



**FACULTAD DE OCEANOGRAFIA, PESQUERIA, CIENCIAS ALIMENTARIAS Y  
ACUICULTURA**

RELACIÓN ENTRE LA ANOMALÍA DEL NIVEL DE LA SUPERFICIE DEL MAR, LA  
VORTICIDAD EN EL OCÉANO Y LAS CAPTURAS DE LA FLOTA INDUSTRIAL DE  
CERCO DURANTE LAS TEMPORADAS DE PESCA DEL JUREL ENTRE LOS  
AÑOS 2011 Y 2019.

**Línea de investigación:**

**Harina y aceite de pescado, conservas, congelados, y recursos  
hidrobiológicos**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Pesquero

**Autor:**

Montero Salgado, Susan Geraldine

**Asesor:**

Gutiérrez Torero, Mariano Sergio

ORCID: 0000-0001-8500-717X

**Jurado:**

Zambrano Cabanillas, Abel Walter

Hinojosa Blanco, Ignacio Leónidas

Blas Ramos, Walter Eduardo

**Lima - Perú**

**2022**



**Referencia:**

Montero, S. (2022). *Relación entre la anomalía del nivel de la superficie del mar, la vorticidad en el océano y las capturas de la flota industrial de cerco durante las temporadas de pesca del jurel entre los años 2011 y 2019* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio Institucional UNFV. <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/5723>



**Reconocimiento - No comercial - Sin obra derivada (CC BY-NC-ND)**

El autor sólo permite que se pueda descargar esta obra y compartirla con otras personas, siempre que se reconozca su autoría, pero no se puede generar obras derivadas ni se puede utilizar comercialmente.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



Facultad de Oceanografía, Pesquería, Ciencias Alimentarias y Acuicultura

**RELACIÓN ENTRE LA ANOMALÍA DEL NIVEL DE LA SUPERFICIE DEL MAR, LA  
VORTICIDAD EN EL OCÉANO Y LAS CAPTURAS DE LA FLOTA INDUSTRIAL DE  
CERCO DURANTE LAS TEMPORADAS DE PESCA DEL JUREL ENTRE LOS AÑOS  
2011 Y 2019.**

Línea de Investigación:

Harina y aceite de pescado, conservas, congelados, y recursos hidrobiológicos. Condiciones oceanográficas y su impacto en los Recursos hídricos. Ingeniería de software, simulación y desarrollo de TICS.

Tesis para optar al Título Profesional de Ingeniero Pesquero

Autor(a)

Montero Salgado, Susan Geraldine

Asesor

Gutiérrez Torero, Mariano Sergio

(ORCID: 0000-0001-8500-717X)

Jurado

Zambrano Cabanillas, Abel Walter

Hinojosa Blanco, Ignacio Leónidas

Blas Ramos, Walter Eduardo

Lima – Perú

2022

## **DEDICATORIA**

Con todo cariño dedico este trabajo a Dios,  
a mi familia, por darme la fuerza para  
perseverar y no rendirme en el intento.

## AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer a mis padres Roberto Montero y Lourdes Salgado, por su apoyo incondicional en el desarrollo de mi etapa universitaria, por confiar en mí, enseñarme a ser perseverante. A mis queridos hermanos Roberto y Zulay por sus consejos, y siempre estar cuando los necesito.

Es para mí muy grato agradecer a mis profesores de la Facultad de Oceanografía, Pesquería, Ciencias Alimentarias y Acuicultura, en particular a los profesores y personal administrativo de la Escuela de Ingeniería Pesquera, por las enseñanzas y apoyo brindados durante los años pasados en la universidad. En especial agradezco a mis profesores Luis Clemente Sanguinetti (†) y Marco Espino Sánchez (†). Asimismo quiero agradecer a Mariano Gutiérrez Torero por aceptar ser mi asesor de tesis, por su tiempo y apoyo desinteresado, y por guiarme en la elaboración de mi tesis, por sus enseñanzas brindadas en mi etapa universitaria y en mi etapa laboral. Por las oportunidades que me ha brindado, permitiendo obtener experiencia y desarrollarme profesionalmente.

También quiero agradecer a la Sociedad Nacional de Pesquería (SNP) y los miembros de su Comité Científico por brindar el uso de la información utilizada en esta tesis. Asimismo agradezco al Instituto Humboldt de Investigación Marina (IHMA), por el apoyo y la oportunidad de desarrollar mi tesis. También es muy grato para mí agradecer al Instituto del Mar del Perú (IMARPE) por permitir el acceso al uso de información acústica para el desarrollo de la tesis. A Gary Vargas y Daniel Grados, por sus enseñanzas y proporcionarme las facilidades para el manejo de los algoritmos, y sus aportes a lo largo del desarrollo de la tesis.

A mi gran compañero de vida Oscar Díaz por su apoyo incondicional. Deseo hacer extenso el agradecimiento a mi familia Logrando Sonrisas, sin excepción alguna, por sus consejos, y siempre estar unidos de corazón.

## Índice General

<b>RESUMEN</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Descripción y formulación del problema .....	1
1.2 Antecedentes .....	2
1.3 Objetivos .....	3
1.3.1 Objetivo General .....	3
1.3.2 Objetivos Específicos .....	4
1.4 Justificación.....	4
1.5 Hipótesis.....	7
<b>II. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>8</b>
2.1 Bases teóricas sobre el tema de investigación.....	8
2.1.1 El Jurel.....	8
2.1.1.1 Biología.....	8
2.1.1.1.1 Aspectos reproductivos.....	8
2.1.1.1.2 Huevos y larvas.....	9
2.1.1.1.3 Edad y crecimiento.....	10
2.1.1.2 Ecología.....	12
2.1.1.2.1 Patrones de distribución y abundancia del jurel.....	12
2.1.1.2.2 Ecología trófica.....	13
2.1.1.2.3 Distribución y abundancia.....	14
2.1.1.3 Pesquería.....	16
2.1.2 Estructuras de mesoescala y submesoescala en la corriente de Humboldt.....	18
2.1.2.1 Circulación oceánica.....	19
2.1.2.2 Sistema de la corriente de Humboldt.....	20
2.1.2.2.1 Estructuras de mesoescala.....	21
2.1.2.2.1.1 Remolinos.....	22
2.1.2.2.1.1.1 El parámetro Okubo-Weiss.....	23
2.1.2.2.1.2 Estructuras de submesoescala.....	24

2.1.3 Estimación acústica de la abundancia de macrozooplancton.....	26
2.1.3.1 Propiedades acústicas del zooplancton.....	26
2.1.3.2 Algoritmo bi-frecuencia (38 y 120 kHz).....	27
2.1.3.3 Estimación de la abundancia de organismos del macrozooplancton. ....	29
2.1.4 Modelado del hábitat potencial de Jurel ( <i>Trachurus murphyi</i> ), validado a través de capturas e información acústica de las embarcaciones pesqueras industriales (Valdez et al. 2015).....	32
<b>III. MÉTODOS.....</b>	<b>34</b>
3.1 Tipo de investigación .....	34
3.2 Ámbito temporal y espacial.....	34
3.3 Variables.....	34
3.4 Población y muestra .....	35
3.5 Instrumentos .....	36
3.6 Procedimiento.....	37
3.6.1. Información acústica .....	37
3.6.2. Información sobre lances de pesca de IMARPE llevados a Cabo el año 2011 .....	38
3.6.3. Información sobre oceanografía satelital .....	38
3.6.4. Información sobre lances de pesca de la flota industrial.....	39
3.6.5. Informaciones del sistema de seguimiento satelital (SISESAT).....	40
3.6.6. Información sobre el límite superior de la zona mínima de oxígeno (ZMO).....	40
3.7 Análisis de Datos.....	41
3.7.1 Metodología para el procesamiento de los datos oceanográficos .....	41
3.7.1.1 Modelos GAM.....	41
3.7.2 Metodología para el procesamiento de los datos de captura de la flota industrial .....	42
3.7.3 Metodología para el procesamiento de la información acústica .....	42
3.7.4 Análisis de ondaletas (wavelet).....	43
3.7.4.1. Programa echopen. ....	44
3.7.5 Análisis de la relación entre SLA y valores de densidad acústica (NASC) .....	48
3.7.6 Relación entre la información del sistema de seguimiento satelital (SISESAT) con información contenida en imágenes de la anomalía de la superficie del mar (SLA).....	50

<b>IV. RESULTADOS .....</b>	<b>52</b>
4.1 Protocolo para clasificar la distribución de la flota industrial de cerco con respecto a la altimetría (remolinos ciclónicos y anticiclónicos). .....	52
4.1.1 Algoritmo para la obtención de imágenes satelitales de SLA. ....	52
4.1.2 Interpolación de datos SLA, para correlacionar la información y generar mapas. ....	53
4.1.3 Identificación de giros ciclónicos y anticiclónicos en el mapa resultante de SLA. ....	56
4.1.4 Asignación de valores SLA a los valores de captura en en R .....	57
4.1.5 Distribución de los lances de pesca de la flota industrial jurelera en los años 2011, 2012, 2013, 2018 y 2019 sobre el mapa promedio de anomalía del nivel de la superficie del mar SLA (cm).....	59
4.1.6 Modelos aditivos generalizados (GAM) de los valores SLA según capturas de jurel. ...	61
4.1.7 Análisis de cajas (boxplot) para determinar los rangos de correlación entre capturas y valores SLA.....	62
4.1.7.1 Propuesta de clasificación de los datos de cala según SLA. ....	64
4.1.8 Modelos Aditivos Generalizados de los valores SLA, empleando data SISESAT .....	64
4.2. Protocolo para determinar la presencia de estructuras de sub-mesoescala en remolinos ciclónicos y anticiclónicos en base a la información acústica y SLA .....	66
4.2.1 Guía para el uso de “ECHOPEN” para la determinación del LSZMO .....	66
4.2.1.1 Seleccionar la carpeta de trabajo donde se encuentren los ficheros acústicos RAW ...	66
4.2.1.2 En Matlab: abrir el fichero “echopen” y seguir el siguiente proceso: .....	68
4.2.1.3 Ejecutar secuencialmente los componentes de Echopen:.....	68
4.2.1.4 Correr el código Echopen.....	69
4.2.2 Guía para el Algoritmo “LINEA 98” .....	71
4.2.2.1 Seleccionar carpeta donde esté el programa Linea 98.V10 Olaya. ....	71
4.2.3 Guía para ejecutar el algoritmo “WaveletNHCS.m” para la determinación de la presencia de estructuras de submesoescala analizando el LSZMO .....	77
4.2.3.1 Separar los archivos de la supermatriz. ....	77
4.2.3.2 Algoritmo para detectar las estructuras de sub-meso escala (WaveletNHCS.m). ....	78
4.2.3.3 Resultados de la detección acústica del LSZMO. ....	80
4.2.3.4 Resultados de la clasificación de las estructuras para cada crucero. ....	81
4.2.3.5 Correlación de las estructuras clasificadas con los cardúmenes detectados durante el crucero (valores NASC por grupos de especies).....	82
4.2.4 Rangos de valores SLA por grupos de especies.....	83
4.3. Propuesta de pre-definición de zonas probables de pesca empleando la información sobre estructuras de sub-meso escala.....	84

4.4. Validación de la variable SLA para incorporarla en el modelo de hábitat potencial del jurel (MHPJ; Valdez et al. 2015)..... 87

**V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS ..... 89**

5.1. Correlación entre las capturas de jurel y la vorticidad en el océano ..... 89

5.2. Criterios adicionales para la modelación del hábitat del jurel..... 91

5.3. Información SISESAT para el modelado del hábitat del jurel ..... 94

5.4. Acerca de la correlación entre el biovolumen del zooplancton y la densidad de peces según la profundidad del límite superior de la zona mínima de oxígeno ..... 95

5.5. Acerca del uso de los hallazgos de la presente investigación ..... 96

**V. CONCLUSIONES ..... 99**

**VII. RECOMENDACIONES ..... 102**

**VIII. REFERENCIAS ..... 104**

**IX. ANEXOS ..... 110**

## Índice de figuras

Figura 1 .....	7
Figura 2 .....	10
Figura 3 .....	13
Figura 4 .....	14
Figura 5 .....	15
Figura 6 .....	16
Figura 7 .....	17
Figura 8 .....	18
Figura 9 .....	20
Figura 10 .....	23
Figura 11 .....	24
Figura 12 .....	25
Figura 13 .....	29
Figura 14 .....	31
Figura 15 .....	33
Figura 16 .....	39
Figura 17 .....	43
Figura 18 .....	47
Figura 19 .....	49
Figura 20 .....	50
Figura 21 .....	51
Figura 22 .....	56
Figura 23 .....	57
Figura 24 .....	60

Figura 25 .....	62
Figura 26 .....	63
Figura 27 .....	65
Figura 28 .....	66
Figura 29 .....	67
Figura 30 .....	67
Figura 31 .....	68
Figura 32 .....	70
Figura 33 .....	70
Figura 34 .....	71
Figura 35 .....	71
Figura 36 .....	72
Figura 37 .....	73
Figura 38 .....	74
Figura 39 .....	75
Figura 40 .....	75
Figura 41 .....	76
Figura 42 .....	76
Figura 43 .....	77
Figura 44 .....	78
Figura 45 .....	79
Figura 46 .....	79
Figura 47 .....	81
Figura 48 .....	83
Figura 49 .....	84
Figura 50 .....	86

Figura 51 .....	87
Figura 52 .....	90
Figura 53 .....	92

## Indice de Tablas

Tabla 1.....	9
Tabla 2.....	11
Tabla 3.....	12
Tabla 4.....	36
Tabla 5.....	38
Tabla 6.....	53
Tabla 7.....	59
Tabla 8.....	64
Tabla 9.....	74
Tabla 10.....	78
Tabla 11.....	82
Tabla 12.....	84
Tabla 13.....	88

## RESUMEN

Los costos de prospección (búsqueda de zonas de pesca) son altos e impactan en el rendimiento de la industria pesquera, por lo que se requiere generar nuevas formas de análisis que permitan incrementar la eficiencia de las operaciones de búsqueda y pesca. Asimismo, existen recursos limitados para el monitoreo in situ de la vorticidad en el océano, por lo que los recorridos de los barcos de pesca constituyen una valiosa información a ser aprovechada a través de la información acústica que registran, además de la información del Sistema de Seguimiento Satelital (SISESAT). En el océano del hemisferio sur, los giros anticiclónicos de meso y sub-mesoescala están relacionados con una alta concentración de organismos del plancton. Dichas estructuras de mesoescala pueden ser detectables mediante altimetría satelital, pero las estructuras internas de sub-mesoescala solo pueden ser detectadas in situ. Sin embargo, este inconveniente puede ser resuelto utilizando métodos acústicos digitales actualmente disponibles a bordo de la mayoría de los barcos de la flota jurelera. La importancia del estudio es proponer una metodología que permita determinar la presencia de peces, específicamente el jurel, en función a la detección de estructuras de submesoescala en remolinos anticiclónicos, en sus bordes, o en los frentes con remolinos ciclónicos, en base al uso de información del sistema de seguimiento satelital (SISESAT), la profundidad del límite superior de la zona mínima de oxígeno (LSZMO) medida acústicamente, y la anomalía del nivel del mar (SLA). Para el análisis de la investigación se utilizó los datos de capturas georreferenciadas de jurel (*Trachurus murphy*) de las embarcaciones industriales de cerco entre los años 2011 y 2019. También se utilizaron los datos acústicos que se registraron durante dos cruceros realizados a bordo de barcos científicos del Instituto del Mar del Perú (IMARPE) a lo largo de la costa peruana durante el año 2011. El objetivo fue el de describir y estudiar la relación entre la disponibilidad de jurel representada a través de los lances de pesca de la flota industrial de cerco y la vorticidad en el océano a través de datos de anomalía de la superficie del mar (SLA) que se utilizan en la observación de la dinámica de los remolinos ciclónicos y

anticiclónicos. Los resultados obtenidos sobre el análisis de la sobreposición de datos georeferenciados de las capturas de jurel con información de anomalía de la superficie del mar (SLA) para los veranos entre los años estudiados indican que las capturas de jurel se encontraron positivamente correlacionadas con la ubicación de los frentes entre los giros ciclónicos (divergentes) y anticiclónicos (convergentes). Los análisis de ondaletas (wavelet analysis) para la detección de las estructuras internas de submesoescala, demostraron que los procesos de convergencia y divergencia se relacionan con el hundimiento o afloramiento, respectivamente, del límite superior de la zona mínima de oxígeno (LSZMO). De este modo se determinaron dos rangos de los valores SLA correspondientes a la presencia de jurel: de 2 a 5cm para los meses de verano, y de 2 a 7 cm para los meses de otoño. Estos rangos de valores pueden ser utilizados para mejorar los estudios para predecir la ubicación de zonas probables de pesca de jurel, lo que beneficiará no solo la gestión interna de las empresas sino también la administración de la pesquería.

**Palabras claves:** jurel, giros anticiclónicos, giros ciclónicos, mesoescala, submesoescala, divergencia, convergencia, ondaletas.

## ABSTRACT

Prospecting costs (search for fishing areas) are high and impact the performance of the fishing industry, so it is necessary to generate new forms of analysis that allow increasing the efficiency of search and fishing operations. Likewise, there are limited resources for in situ monitoring of vorticity in the ocean, so the routes of the fishing boats constitute valuable information to be used through the acoustic information they record, in addition to the information from the Monitoring System. Satellite Tracking (SISESAT). In the southern hemisphere ocean, meso and sub-mesoscale anticyclonic gyres are related to a high concentration of plankton organisms. These mesoscale structures can be detectable by satellite altimetry, but internal sub-mesoscale structures can only be detected in situ. However, this drawback can be solved using digital acoustic methods currently available on board most of the ships in the horse mackerel fleet. The importance of the study is to propose a methodology that allows determining the presence of fish, specifically horse mackerel, based on the detection of subscale structures in anticyclonic eddies, on their edges, or on fronts with cyclonic eddies, based on the use of information from the satellite monitoring system (SISESAT), the depth of the upper limit of the minimum oxygen zone (LSZMO) measured acoustically, and the sea level anomaly (SLA). For the analysis of the research, data from georeferenced catches of horse mackerel (*Trachurus murphy*) from industrial purse-seine vessels between 2011 and 2019 was used. Acoustic data recorded during two cruises carried out aboard scientific ships were also used. of the Peruvian Sea Institute (IMARPE) along the Peruvian coast during 2011. The objective was to describe and study the relationship between the availability of horse mackerel represented through the fishing hauls of the industrial purse-seine fleet and vorticity in the ocean through sea surface anomaly (SLA) data used in observing the dynamics of cyclonic and anticyclonic eddies. The results obtained on the analysis of the overlapping of georeferenced data of horse mackerel catches with information on the anomaly of the sea surface (SLA) for the summers between the years studied indicate that catches of horse mackerel were

positively correlated with the location of horse mackerel. fronts between cyclonic (divergent) and anticyclonic (convergent) gyres. Wavelet analysis for the detection of submescale internal structures demonstrated that convergence and divergence processes are related to sinking or upwelling, respectively, of the upper limit of the minimum oxygen zone (LSZMO). In this way, two ranges of SLA values corresponding to the presence of horse mackerel were determined: from 2 to 5 cm for the summer months, and from 2 to 7 cm for the autumn months. These ranges of values can be used to improve studies to predict the location of probable horse mackerel fishing areas, which will benefit not only the internal management of the companies but also the administration of the fishery.

**Keywords:** horse mackerel, anticyclonic gyres, cyclonic gyres, mesoscale, submescale, divergence, convergence, wavelets.

## I. INTRODUCCIÓN

El presente estudio tiene la finalidad de proponer una metodología y procedimientos específicos que permitan determinar la presencia de estructuras de sub-mesoescala en remolinos anticiclónicos, o en sus bordes y frentes con remolinos ciclónicos, en base a información del SISESAT, información acústica sobre la ubicación de la Zona Mínima de Oxígeno (ZMO) y la anomalía de la superficie del mar (SLA), con el propósito de mejorar el monitoreo y gestión de las operaciones de pesca de la flota industrial de pesca, con especial énfasis en el jurel (*Trachurus murphyi*).

### 1.1 Descripción y formulación del problema

Los costos de prospección (búsqueda de zonas de pesca) son altos e impactan en el rendimiento de la industria pesquera, por lo que se requiere generar nuevas formas de análisis que permitan incrementar la eficiencia de las operaciones de búsqueda y pesca.

De otro lado existen recursos limitados para el monitoreo in situ de la vorticidad en el océano, por lo que los recorridos de los barcos de pesca constituyen una valiosa información a ser aprovechada a través de la información acústica que registran, además de la información del Sistema de Seguimiento Satelital (SISESAT). La vorticidad (giros ciclónicos y anticiclónicos de mesoescala) es importante, pues es un factor que de modo relativo expresa la concentración del fitoplancton, el zooplancton y los niveles tróficos más altos al interior o en los bordes de dichos remolinos.

En el hemisferio sur, los giros anticiclónicos están relacionados con abundancias relativamente altas de organismos, pero las estructuras internas de sub-mesoescala (contenidas en los remolinos), donde se concentran los peces no son detectables con altimetría satelital. Sin embargo el uso del SISESAT podría emplearse para modelar la

presencia de estructuras internas según los desplazamientos (y capturas) de los barcos de pesca, empleando también información de anomalía del nivel del mar (SLA, en cm).

La información acústica generada durante cruceros acústicos del Instituto del Mar del Perú (IMARPE) puede asimismo aprovecharse para relacionar las estructuras de sub-mesoescala con la información de anomalía del nivel del mar (cm), ampliando así el rango de análisis de una manera que hasta hoy no ha sido explotada en Perú.

## **1.2 Antecedentes**

En Perú la actividad pesquera es muy importante económicamente, y representa la segunda fuente generadora de divisas después de la minería. La pesquería industrial se inició en la década de 1950. Actualmente, los principales recursos pesqueros pelágicos de interés económico industrial en el Perú son anchoveta (*Engraulis ringens*), jurel (*Trachurus murphyi*) y caballa (*Scomber japonicus*). Entre ellos, desde hace varias décadas, la anchoveta destaca como la especie más importante para la industria de Consumo Humano Indirecto (ingredientes marinos: harina y aceite de pescado) por sus altos volúmenes de captura (Lau Medrano, 2016), en tanto que el jurel y caballa lo son para el Consumo Humano Directo.

El área marítima frente a la costa del Perú incluye la Corriente Peruana (CP), ubicada en la Región Norte del Sistema de la Corriente de Humboldt (RNSCH), la cual representa solo el 0,1% del área oceánica mundial y sin embargo produce alrededor del 10% de las capturas mundiales de peces (Chavez, et al., 2008). La alta productividad biológica de la RNSCH se origina en las condiciones físicas especiales existentes, y en particular por la presencia de celdas de afloramiento costero, la dinámica de gran-escala, y los procesos físicos de meso y sub-mesoescala. La dinámica de gran escala en la RNSCH incluye la existencia de distintas corrientes de superficie y sub-superficie,

algunas de las cuales están relacionadas con el Anticiclón del Pacífico-Sur (Chavez et al., 2008).

El Anticiclón del Pacífico Sur (APS) le da impulso a la circulación del gran-escala del Sistema de la Corriente de Humboldt (SCH). En las capas superficiales del océano frente a las costas peruanas, los vientos mantienen dos principales corrientes de gran-escala: la Corriente Oceánica Peruana (Perú Oceanic Current (POC)) y la Corriente Costera Peruana (Perú Coastal Current (PCC))(Penven et al., 2005; Montes et al., 2010).

La RNSCH se caracteriza asimismo por la presencia de la zona mínima de oxígeno (ZMO) más intensa y menos profunda de los océanos del mundo. En el SCH la extensión vertical de la comunidad epipelágica de zooplancton es limitada por la presencia de dicha ZMO (Criales-Hernández et al., 2008; Ayón et al., 2008).

En el presente estudio se ha empleado la información acústica de dos cruceros de IMARPE efectuados durante el año 2011; se hizo tal selección debido a que dicho año es el que presentó la mayor abundancia de jurel en la década reciente. Para el análisis, se ha empleado la data georeferenciada de capturas efectuadas por la flota en dos períodos: entre 2011 al 2013, y del 2018 al 2019, por ser los años en que fueron mayores las capturas de jurel.

### **1.3 Objetivos**

#### ***1.3.1 Objetivo General***

Describir la relación entre los lances de pesca de la flota industrial de cerco y la vorticidad en el océano a través de datos de anomalía de la superficie del mar (SLA) para la observación de la dinámica de los remolinos ciclónicos y anticiclónicos en relación con la abundancia relativa de la especie de interés pesquero con énfasis en jurel.

### ***1.3.2 Objetivos Específicos***

- Identificar los remolinos ciclónicos y anticiclónicos utilizando información de anomalías altimétricas de la superficie del mar (SLA).
- Analizar las relaciones entre altimetría y la abundancia relativa de peces, jurel principalmente, y macrozooplancton medidos a través de métodos acústicos empleando información de cruceros acústicos del IMARPE para la detección de estructuras de submesoescala y mesoescala.
- Clasificar la distribución y concentración de la flota pesquera jurelera con información SISESAT, en función a la ubicación de los giros ciclónicos y anticiclónicos.

### **1.4 Justificación**

El presente estudio tiene como principal motivación proponer una metodología que permita determinar la presencia de peces, específicamente el jurel, en función a la detección de estructuras de submesoescala en remolinos anticiclónicos, en sus bordes, o en los frentes con remolinos ciclónicos, en base a información del sistema de seguimiento satelital (SISESAT), la profundidad del límite superior de la zona mínima de oxígeno (LSZMO) medida acústicamente, y la anomalía del nivel del mar (SLA).

En otra escala de análisis, el SISESAT cubre los desplazamientos de toda la flota pesquera industrial de anchoveta, jurel y caballa, proporcionando información en tiempo casi real sobre el comportamiento colectivo de la flota y su dinámica espacial. Para ello las embarcaciones pesqueras industriales cuentan con equipos de posicionamiento satelital. Cada viaje de pesca de anchoveta dura desde unas pocas horas a dos días y una operación de pesca dura un promedio 1.5 a 2 horas. Los viajes de pesca de jurel pueden

durar hasta una semana. En el curso de un viaje de pesca pueden ocurrir entre una y cinco operaciones de pesca. Toda esa información puede ser integrada en un análisis que permita identificar los patrones existentes entre la presencia de peces y la ubicación de estructuras internas en el océano.

Según (Grados et al., 2016), los procesos físicos dinámicos en el océano van desde la formación de ondas internas (“internal waves” –IW- u ondas internas), hasta los procesos de convergencia y divergencia (remolinos) de mesoescala y submesoescala. La descripción de la dinámica de mesoescala se beneficia de la disponibilidad de datos de anomalía altimétrica satelital, aunque con esta fuente de información no es posible estudiar la dinámica de procesos de escalas más pequeñas (submesoescala y ondas internas). Sin embargo este aspecto sí puede ser estudiado por medio de la detección acústica de la ZMO. Es así como los métodos acústicos permiten la visualización de una amplia gama de estructuras de meso y submesoescala tales como remolinos, frentes, filamentos y ondas internas (Bertrand, Ballón, y Chaigneau, 2010; Ballón et al., 2011).

Asimismo la acústica hace factible la recolección simultánea de datos cualitativos y cuantitativos sobre la distribución y el comportamiento de varias comunidades del ecosistema, desde el plancton hasta algunos de los más altos niveles tróficos, y distintas escalas de tiempo y espacio. Es así como la información acústica de alta resolución se puede relacionar con la información satelital sobre SLA para detectar la presencia de estructuras de sub-mesoescala existentes en los remolinos ciclónicos y anticiclónicos. Los remolinos anticiclónicos de mesoescala son procesos dinámicos de convergencia que dirigen los flujos de agua hacia su centro, y por tanto concentran el plancton y profundizan la oxiclina (Bakun, 1997). Al concentrarse el plancton tanto en el centro como en los

bordes del remolino anticiclónico se espera que estas zonas sean más atractivas para los depredadores (peces, calamares, mamíferos, aves).

Los remolinos ciclónicos de mesoescala, por otro lado, son características divergentes que generan flujos de aguas desde las capas más profundas hacia la superficie y hacen que en ellos la oxiclina sea poco profunda. Por lo tanto, se espera que el zooplancton se dirija desde el centro de la estructura hacia sus bordes siguiendo el flujo de agua que aflora. Debido a la baja abundancia de zooplancton en estas estructuras se espera asimismo una baja abundancia de depredadores (Bakun, 1997).

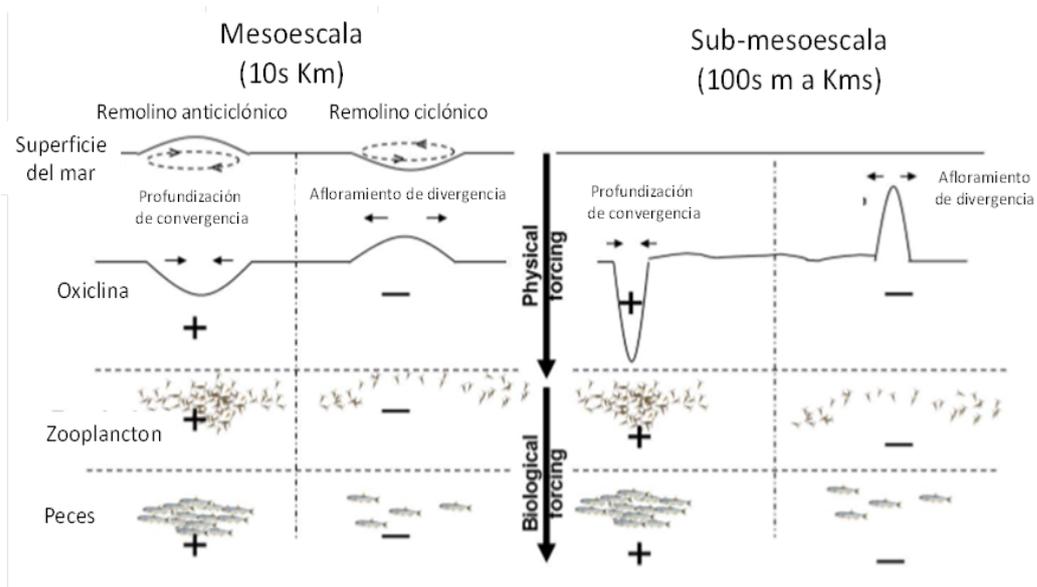
Las estructuras de sub-mesoescala corresponden con las ondas internas, que son variaciones bruscas de la presión interna del océano, las que se dan en espacios pequeños, y por lo general tienen características convergentes sobre la distribución de zooplancton (es decir que concentran el zooplancton).

Como ya se ha mencionado, en el hemisferio sur las estructuras convergentes (anticiclónicas) de submesoescala aumentan la profundidad de la oxiclina y acumulan plancton desde su centro y hacia sus bordes. En contraste, las estructuras divergentes de sub mesoescala (ciclónicas) generan un afloramiento de aguas y hacen más superficial la oxiclina. La dispersión de zooplancton también se da hacia los bordes del giro. Los remolinos tienen gran importancia, debido a sus efectos, directos o indirectos, pero casi siempre beneficiosos para los organismos marinos en todos los niveles de la cadena trófica. Determinar la presencia de los remolinos podría constituir áreas potenciales para la explotación de todo tipo de recursos pesqueros de interés económico. Es por ello que se debe poner un gran esfuerzo en detectar y caracterizar los remolinos por medio de diferentes técnicas de estudio.

En la figura 1 se visualiza la representación de las estructuras físicas internas y los impactos esperados en la distribución de organismos a meso y submesoescala. La mayoría de investigaciones sobre el SCH han estado enfocadas sobre la dinámica física y ecológica en escalas temporales y grandes escalas espaciales. Es así como hay evidencia de que los procesos físicos de meso y submesoescala desempeñan un papel fundamental en la estructuración y el funcionamiento de los ecosistemas marinos (Bertrand, A. et al., 2008).

### Figura 1

*Representación de las estructuras físicas internas y los impactos esperados en la distribución de organismos*



*Nota.* Frontier (1987), Russel et al. (1992), Bakun (1996), Siegel et al. (1999), Lennert-Cody y Frank, 1999 y Bertrand et al. (2008).

### 1.5 Hipótesis

El seguimiento de las estructuras convergentes puede ser sistematizado utilizando información satelital y de SISESAT a fin de optimizar la gestión de operaciones de pesca de la flota jurelera industrial.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Bases teóricas sobre el tema de investigación

#### 2.1.1 El Jurel

El jurel (*Trachurus murphy*) es una especie pelágica transzonal. Su morfología hidrodinámica consiste en un pedúnculo caudal muy fino, con aleta bifurcada y quilla lateral formada por las escamas engrosadas que constituyen el término de la línea lateral, la que está cubierta de escamas y con una curva característica. Presenta una coloración azul grisácea en el dorso, en tanto que los lados y el vientre son plateados. El jurel tiene hábitos gregarios, es decir que forma cardúmenes. (IMARPE, 2007)

##### *2.1.1.1 Biología.*

*2.1.1.1.1 Aspectos reproductivos.* El jurel presenta características gonocóricas (sexos separados), e iteróparas (posee varios ciclos reproductivos a lo largo de su vida), sin dimorfismo sexual visible; la talla a la primera madurez se mantiene entre 25 y 27 cm de longitud total (LT). (Dioses et al., 1989)

Según Perea et al. (2013), en Perú el ciclo reproductivo del jurel tiene un periodo de madurez y desove relativamente amplio, con mayor intensidad entre los meses de septiembre y diciembre de cada año, con máximos valores de IGS (Índice Gonadosomático) en noviembre en Perú.. En Chile, los máximos valores de IGS se da en diciembre (Oyarzún et al. 1998, citado por Perea et al., 2013). El patrón anual del IGS de jurel en Perú es entonces diferente al que se observa para el jurel en el centro-sur de Chile.

Según Sanchez et. al (2013) la escala de madurez gonadal macroscópica de jurel consta de 6 estadios de maduración para hembras y machos, para los juveniles (estadio 0 o

virginal) y adultos (estadios I a V que van desde la maduración hasta la recuperación en hembras, posexpulsante en machos). Tabla 1.

**Tabla 1**

*Estadios de madurez gonadal de hembras y machos de jurel *Trachurus murphyi**

<b>Estadio</b>	<b>Hembra</b>	<b>Macho</b>
<b>0</b>	Virginal: sin maduración gonadal	Virginal: sin maduración gonadal
<b>I</b>	Reposo: considerados adultos pero con reproducción inactiva	Reposo: maduración gonadal pero en inactividad gonadal
<b>II</b>	En maduración: se da inicio a la maduración de los ovarios	En maduración: dan inicio a la maduración testicular
<b>III</b>	Maduro: el individuo se encuentra listo para la fecundación	Maduro: el individuo se encuentra listo para la fecundación
<b>IV</b>	Desovante: aquellos individuos que están en pleno desove o han desovado recientemente	Expulsante: están en plena expulsión del líquido espermático o lo han expulsado recientemente
<b>V</b>	Recuperación: los individuos han terminado su desove y se recuperan para la próxima fecundación	Post-expulsante: los individuos han terminado su expulsión de líquido espermático

*Nota.* Fuente: Sánchez et al., 2013; Elaboración: Valdez C. (2017)

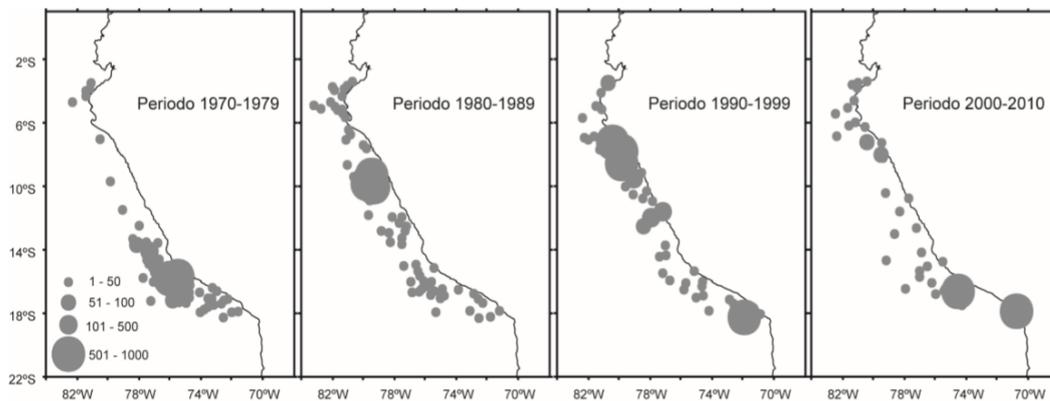
**2.1.1.1.2 Huevos y larvas.** El jurel es un desovador parcial. Asimismo presenta un solo periodo de desove anual, que es relativamente amplio. El área principal de desove frente a las costas peruanas se ubica entre las latitudes 14°00'S y 18°30'S. En Chile el desove se da principalmente en la zona Centro Sur (Ayón y Correa, 2013). De otro lado el desove del jurel está asociado a concentraciones elevadas de oxígeno mayores a 5.0 ml/l (Dioses et al 1989).

Ayón et. al (2013) indicaron que el jurel siempre ha desovado y se ha reclutado dentro de los confines del mar peruano, siendo ésta una de las principales zonas de actividad reproductiva. Sin embargo, el análisis de la distribución espacial de larvas indicaría la existencia de cambios en escalas de décadas. Es así como en el mar territorial del Perú se

han presentado tres periodos de distribución, caracterizados por cambios en los centros de gravedad: entre 1970 y 1979 se concentró en la zona sur; entre 1980 y 1999 se concentró a lo largo de toda la costa, con mayor densidad en el norte; y entre 2000 y 2010 se concentró en el sur. (Figura. 2).

## Figura 2

*Patrones de distribución de larvas/m2 de jurel (Trachurus murphyi) (1970 – 2010)*



Nota. Ayón y Correa, 2013

**2.1.1.1.3 Edad y crecimiento.** Para determinar la edad y estimar el crecimiento del jurel se puede utilizar entre otras la metodología de Dioses et al (2013a), que consiste en la lectura de anillos de crecimiento en la cara externa de los otolitos. Los otolitos cambian gradualmente de apariencia y se observa que toman una forma regular después que ha completado su primer año de vida. Las mediciones de los otolitos se realizan en milímetros, desde el núcleo hacia el borde posterior de cada anillo hialino, así como del núcleo hacia el borde posterior o radio del otolito.

A partir de los resultados obtenidos del análisis de la lectura de los anillos Dioses et. al (2013 a) estimaron los parámetros de crecimiento en longitud y peso de la ecuación de von Bertalanffy (Ec 2.1):

$$Lt = 80.77[1 - e^{-0.155347(t+0.356215)}]$$

donde  $L_t$  es la longitud total en centímetros y  $t$  es la edad en años.

Asimismo Dioses et. al (2103 a) estimaron los parámetros de crecimiento en peso para el jurel, los que se determinaron por la relación entre la talla y el peso utilizando datos de 1654 especímenes. Las tallas o longitudes fluctuaron entre 3.0 y 17.0 cm. Según los parámetros estimados, la ecuación longitud – peso es (Ec 2.2):

$$W = 0.0137Lt^{2.8}.$$

Donde  $W$  es el peso en gramos.

En el Pacífico Sudoriental, diversos autores han realizado estudios similares, obteniendo los valores –diferentes entre sí- que se indican en la tabla 2.

**Tabla 2**

*Parámetros de crecimiento en longitud a la horquilla de la ecuación de von Bertalanffy estimados por diversos autores a partir de la lectura de anillos anuales en otolitos de jurel proveniente de diversas zonas del Pacífico Sudoriental*

ID	Autores y técnica de lectura	L $\infty$ (cm)	k (anual)	t $_0$ (años)	Zona
1	Kaiser (1973)(a) (c)	70.08	0.184	-0.3407	Antofagasta-Coquimbo-Valparaíso
2	Pavez & Saa (1978)(c)	108.28	0.1088	-0.8772	Valparaíso
3	Aguayu et al. (1981)(c)	45.9	0.1671	-0.8817	Arica-Iquique
4	Abramov & Kotylar (1981)(a)(c)	72.47	0.093	-2.2328	Perú
5	Dioses (1995)(c)	79.16	0.15	-0.28	Perú
6	Shevshuk & Chur (1984)(a)(c)	90.41	0.115	-1.429	8° a 50°S
7	Castillo & Arrizaga (1987)(a)(c)	65.229	0.0741	-2.4102	Talcahuano
8	Shcherbithch (1991)(a)(c)	91.23	0.091	-1.583	-
9	Kochkin (1992)(c)	74.24	0.1109	-0.8113	33° a 39°S
10	Alegría et al. (1995)(b)	78.48	0.154	-0.098	Zona Norte de Chile
11	Alegría et al. (1995)(c)	53.5	0.1114	-1.7968	Zona Norte de Chile
12	Alegría et al. (1995)(d)	48.4	0.184	-0.945	Zona Norte de Chile

*Nota.* (a a d) parámetros estimados por los diversos autores.  $L_{\infty}$  es la talla máxima en centímetros que el jurel puede alcanzar;  $k$  es el coeficiente de crecimiento anual;  $t_0$  es el parámetro inicial de tiempo de vida en años.

### 2.1.1.2 Ecología

**2.1.1.2.1 Patrones de distribución y abundancia del jurel.** La distribución y concentración del jurel se relaciona con la variación e interacción de las masas de agua que existen frente a la costa peruana. Según Dioses et. al (2013b) el hábitat preferido del jurel son los frentes oceanográficos, es decir las zonas de convergencia entre las Aguas Costeras Frías (ACF) y las Aguas Subtropicales Superficiales (ASS). Estos frentes actúan como centros de acumulación y transporte de una variedad de organismos marinos, incluyendo los productos del desove (huevos y larvas), reduciendo el transporte hacia fuera de la costa y aumentando la retención de las larvas y, posiblemente, también sus probabilidades de sobrevivencia.

De las investigaciones realizadas por Icochea et al. (1989), Chirinos (1992), Ganoza (1998) y Dioses et al. (1989) se describieron tres patrones de distribución vertical y de profundidad de las capturas de jurel en relación con cambios de las condiciones ambientales: el primer patrón fue observado cuando ocurren fenómenos El Niño (EN) fuertes: las capturas son altas y varían poco entre día y noche; el segundo patrón ocurre cuando hay fuertes afloramientos: la pesca es más oceánica y superficial; el tercer patrón se da cuando se refuerza la Extensión Sur de la Corriente de Cromwell (ESCC): la pesca es más costera, a mayor profundidad de día y más superficial de noche. Tabla 3.

**Tabla 3**

*Cambios de las condiciones ambientales frente a los patrones de distribución*

Patrones	Ocurrencia	Temperatura	Salinidad	Profundidad	Oxígeno
1	Fenómeno Niño	15 - 20°C	35.0 - 35.1 UPS	100 - 200 m	1 ml/l
2	Fuertes Afloramiento	< 15°C	< 34.95 UPS	0 - 75 m	1 y 3 ml/l
3	ESCC	14°C y 15°C	35.0 UPS	0 - 300 m	1 ml/l

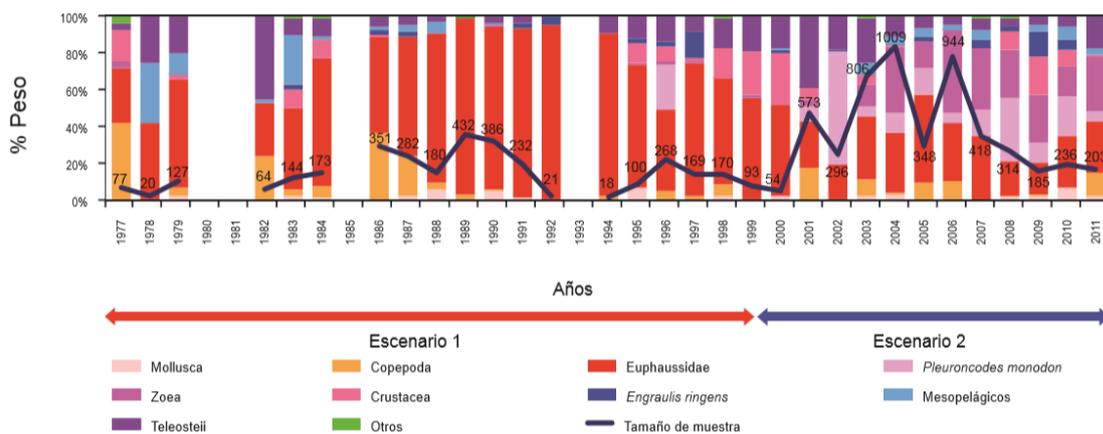
*Nota.* Dioses T, 2013

**2.1.1.2.2 Ecología trófica.** El jurel ha sido definido como un predador facultativo en el ecosistema pelágico de Perú (Konchina 1980, 1983) debido a su naturaleza migratoria que lo lleva a acceder a ambientes neríticos y oceánicos epipelágicos para alimentarse (Medina y Arancibia 2002).

Se observan escenarios en la dieta del jurel frente al Perú: el primero dentro de un periodo cálido desde 1977 hasta el 2000, que se caracterizó por la presencia de eufáusidos o krill (*Euphausiidae*), y el último dentro de un periodo frío a partir del 2001, en el que la dieta fue más diversa y las presas dominantes fueron el camaroncito rojo *P. monodon* y los eufáusidos. Los escenarios descritos en el tiempo estarían obedeciendo a cambios ambientales observados en los últimos 30 años según Alegre et al. (2013) (Figura 3).

**Figura 3**

*Composición de la dieta de jurel entre 1977 y 2011. Nótese el predominio de eufáusidos en la dieta, y de múnida desde el año 2000*



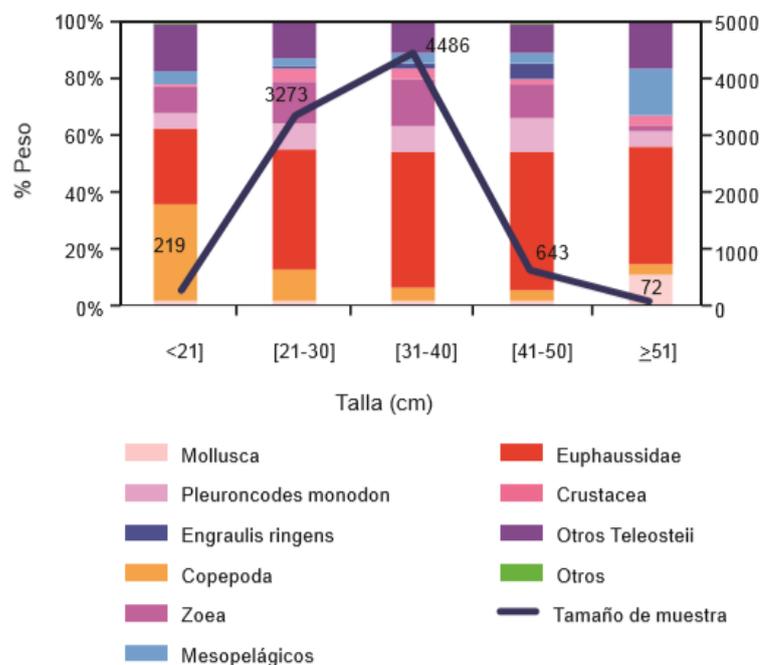
*Nota.* Alegre et al 2013).

El jurel es una especie que presenta una marcada plasticidad en su dinámica de alimentación, ya que puede adaptar su régimen de alimentación para hacer frente a cambios ambientales, siendo capaz de modificar su amplitud de hábitat (Alegre et al., 2013).

Konchina et al. (1996) señalan que el jurel juvenil está relacionado con la zona epipelágica marina y que en etapas adultas se traslada a la zona nerítica; siendo los nichos ecológicos en ambas zonas diferentes. Es por que ello que a tallas menores a 21 cm de longitud total (LT) la dieta del jurel estuvo compuesta mayormente por copépodos. De 21 a 50 cm de LT la dieta estuvo compuesta en mayor porcentaje por eupáuidos (Euphausiidae). Con más de 51 cm de LT se observó un aumento en la ingesta de peces mesopelágicos y otros. (Figura 4).

#### Figura 4

*Proporción de presas en estómagos de jurel con respecto a la talla (cm) de 1977 al 2011*



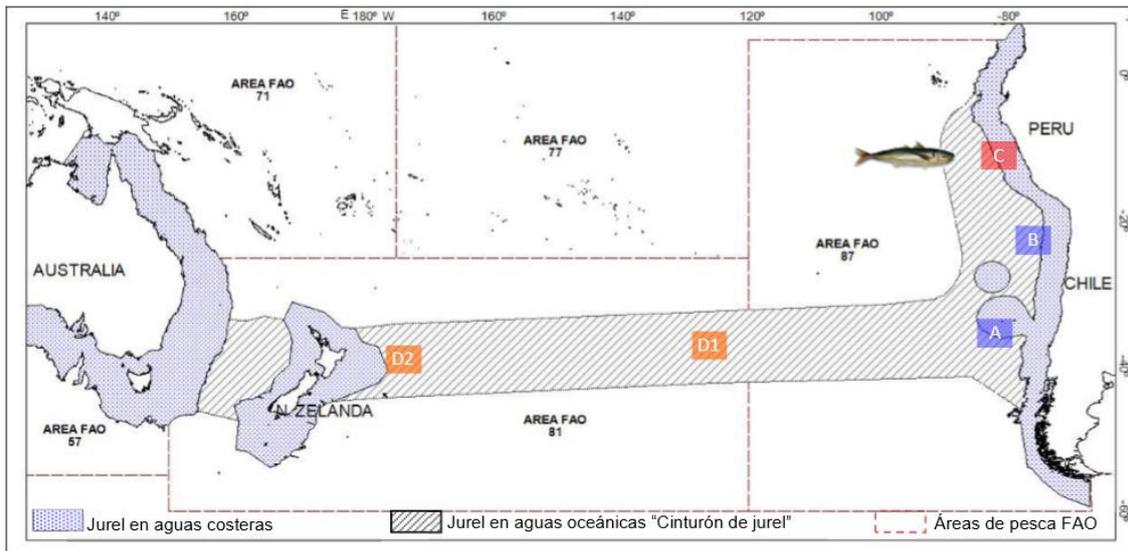
*Nota.* Alegre et al. (2013)

**2.1.1.2.3 Distribución y abundancia.** El jurel habita en el Pacífico Sur. Se distribuye desde el Ecuador por el norte hasta los 52° S, y desde la costa de América del Sur por el este hasta aguas costeras de Nueva Zelanda y Tasmania (Australia) por el oeste. Esta extensión en el área oceánica de distribución del jurel cubre una superficie mayor a

2,5 millones  $\text{mn}^2$  a lo largo de la convergencia subtropical denominada el “cinturón de jurel” (Gretchina, 1992; 1998). (Figura 5).

### Figura 5

*Distribución espacial del jurel *Trachurus murphyi* en el océano Pacífico Sur. Los rectángulos muestran las zonas de concentraciones comerciales*



*Nota.* A: Stock chileno Centro – Sur, B: Stock chileno Norte; C: Stock peruano; D1 y D2: Stock Centro – Sur del Pacífico Suroccidental. Fuente: Gerlotto et al. (2012), elaboración por Espinoza E. (2018)

La distribución y concentración de los cardúmenes de jurel guardan cierta relación con la variación e interacción de las masas de agua frente a nuestro litoral. Se acerca a la costa durante el verano o en años cálidos (El Niño) y se aleja en los meses de invierno o en años fríos (La Niña) (IMARPE, 2007).

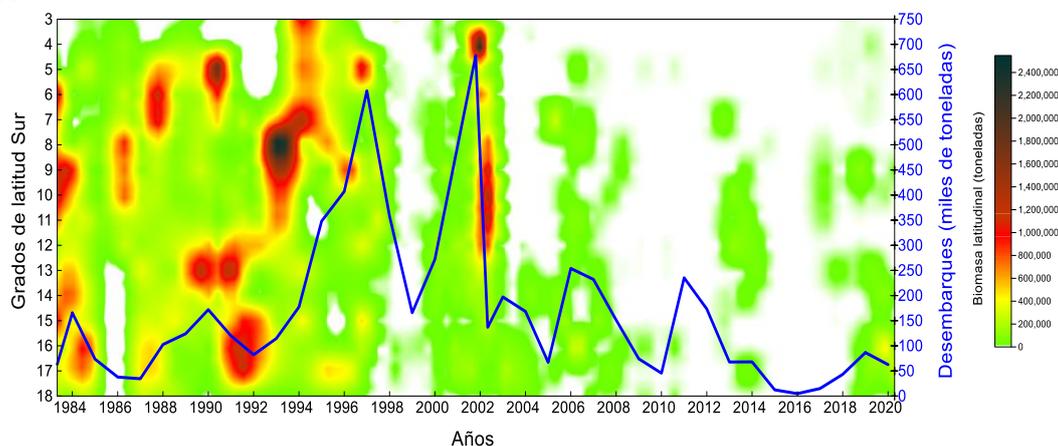
El Instituto del Mar del Perú (IMARPE) desde 1983 incluyó al jurel como especie de estudio durante los cruceros de evaluación de recursos pelágicos. Los cruceros se ejecutan entre otras razones para evaluar la biomasa acústica y la distribución de recursos pelágicos desde 1983.

En el crucero de evaluación hidroacústica realizado en otoño de 1983 se estimó una biomasa de 8.51 millones de toneladas de jurel. Después de El Niño 1982-83, en el

invierno de 1984, la biomasa estimada disminuyó a 5.0 millones de toneladas. Los eventos cálidos de 1987–88 y 1992 afectaron la distribución y biomasa del recurso con estimados de 6.47 y 2.95 millones de toneladas respectivamente. En 1993 se notó una recuperación, estimándose 8.47 millones de toneladas en el crucero de verano de ese año. A partir de 1994 se produjo una disminución paulatina de la biomasa estimada (6.41 millones de toneladas) con ligeras recuperaciones en los años 2000-2001, 2006 y 2011 según Segura y Aliaga (2013) (Figura 6).

### Figura 6

*Distribución latitudinal de la biomasa de jurel estimada acústicamente entre 1983 y 2020*



Nota. Fuente: SNP (2020).

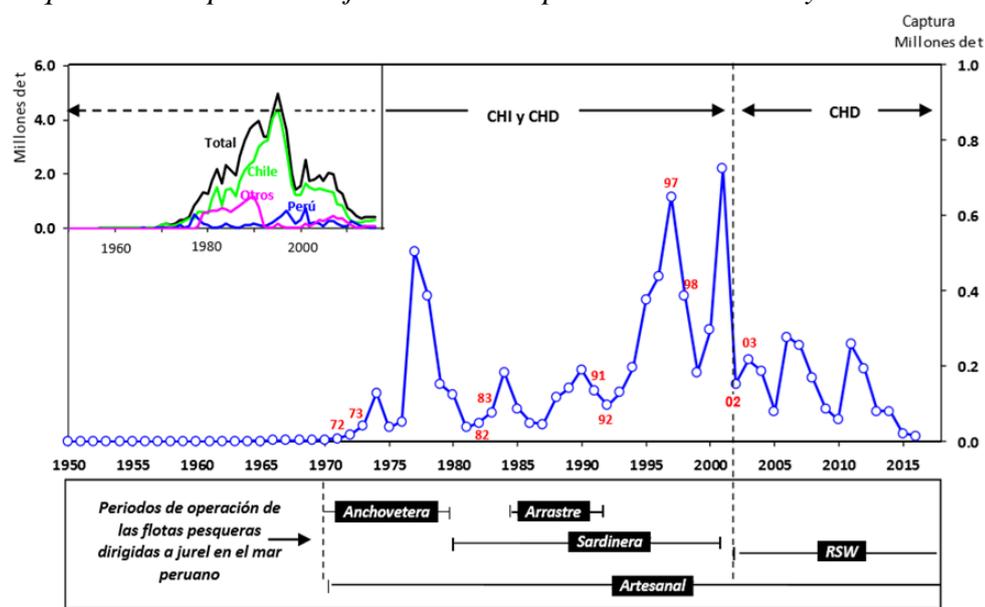
**2.1.1.3 Pesquería.** En el año 1939 se registraron las primeras capturas de jurel siendo menores a 10 toneladas; estas bajas capturas se mantuvieron hasta el año 1960 ya que la pesca del jurel se inicia como pesca incidental por la flota industrial de cerco que opera sobre la anchoveta (Salazar y Ganoza, 1989). De este modo las operaciones de pesca de jurel actualmente se llevan a cabo principalmente en periodos de veda de la pesca de anchoveta, para lo cual las cerca de 70 naves autorizadas deben cambiar de red aparejada con los tamaños de malla autorizados (2.5 pulgadas para las redes de cerco). Desde finales de la década de 1990 el jurel se constituye en un recurso objetivo que ha

llegado incluso a posicionarse en el segundo lugar en cifras estadísticas después de la anchoveta.

En la figura 7 se observan las capturas de jurel desde los años 1950 al 2015. Anteriormente las capturas de jurel eran destinadas indistintamente al al consumo humano indirecto (CHI) y consumo humano directo (CHD). No obstante, en el año 2002 se aprobó el Reglamento de Ordenamiento Pesquero (ROP) para el jurel, estableciéndose que las capturas sean destinadas solo al CHD, incluyendo especificaciones como el tamaño mínimo de malla, la talla mínima de captura de 31 cm de longitud total así como los criterios para la apertura y cierre de las temporadas de pesca y el establecimiento de las cuotas anuales de captura. Estas disposiciones se complementan con medidas para el monitoreo, control y vigilancia, y para la conservación efectiva y el uso sostenible de los recursos pesqueros.

### Figura 7

*Desembarque de las capturas del jurel en el mar peruano entre 1950 y 2015*



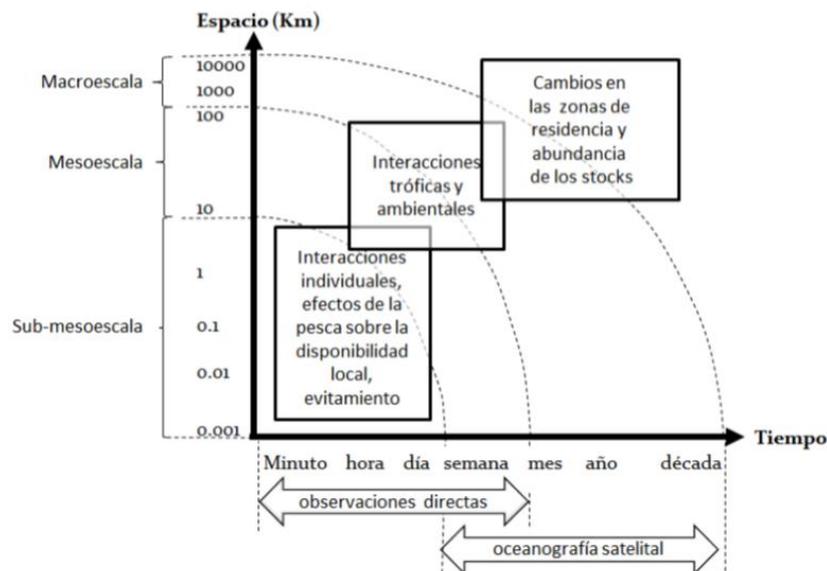
*Nota.* La figura lado izquierdo superior el desembarque total de jurel en el Pacífico Suroriental (Fuente: Fishstat FAO, 2016). En números rojos se indican años de eventos “El Niño”. El recuadro inferior muestra los tipos de flota dirigidos al jurel en el mar peruano. Fuente: Ñiquen et al., 2013. Elaborado por Espinoza E. (2018).

### 2.1.2 Estructuras de mesoescala y submesoescala en la corriente de Humboldt

El Sistema de la Corriente de Humboldt (SCH) se caracteriza por la existencia de estructuras internas que resultan de los procesos dinámicos de interacción entre el océano y la atmósfera. Entre estos procesos dinámicos se destacan los remolinos ('eddies') de convergencia (anticiclónicos) y de divergencia (ciclónicos). Al interior de estas estructuras existen por lo común otras de más pequeña dimensión, como las ondas internas. En general se ha definido dos escalas basadas en el tamaño de las estructuras espaciales físicas: a) de mesoescala, que abarcan hasta unas decenas de kilómetros de extensión para dar cuenta de procesos físicos más grandes, como remolinos ciclónicos y anticiclónicos (Chaigneau et al., 2008) o filamentos ascendentes (Keister et al., 2009); y b) de submesoescala, que abarcan algunas centenas de metros hasta algunos kilómetros para describir las estructuras físicas como las ondas internas (Lennert-Cody y Franks, 1999; Rinke et al., 2007; Bertrand et al., 2008a). Figura 8.

#### Figura 8

*Definición general de las escalas de estudio en ecología pesquera*



*Nota.* Las observaciones más difíciles de obtener corresponden a las de más pequeña escala (sub-mesoescala), tanto en términos de tiempo como de espacio. Fuente: Gutierrez (2014).

**2.1.2.1 Circulación oceánica.** En el Sistema de la Corriente de Humboldt (SCH), la circulación oceánica impulsada por el viento tiene su mayor componente en el Anticiclón del Pacífico Sur (APS) que impulsa gran parte del sistema de corrientes de la región, y que incluye a la Corriente Oceánica del Perú (POC) en su flujo hacia el Ecuador (Chaigneau et al., 2013). El APS genera vientos de superficie que rotan en sentido antihorario en el Pacífico Sur. Asimismo, el efecto combinado de la fuerza del viento y la rotación de la tierra (fuerza de Coriolis) crea un flujo hacia el oeste de las aguas costeras, lo que se conoce como el transporte Ekman, que advecta las aguas superficiales costeras hacia alta mar. Las aguas costeras superficiales son así reemplazadas por aguas más frías ricas en nutrientes que afloran desde zonas más profundas (Bakun, 1996).

El APS es el motor de la circulación a gran-escala en el SCH. En las capas superficiales del océano frente a las costas peruanas, los vientos mantienen dos principales corrientes de gran-escala: la Corriente Oceánica Peruana (COP) y la Corriente Costera Peruana (CCP), ambas desplazándose hacia el Norte-Noroeste (Penven et al., 2005; Montes et al., 2010). En sub-superficie existen 2 corrientes que fluyen hacia el Sur: la Contra-Corriente de Perú-Chile (CCPC) y la corriente subsuperficial Perú-Chile (CSPC), ambas alimentadas por corrientes subsuperficiales de origen ecuatorial (Montes et al., 2010). (Figura 9)



afecta la distribución y abundancia de recursos pesqueros (Nakata et al. 2000, Hormazábal et al. 2004 y Correa et al. 2007).

Muchos estudios realizados en el SCH se centran en la dinámica física y ecológica en escalas temporales y grandes escalas espaciales (ver por ejemplo como referencia la figura 8). Gracias a la existencia de información en esas escalas es como hay evidencia de que los procesos físicos de mesoescala desempeñan un papel fundamental en la estructuración y el funcionamiento de los ecosistemas marinos (Bertrand, A. et al., 2008). No obstante existe una necesidad de ampliar los estudios a escalas espaciales pequeñas, que es donde se producen por ejemplo las relaciones depredador-presa. Estos estudios de submesoescala están limitados por la falta de datos de alta resolución debido al alto costo que implica conseguirlos (Capet et al., 2008a y Klein; Lapeyre, 2009).

**2.1.2.2.1 Estructuras de mesoescala.** Las características físicas de mesoescala pueden aumentar la productividad a través de una sucesión de relaciones depredador-presa a lo largo de todos los niveles tróficos (Bertrand et al., 2008b). Los remolinos de mesoescala en el océano mundial transfieren grandes cantidades de calor, masa, energía, así como propiedades biogeoquímicas, desde sus lugares de formación hacia regiones remotas.

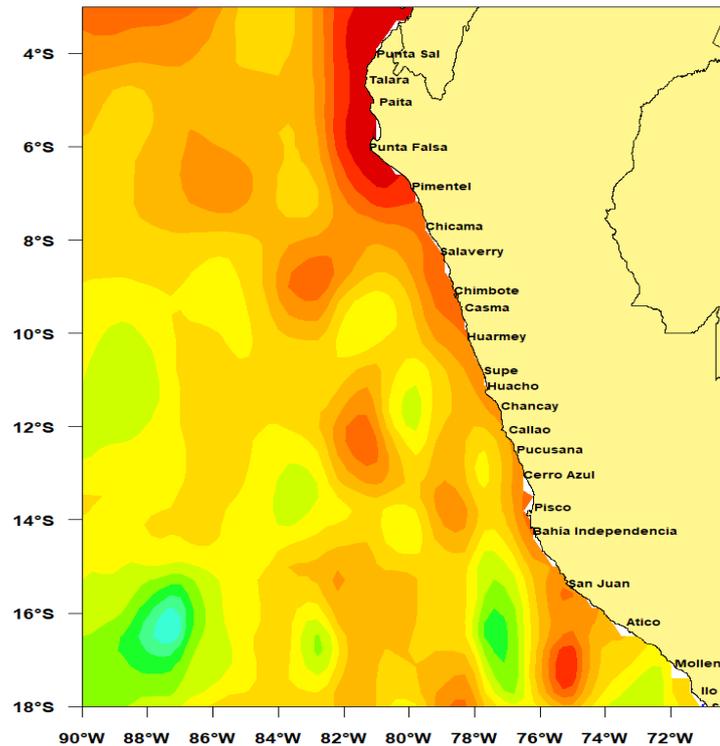
De acuerdo con Chaigneau et al. 2008, durante los primeros 50 días, los remolinos que se forman cerca de la costa se propagan hacia alta mar, permaneciendo cerca de su latitud de nacimiento. Después de este período, sin embargo, los remolinos ciclónicos continúan hacia el oeste, mientras que los remolinos anticiclónicos tienden a moverse hacia el noroeste.

**2.1.2.2.1.1 Remolinos.** Los giros o remolinos (“eddies” en inglés), son estructuras que generalmente se desprenden de las corrientes principales, o son generados al circular éstas a través de obstáculos como islas. Estas estructuras son muy dinámicas y pueden desplazarse cientos de kilómetros y durar meses. Como ya se ha explicado, existen dos tipos de giros: los giros anticiclónicos y los giros ciclónicos. En el SCH, los remolinos ciclónicos giran en el sentido horario, y los remolinos anticiclónicos giran en el sentido anti-horario. Estos remolinos son estructuras casi circulares que tienen un radio promedio de 100 a 150 km (Chaigneau et al., 2008; 2009). Como ya se ha señalado, los remolinos se forman cerca a la costas de América del Sur y se propagan mar adentro con una velocidad que aumenta hacia el Norte, variando de 5 cm/s a 20°S a más de 20 cm/s a 5°S (Chaigneau y Pizarro, 2005c; Chaigneau et al., 2008; 2009)

Desde el punto de vista de la altimetría, los giros ciclónicos están asociados a zonas donde la altura de la superficie del océano presenta valores de anomalía negativa y en donde se presentan flujos de afloramiento. Los giros anticiclónicos, en cambio, corresponden con regiones de anomalía altimétrica positiva y en donde se producen flujos de profundización (“downwelling”)(Figura 10)

**Figura 10**

*Mapa de anomalías del nivel del mar (Sea Level Anomalies, SLA)*



*Nota.* Se identifican los remolinos ciclónicos (color verde – azul), y los remolinos anticiclónicos (color amarillos-rojo). Elaboración propia.

**2.1.2.2.1.1.1 El parámetro okubo-weiss.** A partir de los datos de anomalía del nivel del mar se obtuvo el campo de velocidades ( $u, v$ ) asumiendo geostrofia. Con este se calculó la vorticidad relativa ( $\omega$ ) y las componentes normal ( $S_n$ ) y tangencial ( $S_t$ ) de la deformación del flujo, a través de (Ec 2.3):

$$\omega = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}, S_n = \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y}, S_t = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}$$

El algoritmo de detección de remolinos basados en parámetros físicos, uno de los más utilizados se basa en las propiedades del parámetro  $W$  de Okubo-Weiss (Okubo 1970 ; Weiss 1991 ). Este parámetro se calcula a partir del campo de velocidad horizontal como (Ec 2.4):

$$W = S_n^2 + S_s^2 - \omega^2$$

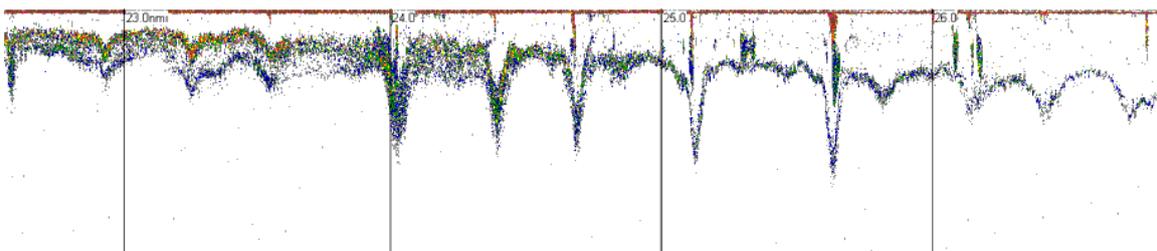
Los remolinos oceánicos poseen una región central de alta vorticidad, donde domina la rotación, rodeada por una zona con una alta deformación. El signo de  $W$  permite detectar su núcleo, ya que allí  $W < 0$ . El umbral establecido para localizarlos con  $W$  ha sido  $-0,2\sigma W$  donde  $\sigma W$  es la desviación estándar de  $W$ .

#### 2.1.2.2.1.2 Estructuras de submesoescala

Las estructuras de submesoescala son particularmente importantes para el funcionamiento de los ecosistemas de afloramiento, ya que están asociados con velocidades verticales intensas (Capet et al., 2008b) que permiten un intercambio importante de calor, nutrientes y biomasa entre la capa superficial eufótica productiva y las capas subsuperficiales ricas en nutrientes (Lévy et al., 2012); es así como los procesos físicos de submesoescala pueden mejorar la productividad transportando nutrientes inorgánicos a la superficie (Klein y Lapeyre, 2009) para sustentar la productividad primaria así como los niveles tróficos más altos (Bertrand et al., 2008a). Sin embargo, el estudio de los procesos de submesoescala ha sido difícil debido a la falta de datos de alta resolución debido al alto costo que implica obtenerlos (Capet et al., 2008; Klein y Lapeyre, 2009). (Figura 11)

#### Figura 11

*Ecograma que representa la variabilidad de alta frecuencia en la profundidad del límite superior de la zona mínima de oxígeno (LSZMO)*



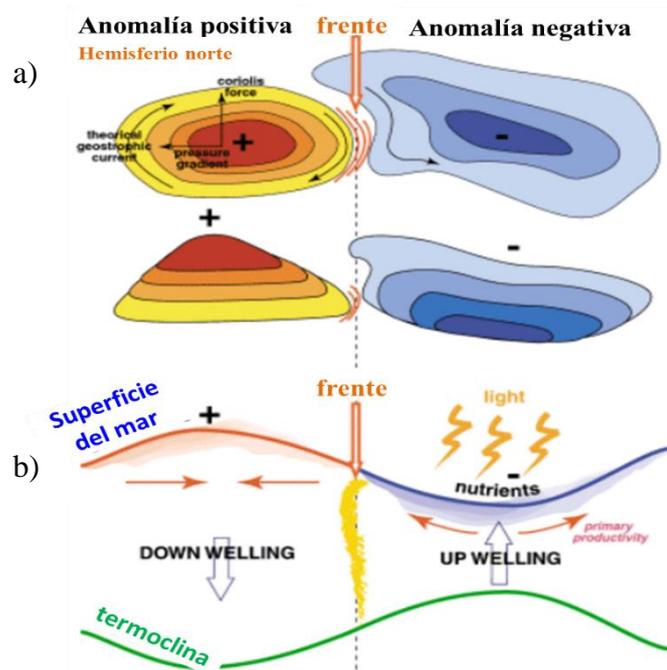
*Nota.* Lo cual se debe a procesos físicos de submesoescala como las ondas internas que se aprecian en el ecograma. Fuente: Gutiérrez 2014.

En la figura 12 a) se observa la estructura de un remolino anticiclónico y otro ciclónico; los remolinos anticiclónicos están representados por las anomalías positivas en los mapas de SLA, que corresponden al ascenso de la superficie del mar. Los remolinos ciclónicos están representados por anomalías negativas en los mapas de SLA y corresponden al hundimiento de la superficie del mar.

En la figura 12 b) se observa que los remolinos anticiclónicos se asocian a estructuras de convergencia que concentran o acumulan nutrientes. Los remolinos ciclónicos están así asociados con estructuras de divergencia, donde se observa el ascenso de la termoclina y la dispersión de nutrientes hacia sus bordes.

## Figura 12

### Formación de remolinos ciclónicos y anticiclónicos



Nota. Hasyim dan Salma, 1998.

**2.1.2.2.1.2.1 Ondaletas (wavelets).** Las herramientas de Ondaletas (Torrence y Compo 1998) se utilizan para estudiar los patrones multiescala transversales a lo largo de cada proceso, así como sus interacciones utilizando ondas cruzadas y análisis de fase. Son pocas las aplicaciones de wavelets en ecología marina (Ménard et al. 2007). Sin embargo, el análisis de ondaletas es particularmente atractivo para el análisis de datos ecológicos, que suelen ser ruidosos, no lineales y no estacionarios (Cazelles y Stone 2003). El análisis de ondaletas tiene como objetivo lograr localmente una descomposición a escala de cualquier señal. Formalmente, un coeficiente de ondaletas se define como (Ec 2.5):

$$W_y(a, \tau) = \int_{-\infty}^{\infty} y(t) \psi_{a\tau}^*(t) dt$$

Donde  $\psi_{a\tau}(t)$  es la "ondaleta madre",  $\tau$  representa la posición del tiempo y la escala de la ondaleta, y el asterisco denota la forma conjugada compleja. El coeficiente de ondaleta  $W_y(a, \tau)$  representa la contribución de la escala  $a$  en la señal observada en el tiempo  $\tau$ . El análisis de ondaletas debe realizar una compensación entre su resolución temporal y de escala, y la elección de la ondaleta madre (Torrence y Compo 1998) se refiere a diferentes compensaciones. En este estudio, se consideró la ondaleta de Morlet, una descomposición compleja de ondaletas particularmente adecuada para el análisis de señales moduladas.

### **2.1.3 Estimación acústica de la abundancia de macrozooplancton (según la publicación de Ballón et al. 2011)**

**2.1.3.1 Propiedades acústicas del zooplancton.** Gracias a su carácter no invasivo, los métodos acústicos pueden muestrear organismos que no es posible obtener con redes de pesca. En el caso de macrozooplancton; este puede ser discriminado o separado de otros organismos tales como peces empleando el conocimiento sobre sus propiedades y dependencia teórica de frecuencia de sonido (Kloser et al., 2002). Lo que

se requiere es que el rango de frecuencias de sonido que son utilizadas se extienda desde la zona Rayleigh (el eco que se genera es dependiente del volumen del objeto) a la zona geométrica (el eco depende de la superficie del objeto) (Holliday y Pieper, 1995).

La diferencia en el volumen medio de la fuerza de retrodispersión ( $\Delta$ MVBS) se utiliza comúnmente para determinar las características de retrodispersión biológica (Murase et al., 2009). Sin embargo, el poder de discriminación entre dispersores es limitado cuando solamente se aplica  $\Delta$ MVBS. Una metodología reciente, basada en la suma de la volumen medio de la fuerza de retrodispersión (+MVBS) de dos o más frecuencias aumenta el contraste de respuesta entre peces y zooplancton, y así mejora su discriminación. Es conveniente combinar ambos, el  $\Delta$ MVBS y el +MVBS, para discriminar y cuantificar la abundancia de crustáceos del macrozooplancton.

La columna de agua se muestrea acústicamente hasta 250 m con la frecuencia de 120 khz y 500 m con 38 kHz. Se considera períodos solamente de día y noche en los casos en que se busque detectar diferencias entre ambos períodos (es decir que la data colectada entre amanecer y atardecer no será considerada, siendo el amanecer de 5:30 a 6:30 am, y el atardecer de 17:30 a 18:30 , aproximadamente). Se emplea como herramienta de análisis el software Echopen desarrollado en cooperación entre IMARPE e IRD.

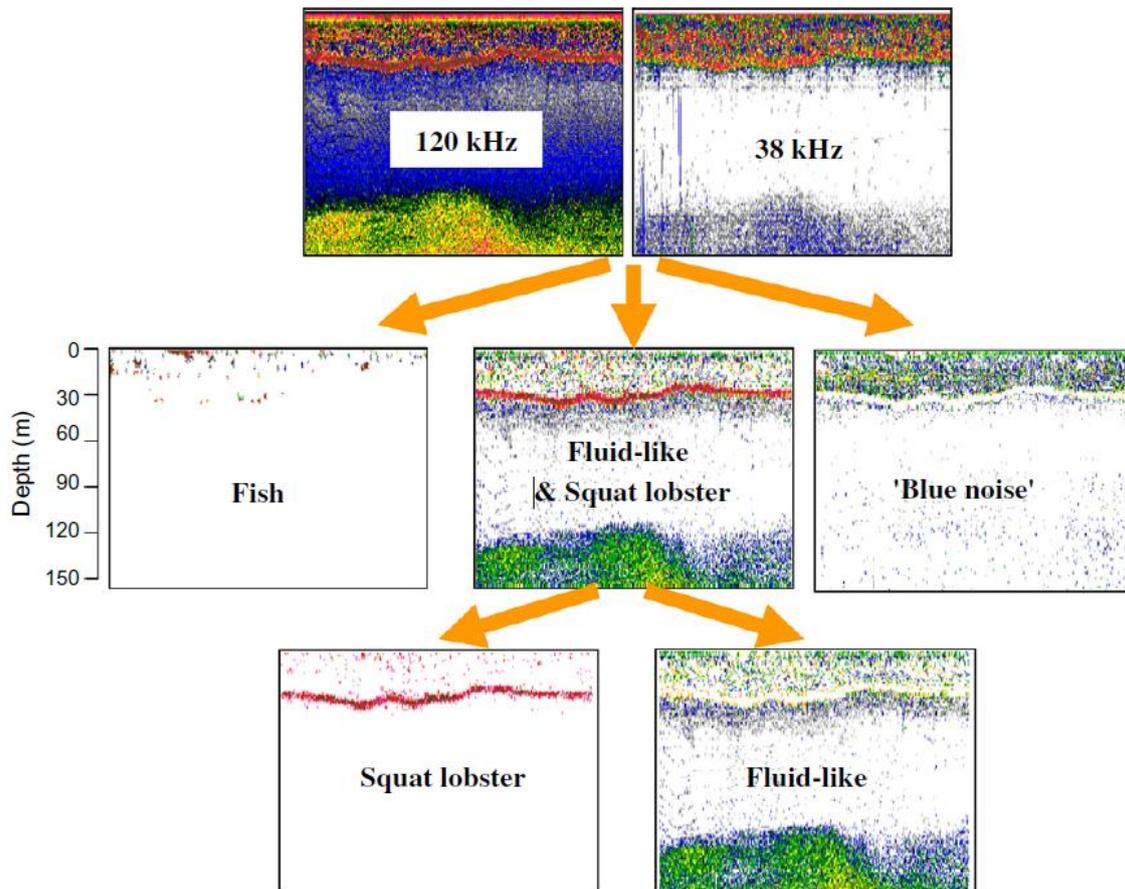
**2.1.3.2 Algoritmo bi-frecuencia (38 y 120 kHz).** El largo de pulso empleado para las dos frecuencias (38 y 120 kHz) debe ser similar. Por ejemplo, usando un pulso de 0.256 milisegundos se genera una resolución o tamaño vertical de la muestra de aproximadamente 0.2 m en ambas frecuencias.

Las matrices de 38 y 120 kHz, una vez uniformizadas, deben ser sumadas ( $+MVBS_{120+38}$ ). Los valores que en este nuevo ecograma sean mayores a -135 dB se considerará como proveniente de peces. Para refinar la detección de peces, las dos matrices que se obtienen para peces deben ser restadas ( $\Delta MVBS_{120-38}$ ). Donde la diferencia sea mayor a 2 dB se establece que el eco corresponde a peces.

Los organismos del zooplancton, cuyas propiedades acústicas son similares a las del medio, reciben la denominación de “fluid-like” (Stanton et al., 1996). El grupo “fluid-like” incluye a los eufáusidos, copépodos, salpas, sifonóforos (sin vejiga de gas) y otros crustáceos más grandes del macrozooplancton (e.g. larvas de esquila, galateidos y otras larvas de decápodos). Para identificar a este grupo “fluid-like” se emplean las matrices “no fish”, para esta vez restarlas. Cada eco donde el resultado será mayor a cero se entenderá que se trata de organismos “fluid-like”. Se generan así nuevos ecogramas y los ecos restantes son denominados como “blue noise” para referirse al zooplancton con distintas características reflectivas (larvas de peces, organismos gelatinosos y sifonóforos con vejiga de gas). La expresión “blue” se debe a que usando la paleta de colores usual (EK500) este es el color dominante en el rango menor de la escala una vez removido el ruido (alrededor de -90 dB). (Figura 13).

**Figura 13**

*Diagrama conceptual de la aplicación del algoritmo bi-frecuencia*



*Nota.* Para discriminar entre ecos de peces, múnida, y organismos del macrozooplancton (“fluid like”) y zooplancton gelatinoso (“blue noise”). Fuente: Ballón et al. 2011.

### 2.1.3.3 Estimación de la abundancia de organismos del macrozooplancton.

Dado que el grupo dominante en el macrozooplancton de Perú son los eufáusidos y copépodos (Ayón et al., 2008), se desarrolló la estimación de la abundancia según las propiedades acústicas del grupo “fluid-like” (macrozooplancton, principalmente eufáusidos y copépodos). Aunque la forma de los eufáusidos es más cilíndrica que esférica se considera que el modelo de esfera basado en dos frecuencias es apropiado cuando se estima biovolúmenes de zooplancton (Holliday y Pieper, 1995). Para estimar el tamaño medio (radio de la esfera), el número de organismos insonificados y el biovolumen del macrozooplancton presente en cada celda, se puede utilizar el método de

la “diferencia Sv” entre frecuencias (Greenlaw, 1979). Para determinar el radio “a” de la esfera se emplea el modelo “fluid sphere high-pass model” (Johnson, 1977) (Ec. 2.6):

$$(ka)^4 = (2/3) \cdot \left[ \frac{r^4 - R}{r^2(R-1)} \right]$$

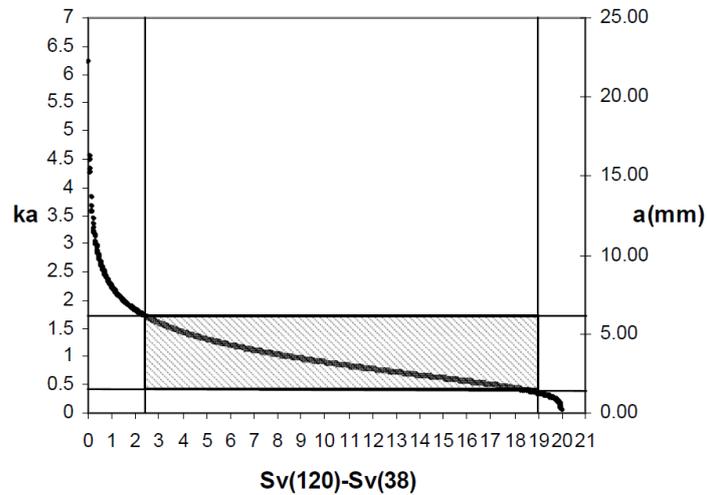
Donde el número de ondas  $k=2\pi f_m/c$ , a es el radio de la esfera (m), c es la velocidad del sonido (m/s),  $f_m=(f_{120} \cdot f_{38})^{0.5}$  (Hz),  $r = f_{120}/f_{38}$  y  $R=10^{[Sv(120)-Sv(38)]/10}$ . Se asume que la velocidad del sonido es 1,509 m/s, lo que corresponde a una temperatura media de 15.5°C y una salinidad de 35 psu. La sección transversal de retrodispersión  $\sigma_{bs}$  de la esfera se estima de acuerdo con lo propuesto por Greenlaw (1979) (Ec. 2.7):

$$\sigma_{bs} = \left[ \frac{(1 - gh^2)}{(3gh^2) + (1 - g)/(1 + 2g)} \right]^2 \cdot a^2 \cdot \left[ \frac{2(ka)^4}{(2 + 3(ka)^4)} \right]$$

Donde g es la densidad de contraste entre la esfera y el medio circundante, y h la velocidad de contraste. No hay estimaciones de g y ha disponibles para el Pacífico Sudeste (donde el eufáusido dominante es *Euphausia mucronata*), por lo que se puede usar valores de especies similares como *Euphausia pacifica* del Ecosistema de California, donde los valores obtenidos por Greenlaw y Johnson (1982) fueron de  $g=1.037$  y  $h=1.0097$ . Según Mitson et al. (1996), la relación entre 120 y 38 kHz permite estimados confiables de tamaños en un rango ka entre 0.4 y 1.6, lo que corresponde a una diferencia Sv de 18.5 a 3 dB respectivamente. Cuando la diferencia es muy pequeña (<2 dB) o muy grande (>19 dB), el radio a de la esfera tiende a ser sobreestimada o subestimada respectivamente. Por ello, solo las diferencias entre 2 y 19 dB deben ser usadas para estimación del biovolumen. Aunque esto podría llevar a una subestimación del biovolumen, en la práctica la mayoría de las diferencias Sv observadas para organismos “fluid like” corresponden a dicho rango. Ver la figura 14.

**Figura 14**

*Relación entre ka y la diferencia entre el volume retrodispersado a 120 y 38 kHz*



*Nota.* La zona sombreada indica la región en el que el modelo “high-pass” (Mitson et al., 1996) provee un estimado seguro del radio de la esfera. Fuente: Ballón 2010.

Para estimar la abundancia del macrozooplancton se sigue el siguiente proceso. El número de individuos por unidad de volumen ( $N_f$ , individuos/m<sup>3</sup>) se estima de la siguiente manera (Ec. 2.8):

$$N_f = 10^{(Sv(f)-TS)/10}$$

$$TS = 10 \cdot \log_{10}(\sigma_{bs})$$

El biovolumen (centímetros cúbicos/metro cúbico) se obtiene con la siguiente expresión (Ec. 2.9):

$$Bv_f = N_f \cdot (4/3) \cdot \pi \cdot a^3$$

El contenido de carbono (gramos/metro cúbico) se calcula del modo siguiente (según Wiebe et al., 1975 y Wiebe, 1988) (Ec. 2.10):

$$C = 10^{(\log(Bv_f) - 0.139)/1.003}$$

Dado que cada unidad de muestreo tiene 0.01 mn de extensión (que corresponde aproximadamente al rango en que se producen 3 pings navegando a 10 nudos de velocidad) y 0.5 m de profundidad, el volumen  $v$  será constante en 171.49 m<sup>3</sup>.

Multiplicando  $C$  y  $v$  se obtendrá la biomasa de macrozooplancton en cada celda.

La estimación de la abundancia total (AT) de macrozooplancton puede hacerse multiplicando la suma de los biovolúmenes de las celdas verticales en cada unidad de muestreo ( $C_i$ ) con la extensión del intervalo y la distancia de separación entre transectos (dT, en millas náuticas) (Ec. 211):

$$AT = 171.49 \cdot \sum C_i \cdot 0.01 dT$$

***2.1.4 Modelado del hábitat potencial de Jurel (*Trachurus murphyi*), validado a través de capturas e información acústica de las embarcaciones pesqueras industriales (Valdez et al. 2015)***

El Modelo del hábitat potencial (MHPJ) de jurel (*Trachurus murphyi*) fue desarrollado por Valdez et al. 2015 para representar el hábitat del jurel en base al conocimiento acumulado sobre sus preferencias respecto a un conjunto de parámetros tales como la temperatura, salinidad etc. El MHPJ fue entonces diseñado para contribuir a la gestión, tanto para objetivos públicos como privados. El MHPJ es un modelo empírico de dos dimensiones, dinámico, holístico y determinista para predecir la superficie potencial del hábitat del jurel a partir de datos de oceanografía satelital. Para el desarrollo del modelo se utilizaron seis parámetros oceanográficos (temperatura, salinidad, clorofila, anomalías térmicas, distancia a costa y profundidad) y variables de posición (longitud y latitud).

El desarrollo del modelo consta de tres etapas: en la primera etapa se llevan todos los puntos de la grilla de cada parámetro a una variable booleana (es decir, con solo dos valores, ceros o unos, en donde 0 rechaza la probabilidad dada por el conjunto de parámetros, y donde 1 la acepta). En la segunda etapa se interpolan las fórmulas de probabilidad calculadas para cada parámetro para los 365 días del año y para cada valor dentro su rango, lográndose matrices que permitieron establecer las probabilidades para cada día y

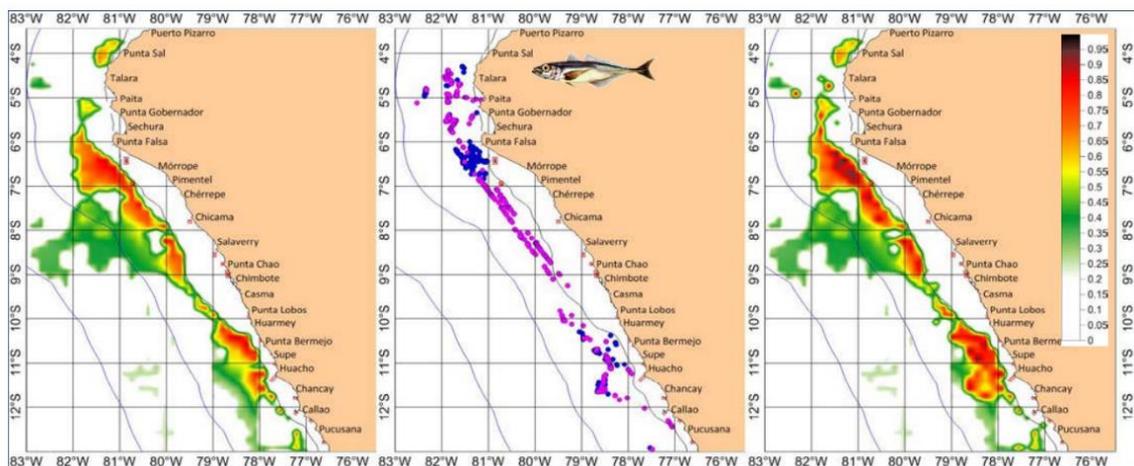
cada valor de los parámetros. En la tercera etapa el resultado final del modelo para cada nodo está construido como el promedio de las 6 variables analizadas (Ec. 2.12):

$$MPD = \frac{tspm + clorP + salP + atsmP + dcP + profP}{6}$$

Se introdujo un refinamiento en el modelo al cargar las detecciones y capturas de cardúmenes de peces. Sin embargo, el modelo está fuertemente influenciado por la clorofila, por lo que la calidad de los resultados depende de la disponibilidad de imágenes de satélite claras. Se ha encontrado que las capturas están mejor correlacionadas cuando las probabilidades en el modelo eran superiores a 0,6. (Figura 15)

**Figura 15**

*Distribución de probabilidad del jurel del modelo de hábitat potencial (escala de colores en el extremo derecho)*



*Nota.* Izquierda: corrida para la quincena 2 de 2011. Centro: ubicación de detección acústica (puntos azules) y capturas (puntos rosas) producidas durante la misma quincena. Derecha: modelo corregido. (Valdez et al 2015).

### III. MÉTODOS

#### 3.1 Tipo de investigación

La actual investigación corresponde a un análisis estadístico, descriptivo y multivariado. Con ello se ha analizado el comportamiento sobre la distribución de la flota de pesca en relación con la ubicación de las estructuras dinámicas (vórtices) de convergencia y divergencia. Además el tipo de estudio es correlacional, porque se han identificado los patrones comunes entre la información acústica, de SLA, lances de pesca y otras variables ambientales.

#### 3.2 Ámbito temporal y espacial

El área de estudio se encuentra dentro de la Región Norte del Sistema de la Corriente de Humboldt (RNSCH) el cual abarca la región oceánica frente a las costas de Perú. La RNSCH también es citada en la literatura científica como Corriente del Perú o Corriente Peruana.

La información que se utilizó para el presente estudio, han sido los años 2011 y 2019.

La recolección de los datos acústicos fue realizada por el Instituto del Mar del Perú (IMARPE), que mediante sus embarcaciones de investigación monitorea estacionalmente las condiciones bióticas y abióticas del ecosistema hasta una profundidad no menor a 500 metros, desde la costa hasta una distancia promedio de 100 millas náuticas mar afuera.

#### 3.3 Variables

Para la investigación se identificaron las variables cuantitativas que se describen a continuación.

##### **Variable Dependiente:**

Optimizar la gestión de operaciones de la flota industrial de cerco.

**Variable Independiente:**

Seguimiento de las estructuras convergentes y divergentes a través del análisis integrado de la información acústica, SLA y SISESAT.

**3.4 Población y muestra**

Se considera como población para la investigación a la información SISESAT de las embarcaciones pesqueras industriales de cerco de las empresas agremiadas a la Sociedad Nacional de Pesquería (SNP). La muestra para este análisis son los datos de las bitácoras de lances de pesca de las embarcaciones pesqueras, dado que la información SISESAT contiene la información geográficamente explícita relacionada con las capturas efectuadas por la flota. La tabla 4, presenta las estadísticas principales de los lances de pesca (calas) realizadas cada año entre 2011 y 2019. La información comprendida entre 2014 y 2017 no ha sido utilizada por considerársele como poco representativa, dado que prácticamente no hubo actividad pesquera industrial sobre el jurel.

Tabla 3.1. Número de lances de pesca (calas) y capturas (toneladas) desagregadas por años y meses para las temporadas de pesca de jurel entre los años 2011 y 2019. Se ha omitido la información obtenida entre 2014 y 2017 por considerársela poco representativa.

Fuente: Elaboración propia, con información proporcionada de los talleres de la SNP.

**Tabla 4**

*Número de lances de pesca (calas) y capturas (toneladas) desagregadas por años y meses para las temporadas de pesca de jurel entre los años 2011 y 2019*

<i>Meses</i>	<i>2011</i>		<i>2012</i>		<i>2013</i>		<i>2018</i>		<i>2019</i>	
	<i>N° de lances</i>	<i>Captura (t)</i>								
<i>Enero</i>	212	20 693	1095	78 290	134	9118			239	32 139
<i>Febrero</i>	171	15 890	147	10 576	459	20960	63	3 627	464	50 645
<i>Marzo</i>	508	49 732	138	15 584	366	14679			158	12 404
<i>Abril</i>	458	28 055	496	46 044	43	3702				
<i>Mayo</i>	261	19 545			17	1245				
<i>Junio</i>	185	15 440								
<i>Julio</i>	217	19 965					5	430		
<i>Agosto</i>	257	23 925					141	12 011		
<i>Setiembre</i>	392	28 785					2	50		
<i>Octubre</i>	126	6 367					130	12 581		
<i>Noviembre</i>							68	6 871		
<i>Diciembre</i>							5	160		
<b>Total</b>	<b>2 787</b>	<b>228 397</b>	<b>1 876</b>	<b>150 495</b>	<b>1 019</b>	<b>49 704</b>	<b>414</b>	<b>35 730</b>	<b>861</b>	<b>95 188</b>

*Nota.* Se ha omitido la información obtenida entre 2014 y 2017 por considerársela poco representativa. Fuente: Elaboración propia, con información proporcionada de los talleres de la SNP.

### 3.5 Instrumentos

Los materiales utilizados en el trabajo de investigación fueron los siguientes:

- Los ficheros tipo RAW (ecogramas) generados por las ecosondas durante los cruceros de evaluación acústica del año 2011. El muestreo acústico utilizado en el Cr 1102-04 y Cr 1110-12 fue un diseño de trayectos sistemático paralelo (Simmonds y MacLennan 2005), con una Unidad Básica de Muestreo (UBM) de 1 mn, que en total fueron 6339 mn y 6503 mn respectivamente).
- Las bitácoras de lances de pesca de las embarcaciones pesqueras durante los años: 2011 al 2013 y del 2018 al 2019. Ver la tabla 3.1.
- El número de datos SISESAT sobre localización de los barcos de pesca industrial durante los años fueron los siguientes: 2011 (149 128 datos), 2012 (37 570 datos), 2013 (58 576 datos) y del 2018 (70 929 datos) al 2019 (121 310 datos). Los archivos

de los datos SISESAT contiene: longitud, latitud, fecha, hora, rumbo, velocidad y SLA.

- Los datos SLA se generaron semanalmente, para los rangos de fechas de los datos SISESAT y los datos de bitácoras de lances de pesca. Los archivos de los datos SLA contiene longitud, latitud y SLA.

### **3.6. Procedimiento**

#### ***3.6.1. Información acústica***

Los datos acústicos que han sido utilizados se registraron durante 2 cruceros científicos realizados a bordo de BICs del IMARPE a lo largo de la costa peruana durante el año 2011. El primer crucero científico se realizó durante la estación de verano (Cr.1102-04) y el segundo en primavera (Cr. 1110-12). Se utilizaron ecosondas científicas digital de marca SIMRAD, modelo EK60 (Kongsberg, Noruega), operando a frecuencias de 38 y 120 kHz. Las rutas de prospección consistieron en transectos paralelos perpendiculares a la línea de costa.

Los resultados obtenidos del procesamiento y análisis de los datos acústicos son las bitácoras por celdas, bitácoras por regiones y regiones por celdas, las cuales contienen los valores de densidad acústica medida para cada especie en evaluación (coeficiente náutico de dispersión acústica-NASC-); dicho análisis había sido ya realizado por IMARPE según su protocolo de análisis acústico (Castillo et. al 2009) empleando el programa de análisis acústico Echoview (Echoview Pty, Australia).

El año 2011 fue elegido como referencia debido a la relativamente alta disponibilidad de jurel durante dicho período; fue el año con mejores capturas desde la temporada del año 2001. El área estudiada por tres barcos de investigación científica (BIC) del IMARPE cubrió todo el litoral Peruano (entre los 3°24'S hasta los 18°19'S) hasta 100 millas náuticas (mn) de la costa. (Tabla 5)

**Tabla 5**

*Informaciones de referencia sobre los dos cruceros acústicos cuya data ha sido empleada en la presente investigación*

<b>Crucero</b>	<b>1102 - 04</b>	<b>1110 - 12</b>
<i>Fecha inicial</i>	23/02/2011	29/10/2011
<i>Fecha final</i>	18/04/2011	17/12/2011
<i>Área cubierta</i>	03°24'S - 18°19'S	03°24'S - 18°19'S
<i>Ecosonda</i>	SimradEK - 60	SimradEK - 60
<i>Frecuencias</i>	38 y 120 kHz	38 y 120 kHz

*Nota:* Fuente: Elaboración propia, con información proporcionada por IMARPE.

### **3.6.2. Información sobre lances de pesca de IMARPE llevados a Cabo el año 2011**

La información sobre los lances de pesca que han sido utilizados en la investigación, se registraron durante 2 cruceros científicos realizados a bordo de BICs del IMARPE a lo largo de la costa peruana durante el año 2011. En el primer crucero científico se efectuaron en total 76 transectos con una separación de 15 mn entre cada transecto, que cubrieron un área aproximada de 86 780 mn<sup>2</sup>; el total de lances realizados fue de 158. En el segundo crucero científico se efectuaron en total 58 transectos con una separación de 20 mn entre cada transecto, que cubrieron un área aproximada de 107 127 mn<sup>2</sup>; el total de lances realizados fue de 106. Teniendo como duración un arrastre efectivo de 20 minutos, con capturas que permitieron los muestreos biológicos y la verificación de los registros acústicos.

### **3.6.3. Información sobre oceanografía satelital**

Los datos satelitales de la anomalía del nivel del mar, SLA (Sea Level Anomalies), fueron obtenidos a partir del análisis de datos de altimetría, y generados a partir de un análisis combinado de los satélites TOPEX/Poseidón, Jason1, ERS-1 y

Envisat, distribuidos por el Programa Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS).

Los datos SLA están disponibles a nivel global en el sitio ftp:

[ftp://nrt.cmemsdu.eu/Core/SEALEVEL\\_GLO\\_PHY\\_L4\\_NRT\\_OBSERVATIONS\\_008\\_046/dataset-duacs-nrt-global-merged-allsat-phy-l4/2020/02/](ftp://nrt.cmemsdu.eu/Core/SEALEVEL_GLO_PHY_L4_NRT_OBSERVATIONS_008_046/dataset-duacs-nrt-global-merged-allsat-phy-l4/2020/02/)

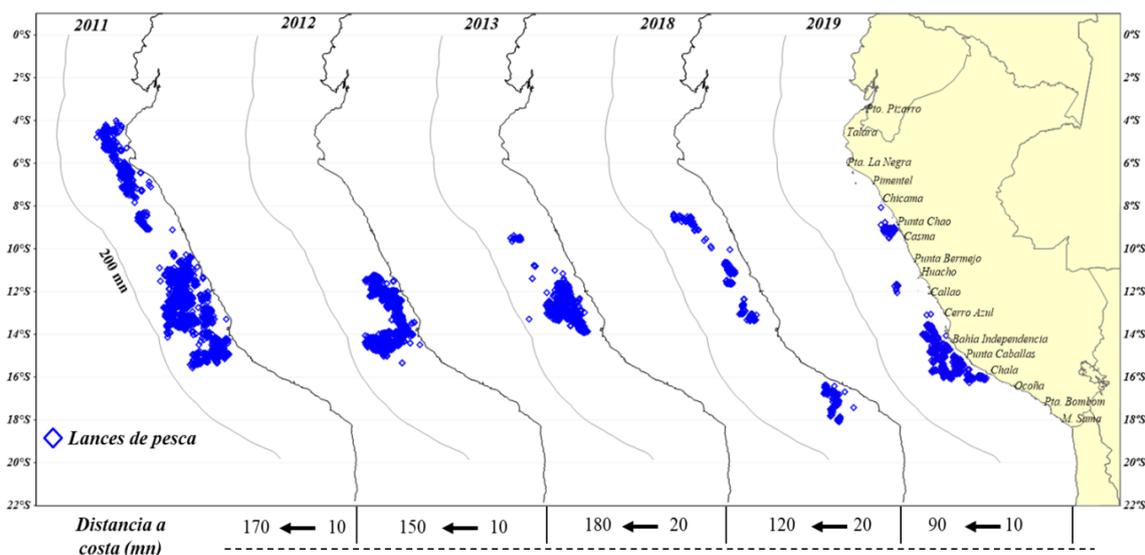
La información de SLA es de acceso público, pero se debe crear una cuenta para acceder a todos los productos de CMEMS. Los datos de SLA tienen una resolución espacial de  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$  en longitud y latitud.

### 3.6.4. Información sobre lances de pesca de la flota industrial

Se utilizó los datos de capturas georreferenciadas de las embarcaciones industriales de cerco de las empresas agremiadas a la SNP, y que se obtuvieron en dos lapsos: entre los años 2011 y 2013; y del 2018 al 2019. La data consiste en ficheros Excel, uno para cada año, con la información georreferenciada relativa a cada lance de pesca. (Figura 16).

#### Figura 16

*Distribución de lances de pesca de la flota industrial de cerco en la RNSCH en dos lapsos: entre los años 2011 y 2013; y del año 2018 al 2019.*



*Nota.* Elaboración propia, con información proporcionada por la SNP

### ***3.6.5. Informaciones del sistema de seguimiento satelital (SISESAT)***

Se utilizó los datos del Sistema de seguimiento satelital (SISESAT) de las embarcaciones industriales de cerco de las empresas agremiadas a la SNP, y que se obtuvieron en dos lapsos: entre los años 2011 y 2013; y del 2018 al 2019. La distribución de la posición de las calas, están contenidas en la data del SISESAT. La data consiste en ficheros Excel, uno para cada año, con la información georreferenciada relativa a cada posición de cada embarcación en intervalos de una hora en promedio para el período 2011-13, y cada 10 minutos en el período 2018-19.

### ***3.6.6. Información sobre el límite superior de la zona mínima de oxígeno (ZMO)***

La colección de datos de retrodispersión acústica permite medir la sinuosidad vertical del límite superior de la zona mínima de oxígeno (LSZMO) en alta resolución. En la RNSCH, la extensión vertical de la comunidad epipelágica de zooplankton está limitada por la presencia de la Zona Mínima de Oxígeno (ZMO) (Criales, et al., 2008 y Ayón et al., 2008). Los organismos de la comunidad epipelágica retrodispersan el sonido que incide sobre ellos, por lo que pueden ser observados en los ecogramas, presentándose como una capa de dispersión superficial. Para los propósitos de la presente investigación se ha definido el límite vertical de la comunidad epipelágica, utilizando los programas informáticos Echopen y Línea 98 que han sido desarrollados en IMARPE e IRD sobre la plataforma Matlab (MathWorks, EEUU).

### 3.7 Análisis de Datos

#### 3.7.1 Metodología para el procesamiento de los datos oceanográficos

La data de la variable oceanográfica satelital SLA contiene información de todos los océanos del mundo, y se descarga de la página web de Copernicus en formato \*.nc. Para ello se ha diseñado y ejecutado un algoritmo (“script”) de programación diseñado con el lenguaje R (Free Software Foundation, Inc. <https://fsf.org/>). En la sección de Resultados de la presente investigación se ha incluido los algoritmos desarrollados para obtener la data georeferenciada SLA entre las latitudes 0 y 20°S, y entre 070 y 090°W. La descarga de datos SLA se hizo diariamente para los años en estudio (2011 al 2013, 2018 y 2019). Para cada día la data SLA fue interpolada y promediada por semanas para facilitar la correlación posterior con la data SISESAT y de capturas.

**3.7.1.1 Modelos GAM.** Para cada uno de los datos de capturas georeferenciados de la temporada de pesca del año 2011 se ha contado con la anomalía del nivel del mar (SLA). Como las relaciones entre las capturas de jurel, y la variable oceanográfica (SLA) son por lo general no lineales, se utilizó una estadística multivariada o modelo aditivo generalizado (GAM; Hastie y Tibshirani 1990) implementado con operadores pre-diseñados en lenguaje R. Se utilizó un regularizador cúbico para estimar estas funciones no paramétricas. La variable de respuesta (captura de jurel) fue previamente transformada con logaritmos decimales a fin de reducir el sesgo de la estimación. De este modo se construyeron modelos GAM para las capturas logarítmicas de jurel, de manera de hallar las relaciones entre las capturas y la variable oceanográfica SLA.

**3.7.1.2. Análisis de correlación.** Se identificaron las correlaciones entre las capturas y la variable oceanográfica SLA. Se determinaron las correlaciones mediante las comprobaciones gráficas de sobreposición entre los remolinos y las capturas de jurel.

### ***3.7.2 Metodología para el procesamiento de los datos de captura de la flota industrial***

Se ordenó la información en carpetas por años (2011 a 2013, y de 2018 a 2019), filtrando la información por fechas. Se crearon asimismo carpetas de trabajo en las que se archivaron los resultados de las diferentes pruebas estadísticas y de correlación. Se procedió a realizar análisis de correlación estadística, y de estadística multivariada según se describe en las secciones correspondientes.

### ***3.7.3 Metodología para el procesamiento de la información acústica***

Se analizó la información de las bitácoras acústicas por celdas de 120 kHz de los dos cruceros (verano y primavera de 2011). El procedimiento consistió de 3 pasos:

**Paso 1:** En cada fichero de bitacora (en formato “.csv”) se adicionaron 4 columnas para indicar en ellos los valores NASC agregados por grupos de especies. El primer grupo consideró a las a las especies según el área de distribución que comparten. Se crearon así 4 grupos: Grupo 1: Anchoqueta (*Engraulis ringens*), Samasa (*Anchoa nasus*), Munida (*Pleuroncodes monodon*) y Bagre (*Galeichthys peruvianus*); Grupo 2: Jurel (*Trachurus murphyi*) y Caballa (*Scomber japonicus*); Grupo 3: Vinciguerría (*Vinciguerría lucetia*); y Grupo 4: Pota (*Dosidicus gigas*).

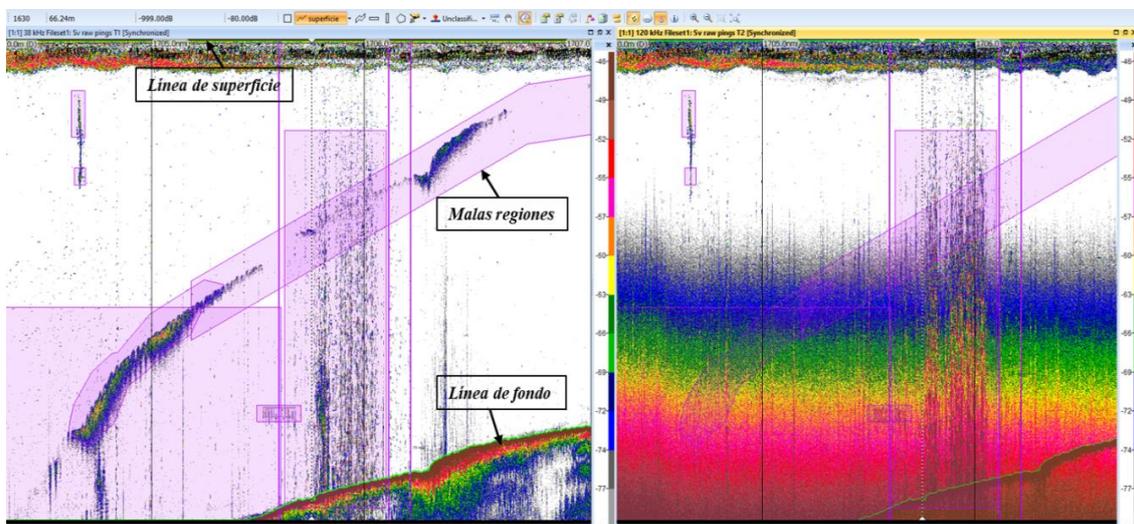
**Paso 2:** Se Filtró la data por fechas y transectos. Se guardó cada fichero con el prefijo “transecto”, seguido de la fecha (con formato DD-MM-AA). Los ficheros resultantes se registraron con formato CSV y contienen solo tres columnas: longitud, latitud y NASC.

**Paso 3:** Se ejecutó el algoritmo desarrollado en lenguaje R, y que se describe en el capítulo de Resultados, para asignar a cada valor NASC su correspondiente medición de SLA.

Asimismo se analizaron en Echoview los ecogramas de 76 transectos del Cr.1102-04 (verano de 2011) y 58 transectos del Cr. 1110-12 (primavera de 2011) para verificar que se haya creado correctamente la línea de superficie y la línea de fondo. Luego se removieron las malas regiones y el ruido de fondo, así como las interferencias. Finalmente se exportó las líneas de fondo y las malas regiones para cada transecto en su correspondiente carpeta. (Figura 17)

### Figura 17

*Muestras de ecogramas procesados en Echoview.*



*Nota.* Se indica la línea de superficie, la línea de fondo y las malas regiones en las frecuencias de 38 y 120 kHz. Fuente: IMARPE. Elaboración propia.

#### 3.7.4 Análisis de ondaletas (wavelet)

Los algoritmos de ondaleta que han sido empleados en la presente investigación están basados en la metodología desarrollada por Grados et al (2016), la cual emplea la información sobre la ubicación del límite superior de la ZMO (LSZMO). Esta es una línea de profundidad variable, de alta resolución, que ha sido obtenida para cada transecto empleando los programas Echopen y el algoritmo Línea 98 ejecutada en entorno MATLAB (MathWorks, EEUU).

**3.7.4.1. Programa echopen.** Se utilizó el programa Echopen, para analizar datos acústicos tipo RAW provenientes de los cruceros 1102-04 y 1110-12. Los archivos de regiones (\*.evr) y la línea de fondo (\*.csv) de cada transecto se colocaron en su respectiva carpeta. Se realizó un procedimiento de tres pasos.

**Paso 1:** Ingresar a la carpeta “A\_calib\_RAW\_convert\_format”, seleccionar el algoritmo “A-RAW\_Define\_param”. Modificar los valores de calibración para cada frecuencia. Grabar el algoritmo, que se está utilizando para que los cambios se conserven.

**Paso 2:** Ingresar a la carpeta “C\_remBad\_defLim\_NoiseRred\_resample”, seleccionar el algoritmo “C\_Define\_param.m”, para remover el ruido. Se eligen las frecuencias que se emplearán, y se modifican los valores de absorción (alfa) y offset. Al finalizar se debe grabar el algoritmo.

**Paso 3:** Ingresar a la carpeta “D\_Process\_Algo”, seleccionar el algoritmo “D\_Define\_param.m”, modificar el rango (0, 250). Se debe indicar en grupos de cuantos ficheros se desea trabajar. Finalmente grabar el algoritmo.

Paso 4: Ejecutar el Programa Echopen, que clasifica los ecos por grupos de especies, y el resultado que se obtiene es una carpeta con un nombre como el que se indica a continuación (basado en la fecha en que se colectaron los datos): “20110204\_090727\_092717\_2Freq”. Dicha carpeta contendrá 6 matrices con los archivos: peces, macrozooplancton (“fluid-like”) y zooplancton gelatinoso (“blue-noise”), en formato “\*.mat”, uno de cada uno para cada frecuencia.

**3.7.4.2. Algoritmo linea 98.** Se debe ingresar a la carpeta que contiene el algoritmo de la Linea98 en Matlab, y realizar el siguiente procedimiento que consta de 3 pasos:

**Paso 1:** Abrir la carpeta “A\_start”, seleccionar el algoritmo “A\_define\_param”, fijar la hora en que comienza y termina el día y la noche, sin incluir el alba y el ocaso (En “Day start” y “Day end” se indican las horas y minutos en que comienza y termina la claridad del día. En “Nightstart” y “Nightend” se indica las horas sin luz).

**Paso 2:** El programa nos pedirá gráficamente que le indiquemos cuáles son los límites superior e inferior para calcular la línea que representa el límite superior de la ZMO.

**Paso 3:** Para unificar las matrices se realiza el siguiente proceso: ir a la carpeta de Línea 98 (dentro de Matlab), entrar en “E\_bucle”, luego abrir el algoritmo “unematrizlinea98final”, ingresar la ruta donde se hallan los transectos.

**Paso 4:** Luego aparecerá un mapa, donde consecutivamente hay que definir 3 conjuntos de coordenadas. Primero hay que delinear un polígono dentro de la primera zona (plataforma) clickeando puntos; luego de cada una de estas acciones el programa preguntará si se desea continuar. Para terminar el proceso contestar “no”, lo cual cerrará el polígono. Se debe repetir el proceso anterior para la zona sobre el talud y para la zona oceánica. Al finalizar se habrá creado el fichero “supermatriz.csv” que contiene la data georeferenciada de cada pulso acústico, con indicación de la profundidad en que se ha detectado el LSZMO.

**3.7.4.3. Algoritmo de ondaletas.** Se utilizó el algoritmo desarrollado en Matlab (“WaveletsNCHS.m”) desarrollado por Grados et al (2016). Este algoritmo detecta las estructuras internas en el océano en base al análisis de la ubicación del LSZMO. En este caso el análisis de ondaletas fue útil para identificar las estructuras de submesoescala presentes en las zonas de estudio. Se realizó un procedimiento de tres pasos:

**Paso 1:** El espectro de potencia wavelet de la señal representada por la profundidad del LS ZMO (“x”) se calcula utilizando la transformación de Morlet (Torrence y Compo, 1998). Dentro de la representación de escala-espacio, cuanto más energía presenta una región a escala espacial dada, mayor será la variabilidad alrededor de esa posición (Fig. 18b).

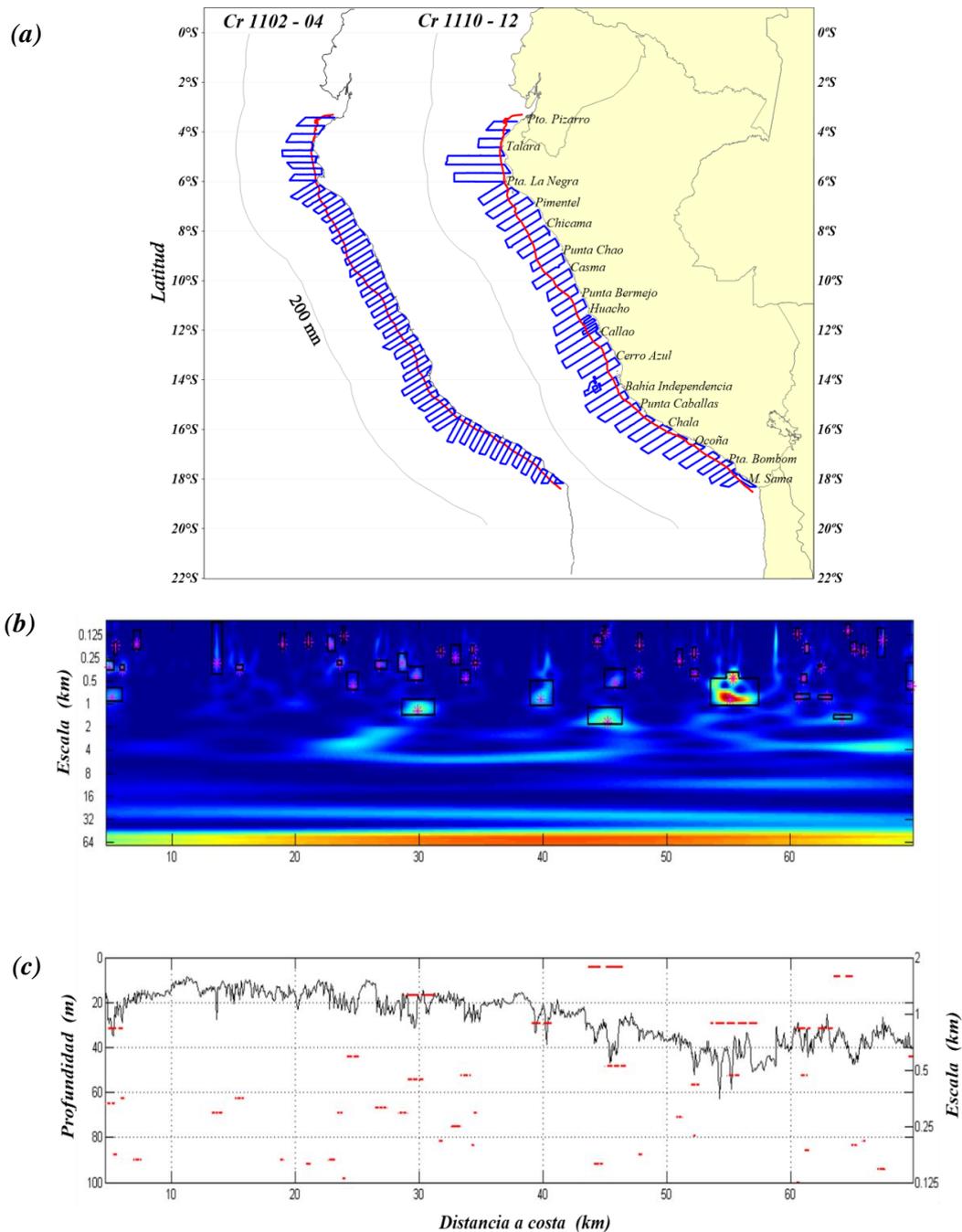
**Paso 2:** Se define el nivel de energía por encima del cual una escala espacial local se considera significativa, como por ejemplo el percentil 90 del espectro de potencia (Torrence y Compo, 1998).

**Paso 3:** Las estructuras de escala espacial significativas de la señal “x” se detectan como las regiones de escala espacial que represente niveles de energía por encima del percentil 90 (Fig. 18b; Fablet et al., 2014).

En la Figura 18, se muestra a modo de ejemplo el resultado de aplicar el método de análisis de ondaleta a la información ZMO de un transecto. En dicha figura el eje x se representa la distancia a la costa que va de 10 a 60 km (Figura 18b y c) y el eje y representa la profundidad de la ZMO, que va de 50 a 100 m (Figura 18c). El valor de la escala también se identifica. Las líneas de color (rojo) representan el tamaño de la estructura. También se observa que dentro de las estructuras grandes hay estructuras pequeñas. El gráfico de la figura (Figura 18b) representa el espectro de potencia wavelet, las estrellas (color fucsia) indican la posición de los máximos locales.

**Figura 18**

Área de estudio y ejemplo de aplicación del algoritmo de ondaleta.



*Nota.* (a) Transectos de los cruceros en primavera (panel derecho) y verano (panel izquierdo) del año 2011. La línea roja muestra la posición del límite de la plataforma continental. (b) Ejemplo de aplicación del algoritmo de ondaletas a la data de ZMO de un transecto; Los rectángulos corresponden a máximos locales significativos a escala espacial asociados con deformaciones de la ZMO. (c) Profundidad de la ZMO (línea negra) y estructuras significativas (líneas rojas). Fuente: Elaboración propia, con información acústica proporcionada por IMARPE.

### 3.7.5 Análisis de la relación entre SLA y valores de densidad acústica (NASC)

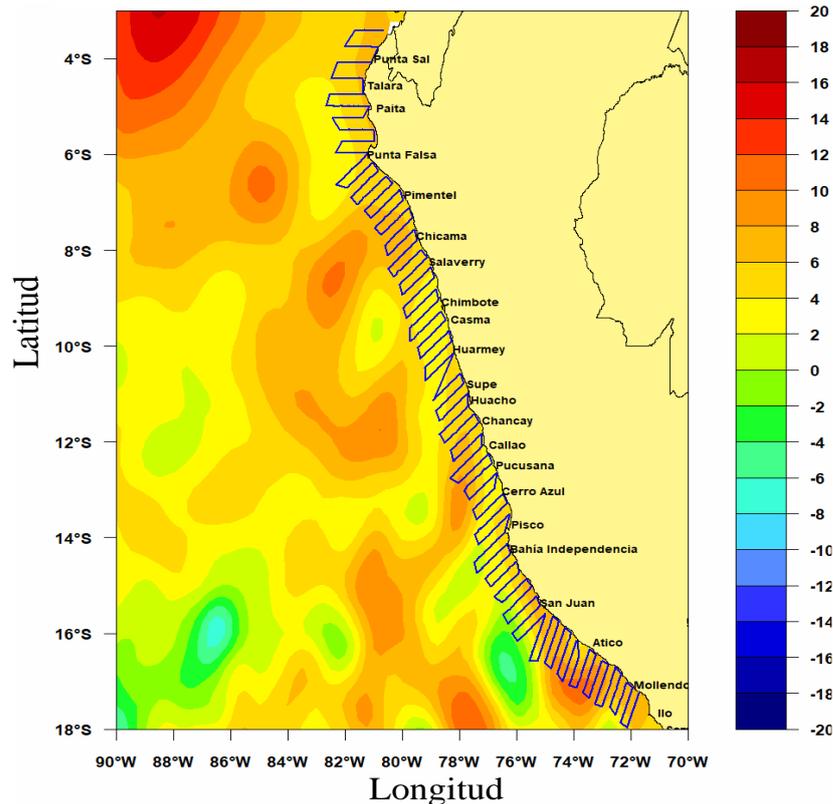
Están disponibles semanalmente las imágenes geofereciadas de la anomalía del nivel del mar (SLA) con una resolución de 25 km. Lamentablemente esta información no permite observar las estructuras de sub-mesoescala. Sin embargo será posible determinar si las estructuras de convergencia de mesoescala que se observan con los datos acústicos (profundidad del límite superior de la zona mínima de oxígeno - LSZMO) son consistentes con la estructura general del remolino. El procedimiento para determinar el LSZMO fue descrito en la sección 3.6.4 (a través del algoritmo “**linea98**” que debe ser ejecutado en el software Matlab).

La información SLA puede ser transformada numéricamente y representada por interpolación en R. La sobreposición de esta información con los datos acústicos recogidos durante los dos cruceros del año 2011 permite asignar a cada ping el valor de SLA que le corresponde para luego realizar los análisis estadísticos que correspondan. En la Figura 19, los colores rojos corresponden a procesos de convergencia o remolinos anticiclónicos, y las zonas azules corresponden con procesos de divergencia o remolinos ciclónicos. Se sobrepuso la distribución de cada uno de los 76 transectos realizados en el Crucero 1102-04 y los 58 transectos realizados en el Crucero1110-12. Se clasificaron los resultados donde los transectos intersectan los giros anticiclónicos, porque aquellos suelen estar positivamente correlacionados con densidades relativamente altas de organismos. Debido a la profundización de la oxiclina y la concentración del plancton en el centro y los bordes del remolino, la zona es más atractiva para los peces. En cambio en los giros ciclónicos están relacionados con bajas concentraciones de organismos.

Se generó así una tercera capa de información para el análisis de correlación empleando un algoritmo en R, habiendo convertido previamente la data de los transectos al formato \*csv.

### Figura 19

*Sobreposición de una imagen SLA con transectos colectados durante un crucero acústico de IMARPE llevado a cabo en el verano de 2011 (indicados por líneas negras)*



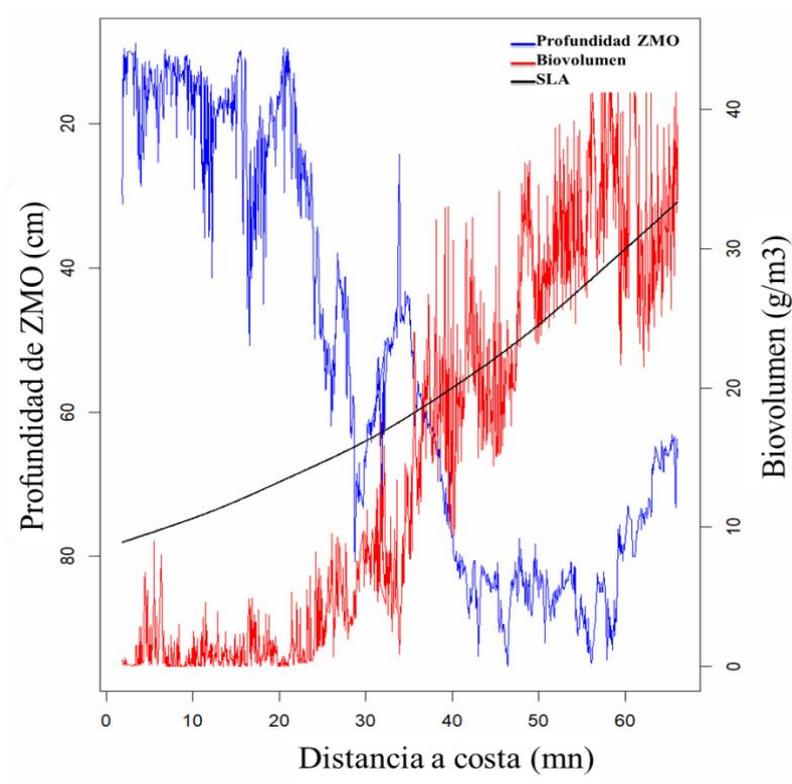
*Nota.* Los colores rojos de la imagen corresponden a procesos de convergencia (remolinos anticiclónicos). Las zonas azules corresponden con procesos de divergencia (remolinos ciclónicos). Fuente: Elaboración propia, con información acústica proporcionada por IMARPE y data SLA obtenida de NOAA.

En la Figura 20, se observa la ubicación del LSZMO (en línea azul). Cuando se observa que el LSZMO se profundiza y mantiene por extensiones que corresponde a mesoescala se identifica que se ha generado un proceso dinámico de convergencia. En la misma figura la línea roja representa la cantidad relativa de biomasa acústica detectada (biovolumen de zooplancton). Es así como el incremento de biomasa que se observa a

partir de las 30 mn corresponde con un proceso de convergencia que se caracteriza por acumular organismos.

### Figura 20

*Correlación entre la profundidad de la ZMO (m) y el biovolumen (g/m<sup>3</sup>) a lo largo de un transecto de muestra (en millas náuticas)*



*Nota.* Nótese los valores más altos de biovolumen en tanto es más profunda la ZMO, lo cual es una observación usual en el mar peruano. Fuente: Elaboración propia, con información acústica de IMARPE.

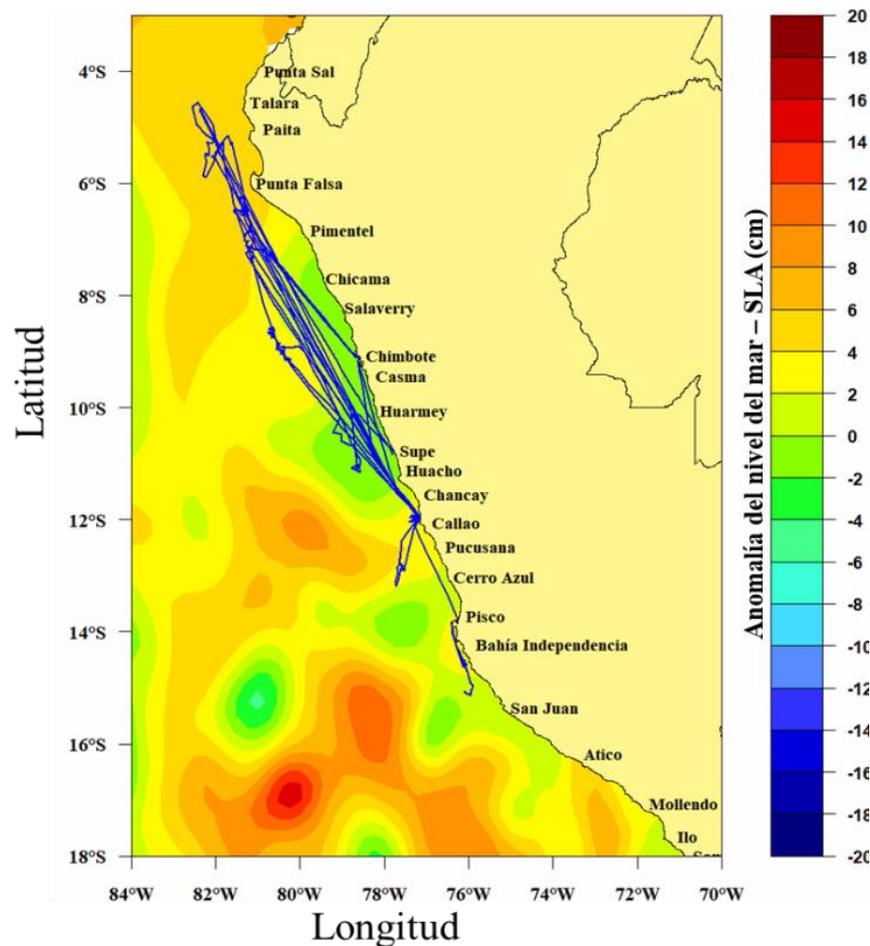
### **3.7.6 Relación entre la información del sistema de seguimiento satelital (SISESAT) con información contenida en imágenes de la anomalía de la superficie del mar (SLA).**

Están disponibles semanalmente las imágenes georeferenciadas de la anomalía de la altura (SLA) con una resolución de 25 km. La información SLA puede ser transformada numéricamente y representada por interpolación en R. La sobreposición de esta información con los datos de SISESAT permite asignar a cada dato de velocidad durante la operación de pesca el valor de SLA que le corresponde para luego realizar los análisis

estadísticos que correspondan. La figura 21, presenta un ejemplo de imagen SLA reconstruida y sobrepuesta con recorridos de barcos de pesca). Se genera así una tercera capa de información para el análisis de correlación empleando un algoritmo en R, habiendo convertido previamente la data de los recorridos de los barcos a formato \*csv.

### Figura 21

*Sobreposición de una imagen SLA con transectos de barcos de pesca (en línea azul).*



*Nota.* Los colores rojos en la imagen corresponden a procesos de convergencia (remolinos anticiclónicos). Las zonas azules corresponden con procesos de divergencia (remolinos ciclónicos). Fuente: Elaboración propia, con información acústica proporcionada por SNP y data SLA obtenida de NOAA.

## IV. RESULTADOS

### 4.1 Protocolo para clasificar la distribución de la flota industrial de cerco con respecto a la altimetría (remolinos ciclónicos y anticiclónicos).

Se presenta a continuación el protocolo para clasificar la distribución de los recorridos y calas de la flota industrial de cerco en función a las anomalías de la superficie del mar (SLA por sus siglas en inglés: sea level anomaly). El protocolo que se describe en esta sección ha sido diseñado en gran parte a través de algoritmos (scripts) diseñados en el lenguaje R de programación (R Studio inc. USA, versión 1.2.5033).

#### 4.1.1 Algoritmo para la obtención de imágenes satelitales de SLA.

Para ejecutar el proceso siguiente se debe tener instalado el programa R Studio, versión 1.2.5033 o posteriores. A continuación se relata el procedimiento específico para obtener un fichero con formato CSV (valores separados por comas) en una resolución de 0.25° ~ 25 kilómetros:

- Abrir 'Rstudio'.
- En la ventana de código, realizar el algoritmo de la siguiente manera:

```
#instalar el paquete 'ncdf4', solo una vez#
install.packages('ncdf4')

#Requerir el paquete ('ncdf4') #
require('ncdf4')

#Cambiar directorio donde se encuentre los archivos nc#
setwd('D:/CarpetaSLA')

#Seleccionar archivo, OJO cambiar el nombre de fichero abajo, con
extensión NC#
datos2 = nc_open(nrt_global_allsat_phy_l4_20200113_20200113.nc)

#Cargar data sla, longitud y latitud#
sla = ncvar_get(datos2,'sla')*100
lon = ncvar_get(datos2,'longitude')-360
lat = ncvar_get(datos2,'latitude')

#Crear el mapa y crear data.frame#
grid = as.matrix(expand.grid(lon,lat))
sla2 = as.vector(sla)
```

```

mapa = data.frame(cbind(grid,sla2))
names(mapa) = c('lon','lat','sla')

#Límites del mapa, depende de las coordenadas a elección#
mapa2 = mapa[mapa$lat<=(0.2)ymapa$lat>=(-20.2)ymapa$lon<=(-69.85)ymapa$lon>=(-90.2),]

#Ruta donde se guardara el archivo de salida#
write.csv(mapa2,'D:/CarpetaSLA/sla130120.csv',row.names = F)

```

Con el código antes descrito se logra la exportación de los datos SLA para una zona comprendida entre latitudes 0.2 y -20.2°S, y longitudes entre -69.85 a -90.2°W. Para verificar la correspondencia de los datos exportados se debe ingresar a la carpeta de trabajo y ubicar el archivo exportado en formato \*.csv. Al abrir el archivo desde una hoja de cálculo se observará por ejemplo lo siguiente (Tabla 6):

**Tabla 6**

*Tabla con los valores de longitud (lon), latitud (lat) y SLA.*

lon	lat	sla
-90.125	-20.125	4.04
-89.875	-20.125	4.98
-89.625	-20.125	5.70
-89.375	-20.125	5.88
-89.125	-20.125	5.71
-88.875	-20.125	5.30
-88.625	-20.125	4.56
-88.375	-20.125	3.87
-88.125	-20.125	3.76
-87.875	-20.125	4.12

#### ***4.1.2 Interpolación de datos SLA, para correlacionar la información obtenida con los lances de pesca y recorridos de barcos y generar mapas.***

- Dado que los datos de recorridos, o los de lances de pesca de la flota pesquera, no necesariamente coincidirán con las coordenadas de las celdas de la superficie exportada de información SLA, se debe interpolarlas con el propósito adicional de generar mapas de SLA. Más específicamente, el fichero a ser interpolado es el que se exportó a través del procedimiento incluido en el acápite 4.1.1.

Primero se debe ingresar al programa R Studio y crear previamente el algoritmo “make.grid2”, para poder realizar la interpolación.

```

### creando el algoritmo ###
make.grid2=function(x=x,y=y,z=z,interx=interx,intery=intery,fun){
  X=interx
  Y=intery
  byx2=c(diff(interx),diff(interx)[length(diff(interx))])
  byy2=c(diff(intery),diff(intery)[length(diff(intery))])
  i <- which(x >= min(interx) - 0.5 * byx2[1] y x < max(interx) + 0.5 *
    byx2[length(byx2)] y y >= min(intery) - 0.5 * byy2[1] y y < max(intery) +
    0.5 * byy2[length(byy2)])
  xi <- findInterval(x[i], X - 0.5 * byx2)
  yi <- findInterval(y[i], Y - 0.5 * byy2)
  grid0 <- tapply(z[i], list(X[xi], Y[yi]), fun)
  Xi <- match(X, rownames(grid0))
  Yi <- match(Y, colnames(grid0))
  grid1 <- grid0[Xi, Yi]
  dimnames(grid1) <- list(X, Y)
  return(grid1)
}
filtro3=function(x){
  if(length(x)<3){
    out=mean(x,na.rm=T)
  }else{
    z=x
    umb=mean(z,na.rm=T)+1.5*sd(z,na.rm=T)
    out=mean(z[z<umb],na.rm=T)
  }
  return(out)
}

```

- A continuación se presenta el algoritmo para generar mapas con formato gráfico “.png”

```

#instalar el paquete ‘ncdf4’, ‘fields’, ‘lubridate’, ‘maps’, ‘mapdata’, solo una
vez#
install.packages(c(‘ncdf4’, ‘fields’, ‘lubridate’, ‘maps’, ‘mapdata’))

#cargar múltiples paquetes
paquetes <- c(‘ncdf4’, ‘fields’, ‘lubridate’, ‘maps’, ‘mapdata’)
lapply(paquetes, require, character.only = TRUE)

#Direccionar el directorio donde se encuentra guardado el archivo descargado#
setwd ("D:/CarpetaSLA/ ")

#nombre del archivo que contiene los datos sla
datos <- read.csv(‘sla130111.csv’, header = T)

#nombre del archivo que contiene los datos de puertos
puertos = read.csv("puertos.csv", header=T)
res=0.25 #resolución#

```

```

#colocar las coordenadas
xlon=seq(-90,-70,res)
xlat=seq(-20,0,res)

# cada cuadrícula grillada contiene el promedio de tus observaciones en esa
#cuadrícula con un pequeño filtro de limpieza
datagrid=make.grid2(x=datos$lon,y=datos$lat,z=datos$sla,interx=xlon,intery=
xlat,fun=function (x) filtro3(x))

#crear el mapa para su visualización
filled.contour(xlon,xlat,datagrid, zlim= c(-6,24),color.palette =
colorRampPalette(c("navyblue","blue","cyan","green","yellow","orange",
"red", "darkred"),space = "Lab"),
plot.title = title(paste0("Anomalía del Nivel del Mar (cm)"),xlab = " ", ylab = "
"),
key.axes = { axis(4,at=seq(-6,24,by=2),labels=seq(-6,24,by=2), font = 2,
cex.axis=0.8)},
plot.axes = { axis(1, las=1, cex.axis=0.8, at= seq(-90,-70,2),
labels=
c("90°W","88°W","86°W","84°W","82°W","80°W","78°W","76°W","74°W","
72°W","70°W") , font = 2)
axis(2, las=2, cex.axis=0.8, at= seq(-20,0,2),
labels=
c("20°S","18°S","16°S","14°S","12°S","10°S","8°S","6°S","4°S","2°S","0°S"),
font = 2)
map('worldHires', fill = T, add = T, col = 'khaki1')

#ingresar los puertos al mapa
points(puer$Lon, puer$Lat,cex=0)
myLabels <- puer$Puertos
text(puer$Lon, puer$Lat, labels=myLabels,cex=0.6, col="black",font=2)
box()
})

#Cambiar el directorio para guardar el mapa creado
dev.copy (png,filename=paste0("D:/CarpetaSLA /mapa_sla.png"),width=1000,
height=1200, res=140)
dev.off()
}

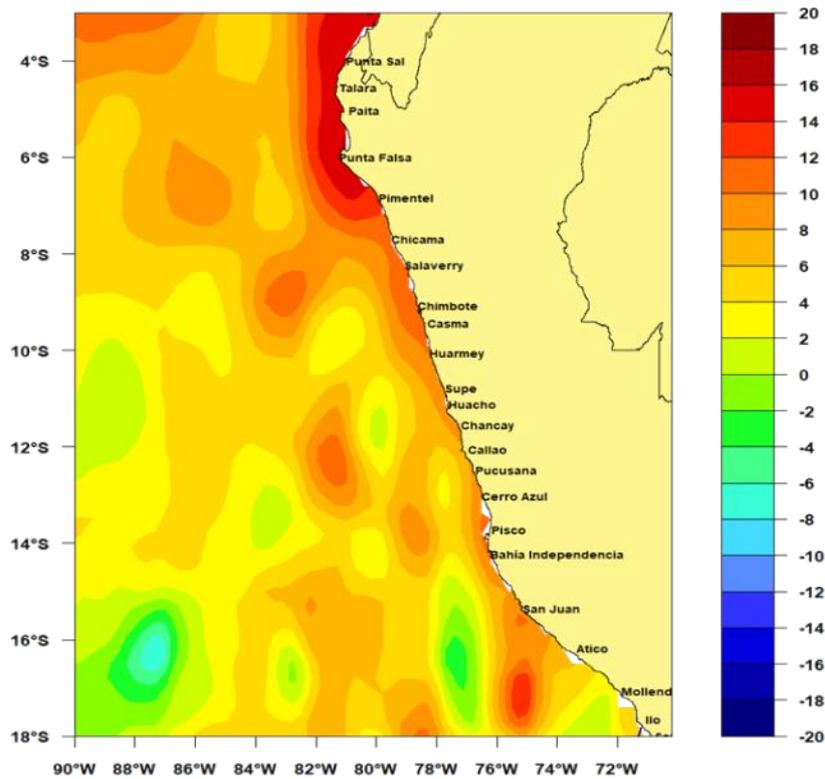
```

Al ejecutar el algoritmo antes descrito se genera un fichero gráfico por interpolación como se muestra en la Figura. 22, El fichero estará en la carpeta pre-definida

**"D:/CarpetaSLA "**

**Figura 22**

*Representación gráfica de la interpolación de los datos SLA (anomalía del nivel del mar, en cm)*



*Nota.* Elaboración propia

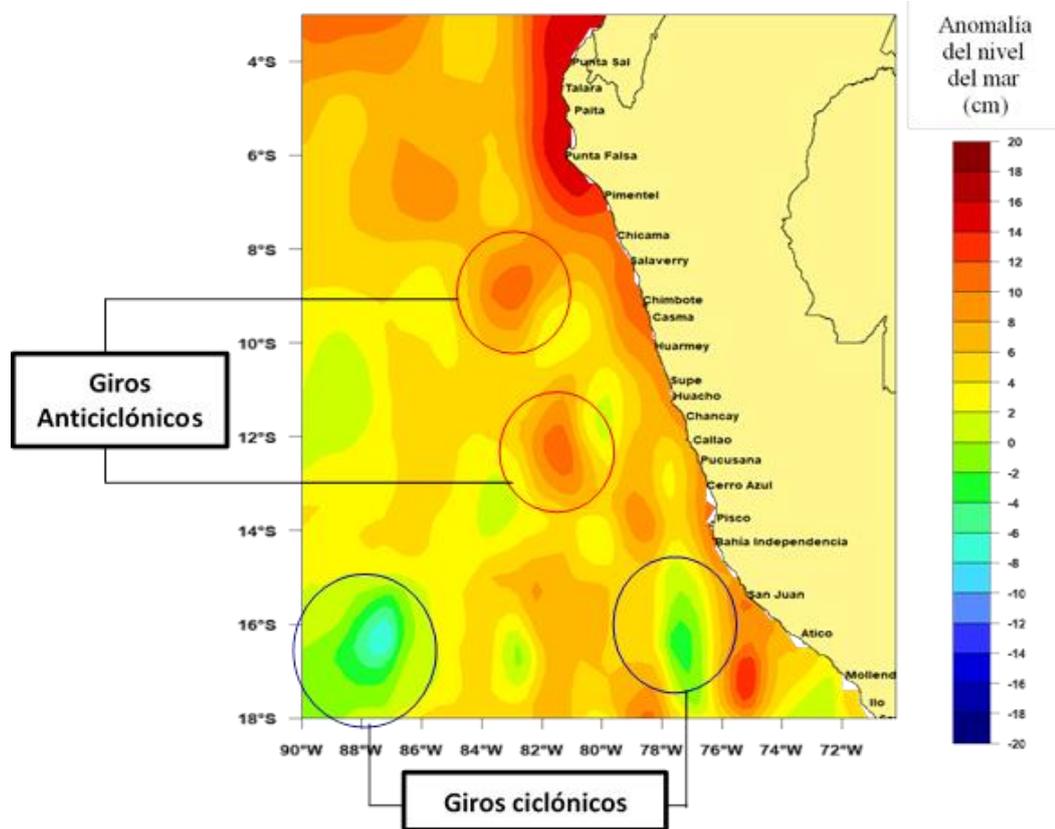
#### ***4.1.3 Identificación de giros ciclónicos y anticiclónicos en el mapa resultante de SLA.***

Los giros ciclónicos y anticiclónicos se identifican según sus colores en el mapa SLA.

Los giros ciclónicos son los que en el hemisferio sur giran en el sentido de las agujas del reloj (en este caso representados por colores verde a azul); y los giros anticiclónicos son los que en el hemisferio sur giran en sentido contrario a las agujas del reloj (en este caso representados por colores entre amarillo y rojo), como se observa en la Figura 23.

**Figura 23**

*Imagen SLA (anomalía de la superficie del mar, en cm)*



*Nota.* Los colores entre amarillos y rojos en la imagen corresponden a procesos de convergencia (remolinos o giros anticiclónicos). Los colores azules corresponden con procesos de divergencia (remolinos o giros ciclónicos).

#### **4.1.4 Asignación de valores SLA a los valores de captura en en R**

Para realizar análisis de correlación GAM (modelo aditivo generalizado) entre las capturas de peces y la anomalía del nivel superficial del mar (SLA) se debe asignar un valor SLA que vincule ambas variables. Se ha correlacionado los datos de captura de jurel con su correspondiente valor SLA en dos períodos: de 2011 a 2013, y de 2018 a 2019.. Este proceso se logró combinando dos tipos de ficheros tipo .csv: ficheros de calas de jurel, y ficheros con valores SLA. Para procesarlos en R ambos ficheros solo deben tener tres columnas (el de capturas debe tener columnas para la longitud, latitud y

capturas; y el de valores SLA debe contener la longitud, latitud y valor sla). A continuación se presenta el algoritmo desarrollado en lenguaje R.

```

#instalar el paquete 'akima'
install.packages("akima")

#requerir la librería akima
library(akima)

#colocar la dirección de la carpeta
dirpath <- 'D:/CarpetaSLA/'
res = 1/24 #Resolucion espacial#

#Límites de coordenadas
xlim <- c(-90,-70)
ylim <- c(-20,0)

#colocar el nombre del archivo calas#
calas <- read.table(file = paste0(dirpath, 'calas.csv'), sep = ',', header = T)
calas <- calas[complete.cases(calas),]

#colocar el nombre del archivo sla#
temps <- read.table(file = paste0(dirpath, 'sla.csv'), sep = ',', header = T)
temps <- temps[complete.cases(temps),]

#####
#####No cambiar nada a partir de aqui#####
x0 <- seq(from = xlim[1], to = xlim[2], by = res)
y0 <- seq(from = ylim[1], to = ylim[2], by = res)

#Obtener una nueva cuadrícula para los valores de temperatura #
x <- temps[,1]
y <- temps[,2]
z <- temps[,3]
new_z <- interp(x,y,z, xo = x0 , yo = y0)
x <- new_z$x
y <- new_z$y
z <- new_z$z
x <- matrix(data = x, nrow = dim(z)[1], ncol = dim(z)[2])
y <- matrix(data = y, nrow = dim(z)[1], ncol = dim(z)[2], byrow = T)
new_dat <- data.frame(as.vector(x), as.vector(y), as.vector(z))
new_info <- NULL
for(i in 1:dim(calas)[1]){
  lon <- calas[i,1]
  lat <- calas[i,2]
  varDat <- subset(new_dat, new_dat[,1] >= lon-res y
                  new_dat[,1] <= lon+res y
                  new_dat[,2] >= lat-res y
                  new_dat[,2] <= lat+res)
}

```

```

new_temp <- mean(varDat[,3], na.rm = T)
new_row <- cbind(calas[i,], new_temp)
new_info <- rbind(new_info, new_row)
}
colnames(new_info) <- c('lon', 'lat', 'catch', 'sla')
# cambiar el nombre del archivo de salida, adicionando a 'cala_sla' la fecha a
que corresponda #
write.table(x = new_info, file = paste0(dirpath, 'cala_sla.csv'), row.names = F,
sep = ',')
rm(list = ls())

```

- Es conveniente verificar la correcta estructura de los valores exportados. Ello se logra accediendo a la carpeta de trabajo y abriendo en una hoja de cálculo el fichero creado con formato \*.csv ; al hacerlo se observará una ventana como la que se muestra en la tabla 7, y se aprecia que para cada cala habrá una fila, en la que se indica la longitud, latitud, captura (catch) y el valor sla que le corresponde:

**Tabla 7**

*Tabla con los valores de longitud (lon), latitud (lat) y captura (catch) y SLA.*

<b>lon</b>	<b>lat</b>	<b>catch</b>	<b>sla</b>
-81.65	-6.27	35	0.041
-81.5	-6.35	210	-0.079
-81.58	-6.3	200	-0.025
-81.36	-6.14	70	-0.212
-81.37	-6.18	80	-0.226
-81.39	-6.13	250	-0.183
-81.34	-6.13	370	-0.212
-81.38	-6.1	120	-0.171
-81.35	-6.2	80	-0.226
-81.39	-6.14	100	-0.183
-81.37	-6.14	350	-0.212

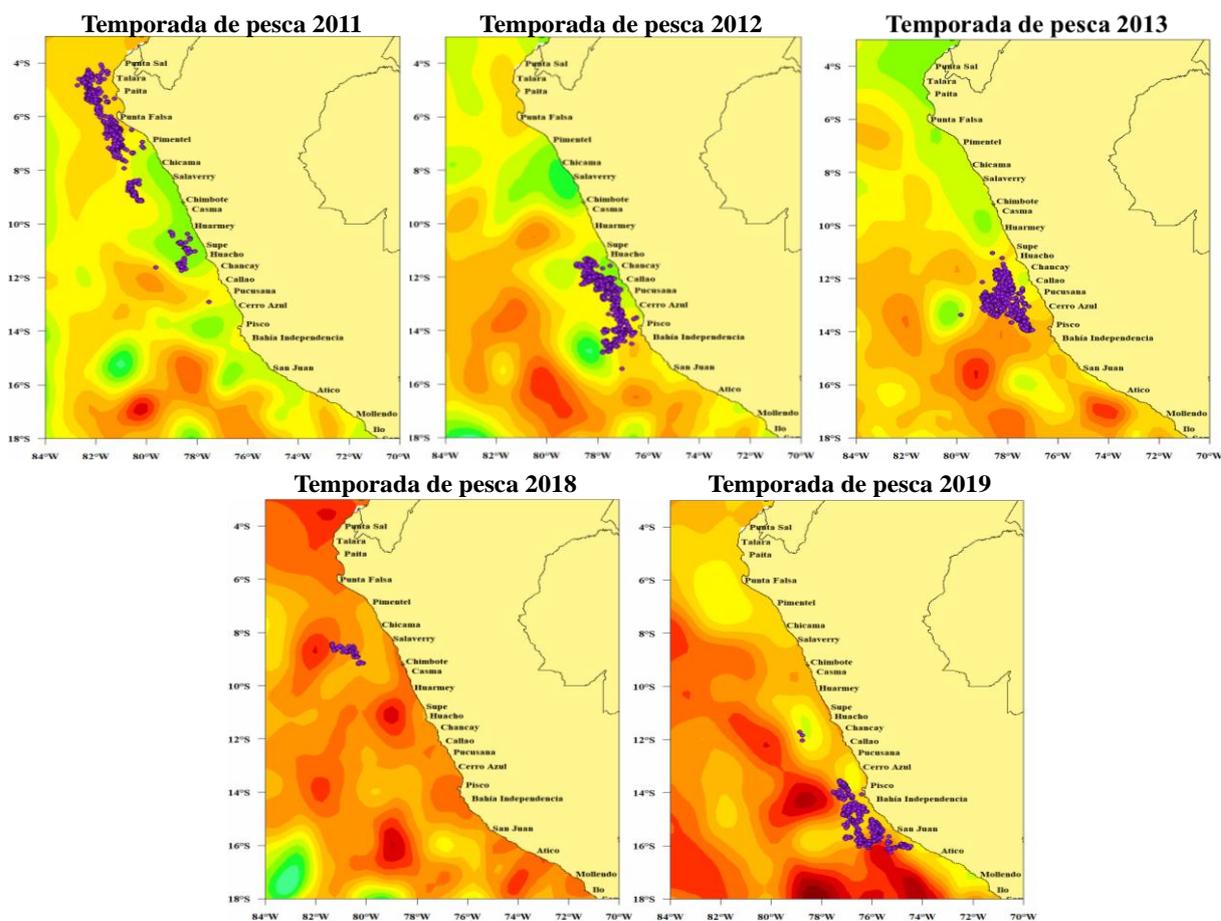
#### ***4.1.5 Distribución de los lances de pesca de la flota industrial jurelera en los años 2011, 2012, 2013, 2018 y 2019 sobre el mapa promedio de anomalía del nivel de la superficie del mar – SLA (cm)***

Los datos de las capturas de las embarcaciones industriales pesqueras peruanas dedicadas al CHD (pesca de jurel y caballa) han sido subdivididas en dos períodos según la disponibilidad de información: desde 2011 a 2013, y de 2018 a 2019. Toda la información estuvo georreferenciadas para el análisis. La sobreposición de la

información SLA con las capturas de la flota industrial de jurel, permite observar su probabilidad de distribución. En la figura 24, se observan que las capturas de jurel se concentran en mayor proporción en los bordes entre giros ciclónicos y anticiclónicos.

**Figura 24**

*Sobreposición de capturas de jurel (representados por círculos morados) sobre imágenes de SLA construidas como promedios para los veranos de los años 2011 a 2019*



*Nota.* Los colores rojos en la imagen corresponden a procesos de convergencia (remolinos anticiclónicos). Los colores azules corresponden con procesos de divergencia (remolinos ciclónicos).

#### ***4.1.6 Modelos aditivos generalizados (GAM) de los valores SLA según capturas de jurel.***

Se observa relaciones no lineales entre las capturas de jurel respecto a la anomalía del nivel del mar (SLA), tal como se presenta en la figura 25, en donde en cada se panel se muestra el modelo GAM resultante para identificar el rango de valores SLA que se obtiene según la magnitud de las capturas de jurel. Los ejes de ordenadas están expresados en escala relativa, en los que un valor cero representa el efecto medio de la variable explicativa según los valores en el eje de abscisas. Valores positivos y negativos indican un efecto positivo y negativo respectivamente sobre la variable de respuesta. El rango de los ejes de ordenadas indica la importancia relativa de cada predictor. Los límites de confianza al 95% están indicados por las líneas punteadas en cada panel. Estas líneas tienden a ser más amplias cerca de los extremos del rango como consecuencia de tener menos observaciones en los extremos (Agenbag et al., 2003). Las marcas de graduación del eje de abscisas muestran la ubicación de los datos utilizados.

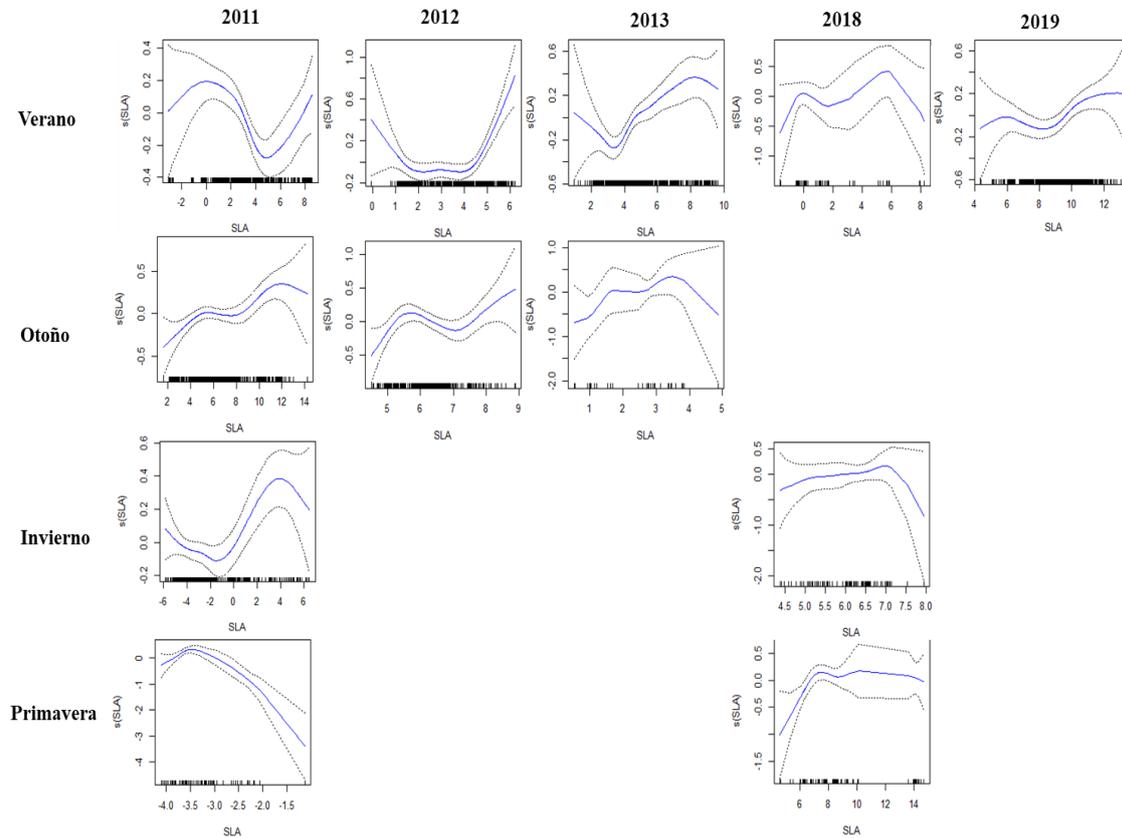
Los resultados de estos modelos GAM muestran patrones similares para las estaciones de verano y otoño en los años de estudio (2011 al 2013 y 2018 al 2019), pero un patrón muy diferente para las estaciones de invierno y primavera.

La relación entre las capturas y valores SLA para el año 2011 muestra una tendencia positiva para las estaciones de verano y otoño, con valores entre 1 y 7 cm. Para las estaciones de invierno y primavera se observó una tendencia negativa, con valores entre -4 y -2 cm. Para el año 2012 se obtuvo una tendencia positiva para las estaciones de verano y otoño, con valores entre 2 y 7 cm. Para el año 2013 se observó una tendencia positiva para las estaciones de verano y otoño, con valores entre 2 y 6 cm. Para el año

2018 no se observó una tendencia definida. Finalmente, para el año 2019 se observó una tendencia positiva para la estación de verano, con valores entre 7 y 10 cm.

**Figura 25**

*Modelos GAM basados en el valor logarítmico de las capturas (líneas azules) según la anomalía del nivel del mar (SLA, en cm), entre 2011 al 2013 y 2018 al 2019*



*Nota.* Las líneas plomas punteadas representan los límites de confianza al 95% de cada modelo GAM. Los ejes de ordenadas (Y) están expresados en términos relativos que corresponden al efecto armonizador ajustado a los datos, de tal manera que un valor cero representa el efecto medio sobre la variable de respuesta. Las marcas grises en el eje de abscisas representan la ubicación relativa de los datos utilizados.

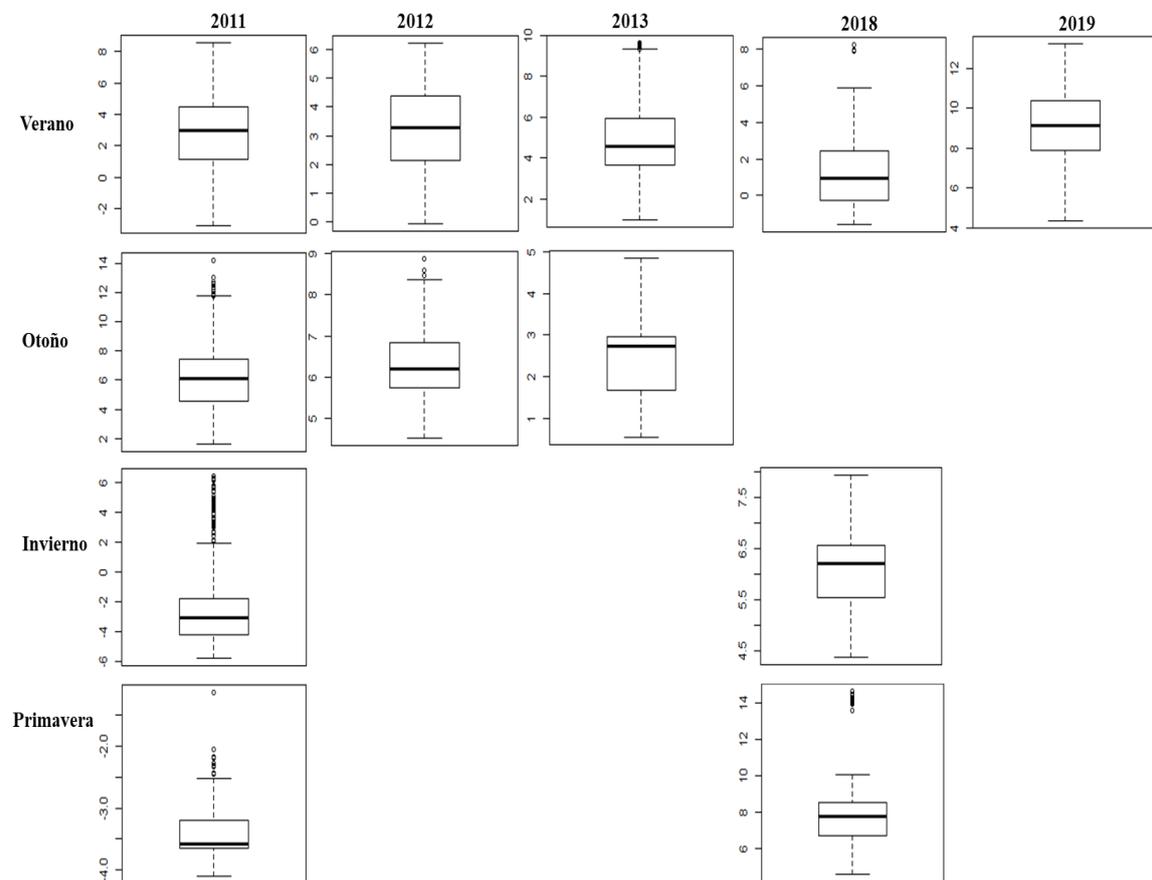
#### **4.1.7 Análisis de cajas (boxplot) para determinar los rangos de correlación entre capturas y valores SLA.**

En la figura 26, se presentan los resultados obtenidos del análisis de cajas (boxplots) de las capturas de jurel según los valores SLA. Para el año 2011 los valores de SLA promedio para las estaciones de verano, otoño, invierno y primavera estuvieron entre 3.0, 6.3, -2.4 y -3.4 cm respectivamente. Para el año 2012 los valores de SLA

promedio para las estaciones de verano y otoño estuvieron entre 3.3 y 6.3 cm respectivamente. Para el año 2013 los valores de SLA promedio para las estaciones de verano y otoño estuvieron entre 4.9 y 2.5 cm respectivamente. Para el año 2018 los valores de SLA promedio para las estaciones de verano, invierno y primavera estuvieron entre 1.6, 6.1 y 8.3 cm respectivamente. Finalmente para el año 2019 el valor promedio de SLA para la estación de verano estuvo en 9 cm.

**Figura 26**

*Resultados del análisis de cajas para parámetros SLA para las capturas de jurel por años y estaciones.*



En la tabla 8, se visualizan los rangos de valores de SLA, para cada estación del año

**Tabla 8**

*Rango de valores de SLA, para cada año y estación.*

	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>
<b>Verano</b>	1 a 5 cm	2 a 4 cm	4 a 6 cm	0 a 2 cm	7 a 10 cm
<b>Otoño</b>	4 a 7 cm	5 a 7 cm	2 a 3 cm		
<b>Invierno</b>	-4 a -2 cm			6 a 7 cm	
<b>Primavera</b>	-3 a -3 cm			7 a 9 cm	

**4.1.7.1 Propuesta de clasificación de los datos de cala según SLA.** Se ha clasificado los resultados de correlación entre capturas y sla solo para la estación de verano por tener la serie más completa de resultados, los que han sido mostrados en la tabla 4.1. Para ellos se establecido un promedio para definir el rango de valores. Estos valores se encuentran entre mayores a 1 cm y menores a 5 cm. Se ha desarrollado un algoritmo en R para restringir el rango de valores y el área de interés.

```
#Se instala el paquete "dplyr"
install.packages("dplyr")

#requiere la librería dplyr
library(dplyr)
setwd('D:/CarpetaSLA')
base <- read.csv('sla140111.csv')

#se colocan los rangos, y se restringe el área de estudio
a1= filter(base,sla >= 1 y sla <= 5 y lon >=-84)
write.csv(a1,'puntos_filtrados.csv', row.names = F)
```

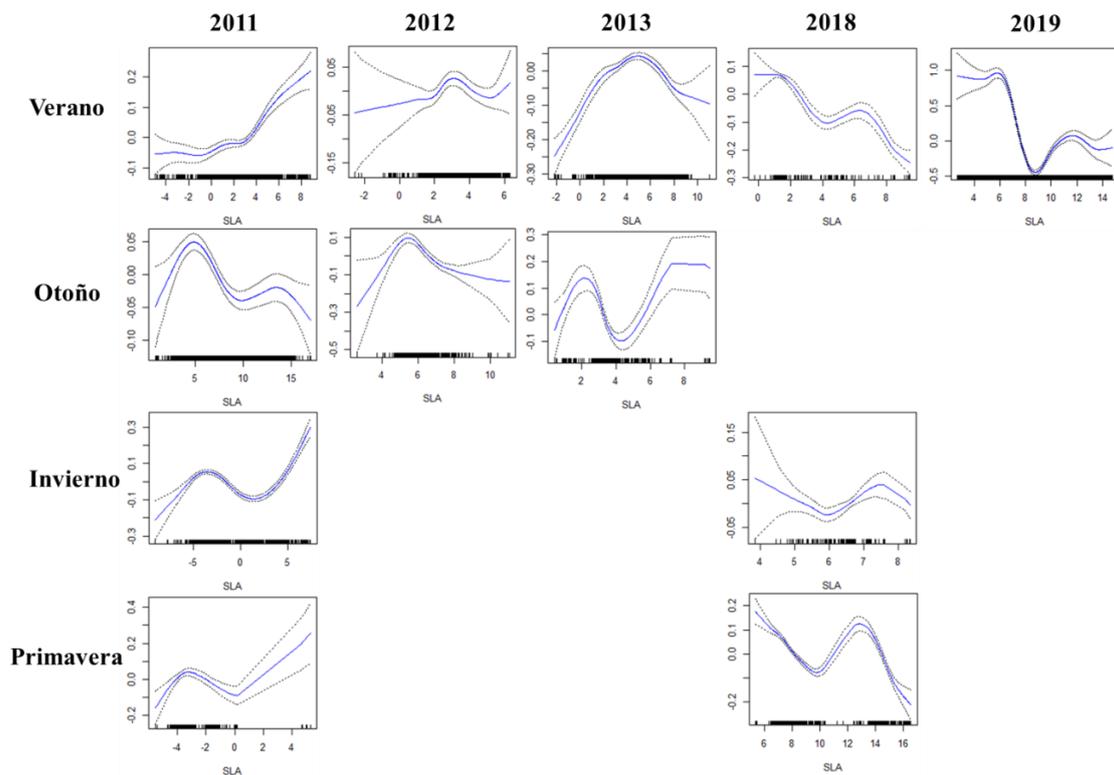
#### **4.1.8 Modelos Aditivos Generalizados (GAM) de los valores SLA empleando data SISESAT.**

Los resultados de estos modelos GAM muestran patrones similares para las estaciones de verano y otoño en los años de estudio (2011 al 2013 y 2018 al 2019), pero un patrón muy diferente para las estaciones de invierno y primavera.

La relación entre las velocidades (con rangos de 0.2 a 1.6 nudos) de las embarcaciones según el SISESAT y valores SLA. Para el año 2011 muestra una tendencia positiva para las estaciones de verano y otoño, con valores entre 0.5 y 7 cm. Para las estaciones de invierno y primavera se observó una tendencia negativa, con valores entre -3.6 y -1.8 cm. Para el año 2012 se obtuvo una tendencia positiva para las estaciones de verano y otoño, con valores entre 2 y 7 cm. Para el año 2013 se observó una tendencia positiva para las estaciones de verano y otoño, con valores entre 2 y 6 cm. Para el año 2018 no se observó una tendencia definida. Finalmente, para el año 2019 se observó una tendencia positiva para la estación de verano, con valores entre 6 y 10 cm.

**Figura 27**

*Modelos GAM basados en las velocidades de las embarcaciones (líneas azules) según la anomalía del nivel del mar (SLA, en cm), entre 2011 al 2013 y 2018 al 2019*



*Nota.* Las líneas plumas punteadas representan los límites de confianza al 95% de cada modelo GAM. Los ejes de ordenadas (Y) están expresados en términos relativos que corresponden al efecto armonizador ajustado a los datos, de tal manera que un valor cero representa el efecto medio sobre la variable de respuesta. Las marcas grises en el eje de abscisas representan la ubicación relativa de los datos utilizados.

## 4.2. Protocolo para determinar la presencia de estructuras de sub-mesoescala en remolinos ciclónicos y anticiclónicos en base a la información acústica y SLA

Con el análisis de la información acústica (ecogramas) es posible obtener la cambiante profundidad, en alta resolución, sobre la ubicación del límite superior de la zona mínima de oxígeno (LSZMO). La metodología sobre esta determinación está descrita en el capítulo correspondiente. Para obtener el LSZMO se procede a ejecutar el siguiente algoritmo desarrollado en el programa Matlab, el cual fue desarrollado entre expertos de IMARPE e IRD, el cual se denomina “Echopen”.

### 4.2.1 Guía para el uso de “ECHOPEN” para la determinación del LSZMO

Para ejecutar la presente guía se debe tener instalado el programa Matlab (MathWorks,E.E.U.U).

#### 4.2.1.1 Seleccionar la carpeta de trabajo donde se encuentren los archivos acústicos RAW y BOT:

D:\Data\Data ecosonda\

- Dentro de la carpeta anterior crear una carpeta para los resultados (Final):

D:\Data\FINAL\

También se debe crear la siguiente carpeta auxiliar:

D:\Data\Data ecosonda \Bitacoras

De tal modo, la carpeta de trabajo “D: \Data” tendrá la siguiente estructura, ver figura 28:

#### Figura 28

*La carpeta de trabajo deben cotener lo siguiente, bitácoras, data ecosonda y final (resultados finales)*

 Bitacoras	14/06/2019 14:51
 Data ecosonda	28/01/2019 11:04
 FINAL	6/06/2019 12:32

En esa carpeta crear o copiar el fichero “Bitacora todo.csv” que puede estar vacío si no hubiera datos auxiliares (conteniendo por ejemplo información sobre la presencia de múnida en cada unidad de muestreo).

En carpeta de trabajo hay que copiar la carpeta que contiene el programa, ver figura 29:

### Figura 29

*La carpeta de trabajo de tener programa Echopen y bitácora*

Nombre	Fecha de i
D20101218-T090727.bot	18/12/201
D20101218-T091017.bot	18/12/201
D20101218-T091307.bot	18/12/201
D20101218-T091557.bot	18/12/201
D20101218-T091847.bot	18/12/201
D20101218-T092137.bot	18/12/201
D20101218-T092427.bot	18/12/201
D20101218-T092717.bot	18/12/201
D20101218-T090727.raw	18/12/201
D20101218-T091017.raw	18/12/201
D20101218-T091307.raw	18/12/201
D20101218-T091557.raw	18/12/201
D20101218-T091847.raw	18/12/201
D20101218-T092137.raw	18/12/201
D20101218-T092427.raw	18/12/201
D20101218-T092717.raw	18/12/201

Debe tenerse presente que Echopen, puede abrir ficheros en formatos HAC, EK5 y RAW. La data acústica se apreciará de modo similar al que se muestra en la figura 30:

### Figura 30

*La carpeta de Data ecosonda contiene archivos en formato \*.bot y raw.*

Nombre	Fecha de i
Echopen_V1.6 y Linea98_V1.0 OK	13/06/201
Bitacora todo.csv	13/06/201

**Paso 1:** Si hubo un proceso previo, por ejemplo en el programa Echoview para crear regiones (\*.evr) y/o línea de fondo (\*.csv), dichos archivos deben estar también grabados junto a los de la ecosonda.

**Paso 2:** Echopen creará ficheros auxiliares tales como “info.txt”, que contienen parámetros utilizados en la generación de resultados.

**Paso 3:** Echopen creará ficheros nuevos, para cada frecuencia contenida en los datos RAW de la figura anterior, y también creará otros ficheros para la fase “resampling”, en la que además se habrá quitado el ruido, el campo cercano, las zonas debajo de la línea de fondo.

**Paso 4:** paso opcional: si sabemos que nuestros datos contienen una presencia significativa de *Pleuroncodes monodom* (munida), es conveniente tener un registro de cuáles unidades de muestreo tienen presencia de esa especie, a fin de efectuar una discriminación especial (a -53 dB).

#### 4.2.1.2 En Matlab: abrir el fichero “echopen” y seguir el siguiente proceso:

>>Clear all

En el menú de Explorer copiar la ruta donde se va a ejecutar Echopen, por ejemplo:  
D:\Data\ \Echopen\_V1.6

Copiar la ruta anterior y pegarla en Matlab, ver la figura 31:

#### Figura 31

*Ubicar la ruta del Echopen en la pestaña “current folder”*



#### 4.2.1.3 Ejecutar secuencialmente los componentes de Echopen:

Sobre la ventana izquierda en Matlab (“current folder”) Ingresar en:

“A\_Calib\_RAW\_Convert\_format\_corr\_bottom”  
Luego entrar a “A-RAW\_Define\_param”

**Paso 5: RunMode=2** (para correr todo el algoritmo), si ponemos 1 se ejecutaría carpeta por carpeta (en este ejercicio tenemos solo un transecto), si ponemos 0 se ejecutarán todos los pasos pidiendo confirmación de cada proceso (lo que puede ser muy tedioso).

**Paso 6: Prefix=**” (en este caso está en blanco porque no hay prefijo en este caso, aunque los datos RAW tienen siempre un prefijo por defecto que es D, otros prefijos pueden definirse antes de grabar datos con la ecosonda).

**Paso 7: exportRange=[0 500]** , donde los valores indican el rango en que vamos a crear nuevas matrices (esto depende de nuestros datos).

**Paso 8:** En los casos en que los datos no tienen línea de fondo es necesario hacer lo siguiente: en **ReadBottEcho=0** y luego en **corrBott=1** para indicar que necesitamos corregir (o crear) el fondo.

**Paso 9: Fr\_corr\_bottom=38** indica en qué frecuencia se tomará o leerá el fondo.

**Paso 10:** En **Cal\_update=0** si los datos están calibrados, si no lo están entonces **Cal\_update=1**, y a continuación tendríamos que ingresar los valores de calibración para cada frecuencia:

```
%Gain
Cals=[NaNNaNNaN];
%Sa Correction
sacoor=[NaNNaNNaN];
%equivalent beam angle:
equiBeamangle=[NaNNaNNaN];
%Sentivity angle along ship
anglesensitivityalongship=[NaNNaNNaN];
%Sentivity angle athward ship
anglesensitivityathwartship=[NaNNaNNaN];
%angle offset along ship
anglesoffsetalongship=[NaNNaNNaN];
%angle offset athward ship
anglesoffsetathwartship=[NaNNaNNaN];
```

**Paso 11:** en caso que se modifiquen los parámetros anteriores, es necesario grabar en Matlab el algoritmo “A\_RAW\_” que estamos usando para que los cambios se conserven.

**Paso 12:** ir a la carpeta “C\_remBad\_defLim\_NoiseRred\_resample”, y dentro de ella hay un algoritmo “C\_Define\_param.m”. En **select\_range=[0 500]**, luego **upperlimit=5** para definir a qué profundidad queremos la línea de superficie, en **resampl\_range=0.5** definimos de qué alto (en metros) queremos el remuestreo. En **applyNoiseRed=1** si queremos quitar el ruido, y ponemos 0 si no es así. En **frequOrder=[38, 120, 200]** se indican las frecuencias que se emplearán, ojo que en este caso se tiene la frecuencia de 200, pero no se usará, solo se remuestreará. Luego en **alpha=[ 0.0066, 0.047, 0.064]** modificar (si fuera conveniente) los valores de absorción (alfa). Luego en **offset=[ -135.27, -140, -135.44]** hacemos lo mismo. Grabar el algoritmo.

**Paso 13:** entrar a la carpeta **D\_Process\_Algo**, y abrir el algoritmo **D\_Define\_param.m**, luego en **select\_range=[0, 500]** revisar el rango (500 en este caso). Luego en **groupFile=8** indicamos en grupos de cuántos ficheros queremos trabajar. Finalmente grabar el algoritmo.

**Paso 14:** abrir el algoritmo **A\_C\_D\_mainprogram\_ALL\_raw.m**, indicar la ruta en que se encuentran los transectos (en este caso es solo un (1) transecto o conjunto de datos):

```
D:\Data \Data ecosonda\Transecto 1\
```

Grabar el algoritmo.

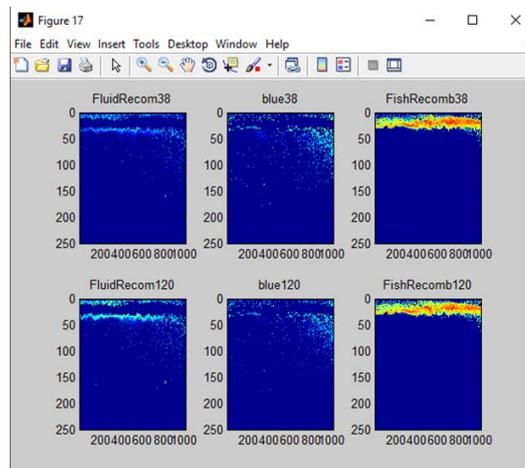
#### 4.2.1.4 Correr el código Echopen

Control-A (para seleccionar todas las filas de comandos), luego F9 para correr el código. Aparecerá la figura 32, donde se presentan los 3 ecogramas (matrices matlab)

finales para cada frecuencia (6 en total, por haberse utilizado solo 2 frecuencias en este ejemplo):

**Figura 32**

*Ecogramas correspondiente a fish, fluid-like y blue-noise, para las frecuencias de 38 y 120 kHz.*



Asimismo, se habrán creado matrices para cada frecuencia (38, 120, 200) en la carpeta de **Transecto 01** (ver la figura 33):

**Figura 33**

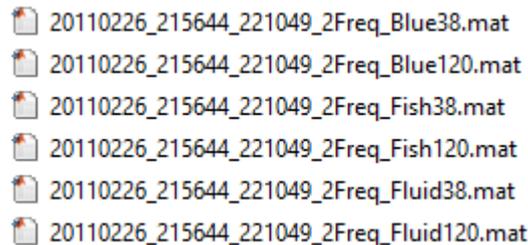
*Muestra de archivos creados para cada frecuencia 38,120 y 200 kHz.*

20110227_065958_info.txt	20110227_071239_resamp_038.mat	20110227_065545_038.mat
20110227_070412_info.txt	20110227_071239_resamp_120.mat	20110227_065545_120.mat
20110227_070825_info.txt	20110227_071239_resamp_200.mat	20110227_065545_200.mat
20110227_071239_info.txt	20110227_063436_resamp_038.mat	20110227_065131_038.mat
20110227_063436_info.txt	20110227_063436_resamp_120.mat	20110227_065131_120.mat
20110227_063849_info.txt	20110227_063436_resamp_200.mat	20110227_065131_200.mat
20110227_064303_info.txt	20110227_063849_resamp_038.mat	20110227_064718_200.mat
20110227_064718_info.txt	20110227_063849_resamp_120.mat	20110227_064718_038.mat
20110227_065131_info.txt	20110227_063849_resamp_200.mat	20110227_064718_120.mat
20110227_065545_info.txt	20110227_064303_resamp_038.mat	20110227_064303_120.mat
20110227_064718_resamp_200.mat	20110227_064303_resamp_120.mat	20110227_064303_200.mat
20110227_065131_resamp_038.mat	20110227_064303_resamp_200.mat	20110227_064303_038.mat
20110227_065131_resamp_120.mat	20110227_064718_resamp_038.mat	20110227_063849_038.mat
20110227_065131_resamp_200.mat	20110227_064718_resamp_120.mat	20110227_063849_120.mat
20110227_065545_resamp_038.mat	20110227_071239_038.mat	20110227_063849_200.mat
20110227_065545_resamp_120.mat	20110227_071239_120.mat	20110227_063436_200.mat
20110227_065545_resamp_200.mat	20110227_071239_200.mat	20110227_063436_038.mat
20110227_065958_resamp_038.mat	20110227_070825_120.mat	20110227_063436_120.mat
20110227_065958_resamp_120.mat	20110227_070825_200.mat	20110227_061523_info.txt
20110227_065958_resamp_200.mat	20110227_070825_038.mat	20110227_061812_info.txt
20110227_070412_resamp_038.mat	20110227_070412_120.mat	20110227_062101_info.txt
20110227_070412_resamp_120.mat	20110227_070412_200.mat	20110227_062351_info.txt
20110227_070412_resamp_200.mat	20110227_070412_038.mat	20110227_062640_info.txt

Para el caso-ejemplo de la presente guía abreviada el algoritmo creó la carpeta **“20110226\_215644\_221049\_2Freq”** que contiene las 6 matrices con los resultados: peces, fluid-like y blue-noise (según se presentó en la correspondiente sección de revisión o marco teórico), ver figura 34:

**Figura 34**

*Archivos para peces, fluid-like y blue-noise para las frecuencias 38, 120 y 200kHz*



#### 4.2.2 Guía para el Algoritmo “LINEA 98”

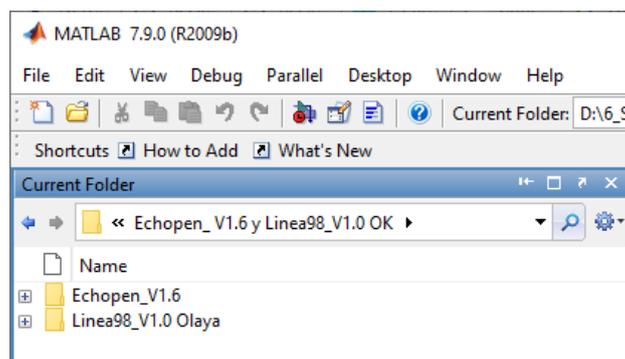
Bajo la cooperación entre el IMARPE e IRD se desarrolló también el algoritmo “Línea 98”, que es el que específicamente detecta el LSZMO. Para ello se sigue el proceso siguiente:

##### 4.2.2.1 Seleccionar carpeta donde esté el programa Linea 98.V10 Olaya.

Desde Matlab (Figura 35):

**Figura 35**

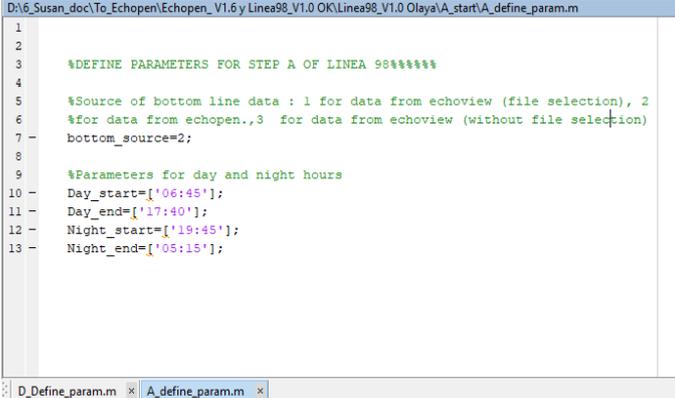
*En current folder se debe elegir la ubicación el programa Linea 98.V10 Olaya*



**Paso 1:** Ingresar en esa carpeta y luego abrir el fichero “**A\_start**”, luego entrar al algoritmo “**A\_define\_param**”, luego fijar horas en que comienza y termina el día, sin incluir el alba y el ocaso según la figura 36 y explicación siguiente:

**Figura 36**

Definir los las horas en que comienza y termina la claridad del día (“Day start” y “Day end”) y definir las horas sin luz (“Nightstart” y “Nightend”).



```

1
2
3 %DEFINE PARAMETERS FOR STEP A OF LINEA 98*****
4
5 %Source of bottom line data : 1 for data from echoview (file selection), 2
6 %for data from echopen.,3 for data from echoview (without file selection)
7 - bottom_source=2;
8
9 %Parameters for day and night hours
10 - Day_start=['06:45'];
11 - Day_end=['17:40'];
12 - Night_start=['19:45'];
13 - Night_end=['05:15'];

```

Nótese que la gráfica anterior que en “Day start” y “Day end” se indican las horas y minutos en que comienza y termina la claridad del día. En “Nightstart” y “Nightend” se indica las horas sin luz. Tener presente que en este caso (arriba) no se está dejando un intervalo temporal, lo que sería correcto (en esos intervalos las capas de micronecton ascienden y mezclan con el zooplancton de la zona epipelágica, interfiriendo la detección que Linea 98 hace del límite superior de la zona mínima de oxígeno. Por ejemplo, en invierno, en Perú, las horas de luz van de las 5:30 am a las 18:00, y la oscuridad va desde las 19:00 a las 5:30 am, es decir que cada período tiene 10.5 horas.

**Paso 2:** en “A\_B\_C\_D\_mainprogramALL.m” (se le haya subiendo un nivel, dentro de la carpeta principal de Línea 98), luego en “Carpeta 1” indicar la siguiente ruta donde se encuentran los transectos:

D:\Data \Data ecosonda\

**Paso 3:** en “Carpeta 2” se ingresa la ruta a la carpeta donde se encuentra el fichero “Bitacora todo.csv”:

D:\Data \Bitacoras\

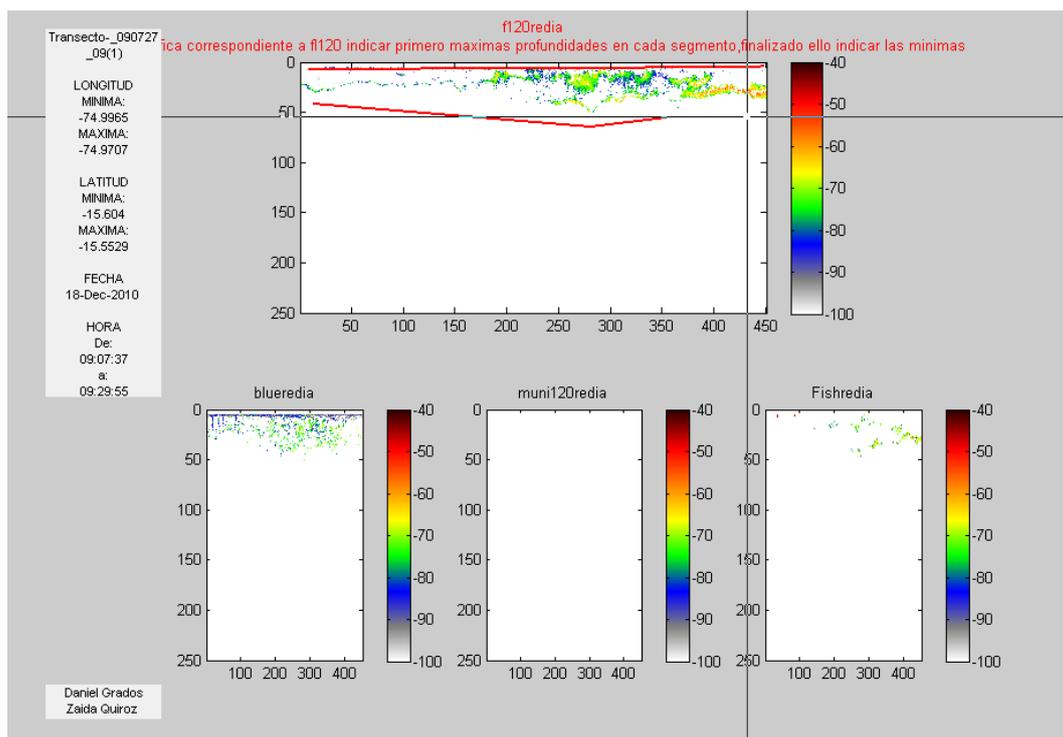
Luego grabar el fichero “A\_B\_C\_D\_mainprogramALL.m”

**4.2.2.2 Ejecutar el algoritmo:** control-A para seleccionar todas las líneas, luego F9 para correr el algoritmo.

**Paso 4:** el programa nos pedirá gráficamente que le indiquemos (ver la figura siguiente, sobre el panel superior) cuáles son los límites superior e inferior para calcular la línea que representa el LSZMO. Leer el comentario que acompaña a la figura 37:

**Figura 37**

*El panel superior de la figura muestra dos líneas rojas*

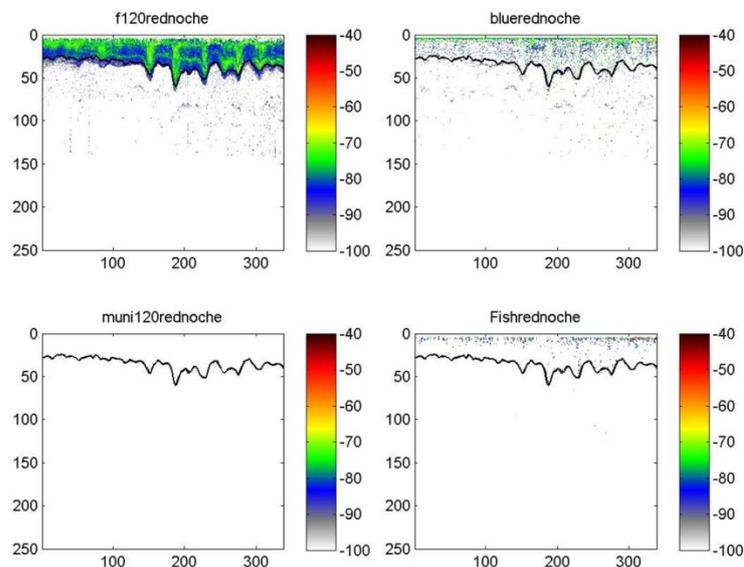


*Nota.* Primero hay que definir la de arriba cliqueando con el botón izquierdo del mouse de izquierda a derecha. Cuando terminamos la línea se debe cliquear el botón derecho del mouse. Luego hay que empezar a dibujar la línea de abajo, de izquierda a derecha, presionando el botón izquierdo del mouse. Al llegar al extremo derecho de la pantalla hay que cliquear el botón derecho del mouse para que se comience a calcular la línea que representa la ZMO.

**Paso 5:** La figura 38, que se logra luego de este proceso debe ser similar a la siguiente:

**Figura 38**

En los cuatro paneles se observa el límite de la línea de la ZMO



**paso 6:** Las matrices (\*.mat) de resultados se habrán grabado en la carpeta:

D:\Data \Data ecosonda\Transecto 01\20110226\_215644\_221049\_2Freq

Los ficheros obtenidos son los siguientes, como se observa en la figura 9:

**Tabla 9**

En la carpeta se encuentran los archivos en formato \*.mat

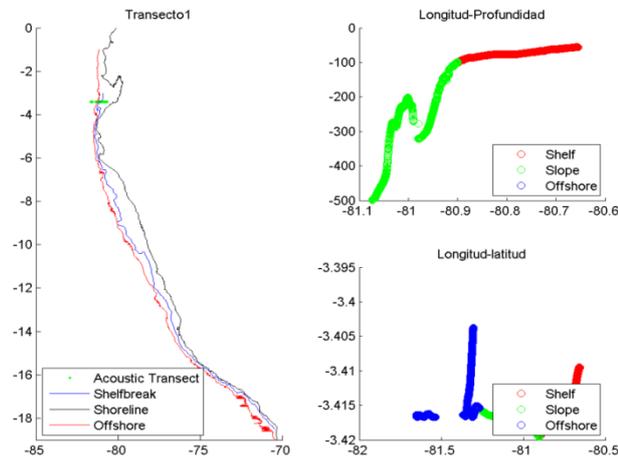
1linea98n.mat	26/02/2019 16:26	MATLAB MAT-file	3 KB
20110226_215644_221049_2Freq_Blue38.mat	21/03/2019 12:53	MATLAB MAT-file	503 KB
20110226_215644_221049_2Freq_Blue120.mat	21/03/2019 12:53	MATLAB MAT-file	501 KB
20110226_215644_221049_2Freq_Fish38.mat	21/03/2019 12:53	MATLAB MAT-file	249 KB
20110226_215644_221049_2Freq_Fish120.mat	21/03/2019 12:53	MATLAB MAT-file	247 KB
20110226_215644_221049_2Freq_Fluid38.mat	21/03/2019 12:53	MATLAB MAT-file	361 KB
20110226_215644_221049_2Freq_Fluid120.mat	21/03/2019 12:53	MATLAB MAT-file	360 KB
biovolumenesnoche.mat	28/03/2019 16:15	MATLAB MAT-file	276 KB
bluefishnoche.mat	28/03/2019 16:15	MATLAB MAT-file	336 KB
clasesnoche.mat	28/03/2019 16:13	MATLAB MAT-file	997 KB
datacomplement.mat	28/03/2019 16:13	MATLAB MAT-file	24 KB
Ftnoche.mat	28/03/2019 16:15	MATLAB MAT-file	263 KB
grafica conjunta noche.jpg	28/03/2019 16:15	Archivo JPG	123 KB
indices.mat	28/03/2019 16:13	MATLAB MAT-file	2 KB
indicetotN1.mat	26/02/2019 16:26	MATLAB MAT-file	1 KB
Inoche16_215644_22.eps	26/02/2019 16:26	Archivo EPS	159 KB
Inoche16_215644_22.jpg	26/02/2019 16:26	Archivo JPG	116 KB
michael.mat	28/03/2019 16:13	MATLAB MAT-file	20 KB
munidanoche.mat	28/03/2019 16:15	MATLAB MAT-file	41 KB
munidia.mat	28/03/2019 16:13	MATLAB MAT-file	1 KB
muninoche.mat	28/03/2019 16:13	MATLAB MAT-file	10 KB
reducidosnoche.mat	28/03/2019 16:13	MATLAB MAT-file	2 043 KB

**Paso 7:** para unificar las matrices se realiza el siguiente proceso: ir a la carpeta de Línea 98 (dentro de Matlab), entrar en “E\_bucle”, luego abrir el algoritmo “unematrizlinea98final”.

Nota 8: Ejecutar: control-A, luego F9. Aparecerá la figura 39:

### Figura 39

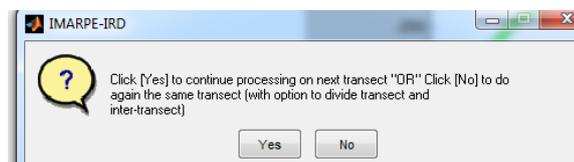
En la figura del lado derecho; clic izquierdo sobre un punto donde termina la plataforma y empieza el talud, tal como se muestra.



**Paso 9:** Como resultado del paso anterior aparecerá un mensaje que pregunta antes de continuar procesando los siguientes transectos o bloques de datos (atención: se supone que los ficheros RAW serán separados por transectos desde un inicio). En este caso-ejemplo, sabemos que es un solo transecto, entonces podemos contestar que no para volver a determinar el punto, o bien decir que sí para dar por terminado esta parte del proceso (Figura 40).

### Figura 40

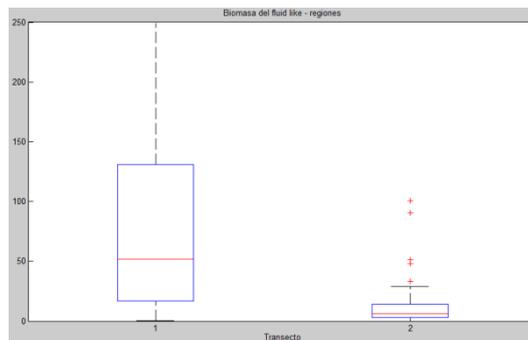
Este cuadro nos indica lo siguiente: Yes (dar por terminado esta parte del proceso), No (volver a determinar el punto transecto)



**Paso 10:** Se obtendrá como resultado una serie de figuras, por ejemplo figura 41, la que se muestra a continuación, y que contiene “boxplots” donde “1” indica la plataforma, “2” indica el talud, y “3” indica el mar abierto.

### Figura 41

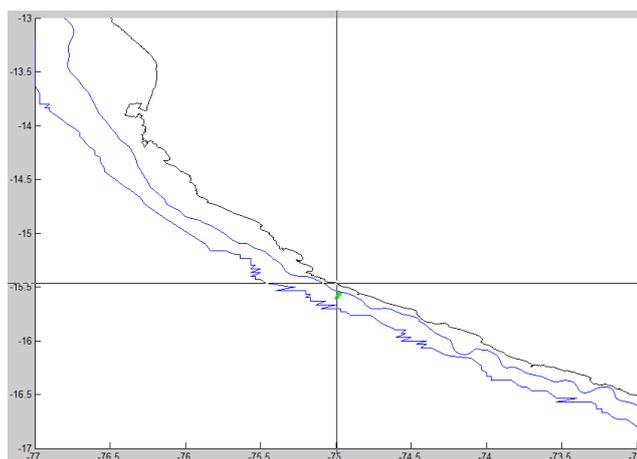
*Grafico Boxplot para indicar lo siguiente: “1” indica la plataforma, “2” indica el talud, y “3” indica el mar abierto.*



**Paso 11:** aparece un mapa como la figura 42, donde consecutivamente hay que definir 3 conjuntos de coordenadas. Primero hay que delinear un polígono dentro de la primera zona (plataforma) clickeando puntos, luego de cada uno de éstos preguntará si desea continuar. Para terminar el proceso contestar “no” para cerrar el polígono

### Figura 42

*Se debe definir la primera zona que es la plataforma, segunda zona es el talud y la tercera es la zona oceanica.*



**paso 12:** Repetir el proceso anterior para la zona sobre el talud.

**Paso 13:** Repetir el proceso anterior para la zona oceánica. Tener presente que en este caso-ejemplo solo se tienen datos sobre el talud. Con esto se termina el proceso en Línea 98.

Para convertir datos (matrices) creadas por Matlab a formato Excel se sigue el siguiente proceso:

**Paso 14:** Ingresar la ruta de la carpeta “**Final**”:

'D:\Data \Bitacoras acusticas\FINAL'

Grabar el algoritmo, luego combinar las teclas control-A y presionar F9. Se habrá creado el fichero “**supermatriz.mat**”, y otros ficheros por separado en formato “.csv” que pueden ser procesados en Excel u otras hojas de cálculo (Figura 43):

**Figura 43**

*Archivos obtenidos de haber corrido el algoritmo “LINEA 98”*

 base.csv	9/05/2019 17:43
 blue.csv	9/05/2019 12:28
 diferencias.csv	9/05/2019 12:29
 fish.csv	9/05/2019 12:28
 fl.csv	9/05/2019 12:27
 FT.csv	9/05/2019 12:28
 ind_regionfinal.csv	9/05/2019 16:06
 munida.csv	9/05/2019 12:28
 transecto.csv	9/05/2019 12:27
 report.txt	9/05/2019 17:42
 struct_supermatriz.mat	9/05/2019 17:45
 supermatriz.mat	9/05/2019 17:44

#### **4.2.3 Guía para ejecutar el algoritmo “WaveletNHCS.m” para la determinación de la presencia de estructuras de submesoescala analizando el LSZMO**

**4.2.3.1 Separar los archivos de la supermatriz.** Al archivo creado “**supermatriz.csv**”, se le creará una columna “**DC**” para calcular la distancia a costa por cada transecto. Luego se filtrará la data por “**Transectos**”. Para ello se debe ejecutar el siguiente algoritmo. Se escogerán cuatro columnas: “**Lon**”, “**Lat**”, “**Depth**”, “**DC**”.

```
setwd("D:/Carpeta de Trabajo/")
base= read.csv('supermatriz 1102_04_final.csv')
for (i in c(1:74)) {
  Transecto = base$Transecto
  base1 = data.frame(lon = base$longitud, lat=base$latitud, depth =
  base$Depth98corregido, DC=base$DC)
  x_1=subset(base1)
  x=subset(x_1,Transecto == i)
  colnames(x)=c("lon","lat","depth", "DC")
  write.table(x,paste0("D:/Carpeta de Trabajo/", "Trans_",i,".csv"), sep =
  ",",row.names=F, col.names = T)
```

}

Del archivo resultante se eliminarán los encabezados, y los datos de distancia a costa (DC), se deben ordenar de forma ascendente tal como se muestra en la tabla 10.

**Tabla 10**

*El archivo contiene datos de longitud (lon), latitud (lat), profundidad (depth) y distancia a costa (DC)*

-81.309	-7.189	68.322	61.844
-81.309	-7.190	68.806	61.850
-81.309	-7.190	68.972	61.855
-81.309	-7.190	70.096	61.860
-81.309	-7.190	70.110	61.865
-81.309	-7.190	71.394	61.875
-81.309	-7.190	71.000	61.850
-81.309	-7.190	71.476	61.855
-81.309	-7.190	71.949	61.860
-81.309	-7.190	72.173	61.865
-81.309	-7.191	71.662	61.870

*Nota.* Estos datos están ordenados de izquierda a derecha

**4.2.3.2 Algoritmo para detectar las estructuras de sub-meso escala (WaveletNHCS.m).** Se utiliza el algoritmo “WaveletNHCS.m” descrito por Grados et al (2016), que ha sido desarrollado en Matlab. El algoritmo detecta las estructuras en base a análisis de ondaletas (wavelets) y genera resultados gráficos y numéricos similares a los que se aprecia en la figura 4.6. El proceso siguiente se debe realizar en Matlab:

>>Clear all

Luego, en el menú de Explorer copiar la ruta donde se va a ejecutar el algoritmo:

**D:\CodigoBase**

Copiar la ruta anterior en Matlab, ver la figura 44

#### Figura 44

*Sobre la ventana izquierda en Matlab (“current folder”)*



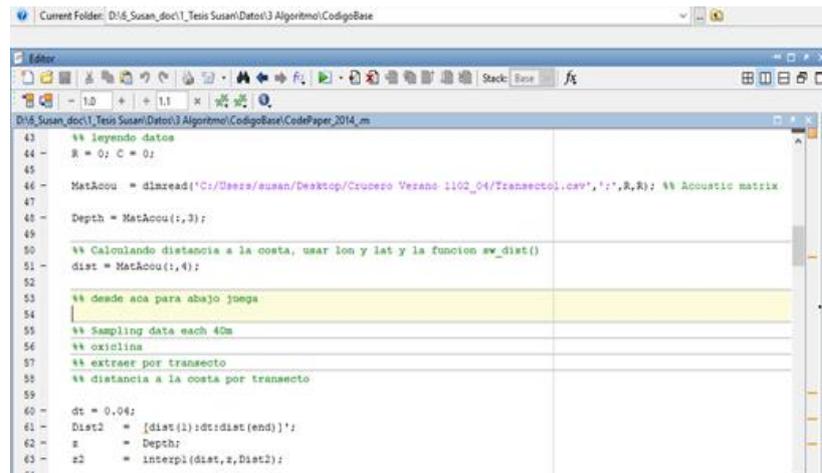
*Nota.* Ingresar el algoritmo “CodePaper\_2014\_.m”

Se debe ingresar la ruta de la carpeta donde se encuentren los transectos, que son descritos en las líneas anteriores, ver figura 45.

```
dlmread(D:/Carpeta de Trabajo /Transecto1.csv')
```

### Figura 45

*Algoritmo de CodePaper\_2014\_.m, para correr los archivos de los transectos.*



```

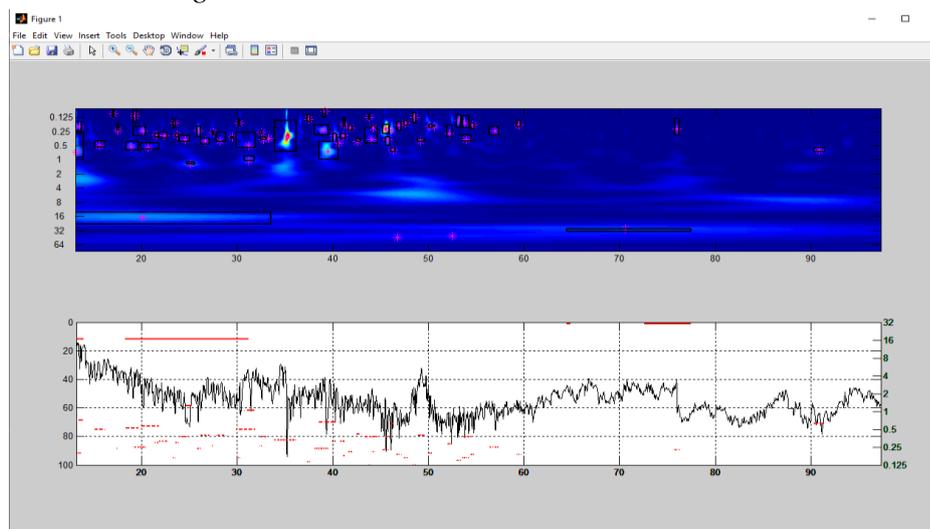
43 % leyendo datos
44 R = 0; C = 0;
45
46 MatAcou = dlmread('C:/Users/susan/Desktop/Crucezo Vezano 1102_04/Transecto1.csv','%',R,R); % Acoustic matrix
47
48 Depth = MatAcou(:,3);
49
50 % Calculando distancia a la costa, usar lon y lat y la funcion sv_dist()
51 dist = MatAcou(:,4);
52
53 % desde aca para abajo juega
54
55 % Sampling data each 40m
56 % oxitlina
57 % extraer por transecto
58 % distancia a la costa por transecto
59
60 dt = 0.04;
61 Dist2 = [dist(1):dt:dist(end)]';
62 z = Depth;
63 z2 = Interpl(dist,z,Dist2);
64

```

Ejecutar: control-A para seleccionar todas las líneas, luego F9 para correr el algoritmo. Se visualizará la siguiente ventana, ver figura 46.

### Figura 46

*Esquema de los procesos de convergencia y divergencia observados a lo largo de un transecto de 90 km de largo*



*Nota.* Se observa el resultado del análisis del algoritmo de wavelets, donde indica una alta actividad de ondas internas de submesoescala. En el panel superior se observa el resultado del análisis de ondaleta, y en el panel inferior se observa el límite superior de la zona

mínima de oxígeno (LSZMO), en donde los puntos y segmentos de colores representan los tipos de clusters que representan las estructuras de sub-meso escala. Fuente: elaboración propia.

**4.2.3.3 Resultados de la detección acústica del LSZMO.** Se elige el archivo “supermatriz.csv”, y se desarrolla el algoritmo descrito líneas abajo. Con el fin de separar la data en dos ficheros (“día” y “noche”). Para ello se ha asignado unos valores, a día = 1 y noche = 2.

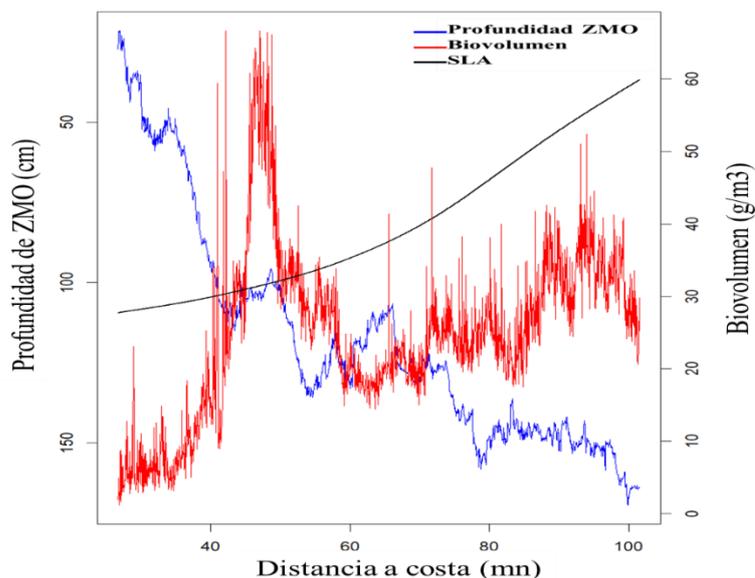
```
setwd("D:/Carpeta de Trabajo/")
base= read.csv('supermatriz 1102_04_final.csv')
categoria= base$ind_dianoche
x_1=subset(base)
x=subset(x_1,categoria == '1')
write.csv(x, D:/Carpeta de Trabajo /Transecto_dia.csv', row.names = F)
```

Después de haber separado en dos ficheros los datos de día y noche se realizan gráficos de Profundidad del LSZMO, biovolumen y SLA con la finalidad de observar cuál es la relación entre las variables.

Se eligió a modo de ejemplo el fichero que corresponde a “día” para el Transecto 57. Se muestra así un análisis de los procesos de convergencia y divergencia relacionados con el hundimiento o afloramiento del borde inferior de la oxiclina, este hundimiento o afloramiento de la oxiclina fue estimado utilizando el algoritmo de la “línea 98”, ver figura 47.

**Figura 47**

Relación entre la profundidad del límite superior de la ZMO (línea azul) y el biovolumen (línea roja).



*Nota.* Cuando la ZMP se profundiza -como se observa en la figura- se dice que la dinámica corresponde con un proceso de convergencia. El ascenso que se observa a partir de los 70 km corresponde un proceso de convergencia que se caracteriza por una relativamente alta abundancia de biomasa al mismo tiempo en que la ZMO se profundiza. Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.3.4 Resultados de la clasificación de las estructuras para cada crucero.

Los resultados de las ondaletas y clasificación de la estructuras para los cruceros de verano (Cr 1102-04) y primavera (Cr 1110-12), han sido obtenidos utilizando el algoritmo de Grados et al (2016), el cual desarrolló el método para detectar estructuras y clasificar las estructuras físicas observadas en el LSZMO. Se hallaron 6 clases de estructuras físicas, y son clasificadas según su forma y rango. Distinguimos tres categorías principales de estructuras: (i) la categoría de onda interna (denominada IW) que representa el 55% de las estructuras detectadas y corresponde a los grupos 1 y 2; (ii) la categoría submesoescala (en adelante (denominada Sub) que representa el 27% de las

estructuras y corresponde a los grupos 3, 4 y 5; y (iii) la categoría de mesoescala (en adelante denominada por Meso) que representa el 19% de las estructuras y corresponde al grupo 6. (Tabla 11)

**Tabla 11**

*Características (promedio y desviación estándar) de los 6 tipos de estructuras halladas (clusters)*

Variable/Cluster	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5	Cluster 6
Ancho (km)	0.91 ± 0.35	0.75 ± 0.26	0.83 ± 0.56	2.15 ± 1.19	0.79 ± 0.35	1.00 ± 0.99
Altura (m)	2.27 ± 1.08	1.82 ± 0.48	2.63 ± 0.67	2.58 ± 1.05	1.83 ± 0.50	1.92 ± 0.63
Profundidad (m)	47.36 ± 30.98	40.30 ± 26.41	48.86 ± 28.07	53.13 ± 35.15	47.90 ± 26.45	53.01 ± 18.22
DS (m <sup>2</sup> )	7.74 ± 1.77	5.09 ± 1.36	16.48 ± 3.68	10.61 ± 1.91	4.69 ± 1.02	6.33 ± 1.34
DistCoas (km)	60.53 ± 48.32	55.16 ± 44.52	86.46 ± 26.49	69.73 ± 49.78	94.99 ± 33.55	60.04 ± 38.63
DistShelf	37.83 ± 52.76	21.96 ± 50.93	41.75 ± 48.98	41.35 ± 55.98	38.36 ± 55.58	3.05 ± 34.20
Lat (°S)	11.52 ± 3.82	10.54 ± 3.73	10.59 ± 3.92	11.12 ± 3.83	10.51 ± 3.71	10.66 ± 3.71
Lon (°W)	77.66 ± 2.74	78.24 ± 2.68	78.61 ± 2.71	78.06 ± 2.62	78.76 ± 2.63	78.35 ± 1.98
% Estructura	20%	35%	21%	5%	10%	9%

*Nota.* . La última fila muestra el porcentaje de estructura física hallado en cada tipo de cluster. Las distancias al borde de la plataforma continental (DistShelf) son negativas para el lado de la costa, y positivas hacia el mar abierto. DS es Deformación de la Superficie, es decir, el área de la deformación de hundimiento de la estructura. DistCoast es la distancia al punto más cercano a costa.

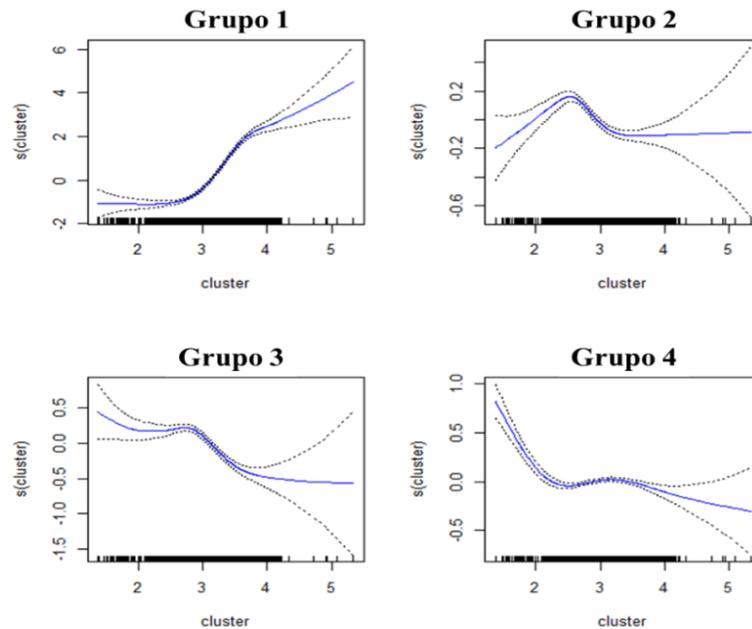
**4.2.3.5 Correlación de las estructuras clasificadas con los cardúmenes detectados durante el crucero (valores NASC por grupos de especies).** Se ha correlacionado la ubicación de las estructuras con los valores NASC por grupos de especies. Los grupos han sido conformados de la siguiente manera: Grupo 1: Anchoqueta (*Engraulis ringens*), Samasa (*Anchoa nasus*), Munida (*Pleuroncodes monodon*) y Bagre (*Galeichthys peruvianus*); Grupo 2: Jurel (*Trachurus murphyi*) y Caballa (*Scomber japonicus*); Grupo 3: Vinciguerría (*Vinciguerría lucetia*); y Grupo 4: Pota (*Dosidicus gigas*).

Se ha obtenido como resultado de la correlación que: (1) el grupo 1 ha sido hallado en los cluster tipos 3 y 4 que corresponden a estructuras de submesoescala; (2) el grupo 2 ha sido encontrado en los cluster tipo 2 y 3 que corresponden a estructuras de ondas internas

y de submesoescala; (3) los grupos 3 y 4 han sido observados en los cluster tipo 3 que corresponden a estructuras de submesoescala, ver figura 48.

### Figura 48

*Resultados del análisis GAM basados en el valor logarítmico de los valores NASC*



*Nota.* Por grupos de especies (líneas azules) según los cluster (estructuras ondas internas, submesoescala y mesoescala).

#### 4.2.4 Rangos de valores SLA por grupos de especies

Se establecieron los rangos de valores SLA para los cuatro grupos de especies para los dos cruceros acústicos que han sido analizados. En la figura 49 se presentan los gráficos de caja (boxplot) para definir los rangos de valores SLA que corresponden a cada grupo.

En la tabla 12, se observan los rangos de valores SLA, observándose que (1) el grupo 1 tiene un rango de valores muy distinto entre verano y primavera; (2) el grupo 2 (jurel y caballa), presentan valores similares en los dos cruceros (verano y primavera); y (3) los grupos 3 y 4 tienen un rango similar, por lo que se les podría considerar un grupo único.

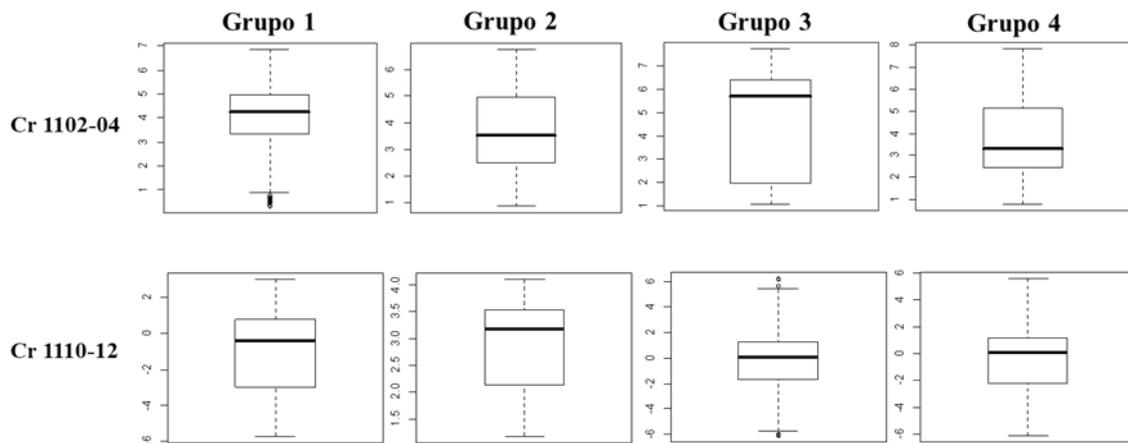
**Tabla 12**

*Rango de valores de SLA, para cada de grupo de especies y en los cruceros de verano y primavera.*

	Cr 1102-04	Cr 1110-12
<b>Grupo 1</b>	-3 a 1 cm	3 a 4 cm
<b>Grupo 2</b>	2 a 4 cm	2 a 5 cm
<b>Grupo 3</b>	-2 a 1 cm	2 a 6 cm
<b>Grupo 4</b>	-2 a 1 cm	2 a 5 cm

**Figura 49**

*Análisis de parámetros SLA, para encontrar los rangos adecuados, utilizando gráficos boxplots.*



#### **4.3. Propuesta de pre-definición de zonas probables de pesca empleando la información sobre estructuras de sub-meso escala.**

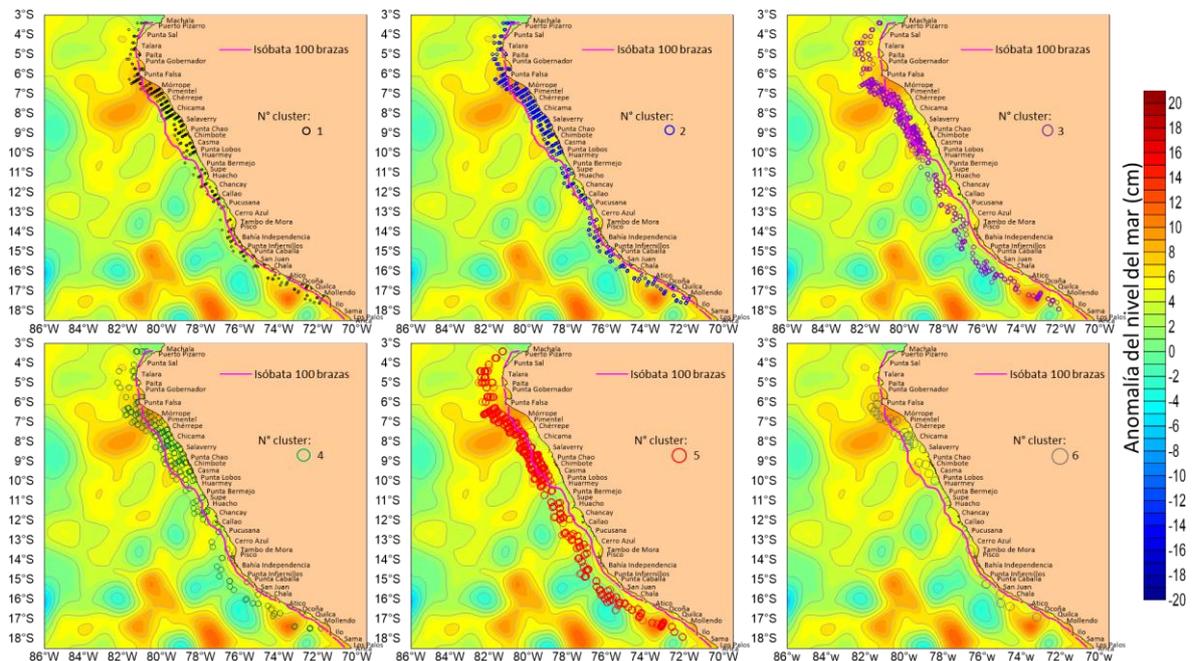
Se identificaron un total de 9.000 estructuras físicas a escala espacial de todo nuestro conjunto de datos a partir del análisis acústico del cambio en la ubicación del límite superior de la zona mínima de oxígeno. El análisis de clasificación que ha sido empleado indicó como resultado a seis grupos o estructuras distintas de submesoescala. Entre estas se distinguen tres categorías principales de estructuras: la categoría de ondas internas; se refiere a los cluster 1 (punto negro) y 2 (círculo rojo); submesoescala corresponde a los cluster 3 (círculo naranja), 4 (círculo verde); 5 (círculo azul); y la categoría de mesoescala que corresponde al cluster 6 (círculo celeste). Todas estas se

sobrepusieron sobre la imagen de anomalía del nivel del mar (con indicación puramente referencial de los giros ciclónicos y anticiclónicos), en un mapa 2D. El propósito de este análisis es el de observar la ubicación de estas estructura, de manera de utilizarla como estrategia de búsqueda de posibles zonas de pesca empleando información SLA.

En la figura 50 se observan los giros anticiclónicos (valores positivos) y la presencia de las 3 categorías de estructuras a lo largo del litoral, durante el crucero de verano (Cr 1102-04). Las ondas internas (cluster 1 y 2) se encuentran ubicadas muy cerca de la rotura de la plataforma continental hasta las 40 mn de la costa. Las estructuras de de submesoescala (cluster 3, 4 y 5) y mesoescala (cluster 6) se encuentran ubicadas a 80 mn de la costa. Las 3 categorías de estructuras están relacionadas con valores de SLA de alrededor de 6cm.

Figura 50

Estructuras de sub-mesoescala (clasificados por categorías) sobrepuesta en la imagen de SLA

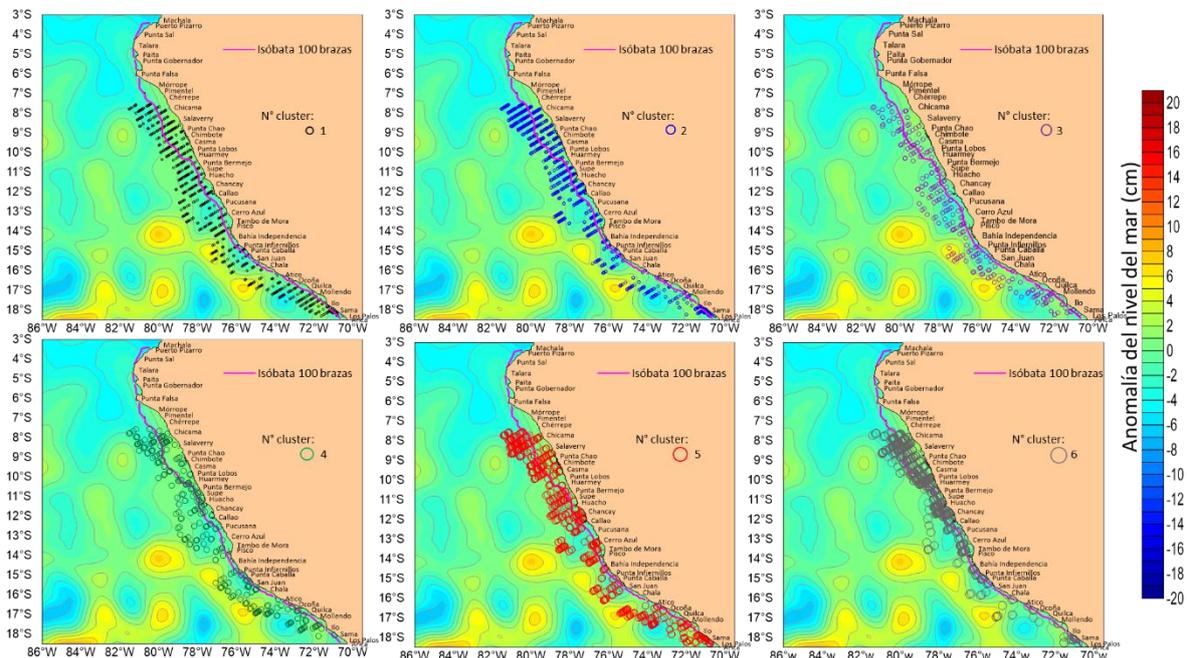


*Nota.* Giros ciclónicos corresponden los valores negativos y giros anticiclónicos corresponden a valores positivos para el crucero de verano 1102-04. Fuente: Elaboración propia,

En la figura 51, se observan los giros ciclónicos (valores negativos) y la presencia de las 3 categorías de estructuras a lo largo del litoral, durante el crucero de primavera (Cr 1110-12). Las ondas internas (cluster 1 y 2) y las estructuras de submesoescala (cluster 3, 4 y 5) se encuentran distribuidas más allá del límite de la plataforma continental, hasta 100 mn de la costa. Las estructuras de mesoescala (cluster 6) tienen mayor predominancia dentro de la plataforma continental, hasta 80mn de la costa. Pero todos los grupos están relacionados con valores de SLA de alrededor a -2 y 2cm. En consecuencia, las zonas principales de pesca tendrían que ser prospectadas sobre las zonas que se encuentran en ese rango de valores de SLA.

**Figura 51**

*Estructuras de sub-mesoescala (clasificados por categorías) sobrepuesta en la imagen de sla*



*Nota.* Giros ciclónicos corresponden los valores negativos y giros anticiclónicos corresponden a valores positivos para el cruceo de primavera 1110-12.

#### 4.4. Validación de la variable SLA para incorporarla en el modelo de hábitat potencial del jurel (MHPJ; Valdez et al. 2015).

Se propone agregar la variable SLA (anomalía del nivel del mar, cm), al modelo de hábitat potencial de jurel (MPHJ) de Valdez et al 2015, para modelar la distribución del jurel, complementando el uso de la información de oceanografía satelital. El modelo está fuertemente influenciado por la clorofila, pero para la estaciones de otoño e invierno, las imágenes no tienen claridad suficiente (es decir, están cubiertas de nubes), siendo una posibilidad usar la información SLA para potenciar el modelo. Como se ha mostrado antes, en el desarrollo de la investigación se ha observado que las calas (lances de pesca), se encuentran con mayor concentración en los bordes de los remolinos anticiclónicos (valores positivos). También se ha mostrado que en los bordes de estos remolinos, se originan las mayores concentraciones de zooplancton, siendo zonas más atractivas para

especies como el jurel. En el caso específico de este recurso (jurel) se concluye en que se debe sistematizar el seguimiento de los remolinos anticiclónicos para predefinir las zonas de pesca, lo que es factible hacerse incorporando al modelo MPHJ para optimizar la gestión de operaciones de pesca de la flota jurelera industrial. En la tabla 13, se han definido los rangos de valores SLA para cada estación de los diferentes años de estudio.

**Tabla 13**

*Rango de valores de SLA, para cada estación del año. Para cada año de estudio.*

	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>
<b>Verano</b>	1 a 5 cm	2 a 4 cm	4 a 6 cm	0 a 2 cm	7 a 10 cm
<b>Otoño</b>	4 a 7 cm	5 a 7 cm	2 a 3 cm		
<b>Invierno</b>	-4 a -2 cm			6 a 7 cm	
<b>Primavera</b>	-3 a -3 cm			7 a 9 cm	

## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los giros ciclónicos y anticiclónicos han sido estudiados en el Sistema de la Corriente de Humboldt (SCH) por Chaigneau et al. 2008 entre otros. La existencia de estos giros y su formación en la zona costera contribuyen con el transporte Ekman para exportar hacia alta mar la productividad primaria y secundaria generada sobre la plataforma continental. En el caso presente, la vorticidad en el océano, representada por las imágenes satelitales SLA han sido correlacionadas con capturas de jurel a fin de determinar el carácter predictivo de dicha variable recurriendo al análisis de la data colectada entre los años 2011 y 2019.

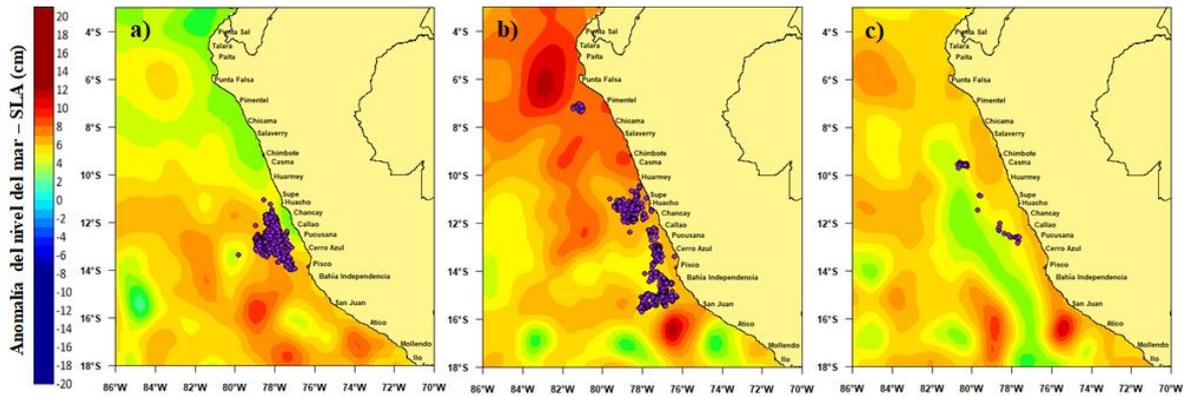
### 5.1. Correlación entre las capturas de jurel y la vorticidad en el océano

Por ejemplo, el análisis de correlación de la información pesquera (lances de pesca) con información satelital (anomalía del nivel del mar), han evidenciado la posibilidad de emplear la variable SLA en la detección remota de probables zonas de pesca. La distribución geográfica de los lances de pesca de jurel se ha dado a lo largo de los frentes entre remolinos ciclónicos y anticiclónicos, con una ligera tendencia hacia los bordes de los remolinos anticiclónicos. Autores como Olson (1991) observaron un aumento del zooplancton en la periferia de los remolinos anticiclónicos. El análisis acústico de la disponibilidad de zooplancton ha mostrado que en estas zonas de entre los remolinos de mesoescala generan condiciones de hábitat especiales con mayor productividad y disponibilidad de presas, y por tanto constituyen regiones atractivas para distintas especies de peces, desde grandes pelágicos como atunes, hasta los pequeños peces mesopelágicos pasando por pequeños pelágicos como el jurel, caballa y anchoveta. Según (Hormazábal et al. 2004 y Núñez et al., 2009), las estructuras de mesoescala

(remolinos, meandros y frentes) pueden jugar un papel importante en la abundancia y distribución de peces pelágicos. (Figura 52).

## Figura 52

*Lances de pesca de jurel (círculos color morado) sobre imágenes de SLA*



*Nota.* En tres casos diferentes: a) entre de los frentes entre remolinos ciclónicos y anticiclónicos cuando la vorticidad se reduce en la zona costera; b) sobre los bordes de remolinos anticiclónicos; y c) a lo largo del frente entre los bordes de remolinos ciclónicos y anticiclónicos cuando la vorticidad aumenta en la zona costera.

La zona de interface entre los remolinos ciclónicos y anticiclónicos se caracteriza por sus flujos ascendentes que transportan nutrientes inorgánicos hacia las capas superficiales (Mann y Lazier, 1991). En cuanto a la detección específica de jurel o caballa en estos frentes dinámicos, es evidente que hay otros parámetros que también guardan fuerte influencia sobre estas especies, por ejemplo, la temperatura, las anomalías térmicas, la clorofila etc. Una prueba de la complejidad resultante de esta combinación de factores la da el hecho de que a la fecha hay una baja capacidad predictiva sobre la distribución y abundancia relativa del jurel. El modelo de hábitat potencia del jurel (MHPJ, Valdez et al. 2015) ha mostrado ser efectivo únicamente durante los meses de verano, por lo que existe la necesidad de mejorar su desempeño a través de la incorporación de la variable SLA.

## 5.2. Criterios adicionales para la modelación del hábitat del jurel

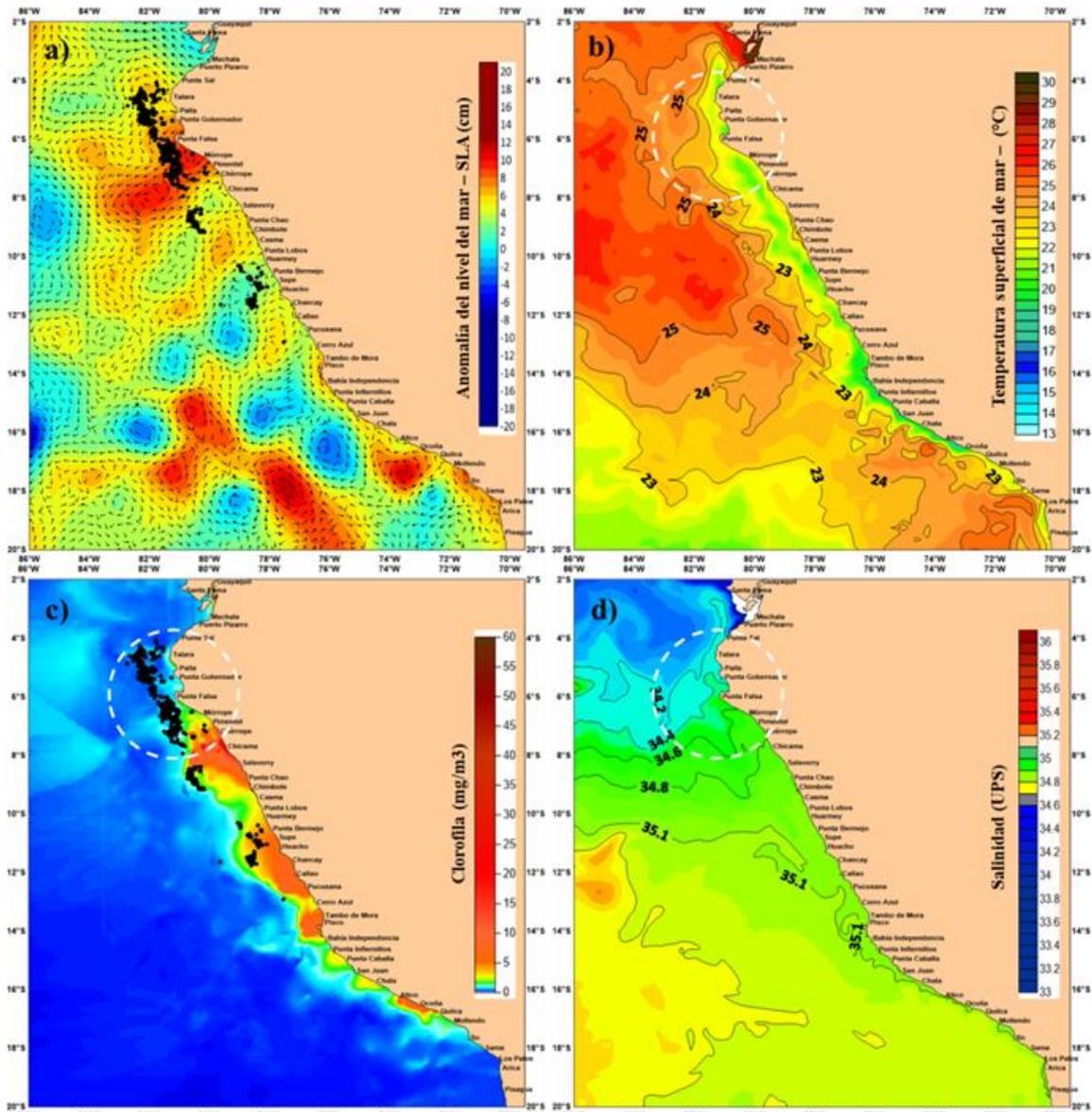
Para progresar en la modelación del hábitat del jurel se ha determinado el rango de valores SLA en los cuales se ha detectado la presencia de esta especie según las estaciones de los años de estudio, mediante el empleo de Modelos Aditivos Generalizados (GAM). De este modo se ha hallado que el jurel presenta una preferencia por un rango acotado de valores relativamente altos de SLA, pero también una menor proporción por valores menores dependiendo de la estación del año (por ejemplo, durante la estación de invierno y primavera del año 2011).

Es conveniente entonces integrar al modelo de hábitat potencial del jurel (MHPJ, Valdez et al. 2015), otras variables adicionales que compensen la baja representatividad del modelo durante las estaciones de invierno y primavera. Por las razones indicadas se propone la anomalía de la superficie del mar (SLA) como variable a incluir en el modelo, la cual puede ser más representativa en relación a la ubicación y concentración del macrozooplancton, que es el principal ítem alimentario de la dieta del jurel.

Como ejemplo, en la figura 53, se observa la distribución de lances de pesca de jurel en relación con cuatro variables oceanográficas (SLA, temperatura, clorofila y salinidad). Se observa la mayor concentración de lances de pesca en donde los valores de clorofila son muy bajos. Sin embargo, en la imagen SLA se observa que los lances de pesca se encuentran sobre los valores positivos de SLA que corresponden con una estructura de convergencia de mesoescala (giro anticiclónico), así como con un frente térmico y la zona de convergencia entre ACF y aguas ecuatoriales superficiales (AES).

Figura 53

Lances de pesca de jurel en relación con cuatro variables oceanográficas



Nota. a) anomalía del nivel del mar (SLA, cm), b) temperatura (°C), c) clorofila (mg/m<sup>3</sup>) y d) salinidad (UPS)

Se debe tener presente que los rangos observados para SLA están limitados por los meses en donde se han desarrollado las temporadas de pesca de jurel. La pesquería de jurel es realizada a bordo de embarcaciones con permiso de pesca de caballa y anchoveta, por lo que la estacionalidad de la pesca está en gran medida determinada por las temporadas de pesca de anchoveta, la cual se extiende por lo general 200 días al año.

Por esta razón, en gran parte del período estudiado (2011-2019) las capturas se han desarrollado entre los meses de enero a marzo, aunque eventualmente también en abril y octubre. Por lo tanto es importante considerar replicar esta investigación durante otras estaciones del año en la medida de la disponibilidad de información.

En general, las condiciones térmicas entre los años 2011 a 2014, y de 2018 a 2019 han propiciado una mayor concentración de jurel, especialmente en la zona sur a excepción del 2011 que se pescó en casi todo el litoral (IHMA, 2020). En cambio, los años 2015 a 2017 fueron años cálidos en los que se desarrollaron eventos El Niño, y no resultaron favorables para la concentración del jurel. Asimismo, se ha apreciado que el jurel prácticamente no ingresa sobre la plataforma continental, al menos en la región norte-centro. Es conveniente precisar que la flota industrial, cuya información ha sido empleada en este estudio, no está permitida de operar dentro de las primeras 10 millas, de modo que en especial en la zona sur es posible que se desarrollen operaciones de pesca por parte de la flota artesanal y de menor escala. El jurel, entonces, muestra un hábitat preferencia constituido por los frentes térmicos y aguas de mezcla entre aguas subtropicales superficiales (ASS) y aguas costeras frías (ACF). Esto es confirmado por autores como Dioses (1995) y Gretchina et al. (1998), que mencionan que el jurel tendría como hábitat preferencial los frentes oceánicos formados por la convergencia de las aguas costeras frías y aguas subtropicales superficiales en el mar peruano.

De otro lado, los veranos del 2011 al 2014 estuvieron caracterizados por valores negativos de anomalía térmica de la superficie del mar (ATSM) cerca de la costa, con un frente oceánico entre aguas costeras frías (ACF) y aguas subtropicales superficiales (ASS) que constituyen un hábitat adecuado para el jurel (IHMA, 2020). En cambios, los años 2015 a 2017 se caracterizaron por presentar altas anomalías térmicas debido a que en esos años se desarrollaron eventos El Niño, uno débil durante 2016, y uno moderado

en durante 2017. Se considera que estas condiciones no son favorables para el hábitat del jurel. Entre los años 2018 y 2019 se volvieron a observar condiciones frías en una franja costera a lo largo del litoral, pero con anomalías térmicas relativamente altas en la zona colindante en la región centro-sur, que es precisamente la región donde se presentó el mayor número de capturas de jurel durante el verano de 2019.

### **5.3. Información SISESAT para el modelado del hábitat del jurel**

La información geográficamente explícita proporcionada por el Sistema de Seguimiento Satelital (SISESAT) es especialmente relevante para relacionar la posible presencia de peces en la medida de que los Capitanes de los barcos reducen la velocidad de sus desplazamientos cuando observan la presencia de peces en las ecosondas y sonares de sus embarcaciones (Joo et al. 2014, 2015).

Por ello, en la presente investigación se han considerado como probables zonas de distribución de peces la información SISESAT donde el rango de velocidad estuvo comprendido entre 0.2 y 1.6 nudos. Al analizar los valores filtrados de este modo se ha observado que este rango de velocidades de la flota industrial de cerco corresponde geográficamente con los frentes entre los remolinos ciclónicos y anticiclónicos. Esta observación alienta el desarrollo de mayores mediciones sobre esta posible correlación que abre la oportunidad de poder contribuir a calibrar la efectividad o representatividad del modelo de probabilidad de distribución del jurel (MPHJ, Valdéz et al. 2015).

#### **5.4. Acerca de la correlación entre el biovolumen del zooplancton y la densidad de peces según la profundidad del límite superior de la zona mínima de oxígeno**

Los resultados del análisis de la información acústica colectada durante los cruceros de evaluación de recursos pelágicos desarrollados por IMARPE el año 2011 indican que existe una correlación positiva entre la densidad de peces y el biovolumen del zooplancton en función a la profundidad del límite superior de la zona mínima de oxígeno (LSZMO). Es decir que en tanto sea mayor sea la profundidad del LSZMO mayor será el biovolumen de zooplancton y la densidad de peces. Este análisis ha sido realizado tanto a nivel de mesoescala como sub-mesoescala, con resultados positivos en ambos casos.

De otro lado, los resultados de aplicar análisis de ondaletas (wavelets) indican distintas características para las estructuras de sub-mesoescala en concordancia con estudio previos llevados a cabo por Grados et al. (2016). Esto significa que las ondas internas en el océano se propagan con distintas escalas conteniendo cada una de ellas cantidades variables de peces y zooplancton dependiendo de su dimensión vertical y horizontal.

No obstante se debe precisar que los resultados de este tipo de análisis han estado limitados solo a un año de estudio (2011) por ser el que mayor densidad de jurel tuvo durante la década reciente (Ñiquen et al 2013); durante el año 2011 se incrementó la disponibilidad de jurel, lo cual representó un cambio en la tendencia decreciente de su captura. Se amerita entonces ampliar el estudio comparado con otros años, especialmente aquellos en que fue menor la abundancia de jurel.

Se debe entonces comparar los resultados obtenidos para la presente investigación, donde se ha hallado que el jurel estuvo principalmente agregado sobre los clusters tipo 2 (corresponden a ondas internas) y tipo 3 (estructuras de submesoescala) según la clasificación hecha por Grados et al. (2016). Se debe profundizar en esta comparación empleando información acústica para otros años.

### **5.5. Acerca del uso de los hallazgos de la presente investigación**

En la presente investigación se ha utilizado diversas fuentes de información con la finalidad de determinar si la vorticidad en el océano, la cual es medida satelitalmente, puede ser utilizada para explicar el desarrollo de otros procesos físicos tales como la dinámica de estructuras de sub-mesoescala que son invisibles a los satélites. La finalidad de este esfuerzo es la de contribuir al estudio de cómo éstas dinámicas pueden explicar la variabilidad de la distribución de los recursos pesqueros, con énfasis en el jurel, que junto con la caballa constituyen la tercera pesquería en importancia del país.

La dinámica de sub-mesoescala ha sido estudiada empleando información acústica colectada durante cruceros de evaluación de recursos pelágicos del IMARPE. Los desarrollos metodológicos tales como el modelamiento aditivo generalizado (GAM) y análisis de ondaletas han sido empleado en combinación con el uso de software como Echoview y algoritmos como Echopen y Línea 98 para poder detectar el límite superior de la zona mínima de oxígeno (LSZMO) y establecer la relación entre su profundidad, la existencia de ondas internas, y la densidad de peces y la concentración del biovolumen.

Habiendo sido confirmada la existencia de correlaciones positivas entre estos factores, fue necesario hallar un indicador (proxy) que permita que la flota pueda beneficiarse de este conocimiento. Para ello se ha utilizado la información de anomalía

de superficie del mar (SLA) y la información geográfica entregada por el Sistema de Seguimiento Satelital (SISESAT) del PRODUCE, lo que ha permitido confirmar que los bajos valores de velocidad de los barcos son motivados por la presencia de peces, y dichas zonas han estado consistentemente distribuidas a lo largo de los frentes entre giros ciclónicos y anticiclónicos.

El conjunto de estos hallazgos permite progresar en los esfuerzos por modelar el hábitat del jurel, y agregar al menos un parámetro (SLA) cuya medición continua no es dependiente de la nubosidad que afecta la medición de, por ejemplo, la clorofila. En especial los resultados de esta investigación ofrecen la posibilidad de generar una nueva versión del modelo del hábitat potencial del jurel (MHPJ, Valdéz et al. 2015), el cual podría ser utilizado durante todo el año y no solo durante el verano por la fuerte dependencia que actualmente tiene respecto a la clorofila.

Es así como el MHPJ podrá ser utilizado para propósitos de diseñar prospecciones científicas sobre el jurel y otras especies pelágicas, también para propósitos de gestión pesquera gubernamental, y asimismo para la gestión interna de las empresas que operan sobre el jurel. La justificación del presente estudio está centrada, precisamente, sobre la necesidad de optimizar el uso de recursos tales como combustibles durante prospecciones pesqueras a cargo de las empresas. Actualmente son altos los costos de prospecciones sobre el jurel, sin que necesariamente esta inversión haya sido compensada con el hallazgo de zonas de pesca debido a la relativamente baja predictibilidad de la distribución del jurel en temporadas distintas al verano.

No obstante, con los resultados estadísticamente consistentes que se ha hallado durante el presente estudio existen alentadoras perspectivas para mejorar el desempeño de los modelos del hábitat del jurel para beneficio del país y del sector pesquero.

## V. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos explican la mayor concentración de macrozooplancton y cardúmenes de peces, principalmente jurel, en zonas donde la LSZMO es más profunda y coincidente con la existencia de estructuras internas de sub-mesoescala. También los resultados indican que es la zona de convergencia entre los giros ciclónicos y anticiclónicos donde es más frecuente la recurrencia de peces y de más altas densidades de macrozooplancton. Por lo indicado se puede concluir en que:

6.1 Es posible realizar la identificación y seguimiento de las trayectorias oceánicas de las estructuras convergentes (anticiclónicas) y divergentes (ciclónicas) utilizando la información de anomalía del nivel de la superficie mar (SLA) como estrategia de búsqueda de posibles zonas de pesca, principalmente jurel. Los remolinos anticiclónicos generan hábitats propicios para el jurel, especialmente en sus bordes, dado que se ha hallado una relación positiva entre la presencia de peces y macrozooplankton sobre valores intermedios de SLA, por lo que se acepta la hipótesis planteada: El seguimiento de las estructuras convergentes puede ser sistematizado utilizando información satelital SLA y de SISESAT a fin de optimizar la gestión de operaciones de pesca de la flota jurelera industrial.

6.2 La modelación GAM hecha para los meses de verano es consistente e indica que el hábitat del jurel durante el verano está fuertemente relacionado con los frentes entre las estructuras de convergencia y divergencia, con una tendencia ligeramente positiva hacia los giros o remolinos anticiclónicos.

6.3 Los resultados obtenidos a partir del análisis de ondaletas demostraron que los procesos de convergencia y divergencia se relacionan con el hundimiento o afloramiento, respectivamente, del límite superior de la zona mínima de oxígeno (LSZMO). Asimismo se ha observado consistentemente que existe una relación que indica que en tanto el LSZMO es más profundo, mayor es el biovolumen concentrado en la respectiva estructura de sub-mesoescala u onda interna. Asimismo existe una relación positiva entre el hundimiento del LSZMO y la presencia de peces, incluyendo al jurel. Se concluye en que la profundidad a la que se detecte el LSZMO es un indicador confiable de la abundancia relativa de peces y macrozooplancton en la zona de estudio.

6.4 Se ha hallado a través de análisis de correlación entre valores acústico y de ubicación del LSMO, que el grupo de especies conformado por las especies Jurel (*Trachurus murphyi*) y Caballa (*Scomber japonicus*) tienen un alto grado de correspondencia espacial con los denominados cluster tipo 2 (correspondiente a ondas internas) y tipo 3 (correspondientes a estructuras de submesoescala). Se concluye en que existe una correlación positiva entre las estructuras de sub-mesoescala y la disponibilidad de jurel y caballa.

6.5 Asimismo, las ondas internas (tipos cluster 1 y 2) se encuentran ubicadas muy cerca del límite (isóbata de 200 m) de la plataforma continental, en tanto que las estructuras de submesoescala (clusters tipo 3, 4 y 5) y mesoescala (cluster tipo 6) se encuentran ubicadas a distancias mayores a 80 mn de la costa.

6.6 La alta correlación existente entre las capturas de jurel y un rango específico de valores SLA permite concluir en que es posible utilizar la información SLA para mejorar el desempeño del modelo de hábitat potencial del jurel (MHPJ, Valdez et al 2015). El desempeño de dicho modelo puede ser mejorado utilizando información SLA como parámetro adicional.

6.7 Se concluye en que los algoritmos que se ha diseñado son operacionales y permiten obtener información de oceanografía satelital, y asimismo se ha demostrado la utilidad del algoritmo de ondaletas (Grados et al 2013) y el algoritmo Echopen y Línea 98 (IRD-IMARPE) para detectar y clasificar las estructuras de submesoescala en base a la detección del límite superior de la zona mínima de oxígeno, así como también el biovolumen del zooplankton.

6.8 Se concluye en que los hallazgos y desarrollos obtenidos a través de la presente investigación podrán ser utilizada en la gestión de las empresas que intervienen en la pesquería de jurel y caballa, así como en el diseño de prospecciones dirigidas a evaluar la abundancia del jurel y otras especies como caballa y recursos mesopelágicos de la Corriente Peruana.

## VII. RECOMENDACIONES

Con base en las conclusiones de la presente investigación se plantean las siguientes recomendaciones:

7.1 Realizar análisis sobre sobreposición de los datos de las capturas de jurel con información SLA, para las siguientes temporadas de pesca, y en la medida de lo posible realizar estudios retrospectivos para determinar si ha habido cambios en los rangos SLA a lo largo del tiempo. La finalidad es establecer si en el pasado ha habido cambios en el patrón de distribución del jurel respecto a las estructuras de convergencia (anticiclónicas) y divergencia (ciclónicas).

7.2 Se recomienda seguir analizando la información del Sistema de Seguimiento Satelital (SISESAT), con propósitos predictivos de la distribución del jurel y continuar así con los esfuerzos de modelación de la distribución de la flota.

7.3 Se recomienda que en los análisis acústicos que la SNP y empresas asociadas vienen realizando se incorpore el análisis de ondaletas para la detección de las estructuras internas de submesoescala en base a la detección del límite superior de la zona mínima de oxígeno (LSZMO).

7.4 Asimismo se debe aprovechar la información sistemática colectada por los barcos de pesca participantes en los cruceros acústicos de IMARPE a fin de continuar y profundizar la investigación de la correlación entre los peces y las estructuras de submesoescala para más especies.

7.5 Se recomienda modificar el modelo de hábitat potencial del jurel (MHPJ) incorporando la variable SLA, específicamente para los rangos de 2 a 5cm para los meses de verano, y de 2 a 7 cm para los meses de otoño.

7.6 Los algoritmos desarrollados en el marco de la presente investigación pueden ser de utilidad para las empresas pesqueras respecto a la búsqueda de zonas de pesca, así como para el IMARPE para predefinir las zonas a prospectar antes de los cruceros acústicos directamente enfocados en jurel.

### VIII. REFERENCIAS

- Alegre, A., Espinoza, P., y Espino, M. (2013). Ecología trófica del jurel *Trachurus murphyi* en el Perú entre 1977 - 2011. *Revista Peruana de Biología*. <https://doi.org/10.15381/rpb.v20i1.2622>
- Arístegui, J., Tett, P., Hernández-Guerra, A., Basterretxea, G., Montero, M. F., Wild, K., Barton, E. D. (1997). The influence of island-generated eddies on chlorophyll distribution: A study of mesoscale variation around Gran Canaria. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 44(1), 71–96. [https://doi.org/10.1016/S0967-0637\(96\)00093-3](https://doi.org/10.1016/S0967-0637(96)00093-3)
- Ayón P. y J. Correa. (2013) Variabilidad espacial y temporal de larvas de jurel *Trachurus murphyi* en el Perú entre 1966-2010. 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): 083- 086.
- Ayón, P., Swartzman, G., Bertrand, A., Gutiérrez, M., y Bertrand, S. (2008). Zooplankton and forage fish species off Peru: Large-scale bottom-up forcing and local-scale depletion. *Progress in Oceanography*, 79(2–4), 208–214. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2008.10.023>
- Bakun, A. (1997). Patterns in the ocean: Ocean processes and marine population dynamics. California Sea Grant, La Jolla, CA, and Centro de Investigaciones Biológicas Del Noroeste, La Paz, BCS, Mexico, 17(3), 1945–1946. [https://doi.org/10.1016/S0278-4343\(97\)00037-X](https://doi.org/10.1016/S0278-4343(97)00037-X)
- Bakun, A. (2006). Fronts and eddies as key structures in the habitat of marine fish larvae: opportunity, adaptive response and competitive advantage. *Scientia Marina*, 70(S2), 105–122. <https://doi.org/10.3989/scimar.2006.70s2105>
- Ballón, M., Bertrand, A., Lebourges-Dhaussy, A., Gutiérrez, M., Ayón, P., Grados, D., y Gerlotto, F. (2011). Is there enough zooplankton to feed forage fish populations off Peru? An acoustic (positive) answer. *Progress in Oceanography*, 91(4), 360–381. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2011.03.001>
- Bertrand, A., Ballón, M., y Chaigneau, A. (2010). Acoustic observation of living organisms reveals the upper limit of the oxygen minimum zone. *PLoS ONE*, 5(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0010330>
- Bertrand, A., Chaigneau, A., Coetzee, J. C., Gutiérrez, M., Habasque, J., Hutchings, L., Ledesma, J., Peraltilla, S. y van der Lingen, C.D. (2008a). Does the vertical extent of suitable physical habitat constrain small pelagic fish populations in the Humboldt and Benguela Current upwelling systems? *International Symposium on Eastern boundary upwelling ecosystems: integrative and comparative approaches*. Las Palmas, Canary Islands, Spain, 2-6 June 2008. Abstracts Book, pp. 201-202
- Bertrand, A., Gerlotto, F., Bertrand, S., Gutiérrez, M., Alza, L., Chipollini, A., ... Chavez, F. (2008). Schooling behaviour and environmental forcing in relation to anchoveta distribution: An analysis across multiple spatial scales. *Progress in Oceanography*, 79(2–4), 264–277. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2008.10.018>

- Cazelles, B.; Stone, L. Detection of imperfect population synchrony in an uncertain world, *Journal of Animal Ecology*, Oxford, v.72, p.953-968, 2003
- Chaigneau, A., y Pizarro, O. (2005). Surface circulation and fronts of the South Pacific Ocean, east of 120°W. *Geophysical Research Letters*, 32(8), 1–4. <https://doi.org/10.1029/2004GL022070>
- Chaigneau, A., y Pizarro, O. (2005). Eddy characteristics in the eastern South Pacific. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 110(6), 1–12. <https://doi.org/10.1029/2004JC002815>
- Chaigneau, A., Domínguez, N., Eldin, G., Vásquez, L., Flores, R., Grados, C., y Echevin, V. 2013. Near – coastal circulation in the Northern Humboldt Current System from shipboard ADCP data. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. DOI: 10.1002/jgrc.20328
- Chaigneau, A., Eldin, G., y Dewitte, B. (2009). Eddy activity in the four major upwelling systems from satellite altimetry (1992-2007). *Progress in Oceanography*, 83(1–4), 117–123. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2009.07.012>
- Chaigneau, A., Gizolme, A., y Grados, C. (2008). Mesoscale eddies off Peru in altimeter records: Identification algorithms and eddy spatio-temporal patterns. *Progress in Oceanography*, 79(2–4), 106–119. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2008.10.013>
- Chaigneau, A., Le Texier, M., Eldin, G., Grados, C., y Pizarro, O. (2011). Vertical structure of mesoscale eddies in the eastern South Pacific Ocean: A composite analysis from altimetry and Argo profiling floats. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 116(11). <https://doi.org/10.1029/2011JC007134>
- Chavez, F., Bertrand, A., Guevara-Carrasco, R., Soler, P., y Csirke, J. (2008). The northern Humboldt Current System: Brief history, present status and a view towards the future. *Progress in Oceanography*, 79(2–4), 95–105. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2008.10.012>
- Chirinos J. G. 1992. La pesca del jurel (*Trachurus murphyi*) y la caballa (*Scomber japonicus peruanus*) por la Flota Arrastrera Cubana, en el periodo enero 1986-marzo 1987. Tesis para optar el título de ingeniero pesquero. Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Pesquería.
- Correa-Ramírez, M., S. Hormazábal y G. Yuras. 2007. Mesoscale eddies and high chlorophyll concentrations off central Chile (29°-39°S). *Geophys. Res. Lett.* 34, L12604, doi:10.1029/2007gl029541.
- Cotté, C., D’Ovidio, F., Chaigneau, A., Lévy, M., Taupier-Letage, I., Mate, B., y Guinet, C. (2011). Scale-dependent interactions of Mediterranean whales with marine dynamics. *Limnology and Oceanography*, 56(1), 219–232. <https://doi.org/10.4319/lo.2011.56.1.0219>

- Criales-Hernández, M. I., Schwaborn, R., Graco, M., Ayón, P., Hirche, H. J., y Wolff, M. (2008). Zooplankton vertical distribution and migration off Central Peru in relation to the oxygen minimum layer. *Helgoland Marine Research*, 62(2 SUPPL.1), 85–100. <https://doi.org/10.1007/s10152-007-0094-3>
- Dewitte B., S. Purca, S. Illig, L. Renault y B. Giese. 2008. Low frequency modulation of the intraseasonal equatorial Kelvin wave activity in the Pacific Ocean from SODA: 1958-2001. *Journal of Climate*, 21, 6060-6069.
- Dioses T. y M. Ñiquen, 1988. Aspectos generales sobre la biología y pesquería de recurso jurel (*Trachurus murphyi*) en Perú. En FORUM: Características en el diseño de una embarcación ideal para la captura de especies pelágicas7. PESCA PERU. 36 pp.
- Dioses T. (2013a) Edad y crecimiento 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): 045- 052
- Dioses T. (2013b) Patrones de distribución y abundancia 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): 067 – 074.
- Dioses T., V. H. Alarcón, M. E. Nakama y A. Echevarría. 1989. Desarrollo ovocitario, fecundidad parcial y distribución vertical de los cardúmenes en desove de jurel, *Trachurus murphyi* (N). En: *Memorias del Simposio Internacional de los Recursos Vivos y las Pesquerías en el Pacífico Sudeste*. Viña del Mar, 9 – 13 Mayo 1988. *Rev. Pacífico Sur (Número Especial)*, pp. 287 – 294.
- Espino M., C. Yamashiro. (2012). La variabilidad climática y las pesquerías en el Pacífico suroriental. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 40(3): 705-721
- Ganoza F., A. 1998. Abundancia y comportamiento del jurel (*Trachurus picturatus murphyi*) a través de proyecciones acústicas de 1983 a 1994. *Inf. Inst. Mar Perú* 136: 23-47.
- Gerlotto F, M. Gutierrez y A .Bertrand 2012. Insight on population structure of the Chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*). *Aquat. Living Resour.* 25, 341–355 (2012) EDP Sciences, IFREMER, IRD 2012 DOI: 10.1051/alr/2012036 [www.alr-journal.org](http://www.alr-journal.org)
- Grados Paredes, D. I. (2010). Identificación de estructuras y relaciones espaciales en los componentes del sistema de la corriente de Humboldt: una comparación de métodos estadísticos. Retrieved from [http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1653/1/yactayo\\_ie.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1653/1/yactayo_ie.pdf)
- Grados Paredes, D. I. (2011). Identificación de estructuras de procesos multi-escala en ecosistemas marinos utilizando ondaletas.

- Grados, D., Bertrand, A., Colas, F., Echevin, V., Chaigneau, A., Gutiérrez, D., ... Fablet, R. (2016). Spatial and seasonal patterns of fine-scale to mesoscale upper ocean dynamics in an Eastern Boundary Current System. *Progress in Oceanography*, 142, 105–116. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2016.02.002>
- Grechina, A. 1998. Historia de investigaciones y aspectos básicos de la ecología del Jurel *Trachurus symmetricus murphyi* (Nichols) en alta mar del Pacífico Sur. In: D. Arcos (ed.) *Biología y Ecología del jurel en Aguas Chilenas* No. 1. p 11-34. Instituto de Investigación Pesquera, Marzo 1998, Concepción.
- Greenlaw C. y Johnson R. (1982) Physical and acoustical properties of zooplankton. *The Journal of the Acoustical Society of America* 72: 1706-1710.
- Greenlaw C. (1979) Acoustical estimation of zooplankton populations. *Limnology and Oceanography* 24(2): 226-242.
- Gutiérrez M.(2014). Dinámicas e interacciones entre las especies pelágicas costeras y oceánicas de la Región Norte del Sistema de la Corriente de Humboldt entre 1966 y 2012. Tesis doctoral. Universidad Nacional Federico Villarreal (UNFV). Lima, 306 pp.
- Holliday D. V. y Pieper R. E. (1995) Bioacoustical oceanography at high frequencies. *ICES Journal of Marine Science* 52: 279-296.
- Icochea L., A. Chipollini y M. Ñiquen. 1989. Análisis de la pesquería de arrastre pelágica en la costa peruana durante 1983-1987 y su relación con el medio ambiente. En: *Memorias del Simposio Internacional de Recursos Vivos y las Pesquerías en el Pacífico Sudeste*. Viña del Mar, 9 – 13 Mayo 1988. *Rev. Pacífico Sur* (Número especial), pp. 455-465.
- IHMA.(2020). Síntesis sobre los cambios observados en la distribución y abundancia de los recursos jurel (*Trachurus murphyi*) y caballa (*Scomber japonicus*) en la corriente peruana entre 2011 y 2020. Octavo Taller del Hábitat del jurel y otras especies de la Corriente Peruana. Lima, Julio 2020, 20 pp
- IMARPE, I. d. (2007). [http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/articulos/imarpe/recursos\\_pesquerias/adj\\_pelagi\\_adj\\_pelagi\\_jurel\\_mar07.pdf](http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/articulos/imarpe/recursos_pesquerias/adj_pelagi_adj_pelagi_jurel_mar07.pdf).
- Johnson R. (1977) Sound scattering from a fluid sphere revisited. *Journal of the Acoustical Society of America* 61: 375-377.
- Joo, R., Bertrand, A., Bouchon, M., Chaigneau, A., Demarcq, H., Tam, J., ... Bertrand, S. (2014). Ecosystem scenarios shape fishermen spatial behavior. The case of the Peruvian anchovy fishery in the Northern Humboldt Current System. *Progress in Oceanography*. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2014.08.009>
- Joo, R., Salcedo, O., Gutierrez, M., Fablet, R., y Bertrand, S. (2015). Defining fishing spatial strategies from VMS data: Insights from the world's largest monospecific fishery. *Fisheries Research*. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2014.12.004>

- Keister et al., 2009 J.E. Keister, W.T. Peterson, S.D. Pierce Zooplankton distribution and cross-shelf transfer of carbon in an area of complex mesoscale circulation in the northern California Current. *Deep-Sea Res. I*, 56 (2009), pp. 212-231
- Klein, P., y Lapeyre, G. (2009). The Oceanic Vertical Pump Induced by Mesoscale and Submesoscale Turbulence. *Annual Review of Marine Science*, 1(1), 351–375. <https://doi.org/10.1146/annurev.marine.010908.163704>
- Kloser R. J., Ryan T., Sakov P., Williams A. y Koslow J. A. (2002) Species identification in deep water using multiple acoustic frequencies. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 59: 1065-107.
- Konchina Y. 1980. The Peruvian Jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi*, a facultative predator in the coastal upwelling ecosystem. *Journal of Ichthyology* 20(5): 46-59.
- Konchina Y. 1983. The feeding niche of the hake *Merluccius gayi*(Merlucciidae), and the Jack mackerel, *Trachurus symmetricus*(Carangidae) in the trophic system of the Peruvian coastal upwelling. *Journal of Ichthyology* 23(2): 87-98.
- Konchina Y., A.V. Nesin, N.A. Onishchik et al. 1996. On the migration and feeding of the Jack mackerel *Trachurus symmetricus murphyi* in the Eastern Pacific. *Journal of Ichthyology* 36(9):753-766.
- Lau Medrano, L. W. (2016). Construcción de índices de biomasa para los recursos anchoveta (*Engraulis ringens*) y jurel (*Trachurus murphyi*) del Ecosistema de afloramiento peruano usando modelos empíricos basados en información acústica.
- Mann, K. H., y Lazier, J. R. N. (2005). *Dynamics of Marine Ecosystems. Dynamics of Marine Ecosystems*. <https://doi.org/10.1002/9781118687901>
- Medina M. y H. Arancibia. 2002. Dinámica trófica del jurel (*Trachurus symmetricus murphyi*) en el norte de Chile. *Invest. Mar., Valparaíso*, 30(1): 45-55.
- Ménard, F., Marsac, F., Bellier, E. y Cazelles, B., 2007. Climatic oscillations and tuna catch rates in the Indian ocean: a wavelets approach to time series analysis. *Fisheries Oceanography*, 16:1: 95-104.
- Mitson R. B., Simard Y. y Goss C. (1996) Use of a two-frequency algorithm to determine size and abundance of plankton in three widely spaced locations. *ICES Journal of Marine Science* 53: 209-215.
- Montes, I., Colas, F., Capet, X., y Schneider, W. (2010). On the pathways of the equatorial subsurface currents in the eastern equatorial Pacific and their contributions to the Peru-Chile Undercurrent. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 115(9). <https://doi.org/10.1029/2009JC005710>
- Murase H., Ichihara M., Yasuma H., Watanabe H., Yonezaki S., Nagashima H., Kawahara S. y Miyashita K. (2009) Acoustic characterization of biological backscatterings in the Kuroshio-Oyashio inter-frontal zone and subarctic waters of the western North Pacific in spring. *Fisheries Oceanography* 18: 386-401.

- Ñiquen, M., Bouchon, M., Ulloa, D., y Medina, A. (2013). Análisis de la pesquería del jurel *Trachurus murphyi* en el Perú. *Revista Peruana de Biología*. <https://doi.org/10.15381/rpb.v20i1.2625>
- Okubo A. (1970). Horizontal dispersion of floatable particles in the vicinity of velocity singularities such as convergence. *Deep Sea Res.*, 17, 445-454.
- Olson BD (1991) Rings in the ocean. *Ann. Rev. Earth Planet. 19*: 283-311.
- Penven, P., Echevin, V., Pasapera, J., Colas, F., y Tam, J. (2005). Average circulation, seasonal cycle, and mesoscale dynamics of the Peru Current System: A modeling approach. *Journal of Geophysical Research C: Oceans*, 110(10), 1–21.
- Perea, A., Mori., J., Buitrón, B., y Sánchez, J. (2013). Aspectos reproductivos del jurel *Trachurus murphyi*. *Revista peruana de Biología*. número especial 20(1), 029- 034.
- Sánchez J., A. Perea, B. Buitrón y L. Romero. (2013) Escala de madurez gonadal del jurel *Trachurus murphyi* Nichols 1920. En: Eds. Csirke J., R. Guevara-Carrasco y M. Espino. *Ecología, pesquería y conservación del jurel (Trachurus murphyi) en el Perú*. *Rev. peru. biol.* número especial 20(1): 035 – 044.
- Segura, Marceliano, y Aníbal Aliaga. 2013. Biomasa Acústica Y Distribución Del Jurel *Trachurus Murphyei* En El Perú. *Revista Peruana De Biología* 20 (1), 087-096. <https://doi.org/10.15381/rpb.v20i1.2624>
- Torrence, C., y Gilbert P, C. (1998). A Practical Guide to Wavelet Analysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79(1), 61–78.
- Valdez Mego, C. (s.f.). *Modelado del hábitat potencial de jurel (Trachurus murphyi) validado a través de capturas e información acústica de las embarcaciones pesqueras industriales*. Lima - Peru: 2017.
- Wang G, Dewar WK (2003) Meddy-seamount interactions: Implications for the Mediterranean salt tongue. *J. Phys. Ocean.* 33: 2446-2461.
- Weiss J. (1991). The dynamics of enstrophy transfer in two-dimensional hydrodynamics. *Physica, D* 48, 273-294.
- Wiebe P. H. (1988) Functional regression equations for zooplankton displacement volume, wet weight, dry weight and carbon: a correction. *Fishery Bulletin* 86: 833-835.

## IX. ANEXOS

### Relación de acrónimos, símbolos y abreviaturas

#### Relación de abreviaturas

ACF	Aguas Costeras Frías
AES	Aguas ecuatoriales superficiales
APS	Anticiclón del Pacífico Sur
ASS	Aguas Subtropicales Superficiales
ATSM	Anomalía térmica de la superficie del mar
BIC	Barco de Investigación Científica
CCP	Corriente Costera Peruana
CCPC	Contra-Corriente de Perú-Chile
CHD	Consumo humano directo
CHI	Consumo humano indirecto
COP	Corriente Oceánica Peruana
CP	Corriente Peruana
CSPC	Corriente subsuperficial Perú-Chile
DC	Distancia a la costa, mn
DS	Deformación de la Superficie
EN	El Niño
ESCC	Extensión Sur de la Corriente de Cromwell
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
GAM	Modelo aditivo generalizado
IMARPE	Instituto del Mar del Perú
IRD	Instituto de Investigación para el Desarrollo
IW	Internal waves (ondas internas)
LSZMO	Límite superior de la zona mínima de oxígeno
MHPJ	Modelo de hábitat potencial del jurel
MPD	Modelo del hábitat potencial
NASC	Coefficiente náutico de dispersión acústica
NOAA	National Oceanographic and Atmospheric Administration (EEUU)
PRODUCE	Ministerio de la Producción
RNSCH	Región Norte del Sistema de la Corriente de Humboldt
ROP	Reglamento de Ordenamiento Pesquero
SCH	Sistema de la Corriente de Humboldt
SISESAT	Sistema de Seguimiento Satelital
SLA	Anomalia del nivel del mar
SNP	Sociedad Nacional de Pesquería
UBM	Unidad Básica de Muestreo
ZMO	Zona mínima de oxígeno

## Símbolos

AT	Abundancia total
cm	Centimetro
dB	Decibelio
DC	Distancia a la costa, mn
khz	Kilohercios o kilociclo
km	kilometro
LT	Longitud total
m	Metro
mn	Milla náutica
mn <sup>2</sup>	Milla náutica cuadrada
NASC	Coeficiente náutico de dispersión acústica
Sv	Coeficiente del volumen de dispersión, m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
TS	Fuerza de blanco (reflectividad acústica) (Target Strength), dB
UPS	Unidad práctica de salinidad, partes por mil
+MVBS	Suma de la volumen medio de la fuerza de retrodispersión
°C	Grados centígrados
ΔMVBS	Diferencia en el volumen medio de la fuerza de retrodispersión
ω	Vorticidad relativa

## Matriz de consistencia de la investigación:

PROBLEMA	OBJETIVOS	PREGUNTAS CIENTÍFICAS	HIPOTESIS	Variables	PRUEBA DE HIPOTESIS (MÉTODOS)	RESULTADOS ESPERADOS
<p>Los costos de prospección (búsqueda de zonas de pesca) son altos e impactan en el rendimiento de la industria pesquera, por lo que se requiere generar nuevas formas de análisis que permitan incrementar la eficiencia de las operaciones de pesca.</p> <p>De otro lado existen recursos limitados para el monitoreo in situ de la vorticidad en el océano, por lo que los recorridos de pesca de los barcos constituyen una valiosa información a ser aprovechada a través del Sistema de Seguimiento Satelital (SISESAT).</p> <p>En nuestro hemisferio sur, los giros anticiclónicos están relacionados con abundancias relativamente altas de organismos, pero las estructuras internas de sub-mesoescala (contenidas en</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL:</b></p> <p>Describir la relación entre los lances de pesca de la flota industrial de cerco y la vorticidad en el océano a través de datos de anomalía de la superficie del mar (SLA) para la observación de la dinámica de los remolinos ciclónicos y anticiclónicos en relación con la abundancia relativa de la especie de interés pesquero con énfasis en jurel.</p> <p><b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b></p> <p>-Identificar los remolinos ciclónicos y anticiclónicos utilizando información de anomalías altimétricas de la superficie del mar (SLA).</p> <p>-Analizar las relaciones entre altimetría y la abundancia relativa de peces y macrozooplancton medidos a través de métodos acústicos empleando información de cruceros</p>	<p>¿Influye la dirección de giro de los remolinos en la distribución y abundancia de la comunidad epipelágica?</p> <p>¿Cómo se puede aprovechar el conocimiento sobre los procesos convergentes y divergentes, incluyendo los de submesoescala en relación con el monitoreo y gestión de la flota de cerco?</p>	<p>El seguimiento de las estructuras convergentes puede ser sistematizado o utilizando información satelital y de SISESAT a fin de optimizar la gestión de operaciones de pesca de la flota jurelera industrial.</p>	<p>Variable independiente:</p> <p>Seguimiento de las estructuras convergentes y divergentes a través del análisis integrado de la información acústica, SLA y SISESAT.</p> <p>Variables Dependiente:</p> <p>Optimizar la gestión de operaciones de la flota industrial de cerco.</p>	<p>- Análisis y clasificación de datos de captura y del SISESAT respecto a la localización geográfica de embarcaciones (fecha, hora, latitud, longitud, velocidad), durante las temporadas de pesca de jurel desde los años 2011 al 2013 y desde 2018 al 2019.</p> <p>-Obtención y análisis de los datos de anomalía altimétrica de la superficie del mar (SLA), para la observación de los giros ciclónicos y anticiclónicos.</p> <p>-Análisis estadísticos y modelos GAM para identificar las correlaciones entre variables.</p> <p>-Análisis de correlación de información SISESAT y SLA.</p> <p>- Análisis de correlación entre la información SLA y de cruceros acústicos de Imarpe.</p> <p>- Análisis del límite superior de la zona mínima de</p>	<p>(1) Protocolo para clasificar la distribución de la flota industrial de cerco con respecto a la altimetría (remolinos ciclónicos y anticiclónicos).</p> <p>(2) Protocolo para determinar la presencia de estructuras de sub-mesoescala en remolinos ciclónicos y anticiclónicos en base a la información acústica y SLA</p> <p>(3) Propuesta de pre-definición de zonas probables de pesca empleando la información sobre estructuras de sub-mesoescala e información</p> <p>(4) Validación de la variable SLA para incorporarla en el modelo de hábitat potencial del jurel (MHPJ; Valdez et al. 2015).</p>

<p>los remolinos), donde se concentran los peces no son detectables con altimetría satelital. Sin embargo el uso del SISESAT podría emplearse para modelar la presencia de estructuras internas según los desplazamientos (y capturas) de los barcos de pesca, empleando también información de anomalía del nivel del mar (SLA, en cm)</p> <p>La información acústica generada durante cruceros acústicos de IMARPE puede asimismo aprovecharse para relacionar las estructuras de submesoescala con la información SLA, ampliando así el rango de análisis de una manera que hasta hoy no ha sido explotada en Perú.</p>	<p>acústicos del IMARPE para la detección de estructuras de submesoescala y mesoescala.</p> <p>-Clasificar la distribución y concentración de la flota pesquera con información SISESAT, en función a la ubicación de los giros ciclónicos y anticiclónicos.</p>				<p>oxígeno (LSZMO) en 2 cruceros de IMARPE (Cr. 201102-04 y Cr. 201110-12), realizados</p> <p>En el año 2011, a fin de detectar estructuras de meso y submesoescala, así como la presencia de zooplancton y peces.</p> <p>- Uso de los softwares Echoview y Echopen, para el procesamiento de los datos acústicos recopilados durante los cruceros.</p> <p>-Análisis de ondaletas (wavelets analysis), para detectar estructuras de convergencia y divergencia y determinar la distribución espacial de la vorticidad en el océano.</p> <p>- Análisis de la relación entre SLA y valores de densidad acústica (NASC)</p> <p>- Análisis de la información SISESAT en relación con la anomalía de la superficie del mar (SLA).</p>	
--	--	--	--	--	--	--