *ICES J. Marine Sci.* 66: 1073-1080.
- Fernandez-Arcaya U., E. Ramirez-Llodra, J. Aguzzi, A.L. Allcock, J.S. Davies, A. Dissanayake, P. Harris, k. Howell, V.A.I. Huvenne, M. Macmillan-Lawler, J. Martín, L. Menot, M.



- Nizinski, P. Puig, A.A. Rowden, F. Sanchez and I.M.J. Van den Beld. 2017. Ecological role of submarine canyons and need for canyon conservation: a review. *Frontiers in Marine Science* 4: 5.
- Fleischer G.W., K.D. Cooke, P.H. Ressler, R.E. Thomas, S.K. de Blois, L.C. Hufnagle, A.R. Kronlund, J.A. Holmes and C.D. Wilson. 2005. The 2003 integrated acoustic and trawl survey of Pacific hake, *Merluccius productus*, in U.S. and Canadian waters off the Pacific coast. U.S. Dept. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-NWFSC-65. 45 p.
- Foote K.G. 1983. Maintaining precision calibrations with optimal copper spheres. *Journal of the Acoustical Society of America* 73(3): 1054-1063.
- Foote K. 1987. Fish target strengths for use in echo integrator surveys. *J. Acoust. Soc. Am.* 82(3): 981-987.
- Fraire-Cervantes J.A. 2016. *Resultados económicos de la temporada de merluza en el Golfo de California, 2016*. EDF Environmental Defense Fund de México. 17 p.
- Funes-Rodríguez R., J. Cruz Hernández, S.P.A. Jiménez Rosenberg, A.T. Hinojosa Medina, R.J. Saldierna Martínez, G. Aceves Medina, R. González Armas y C.A. Silva Segundo. 2007. Atlas de distribución y abundancia de la merluza del Pacífico, *Merluccius productus* (Ayres), en la costa occidental de la Península de Baja California, 1951-2001. CICIMAR-IPN. 94 p.
- GEBCO Compilation Group. 2020. GEBCO 2020 Grid (doi:10.5285/c6612cbe-50b3-0cff-e053-6c86abc09f8f)
- Genuer R. and J.M. Poggi. 2020. *Random Forests with R*. Springer. South San Francisco, USA. 98 p.
- Godínez Pérez 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.
- Godínez-Pérez C.A. 2016. Identificación acústica de la merluza del Pacífico norte *Merluccius productus* en el Golfo de California. Tesis de maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional. La Paz, Baja California Sur, México. 132 p.
- 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. Camarones. *En: W. Fischer, F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K.E. Carpenter and V.H. Niem. 1995. Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico centro-oriental. Volumen I. Plantas e invertebrados.* Roma, FAO. 1995. 1: 417-537.



- 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.
- Isaaks E.H. and R.M. Srivastava. 1989. *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford Univ. Press, New York, USA.
- Jung Y. and J. Hu. 2015. A k-fold averaging crossvalidation procedure. *Journal of Nonparametric Statistics* 27(2): 167-179. <http://dx.doi.org/10.1080/1048525.2.2015.1010532>.
- Lloris D., J. Matallanas and P. Oliver. 2003. *Merluzas del mundo (Familia Merluccidae)*. Catálogo comentado e ilustrado de las merluzas conocidas. FAO Catálogo de especies par los fines de la pesca No. 2. Roma. 57 p.
- Lluch-Cota D.B., S. Hernández Vázquez, E.F. Balart Páez, L.F. Beltrán Morales, P. del Monte Luna, A. González Becerril, S.E. Lluch-Cota, A.F. Navarrete del Proó, G. Ponce Díaz, C.A. Salinas Zavala, J. López Martínez y S. Ortega García. 2006. *Desarrollo Sustentable de la Pesca en México: Orientaciones Estratégicas*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste/ Comisión de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca del Senado de la República. 436 p.
- Lovelace R., J. Nowosad and J. Muenchow. 2019. *Geocomputation with R*. CRC Press. 334 p.
- Lugo-Hubp J. 1988. *Elementos de geomorfología aplicada (Métodos cartográficos)*. Igg, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 128 p.
- 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)
- 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. 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>
- Moral F. 2004. Aplicaciones de la geoestadística en las ciencias ambientales. *En: Ecosistemas: Asociación Española de Ecología Terrestre* 13(1): 78-86.
- Moreno C.E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza. 84 p.
- Muhling B.A., S. Brodie, J.A. Smith, D. Tommasi, C.F. Gaitan, E.L. Hazen and R.D. Brodeur. 2020. Predictability of species distributions deteriorates under novel environmental conditions in the California Current System. *Frontiers in Marine Science* 7(589): 1-22.



- Nets Systems. 2016b. Plano técnico de red: Bering Sea Combination 79/107. DWG No. 079BSC06i, copyright by Net Systems Inc.
- Nevárez-Martínez M.O., A. Balmori-Ramírez, J.P. Santos-Molina, C. Cervantes-Valle, J. López-Martínez, J.F. Méndez-Tenorio, M.L. Anguiano-Carrasco, A. Acevedo-Cervantes, E. Miranda Mier, R. Morales-Azpeitia y E. Valdivia. 2007. Prospección de merluza y bacalao: distribución, tamaño poblacional e ictiofauna asociada en el Golfo de California. INAPESCA. Informe de investigación. (Documento interno). 87 p.
- 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>
- Parra-Alaniz J.C. and M. Ramírez-Rodríguez. 2022. Fleet efficiency in the Pacific hake (*Merluccius productus*) fishery in the Gulf of California, Mexico. *Latin American Journal of Aquatic Research* 50(1): 99-109.
- Pebesma E.J. 2004. Multivariable geostatistics in S: the gstat package. *Computers and Geosciences* 30: 683-691.
- Pérez-Planells L., J. Delegido-Gómez, 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.
- Péron C. M. Authier and D. Grémillet. 2018. Testing the transferability of track-based habitat models for sound marine spatial planning. *Diversity and Distributions* 24(12): 1772-1787.
- 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.N. Wright and A.L Boulesteix. 2019. Hyperparameters and tuning strategies for random forest. *Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery* 9(3): e1301.
- QGIS.org. 2021. QGIS Geographic Information System. QGIS Association. <http://www.qgis.org>
- 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/>.
- Redfern J.V., T.J. Moore, P.C. Fiedler, A. de Vos, R.L. Brownell Jr, K.A. Forney, E.A. Becker and L.T. Ballance. 2017. Predicting cetacean distributions in data-poor marine ecosystems. *Diversity and Distributions* 23(4): 394-408.
- Reisinger R.R., A.S. Friedlaender, A.N. Zerbini, D.M. Palacios, V. Andrews-Goff, L. Dalla Rosa 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*. United States of America, Manning Publications Co. 511 p.
- Ribeiro M.T., S. 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.
- Rivoirard J., J. Simmonds, K.G. Foote, P. Fernandes and N. Bez. 2000. *Geostatistics for estimating fish abundance*. Blackwell Science Ltd.
- Roberts D.R., V. Bahn, S. Ciuti, M.S. Boyce, J. Elith, G. Guillera-Arroita 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.
- Ryo M., B. Angelov, S. Mammola, J.M. Kass, B.M. Benito and F. Hartig. 2021. Explainable artificial intelligence enhances the ecological interpretability of black-box species distribution models. *Ecography* 44(2): 199-205.
- Santora J.A., R. Zeno, J.G. Dorman, and W.J. Sydeman. 2018. Submarine canyons represent an essential habitat network for krill hotspots in a Large Marine Ecosystem. *Scientific Reports* 8(1): 1-9.
- Schratz P., J. Muenchow, E. Iturrutxa, 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.
- Segura M. y A. Aliaga. 2013. Biomasa acústica y distribución del jurel *Trachurus murphyi* en el Perú. En: Csirke J., R. Guevara-Carrasco y M. Espino (Eds.). *Ecología, pesquería y conservación del jurel (Trachurus murphyi) en el Perú*. *Rev. peru. biol.* número especial 20(1): 087- 096.
- Sekulić A., M. Kilibarda, G. Heuvelink, M. Nikolić and B. Bajat. 2020. Random Forest spatial interpolation. *Remote Sensing* 12(10): 1687.
- Sigman D.M. and M.P. Hain. 2012. The Biological Productivity of the Ocean. *Nature Education Knowledge* 3(10):21.
- Simmonds E.J. and D. MacLennan. 2005. *Fisheries Acoustics, Theory and Practice*. 2a Ed. Backwell Publishing Company. 437 p.
- Sokal R.R. y F.J. Rohlf. 1981. *Biometría: Principios y métodos estadísticos en la investigación biológica*. Blume, Madrid. 829 p.



- Solanki H.U., R.M. Dwivedi, S.R. Nayak, V.S. Somvanshi, D.K. Gulati and S.K. Pattnayak. 2003. Fishery forecast using OCM chlorophyll concentration and AVHRR SST: validation results off Gujarat coast, India. *International Journal of Remote Sensing* 24(18): 3691-3699.
- 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: J. Alheit and T.J. Pitcher (eds.). *Hake: biology, fisheries and markets*. Chapman and Hall, London. Pp: 415 435.
- Traynor J.J. 1996. Target-strength measurements of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) and Pacific whiting (*Merluccius productus*). *ICES Journal of Marine Science* 53(2): 253-258.
- Valavi R., J. Elith, J.J. Lahoz-Monfort and G. Guillera-Arroita. 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 Acuicultura, Dirección General de Investigación Pesquera en el Atlántico. Diciembre, 2020. Informe Técnico No. 9. 102 p.
- Vallarta-Zárate J.R.F., M. Vásquez-Ortiz, J. Payán-Alejo y R.I. Rojas-González. 2023. Patrones de distribución de la langostilla (*Pleuroncodes planipes*) en la costa occidental de la península de Baja California, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 94 <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2023.94.4862>
- 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.
- Virgili A., M. Authier, P. Monestiez and V. Ridoux. 2018. How many sightings to model rare marine species distributions. *Plos one* 13(3): e0193231.
- WoRMS. 2023. *Grimothea planipes* (Stimpson, 1860). Accessed at: <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=1607504> on 2023-03-13
- 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 O.G., J.F. Márquez-Farías, A. Stavrinsky-Suarez, C. Díaz-Avalos, N.I. Zamora-García and R.E. Lara-Mendoza. 2020. Catch rate, length, and sex ratio of Pacific hake (*Merluccius productus*) in the northern Gulf of California. *Fishery Bulletin* 118(4): 365-380.
- Zamora-García Ó.G., R.E. Lara-Mendoza y J.F. Márquez-Farías. 2013. Informe del Primer Crucero Exploratorio de Aguas Profundas de la Costa de Sinaloa y Sonora. Instituto Sinaloense de Acuacultura y Pesca. 13 p. 6.15.
- 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)
- 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.



**12 Anexos.**

**12.1 Anexo I.** Coordenadas del derrotero del crucero JCFINP2201.

| ID | LONGITUD    | LATITUD   | TRANSECTO | ID | LONGITUD    | LATITUD   | TRANSECTO |
|----|-------------|-----------|-----------|----|-------------|-----------|-----------|
| 1  | -107°38.478 | 24°0.522  | 1         | 31 | -109°39.882 | 25°33.654 | 16        |
| 2  | -107°52.488 | 23°42.63  | 1         | 32 | -109°32.19  | 25°43.47  | 16        |
| 3  | -107°58.656 | 23°51.3   | 2         | 33 | -109°34.056 | 25°55.41  | 17        |
| 4  | -107°47.07  | 24°6.096  | 2         | 34 | -109°43.224 | 25°45.36  | 17        |
| 5  | -107°55.554 | 24°11.808 | 3         | 35 | -109°50.082 | 25°52.98  | 18        |
| 6  | -108°7.158  | 23°56.988 | 3         | 36 | -109°30.312 | 26°14.652 | 18        |
| 7  | -108°15.234 | 24°3.228  | 4         | 37 | -109°37.704 | 26°21.684 | 19        |
| 8  | -108°4.368  | 24°17.082 | 4         | 38 | -109°57.51  | 25°59.976 | 19        |
| 9  | -108°6.618  | 24°30.768 | 5         | 39 | -110°3.084  | 26°9      | 20        |
| 10 | -108°17.52  | 24°16.842 | 5         | 40 | -109°42.558 | 26°31.506 | 20        |
| 11 | -108°20.964 | 24°28.986 | 6         | 41 | -109°52.14  | 26°40.866 | 21        |
| 12 | -108°11.394 | 24°41.208 | 6         | 42 | -110°3.774  | 26°26.16  | 21        |
| 13 | -108°19.98  | 24°46.794 | 7         | 43 | -110°10.104 | 26°34.596 | 22        |
| 14 | -108°26.37  | 24°38.622 | 7         | 44 | -110°1.68   | 26°45.252 | 22        |
| 15 | -108°36.264 | 24°42.54  | 8         | 45 | -110°8.874  | 26°52.596 | 23        |
| 16 | -108°26.04  | 24°55.596 | 8         | 46 | -110°16.686 | 26°42.72  | 23        |
| 17 | -108°34.866 | 25°0.87   | 9         | 47 | -110°24.072 | 26°49.824 | 24        |
| 18 | -108°48.288 | 24°43.728 | 9         | 48 | -110°16.32  | 26°59.628 | 24        |
| 19 | -108°58.302 | 24°47.484 | 10        | 49 | -110°24.378 | 27°5.88   | 25        |
| 20 | -108°48.708 | 24°59.73  | 10        | 50 | -110°30.21  | 26°58.506 | 25        |
| 21 | -108°57.096 | 25°5.562  | 11        | 51 | -110°37.962 | 27°5.148  | 26        |
| 22 | -109°2.256  | 24°58.98  | 11        | 52 | -110°32.742 | 27°11.748 | 26        |
| 23 | -109°9.288  | 25°6.54   | 12        | 53 | -110°39.816 | 27°19.242 | 27        |
| 24 | -109°1.608  | 25°16.35  | 12        | 54 | -110°45.054 | 27°12.624 | 27        |
| 25 | -109°10.524 | 25°21.504 | 13        | 55 | -110°48.546 | 27°24.648 | 28        |
| 26 | -109°15.636 | 25°14.976 | 13        | 56 | -110°43.332 | 27°31.242 | 28        |
| 27 | -109°24.498 | 25°20.208 | 14        | 57 | -110°47.604 | 27°42.282 | 29        |
| 28 | -109°18.72  | 25°27.582 | 14        | 58 | -110°54.09  | 27°34.086 | 29        |
| 29 | -109°25.47  | 25°35.508 | 15        | 59 | -111°5.322  | 27°36.324 | 30        |
| 30 | -109°31.29  | 25°28.074 | 15        | 60 | -110°56.244 | 27°47.802 | 30        |

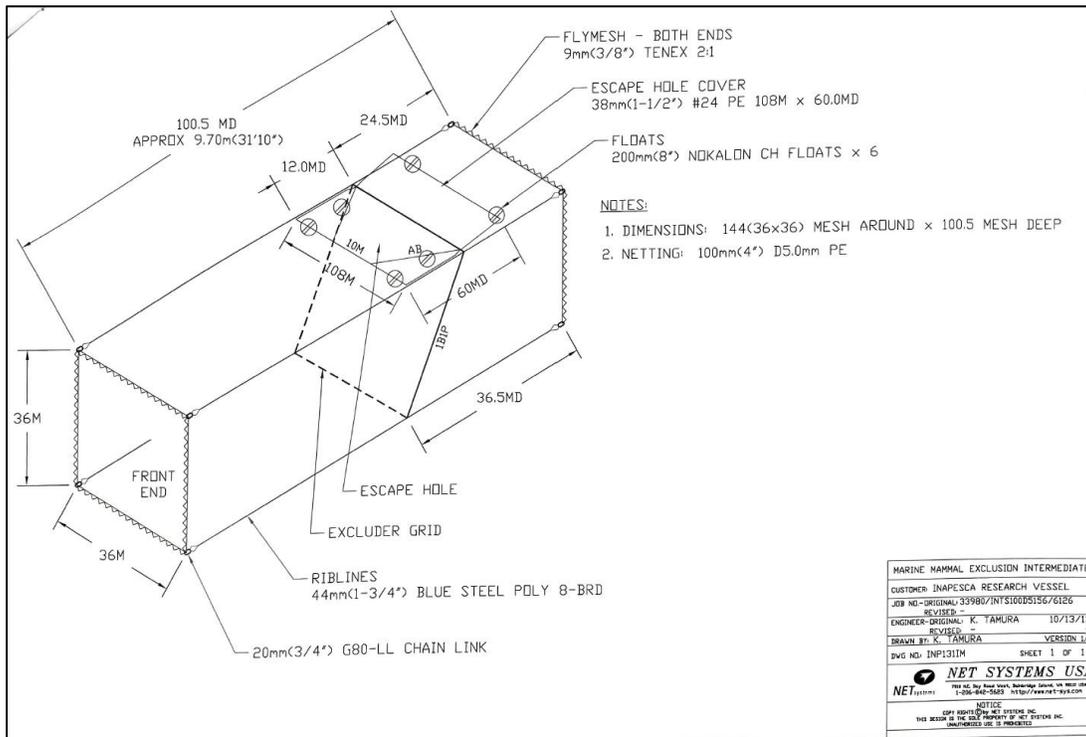
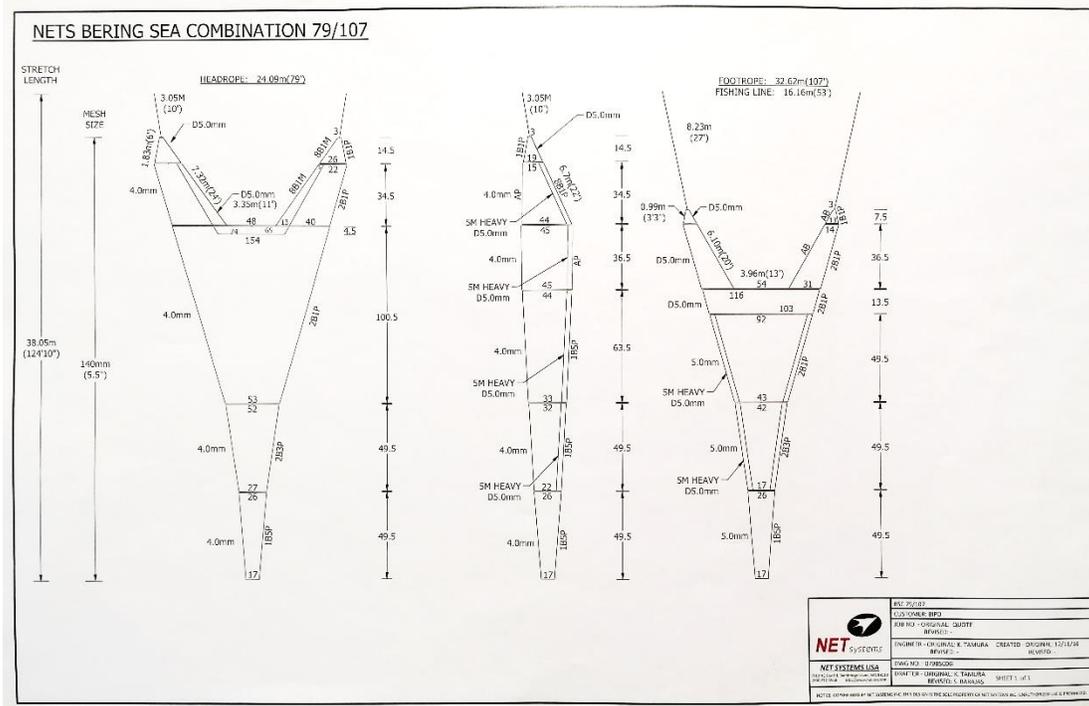


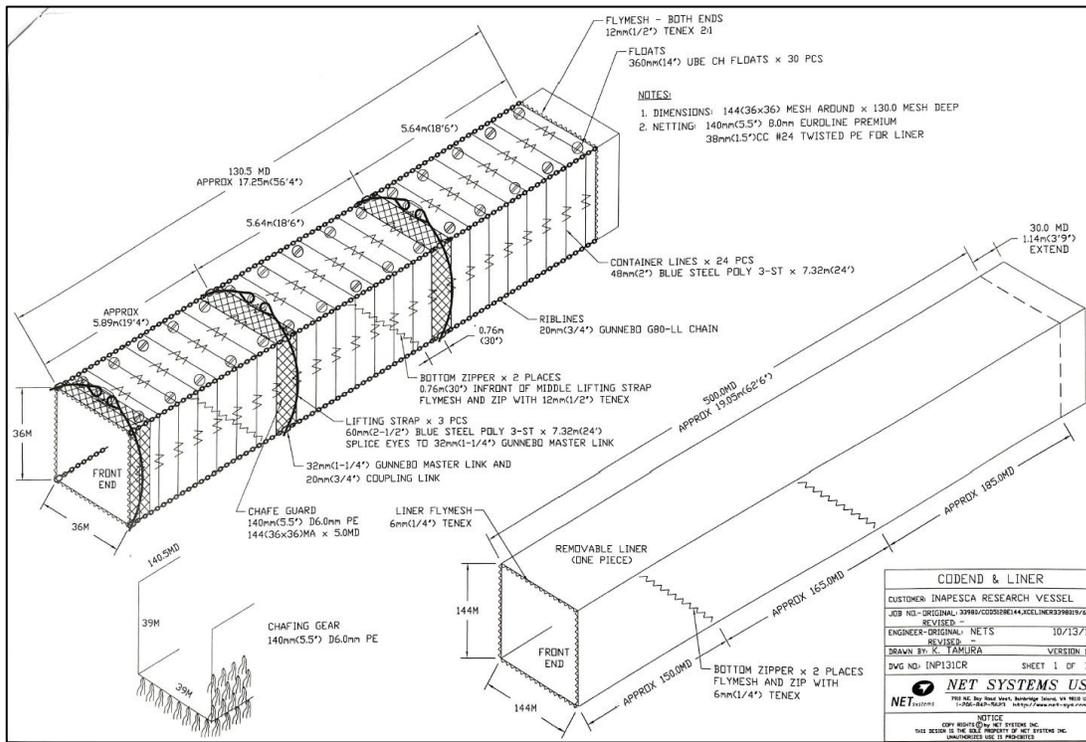
**12.2 Anexo II.** Coordenadas de las estaciones de muestreo oceanográfico y pesca de calamar del crucero JCFINP2201.

| ID | LONGITUD    | LATITUD   |
|----|-------------|-----------|
| 1  | -107°38.478 | 24°0.522  |
| 2  | -107°52.488 | 23°42.63  |
| 3  | -107°55.554 | 24°11.808 |
| 4  | -108°7.158  | 23°56.988 |
| 5  | -108°6.618  | 24°30.768 |
| 6  | -108°17.52  | 24°16.842 |
| 7  | -108°19.98  | 24°46.794 |
| 8  | -108°26.37  | 24°38.622 |
| 9  | -108°34.866 | 25°0.87   |
| 10 | -108°48.288 | 24°43.728 |
| 11 | -108°57.096 | 25°5.562  |
| 12 | -109°2.256  | 24°58.98  |
| 13 | -109°10.524 | 25°21.504 |
| 14 | -109°15.636 | 25°14.976 |
| 15 | -109°25.47  | 25°35.508 |
| 16 | -109°31.29  | 25°28.074 |
| 17 | -109°34.056 | 25°55.41  |
| 18 | -109°43.224 | 25°45.36  |
| 19 | -109°37.704 | 26°21.684 |
| 20 | -109°57.51  | 25°59.976 |
| 21 | -109°52.14  | 26°40.866 |
| 22 | -110°3.774  | 26°26.16  |
| 23 | -110°8.874  | 26°52.596 |
| 24 | -110°16.686 | 26°42.72  |
| 25 | -110°24.378 | 27°5.88   |
| 26 | -110°30.21  | 26°58.506 |
| 27 | -110°39.816 | 27°19.242 |
| 28 | -110°45.054 | 27°12.624 |
| 29 | -110°47.604 | 27°42.282 |
| 30 | -110°54.09  | 27°34.086 |



**12.3 Anexo III. Esquema técnico de la red de fondo "BSC 79/107".**







**12.4 Anexo IV.** Lances de pesca de identificación realizados en el invierno del 2022, en la costa oriental del Golfo de California, crucero JCFINP2201.

| Lance | Fecha      | Horario/Ubicación | Dist. costa (mn) | Prof. promedio blanco (m) |
|-------|------------|-------------------|------------------|---------------------------|
| 1     | 31/01/2022 | Diurno/Fondo      | 1.8              | 88                        |
| 2     | 31/01/2022 | Diurno/Fondo      | 1.7              | 78                        |
| 3     | 01/02/2022 | Diurno/Fondo      | 1.8              | 109                       |
| 4     | 01/02/2022 | Diurno/Fondo      | 2                | 58                        |
| 5     | 01/02/2022 | Diurno/Fondo      | 1.7              | 99                        |
| 6     | 02/02/2022 | Diurno/Fondo      | 0.7              | 40                        |
| 7     | 03/02/2022 | Diurno/Fondo      | 1.6              | 34                        |
| 8     | 03/02/2022 | Diurno/Fondo      | 1.7              | 96                        |
| 9     | 04/02/2022 | Diurno/Fondo      | 2.5              | 177                       |
| 10    | 04/02/2022 | Diurno/Fondo      | 2                | 100                       |
| 11    | 05/02/2022 | Diurno/Fondo      | 1.8              | 85                        |
| 12    | 05/02/2022 | Diurno/Fondo      | 1.6              | 76                        |
| 13    | 07/02/2022 | Diurno/Fondo      | 1.9              | 69                        |
| 14    | 07/02/2022 | Diurno/Fondo      | 1.6              | 160                       |
| 15    | 07/02/2022 | Diurno/Fondo      | 1.5              | 195                       |
| 16    | 08/02/2022 | Diurno/Fondo      | 1.2              | 349                       |
| 17    | 09/02/2022 | Diurno/Fondo      | 1.5              | 525                       |
| 18    | 09/02/2022 | Diurno/Fondo      | 1.7              | 75                        |



**12.5 Anexo V.** Especies abundantes y de interés comercial capturadas con red de fondo en la costa oriental del Golfo de California, crucero JCFINP2201.

**Especies de interés comercial  
capturadas con red de fondo en la  
costa oriental del Golfo de California  
Crucero JCFINP2201**

|   |   |
|---|---|
| <p><i>Merluccius productus</i><br/>Merluza</p>         | <p><i>Cynoscion xanthulus</i><br/>Curvina amarilla</p>  |
| <p><i>Oligoplites refulgens</i><br/>Sardina piña</p>  | <p><i>Scomber japonicus</i><br/>Macarela</p>           |
| <p><i>Balistes polylepis</i><br/>Cochito</p>         | <p><i>Caulolatilus affinis</i><br/>Blanquillo</p>     |
| <p><i>Trichiurus nitens</i><br/>Pez sable</p>       |   |



**AGRICULTURA**  
SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL



**INAPESCA**  
INSTITUTO NACIONAL DE PESCA Y ACUACULTURA



**Aniversario**  
1962-2022

 [gob.mx/inapesca](https://gob.mx/inapesca)



# Crustáceos y moluscos abundantes y de interés comercial capturadas con red de fondo en la costa oriental del Golfo de California Crucero JCFINP2201

*Pleuroncodes planipes*  
Langostilla



*Portunus xantussi*  
Cangrejo nadador



*Penaeus californiensis*  
Camarón café



*Lolliguncula diomedea*  
Calamar dardo





**12.6 Anexo VI.** Lista de participantes en el crucero JCFINP2201.

| <b>Nombre</b>                    | <b>Área</b>              | <b>CRIAP</b> |
|----------------------------------|--------------------------|--------------|
| Leslie Altamirano López          | Jefa de crucero/acústica | DIPA         |
| Mario Vásquez Ortiz *            | Acústica                 | DIPA         |
| Fabián Segismundo Bejarano Acuña | Acústica                 | UAS          |
| Leticia Huidobro Campos*         | Biología                 | DIPA         |
| Daniel Hernández Cruz            | Biología                 | DIPA         |
| Yessenia Korina Arriaga Flores   | Biología                 | ITMAZ        |
| Efrén Antonio Félix Rosales      | Biología                 | UAS          |
| Luis Daniel Carrillo Colín       | Biología                 | UNAM         |
| Lizabeth Paulina Castillo Salas  | Biología                 | UAS          |
| Yahir Enrique López Osorio       | Oceanografía             | UAS          |
| Jesús Alexis Maturin López       | Oceanografía             | UNAM         |
| Sergio Paul Padilla Galindo*     | Tec. de Capturas         | DIPP         |

\* Responsables de área.



Este informe se presenta con el fin de difundir algunos de los resultados de las campañas del INAPESCA en el Golfo de 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 INAPESCA por medio de su portal [www.gob.mx/inapesca](http://www.gob.mx/inapesca)



**AGRICULTURA**  
SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL



**INAPESCA**  
INSTITUTO NACIONAL DE PESCA  
Y ACUACULTURA



**INSTITUTO NACIONAL DE PESCA Y ACUACULTURA**

**2023**



**GOBIERNO DE  
MÉXICO**

**AGRICULTURA**  
SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL



**INAPESCA**  
INSTITUTO NACIONAL DE PESCA  
Y ACUACULTURA