

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE PESQUERÍA



**“DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS ESTADIOS JUVENIL Y
ADULTO QUE CONFORMAN EL STOCK NORTE-CENTRO DE LA
ANCHOVETA PERUANA (*Engraulis ringens*, J. 1842)”**

TESIS PARA OPTAR TÍTULO DE INGENIERO PESQUERO

SEGUNDO GIAN PAUL GALARZA TIRADO

LIMA – PERÚ

2023

**La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación
(Art. 24 – Reglamento de Propiedad Intelectual)**

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS ESTADIOS JUVENIL Y ADULTO QUE CONFORMAN EL STOCK NORTE-CENTRO DE LA ANCHOVETA PERUANA (*Engraulis ringens*, J. 1842)

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	5%
2	cdn.www.gob.pe Fuente de Internet	1%
3	repositorio.upch.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	imarpe.gob.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.udec.cl Fuente de Internet	<1%
7	qdoc.tips Fuente de Internet	<1%
8	www.fao.org Fuente de Internet	<1%

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA
MOLINA**

FACULTAD DE PESQUERÍA

TÍTULO DE TESIS

**“DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS ESTADIOS JUVENIL Y
ADULTO QUE CONFORMAN EL STOCK NORTE-CENTRO DE
LA ANCHOVETA PERUANA (*Engraulis ringens*, J. 1842)”**,

Presentada por:

SEGUNDO GIAN PAUL GALARZA TIRADO

Tesis para optar el título de:

INGENIERO PESQUERO

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

Dr. Jaime Humberto Mendo Aguilar
Presidente

M. Univ. Luis Lorenzo Carrillo La Rosa
Miembro

Dr. Luis Alfredo Icochea Salas
Miembro

M. Univ. Rosa Cueto Vega
Asesor

Mg. Sc. Erich Enrique Díaz Acuña
Coasesor

Lima-Perú

2023

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mis abuelos Segundo y María, sé que estarían contentos de este logro, los extraño y los recuerdo con cariño.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer al Instituto del Mar del Perú (IMARPE), en especial al Área Funcional de Dinámica Poblacional y Evaluación de Recursos Pelágicos, por el apoyo para la elaboración de esta tesis.

Gracias a todas las personas que formaron parte de este proyecto. A mis asesores Erich Díaz, Henry Orrego y Rosa Cueto, por todas sus observaciones, aportes y apoyo a lo largo de este camino, así como a todas las personas que me brindaron comentarios y recomendaciones durante el desarrollo de la tesis.

Me gustaría agradecer a la UNALM por abrirme las puertas y brindarme la oportunidad de forjarme, no solo como profesional, sino también como persona. A todos los docentes y personal administrativo que trabajan incansablemente por el bienestar y desarrollo de los molineros.

A los amigos que hice en la Universidad, Marco, Lister, Adrián, Carlos, y tantos más, por las risas y noches de estudio y no tanto estudio. También a Michel, Junior, Bere, por soportarme desde que soy pequeño y seguir haciéndolo. Su apoyo, confianza, soporte y cariño han sido invaluable. Cada uno de ustedes ha contribuido a mi ánimo de una manera u otra. Gracias por ser mi equipo de aliento y, lo más importante, la familia que yo elegí.

Y por último, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi amada familia. Desde mis primeros pasos hasta este momento, han sido mi fortaleza. Su apoyo constante, su fe en mí desde mi infancia y su presencia incondicional en cada paso que he dado son tesoros que valoro más de lo que puedo expresar con palabras. En los momentos difíciles, su amor y aliento me impulsaron a superar cualquier obstáculo. Gracias por ser mi mayor fuente de inspiración y por hacer posible cada logro que he alcanzado. Mi amor y gratitud hacia ustedes es infinita.

INDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Aspectos generales de la anchoveta peruana y su pesquería	3
2.1.1. Biología y ecología	3
2.1.2. Estadios de vida de peces	5
2.1.3. Pesquería	8
2.1.3.1. Los juveniles en la pesquería de anchoveta	9
2.2. Ecosistema de la corriente de Humboldt	10
2.3. Indicadores espaciales y sus aplicaciones en la dinámica espaciotemporal de las poblaciones de peces	12
III. METODOLOGÍA	17
3.1. Área y periodo de estudio	17
3.2. Fuentes de información	18
3.2.1. Datos espaciales de abundancia por talla	18
3.2.2. Estadios de desarrollo considerados para el estudio	19
3.2.2.1. Escalas de madurez gonadal	19
3.2.2.2. Separacion de juveniles y adultos	20
3.3. Estimación de abundancia de juveniles y adultos por área isoparalitoral	23
3.4. Estimación de indicadores espaciales	24

3.4.1. Indicadores espaciales de ubicación	25
3.4.1.1. Latitud media	25
3.4.1.2. Proporción de individuos en Región Norte	25
3.4.1.3. Distancia a costa media	26
3.4.1.4. Proporción de individuos dentro de 10 millas náuticas	26
3.4.2. Indicadores espaciales de ocupación del espacio	27
3.4.2.1. Inercia de la latitud	27
3.4.2.2. Inercia de la distancia a la costa	27
3.4.2.3. Área Positiva	28
3.4.2.4. Área Equivalente	28
3.4.2.5. Porcentaje de Presencia	29
3.4.3. Indicadores espaciales de dispersión estadística	29
3.4.3.1. Índice Gini	29
3.5. Distribución espacial de los juveniles y adultos utilizando indicadores espaciales	30
3.5.1. Mapas de abundancia por área isoparalitoral	31
3.6. Esquemas de distribución espacial de los juveniles y adultos	31
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
4.1. Estimación y análisis de los indicadores espaciales	33
4.2. Comparación de la distribución espacial de los juveniles y adultos	37
4.2.1. Diferencias a nivel estacional	38
4.2.2. Efecto de las condiciones ambientales sobre la distribución de juveniles y adultos	40
4.2.3. Mapas de abundancia por área isoparalitoral para juveniles y adultos	44
4.3. Esquema de distribución espacial de los diferentes juveniles y adultos y sus cambios a lo largo del tiempo	48
4.3.1. Esquema de los Juveniles	48
4.3.1.1. Análisis de componentes principales	48

4.3.1.2. Análisis clúster	49
4.3.2. Esquema de los Adultos	56
4.3.2.1. Análisis de componentes principales	56
4.3.2.2. Análisis clúster	57
V. CONCLUSIONES	63
VI. RECOMENDACIONES	64
VII. BIBLIOGRAFÍA	65
VIII. ANEXOS	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Proporción de individuos maduros e inmaduros por talla de la anchoveta	21
Tabla 2. Indicadores espaciales utilizados en la investigación	24
Tabla 3. Resultados de pruebas estadísticas realizadas para comparar el comportamiento espacial de los juveniles y adultos, para todo el periodo de estudio	37
Tabla 4. Resultados de pruebas estadísticas realizadas para comparar el comportamiento espacial de los juveniles y adultos, segregados estacionalmente	38
Tabla 5. Resultados de pruebas estadísticas realizadas para comparar el comportamiento espacial de los juveniles y adultos, segregados por condiciones ambientales	42
Tabla 6. Análisis de la varianza explicada por cada componente principal del PCA de los indicadores espaciales de los juveniles	48
Tabla 7. Características de los clústeres estimados para los juveniles, expresado en porcentaje de los Cruceros de Evaluación, de acuerdo con la abundancia de juveniles, condiciones ambientales y estacionales	50
Tabla 8. Características de los factores estudiados, expresado en porcentaje de los Cruceros de Evaluación, de acuerdo con cada clúster estimados para los juveniles.	50
Tabla 9. Análisis de la varianza explicada por cada componente principal del PCA de los indicadores espaciales de los adultos	56
Tabla 10. Características de los clústeres estimados para los adultos, expresado en porcentaje de los Cruceros de Evaluación, de acuerdo con las décadas y condiciones ambientales.	58
Tabla 11. Características de los factores estudiados, expresado en porcentaje de los Cruceros de Evaluación, de acuerdo con cada clúster estimados para los adultos.	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de distribución de las áreas de anchoveta en el sistema de corriente Humboldt.	4
Figura 2. Esquema de una larva con la relación de los nombres que reciben los melanóforos de acuerdo a su posición en el cuerpo	6
Figura 3. Esquema que representa los estadios de desarrollo de la anchoveta peruano	7
Figura 4. Desembarques de anchoveta a lo largo del tiempo	9
Figura 5. Representación gráfica de las proyecciones de los grupos de edad de <i>Merluccius merluccius</i> en el plano principal de un Análisis Factorial Múltiple.	13
Figura 6. Boxplot de biomasa (t), densidad de agregaciones (Pck) y de indicadores espaciales por subárea.	15
Figura 7. Boxplots de los indicadores espaciales considerados.	16
Figura 8. Área de estudio, resaltada de color gris	17
Figura 9. Mapa que presenta el recorrido realizado por un Buque de Investigación Científica (BIC) durante un Crucero de Evaluación tipo.	18
Figura 10. Ciclo de madurez gonadal de los recursos pelágicos.	20
Figura 11. Ojiva de madurez de la anchoveta peruana.	21
Figura 12. Esquema que refleja el proceso de síntesis de información provenientes de las áreas isoparalitorales por tallas, en juveniles y adultos	23
Figura 13. Análisis de Correlación de Spearman realizado a los indicadores espaciales de (a) juveniles y (b) adultos	34
Figura 14. Correlación de Spearman realizado a los indicadores espaciales seleccionados de (a) juveniles y (b) adultos	35
Figura 15. Serie temporal de indicadores espaciales de juveniles (color rojo) y adultos (color verde)	36

Figura 16. Mapa de abundancia de juveniles por área isoparalitoral para cada Crucero de Evaluación realizado durante el periodo de estudio	46
Figura 17. Mapa de abundancia de adultos por área isoparalitoral para cada Crucero de Evaluación realizado durante el periodo de estudio.	47
Figura 18. Indicadores espaciales de los juveniles proyectados en el espacio de los componentes principales	49
Figura 19. Dendrograma obtenido del Análisis Clúster Jerárquico para los juveniles.	49
Figura 20. Boxplots correspondientes a los indicadores espaciales de los juveniles para cada clúster identificado.	53
Figura 21. Serie correspondientes a los indicadores espaciales de los juveniles para cada clúster identificado. Nota: El eje-x corresponde a los Cruceros de Evaluación.	54
Figura 22. Esquemas que representan el porcentaje de presencia para clúster o escenario identificado para los juveniles.	55
Figura 23. Indicadores espaciales de los adultos proyectados en el espacio de los componentes principales	57
Figura 24. Dendrograma obtenido del Análisis Clúster Jerárquico para los adultos.	57
Figura 25. Boxplots correspondientes a los indicadores espaciales de los adultos para cada clúster identificado.	60
Figura 26. Serie correspondientes a los indicadores espaciales de los adultos para cada clúster identificado.	61
Figura 27. Esquemas que representan el porcentaje de presencia para clúster o escenario identificado para los adultos.	62

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Descripción de Cruceros de Evaluación considerados para la investigación y las condiciones térmicas imperantes durante su realización.	78
Anexo 2. Intervalos del Índice LABCOS para la clasificación de los Eventos El Niño y La Niña para el mar peruano (Fuente IMARPE)	83
Anexo 3. Indicadores espaciales obtenidos para los juveniles para cada Crucero de Evaluación	84
Anexo 4. Indicadores espaciales obtenidos para los adultos para cada Crucero de Evaluación	86
Anexo 5. Prueba de normalidad de Anderson-Darling para los indicadores estimados para los juveniles y adultos	88
Anexo 6. Resultados de pruebas de homogeneidad de varianza realizados a los indicadores espaciales	89
Anexo 7. Boxplot correspondientes al índice LABCOS para cada clúster identificado por juveniles y adultos.	90

RESUMEN

La anchoveta peruana es la especie más importante del Ecosistema de la Corriente de Humboldt, tanto desde el punto de vista ecológico como socioeconómico ya que sustenta la pesquería más importante del Perú y una de las más grandes del mundo. Los recursos pesqueros, como la anchoveta, son naturalmente dinámicos en el espacio y el tiempo, y es necesario entender dicho dinamismo con el propósito de fortalecer las medidas orientadas a su conservación. Una herramienta ampliamente usada para describir la dinámica espaciotemporal de los recursos pesqueros son los indicadores espaciales. El objetivo de este estudio fue evaluar el comportamiento espacial de los juveniles y adultos que conforman el Stock Norte-Centro de la anchoveta, haciendo uso de indicadores y pruebas estadísticas multivariadas. Los indicadores espaciales se utilizaron para sintetizar la ubicación espacial de juveniles y adultos, la ocupación del espacio y la dispersión estadística. La estadística multivariada fue usada para identificar escenarios de distribución asociados a las condiciones ambientales y la época del año. Para ello, se empleó datos georreferenciados de tallas recolectados durante cincuenta y tres cruceros de evaluación realizadas por el Instituto del Mar del Perú (IMARPE) entre 1996 y 2022. Los resultados demostraron que los adultos de anchoveta se distribuyen de manera homogénea (muchas zonas con abundancias similares), mientras los juveniles, por su lado, lo hacen de manera más heterogénea (pocas zonas con alta abundancia). Las pruebas estadísticas multivariadas permitieron identificar cinco escenarios de distribución espacial: i) tres escenarios para los juveniles, que reflejaron condiciones promedio, adversas y favorables y ii) dos escenarios para los adultos, que reflejaron condiciones cálidas y frías. Este estudio amplía el conocimiento sobre la dinámica espaciotemporal de los juveniles y adultos del Stock Norte-Centro de la anchoveta peruana, por lo que se puede considerar el uso de indicadores espaciales como herramientas auxiliares para el seguimiento de poblaciones.

Palabras clave: anchoveta peruana, distribución espacial, indicadores espaciales, pruebas estadísticas multivariadas, cruceros de evaluación.

ABSTRACT

The Peruvian anchovy is the most important species in the Humboldt Current ecosystem, both ecologically and socio-economically, as it supports the most important fishery in Peru and one of the largest in the world. Fishery resources such as anchoveta are naturally dynamic in space and time, and it is necessary to understand this dynamism in order to strengthen conservation measures. A widely used tool to describe the spatio-temporal dynamics of fishery resources are spatial indicators. The objective of this study was to evaluate the spatial behavior of the juvenile and adult developmental stages that make up the North-Central stock of anchoveta, using indicators and multivariate statistical tests. Spatial indicators were used to synthesize the spatial location of juveniles and adults, spatial occupancy, and statistical dispersion. Multivariate statistics were used to identify distribution scenarios associated with environmental conditions and season. For this purpose, georeferenced size data collected during sixty assessment cruises conducted by the Instituto del Mar del Peru (IMARPE) between 1996 and 2022 were used. The results showed that anchoveta adults are homogeneously distributed (many areas of similar abundance), while juveniles are more heterogeneously distributed (few areas of high abundance). Multivariate statistical tests identified five spatial distribution scenarios: i) three scenarios for juveniles reflecting average, unfavorable and favorable conditions, and ii) two scenarios for adults reflecting warm and cold conditions. This study adds to the knowledge of the spatio-temporal dynamics of juveniles and adults in the north-central stock of Peruvian anchovy, so that the use of spatial indicators can be considered as an auxiliary tool for population monitoring.

Keywords: Peruvian anchovy, spatial indicators, Evaluation Cruises, mean comparison tests, multivariate statistical tests.

I. INTRODUCCIÓN

La anchoveta (*Engraulis ringens*), es una especie clave del Ecosistema de la Corriente de Humboldt (Alheit & Niquen, 2004; Bouchon C., 2018; Salvattecí et al., 2018) y es, además, la base de la pesquería mono-específica más grande del mundo (FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), 2020), desarrollándose a lo largo del litoral peruano.

La anchoveta ha sufrido variaciones considerables tanto en su distribución como en su abundancia a lo largo del tiempo (M. Gutiérrez et al., 2012; Oliveros-Ramos & Peña, 2011); influenciado principalmente por variaciones climáticas interanuales, i.e. Eventos El Niño (Bouchon C., 2018; Fréon et al., 2008). La mayoría de los trabajos sobre la anchoveta ha abordado los cambios en su abundancia y son menos los trabajos en los que se ha tratado los cambios espaciales del recurso, especialmente de sus fases de desarrollo juvenil y adulto.

Generar conocimiento sobre la dinámica espaciotemporal de los juveniles y adultos de la anchoveta, puede ser valioso para el diseño de herramientas de evaluación y procedimientos de gestión orientados, por ejemplo, a la protección de los individuos juveniles (Woillez et al., 2007).

Una manera de generar este conocimiento es a través de indicadores espaciales, que son valores estadísticos, que tienen como objetivo resumir, describir y comunicar la distribución espacial de las poblaciones de peces, ya sea en términos de ubicación, área ocupada o manera de ocupar el área (Woillez et al., 2009), además, pueden ser usados para monitorear cambios, que podrían estar asociados a los efectos del ambiente o antropogénicos, por lo que resultan siendo útiles para tomar decisiones asociadas a medidas de conservación (Rufino et al., 2018, 2019).

En ese sentido, en el presente trabajo se planteó como objetivo general analizar la distribución espacial de los juveniles y adultos que conforman el Stock Norte-Centro de la anchoveta. Para ello, se buscó (i) determinar indicadores espaciales, que sinteticen la ubicación espacial, la ocupación del espacio y la dispersión estadística, para juveniles y

adultos, y a partir de éstos (ii) comparar la distribución espacial de ambos, y, por último, (iii) elaborar un esquema de distribución espacial de estos estadíos, haciendo uso de indicadores y pruebas estadísticas multivariadas.

Se espera que los resultados del presente trabajo pueden ser de ayuda en reducir las brechas de conocimiento relacionadas a las diferencias espaciales entre juveniles y adultos, lo cual es esencial para la conservación y gestión adecuada de la anchoveta, con el objetivo de garantizar la sostenibilidad de la pesquería y la protección de los juveniles.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Aspectos generales de la anchoveta peruana y su pesquería

2.1.1. Biología y ecología

La anchoveta peruana es una especie de pez de la familia *Engraulidae*, que habita el Gran Ecosistema de la Corriente de Humboldt (GECH) (Alheit & Niquen, 2004), siendo considerada como la especie clave este ecosistema, debido a que es el alimento principal de muchas especies de peces y depredadores superiores (Tam et al., 2010; Taylor et al., 2008).

Dentro de este ecosistema, este pequeño pez pelágico se encuentra distribuido a manera de tres stocks o unidades poblacionales, dos de los cuales se encuentran en el litoral peruano: 1) el Stock Norte-Centro del Perú (distribuido desde los 3° S hasta el 16° S); 2) el Stock Sur Perú-Norte Chile (que se encuentra distribuido desde el 16°01' S hasta el 24° S); y 3) el Stock Centro-Sur de Chile (que se encuentra distribuido desde el 16°01' S hasta el 24° S) (Cubillos et al., 2007, Mendo, 2018) (Fig. 1). De ellos, el Stock Norte-Centro del Perú es el de mayor productividad biológica y pesquera.

Según la latitud, la distribución de la anchoveta es casi continua, con presencia de algunos núcleos muy densos, especialmente en los grados 5°, 9°, 11°, 13° y 18°S, con o sin conexión entre ellos, dependiendo del nivel de biomasa disponible (Gutierrez, 2000; Simmonds et al., 2009).

En cuanto a la distancia a la costa, la anchoveta suele encontrarse hasta 80 millas náuticas de la costa, aunque esta distribución es bastante variable debido a la sensibilidad del recurso a los cambios en las condiciones oceanográficas (Schreiber et al., 2011; Simmonds et al., 2009), siendo la interanual, relacionada a los Eventos El Niño, uno de los principales factores que impactan su distribución y biomasa.

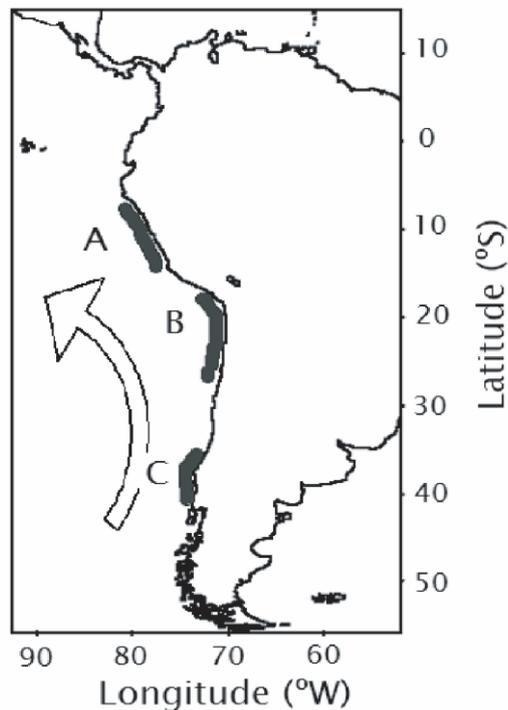
La anchoveta peruana es una especie de vida corta y rápido crecimiento, con una longevidad estimada en 3 años (Chirinos de Vildoso & Chumán, 1968) y con parámetros de crecimiento en $K \sim 1y^{-1}$ y $L_{\infty} \sim 20$ cm (Jordán & Chirinos de Vildoso, 1965; Pauly & Tsukayama, 1984).

La anchoveta es un desovador múltiple, es decir, son organismos con la capacidad de madurar y desovar varias veces al año, sin embargo, se pueden identificar dos períodos principales de desove cada año, el primero durante el verano y el segundo durante el invierno austral, ambos sustentados por el ingreso de nuevos individuos al stock adulto (Buitrón & Perea, 2000; Einarsson & Rojas de Mendiola, 1963; Mori et al., 2011). El hábitat principal de desove y larvas de la anchoveta peruana se encuentra entre los 6 y 10°S, donde los huevos se encuentran en aguas frías y con condiciones variables de oxígeno (Shen et al., 2017; Walsh et al., 1980).

En cuanto a la alimentación, la anchoveta es principalmente planctófaga, obteniendo la mayor parte de su energía del zooplancton de mayor tamaño, como eufáusidos y copépodos, presentando variaciones a nivel estacional (Espinoza, 2014; Espinoza & Bertrand, 2014; Espinoza & Blaskovic, 2000).

Figura 1.

Esquema de distribución de las áreas de anchoveta en el sistema de corriente Humboldt.



Nota: Esquematización mediante una flecha: A: Stock Norte-Centro Perú, B: Stock Sur Perú-Norte Chile, C: Stock: Centro-Sur Chile (Cubillos et al., 2007).

2.1.2. Estadios de vida de peces

En general, el ciclo de vida de los peces marinos se compone de cuatro etapas de desarrollo: estadio embrionario, larval (con y sin saco vitelino), juvenil y adulto (Houde, 1987).

Los huevos y larvas de peces constituyen el ictioplancton, que es la comunidad de organismos microscópicos que habita en la capa superficial de la columna de agua (zona pelágica) y cuya distribución horizontal depende esencialmente de las corrientes (Walkup, n.d.).

La etapa del huevo comienza con la fertilización y termina con la eclosión. Los huevos de la anchoveta son pelágicos y se caracterizan por su forma ovoide, con una membrana transparente y lisa, sin presencia de glóbulos de aceite y que pueden ser detectados en el agua de mar por la reflexión de la luz sobre la membrana del huevo (Einarsson & Rojas de Mendiola, 1963).

Al nacer, los peces entran en la etapa larvaria. Las larvas recién nacidas difieren (a veces dramáticamente) morfológicamente de los adultos, midiendo entre 1.72 y 2.25 mm (Einarsson & Rojas de Mendiola, 1963). El cuerpo de las larvas es cilíndrico y la cabeza es algo más ancha que el cuerpo, ocupada casi en su totalidad por los ojos, careciendo de boca funcional. No presentan pigmentación en los ojos, en el vitelo, ni en otra parte del cuerpo.

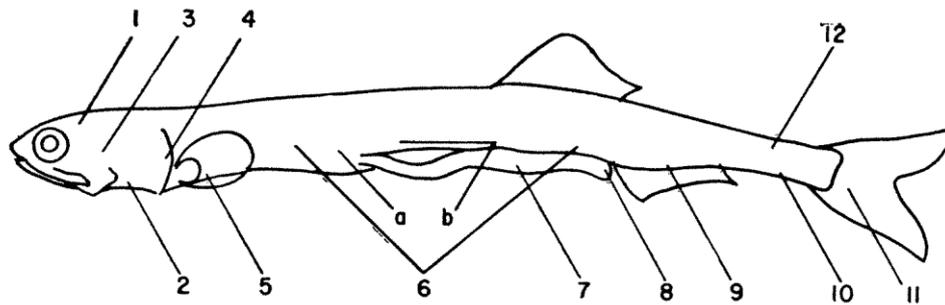
Las larvas poseen un saco vitelino, que contiene yema que le proporciona alimento y que es un poco alargado, terminando en punta en el extremo posterior del intestino (Einarsson & Rojas de Mendiola, 1963). Al mismo tiempo que el saco vitelino se reabsorbe, empiezan a desarrollarse estructuras necesarias para ver o alimentarse, asimismo, se empiezan a diferenciar órganos vitales como las branquias (Einarsson & Rojas de Mendiola, 1963). Cuando el saco vitelino se agota, las larvas deben alimentarse exógenamente (externamente) de fitoplancton y zooplancton. Según Rojas de Mendiola & Gomez, (1981), éstas comienzan a alimentarse a los 4.5 días después de la eclosión.

La transformación de larvas en juveniles se denomina metamorfosis y está marcada por el desarrollo completo de los radios de las aletas y comienzo del desarrollo de las escamas, siendo el patrón de pigmentación, el carácter diferencial de todo este proceso. Se observa que, los melanóforos ventro-laterales, de color marrón oscuro, que se disponen en varios

grupos y posiciones (Fig. 2), van aumentando en número y cambiando de forma, de rayas finas a estrelladas (Einarsson & Rojas de Mendiola, 1963).

Figura 2.

Esquema de una larva con la relación de los nombres que reciben los melanóforos de acuerdo a su posición en el cuerpo



Nota: (1) pigmento occipital, (2) pigmento cefálico ventral, (3) pigmento pre-opercular, (4) pigmento opercular, (5) pigmento de la región del corazón, (6a) pigmento ventral anterior, (6b) pigmento ventral posterior, (7) pigmento intestinal, (8) pigmento anal, (9) pigmento post-anal, (10) pigmento precaudal en posición ventral, (11) pigmento caudal, (12) pigmento precaudal en posición medio-lateral (Einarsson & Rojas de Mendiola, 1963)

Los individuos juveniles parecen adultos, pero son de menor tamaño. No flotan en el plancton como las larvas, sino que se mueven activamente. Los juveniles se convierten en adultos cuando las gónadas (órganos sexuales en los que se producen los gametos) alcanzan la primera madurez. La etapa adulta se caracteriza por una reproducción activa. La mayoría de los peces marinos pueden reproducirse múltiples veces y se denominan iteróparos (Walkup, n.d.).

Tomando como referencia la investigación de Politikos et al., (2011) (sobre la anchoveta europea *Engraulis encrasicolus*) y las imágenes de Rioual et al., (2021), se esquematizó los juveniles y adultos de la anchoveta peruana de acuerdo a la Fig. 3.

Figura 3.

Esquema que representa los estadios de desarrollo de la anchoveta peruano



Nota: Tomado de Rioual et al. (2021)

2.1.3. Pesquería

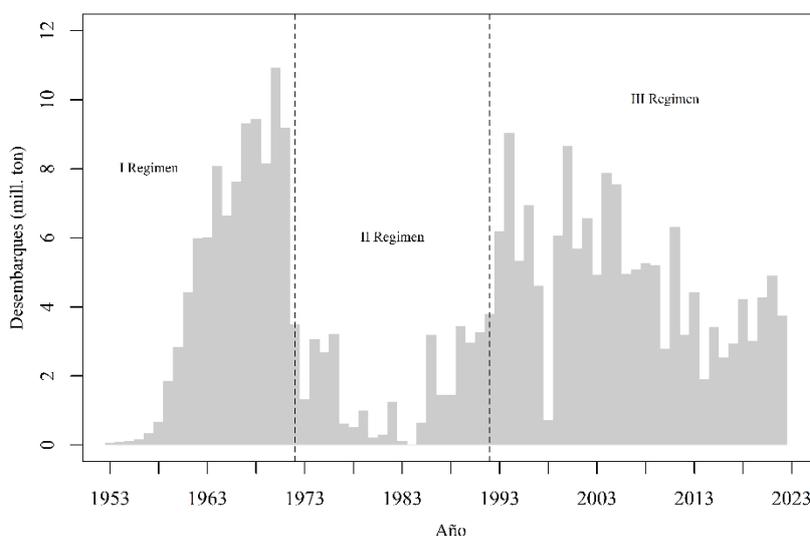
Además del valor clave dentro del ecosistema marino peruano, la anchoveta sustenta la pesquería monoespecífica más grande del mundo (FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), 2020), representando aproximadamente el 10 por ciento de los desembarques a nivel mundial, y más del 90 por ciento de la pesquería pelágica a nivel nacional (PRODUCE, 2021) y cuyo destino principal es la producción de harina y aceite de pescado (Bouchon C., 2018).

Esta pesquería, a nivel industrial, cuenta con más de setenta años de historia y ha presentado a lo largo del tiempo tres fases de desarrollo (Fig. 4). La primera fase, iniciada a mediados de la década de 1950, en la que se observó un crecimiento exponencial en las capturas y el esfuerzo pesquero, debido a alta biomasa y disponibilidad, así como a bajos costes de operación y procesamiento y alta demanda en el mercado mundial (Bouchon C., 2018; Diaz, 2017), alcanzando a inicios de la década de 1970 volúmenes superiores a los 12 millones de toneladas.

Este continuo e intenso esfuerzo, combinado con un bajo reclutamiento, llevaron al recurso hacia su agotamiento, lo cual fue ahondado por la ocurrencia de El Niño 1972, fuerte y de larga duración (12 meses) (Swartzman et al., 2018, Pauly & Tsukayama, 1987). Junto con el colapso, se observó una etapa caracterizada por condiciones oceanográficas cálidas desfavorables, con bajos niveles de biomasa y capturas, lo que trajo como consecuencia la casi total paralización de la pesquería la reducción del número de embarcaciones y plantas pesqueras (Bouchon C., 2018; Diaz, 2017). Finalmente, la tercera fase, iniciada en 1992, se caracteriza por la recuperación del recurso y su pesquería y por un mayor énfasis en el ordenamiento de la pesquería, tal como consta en el DL 25977 (Ley General de Pesca de 1992) o el DL 1084 (Ley sobre los Límites Máximos de Captura por Embarcación de 2008).

Figura 4.

Desembarques de anchoveta a lo largo del tiempo



Nota: Las líneas punteadas verticales indican las fases de desarrollo de la pesquería. Elaborado en base a los datos provenientes de IMARPE.

2.1.3.1. Los juveniles en la pesquería de anchoveta

La necesidad de proteger a los peces inmaduros para mejorar los rendimientos pesqueros es un concepto intuitivo anterior a la ciencia pesquera misma (Halliday & Pinhorn, 2002), basadas en las repercusiones negativas que pueda tener en la población de peces y en el ecosistema (McIntosh, 1890).

La teoría del rendimiento por recluta indica que hay un tamaño óptimo en la primera captura (L_{opt}) para un nivel dado de F que puede maximizar el rendimiento de las pesquerías, siendo este tamaño óptimo generalmente mayor que el tamaño al que el 50% de los individuos han alcanzado la madurez (Froese et al., 2008).

En el caso de la anchoveta, los individuos alcanzan la talla media de primera madurez al primer año (~12 cm de longitud total) (Einarsson & Rojas de Mendiola, 1963; Jordán & Chirinos de Vildoso, 1965) y para propósitos de manejo todos los ejemplares menores a esta talla son considerados como juveniles.

Desde inicios de la pesquería, se menciona que la protección de juveniles tienen efectos positivos que se traducen en el incremento de la biomasa de progenitores, relacionada con el principio de “desovar al menos una vez”, que sugiere que la sostenibilidad está asegurada si los peces se vuelven vulnerables a los aparejos comerciales solo después de haber

desovado (Vasilakopoulos et al., 2011) y con un aumento del rendimiento económico, relacionada con la producción de harina y aceite de pescado (Salvatteci & Mendo, 2005).

Las medidas de regulación para la protección de los individuos juveniles de anchoveta, indicadas en la normativa peruana, e.g. RM N° 209-2001-PE, DS N° 005-2017-PRODUCE, están basadas en el establecimiento de una talla mínima de captura (12 cm de LT), de un tamaño mínimo de abertura de red (13 mm), de un nivel de tolerancia de juveniles en las capturas por lance, por barco, por puerto y por área de pesca (10% en número), el establecimiento de vedas en los puertos y áreas con una incidencia de juveniles superior a la tolerancia establecida y la penalización económica de las embarcaciones que hayan capturado juveniles en un nivel superior a la tolerancia establecida. Asimismo, en los últimos años, se realizaron medidas para mejorar el control (DS N° 024-2016-PRODUCE), que despenaliza superar la tolerancia de juveniles, siempre y cuando se comunique la presencia de juveniles y pesca incidental, que tuvo a su vez, la implementación de la Bitácora Electrónica para Embarcaciones Pesqueras dedicadas a la Extracción del Recurso Anchoveta.

Sin embargo, la implementación y el cumplimiento de estas regulaciones pueden ser un desafío en algunas áreas, teniendo en cuenta que la red de cerco es una técnica no selectiva que puede capturar indiscriminadamente peces juveniles, incluyendo especies que aún no han alcanzado la madurez sexual. Además, la pesca puede afectar el nivel de mezcla de juveniles y adultos de la anchoveta, ya que las redes de cerco utilizadas en la pesca de esta especie pueden capturar tanto juveniles como adultos. Esto puede tener un impacto negativo en la población de la especie, ya que la captura de juveniles puede reducir la capacidad reproductiva futura de la población. Por lo tanto, es importante implementar medidas de manejo adecuadas para proteger a los juveniles y asegurar la sostenibilidad de la pesquería.

2.2. Ecosistema de la corriente de Humboldt

Los sistemas de afloramiento de los límites orientales (EBUS) comprenden entre el 2 y el 5% de la superficie del océano, pero soportan el 7% de la producción primaria marina mundial, y proporcionan aproximadamente el 20% de las capturas mundiales de peces. (Benoit-Bird et al., 2019; Chavez & Messié, 2009; Ekau et al., 2018).

De estos sistemas, el de la Corriente de Humboldt (HCS) es el más notable por la alta producción de peces (Chavez et al., 2008). Dentro de este sistema el mayor afloramiento

ocurre en el centro y norte de Perú (Chavez et al., 2008; Chavez & Messié, 2009), presentado una variabilidad a diferentes escalas temporales (intraestacional, estacional, interanual y decadal) (Graco et al., 2007). Además, está caracterizada por una alta producción biológica (Chavez et al., 2008) y una zona de mínimo oxígeno mucho más intensa y somera (Fuenzalida et al., 2009; D. Gutiérrez et al., 2008), presentando concentraciones de oxígeno disuelto (OD), entre 0,0 a 0,5 mL.L⁻¹ en la columna de agua (Graco et al., 2007), influyendo en el desarrollo de las comunidades tanto pelágicas (Bertrand et al., 2011) como bentónicas (D. Gutiérrez et al., 2008).

Como todos los sistemas de afloramiento, se caracterizan por ser entornos muy dinámicos, donde se manifiestan una serie de procesos físicos dinámicos y complejos que abarcan una amplia gama de escalas espaciales y temporales, debido al fuerte acoplamiento entre el océano, la atmósfera y el continente (Morales et al., 2012).

Dentro de estos procesos complejos, los Evento El Niño tiene efectos significativos en el ecosistema de Humboldt, incluidos los recursos marinos y el afloramiento costero (Romagnoni et al., 2022; Thatje et al., 2008). Durante los eventos ENOS, la corriente de Humboldt se debilita, lo que puede provocar un aumento de la temperatura de la superficie del mar y de la temperatura del aire. Esto puede traer como posible consecuencia procesos de inundaciones y lluvias en la costa peruana (Alatrística-Salas et al., 2021; Kane, 2002; Rodríguez-Morata et al., 2019).

Además, se reduce el afloramiento de agua oceánica profunda y fría que aporta nutrientes cerca del fondo, ocasionando que la productividad primaria disminuya (Espinoza-Morriberón et al., 2017; Racault et al., 2017), que a su vez afecta a la supervivencia y el crecimiento de los recursos que se alimentan del plancton dependiente de estos nutrientes, como la anchoveta, produciendo alteraciones en sus procesos biológicos, comportamiento, disminución de sus niveles poblacionales, depredación y disminuciones en sus capturas (Ñiquen & Bouchon, 2004), así como, una disminución en la población de depredadores superiores (que se alimentan de peces) (Hughes, 2008; Tovar et al., 1987).

2.3. Indicadores espaciales y sus aplicaciones en la dinámica espaciotemporal de las poblaciones de peces

Las especies son naturalmente dinámicas en el espacio y el tiempo, y hoy en día, se están generando cambios más rápidos y a mayor medida en la distribución de éstas, provocados por los cambios climáticos y antropogénicos. Para poder evaluar tales cambios en el dominio espacial, a menudo se utilizan indicadores espaciales (Lenoir & Svenning, 2015; Rufino et al., 2019).

Los indicadores espaciales son estadísticos que tienen como objetivo resumir, describir y comunicar la distribución espacial de las poblaciones de peces, ya sea en términos de ubicación, área ocupada o manera de ocupar el área (Wuillez et al., 2007, 2009). Los indicadores espaciales pueden ser usados para monitorear cambios, que podrían estar asociados a los efectos del ambiente o antropogénicos, por lo que resultan siendo útiles para tomar decisiones asociadas a medidas de conservación (Rufino et al., 2018, 2019).

En diversas partes del mundo, los indicadores espaciales se han aplicado esencialmente para estudiar la dinámica espaciotemporal de las poblaciones, validación de modelos geoestadísticos y para analizar la superposición en la distribución espacial de especies. Se les considera, por lo tanto, como un componente integral de la gestión de pesquerías basadas en ecosistemas (Compton et al., 2012; Grüss et al., 2017; Rufino et al., 2019).

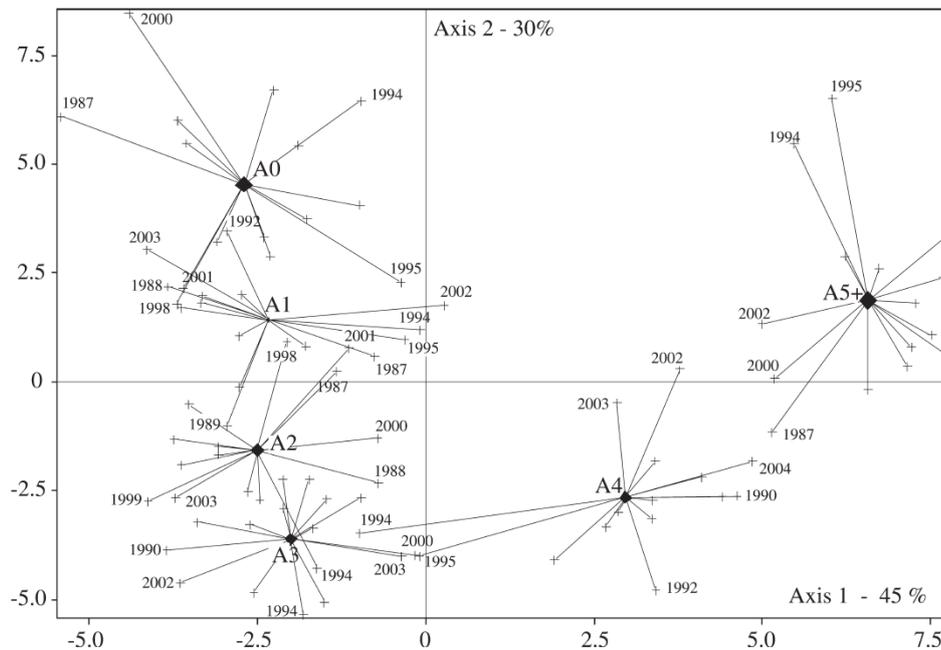
Los tipos de indicadores espaciales varían ampliamente entre estudios, sin embargo, el centro de gravedad y su inercia suelen ser los más utilizados. Además, en la mayoría de los estudios se suelen utilizar a los indicadores como un conjunto, ya que un solo indicador podría no ser suficiente para resumir el comportamiento espacial de una población de peces. En ese sentido, las evaluaciones con indicadores ecológicos deben hacerse integrando varios de ellos (Modica et al., 2016; Petitgas & Poulard, 2009; Wuillez et al., 2009), ya que de esta manera aumentan las oportunidades de detectar cambios en factores críticos a lo largo del tiempo (Rufino et al., 2018).

Sin embargo, el uso de varios indicadores correlacionados puede plantear problemas importantes de redundancia y colinealidad. Ante esto, una solución planteada es utilizar los ejes resultantes de un análisis multivariado, e. g. análisis de componentes principales, aplicado a los indicadores (Barra et al., 2015).

Dentro de los ejemplos más resaltantes en los que se ha usado indicadores espaciales para caracterizar los cambios en la distribución de las poblaciones de peces tenemos a Woillez et al., (2007), quienes utilizaron indicadores para identificar patrones en la distribución espacial de diferentes grupos de edad de la merluza europea (*Merluccius merluccius*) en la bahía de Vizcaya, complementado con un análisis factorial múltiple. Su trabajo demostró que, a la edad de 3 años, la merluza cambia su comportamiento espacial, pasando de ubicarse dentro de la plataforma y de manera más costera a distribuirse más hacia al oeste, preferentemente en el borde de la plataforma continental. (Fig. 5).

Figura 5.

Representación gráfica de las proyecciones de los grupos de edad de Merluccius merluccius en el plano principal de un Análisis Factorial Múltiple.



Nota: Los diamantes representan el CG de los grupos de edad observados durante 15 Cruceros (Woillez et al., 2007).

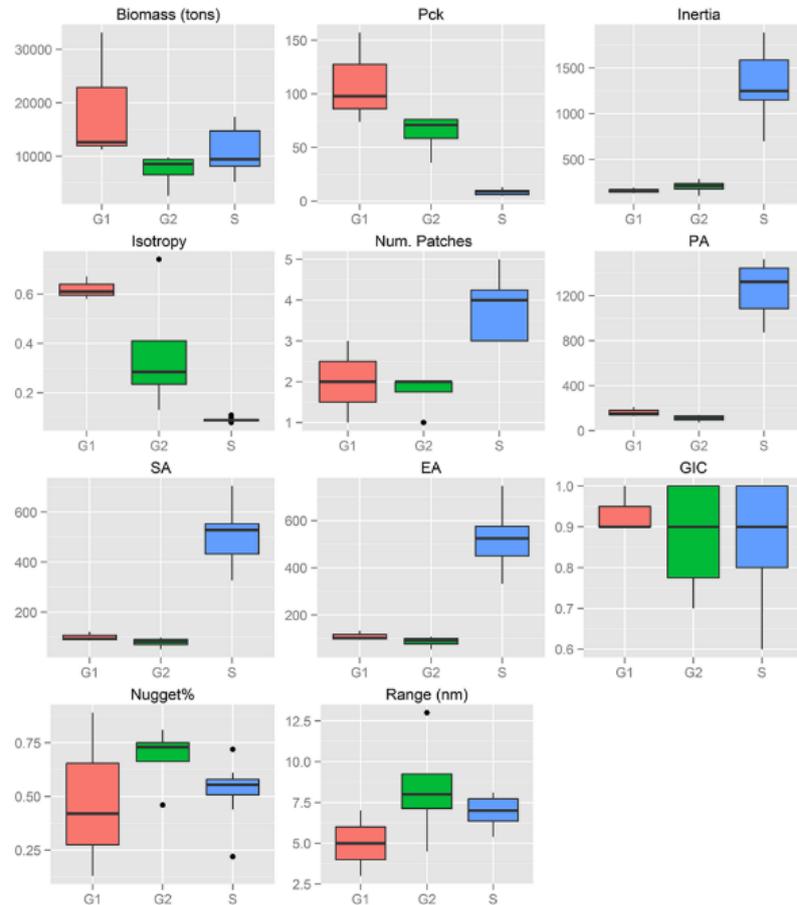
Doray et al., (2018) presentaron un conjunto de 143 indicadores potenciales, incluidos índices espaciales, que representan a los pequeños peces pelágicos y sus entornos bióticos y abióticos, que se obtuvieron de forma rutinaria a partir del estudio integrado de ecosistemas PELGAS realizado en el ecosistema pelágico del Golfo de Vizcaya, destacando destaca que las especies de peces pelágicos pequeños parecen haber seguido trayectorias distintas durante los últimos 15 años. Como parte de este trabajo se evaluaron las posibles

interacciones entre la distribución espacial de los peces pelágicos pequeños y un conjunto de variables de forzamiento externo, incluidos el clima y la pesca, confirmando la importancia de las descargas de los ríos, la temperatura del fondo, la clorofila-a y la biomasa del mesozooplancton en la dinámica del ecosistema pelágico de esta región.

Barra et al., (2015) usaron una serie de indicadores sobre la ocupación, agregación, localización, dispersión y superposición espacial, más un análisis de componentes principales, para caracterizar la distribución espacial de la anchoa y la sardina europea, durante el verano, en dos ecosistemas contrastantes del Mar Mediterráneo: el Estrecho de Sicilia (área de afloramiento) y el Mar Egeo del Norte (área de plataforma continental, influenciada por agua dulce). En función a ello, determinaron para ambas especies que, a pesar de la alta variabilidad interanual, la ubicación de los centros de gravedad fue muy similar entre años. (Fig. 6). Asimismo, la ocupación (reflejada en el área positiva) estuvo determinada por la extensión de los hábitats adecuados en cada ecosistema, mientras que los patrones de agregación (cómo se distribuyen las poblaciones dentro del área de presencia) eran específicos de la especie y estaban relacionados con los niveles de biomasa de la población. Por último, el análisis multivariado realizado reveló que la biomasa estaba significativamente relacionada con un conjunto de indicadores espaciales, y no, con solo uno. Este trabajo destacó el uso potencial de indicadores espaciales como herramientas auxiliares para el seguimiento de poblaciones.

Figura 6.

Boxplot de biomasa (t), densidad de agregaciones (Pck) y de indicadores espaciales por subárea.

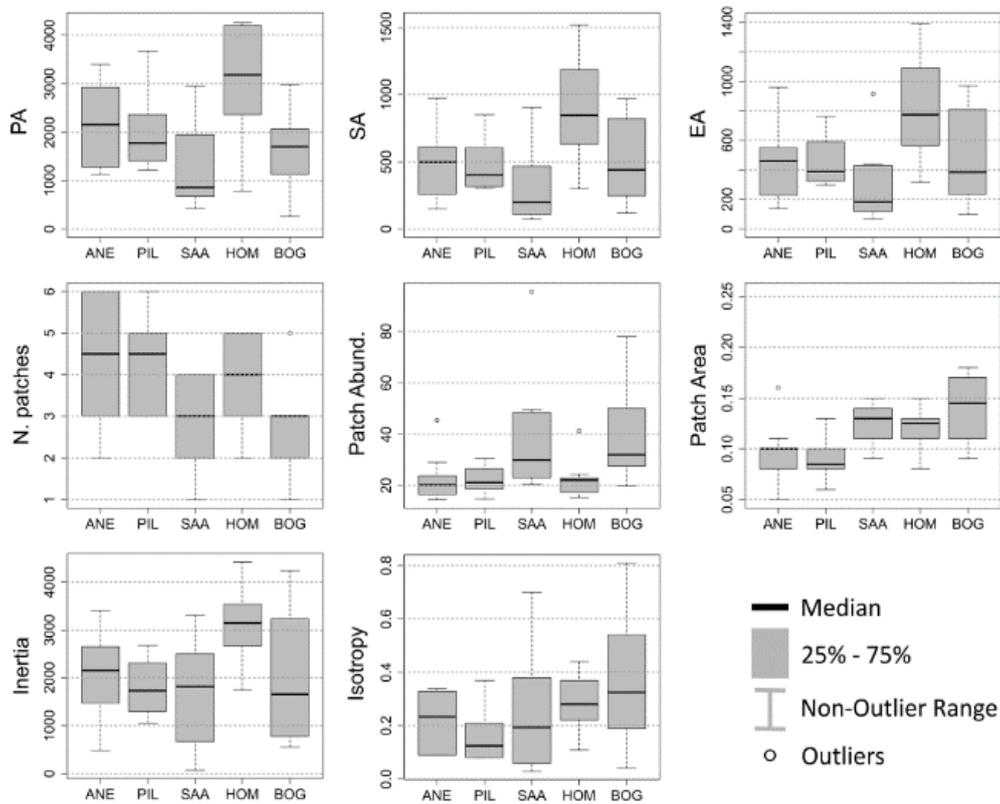


Nota: Las nomenclaturas de subáreas para la sardina europea fueron S: Aguas Sicilianas, G1: Golfo de Thermaikos, G2: Mar de Tracia (Barra et al., 2015)

Bonanno et al., (2018) analizaron los cambios en la comunidad pelágica de un ecosistema de surgencias del Mar Mediterráneo central durante los últimos 10 años, centrandó su atención en las cinco especies de pelágicos pequeños más abundantes: *Engraulis encrasicolus*, *Sardina pilchardus*, *Sardinella aurita*, *Trachurus trachurus* y *Boops boops*. Usando un análisis de la variabilidad espaciotemporal de la comunidad de peces, junto con el análisis de los índices espaciales (Fig. 7) (que proporciona una visión sintética del estado de la comunidad de peces y la forma en que cambia), los autores evidenciaron una estructura comunitaria bastante estable, caracterizada por una ocupación espacial fuertemente impulsada por las características del ecosistema y modulada de acuerdo con el comportamiento especie-específico.

Figura 7.

Boxplots de los indicadores espaciales considerados.



Nota: PA es área positiva, SA es área de expansión, EA es área equivalente, N. patches es el número de parches, Patch Abund. es la proporción de abundancia en los parches, Patch Area es el área media de los parches, Inertia e Isotropy son inercia e isotropía respectivamente. Las especies consideradas fueron ANE: *E. encrasicolus*; PIL: *S. pilchardus*; SAA: *S. aurita*; BOG: *B. boops*; HOM: *T. trachurus*) para el período 2006-2015 (Bonanno *et al.*, 2018)

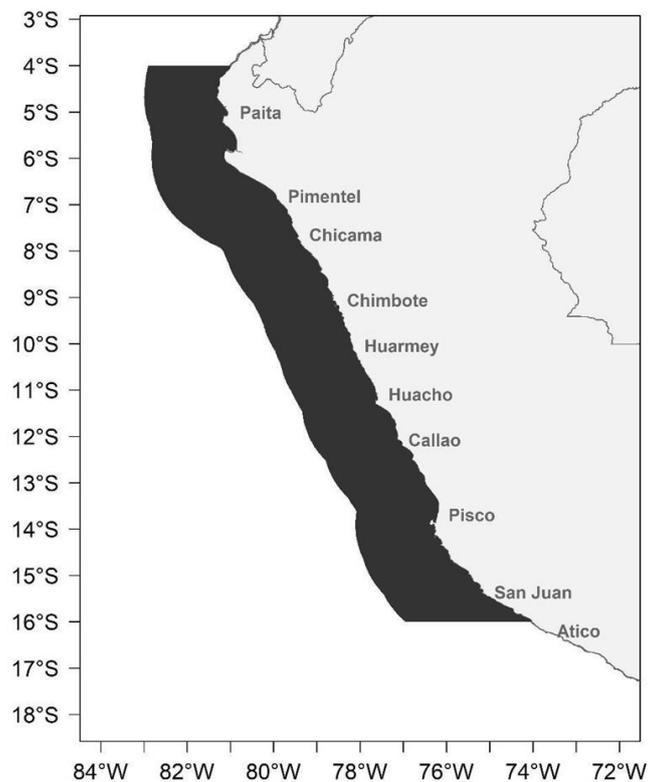
III. METODOLOGÍA

3.1. Área y periodo de estudio

El área de estudio abarcó la zona de distribución del Stock Norte-Centro de la anchoveta, desde la latitud 4°S hasta los 16° S y desde la línea de costa hasta las 100 millas náuticas (Fig. 8). La información básica para esta investigación provino de los valores de abundancia por talla por área isoparalitoral, obtenidos a partir de los datos acústicos y biométricos obtenidos de los Cruceros de Evaluación Hidroacústica realizados por el Instituto del Mar del Perú (IMARPE), entre 1996 y 2022.

Figura 8.

Área de estudio, resaltada de color gris



En este estudio se consideraron aquellos cruceros cuyos recorridos cubrieron la mayor superficie posible del área de estudio. En el Anexo 1 se presenta el listado de Cruceros

considerados, además se indica la estación del año en la cual se realizaron y las condiciones de temperatura que predominaron durante su desarrollo, en función al Índice LABCOS (Anexo 2).

3.2. Fuentes de información

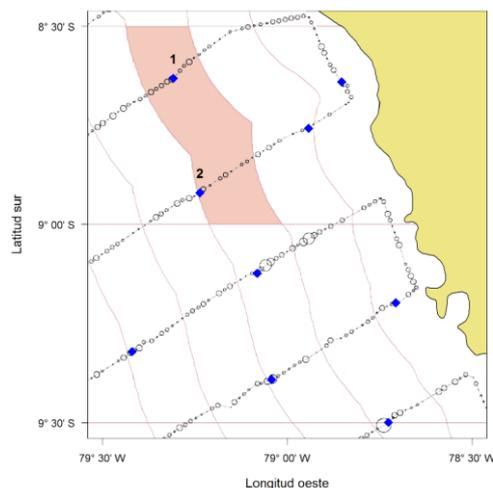
3.2.1. Datos espaciales de abundancia por talla

La información básica para desarrollar el presente trabajo fue la abundancia por tallas de la anchoveta, que se refiere al número de individuos por marca de clase, entre 2.0 y 20.0 cm de longitud total, estimado por área isoparalitoral, durante cada Crucero de evaluación acústica realizado por IMARPE.

El área isoparalitoral se refiere al cuadrilátero definido por: i) dos líneas semiverticales, paralelas entre sí, separadas por una distancia de 10 millas náuticas; y ii) dos líneas horizontales, paralelas entre sí, separados por una distancia de 30 millas náuticas, siendo ubicadas estas líneas horizontales en los minutos 0 o 30 de cada grado de latitud. De aquí en adelante, el área isoparalitoral pasará a ser mencionada simplemente como “área” (Fig. 9).

Figura 9.

Mapa que presenta el recorrido realizado por un Buque de Investigación Científica (BIC) durante un Crucero de Evaluación tipo.



Nota: Los círculos vacíos representan las ecoabundancias muestreados durante el Crucero, mientras que los rombos azules representan los lances de comprobación. Las líneas rojas delimitan las áreas isoparalitorales a partir de las cuales se inicia el proceso de estimación de las abundancias y biomasa por tallas (Fuente: IMARPE, 2020)

De manera resumida, el procedimiento utilizado por IMARPE, 2020, para estimar el número de individuos por tallas y por área isoparalitoral consistió en: i) ponderar la frecuencia de tallas observada en cada lance de comprobación a los valores de abundancia acústica (eco-abundancia) más cercana; ii) integrar todas las frecuencias de tallas (ahora ponderadas) observadas por área isoparalitoral en un solo vector de frecuencia por tallas; y iii) convertir estos datos a abundancia a la talla (en número de individuos).

3.2.2. Estadios de desarrollo considerados para el estudio

Para el presente trabajo de investigación se dividió a los individuos de la anchoveta en dos estadios, a partir los parámetros de la ojiva de madurez gonadal de la anchoveta: 1) Juveniles, como la fracción inmadura; y 2) Adultos, como la fracción madura del stock.

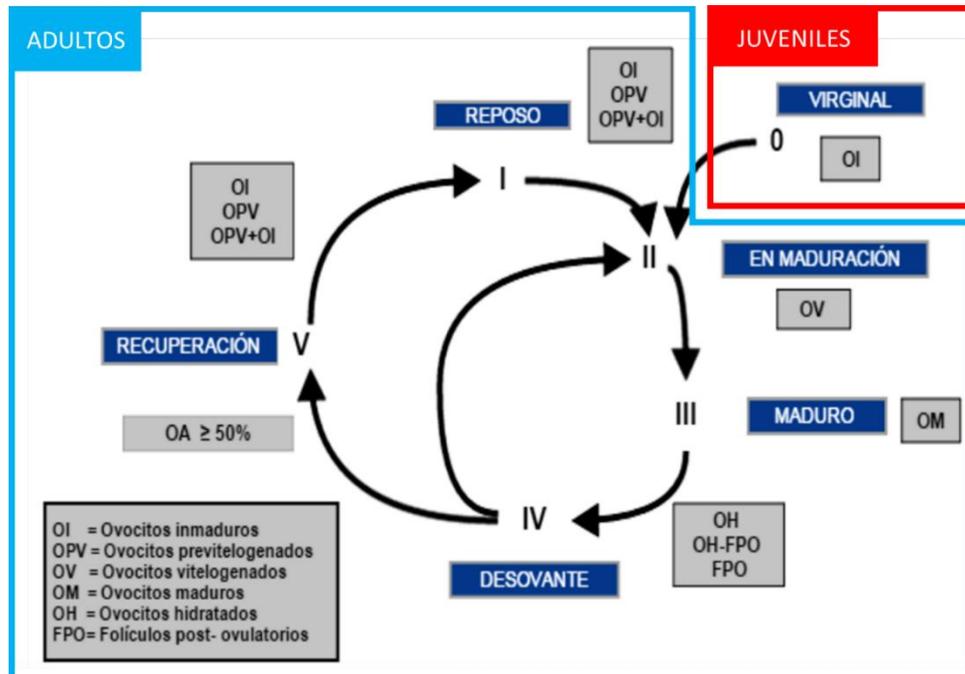
3.2.2.1. Escalas de madurez gonadal

En el Perú, se han desarrollado escalas de madurez gonadal, basadas en características macroscópicas validadas mediante cortes histológicos, para distintos recursos pelágicos (e.g. jurel (Sanchez et al. 2013), anchoveta (Buitrón et al. 2015)), con seis estadios de madurez gonadal para ambos sexos (Fig. 10), los cuales redujeron el sesgo y la incertidumbre en la determinación del estadio de madurez del individuo.

Dentro de esta escala, los individuos juveniles se encuentran en el estadio virginal o 0, mientras que los individuos adultos se encuentran a partir del estadio II o en maduración y que incluye los estadios maduros (III), desovantes (IV), en recuperación (V) y en reposo (I) (Fig. 10).

Figura 10.

Ciclo de madurez gonadal de los recursos pelágicos.



Nota: El estado virginal es considerado juveniles o inmaduros y resto de estadios son considerados adultos o maduros (IMARPE, 2016).

3.2.2.2. Separación de juveniles y adultos

La ojiva de madurez gonadal de peces es una herramienta estadística que se basa en que la proporción de individuos maduros aumenta con la edad y el tamaño de cero a cien por ciento. La curva de frecuencia acumulada de maduración se denomina ojiva de madurez y se utiliza para determinar la proporción de individuos que son maduros o inmaduros en un determinado momento (Domínguez-Petit et al., 2017).

Se utilizó la información proveniente de los Cruceros de Evaluación realizados desde 1991 a 2019, para estimar los parámetros de la ojiva de madurez sexual para el Stock Norte-Centro de la anchoveta, ajustándose a un modelo logístico a todos los datos de proporción de individuos maduros a la talla disponibles IMARPE, (2020):

$$m_l = \frac{1}{1+e^{(p-ql)}} \quad (\text{Ec.1})$$

donde

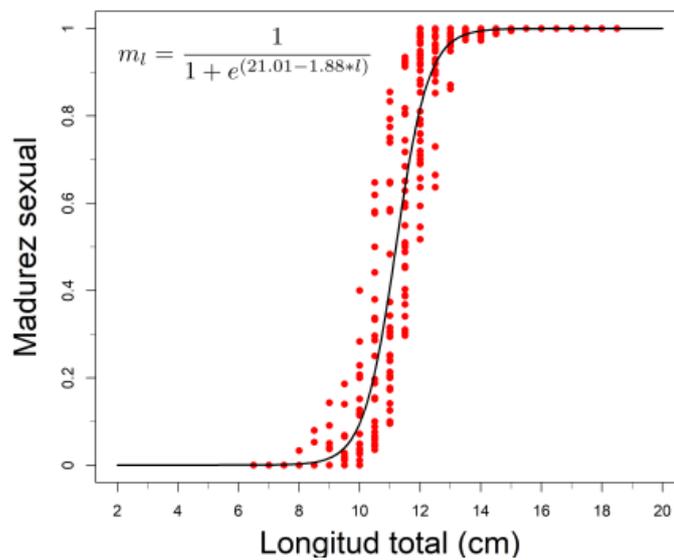
- m_l es la madurez a la talla l

- p y q son los parámetros que representan la posición y la pendiente de la ojiva respectivamente

De acuerdo con los resultados del ajuste del modelo, los parámetros promedio [cuantiles 0.025 y 0.975] de la ojiva de madurez sexual para el Stock Norte-Centro de la anchoveta son $p = 21,01$ [19.526 – 22.651] y $q = 1,88$ [1.745 – 2.022] (Figura 12, Fuente: IMARPE, (2020)).

Figura 11.

Ojiva de madurez de la anchoveta peruana.



Nota: Tomado de IMARPE, 2020.

A partir de la ojiva de madurez, se utilizaron las proporciones de individuos maduros e inmaduros (Tabla 1), para cada intervalo de talla de anchoveta, de manera que se pudo estimar la abundancia de anchoveta por: 1) Juveniles, como la fracción inmadura; y 2) Adultos, como la fracción madura del stock.

Tabla 1.

Proporción de individuos maduros e inmaduros por talla de la anchoveta

Longitud total (cm)	Proporción de individuos maduros (%)	Proporción de individuos inmaduros (%)
2	0	100
2.5	0	100
3	0	100
3.5	0	100

Longitud total (cm)	Proporción de individuos maduros (%)	Proporción de individuos inmaduros (%)
4	0	100
4.5	0	100
5	0	100
5.5	0	100
6	0	100
6.5	0	100
7	0	100
7.5	0	100
8	0	100
8.5	1	99
9	2	98
9.5	4	96
10	10	90
10.5	22	78
11	42	58
11.5	65	35
12	82	18
12.5	92	8
13	97	3
13.5	99	1
14	100	0
14.5	100	0
15	100	0
15.5	100	0
16	100	0
16.5	100	0
17	100	0
17.5	100	0
18	100	0
18.5	100	0
19	100	0
19.5	100	0
20	100	0

3.4. Estimación de indicadores espaciales

Con esta información georreferenciada de las abundancias de los juveniles y adultos, se procedió a estimar los indicadores espaciales, que caracterizan la ubicación, la ocupación del espacio y la dispersión estadística (Tabla 2). Cabe resaltar que en algunos indicadores se usaron los vectores de abundancia obtenidos por área isoparalitoral (Proporción de individuos en Región Norte, Proporción de individuos dentro de 10 mn).

El utilizar indicadores espaciales para describir y comparar el comportamiento espacial de los juveniles y adultos se fundamenta en que, en diversas partes del mundo, los indicadores espaciales se han aplicado esencialmente para estudiar la dinámica, siendo considerados como un componente integral de la gestión de pesquerías basadas en ecosistemas (Compton et al., 2012; Grüss et al., 2017; Rufino et al., 2019).

Los diez indicadores espaciales obtenidos por Crucero para los juveniles y adultos de la anchoveta se muestran en la Figura 15 y Anexos 3 y 4.

Tabla 2.

Indicadores espaciales utilizados en la investigación

Indicadores espaciales de ubicación	Indicadores espaciales de ocupación del espacio	Indicadores espaciales de dispersión estadística
- Latitud media (\hat{Y}_C - <i>Lat_mean</i>)	- Inercia de Latitud media (I_C^Y - <i>InertLat</i>)	- Índice Gini (<i>Gini</i>)
- Proporción de individuos en Región Norte (P_C^{norte} - <i>PropLat</i>)	- Inercia de Distancia a costa media (I_C^X - <i>InertDC</i>)	
- Distancia a costa media (\hat{X}_C - <i>DC_mean</i>)	- Área Positiva (A_C^+ - <i>AreaPos</i>)	
- Proporción de individuos dentro de 10 mn (P_C^{10mn} - <i>PropDC</i>)	- Área Equivalente (A_C^e - <i>AreaEq</i>)	
	- Porcentaje de Presencia (pA_C^+ - <i>pArea</i>)	

3.4.1. Indicadores espaciales de ubicación

3.4.1.1. Latitud media

La latitud media refleja la ubicación latitudinal promedio de la población (Campana et al., 2020; Woillez et al., 2009). Fue estimado de la siguiente manera:

$$\hat{Y}_C = \frac{\sum_{a=1}^n Y_a N_a}{\sum N_a} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

- \hat{Y}_C es la latitud media de juveniles o adultos estimados para el Crucero C .
- Y_a es la latitud del centroide del área a
- N_a es la abundancia de juveniles o adultos estimados para el área a (log del número de individuos)
- n es el número de áreas utilizadas para calcular el valor del indicador

3.4.1.2. Proporción de individuos en Región Norte

La proporción de individuos presentes en la Región Norte ($4^\circ 00' \text{ S} - 9^\circ 59' \text{ S}$) con relación al total de individuos presentes en toda la Región Norte-Centro, también fue propuesto como un indicador de distribución latitudinal de los juveniles y adultos.

$$P_C^{norte} = \frac{\sum N_{norte}}{\sum N} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

- P_C^{norte} es la proporción de individuos juveniles o adultos estimados para toda la Región Norte durante el Crucero C
- N_{norte} es la abundancia de juveniles o adultos estimados para la Región Norte (número de individuos)
- N es la abundancia de juveniles o adultos estimados para toda la Región Norte-Centro (número de individuos).

3.4.1.3. Distancia a costa media

La distancia a costa media refleja la ubicación horizontal promedio (con relación a la línea de la costa) de la población ponderada a la abundancia.

$$\hat{X}_C = \frac{\sum_{a=1}^n X_a N_a}{\sum N_a} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

- \hat{X}_C es la distancia a costa media de juveniles o adultos estimados para el Crucero C (en millas náuticas)
- X_a es la distancia a costa del centro de gravedad del área a (en millas náuticas)
- N_a es la abundancia de juveniles o adultos estimados para el área a (log del número de individuos)
- n es el número de áreas utilizadas para calcular el valor del indicador

3.4.1.4. Proporción de individuos dentro de 10 millas náuticas

La proporción de individuos dentro de las primeras 10 millas náuticas con relación al total de individuos, permitió evaluar el comportamiento de la anchoveta respecto a la distancia a costa, siendo estimada de la siguiente manera:

$$P_C^{10mn} = \frac{\sum N_{10mn}}{\sum N} \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

- P_C^{10mn} es la proporción de individuos juveniles o adultos estimados para las primeras 10 millas náuticas de distancia a la costa durante el Crucero C .
- N_{10mn} es la abundancia de juveniles o adultos estimados para las primeras 10 millas náuticas de distancia a la costa (número de individuos)
- N es la abundancia de juveniles o adultos estimados para toda la Región Norte-Centro (número de individuos)

3.4.2. Indicadores espaciales de ocupación del espacio

3.4.2.1. Inercia de la latitud

La inercia de la latitud refleja la dispersión espacial de la población respecto a la latitud media (Wuillez et al., 2009):

$$I_C^Y = \frac{\sum_{a=1}^n d_a^Y N_a}{\sum N_a} \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde:

- I_C^Y es la inercia latitudinal de juveniles o adultos estimados para el Crucero C (en millas náuticas)
- d_a^Y es la distancia latitudinal del centro de gravedad del área a con relación a la latitud media elevada al cuadrado (en grados cuadrados)
- N_a es la abundancia de juveniles o adultos estimados para el área a (log del número de individuos)
- n es el número de áreas utilizadas para calcular el valor del indicador

3.4.2.2. Inercia de la distancia a la costa

La inercia de la distancia a la costa representa la dispersión espacial de la población respecto a la distancia media a la costa:

$$I_C^X = \frac{\sum_{a=1}^n d_a^X N_a}{\sum N_a} \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde:

- I_C^X es la inercia en función a la distancia a la costa de juveniles o adultos estimados para el Crucero C (en millas náuticas)
- d_a^X es la distancia horizontal del centro de gravedad del área a con relación a la distancia a costa media elevadas al cuadrado (en millas náuticas cuadradas)
- N_a es la abundancia de juveniles o adultos estimados para el área a (log del número de individuos)
- n es el número de áreas utilizadas para calcular el valor del indicador

3.4.2.3. Área Positiva

El área positiva es la superficie del espacio geográfico ocupado por una población, donde las abundancia son estrictamente superiores a cero, es decir el área con presencia efectiva de la población (Woiillez et al., 2007, 2009). Se estima de la siguiente manera:

$$A_C^+ = \sum_{i=a}^n A_a, \text{ tal que } N_a > 0 \quad (\text{Ec. 8})$$

Donde:

- A_C^+ es la superficie (en millas náuticas cuadradas) ocupada por todos los individuos juveniles o adultos durante el Crucero C
- A_a es la superficie (en millas náuticas cuadradas) del área a
- N_a es la abundancia de juveniles o adultos estimados para el área a (log del número de individuos)
- n es el número de áreas utilizadas para calcular el valor del indicador

3.4.2.4. Área Equivalente

El área equivalente representa el área que sería cubierta por la población si todas las áreas tuvieran la misma abundancia de juveniles o adultos (Woiillez et al., 2007, 2009). Se estima de la siguiente manera:

$$A_C^e = \frac{(\sum_{a=1}^n A_a N_a)^2}{\sum_{a=1}^n A_a N_a^2} \quad (\text{Ec. 9})$$

Donde:

- A_C^e es el área equivalente (en millas náuticas cuadradas) ocupada por los individuos juveniles o adultos durante el Crucero C
- A_a es la superficie (en millas náuticas cuadradas) del área a
- N_a es la abundancia de juveniles o adultos estimados para el área a (log del número de individuos)
- n es el número de áreas utilizadas para calcular el valor del indicador

3.4.2.5. Porcentaje de Presencia

El porcentaje de presencia y refleja la cobertura de los juveniles y adultos durante un Crucero de Evaluación respecto al área de estudio, ya que corresponde a la razón entre el área positiva y el área de estudio. Se estima de la siguiente manera:

$$pA_C^+ = \frac{A_C^+}{A_T}, \text{ tal que } N_a > 0 \quad (\text{Ec. 10})$$

Donde:

- pA_C^+ es la proporción entre la superficie ocupada por todos los individuos juveniles o adultos y el área total evaluada durante el Crucero C
- A_C^+ es la superficie (en millas náuticas cuadradas) ocupada por todos los individuos juveniles o adultos durante el Crucero C
- A_T es la superficie total (en millas náuticas cuadradas) evaluada durante el Crucero C
- N_a es la abundancia de juveniles o adultos estimados para el área a (log del número de individuos)

3.4.3. Indicadores espaciales de dispersión estadística

3.4.3.1. Índice Gini

El índice Gini refleja la dispersión de las abundancias de juveniles y adultos en el espacio. Está basado en las curvas de Lorenz y se deriva de la socioeconomía y varía de 0 a 1 (Rindorf & Lewy, 2012). Cuanto mayor sea el valor del índice de Gini, mayor será el grado en que se concentra espacialmente (Reuchlin-Hugenholtz et al., 2015).

Toma el valor 0 cuando todas las abundancias son iguales y 1 cuando todos los individuos están registrados en una sola área isoparalitoral. En esta investigación el índice Gini fue estimado a partir del logaritmo de las abundancias mayores a cero, para evitar el efecto de las áreas sin presencia de anchoveta.

3.5. Distribución espacial de los juveniles y adultos utilizando indicadores espaciales

Una vez estimados los indicadores espaciales de los juveniles y adultos de anchoveta para cada Crucero de Evaluación Hidroacústica, se analizó la correlación entre ellos mediante un análisis de Spearman. El objetivo era identificar aquellos indicadores que describieran un comportamiento espacial similar y que, al ser utilizados conjuntamente en la fase de identificación de escenarios, aportaran redundancia (Yu & Hutson, 2020), lo que permitió reducir el número de indicadores.

Posteriormente, se evaluó la normalidad de cada indicador espacial utilizando la prueba de Anderson-Darling, una prueba estadística potente para comparar la bondad de ajuste de diferentes distribuciones de probabilidad, como la distribución Normal, a un conjunto de datos dado (Han et al., 2017).

Para los indicadores que superaron la prueba de normalidad, se aplicó una prueba F para evaluar la homocedasticidad de varianzas, utilizando un análisis de varianza (ANOVA) y calculando el estadístico de prueba F.

Se compararon las medias de los grupos de datos utilizando una prueba t de muestras independientes, mientras que para aquellos indicadores que no cumplieron los criterios de normalidad y homocedasticidad se utilizó la prueba de Wilcoxon, también conocida como prueba U de Mann-Whitney. Esta prueba compara las medianas de los grupos y es útil cuando los datos no cumplen los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas requeridos por la prueba t.

Las pruebas de comparación de medias se realizaron agregando todos los Cruceros del periodo de estudio, y luego segregándolos por estación del año (verano e invierno-primavera) y por escenario ambiental (en función al índice LABCOS: condiciones El Niño, La Niña y Neutras). El índice LABCOS, calculado a partir de promedios mensuales de las anomalías térmicas obtenidos de estaciones costeras seleccionadas, permite clasificar las condiciones térmicas imperantes en la franja costera del mar peruano en función a los eventos asociados al ciclo ENSO como El Niño y La Niña (Quispe & Vásquez, 2015).

3.5.1. Mapas de abundancia por área isoparalitoral

Con la finalidad de tener una referencia del comportamiento espacial de los juveniles y adultos juvenil y adulto, se realizarán mapas de abundancia por área isoparalitoral para cada Crucero de Evaluación analizado, de manera que se tenga una referencia del comportamiento espacial de ambos. Para ello, se utilizará los vectores de abundancias estimados según lo explicado en el punto 3.3.

Los mapas de abundancia pueden ser útiles para la gestión de la pesca, ya que pueden utilizarse para identificar zonas con gran abundancia de peces, lo que puede ser útil para diseñar zonas marinas protegidas (Sequeira et al., 2018), además, pueden proporcionar información sobre la distribución de las especies de peces, lo que puede utilizarse para apoyar las evaluaciones de las poblaciones y fundamentar las decisiones de gestión de la pesca (Cao et al., 2016; Hilborn, 2007; Rubec et al., 2023).

Asimismo, los mapas de abundancia pueden ayudar a los gestores pesqueros a comprender mejor la dinámica de las poblaciones de peces y los factores que influyen en su abundancia, como el reclutamiento, la depredación y la pesca (Sequeira et al., 2018). Esta información puede utilizarse para desarrollar estrategias de gestión más eficaces y mejorar la sostenibilidad de las pesquerías (Hilborn, 2007; Lauria et al., 2020; Sequeira et al., 2018).

3.6. Esquemas de distribución espacial de los juveniles y adultos

Utilizamos diversas técnicas multivariadas para identificar y esquematizar los escenarios de distribución espacial de juveniles y adultos, permitiéndonos analizar relaciones entre variables, construir grupos y caracterizar estos grupos mediante variables explicativas. Inicialmente, se aplicó un análisis de componentes principales (PCA) para reducir la dimensionalidad del conjunto de indicadores espaciales. Esta técnica busca separar la señal del ruido concentrándola en un conjunto más pequeño de variables no correlacionadas llamadas "componentes principales" (PC) (Greenacre & Primicerio, 2013; Timm, 2002). Posteriormente, se realizó un análisis jerárquico de conglomerados para extraer información útil de datos complejos, explorando la similitud entre observaciones y/o clusters mediante mapas de calor y dendrogramas (Amat Rodrigo, 2017; Gallardo, 2016).

Para determinar el número óptimo de clústeres, se utilizó el paquete de R llamado NbClust, que proporciona 30 índices para determinar el número adecuado de conglomerados en un conjunto de datos (Charrad et al., 2014). Una vez obtenidos los grupos, se desarrollaron

gráficos que resumen el comportamiento de los juveniles y adultos a lo largo del periodo de estudio, en función de la presencia o ausencia de individuos juveniles y adultos en cada área isoparalitoral.

Esta condición o porcentaje de presencia se calculó considerando el número de cruceros con presencia positiva de juveniles o adultos sobre el total de cruceros que pertenecen a un mismo clúster.

$$Pres_{ag} = \frac{nCr_g, \text{ tal que } N_{ag} > 0}{nCr} * 100 \quad (\text{Ec. 11})$$

Donde:

- $Nro.$ es el número de Cruceros que pertenecen al clúster C
- Z_{AIc} es la abundancia obtenida en área AI del clúster C
- $PPres_{AIc}$ es el porcentaje de presencia en el área AI del clúster C .

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Estimación y análisis de los indicadores espaciales

En los juveniles (Fig. 13a), se observó una correlación similar entre los indicadores de ubicación. *Lat_mean* y *propLat* mostraron una correlación positiva notable (+0.95) con la latitud, mientras que *DC_mean* y *propDC* exhibieron una correlación negativa (-0.95) con la distancia a la costa.

En los adultos (Fig. 13b), se evidenció una correlación significativa entre los indicadores de ubicación. Con respecto a la latitud, se observó una correlación positiva notable entre *Lat_mean* y *propLat* (+0.68), indicando que a medida que la latitud media se desplaza hacia el norte, se incrementa la abundancia de individuos al norte de los 10°S. En contraste, en relación con la distancia a la costa, se encontró una correlación negativa entre *DC_mean* y *propDC* (-0.50), lo que sugiere que, a mayores distancias a la costa, hay menos individuos dentro de las 10 millas náuticas. Además, se identificó una correlación altamente positiva entre *DC_mean* y *inertDC* (+0.96).

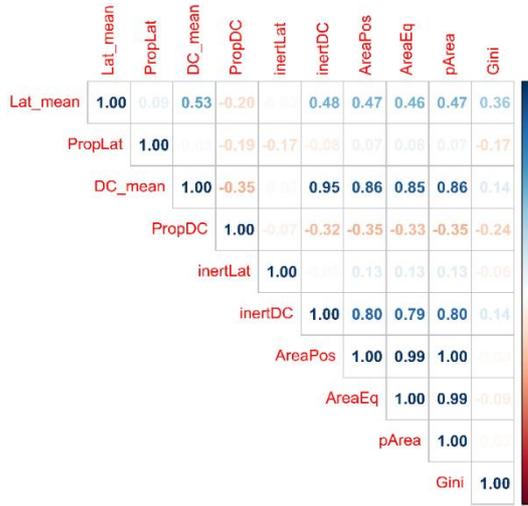
Por otro lado, *propDC* demostró una correlación negativa considerable con *AreaPos*, *AreaEq* y *pArea* (-0.93), lo que sugiere que a medida que la proporción de adultos dentro de las 10 millas náuticas aumenta, es decir, cuando están más concentrados cerca de la costa, es probable que el área total de distribución disminuya.

Además, tanto en juveniles como en adultos se observó una relación lineal perfecta (+1.00) entre *AreaPos*, *AreaEq* y *pArea*, dado que el porcentaje de presencia es esencialmente el área positiva dividida por el área total de estudio.

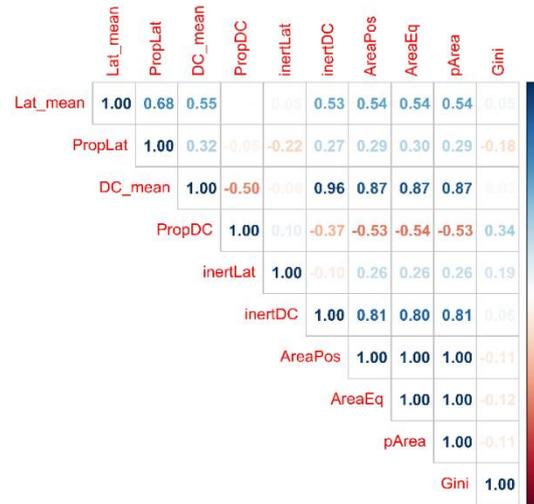
Figura 13.

Análisis de Correlación de Spearman realizado a los indicadores espaciales de (a) juveniles y (b) adultos

(a) Juveniles



(b) Adultos

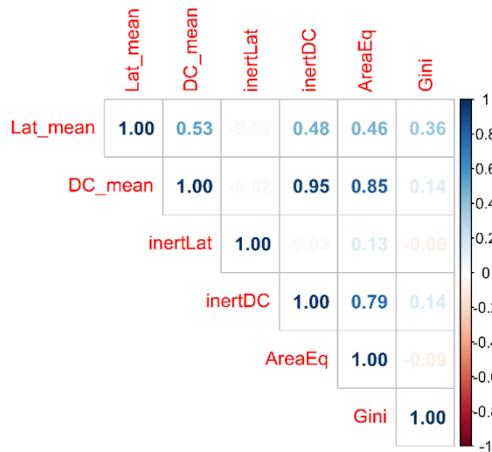


En vista de estos resultados, se decidió reducir a seis el número de indicadores utilizados para evaluar las diferencias espaciales entre juveniles y adultos (Fig. 14). Estos seis indicadores reflejan la ubicación (latitud y distancia media a la costa), la ocupación del espacio (área equivalente, inercia de la latitud e inercia de la distancia a la costa) y la dispersión estadística (índice Gini) de juveniles y adultos. Estos indicadores se consideran fundamentales para cuantificar el estado de las especies y los ecosistemas, así como para comprender los impactos de los cambios climáticos y antropogénicos, y la ecología de las especies (Rufino et al., 2018).

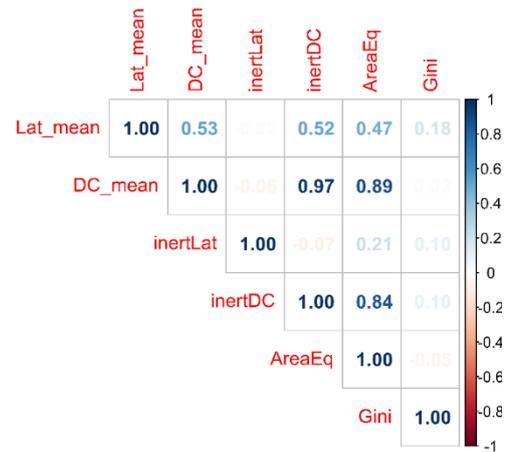
Figura 14.

Correlación de Spearman realizado a los indicadores espaciales seleccionados de (a) juveniles y (b) adultos

(a) Juveniles



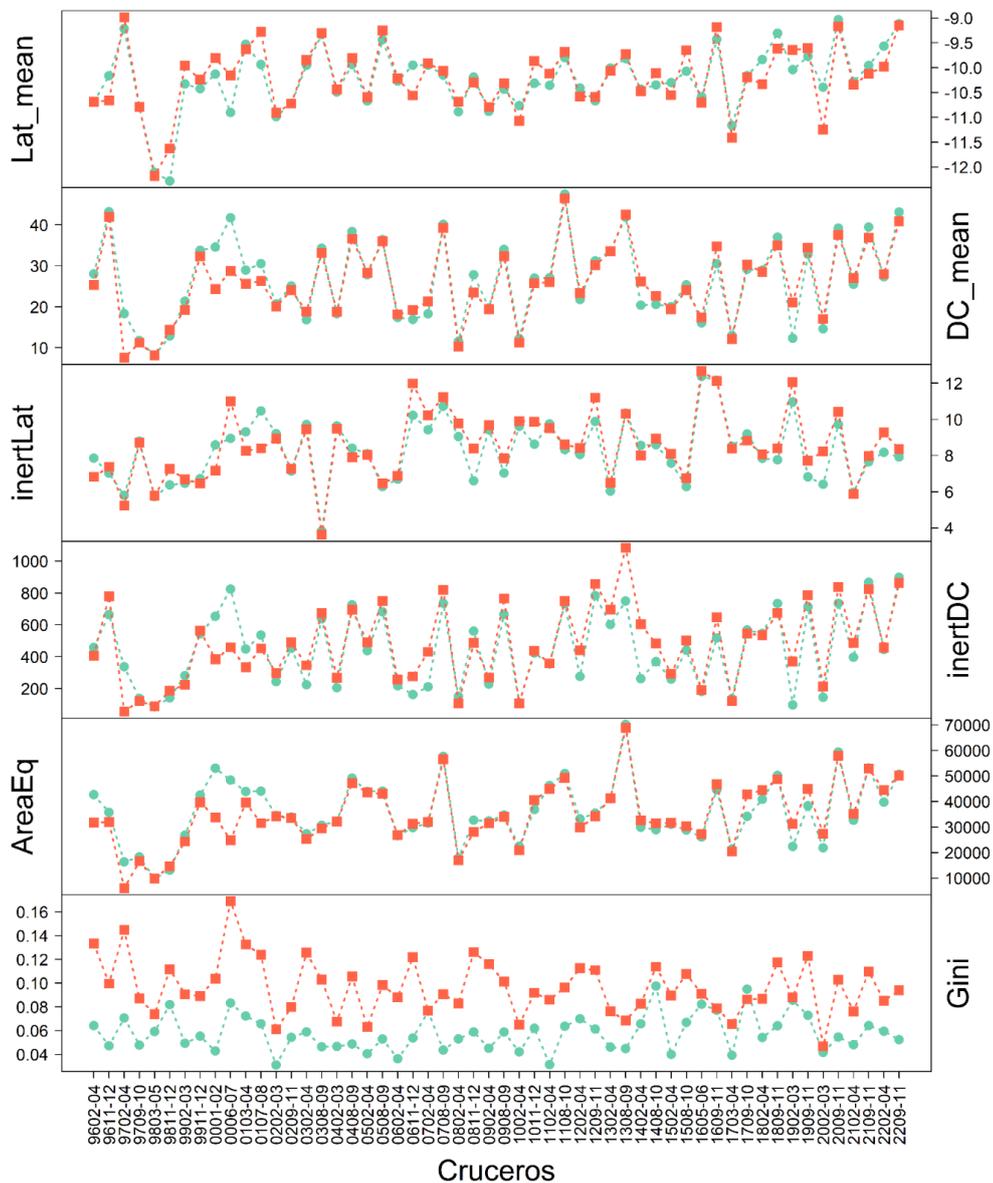
(b) Adultos



Al explorar estos indicadores a escala temporal, se observó que en los índices de ubicación, relacionadas a la latitud y distancia a costa, resalta Evento El Niño 1997-98, en donde tanto los juveniles como los adultos de anchoveta se desplazaron hacia el sur y se acercaron hacia la costa de manera notoria y diferenciada al resto de la serie. En los indicadores de ocupación del espacio, relacionados a la inercia y al área ocupada, resalta que, en los últimos años, las diferencias relacionadas a la estación en las cuales se desarrollan los Cruceros de Evaluación, con valores de inercia y áreas ocupadas mayores en invierno-primavera que en verano. Mientras que el índice Gini, que refleja la dispersión, no presentó cambios notorios a lo largo del tiempo ni para los juveniles, como para los adultos (Fig. 15).

Figura 15.

Serie temporal de indicadores espaciales de juveniles (color rojo) y adultos (color verde)



4.2. Comparación de la distribución espacial de los juveniles y adultos

Luego de la comprobación de los supuestos de homogeneidad y homocedasticidad de variancias (Anexo 5 y 6), se determinaron las pruebas de comparación de medias a aplicar a cada indicador espacial, para evaluar las diferencias espaciales entre juveniles y adultos.

Teniendo en consideración todos los Cruceros de Evaluación del periodo de estudio, el único indicador que muestra diferencias significativas ($p\text{-value} < 0.05$) en la distribución de juveniles y adultos es el indicador Gini, con valores más altos en los juveniles respecto a los adultos (Tabla 3). Asimismo, este indicador no presenta correlación con los otros indicadores espaciales (Fig. 14), debido a que éste no considera los aspectos espaciales *per se*, como ubicación u ocupación del espacio, sino la dispersión estadística de las abundancias que presentan los juveniles y adultos a lo largo del litoral peruano.

Tabla 3.

Resultados de pruebas estadísticas realizadas para comparar el comportamiento espacial de los juveniles y adultos, para todo el periodo de estudio

Variable	Prueba Estadística	Rango Adultos	Rango Juveniles	p-value	Signif.
Lat_mean	t-test	12.28 - 9.03 °S	12.18 - 8.99 °S	0.791453	NO
DC_mean	t-test	8.18 - 47.52 mn	7.51 - 46.46 mn	0.700391	NO
inertLat	t-test	3.83 - 12.38 °2	3.62 - 12.68 °2	0.448033	NO
inertDC	Wilcoxon	86.26 - 898.67 mn ²	56.61 - 1083.97 mn ²	0.512864	NO
AreaEq	t-test	9812.51 - 70172.41 mn ²	6024.15 - 68855.14 mn ²	0.613606	NO
Gini	Wilcoxon	0.03 - 0.1	0.05 - 0.17	2.16E-14	SI

Este análisis nos indica que, a lo largo del periodo de estudio, no existen diferencias respecto a los indicadores que reflejan la ubicación y la ocupación del espacio por parte de los juveniles y adultos, sin embargo, se puede indicar, a partir de las diferencias en el Gini, que los adultos presentan una distribución más homogénea a lo largo de la costa peruana, mientras que los juveniles tienen a formar agregaciones en áreas puntuales.

No existen estudios que comparen la distribución espacial de juveniles y adultos de la anchoveta peruana (*Engraulis ringens*). Un trabajo similar, aunque no comparable, por

tratarse de un recurso demersal, como la merluza europea (*Merluccius merluccius*), fue el de Woillez et al., (2007) que utilizó indicadores espaciales para identificar patrones en la distribución espacial de diferentes grupos de edad de en la bahía de Vizcaya. Sus resultados muestran, cambios ontogénicos en el comportamiento espacial, ocurriendo un quiebre a la edad de 3 años, pasando de ubicarse dentro de la plataforma y de manera más costera a distribuirse preferentemente en el borde de la plataforma continental.

4.2.1. Diferencias a nivel estacional

Considerando los meses en los cuales se realizaron los Cruceros de Evaluación, éstos se pudieron agrupar en 27 Cruceros en verano y 27 en invierno-primavera. Una vez segregados, se evaluaron las diferencias espaciales entre juveniles y adultos a nivel estacional, lo cual se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4.

Resultados de pruebas estadísticas realizadas para comparar el comportamiento espacial de los juveniles y adultos, segregados estacionalmente

(a) Verano

Variable	Prueba Estadística	Rango Adultos	Rango Juveniles	p-value	Signif.
Lat_mean	t-test	12.11 - 9.21 °S	12.18 - 8.99 °S	0.834510	NO
DC_mean	t-test	8.18 - 34.59 mn	7.51 - 33.53 mn	0.889474	NO
inertLat	t-test	5.73 - 12.38 °2	5.24 - 12.68 °2	0.841518	NO
inertDC	Wilcoxon	86.26 - 653.70 mn ²	56.61 - 696.26 mn ²	0.409381	NO
AreaEq	t-test	9812.51 - 53069.55 mn ²	6024.15 - 44976.07 mn ²	0.699576	NO
Gini	Wilcoxon	0.03 - 0.09	0.05 - 0.14	1.34E-08	SI

(b) Invierno-primavera

Variable	Prueba Estadística	Rango Adultos	Rango Juveniles	p-value	Signif.
Lat_mean	t-test	12.28 - 9.03 °S	11.19 - 9.15 °S	0.563846	NO
DC_mean	t-test	11.72 - 47.52 mn	11.18 - 46.46 mn	0.632399	NO
inertLat	t-test	3.83 - 12.17 °2	3.62 - 12.13 °2	0.404039	NO
inertDC	Wilcoxon	137.34 - 898.67 mn2	121.96 - 1083.97 mn2	0.570981	NO
AreaEq	t-test	13093.42 - 70172.41 mn2	14611.75 - 68855.14 mn2	0.703325	NO
Gini	Wilcoxon	0.04 - 0.10	0.07 - 0.17	1.51E-11	SI

Al igual que en el análisis global, el indicador Gini muestra diferencias significativas (p -valor < 0.05) en la distribución de juveniles y adultos, siendo más altos en los juveniles en ambas épocas del año (Tabla 4). Este hallazgo resalta la mayor heterogeneidad en la distribución espacial de los juveniles en comparación con los adultos, lo cual podría indicar una estructura poblacional más dispersa y menos uniforme en los juveniles.

Por otro lado, los indicadores que reflejan la ubicación frente al litoral peruano (Lat_Mean y DC_Mean) no muestran diferencias significativas entre juveniles y adultos, ni entre verano e invierno-primavera. Este amplio espectro latitudinal en la distribución de la anchoveta está estrechamente ligado a la extensión de las Aguas Costeras Frías (ACF), con presencia de núcleos de alta densidad a lo largo del litoral peruano que pueden estar interconectados (Bertrand et al., 2004; Zuta & Guillén, 1970; Díaz, 2017).

Sin embargo, se observan diferencias estacionales en la distancia a costa, siendo mayor y presentando un rango más amplio en invierno-primavera que durante el verano para ambos estadios. Esta mayor dispersión estacional en la ocupación del espacio (AreaEq) y la distancia a costa puede estar relacionada con la mayor abundancia de alimento en condiciones frías, lo que lleva a una expansión del stock de anchoveta para explotar los recursos disponibles (Ayón et al., 2008; Barra et al., 2015).

Los resultados sugieren que, a nivel estacional, la distribución de juveniles y adultos no presenta diferencias significativas, como se observa en todo el periodo de estudio. No obstante, se evidencian diferencias estacionales en el comportamiento espacial de la anchoveta, particularmente en la distancia a costa media, área equivalente y Gini. Estos

patrones pueden estar influenciados por variaciones estacionales en las estructuras físicas que afectan el comportamiento espacial de la anchoveta (Grados et al., 2016).

Investigaciones anteriores, como las de Joo et al. (2014) y Moron et al. (2019), respaldan estos hallazgos al identificar escenarios que reflejan condiciones estacionales relacionadas con los indicadores espaciales. Durante el verano, el hábitat preferido de la anchoveta es más restringido, lo que lleva a una agregación en zonas cercanas a la costa. En contraste, en condiciones frías, el hábitat preferido es más amplio y el stock tiende a dispersarse, posiblemente como una estrategia para evitar la competencia intraespecífica y aprovechar mejor los recursos disponibles (Barra et al., 2015).

4.2.2. Efecto de las condiciones ambientales sobre la distribución de juveniles y adultos

Considerando los meses en los cuales se realizaron los Cruceros de Evaluación y teniendo en cuenta el índice LABCOS, se pudieron categorizar según las condiciones ambientales presentes frente al litoral peruano de la siguiente manera: 26 Cruceros se desarrollaron en condiciones Neutras, 12 Cruceros en condiciones Niño y 16 Cruceros en condiciones Niña.

Al igual que en el análisis global, el indicador Gini muestra diferencias significativas (p -valor < 0.05) en la distribución de juveniles y adultos, siendo más altos en los juveniles independientemente de las condiciones ambientales predominantes (Tabla 5). Este hallazgo refuerza lo observado en los dos análisis previos, donde se evidencia una mayor heterogeneidad en la distribución espacial de los juveniles en comparación con los adultos, Sin embargo, durante las condiciones Niño, se observa que los valores de distancia a costa media son menores que cuando se presentan condiciones Niña y Neutras. Esto podría deberse a la reducción de la extensión de las ACF que ocurren durante estos eventos (Bertrand et al., 2014), lo cual reduce el hábitat de la anchoveta y conlleva a una mayor mortalidad natural (Pauly & Tsukayama, 1987), lo que a su vez podría generar una disminución en el tamaño de las agregaciones de la población en general de anchoveta (Moron et al., 2019).

A pesar de que las condiciones ambientales predominantes, los juveniles y adultos no presentaron diferencias significativas en los demás indicadores espaciales, se destacan las diferencias en el comportamiento espacial de la anchoveta, como se refleja en la distancia a costa media, el área equivalente Estos resultados pueden ser explicados por los cambios en

las condiciones ambientales durante los eventos cálidos y de enfriamiento, que fueron esquematizados por Gutiérrez et al., (2011), donde expresa las diferencia entre la distribución más extensa y más dispersa de la anchoveta en el escenario fríos, relativa a la distribución reducida en el escenario cálidos, y que se encuentra altamente relacionada con los cambios en la distribución de las ACF y que están relacionadas con los procesos de afloramiento (Bertrand et al., 2014).

Además, Moron et al., (2019), con un enfoque basado en el comportamiento espacial de la anchoveta, identificó un escenario que reflejaban las condiciones Niño, caracterizado por una alta temperatura superficial del mar, menor productividad primaria y reducción extrema en la extensión de las ACF (Ayón et al., 2008; Bertrand et al., 2014), afectan negativamente en el hábitat preferido de la anchoveta. Esto guarda relación con lo expuesto por los indicadores espaciales para este escenario.

Otro punto a considera es que teniendo en cuenta que en el comportamiento espacial de la anchoveta está ligado a su respuesta frente a las condiciones ambientales, el cambio climático puede tener múltiples efectos en este pequeño pelágico, con consecuencias potenciales para la distribución espacial, pues Oliveros & Shin, 2023 indicaron que en un escenario de vías de concentración representativas (RCP) pesimista, la anchoveta presentaría un desplazamiento espacial de la población hacia el sur y hacia zonas más costeras. zonas costeras, con un colapso a mediados de siglo XXI. En la misma sintonía, Silva et al., 2016 mencionan que el cambio climático está afectando negativamente a la pesca industrial de la anchoveta en la región norte de Chile, ya que el aumento de la temperatura de la superficie del mar reduce las capturas. Comprender estos cambios es crucial para desarrollar estrategias de gestión eficaces y garantizar la sostenibilidad a largo plazo de las poblaciones de anchoveta peruana y los ecosistemas que habitan.

Tanto los análisis integrales o disgregados por condiciones ambientales o estacionales demostraron que no existen diferencias en la distribución espacial de juveniles y adultos, independientemente de la estacionalidad o escenarios ambientales, salvo en la manera de ocupar el espacio (Gini), con los juveniles ocupando el espacio de manera más heterogénea o desigual frente al litoral peruano que los adultos.

Las diferencias entre juveniles y adultos, en términos del índice Gini que refleja la dispersión estadística entre ambos grupos, podrían relacionarse con hallazgos similares en otras especies, como el *Engraulis encrasicolus* de la bahía de Vizcaya, donde se observaron

distintos patrones de retrodispersión acústica entre juveniles y adultos (Boyra et al., 2020). Estos resultados respaldan la noción de que las diferencias en la manera en cómo se distribuyen los juveniles y los adultos.

Tabla 5.

Resultados de pruebas estadísticas realizadas para comparar el comportamiento espacial de los juveniles y adultos, segregados por condiciones ambientales

(a) Condiciones neutras

Variable	Prueba Estadística	Rango Adultos	Rango Juveniles	p-value	Signif.
Lat_mean	t-test	12.28 - 9.03 °S	11.63 - 9.15 °S	0.704277	NO
DC_mean	t-test	11.55 - 47.52 mn	10.30 - 46.46 mn	0.782207	NO
inertLat	t-test	3.82 - 12.17 °2	3.62 - 12.13 °2	0.567309	NO
inertDC	Wilcoxon	112.03 - 898.67 mn2	106.65 - 863.21 mn2	0.592224	NO
AreaEq	t-test	13093.42 - 59398.11 mn2	14611.75 - 57876.91 mn2	0.627350	NO
Gini	Wilcoxon	0.04 - 0.10	0.06 - 0.17	1.13E-08	SI

(b) Condiciones Niño

Variable	Prueba Estadística	Rango Adultos	Rango Juveniles	p-value	Signif.
Lat_mean	t-test	12.11 - 9.21 °S	12.18 - 8.99 °S	0.799143	NO
DC_mean	t-test	8.18 - 37.02 mn	7.51 - 35.02 mn	0.950068	NO
inertLat	t-test	5.73 - 12.38 °2	5.24 - 12.68 °2	0.648797	NO
inertDC	Wilcoxon	86.26 - 734.38 mn2	56.61 - 674.20 mn2	0.798745	NO
AreaEq	t-test	9812.51 - 50232.87 mn2	6024.15 - 48685.26 mn2	0.951796	NO
Gini	Wilcoxon	0.03 - 0.09	0.05 - 0.14	2.91E-03	SI

(c) *Condiciones Niña*

Variable	Prueba Estadística	Rango Adultos	Rango Juveniles	p-value	Signif.
Lat_mean	t-test	10.88 - 9.57 °S	10.79 - 9.73 °S	0.586546	NO
DC_mean	t-test	16.84 - 41.90 mn	18.13 - 42.48 mn	0.691877	NO
inertLat	t-test	5.97 - 10.73 °2	5.87 - 11.23 °2	0.825236	NO
inertDC	Wilcoxon	217.30 - 783.13 mn2	223.68 - 1083.97 mn2	0.867208	NO
AreaEq	t-test	26643.13 - 70172.41 mn2	24301.27 - 68855.14 mn2	0.671279	NO
Gini	Wilcoxon	0.03 - 0.06	0.07 - 0.13	3.33E-09	SI

La falta de diferencias en el área equivalente entre juveniles y adultos podría atribuirse al método de estimación que emplea la ojiva de madurez en lugar de una talla mínima fija de 12 cm. Al adoptar este enfoque biológico en lugar de uno puramente pesquero, se logra una diferenciación más precisa entre juveniles y adultos, lo que refleja mejor el comportamiento reproductivo de la anchoveta a lo largo de su ciclo vital. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el indicador de área equivalente es sensible a las bajas abundancias, lo que podría influir en la falta de diferencias significativas entre ambos estadios.

La falta de diferencias espaciales entre juveniles y adultos en su ubicación y uso del espacio resulta en una alta interacción entre ambos grupos durante las temporadas de pesca. Esta situación ha impulsado la propuesta de varias medidas de control para mitigar estas interacciones, destacando el ajuste del tamaño de malla y la tolerancia hacia individuos por debajo de la talla mínima legal. Sin embargo, estas medidas han generado descartes durante las operaciones de pesca, lo que llevó a la implementación del DS 024-2016. Esta regulación tenía como objetivo sincerar las capturas de juveniles, eximiendo de multas a las embarcaciones que informaran la proporción de individuos por debajo de la talla legal, con el fin de mejorar la eficacia de los cierres espaciales.

A pesar de estos esfuerzos, la problemática de la captura de juveniles persiste, lo que ha llevado a la necesidad de mejoras tecnológicas en las redes y equipos selectores de tallas, así como la extensión de los períodos de cierre temporal, tomando como referencia las prácticas exitosas de la Unión Europea en la protección de sus recursos marinos.

4.2.3. Mapas de abundancia por área isoparalitoral para juveniles y adultos

Los mapas de abundancia de juveniles y adultos proporcionan una información invaluable para la gestión pesquera al identificar hábitats juveniles y posibles zonas de cría, enriqueciendo así la comprensión de los patrones de población de adultos y mejorando el seguimiento de los juveniles. Ejemplos como el estudio llevado a cabo por Galaiduk et al. (2018), que creó mapas de puntos calientes para la biomasa acumulada de adultos sexualmente maduros, juveniles y abundancia acumulada prevista de tres especies de estudio, demuestran la utilidad de esta herramienta. Además, investigaciones como la realizada por Tolimieri et al. (2020), que cuantificó la distribución espacial y la abundancia de peces juveniles para identificar hábitats de reclutamiento, subrayan su importancia para comprender y gestionar eficazmente las poblaciones marinas.

En este estudio, se generaron mapas de abundancia por área isoparalitoral de juveniles y adultos, proporcionando una visión detallada de su distribución. Se observó que los juveniles exhibieron una variabilidad temporal en su distribución, mostrándose consistentemente en la zona entre los 6 y 14°S, con un aumento en las abundancias y distribución a lo largo del litoral en los últimos años. Se evidenció un patrón estacional, con una expansión durante los meses más fríos y una compresión hacia la costa durante los veranos (Fig. 16). Por otro lado, los adultos se distribuyeron en casi todo el litoral, con abundancias relativamente homogéneas y un patrón estacional similar al de los juveniles (Fig. 17).

Resalta notoriamente la diferencia en el indicador espacial Gini en estos mapas, evidenciando una mayor heterogeneidad en la distribución de los juveniles en comparación con los adultos a lo largo del tiempo. Este patrón estacional también se refleja en los indicadores espaciales de ubicación y ocupación del espacio, donde se observa una mayor proximidad a la costa y menor inercia durante los veranos para ambos estadios, en contraste con el invierno y la primavera. Es esencial destacar el impacto del fenómeno del Niño 97-98 en ambos estadios, con una distribución espacial replegada hacia la costa durante este período. Estos hallazgos subrayan la influencia de los factores ambientales estacionales en la distribución de la anchoveta peruana y su relevancia para la conservación marina y la gestión pesquera sostenible.

En resumen, estos mapas de abundancia que muestran la distribución de juveniles y adultos reflejan de manera significativa lo observado mediante los indicadores, ofreciendo una herramienta valiosa para la gestión de la pesca y el monitoreo de las poblaciones de peces. Por lo tanto, es crucial seguir explorando sus potenciales usos con el fin de generar una mejor

comprensión de la dinámica espacial de ambos estadios. Esto es fundamental para desarrollar medidas de manejo más efectivas que promuevan la conservación marina y la sostenibilidad pesquera.

Figura 16.

Mapa de abundancia de juveniles por área isoparalitoral para cada Crucero de Evaluación realizado durante el periodo de estudio

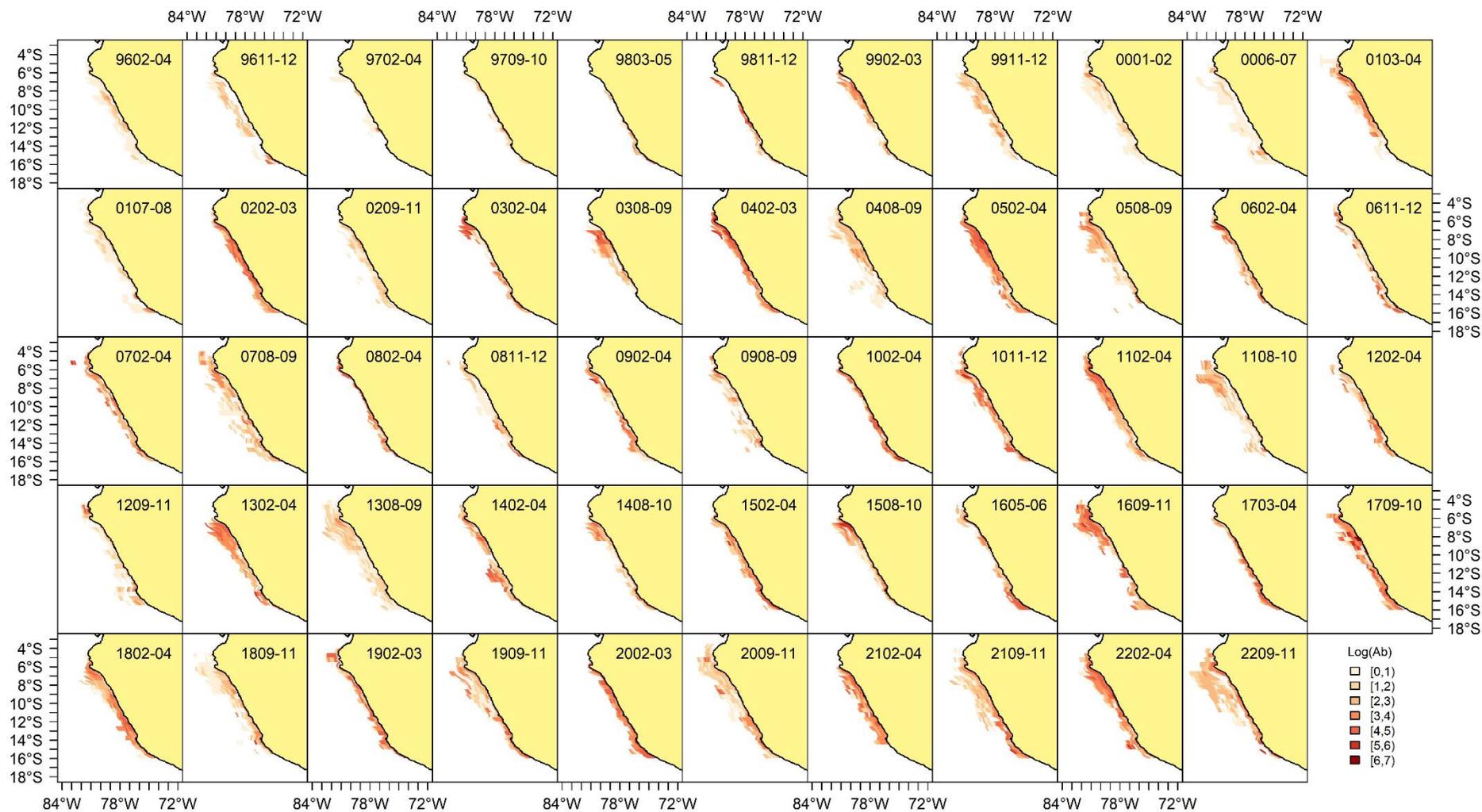
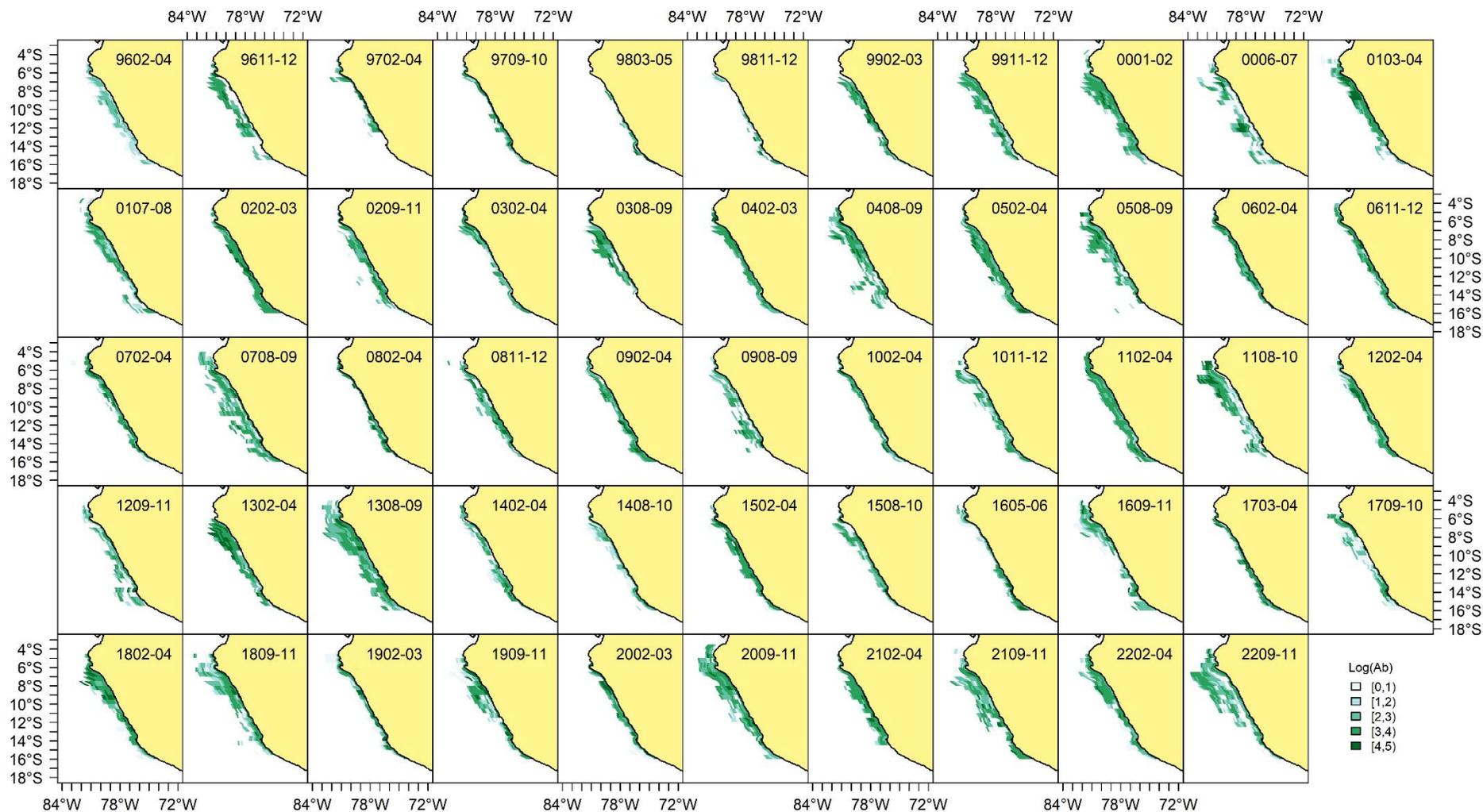


Figura 17.

Mapa de abundancia de adultos por área isoparalitoral para cada Crucero de Evaluación realizado durante el periodo de estudio.



4.3. Esquema de distribución espacial de los diferentes juveniles y adultos y sus cambios a lo largo del tiempo

4.3.1. Esquema de los Juveniles

4.3.1.1. Análisis de componentes principales

La Tabla 6 presenta la varianza explicada por cada componente y en ella se puede ver que seis componentes explicaron el 100% de la varianza de los datos. De estos, se seleccionaron solamente los primeros dos componentes, dado que fueron mayores que el autovalor medio, que es 1.

Tabla 6.

Análisis de la varianza explicada por cada componente principal del PCA de los indicadores espaciales de los juveniles

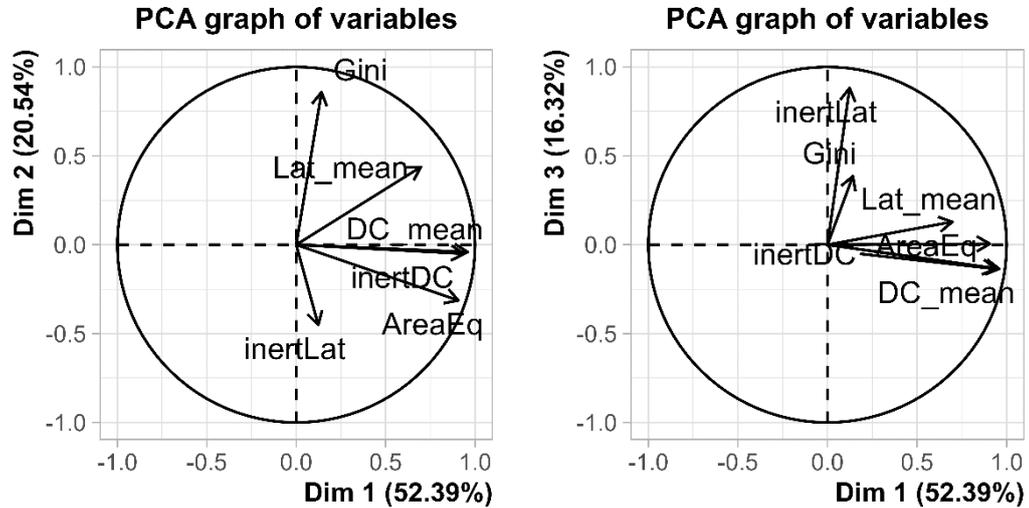
Componente	Autovalores	Varianza (%)	Varianza acumulada (%)
PC 1	3.14	52.39	52.39
PC 2	1.23	20.54	72.94
PC 3	0.98	16.32	89.25
PC 4	0.47	7.78	97.03
PC 5	0.13	2.12	99.15
PC 6	0.05	0.85	100

El primer componente, que capturó el 52.39% de la varianza total, mostró una asociación con la distancia media a la costa, su inercia correspondiente y el área equivalente (Fig. 18). En este contexto, valores elevados en este componente indican cruceros en los cuales los juveniles exhiben áreas equivalentes y distancias medias a la costa más amplias.

Por otro lado, el segundo componente, que explicó el 20.54% de la varianza total (Fig. 18), estuvo relacionado con el Índice Gini (Tabla 6), que refleja la dispersión estadística de las abundancias de juveniles. En este caso, valores altos en este componente sugieren cruceros en los cuales los juveniles presentaron abundancias más concentradas en pocos espacios. En conjunto, estos dos componentes explicaron el 72.94% de la variabilidad observada en los datos.

Figura 18.

Indicadores espaciales de los juveniles proyectados en el espacio de los componentes principales



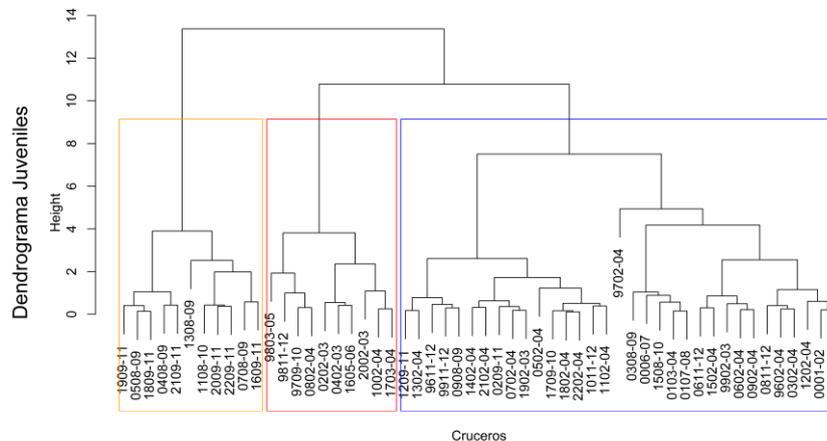
Nota: Proyección de los componentes 1 y 2 (izq.) y componentes 1 y 3 (der.)

4.3.1.2. Análisis clúster

Una vez completado el PCA, se llevó a cabo el análisis de clúster utilizando los scores derivados de los dos componentes retenidos. Este análisis inicial determinó tres clústeres como el número óptimo. Posteriormente, se generaron boxplots para los indicadores espaciales de los Cruceros de Evaluación en cada clúster, permitiendo así observar las características distintivas de cada uno (Fig. 19).

Figura 19.

Dendrograma obtenido del Análisis Clúster Jerárquico para los juveniles.



Nota: El cuadro azul representa el clúster 1, el rojo el clúster 2 y el anaranjado el clúster 3.

Los resultados del análisis identificaron tres escenarios espaciales para los juveniles, que se evaluaron en función de las condiciones ambientales (Niño, Niña, Neutro), las estaciones del año (verano, invierno-primavera) y los niveles de abundancia de juveniles (bajos, medios, altos) durante los Cruceros (Tabla 7 y 8). Estos escenarios se visualizaron mediante mapas que representaban el comportamiento espacial para cada uno de ellos (Fig. 26).

Tabla 7.

Características de los clústeres estimados para los juveniles, expresado en porcentaje de los Cruceros de Evaluación, de acuerdo con la abundancia de juveniles, condiciones ambientales y estacionales

		Clusters		
		1	2	3
Condiciones ambientales	Cond. Neutras	42.4	40.0	72.7
	Cond. Niña	42.4	0.0	18.2
	Cond. Niño	15.2	60.0	9.1
	Total	100.0	100.0	100.0
Estaciones	Prim-Inv	42.4	20.0	100.0
	Verano	57.6	80.0	0.0
	Total	100.0	100.0	100.0
Abundancia de Juveniles	Bajo	33.3	20.0	45.5
	Medio	48.5	60.0	36.4
	Alto	18.2	20.0	18.2
	Total	100.0	100.0	100.0

Tabla 8.

Características de los factores estudiados, expresado en porcentaje de los Cruceros de Evaluación, de acuerdo con cada clúster estimados para los juveniles.

		Clusters			
		1	2	3	Total
Condiciones ambientales	Cond. Neutras	53.8	15.4	30.8	100.0
	Cond. Niña	87.5	0.0	12.5	100.0
	Cond. Niño	41.7	50.0	8.3	100.0
Estaciones	Prim-Inv	51.9	7.4	40.7	100.0
	Verano	70.4	29.6	0.0	100.0
Abundancia de Juveniles	Bajo	61.1	11.1	27.8	100.0
	Medio	61.5	23.1	15.4	100.0
	Alto	60.0	20.0	20.0	100.0

El primer escenario representó aproximadamente al 62.26% del total de Cruceros de Evaluación, de los cuáles el 42.4% se desarrollaron en condiciones neutras y más del 45% presentaron abundancias de juveniles medias (Tabla 7).

En este clúster, se observa que los indicadores espaciales suelen presentar valores intermedios respecto a los otros dos escenarios (Fig. 20). Asimismo, se identificaron áreas recurrentes principalmente cerca a costa, ya que se puede apreciar una gradiente respecto a la distancia a costa en el porcentaje de presencia de juveniles (Fig. 22).

Al observar esta variabilidad en la distribución aunada a que las condiciones ambientales y temporales, nos lleva a considerar este escenario como el de “condiciones promedio” para los juveniles.

El segundo escenario integra 10 Cruceros de Evaluación, de los cuales el 60% de los Cruceros fueron en condiciones Niño y el 80% fueron en verano (Tabla 7), presentando mayores valores del índice LABCOS que los otros escenarios (Anexo 7).

Al analizar el comportamiento de los indicadores dentro de este clúster, se observa que los menores valores de área equivalente y distancia a costa media, una latitud media más al hacia el sur que los otros dos escenarios (Fig. 20). Asimismo, viendo la serie temporal, resalta el Evento el Niño 1997-98 (Fig. 21).

Además, al observar el mapa de porcentaje de presencia, presentar una distribución espacial limitada y en donde no se identificaron áreas recurrentes (Fig. 26). Al observar esta variabilidad en la distribución aunada a que las condiciones ambientales, nos lleva a considerar este escenario como “condiciones adversas” para los juveniles.

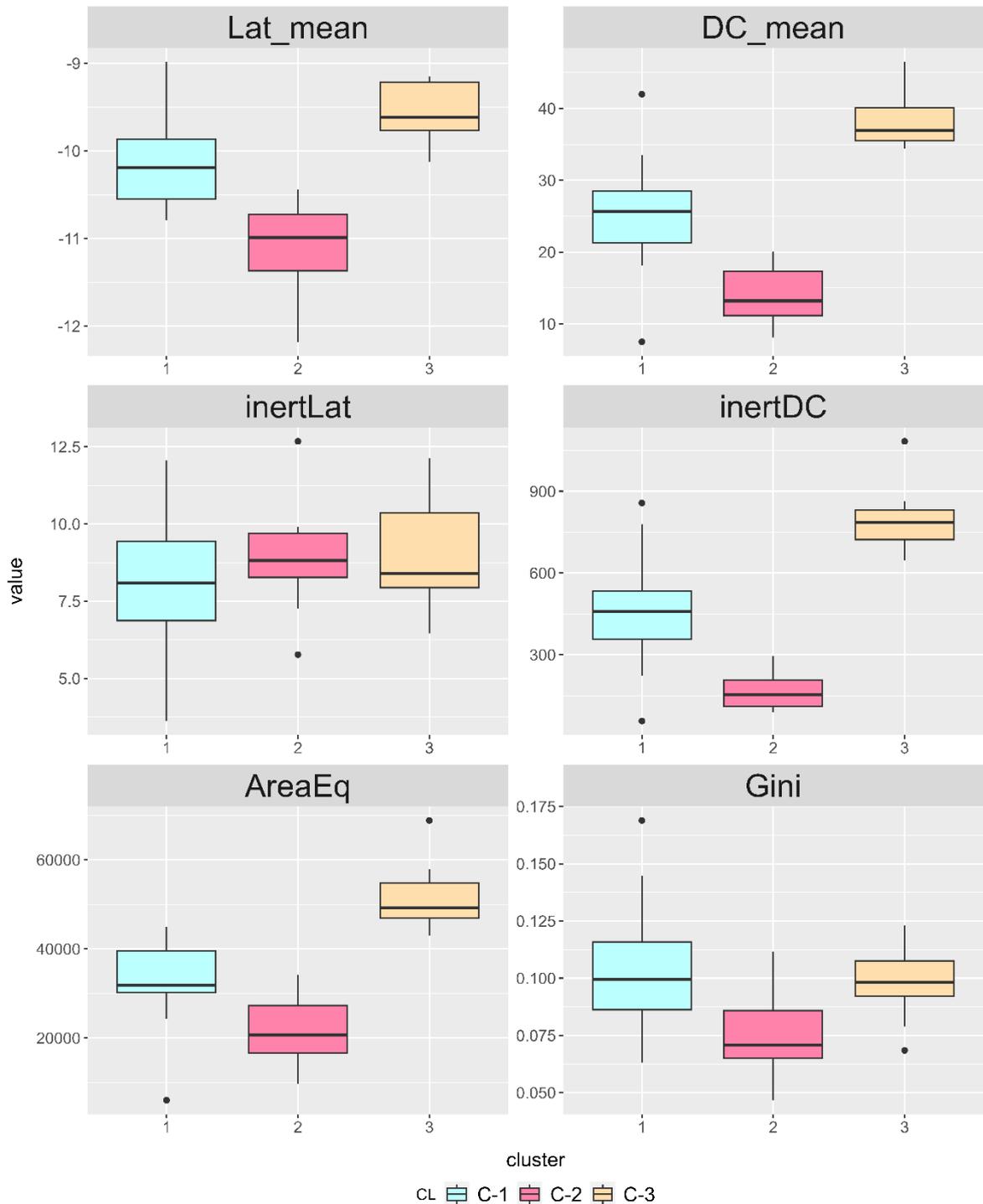
El tercer escenario, al igual que el segundo, integra a 11 Cruceros de Evaluación, de los cuáles el 70% de los Cruceros de Evaluación presentaron condiciones ambientales Niña (Tabla 7), no hay Cruceros realizados en verano (Tabla 8), presentando los menores valores del índice LABCOS que los otros escenarios (Anexo 7).

Al analizar el comportamiento de los indicadores dentro de este clúster, se observa los mayores valores de área equivalente y distancia a costa media, asimismo, presentan una latitud media más boreal que los otros dos clústeres. (Fig. 20). Asimismo, viendo la serie temporal, resalta que el 50% de los Cruceros de este clúster se realizaron en los últimos años (Fig. 21).

Además, lo expresado por indicadores se ve reflejado en el mapa de porcentaje de presencia correspondiente, donde presentan una mayor área de distribución y donde se identificaron áreas recurrentes, especialmente al norte de los 10°S (Fig. 22). Al observar este comportamiento en la distribución aunada a que las condiciones ambientales, nos lleva a considerar este escenario como “condiciones favorables” para los juveniles.

Figura 20.

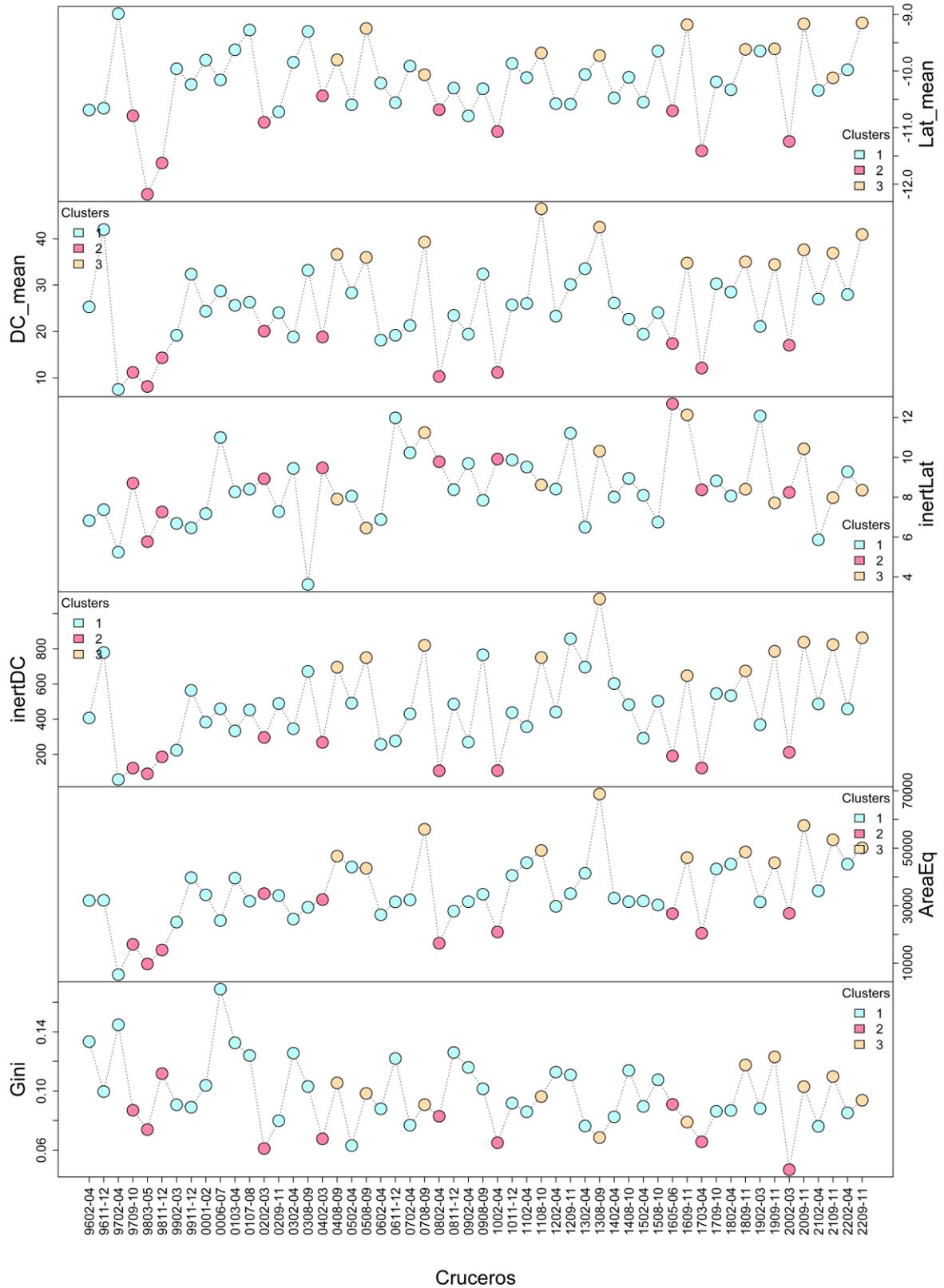
Boxplots correspondientes a los indicadores espaciales de los juveniles para cada clúster identificado.



Nota: Para cada cluster (eje-x) se realizan boxplots de las variables (eje-y): latitud media en grados ($^{\circ}$ S), distancia a la costa media en millas náuticas (mn), inercia de la latitud ($^{\circ 2}$), inercia de la distancia a costa ($^{\circ 2}$), área equivalente (mn^2) y Gini. En la parte superior de cada gráfico se presenta las abreviaciones de cada indicador espacial.

Figura 21.

Serie correspondientes a los indicadores espaciales de los juveniles para cada clúster identificado.



Nota: El eje-x corresponde a los Cruces de Evaluación.

Figura 22.

Esquemas que representan el porcentaje de presencia para clúster o escenario identificado para los juveniles.

Escenario 1 – Juvenil

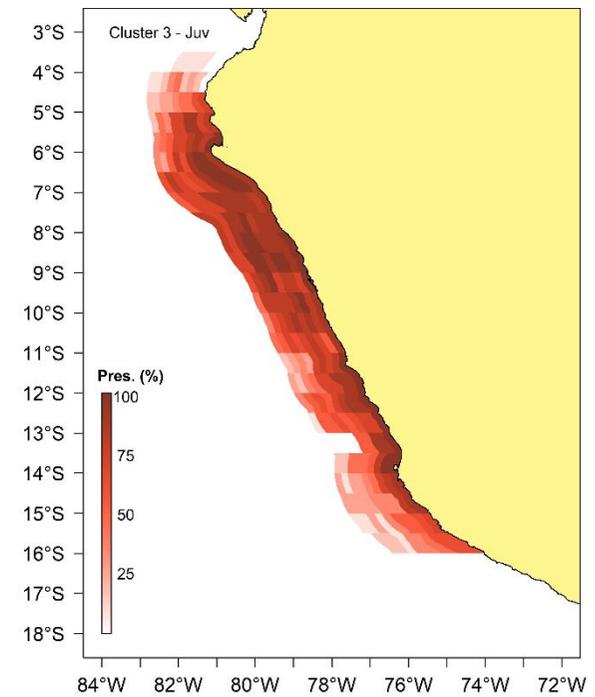
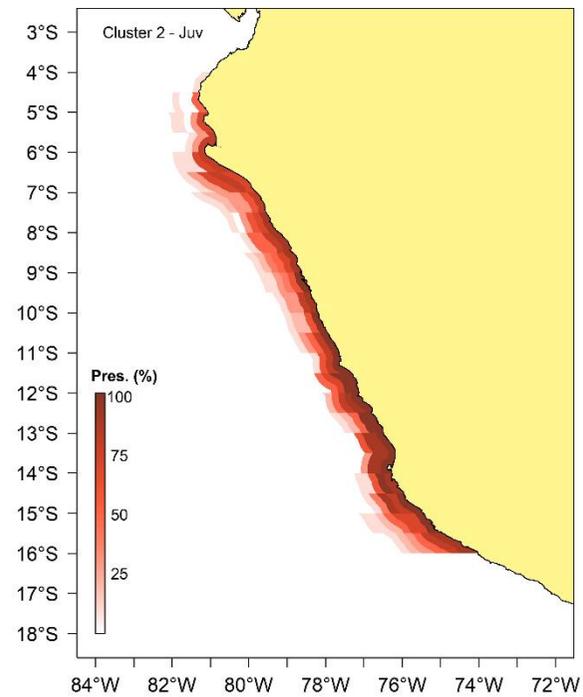
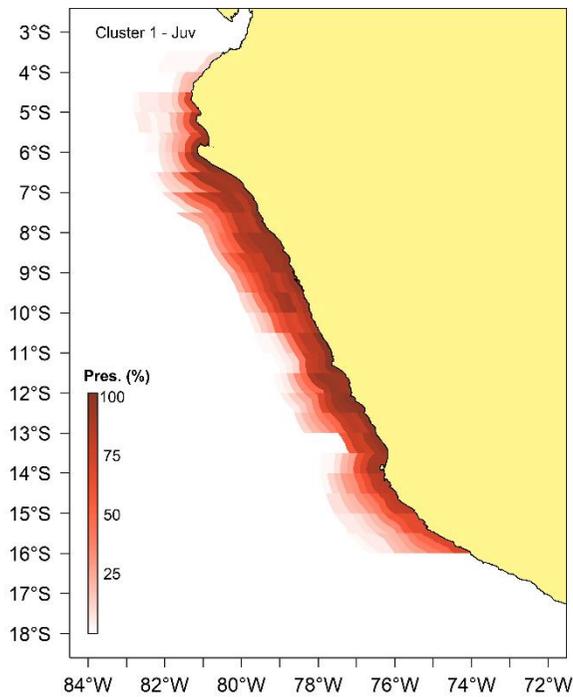
Escenario 2 – Juvenil

Escenario 3 – Juvenil

“Condiciones Promedio”

“Condiciones Adversas”

“Condiciones Favorables”



4.3.2. Esquema de los Adultos

4.3.2.1. Análisis de componentes principales

La Tabla 9 presenta la varianza explicada por cada componente y en ella se puede ver que seis componentes explicaron el 100% de la varianza de los datos. De estos, se seleccionaron solamente los primeros dos componentes, dado que fueron mayores que el autovalor medio, que es 1.

Tabla 9.

Análisis de la varianza explicada por cada componente principal del PCA de los indicadores espaciales de los adultos

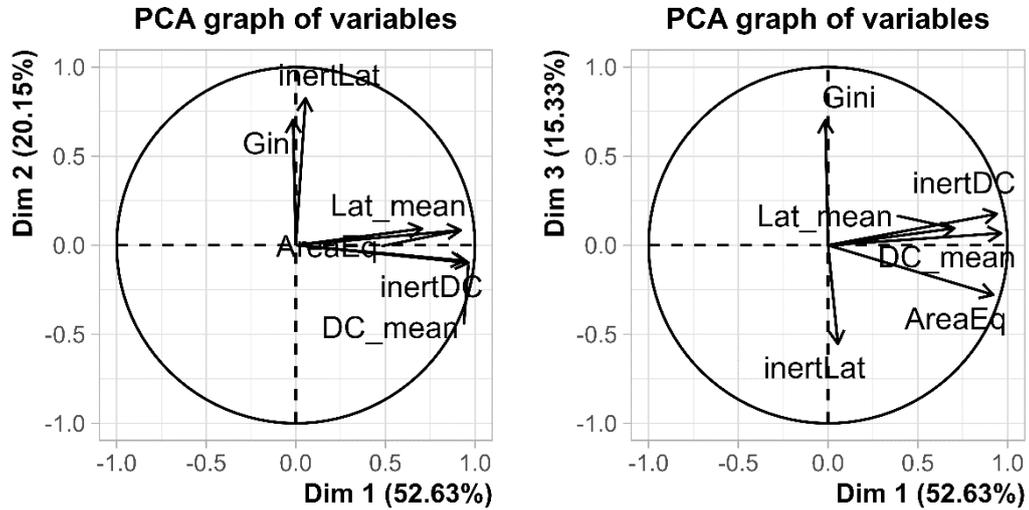
Componente	Autovalores	Varianza (%)	Varianza acumulada (%)
PC 1	3.16	52.63	52.63
PC 2	1.21	20.15	72.78
PC 3	0.92	15.33	88.11
PC 4	0.59	9.85	97.96
PC 5	0.09	1.50	99.46
PC 6	0.03	0.54	100

El primer componente, que explicó el 52.63% de la varianza total, se relacionó con la distancia media respecto a la costa, su inercia correspondiente y el área equivalente (Fig. 23). Valores elevados en este componente indican Cruceros donde los adultos ocupan áreas más extensas y se encuentran a mayor distancia de la costa.

Por otro lado, el segundo componente, que representó el 20.15% de la varianza total, estuvo asociado a la inercia de la latitud y al índice Gini (Fig. 23). Valores más altos en este componente sugieren Cruceros con una mayor dispersión de los adultos en relación con la latitud media y una distribución más heterogénea. En conjunto, estos dos componentes explicaron el 72.5% de la varianza en los datos.

Figura 23.

Indicadores espaciales de los adultos proyectados en el espacio de los componentes principales



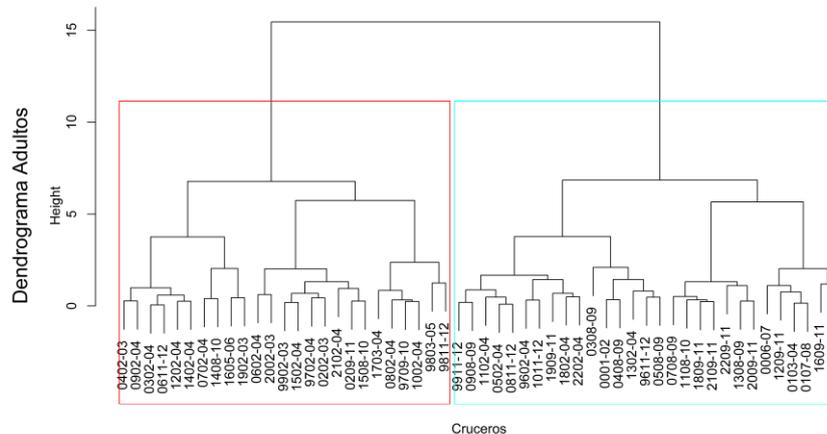
Nota: Proyección de los componentes 1 y 2 (izq.) y componentes 1 y 3 (der.)

4.3.2.2. Análisis clúster

Una vez completado el PCA, se llevó a cabo el análisis de clúster utilizando los scores derivados de los dos componentes retenidos. Este análisis inicial determinó dos clústeres como el número óptimo. Posteriormente, se generaron boxplots para los indicadores espaciales de los Cruceros de Evaluación en cada clúster, permitiendo así observar las características distintivas de cada uno (Fig. 24).

Figura 24.

Dendrograma obtenido del Análisis Clúster Jerárquico para los adultos.



Nota: El cuadro celesta representa el clúster 1 y el rojo el clúster 2.

Los resultados del análisis identificaron dos escenarios espaciales para los juveniles, que se evaluaron en función de las condiciones ambientales (Niño, Niña, Neutro), las estaciones del año (verano, invierno-primavera) y los niveles de abundancia de juveniles (bajos, medios, altos) durante los Cruceros (Tabla 10 y 11). Estos escenarios se visualizaron mediante mapas que representaban el comportamiento espacial para cada uno de ellos (Fig. 27).

Tabla 10.

Características de los clústeres estimados para los adultos, expresado en porcentaje de los Cruceros de Evaluación, de acuerdo con las décadas y condiciones ambientales.

		Clusters	
		1	2
Condiciones ambientales	Cond. Neutras	58.6	36.0
	Cond. Niña	37.9	20.0
	Cond. Niño	3.4	44.0
	Total	100.0	100.0
Estaciones	Prim-Inv	72.4	24.0
	Verano	27.6	76.0
	Total	100.0	100.0
Abundancia de Adultos	Bajo	34.5	16.0
	Medio	27.6	44.0
	Alto	37.9	40.0
	Total	100.0	100.0

Tabla 11.

Características de los factores estudiados, expresado en porcentaje de los Cruceros de Evaluación, de acuerdo con cada clúster estimados para los adultos.

		Clusters		
		1	2	Total
Condiciones ambientales	Cond. Neutras	53.8	15.4	100.0
	Cond. Niña	87.5	0.0	100.0
	Cond. Niño	41.7	50.0	100.0
Estaciones	Prim-Inv	51.9	7.4	100.0
	Verano	70.4	29.6	100.0
Abundancia de Juveniles	Bajo	61.1	11.1	100.0
	Medio	61.5	23.1	100.0
	Alto	60.0	20.0	100.0

A partir de la identificación de los clústeres, se evidenció que los indicadores espaciales contribuyeron significativamente a la generación de cada uno de ellos. El primer escenario, compuesto por 29 Cruceros de Evaluación, se caracteriza por tener más del 70% de los cruceros realizados durante la temporada de invierno-primavera (Tabla 10), un aspecto

destacado que también se refleja en la serie temporal (Fig. 26), con un 68.8% de estos cruceros registrando condiciones Niña (Tabla 11).

Al analizar el comportamiento de los indicadores dentro de este clúster, se observan los mayores valores de área equivalente y distancia media respecto a la costa, así como una latitud media más septentrional (Fig. 25). Además, la serie temporal destaca el evento de El Niño 1997-98 (Fig. 26).

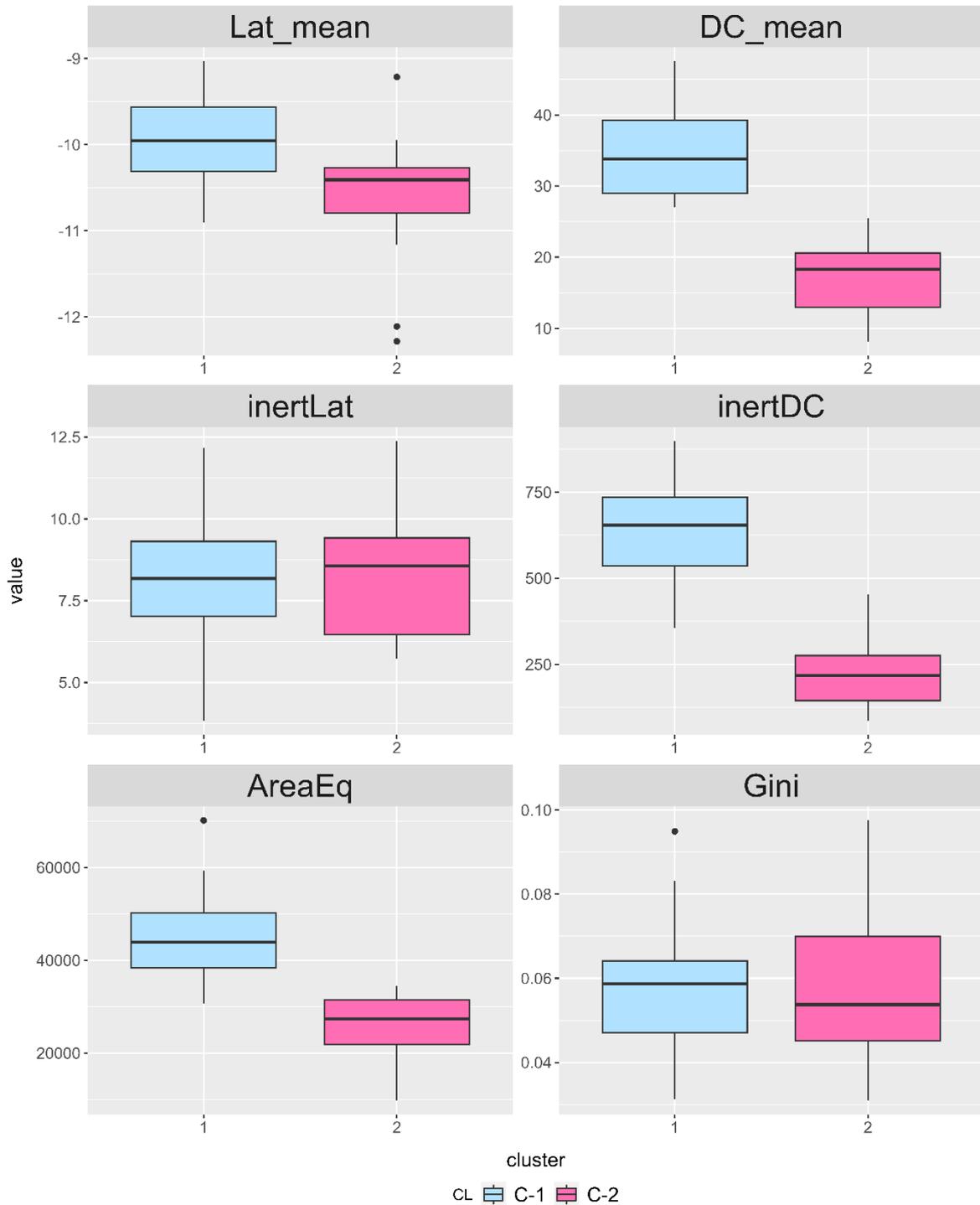
Estos patrones se reflejan en el mapa de porcentaje de presencia correspondiente, donde se identifica una amplia área de distribución y el mayor número de áreas recurrentes (Fig. 27). Considerando este comportamiento en la distribución y las condiciones ambientales, este escenario se caracteriza como uno de "condiciones frías y favorables" para los adultos, siendo también más recientes.

El segundo escenario abarcó aproximadamente el 47.16% del total de Cruceros de Evaluación, dentro de los cuales más del 75% se desarrollaron bajo condiciones Niño, y una proporción similar tuvo lugar durante el verano (Tabla 10 y 11). En este clúster, se observa una distribución más restringida en comparación con el primero, lo que se refleja en los menores valores de distancia media a la costa y área positiva (Fig. 25 y 27). Además, se identificaron áreas recurrentes principalmente cerca de la costa, lo cual concuerda con la distribución de la distancia media a la costa en este clúster (Fig. 27). La combinación de estos factores ambientales y temporales lleva a considerar este escenario como uno de "condiciones cálidas y adversas" para los adultos.

Los esquemas de distribución, basados en la presencia de juveniles y adultos, ofrecen valiosa información sobre la distribución espacial y la densidad de las poblaciones de peces, como es el caso de la anchoveta peruana. Estos esquemas pueden identificar patrones de distribución tanto para juveniles como para adultos, lo que resulta útil para la planificación y gestión pesquera. Una manera práctica de aprovechar estos esquemas es utilizarlos como guías para los próximos Cruceros de Evaluación. Al combinarlos con indicadores espaciales, se puede anticipar el comportamiento espacial de los juveniles y adultos, lo que permite identificar áreas de alta interacción y proponer cierres espaciales, incluso antes del inicio de las temporadas de pesca.

Figura 25.

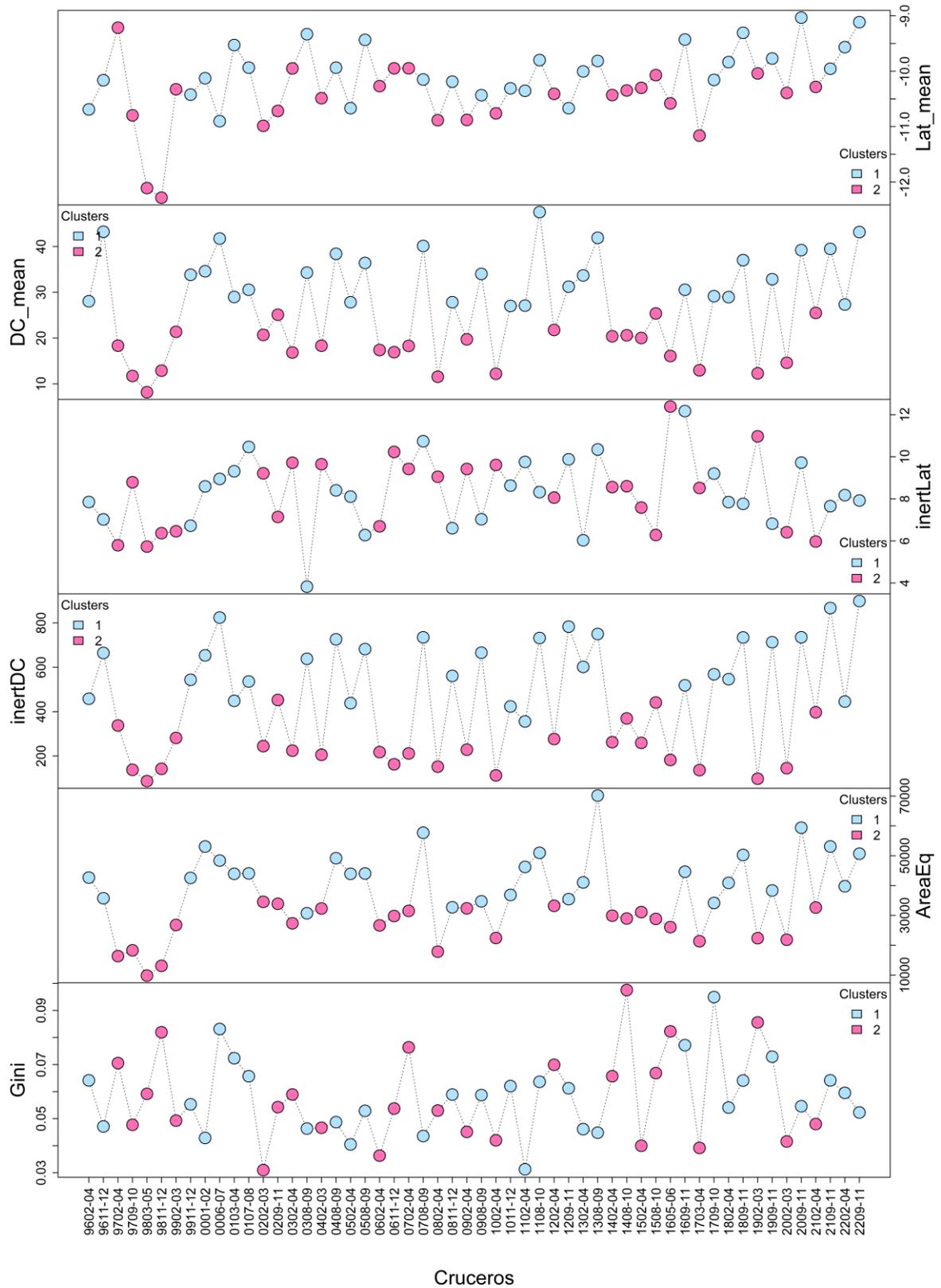
Boxplots correspondientes a los indicadores espaciales de los adultos para cada clúster identificado.



Nota: Para cada cluster (eje-x) se realizan boxplots de las variables (eje-y): latitud media en grados ($^{\circ}$ S), distancia a la costa media en millas náuticas (mn), inercia de la latitud ($^{\circ 2}$), área equivalente (mn^2) y Gini. En la parte superior de cada gráfico se presenta las abreviaciones de cada indicador espacial.

Figura 26.

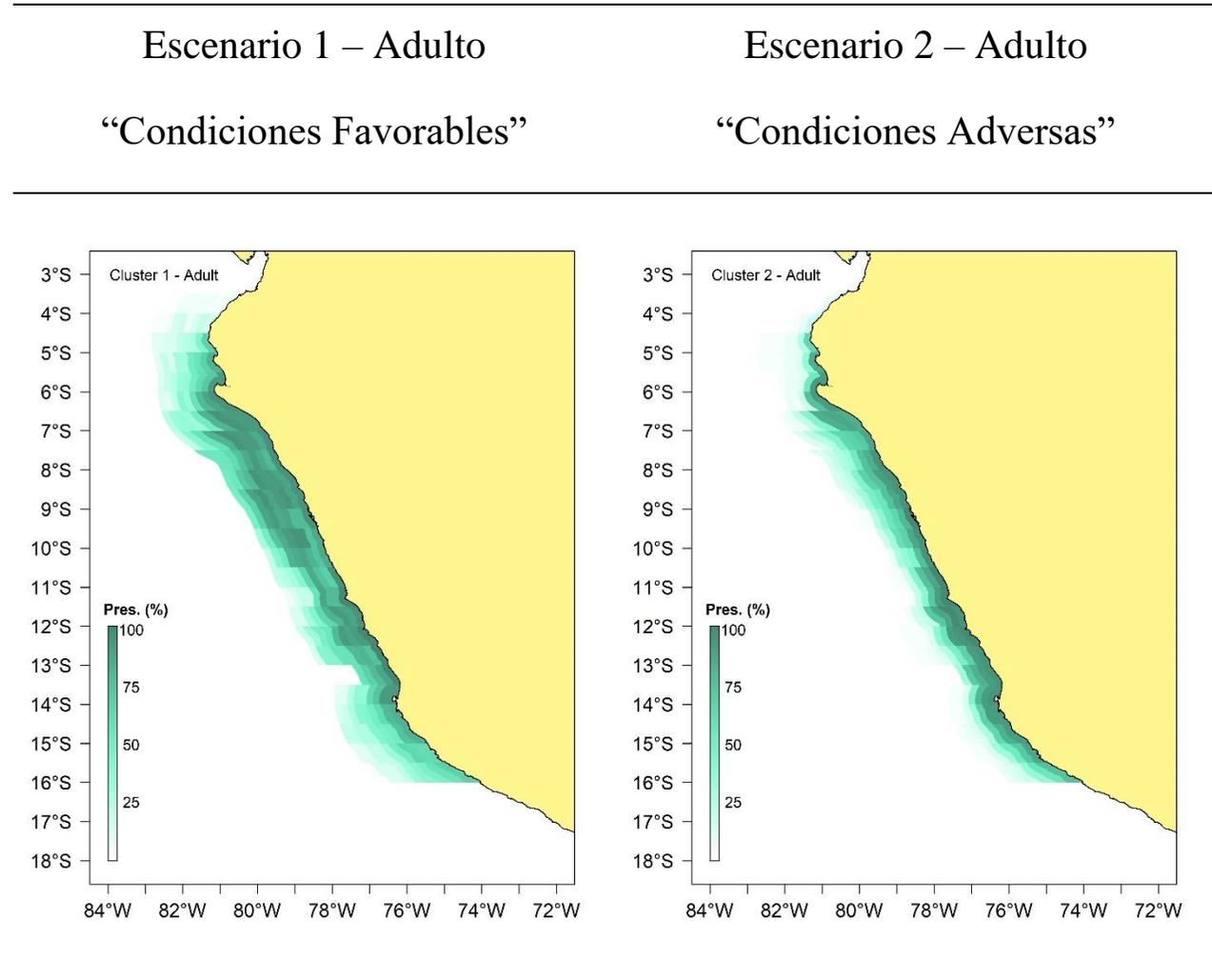
Serie correspondientes a los indicadores espaciales de los adultos para cada clúster identificado.



Nota: El eje-x corresponde a los Cruces de Evaluación.

Figura 27.

Esquemas que representan el porcentaje de presencia para clúster o escenario identificado para los adultos.



V. CONCLUSIONES

1. De los diez indicadores inicialmente propuestos, se demostró que los siguientes seis fueron suficientes para describir tres aspectos de la distribución espacial de los juveniles y adultos: la ubicación (latitud y distancia a costa media), la ocupación del espacio (área equivalente, inercia de la latitud e inercia de la distancia a costa) y la dispersión estadística (índice Gini).
2. El análisis integral de los indicadores demostró que no existen diferencias en la distribución espacial de juveniles y adultos, independientemente de la estacionalidad o escenarios ambientales, salvo en la manera de ocupar el espacio (Gini), con los juveniles ocupando el espacio de manera más heterogénea o desigual frente al litoral peruano que los adultos.
3. Se identificaron tres esquemas de distribución para los juveniles relacionados a las condiciones ambientales (neutras, desfavorables y favorables) y dos esquemas para los adultos relacionados a las condiciones estacionales (verano e invierno-primavera).

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda reforzar e integrar la información de los estadios de vida no integrados en el estudio (etapa oval, etapa larval), a fin de cubrir todo el ciclo de vida de la anchoveta peruana, de manera que se pueda contar con un panorama mucho mayor de los indicadores espaciales a lo largo del ciclo de vida de la anchoveta peruana.
2. Se recomienda explorar con mayor detalle las variables ambientales que pueden afectar la distribución espacial de los juveniles y adultos de la anchoveta peruana, de manera que se pueda identificar relaciones entre los parámetros ambientales y los indicadores espaciales a escala temporal para cada estadio.
3. Se recomienda contrastar los resultados a partir de indicadores a partir de otras fuentes de datos, como la acústica o pesquería.
4. Se recomienda, complementar la información proveniente de los Cruceros de Evaluación, con la información correspondiente a las Temporadas de Pesca, de manera que se pueda identificar si el comportamiento espacial de los juveniles y adultos, especialmente los juveniles, se ve reflejado en las capturas y comportamiento espacial de la flota pesquera.
5. Se recomienda, agregar la dimensión vertical en la distribución de los juveniles y adultos, para tener una perspectiva tridimensional sobre la distribución de estos estadios.
6. Se recomienda, a partir de los resultados, una mayor protección de las zonas con presencia concentrada de juveniles, que puede reflejarse en vedas espaciales de mayor duración, especialmente en condiciones adversas para el recurso.
7. Se recomienda, contrastar los análisis realizados utilizando como límite la talla mínima legal de la anchoveta para diferenciar juveniles y adultos, como un ejercicio de sensibilidad de los resultados de este trabajo.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Alatrística-Salas, H., Gauthier, V., Nunez-Del-Prado, M., & Becker, M. (2021). Impact of natural disasters on consumer behavior: Case of the 2017 El Niño phenomenon in Peru. *PLoS ONE*, 16(1 January). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0244409>
- Alheit, J., & Niquen, M. (2004). Regime shifts in the Humboldt Current ecosystem. *Progress in Oceanography*, 60(2–4), 201–222. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2004.02.006>
- Amat Rodrigo, J. (2016). T-test: Comparación de medias poblacionales dependientes e independientes. *Estadística Con R*, 1–25. https://github.com/JoaquinAmatRodrigo/Estadistica-con-R/blob/master/PDF_format/12_T-test.pdf
- Amat Rodrigo, J. (2017). *Clustering y heatmaps: aprendizaje no supervisado*. 1. https://www.cienciadedatos.net/documentos/37_clustering_y_heatmaps#medidas_de_distancia
- Ayón, P., Swartzman, G., Bertrand, A., Gutiérrez, M., & 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>
- Barra, M., Petitgas, P., Bonanno, A., Somarakis, S., Woillez, M., Machias, A., Mazzola, S., Basilone, G., & Giannoulaki, M. (2015). Interannual changes in biomass affect the spatial aggregations of anchovy and sardine as evidenced by Geostatistical and spatial indicators. *PLoS ONE*, 10(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0135808>
- Benoit-Bird, K. J., Waluk, C. M., & Ryan, J. P. (2019). Forage Species Swarm in Response to Coastal Upwelling. *Geophysical Research Letters*, 46(3), 1537–1546. <https://doi.org/10.1029/2018GL081603>
- Bertrand, A., Chaigneau, A., Peraltilla, S., Ledesma, J., Graco, M., Monetti, F., & Chavez, F. P. (2011). Oxygen: A fundamental property regulating pelagic ecosystem structure

- in the coastal southeastern tropical pacific. *PLoS ONE*, 6(12), 2–9.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029558>
- Bertrand, A., Grados, D., Colas, F., Bertrand, S., Capet, X., Chaigneau, A., Vargas, G., Mousseigne, A., & Fablet, R. (2014). Broad impacts of fine-scale dynamics on seascape structure from zooplankton to seabirds. *Nature Communications*, 5(May).
<https://doi.org/10.1038/ncomms6239>
- Bertrand, A., Segura, M., Gutiérrez, M., & Vásquez, L. (2004). From small-scale habitat loopholes to decadal cycles: A habitat-based hypothesis explaining fluctuation in pelagic fish populations off Peru. *Fish and Fisheries*, 5(4), 296–316.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-2679.2004.00165.x>
- Bonanno, A., Barra, M., Mifsud, R., Basilone, G., Genovese, S., Di Bitetto, M., Aronica, S., Giacalone, G., Fontana, I., Mangano, S., Ferreri, R., Pulizzi, M., Rumolo, P., Gargano, A., Buscaino, G., Calandrino, P., Di Maria, A., & Mazzola, S. (2018). Space utilization by key species of the pelagic fish community in an upwelling ecosystem of the Mediterranean Sea. *Hydrobiologia*, 821(1), 173–190. <https://doi.org/10.1007/s10750-017-3350-9>
- Bouchon C., M. (2018). La pesquería de anchoveta en Perú. *Universidad de Alicante*, 80.
- Boyra, G., Rico, I., & Martínez, U. (2020). *Acoustic surveying of anchovy Juveniles in the Bay of Biscay: JUVENA 2020 Survey Report*.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36115.09768>
- Buitrón, B., & Perea, A. (2000). Aspectos reproductivos de la anchoveta peruana durante el periodo 1992-2000. *Boletín IMARPE*, 19(1–2), 45–53.
- Buitrón, B., Perea, A., Mori, J., Sánchez, J., Roque, C., Gálvez, M., & Castillo, J. (2015). Escala de madurez gonadal de anchoveta peruana *Engraulis ringens* (Jenyns, 1842). *Boletín IMARPE*, 30(1–2), 10-19.
- Campana, S. E., Stefánsdóttir, R. B., Jakobsdóttir, K., & Sólmundsson, J. (2020). Shifting fish distributions in warming sub-Arctic oceans. *Scientific Reports*, 10(1).
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-73444-y>
- Cao, Y., Hinz, L., Metzke, B., Stein, J., & Holtrop, A. (2016). Modeling and mapping fish abundance across wadeable streams of Illinois, USA, based on landscape-level

- environmental variables. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 73(7), 1031–1046. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2015-0343>
- Castillo, P. R., Madureira, L., Marangoni, J., Gerlotto, F., & Guevara-Carrasco, R. (2016). Variability in distribution and aggregation behavior of the Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*) analyzed using a fifteen year long series of acoustic surveys (2000-2014). *2015 IEEE/OES Acoustics in Underwater Geosciences Symposium, RIO Acoustics 2015, July*. <https://doi.org/10.1109/RIOAcoustics.2015.7473636>
- Charrad, M., Ghazzali, N., Boiteau, V., & Niknafs, A. (2014). Nbclust: An R package for determining the relevant number of clusters in a data set. *Journal of Statistical Software*, 61(6), 1–36. <https://doi.org/10.18637/jss.v061.i06>
- Chavez, F. P., Bertrand, A., Guevara-Carrasco, R., Soler, P., & 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>
- Chavez, F. P., & Messié, M. (2009). A comparison of Eastern Boundary Upwelling Ecosystems. *Progress in Oceanography*, 83(1–4), 80–96. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2009.07.032>
- Chirinos de Vildoso, A., & Chumán, E. (1968). Validez de la lectura de otolitos para determinar la edad de las anchoveta (*Engraulis ringens*). *Inf. Inst. Mar Perú*, 22.
- Cochrane, K. L. (2005). *Guía del administrador pesquero Medidas de ordenación y su aplicación* (K. L. Cochrane, Ed.). Food & Agriculture Org.
- Compton, T. J., Morrison, M. A., Leathwick, J. R., & Carbines, G. D. (2012). Ontogenetic habitat associations of a demersal fish species, *Pagrus auratus*, identified using boosted regression trees. *Marine Ecology Progress Series*, 462(August), 219–230. <https://doi.org/10.3354/meps09790>
- Cubillos, L. A., Serra, R., & Fréon, P. (2007). Synchronous pattern of fluctuation in three anchovy fisheries in the Humboldt Current System. *Aquatic Living Resources*, 20(1), 69–75. <https://doi.org/10.1051/alr:2007017>
- Díaz, E. (2017). *Impacto de diferentes estrategias de explotación sobre el estado inmediato del stock norte - centro de la anchoveta peruana (Engraulis ringens)* [Master Thesis]. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

- Domínguez-Petit, R., Anastasopoulou, A., Cubillos, L., Gerritsen, H. D., Goncalves, P., Hidalgo, M., Kennedy, J., Korta, M., Marteinsdottir, G., Morgado, C., Muñoz, M., Quincoces, I., Saínza, M., Thorsen, A., & Vitale, F. (2017). Chapter 3: Maturity. In R. Domínguez-Petit, H. Murua, F. Saborido-Rey, & E. Trippel (Eds.), *HANDBOOK OF APPLIED FISHERIES REPRODUCTIVE BIOLOGY FOR STOCK ASSESSMENT AND MANAGEMENT*. Digital CSIC. <http://www.cost.eu/>
- Doray, M., Petitgas, P., Huret, M., Duhamel, E., Romagnan, J. B., Authier, M., Dupuy, C., & Spitz, J. (2018). Monitoring small pelagic fish in the Bay of Biscay ecosystem, using indicators from an integrated survey. *Progress in Oceanography*, *166*, 168–188. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2017.12.004>
- Einarsson, H., & Rojas de Mendiola, B. (1963). Descripción De Huevos Y Larvas De Anchoveta. *Bol Inst Invest Recurs Mar.*, *1*(1), 1–23.
- Ekau, W., Auel, H., Hagen, W., Koppelman, R., Wasmund, N., Bohata, K., Buchholz, F., Geist, S., Martin, B., Schukat, A., Verheye, H. M., & Werner, T. (2018). Pelagic key species and mechanisms driving energy flows in the northern Benguela upwelling ecosystem and their feedback into biogeochemical cycles. *Journal of Marine Systems*, *188*(January 2017), 49–62. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2018.03.001>
- Espinoza, P. (2014). *Trophic dynamics in the northern Humboldt Current system: insights from stable isotopes and stomach contents*. 159.
- Espinoza, P., & Bertrand, A. (2014). Ontogenetic and spatiotemporal variability in anchoveta *Engraulis ringens* diet off Peru. *Journal of Fish Biology*, *84*(2), 422–435. <https://doi.org/10.1111/jfb.12293>
- Espinoza, P., & Blaskovic, V. (2000). Changes in diet of Peruvian anchoveta *Engraulis ringens* and its influence on feeding dynamics. *Inf. Inst. Mar. Perú*, *19*, 21–27.
- Espinoza-Morriberón, D., Echevin, V., Colas, F., Tam, J., Ledesma, J., Vásquez, L., & Graco, M. I. (2017). Impacts of El Niño events on the Peruvian upwelling system productivity. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, *5423*, 2017–2033. <https://doi.org/10.1002/2013JC009262>.Received
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2020). El estado mundial de la pesca y la acuicultura. In *Marine Pollution Bulletin* (Vol. 3, Issues 1–2).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.01.032><http://dx.doi.org/10.1016/j.tws.2012.02.007><http://www.fao.org/publications/es>

- Fréon, P., Bouchon, M., Mullon, C., García, C., & Ñiquen, M. (2008). Interdecadal variability of anchoveta abundance and overcapacity of the fishery in Peru. *Progress in Oceanography*, 79(2–4), 401–412. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2008.10.011>
- Froese, R., Stern-Pirlot, A., Winker, H., & Gascuel, D. (2008). Size matters: How single-species management can contribute to ecosystem-based fisheries management. *Fisheries Research*, 92(2–3), 231–241. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2008.01.005>
- Fuenzalida, R., Schneider, W., Garcés-Vargas, J., Bravo, L., & Lange, C. (2009). Vertical and horizontal extension of the oxygen minimum zone in the eastern South Pacific Ocean. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 56(16), 992–1003. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2008.11.001>
- Galaiduk, R., Radford, B. T., & Harvey, E. S. (2018). Utilizing individual fish biomass and relative abundance models to map environmental niche associations of adult and juvenile targeted fishes. *Scientific Reports*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-27774-7>
- Gallardo, J. (2016). Capítulo 6. Introducción al Análisis Cluster. Consideraciones generales. *Introducción al Análisis Cluster. Consideraciones Generales.*, 57–113. <http://www.ugr.es/~gallardo/pdf/cluster-g.pdf>
- Graco, M. I., Ledesma, J., Flores, G., & Girón, M. (2007). Nutrientes, oxígeno y procesos biogeoquímicos en el sistema de surgencias de la corriente de Humboldt frente a Perú. *Revista Peruana de Biología*, 14(1), 117–128. <https://doi.org/10.15381/rpb.v14i1.2165>
- Grados, D., Bertrand, A., Colas, F., Echevin, V., Chaigneau, A., Gutiérrez, D., Vargas, G., & 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>
- Greenacre, M., & Primicerio, R. (2013). *Multivariate Analysis of Ecological Data*. Fundación BBVA.
- Grüss, A., Thorson, J. T., Sagarese, S. R., Babcock, E. A., Karnauskas, M., Walter, J. F., & Drexler, M. (2017). Ontogenetic spatial distributions of red grouper (*Epinephelus*

- morio) and gag grouper (*Mycteroperca microlepis*) in the U.S. Gulf of Mexico. *Fisheries Research*, 193(April), 129–142. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2017.04.006>
- Gutiérrez, D., Bertrand, A., Wosnitza-mendo, C., Dewitte, B., Purca, S., Peña, C., Chaigneau, A., Tam, J., Graco, M., Grados, C., Fréon, P., & Guevara-carrasco, R. (2011). Sensibilidad del sistema de afloramiento costero del Perú al cambio climático e implicancias ecológicas. *Revista Peruana Geoatmosférica*, 26(3), 1–26.
- Gutiérrez, D., Enríquez, E., Purca, S., Quipúzcoa, L., Marquina, R., Flores, G., & Graco, M. (2008). Oxygenation episodes on the continental shelf of central Peru: Remote forcing and benthic ecosystem response. *Progress in Oceanography*, 79(2–4), 177–189. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2008.10.025>
- Gutierrez, M. (2000). Estimados de biomasa hidroacústica de los cuatro principales recursos pelágicos en el mar peruano durante 1983-2000. *Boletín IMARPE*, 19(1–2), 139–156.
- Gutiérrez, M., Castillo, R., Segura, M., Peraltilla, S., & Flores, M. (2012). Trends in spatio-temporal distribution of Peruvian anchovy and other small pelagic fish biomass from 1966-2009. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 40(3 SPL. ISS.), 633–648. <https://doi.org/10.3856/vol40-issue3-fulltext-12>
- Halliday, R. G., & Pinhorn, A. T. (2002). A review of the scientific and technical bases for policies on the capture of small fish in North Atlantic groundfish fisheries. *Fisheries Research*, 57(3), 211–222. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0165-7836\(02\)00079-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0165-7836(02)00079-6)
- Han, D., Tan, X., & Shi, P. (2017). Clutter distribution identification based on anderson-darling test. *2017 3rd IEEE International Conference on Computer and Communications (ICCC)*, 830–834.
- Hernández, A., & Uriel, S. (2015). *Hypothesis test for changes in variance using a statistic based in P-values in a time series of normal independent observations*.
- Hilborn, R. (2007). Defining success in fisheries and conflicts in objectives. *Marine Policy*, 31(2), 153–158. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2006.05.014>
- Houde, E. D. (1987). Fish Early Life Dynamics and Recruitment Variability. *American Fisheries Society Symposium*, September, 2: 17-29.
- Hughes, R. A. (2008). Notes on the effects of El Niño on the seabirds of the Mollendo district, southwest Peru, in 1983. *Ibis*, 127, 385–388.

- IMARPE. (2016). *Escala de madurez gonadal de recursos pelágicos*. Junio 2016. 16 pp. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/3200>
- IMARPE. (2020). *Elaboración de la Tabla de Decisión para la determinación del Límite Máximo de Captura Total Permisible por temporada de pesca en la pesquería del Stock Norte-Centro de la anchoveta peruana* (5th ed.).
- Joo, R., Bertrand, A., Bouchon, M., Chaigneau, A., Demarcq, H., Tam, J., Simier, M., Gutiérrez, D., Gutiérrez, M., Segura, M., Fablet, R., & 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*, 128, 60–73. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pocean.2014.08.009>
- Jordán, R., & Chirinos de Vildoso, A. (1965). La Anchoveta (*Engraulis ringens* J.). Conocimiento actual sobre su biología, ecología y pesquería. In *Inf. Inst. Mar Perú* (Vol. 6).
- Kane, R. P. (2002). Precipitation anomalies in southern South America associated with a finer classification of El Niño and La Niña events. *International Journal of Climatology*, 22(3), 357–373. <https://doi.org/10.1002/joc.713>
- Kim Tae Kyun. (2015). T test as a parametric statistic. *Kja*, 68(6), 540–546. <https://doi.org/10.4097/kjae.2015.68.6.540>
- Lauria, V., Gristina, M., Fiorentino, F., Attrill, M. J., & Garofalo, G. (2020). Spatial Management Units as an Ecosystem-Based Approach for Managing Bottom-Towed Fisheries in the Central Mediterranean Sea. *Frontiers in Marine Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00233>
- Lenoir, J., & Svenning, J. C. (2015). Climate-related range shifts - a global multidimensional synthesis and new research directions. *Ecography*, 38(1), 15–28. <https://doi.org/10.1111/ecog.00967>
- Lin, T., Chen, T., Liu, J., & Tu, X. M. (2021). Extending the Mann-Whitney-Wilcoxon rank sum test to survey data for comparing mean ranks. *Statistics in Medicine*, 40(7), 1705–1717. <https://doi.org/10.1002/sim.8865>
- McIntosh, W. C. (1890). On the Capture of Young (Immature) Fishes, and what Constitutes an Immature Fish. *Nature*, 42(1087), 429–431. <https://doi.org/10.1038/042429a0>

- Mendo, J. (2018). Electrophoretic Studies of Peruvian Anchoveta *Engraulis ringens* Confirm the Existence of Distinct North/Central and Southern Stocks. *Marine and Freshwater Miscellanea*. Fisheries Centre Research Reports 26(2), 16-26
- Modica, L., Córdoba, P., Rodríguez-Cabello, C., Sánchez, F., & Velasco, F. (2016). A new approach to species distributional indicators for the Marine Strategy Framework Directive (MSFD). *Ecological Indicators*, 67, 21–30. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.02.010>
- Morales, C. E., Hormazabal, S., Correa-Ramirez, M., Pizarro, O., Silva, N., Fernandez, C., Anabalón, V., & Torreblanca, M. L. (2012). Mesoscale variability and nutrient-phytoplankton distributions off central-southern Chile during the upwelling season: The influence of mesoscale eddies. *Progress in Oceanography*, 104, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2012.04.015>
- Mori, J., Buitrón, B., Perea, A., Peña, C., & Espinoza, C. (2011). Variabilidad interanual en la estrategia reproductiva de la anchoveta peruana en la región norte-centro del litoral del Perú. *Ciencias Marinas*, 37(4 B), 513–525. <https://doi.org/10.7773/cm.v37i4B.1872>
- Moron, G., Galloso, P., Gutierrez, D., & Torrejon-Magallanes, J. (2019). Temporal changes in mesoscale aggregations and spatial distribution scenarios of the Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*). *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 159, 75–83. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2018.11.009>
- Ñiquen, M., & Bouchon, M. (2004). Impact of El Niño events on pelagic fisheries in Peruvian waters. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 51(6–9), 563–574. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2004.03.001>
- Oliveros-Ramos, R., & Shin, Y. J. (2023). Future climate change impacts on anchoveta (*Engraulis ringens*) in the Northern Peru Current Ecosystem. *bioRxiv*, 2023-02.
- Oliveros-Ramos, R., & Peña, C. (2011). Modelado y análisis del reclutamiento de la anchoveta peruana (*Engraulis ringens*) entre 1961 y 2009. *Ciencias Marinas*, 37(4 B), 659–674. <https://doi.org/10.7773/cm.v37i4B.1873>
- Ortiz Pinilla, J., & Ortiz Rico, A. F. (2021). ¿Pearson y Spearman, coeficientes intercambiables? *Comunicaciones En Estadística*, 14(1), 53–63. <https://doi.org/10.15332/23393076.6769>

- Pauly, D., & Tsukayama, I. (1984). On the seasonal growth, monthly recruitment and monthly biomass of Peruvian anchoveta (*Engraulis ringens*) from 1961 to 1979. In G. D. Sharp & J. Csirke (Eds.), *Proceedings of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources* (Vol. 3, pp. 987–1004). FAO Fishery Report.
- Pauly, D. & Tsukayama, I. (1987). The Peruvian anchoveta and its upwelling ecosystem/: three decades of change, 351 pp. International Center for Living Aquatic Resources Management (ICLARM), Manila.
- Petitgas, P., & Poulard, J. C. (2009). A multivariate indicator to monitor changes in spatial patterns of age-structured fish populations. *Aquatic Living Resources*, 22(2), 165–171. <https://doi.org/10.1051/alr/2009018>
- Plazas Niño, F. A. (2021). *Introducción al Análisis Clúster: Aplicación En La Clasificación De Campos Petroleros*. April.
- Politikos, D. V., Triantafyllou, G., Petihakis, G., Tsiaras, K., Somarakis, S., Ito, S. I., & Megrey, B. A. (2011). Application of a bioenergetics growth model for European anchovy (*Engraulis encrasicolus*) linked with a lower trophic level ecosystem model. *Hydrobiologia*, 670(1), 141–163. <https://doi.org/10.1007/s10750-011-0674-8>
- PRODUCE. (2021). *Anuario Estadístico Pesquero y Acuícola 2020*. [http://www.dgeec.gov.py/Publicaciones/Biblioteca/Anuario2011/Anuario Estadistico 2011.pdf](http://www.dgeec.gov.py/Publicaciones/Biblioteca/Anuario2011/Anuario_Statistico_2011.pdf)
- Racault, M. F., Sathyendranath, S., Brewin, R. J. W., Raitsos, D. E., Jackson, T., & Platt, T. (2017). Impact of El Niño variability on oceanic phytoplankton. *Frontiers in Marine Science*, 4(MAY), 133. <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00133>
- Restrepo, L., & González, J. (2007). De Pearson a Spearman. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20(2), 183–192.
- Reuchlin-Hugenholtz, E., Shackell, N. L., & Hutchings, J. A. (2015). The potential for spatial distribution indices to signal thresholds in marine fish biomass. *PLoS ONE*, 10(3), 1–22. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0120500>
- Rindorf, A., & Lewy, P. (2012). Estimating the relationship between abundance and distribution. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 69(2), 382–397. <https://doi.org/10.1139/F2011-153>

- Rioual, F., Ofelio, C., Rosado-Salazar, M., Dionicio-Acedo, J., Peck, M. A., & Aguirre-Velarde, A. (2021). Embryonic development and effect of temperature on larval growth of the Peruvian anchovy *Engraulis ringens*. *Journal of Fish Biology*, *99*(6), 1804–1821. <https://doi.org/10.1111/jfb.14882>
- Rodríguez-Morata, C., Díaz, H. F., Ballesteros-Canovas, J. A., Rohrer, M., & Stoffel, M. (2019). The anomalous 2017 coastal El Niño event in Peru. *Climate Dynamics*, *52*(9–10), 5605–5622. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4466-y>
- Rojas de Mendiola, B., & Gomez, O. (1981). Primera alimentación, sobrevivencia y tiempo de actividad de las larvas de anchoveta (*Engraulis ringens* J.). In *Instituto del Mar del Perú* (pp. 72–79).
- Romagnoni, G., Kluger, L. C., Tam, J., & Wolff, M. (2022). Adaptations to Climate Variability in Fisheries and Aquaculture Social-Ecological Systems in the Northern Humboldt Current Ecosystem: Challenges and Solutions. In D. and E. V. L. Misiune Ieva and Depellegrin (Ed.), *Human-Nature Interactions: Exploring Nature's Values Across Landscapes* (pp. 389–403). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-01980-7_30
- Rubec, P. J., Santi, C. E., Ault, J. S., & Monaco, M. E. (2023). Development of modelling and mapping methods to predict spatial distributions and abundance of estuarine and coastal fish species life-stages in Florida. *Aquaculture, Fish and Fisheries*, *3*(1), 1–22. <https://doi.org/10.1002/aff2.82>
- Rufino, M. M., Bez, N., & Brind'Amour, A. (2018). Integrating spatial indicators in the surveillance of exploited marine ecosystems. *PLoS ONE*, *13*(11), 1–21. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0207538>
- Rufino, M. M., Bez, N., & Brind'Amour, A. (2019). Influence of data pre-processing on the behavior of spatial indicators. *Ecological Indicators*, *99*(November 2018), 108–117. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.11.058>
- Salvatteci, R., Field, D. B., Gutiérrez, D., Baumgartner, T., Ferreira, V., Ortlieb, L., Sifeddine, A., Grados, D., & Bertrand, A. (2018). Multifarious anchovy and sardine regimes in the Humboldt Current System during the last 150 years. *Global Change Biology*, *24*(3), 1055–1068. <https://doi.org/10.1111/ijlh.12426>

- Salvatteci, R., & Mendo, J. (2005). Estimación de las pérdidas bio-económicas causadas por la captura de juveniles de anchoveta (*Engraulis ringens*, J.) en la costa peruana. *Ecol. Apl.*, 4(1–2), 113–120.
- Sánchez, J., Perea, A., Buitrón, B., & Romero, L. (2013). Escala de madurez gonadal del jurel *Trachurus murphyi* Nichols 1920. *Revista Peruana de Biología*, 20(1), 35–44.
- Sánchez Turcios, R. A. (2015). Prueba de Wilcoxon-Mann-Whitney: mitos y realidades. *Rev Mex Endocrinol Metab Nutr*, 2, 18–21. www.endocrinologia.org.mx
- Schreiber, M. A., Ñiquen, M., & Bouchon, M. (2011). Coping strategies to deal with environmental variability and extreme climatic events the Peruvian anchovy fishery. *Sustainability*, 3(6), 823–846. <https://doi.org/10.3390/su3060823>
- Sequeira, A. M. M., Mellin, C., Lozano-Montes, H. M., Meeuwig, J. J., Vanderklift, M. A., Haywood, M. D. E., Babcock, R. C., & Caley, M. J. (2018). Challenges of transferring models of fish abundance between coral reefs. *PeerJ*, 2018(4). <https://doi.org/10.7717/peerj.4566>
- Shen, S. G., Thompson, A. R., Correa, J., Fietzek, P., Ayón, P., & Checkley, D. M. (2017). Spatial patterns of Anchoveta (*Engraulis ringens*) eggs and larvae in relation to pCO₂ in the Peruvian upwelling system. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 284(1855). <https://doi.org/10.1098/rspb.2017.0509>
- Silva, C., Andrade, I., Yáñez, E., Hormazabal, S., Barbieri, M. Á., Aranís, A., & Böhm, G. (2016). Predicting habitat suitability and geographic distribution of anchovy (*Engraulis ringens*) due to climate change in the coastal areas off Chile. *Progress in Oceanography*, 146, 159–174.
- Simmonds, E. J., Gutiérrez, M., Chipollini, A., Gerlotto, F., Woillez, M., & Bertrand, A. (2009). Optimizing the design of acoustic surveys of Peruvian anchoveta. *ICES Journal of Marine Science*, 66(6), 1341–1348. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsp118>
- Swartzman, G., Bertrand, A., Gutiérrez, M., Bertrand, S., & Vasquez, L. (2008). The relationship of anchovy and sardine to water masses in the Peruvian Humboldt Current System from 1983 to 2005. *Progress in Oceanography* 79, 228–237.
- Tam, J., Blaskovic, V., Goya, E., Bouchon, M., Taylor, M., Oliveros-Ramos, R., Guevara-Carrasco, R., & Purca, S. (2010). Relación entre anchoveta y otros componentes del ecosistema ecosystem. *Boletín IMARPE*, 25(1–2), 31–37.

- Tapia, F., Ernesto, C., Cevallos, F., Carlos, K. L., Flores Tapia, E., & Lissette, K. (2021). PRUEBAS PARA COMPROBAR LA NORMALIDAD DE DATOS EN PROCESOS PRODUCTIVOS: ANDERSON-DARLING, RYAN-JOINER, SHAPIRO-WILK Y KOLMOGÓROV-SMIRNOV. *Societas. Revista de Ciencias Sociales y Humanísticas*, 23(2), 2021.
- Taylor, M. H., Tam, J., Blaskovic, V., Espinoza, P., Michael Ballón, R., Wosnitza-Mendo, C., Argüelles, J., Díaz, E., Purca, S., Ochoa, N., Ayón, P., Goya, E., Gutiérrez, D., Quipuzcoa, L., & Wolff, M. (2008). Trophic modeling of the Northern Humboldt Current Ecosystem, Part II: Elucidating ecosystem dynamics from 1995 to 2004 with a focus on the impact of ENSO. *Progress in Oceanography*, 79(2–4), 366–378. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2008.10.008>
- Thatje, S., Heilmayer, O., & Laudien, J. (2008). Climate variability and El Niño Southern Oscillation: Implications for natural coastal resources and management. *Helgoland Marine Research*, 62(1), 5–14. <https://doi.org/10.1007/s10152-008-0104-0>
- Timm, N. H. (2002). *Applied Multivariate Analysis*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1016/j.trim.2009.04.004>
- Tolimieri, N., Wallace, J., & Haltuch, M. (2020). Spatio-temporal patterns in juvenile habitat for 13 groundfishes in the California Current Ecosystem. *PLoS ONE*, 15(8 August 2020). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237996>
- Tovar, H. L., Guillén, V. F., & Cabrera, D. (1987). Reproduction and population levels of Peruvian Guano Birds, 1980 to 1986. *Journal of Geophysical Research*, 92, 14445–14448.
- Vasilakopoulos, P., Oneill, F. G., & Marshall, C. T. (2011). Misspent youth: Does catching immature fish affect fisheries sustainability? *ICES Journal of Marine Science*, 68(7), 1525–1534. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsr075>
- Walkup, S. (n.d.). *Lesson 1: The Life Cycle of Marine Fishes*. [http://cce.lternet.edu/sites/default/files/Lesson 1- The Life Cycle of Marine Fishes V2.pdf](http://cce.lternet.edu/sites/default/files/Lesson%201-%20The%20Life%20Cycle%20of%20Marine%20Fishes%20V2.pdf)
- Walsh, J. J., Whitley, T. E., Esaias, W. E., Smith, R. L., Huntsman, S. A., Santander, H., & De Mendiola, B. R. (1980). The spawning habitat of the Peruvian anchovy, *Engraulis*

ringens. *Deep Sea Research Part A, Oceanographic Research Papers*, 27(1), 1–27.
[https://doi.org/10.1016/0198-0149\(80\)90069-2](https://doi.org/10.1016/0198-0149(80)90069-2)

Wuillez, M., Poulard, J. C., Rivoirard, J., Petitgas, P., & Bez, N. (2007). Indices for capturing spatial patterns and their evolution in time, with application to European hake (*Merluccius merluccius*) in the Bay of Biscay. *ICES Journal of Marine Science*, 64(3), 537–550. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsm025>

Wuillez, M., Rivoirard, J., & Petitgas, P. (2009). Notes on survey-based spatial indicators for monitoring fish populations. *Aquatic Living Resources*, 22(2), 155–164. <https://doi.org/10.1051/alr/2009017>

Yu, H., & Hutson, A. D. (2020). *A Robust Spearman Correlation Coefficient Permutation Test*. <http://arxiv.org/abs/2008.01200>

Zuta, S., & Guillén, O. (1970). Oceanografía de las aguas costeras del Perú. *Boletín Instituto Del Mar Del Perú*, 2(5), 157–324.

VIII. ANEXOS

Anexo 1.

Descripción de Cruceros de Evaluación considerados para la investigación y las condiciones térmicas imperantes durante su realización.

Crucero de Evaluación considerado	Año	Semestre	Inicio Operación	Final Operación	Lances Totales	Lances con Anchoqueta	Registros acústicos	Registros acústicos con anchoveta	Biomasa acústica	LABCOS referencial	Condiciones según LABCOS
CR. 9602-04 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	1996	1	19/02/1996	31/03/1996	98	57	5622	1432	6044567	-1.375	Niña
CR. 9611-12 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	1996	2	23/11/1996	19/12/1996	70	48	4268	1290	6194957	-0.72	Neutras
CR. 9702-04 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	1997	1	2/03/1997	21/04/1997	150	94	2434	649	6590363	1.07	Niño
CR. 9709-10 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	1997	2	6/09/1997	8/10/1997	232	127	3907	1018	5096101	3.76	Niño
CR. 9803-05 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	1998	1	21/03/1998	7/05/1998	338	91	4100	479	2477073	4.61	Niño
CR. 9811-12 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	1998	2	30/11/1998	19/12/1998	171	67	2765	648	2178387	-0.4	Neutras
CR. 9902-03 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	1999	1	13/02/1999	20/03/1999	255	114	5217	1093	5112035	-1.19	Niña
CR. 9911-12 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	1999	2	25/11/1999	14/12/1999	224	167	4844	2312	5614310	-0.93	Niña
CR. 0001-02 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	2000	1	26/01/2000	26/02/2000	376	240	6877	3254	9108780	-1.22	Niña
CR. 0006-07 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	2000	2	9/06/2000	12/07/2000	288	145	6780	1957	7788109	-0.315	Neutras

Crucero de Evaluación considerado	Año	Semestre	Inicio Operación	Final Operación	Lances Totales	Lances con Anchoqueta	Registros acústicos	Registros		LABCOS referencial	Condiciones según LABCOS
								acústicos con anchoveta	Biomasa acústica		
CR. 0103-04 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	2001	1	3/03/2001	3/04/2001	348	188	7232	2728	11130349	-0.56	Neutras
CR. 0107-08 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	2001	2	5/07/2001	2/08/2001	355	164	7453	2034	5915103	-0.66	Neutras
CR. 0202-03 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	2002	1	21/02/2002	18/03/2002	217	166	4583	2033	10173072	0.71	Niño
CR. 0209-11 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	2002	2	7/10/2002	13/11/2002	207	118	8166	1808	6566024	0.57	Niño
CR. 0302-04 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	2003	1	9/03/2003	5/04/2003	219	140	5463	1600	7353925	-1.04	Niña
CR. 0308-09 CRUCERO DE ESTIMACION DE BIOMASA DESOVANTE POR EL METODO DE PRODUCCION DE HUEVOS	2003	2	17/08/2003	14/09/2003	103	77	6543	1892	8949966	0.19	Neutras
CR. 0402-03 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	2004	1	9/02/2004	17/03/2004	298	201	7483	2358	10558958	-0.775	Neutras
CR. 0408-09 CRUCERO DE ESTIMACION DE BIOMASA DESOVANTE POR EL METODO DE PRODUCCION DE HUEVOS	2004	2	7/08/2004	2/09/2004	92	70	5537	2317	7490053	-0.5	Neutras
CR. 0502-04 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	2005	1	23/02/2005	26/03/2005	205	151	6655	3100	11338534	-0.66	Neutras
CR. 0508-09 CRUCERO DE ESTIMACION DE BIOMASA DESOVANTE POR EL METODO DE PRODUCCION DE HUEVOS	2005	2	17/08/2005	20/09/2005	70	59	5524	1941	7661212	-0.55	Neutras
CR. 0602-04 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	2006	1	25/02/2006	6/04/2006	270	183	6951	2069	7843915	-1.27	Niña
CR. 0611-12 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	2006	2	14/11/2006	21/12/2006	197	144	6875	1623	6218671	0.42	Niño

Crucero de Evaluación considerado	Año	Semestre	Inicio Operación	Final Operación	Lances Totales	Lances con Anchoqueta	Registros acústicos	Registros		LABCOS referencial	Condiciones según LABCOS
								acústicos con anchoqueta	Biomasa acústica		
CR. 0702-04 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	2007	1	4/03/2007	5/04/2007	244	168	7467	1721	7892658	-0.73	Neutras
CR. 0708-09 CRUCERO DE ESTIMACION DE BIOMASA DESOVANTE POR EL METODO DE PRODUCCION DE HUEVOS	2007	2	11/08/2007	18/09/2007	86	81	7773	2513	8056632	-1.32	Niña
CR. 0802-04 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	2008	1	29/02/2008	2/04/2008	195	107	7921	1166	10348812	0.04	Neutras
CR. 0811-12 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	2008	2	22/11/2008	22/12/2008	76	60	7737	1426	6832549	-0.55	Neutras
CR. 0902-04 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	2009	1	28/02/2009	5/04/2009	148	94	5266	1617	7727907	-1.02	Niña
CR. 0908-09 CRUCERO DE ESTIMACION DE BIOMASA DESOVANTE POR EL METODO DE PRODUCCION DE HUEVOS	2009	2	28/08/2009	30/09/2009	60	51	4216	1058	4053265	0.25	Neutras
CR. 1002-04 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	2010	1	26/02/2010	31/03/2010	166	131	4361	1088	6844887	0.11	Neutras
CR. 1011-12 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	2010	2	14/11/2010	21/12/2010	115	89	5180	1670	5287449	-1.32	Niña
CR. 1102-04 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	2011	1	26/02/2011	4/04/2011	197	152	5024	2035	9708451	-1.18	Niña
CR. 1108-10 CRUCERO DE ESTIMACION DE BIOMASA DESOVANTE POR EL METODO DE PRODUCCION DE HUEVOS	2011	2	1/09/2011	5/10/2011	71	66	4796	2050	10655305	-0.43	Neutras
CR. 1202-04 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	2012	1	20/02/2012	13/04/2012	167	114	5441	1651	9277159	-0.33	Neutras
CR. 1209-11 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	2012	2	21/09/2012	27/10/2012	144	78	5040	1667	5369787	-1.75	Niña

Crucero de Evaluación considerado	Año	Semestre	Inicio Operación	Final Operación	Lances Totales	Lances con Anchoqueta	Registros acústicos	Registros		LABCOS referencial	Condiciones según LABCOS
								acústicos con anchoqueta	Biomasa acústica		
CR. 1302-04 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	2013	1	26/02/2013	6/04/2013	163	107	5276	1972	12129548	-1.005	Niña
CR. 1308-09 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	2013	2	19/08/2013	19/09/2013	177	149	6280	3297	10273433	-0.94	Niña
CR. 1402-04 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	2014	1	28/02/2014	10/04/2014	238	109	4862	1396	6143760	-0.165	Neutras
CR. 1408-10 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	2014	2	11/08/2014	24/09/2014	242	124	7072	1752	1454513	-0.15	Neutras
CR. 1502-04 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	2015	1	20/02/2015	1/04/2015	225	148	4620	1621	9620575	-0.275	Neutras
CR. 1508-10 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	2015	2	22/08/2015	27/09/2015	165	91	4567	1308	5087603	1.53	Niño
CR. 1605-06 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	2016	1	21/05/2016	12/06/2016	150	91	4476	1452	7117386	0.685	Niño
CR. 1609-11 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	2016	2	25/09/2016	31/10/2016	277	192	8289	2742	6859387	0.25	Neutras
CR. 1703-04 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	2017	1	12/03/2017	11/04/2017	236	153	6434	1643	7778463	2.06	Niño
CR. 1709-10 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	2017	2	26/09/2017	1/11/2017	186	95	8928	3341	6061236	-0.34	Neutras
CR. 1802-04 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	2018	1	26/02/2018	30/03/2018	275	195	8605	3216	10856550	-1.29	Niña
CR. 1809-11 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	2018	2	30/09/2018	10/11/2018	264	175	9471	3475	7627878	0.43	Niño
CR. 1902-03 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	2019	1	20/02/2019	25/03/2019	263	142	8154	1739	7003297	0.56	Niño

Crucero de Evaluación considerado	Año	Semestre	Inicio Operación	Final Operación	Lances Totales	Lances con Anchoqueta	Registros acústicos	Registros		LABCOS referencial	Condiciones según LABCOS
								acústicos con anchoveta	Biomasa acústica		
CR. 1909-11 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	2019	2	2/10/2019	5/11/2019	200	106	8903	2970	7229173	0.08	Neutras
CR. 2002-03 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	2020	1	19/02/2020	23/03/2020	326	177	9216	1600	10106771	0.46	Niño
CR. 2009-11 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	2020	2	14/09/2020	30/10/2020	202	118	6692	2737	8423057	-0.33	Neutras
CR. 2102-04 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	2021	1	20/02/2021	5/04/2021	282	141	7224	2554	9880665	-0.96	Niña
CR. 2109-11 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	2021	2	23/09/2021	24/10/2021	167	93	8817	2405	7007899	-0.21	Neutras
CR. 2202-04 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	2022	1	24/02/2022	28/03/2022	374	173	8473	2592	9780370	-1.24	Niña
CR. 2209-11 CRUCERO DE EVALUACION HIDROACUSTICA DE RECURSOS PELAGICOS	2022	2	22/09/2022	24/10/2022	321	177	9158	2969	6826839	-0.50	Neutras

Anexo 2.

Intervalos del Índice LABCOS para la clasificación de los Eventos El Niño y La Niña para el mar peruano (Fuente IMARPE)

Condición	Categoría	ΔT máx.	ΔT min
La Niña	Fuerte	-1.31	<-1.31
	Moderado	-1.31	-1.10
	Débil	-1.10	-0.78
Neutro		-0.78	0.27
El Niño	Débil	0.27	0.78
	Moderado	0.78	1.37
	Fuerte	1.37	2.77
	Muy fuerte	2.77	>2.77

Anexo 3.

Indicadores espaciales obtenidos para los juveniles para cada Crucero de Evaluación

Cod. Crucero	Lat_mean	PropLat	DC_mean	PropDC	inertLat	inertDC	AreaPos	AreaEq	pArea	Gini
9602-04	-10.689	0.593	25.290	0.124	6.823	406.711	33527.723	31776.983	33.528	0.133
9611-12	-10.658	0.064	41.986	0.399	7.371	779.229	33002.430	31886.317	33.002	0.100
9702-04	-8.986	0.056	7.513	0.949	5.242	56.611	6411.201	6024.150	6.411	0.145
9709-10	-10.792	0.551	11.186	0.897	8.703	121.963	16948.527	16556.152	16.949	0.087
9803-05	-12.179	0.015	8.131	0.717	5.770	89.380	9919.746	9739.348	9.920	0.074
9811-12	-11.627	0.820	14.321	0.072	7.258	185.990	15235.663	14611.752	15.236	0.112
9902-03	-9.961	0.747	19.187	0.587	6.679	223.675	24961.761	24301.266	24.962	0.091
9911-12	-10.238	0.491	32.346	0.145	6.460	563.759	40775.255	39766.861	40.775	0.089
0001-02	-9.808	0.932	24.351	0.177	7.173	383.091	35008.038	33785.299	35.008	0.104
0006-07	-10.158	0.035	28.708	0.250	10.992	459.360	26874.726	24824.030	26.875	0.169
0103-04	-9.625	0.620	25.631	0.196	8.264	333.333	41731.842	39582.498	41.732	0.133
0107-08	-9.275	0.115	26.296	0.841	8.399	452.319	33136.426	31556.262	33.136	0.124
0202-03	-10.906	0.554	20.082	0.489	8.925	296.032	34643.307	34222.697	34.643	0.061
0209-11	-10.723	0.738	24.052	0.599	7.273	488.843	34242.977	33526.474	34.243	0.080
0302-04	-9.845	0.653	18.823	0.233	9.441	345.956	26530.673	25352.278	26.531	0.126
0308-09	-9.301	0.958	33.177	0.154	3.622	671.853	30585.464	29467.493	30.585	0.103
0402-03	-10.440	0.714	18.807	0.569	9.469	268.398	32618.139	32126.362	32.618	0.068
0408-09	-9.803	0.649	36.621	0.228	7.902	695.876	48876.495	47249.212	48.876	0.105
0502-04	-10.596	0.802	28.341	0.207	8.045	491.125	44053.525	43482.750	44.054	0.063
0508-09	-9.248	0.805	35.967	0.202	6.452	750.047	44449.367	43011.112	44.449	0.098
0602-04	-10.215	0.881	18.133	0.257	6.873	256.559	27484.695	26829.257	27.485	0.088
0611-12	-10.560	0.365	19.190	0.031	11.978	276.645	32738.426	31332.110	32.738	0.122
0702-04	-9.911	0.424	21.273	0.165	10.224	430.302	32673.855	32018.782	32.674	0.077
0708-09	-10.066	0.450	39.283	0.242	11.234	820.541	58033.983	56576.354	58.034	0.091
0802-04	-10.683	0.619	10.296	0.883	9.776	106.654	17369.238	16956.908	17.369	0.083
0811-12	-10.302	0.017	23.473	0.044	8.377	486.187	29424.664	28130.735	29.425	0.126
0902-04	-10.794	0.784	19.414	0.033	9.685	269.254	32729.655	31404.342	32.730	0.116
0908-09	-10.314	0.149	32.367	0.890	7.840	765.930	35100.180	33988.565	35.100	0.101

Cod. Crucero	Lat_mean	PropLat	DC_mean	PropDC	inertLat	inertDC	AreaPos	AreaEq	pArea	Gini
1002-04	-11.070	0.201	11.173	0.554	9.911	107.144	21148.994	20870.169	21.149	0.065
1011-12	-9.866	0.595	25.729	0.156	9.864	437.517	41671.776	40529.041	41.672	0.092
1102-04	-10.117	0.676	26.027	0.409	9.512	357.532	46041.631	44976.067	46.042	0.086
1108-10	-9.682	0.658	46.459	0.162	8.615	750.478	50589.807	49213.068	50.590	0.096
1202-04	-10.578	0.362	23.299	0.129	8.407	440.325	30979.555	29793.650	30.980	0.113
1209-11	-10.587	0.002	30.129	0.776	11.204	857.367	35531.634	34214.905	35.532	0.111
1302-04	-10.060	0.510	33.535	0.046	6.494	696.257	42069.918	41295.626	42.070	0.076
1308-09	-9.727	0.893	42.478	0.031	10.305	1083.972	69957.523	68855.138	69.958	0.068
1402-04	-10.476	0.189	26.150	0.067	8.007	602.493	33301.333	32630.847	33.301	0.083
1408-10	-10.112	0.813	22.670	0.177	8.936	482.618	32637.224	31389.305	32.637	0.114
1502-04	-10.551	0.405	19.418	0.420	8.090	291.841	32436.295	31626.272	32.436	0.090
1508-10	-9.647	0.789	24.067	0.550	6.745	502.506	31333.103	30250.192	31.333	0.108
1605-06	-10.703	0.191	17.404	0.396	12.678	190.805	27989.864	27258.536	27.990	0.091
1609-11	-9.181	0.519	34.765	0.104	12.126	647.595	47638.229	46715.516	47.638	0.079
1703-04	-11.411	0.425	12.109	0.667	8.370	122.088	20710.226	20419.046	20.710	0.066
1709-10	-10.191	0.873	30.302	0.372	8.820	545.598	43757.952	42774.514	43.758	0.086
1802-04	-10.331	0.219	28.518	0.209	8.056	534.151	45571.127	44474.969	45.571	0.087
1809-11	-9.617	0.060	35.015	0.131	8.400	674.196	50703.602	48685.263	50.704	0.118
1902-03	-9.646	0.287	21.076	0.223	12.068	369.047	32063.381	31303.925	32.063	0.088
1909-11	-9.607	0.449	34.444	0.369	7.709	786.196	47010.193	44956.530	47.010	0.123
2002-03	-11.245	0.449	17.017	0.597	8.234	211.523	27576.599	27347.566	27.577	0.047
2009-11	-9.167	0.284	37.607	0.305	10.422	837.915	59710.845	57876.907	59.711	0.103
2102-04	-10.342	0.585	26.992	0.384	5.862	486.797	35933.033	35180.689	35.933	0.076
2109-11	-10.121	0.040	36.912	0.144	7.973	824.204	54892.708	52929.176	54.893	0.110
2202-04	-9.977	0.637	27.965	0.331	9.274	458.572	45615.805	44462.421	45.616	0.085
2209-11	-9.148	0.130	40.901	0.286	8.353	863.207	51573.151	50134.300	51.573	0.094

Anexo 4.

Indicadores espaciales obtenidos para los adultos para cada Crucero de Evaluación

Cod. Crucero	Lat_mean	PropLat	DC_mean	PropDC	inertLat	inertDC	AreaPos	AreaEq	pArea	Gini
9602-04	-10.691	0.547	28.033	0.180	7.850	457.811	43219.792	42681.862	43.220	0.064
9611-12	-10.163	0.652	43.230	0.145	7.022	664.434	36134.655	35738.999	36.135	0.047
9702-04	-9.215	0.712	18.337	0.751	5.794	337.380	16585.481	16336.949	16.585	0.071
9709-10	-10.797	0.355	11.725	0.712	8.790	137.339	18429.093	18289.077	18.429	0.048
9803-05	-12.110	0.050	8.180	0.473	5.730	86.262	9919.746	9812.513	9.920	0.059
9811-12	-12.284	0.016	12.872	0.089	6.367	141.644	13361.342	13093.421	13.361	0.082
9902-03	-10.327	0.413	21.363	0.172	6.458	281.056	27112.539	26802.772	27.113	0.049
9911-12	-10.422	0.425	33.823	0.091	6.722	543.591	43011.153	42573.292	43.011	0.055
0001-02	-10.128	0.664	34.591	0.129	8.590	653.701	53395.476	53069.548	53.395	0.043
0006-07	-10.903	0.323	41.738	0.046	8.944	824.006	49367.157	48370.888	49.367	0.083
0103-04	-9.529	0.715	28.957	0.212	9.309	448.537	44663.755	43938.392	44.664	0.072
0107-08	-9.936	0.424	30.548	0.440	10.466	535.739	44647.867	44054.385	44.648	0.066
0202-03	-10.987	0.297	20.697	0.141	9.211	244.022	34643.307	34539.709	34.643	0.031
0209-11	-10.718	0.320	25.088	0.418	7.136	452.619	34242.977	33902.603	34.243	0.054
0302-04	-9.950	0.591	16.844	0.562	9.714	223.765	27645.544	27355.966	27.646	0.059
0308-09	-9.332	0.709	34.298	0.287	3.827	638.291	30932.555	30701.612	30.933	0.046
0402-03	-10.488	0.568	18.333	0.382	9.644	204.955	32634.020	32325.063	32.634	0.047
0408-09	-9.937	0.629	38.408	0.233	8.400	726.221	49552.975	49170.579	49.553	0.049
0502-04	-10.669	0.381	27.824	0.079	8.103	438.127	44186.893	43936.741	44.187	0.040
0508-09	-9.435	0.677	36.410	0.131	6.277	682.012	44449.367	44031.367	44.449	0.053
0602-04	-10.271	0.431	17.391	0.373	6.692	217.299	26756.616	26643.131	26.757	0.036
0611-12	-9.949	0.467	16.919	0.271	10.230	162.463	30091.917	29785.250	30.092	0.054
0702-04	-9.948	0.532	18.277	0.409	9.419	211.058	32169.377	31494.694	32.169	0.076
0708-09	-10.150	0.349	40.123	0.297	10.734	734.950	58033.983	57692.898	58.034	0.044
0802-04	-10.884	0.497	11.549	0.674	9.046	151.347	18022.971	17832.945	18.023	0.053
0811-12	-10.190	0.331	27.836	0.301	6.603	561.028	33097.110	32715.356	33.097	0.059
0902-04	-10.880	0.347	19.717	0.110	9.419	228.123	32588.709	32365.169	32.589	0.045
0908-09	-10.434	0.318	34.009	0.417	7.027	665.564	35100.180	34712.369	35.100	0.059

Cod. Crucero	Lat_mean	PropLat	DC_mean	PropDC	inertLat	inertDC	AreaPos	AreaEq	pArea	Gini
1002-04	-10.761	0.421	12.209	0.408	9.609	112.032	22563.341	22415.844	22.563	0.042
1011-12	-10.311	0.513	27.008	0.353	8.625	423.348	37291.125	36850.288	37.291	0.062
1102-04	-10.354	0.422	27.083	0.138	9.753	355.329	46377.107	46230.205	46.377	0.031
1108-10	-9.800	0.447	47.522	0.102	8.317	732.046	51605.209	50957.454	51.605	0.064
1202-04	-10.409	0.546	21.772	0.245	8.057	276.021	33816.116	33188.347	33.816	0.070
1209-11	-10.668	0.270	31.234	0.466	9.875	783.133	35852.804	35442.190	35.853	0.061
1302-04	-10.005	0.770	33.676	0.057	6.029	601.818	41372.186	41056.567	41.372	0.046
1308-09	-9.815	0.544	41.895	0.172	10.344	750.097	70638.304	70172.405	70.638	0.045
1402-04	-10.432	0.401	20.385	0.361	8.557	262.014	30292.550	29897.716	30.293	0.066
1408-10	-10.349	0.235	20.604	0.706	8.598	369.029	29833.055	28946.384	29.833	0.098
1502-04	-10.300	0.557	20.018	0.269	7.582	258.849	31286.870	31096.071	31.287	0.040
1508-10	-10.071	0.682	25.374	0.730	6.280	440.992	29262.883	28818.943	29.263	0.067
1605-06	-10.581	0.268	16.074	0.656	12.382	181.547	26639.979	26067.735	26.640	0.082
1609-11	-9.429	0.361	30.556	0.249	12.166	518.473	45486.708	44630.995	45.487	0.077
1703-04	-11.163	0.279	12.961	0.297	8.514	136.105	21459.231	21350.279	21.459	0.039
1709-10	-10.158	0.488	29.153	0.542	9.196	568.400	35254.332	34161.845	35.254	0.095
1802-04	-9.836	0.665	28.934	0.172	7.844	546.085	41312.412	40896.182	41.312	0.054
1809-11	-9.307	0.606	37.023	0.365	7.759	734.380	50878.171	50232.870	50.878	0.064
1902-03	-10.040	0.301	12.298	0.574	10.967	96.887	22885.699	22360.366	22.886	0.086
1909-11	-9.771	0.670	32.860	0.409	6.817	713.070	38993.497	38343.939	38.993	0.073
2002-03	-10.392	0.591	14.598	0.603	6.409	144.770	21980.381	21843.791	21.980	0.042
2009-11	-9.033	0.535	39.220	0.304	9.722	735.255	60039.219	59398.114	60.039	0.055
2102-04	-10.284	0.394	25.497	0.283	5.970	396.858	32954.828	32634.765	32.955	0.048
2109-11	-9.957	0.346	39.481	0.181	7.650	867.237	53815.878	53098.281	53.816	0.064
2202-04	-9.567	0.553	27.334	0.212	8.173	445.295	40282.261	39741.249	40.282	0.060
2209-11	-9.115	0.373	43.153	0.328	7.918	898.673	51130.596	50683.323	51.131	0.052

Anexo 5.

Prueba de normalidad de Anderson-Darling para los indicadores estimados para los juveniles y adultos

a) Juveniles

Indicador espacial	p-value	¿La variable cumple normalidad?
Lat_mean	0.63979	SI
DC_mean	0.88457	SI
inertLat	0.44381	SI
InertDC	0.28391	SI
AreaEq	0.15439	SI
Gini	0.50842	SI

b) Adultos

Indicador espacial	p-value	¿La variable cumple normalidad?
Lat_mean	0.11309	SI
DC_mean	0.28379	SI
inertLat	0.72795	SI
InertDC	0.01281	NO
AreaEq	0.83258	SI
Gini	0.18344	SI

Anexo 6.

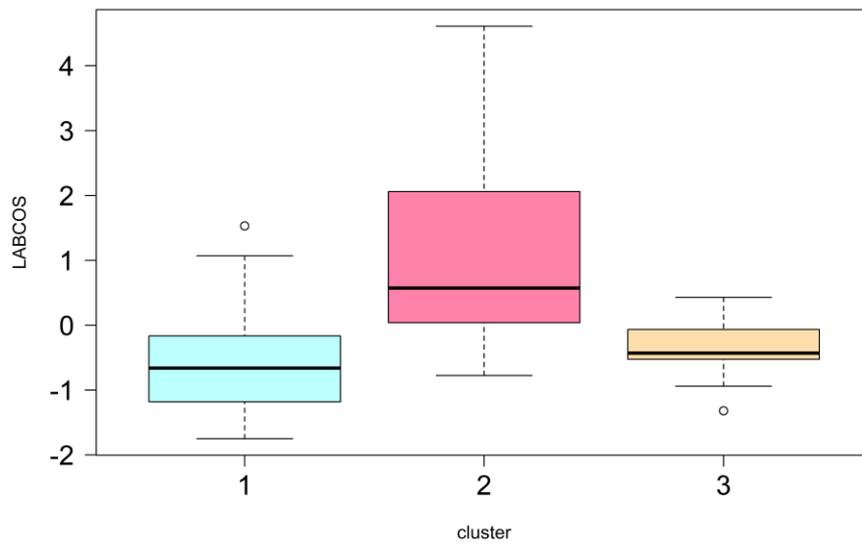
Resultados de pruebas de homogeneidad de varianza realizados a los indicadores espaciales

Indicador espacial	p-value	¿La variable cumple homocedasticidad?
Lat_mean	0.80672	SI
DC_mean	0.61475	SI
inertLat	0.60381	SI
AreaEq	0.90823	SI
Gini	0.00339	NO

Anexo 7.

Boxplot correspondientes al índice LABCOS para cada clúster identificado por juveniles y adultos.

a) Juveniles



b) Adultos

