Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Ciencias Biológicas
Escuela Profesional de Ciencias Biológicas

Variabilidad temporal de la selectividad de la flota industrial de cerco del stock norte-centro de la anchoveta peruana *Engraulis ringens* Jenyns, 1842 periodo 1985 – 2024

TESIS

Para optar el Título Profesional de Bióloga con mención en Hidrobiología y Pesquería

AUTOR

Andrea Guadalupe GONZALES TRELLES

ASESORES

Juan Pedro ARGUELLES TORRES
Elmer Ovidio QUISPE SALAZAR (Coasesor)

Lima, Perú

2026



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Gonzales, A. (2026). *Variabilidad temporal de la selectividad de la flota industrial de cerco del stock norte-centro de la anchoveta peruana Engraulis ringens Jenyns, 1842 periodo 1985 - 2024*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Biológicas, Escuela Profesional de Ciencias Biológicas]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Andrea Guadalupe Gonzales Trelles
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	73063143
URL de ORCID	No aplica
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Juan Pedro Arguelles Torres
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	08448131
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-4227-0952
Datos de coasesor	
Nombres y apellidos	Elmer Ovidio Quispe Salazar
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	46876627
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-9229-6379
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Silvia Ysabel Aguilar Luna
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09431714
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Carmen Rosario Yamashiro Guinoza

Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06756224
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Dario Ruben Faustino Fuster
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	43213143
Datos de investigación	
Línea de investigación	A.1.4.1. Producción y Manejo de Recursos Hidrobiológicos
Grupo de investigación	No aplica
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: Instituto del Mar del Perú País: Perú Departamento: Lima Provincia: Callao Distrito: Callao Localidad: Chucuito Calle: Equina Gamarra y General Valle S/N Latitud: -12.06671 Longitud: -77.15808
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2025-2026
URL de disciplinas OCDE	Biología marina, Biología de agua dulce, Limnología https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.06.12

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
(Universidad del Perú, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

ACTA DE SESIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE BIÓLOGA CON MENCIÓN EN HIDROBIOLOGÍA Y PESQUERÍA (MODALIDAD: SUSTENTACIÓN PRESENCIAL DE TESIS)

Siendo las 14:12 horas del 03 de noviembre de 2026, en el Salón de Grados de la Facultad de Ciencias Biológicas y en presencia del Jurado formado por los profesores que suscriben, se inició la sesión para optar al **Título Profesional de Bióloga con mención en Hidrobiología y Pesquería** de **ANDREA GUADALUPE GONZALES TRELLES.**

Luego de dar lectura y conformidad al expediente **N.º UNMSM-20260099597**, la titulando expuso su tesis: **VARIABILIDAD TEMPORAL DE LA SELECTIVIDAD DE LA FLOTA INDUSTRIAL DE CERCO DEL STOCK NORTE-CENTRO DE LA ANCHOVETA PERUANA *Engraulis ringens* Jenyns, 1842 PERIODO 1985 - 2024**, y el Jurado efectuó las preguntas del caso calificando la exposición con la nota 19,calificativo: Aprobado con máximos honores

Finalmente, el expediente será enviado a la Escuela Profesional de Ciencias Biológicas y al Consejo de Facultad para que se apruebe otorgar el **Título Profesional de Bióloga con mención en Hidrobiología y Pesquería** a **ANDREA GUADALUPE GONZALES TRELLES** y se eleve lo actuado al Rectorado para conferir el respectivo título, conforme a ley.

Siendo las 15:23 horas se levantó la sesión.

Ciudad Universitaria, 03 de noviembre de 2026.

SILVIA YSABEL AGUILAR LUNA
PRESIDENTA

JUAN PEDRO ARGUELLES TORRES
ASESOR

DARIO RUBEN FAUSTINO FUSTER
MIEMBRO

CARMEN ROSARIO YAMASHIRO GUINOZA
MIEMBRO

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE
SAN MARCOS
Universidad del Perú, Decana de América

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Juan Pedro Arguelles Torres en mi condición de asesor acreditado con el Dictamen de la EP N° 000042-2026-EPCB-FCB/UNMSM de la tesis, cuyo título es, "VARIABILIDAD TEMPORAL DE LA SELECTIVIDAD DE LA FLOTA INDUSTRIAL DE CERCO DEL STOCK NORTE-CENTRO DE LA ANCHOVETA PERUANA Engraulis ringens Jenyns, 1842 PERIODO 1985-2024" presentado por la bachiller ANDREA GUADALUPE GONZALES TRELLES para optar el título profesional de Bióloga con mención en HIDROBIOLOGÍA Y PESQUERÍA,

CERTIFICO, que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el 7% de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional.**

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del título profesional de Bióloga con mención en HIDROBIOLOGÍA Y PESQUERÍA.

Lima, 02 de octubre de 2026

Firma del Asesor

Nombres y Apellidos del asesor: Juan Pedro Arguelles Torres

DNI: 08448131

* Según corresponda: bachiller, magíster, doctor; título profesional o título de segunda especialidad

La vigencia del presente certificado corresponde a un período de noventa (90) días desde la fecha de su emisión; siempre que no haya observaciones en el texto durante el proceso de revisión por el jurado informante o surja alguna contingencia.

Dedicado a mi familia, mi puerto seguro y mi fuente de amor, cuya naturaleza única y compleja es el mayor tesoro que conozco. A su apoyo incondicional, que incluso en los errores me guía hacia lo correcto

AGRADECIMIENTOS

A Dios por ser mi pilar y refugio cuando se complicaban las cosas. Por acompañarme en los momentos de mayor incertidumbre, por recordarme que no cargamos con una cruz que no seamos capaces de soportar, por enseñarme a vivir el hoy y darme un lugar al cual pertenecer.

A mis padres, mi puerto seguro y fuente inagotable de amor, María Trelles Matta y Franz Gonzales García, que no permitieron rendirme, me sostuvieron hasta el final y me brindan el amor y la comprensión que me permiten avanzar día a día. A mis hermanos Joaquín, Paula, Karol, Rebeca y Mateo, gracias por su apoyo incondicional y por creer en mi incluso cuando yo dudaba, y por celebrar cada pequeño avance como si fuera el mayor logro.

Al Instituto de Mar del Perú (IMARPE), institución que me brindó los recursos necesarios para esta investigación y un espacio para el aprendizaje continuo. A mi co-asesor, el Blgo. Elmer Quispe Salazar, y mis colegas del Área Funcional de Dinámica Poblacional y Evaluación de Recursos Pelágicos (AFDPERP) por su orientación, consejos y generosidad al compartir su conocimiento sobre la pesquería de la anchoveta peruana.

A la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Decana de América, por forjarme como profesional y darme las herramientas para seguir triunfando. Al MSc. Juan Pedro Arguelles Torres, asesor de esta tesis, y a mis profesores en mi etapa universitaria, por avivar mi pasión por el mar y sus recursos.

A BTS, PLAVE, Day6 y The Rose, por ser fuente de inspiración, energía, alegría y apoyo en los momentos más complicados y agotadores de esta investigación. Su música fue la banda sonora de este proceso y el recordatorio de que la perseverancia siempre tiene sus recompensas.

Por último, agradezco profundamente a mi yo de hace seis años por no darse por vencida en los momentos más oscuros de mi juventud. Por aprender de los errores y tratar de sonreírle a la vida y salir adelante nuevamente. Lo logramos mi querida dama.

A todos ustedes que permitieron que esta investigación llegara a su destino.

心の底からありがとうございます。

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 16
2. MARCO TEÓRICO 18
2.1. SELECTIVIDAD PESQUERA: CONCEPTOS Y COMPONENTES 18
2.2. FACTORES QUE DETERMINAN LA SELECTIVIDAD 18
2.2.1. VARIABILIDAD TEMPORAL DE LA SELECTIVIDAD 19
2.3. SOBRE LOS MODELOS DE SELECTIVIDAD EN RECURSOS PESQUEROS 20
2.3.1. PRINCIPALES FORMAS FUNCIONALES 20
2.3.2. MODELO LOGÍSTICO DE SELECTIVIDAD 21
2.3.3. INTERPRETACIÓN DE PARÁMETROS DE SELECTIVIDAD 22
2.4. SELECTIVIDAD EN LOS MODELOS DE EVALUACIÓN DE STOCK 23
2.4.1. SELECTIVIDAD Y LA MORTALIDAD POR PESCA 23
2.4.2. IMPLICANCIAS DE UNA SELECTIVIDAD CONSTANTE EN LOS MODELOS DE EVALUACIÓN 24
2.4.3. IMPLICANCIAS DE UNA SELECTIVIDAD CONSTANTE EN LAS PROYECCIONES PESQUERAS 24
2.5. ANCHOVETA PERUANA Y STOCK NORTE-CENTRO 25
2.5.1. IMPORTANCIA ECOLÓGICA Y PESQUERA 25
2.5.2. DISTRIBUCIÓN Y HÁBITAT 26
2.5.3. HISTORIA DE VIDA DE LA ANCHOVETA 27
2.5.4. RECLUTAMIENTO Y SU EFECTO EN LA ESTRUCTURA DE TALLAS 28
2.6. DISPONIBILIDAD DE LA ANCHOVETA FRENTE A LA DINÁMICA AMBIENTAL 29
2.6.1. VARIABILIDAD OCEANOGRÁFICA EN EL SISTEMA DE LA CORRIENTE DE HUMBOLDT 29
2.6.2. EFECTOS DE EL NIÑO Y LA NIÑA 29
2.6.3. CAMBIOS EN LA DISPONIBILIDAD Y LA SELECTIVIDAD EFECTIVA 30
2.7. PESQUERÍA INDUSTRIAL DE CERCO DE ANCHOVETA 31
2.7.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA PESQUERÍA 31
2.7.2. TIPOS DE EMBARCACIÓN: ACERO Y MADERA 32
2.7.3. CAMBIOS OPERATIVOS Y NORMATIVAS 33
2.8. BRECHA DE CONOCIMIENTO Y ENFOQUE CONCEPTUAL DE LA TESIS 34
3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS 35

3.1. HIPÓTESIS 35

3.2. OBJETIVO GENERAL 35

3.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 35

4. MATERIAL Y MÉTODOS 36

4.1. ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE SELECTIVIDAD 36

4.1.1. Vinculación entre la estructura poblacional observada en cruceros y la composición de tallas de la pesquería. 36

4.1.2. Estimación de los parámetros de selectividad 37

4.2. VARIABILIDAD ESTACIONAL, INTERANUAL Y DECADAL DE LOS PARÁMETROS DE SELECTIVIDAD 38

4.2.1. Identificación de cambios estructurales en los parámetros de selectividad 39

4.2.2. Variabilidad estacional de los parámetros de selectividad 40

4.3. SELECTIVIDAD POR TIPO DE EMBARCACIÓN 41

4.4. CUANTIFICAR EL EFECTO DE DISTINTOS ESCENARIOS DE SELECTIVIDAD SOBRE LA CAPTURA TOTAL PROYECTADA, CAPTURA DE JUVENILES Y BIOMASA REMANENTE 41

5. RESULTADOS 43

5.1. ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE SELECTIVIDAD 43

5.1.1. Vinculación entre la estructura poblacional observada en cruceros y la composición de tallas de la pesquería 43

5.1.2. Estimación de los parámetros de la selectividad 44

5.2. VARIABILIDAD ESTACIONAL, INTERANUAL Y DECADAL DE LOS PARÁMETROS DE SELECTIVIDAD 47

5.2.1. Tendencia de los parámetros de selectividad 47

5.2.2. Cambios estructurales en los parámetros de la selectividad 48

5.2.3. Variabilidad estacional de los parámetros de selectividad 51

5.3. SELECTIVIDAD POR TIPO DE FLOTA 52

5.4. IMPLICANCIAS DE LA VARIABILIDAD EN LA SELECTIVIDAD EN LA EVALUACIÓN DEL STOCK 53

6. DISCUSIÓN 56

6.1. VINCULACIÓN ENTRE LA ESTRUCTURA POBLACIONAL OBSERVADA EN CRUCEROS Y LA COMPOSICIÓN DE TALLAS DE LA PESQUERÍA 56

6.2. SOBRE VARIABILIDAD ESTACIONAL, INTERANUAL Y DECADAL DE LOS PARÁMETROS DE SELECTIVIDAD 57

6.3. SOBRE SELECTIVIDAD POR TIPO DE FLOTA 61

6.4. SOBRE IMPLICANCIAS DE LA VARIABILIDAD EN LA SELECTIVIDAD EN LA EVALUACIÓN DEL STOCK 61

7. CONCLUSIONES 63
8. RECOMENDACIONES 64
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 65
10. ANEXOS 74

Índice de Figuras

Figura 1. Factores que afectan la selectividad en los peces: factores extrínsecos (1, 2) e intrínsecos (3, 4, 5). Fuente: Elaboración propia. 19

Figura 2. Modelos de curva de selectividad utilizados en la evaluación de recursos pesqueros. El eje horizontal representa las clases de talla $L1a\ Ln$. Fuente: Elaboración propia 21

Figura 3. Modelo de selectividad de tipo logístico usado en la anchoveta peruana (Engraulis ringens). (A) Talla de retención al 50% ($L50$) y (B) parámetro de escala SR como distancia entre $L75$ y $L25$ Fuente: Elaboración propia. 22

Figura 4. Clasificación taxonómica de la anchoveta peruana 25

Figura 5. Distribución espacial de Engraulis ringens en área peruana: stock del norte-centro frente a Perú y stock sur frente a Perú y el norte Chile. Tomado de Mori et al. (2011)..... 26

Figura 6. Efectos de El Niño – Oscilación del Sur sobre la anchoveta. Fuente: Elaboración propia..... 30

Figura 7. Biomasa desovante y captura histórica del stock norte - centro de la anchoveta peruana. Las líneas rojas punteadas separan las fases de explotación. Modificado de Quispe-Salazar (2025) 32

Figura 8. Distribuciones de frecuencia relativa de tallas de la anchoveta peruana para cada crucero de evaluación hidroacústica. El área sombreada en gris corresponde a la distribución observada durante el crucero; la línea negra continua representa la composición de tallas registrada en la pesquería industrial al inicio de la temporada de pesca correspondiente. La línea punteada vertical punteada indica la talla mínima de captura reglamentaria (12 cm). Los cruceros marcados con asterisco (*) corresponden a estructuras proyectadas hasta el mes de inicio de la temporada de pesca (ver Tabla 3). 44

Figura 9. Serie temporal de los parámetros de selectividad estimados en el periodo de 1985-2024: A) $L50$ y B) SR para la serie completa; (C) y (E) corresponden a la primera temporada (I) y (D) y (F) a la segunda temporada de pesca (II), para $L50$ y SR respectivamente. Los puntos representan los valores estimados por temporada y las líneas verticales indican los intervalos de confianza al 99%. Las líneas horizontales discontinuas corresponden a la media de cada parámetro. Los asteriscos indican los 9 pares asociados a ajustes menores a 0.2 $R2 > 0.2$ y a una convergencia en los límites del rango de búsqueda. 47

Figura 10. Tendencia a largo plazo de los parámetros de selectividad de la anchoveta peruana estimados por temporada (1996 - 2024). Las líneas grises representan los valores observados por temporada, y la línea sólida con banda de confianza (95%) representa la tendencia suavizada. 48

Figura 11. Identificación de puntos de quiebre en la serie temporal semestral de los parámetros de selectividad: A) $L50$ y B) SR. La línea con puntos representa la serie temporal del parámetro. Las líneas verticales discontinuas verdes indican los años en que al menos un método estadístico detectó un punto de quiebre. Los segmentos rojos horizontales delimitan las zonas temporales con mayor concentración de detecciones coincidentes entre métodos. 49

Figura 12. Series temporales y distribución por régimen temporal de los parámetros de selectividad $L50$ (A, B) y SR (C, D) por régimen temporal. Los paneles A y C muestran la evolución temporal de cada parámetro, donde las líneas verticales discontinuas indican los años de quiebre estructural que delimitan los regímenes. Los paneles B y D muestran la distribución de los datos de $L50$ y SR, respectivamente, dentro de cada régimen mediante un diagrama de violín con un diagrama de caja y bigotes superpuesto, donde se indica la media (rombo) y la mediana (línea horizontal)..... 50

Figura 13. Variabilidad estacional de los parámetros de selectividad entre temporadas de pesca. Distribución de valores estandarizados de: A) $L50$ y B) SR por temporada de pesca (I y II). La caja indica el rango intercuartílico, la línea central la mediana y el rombo la media. Los puntos representan los valores individuales estandarizados por temporada. 51

Figura 14. Distribución de los parámetros de selectividad (A) $L50$ y (B) SR, según tipo de flota: acero (azul) y madera (rojo) para el periodo 2023-2025. Las cajas internas representan el rango intercuartílico y la media; la forma del violín indica la distribución de los valores**.**..... 52

Figura 15. Distribución de las proyecciones bajo los dos escenarios: Selectividad constante y I-temp, para las variables analizadas: (A) BT: Biomasa total, (B) BDR: Biomasa desovante remanente, (C) Q: Cuota de captura y (D) QJ: Cuota de captura de juveniles. Las cajas internas representan el rango intercuartílico y la media. Los valores están expresados en millones de toneladas..... 53

Figura 16. Distribución de las proyecciones bajo los dos escenarios: Selectividad constante y II-temp, para las variables analizadas: (A) BT: Biomasa total, (B) BDR: Biomasa desovante remanente, (C) Q: Cuota de captura y (D) QJ: Cuota de captura de juveniles. Las cajas internas representan el rango intercuartílico y la media. Los valores están expresados en millones de toneladas..... 54

Índice de Tablas

Tabla 1. Pruebas de detección de puntos de quiebre utilizadas para identificar regímenes en las series de los parámetros de selectividad. 39

Tabla 2. Parámetros de selectividad empleados en los escenarios de proyección 42

Tabla 3. Cruceros en las que la estructura observada fue proyectada hasta el inicio de la temporada de pesca 43

Tabla 4. Serie temporal de los parámetros de la selectividad estimados por temporada mediante un modelo de curva logística. 45

Tabla 5. Contribución porcentual de los componentes de tendencia, estacionalidad y aleatoriedad a la varianza total de las series temporales de los parámetros de selectividad 48

Tabla 6. Resumen de los análisis de la prueba de Chow en los puntos identificados como cambios estructurales 49

Tabla 7. Comparación intraanual (Temporada I vs II) de los parámetros de selectividad mediante la prueba de Wilcoxon pareada. 51

Tabla 8. Valores e intervalos de confianza de $\mathrm{L50}$ y SR según segmento de flota industrial (acero y madera), periodo 2023-2025. 52

Tabla 9. Valores y la desviación estándar de los parámetros de selectividad por régimen temporal y temporada de pesca (periodo 1996 – 2024), excluidos años anómalos y estimaciones deficientes. 55

Índice de Anexos

Anexo 1. Distribución de frecuencia relativa de tallas de la captura observada y captura teórica estimada por temporada de pesca, periodo 1985 – 2024. La captura observada durante la primera (rojo) y segunda (azul) temporada de pesca, y captura teórica estimada mediante el modelo de selectividad logística (línea negra). Se presentan los valores estimados de $L50$ y SR para cada temporada. 74

Anexo 2. Serie temporal de los parámetros de selectividad e indicadores espaciales de la anchoveta peruana según temporada de pesca. A) $L50$, B) SR, C) Distancia a la costa, D) Heterogeneidad y E) Área ocupada. La línea negra y la banda sombreada representan la tendencia lineal (con intervalo de confianza del 95%). Los puntos rojos corresponden a la primera temporada de pesca y los puntos azules a la segunda temporada de cada año. 75

RESUMEN

La selectividad pesquera es un parámetro fundamental en los modelos de evaluación de stock, pues determina qué fracción de la población es vulnerable a la captura. Esta puede variar en el tiempo debido a factores asociados al arte y operación de la flota, así como a la biología y ecología del recurso. Considerando ello, surge la necesidad de estudiar la evolución de dicho parámetro en la pesquería de la anchoveta peruana (*Engraulis ringens*). Por ello, la presente investigación analiza la variabilidad temporal de la selectividad de la flota industrial de cerco que opera sobre el stock norte-centro de la anchoveta peruana durante el período 1985-2024. Para ello, se integraron datos de abundancia por talla provenientes de 68 cruceros de evaluación de recursos pelágicos, junto con datos de composición por tallas de la captura de la pesquería industrial. Se estimaron parámetros de selectividad $(L_{50}$ y $SR)$ por temporada de pesca mediante un modelo logístico. Para evaluar la variabilidad temporal de la selectividad bajo distintas escalas temporales, se aplicaron técnicas de series de tiempo (periodo 1996-2024) orientadas a identificar tendencias a largo plazo, cambios estructurales y patrones estacionales en los parámetros L_{50} y SR. Asimismo, se estimaron parámetros por tipo de embarcación (acero y madera) durante el período 2023–2025, con el fin de evaluar posibles diferencias en la vulnerabilidad por talla entre segmentos de la flota industrial. Complementariamente, se evaluó el efecto de incorporar una selectividad variable en el tiempo en las proyecciones mediante la comparación de tres escenarios de selectividad, considerando sus implicancias sobre la biomasa remanente, la captura total proyectada y la captura esperada de juveniles. De los 68 pares crucero-temporada evaluados, 59 presentaron un ajuste aceptable $(R^2 > 0.2)$. Los resultados mostraron una disminución significativa en el L_{50} $(\tau = -0.24; p = 0.009)$ y un aumento progresivo en el *SR* $(\tau = +0.20; p = 0.032)$ en el periodo 1996-2024, lo que sugiere una mayor vulnerabilidad de los individuos de tallas menores y una menor discriminación por talla en el régimen reciente. Se identificaron tres regímenes temporales independientes en los parámetros de selectividad, que cuya explicación podría deberse a eventos relevantes como la “sobrecapacidad de la flota de madera” (2001-2003), “la carrera olímpica” (2004-2008) y la “despenalización de juveniles” (D.S. N° 024-2016-PRODUCE (2016-2017). A escala estacional, L_{50}fue menor durante la primera temporada de pesca (11.35 cm) que durante la segunda temporada (11.66 cm), consistente con la incorporación de individuos de menor talla asociados al pulso de reclutamiento de enero-marzo a la fracción del stock disponible para la flota. La comparación entre embarcaciones de acero y madera durante 2023–2025 no evidenció diferencias en los parámetros de selectividad, lo que sugiere patrones similares de retención por talla entre ambos segmentos durante el periodo analizado. Los escenarios de selectividad mostraron que el uso de parámetros actualizados al régimen modificó las cantidades de interés para el manejo. Tanto para la primera como segunda temporada se observaron diferencias en la biomasa remanente, la cuota de captura y la captura prevista de juveniles $(\mathrm{p} < 0.001)$. En conjunto, los resultados muestran que la selectividad de la flota industrial de cerco del stock norte-centro de anchoveta peruana no es un atributo estático, sino un proceso dinámico que varía entre años y temporadas de pesca, como resultado de la interacción entre la estructura de tallas disponible, los pulsos de reclutamiento, la distribución espacial del recurso y la normativa aplicada a su pesquería. Aunque la detección de puntos de quiebre no permite atribuir los cambios a un

mecanismo específico, los resultados evidencian que la actualización de los parámetros de selectividad al régimen reciente modifica estimaciones relevantes para el manejo. En consecuencia, incorporar parámetros de selectividad variables en el tiempo y diferenciados por temporada permitiría representar con mayor precisión la vulnerabilidad por talla y fortalecer las proyecciones del stock a corto plazo.

Palabras clave: *selectividad pesquera, Engraulis ringens, vulnerabilidad por talla*, *variabilidad temporal, puntos de quiebre, evaluación de stock*

ABSTRACT

Fishing selectivity is a fundamental parameter in stock assessment models because it determines the fraction of the population that is vulnerable to capture. Selectivity may vary over time due to factors related to fishing gear and fleet operations, as well as to the biology and ecology of the target resource. In this context, there is a need to examine the temporal evolution of this parameter in the Peruvian anchoveta (Engraulis ringens) fishery. Accordingly, this study analyzed the temporal variability in selectivity of the industrial purse-seine fleet targeting the north-central stock of Peruvian anchoveta over the period 1985–2024. Length-based abundance data from 68 pelagic resource assessment surveys were integrated with catch-at-length composition data from the industrial fishery. Selectivity parameters (L50 and SR) were estimated for each fishing season using a logistic model. To assess temporal variability in selectivity at different time scales, time-series techniques (1996-2024 period) were applied to identify long-term trends, structural changes, and seasonal patterns in L50 and SR. In addition, selectivity parameters were estimated by vessel type (steel and wooden fishing vessels) during 2023–2025 to assess potential differences in size-specific vulnerability between segments of the industrial fleet.

The effect of incorporating time-varying selectivity into stock projections was also evaluated by comparing three selectivity scenarios and assessing their implications for remaining biomass, projected total catch, and expected juvenile catch. Of the 68 survey–fishing season pairs evaluated, 59 showed an acceptable fit ($R^2 > 0.2$). Results showed a significant decrease in L50 ($\tau = -0.24$; $p = 0.009$) and a progressive increase in SR ($\tau = +0.20$; $p = 0.032$) over the period 1996–2024, suggesting greater vulnerability of smaller individuals and reduced size discrimination under the recent selectivity regime. Three independent temporal regimes in selectivity parameters were identified and were associated with relevant events such as the “overcapacity of the wooden fishing vessels” (2001–2003), the “Olympic fishing” period (2004–2008), and the “decriminalization of juvenile catches” associated with Supreme Decree No. 024-2016-PRODUCE (2016–2017). At the seasonal scale, L50 was lower during the first fishing season (11.35 cm) than during the second fishing season (11.66 cm), consistent with the incorporation of smaller individuals associated with the January–March recruitment pulse into the fraction of the stock available to the fleet.

The comparison between steel and wooden fishing vessels during 2023–2025 showed no differences in selectivity parameters, suggesting similar size-specific retention patterns between the two fleet segments during the analyzed period. The selectivity scenarios showed that the use of parameters updated to the recent regime modified quantities of interest for fisheries management. For both the first and the second fishing seasons, differences were observed in remaining biomass, catch quota, and expected juvenile catch ($p < 0.001$). Overall, the results show that selectivity of the industrial purse-seine fleet targeting the north-central stock of Peruvian anchoveta is not a static attribute, but rather a dynamic process that varies among years and fishing seasons as a result of interactions among the available size structure, recruitment pulses, spatial distribution of the resource, and fishery regulations. Although breakpoint detection does not allow the observed changes to be attributed to a specific mechanism, the results indicate that updating selectivity parameters to reflect the recent regime modifies estimates that are relevant for fisheries management. Consequently, incorporating time-varying and

season-specific selectivity parameters would allow a more accurate representation of size-specific vulnerability and strengthen short-term stock projections.

Keywords: fishing selectivity, Engraulis ringens, size-specific vulnerability, temporal variability, structural breakpoints, stock assessment.

1. INTRODUCCIÓN

La selectividad pesquera es un componente central de la dinámica de las poblaciones explotadas, ya que determina el rango de tallas o edades en el que actúa la mortalidad por pesca (Sampson, 2014). En los modelos de evaluación de stock, este proceso suele representarse mediante el principio de separabilidad, donde la mortalidad por pesca específica por edad o talla se expresa como el producto de la intensidad de pesca en el tiempo y de la selectividad del arte o de la flota (Díaz et al., 2010). En este sentido, la selectividad no solo condiciona la composición de las capturas, sino que también influye indirectamente en la estructura poblacional remanente, la biomasa explotable y la estimación de los puntos biológicos de referencia utilizados en el manejo pesquero (Maunder et al., 2014; Vasilakopoulos et al., 2020).

Sin embargo, la selectividad no constituye un atributo fijo de una pesquería, su magnitud y forma pueden variar en el tiempo como resultado de la interacción entre factores extrínsecos (asociados al arte y a la operación de la flota) e intrínsecos (asociados a la biología y la ecología del recurso) (Crone & Valero, 2014; Stewart & Martell, 2014). En consecuencia, asumir que la selectividad permanece constante puede inducir sesgos en la estimación de parámetros poblacionales (Ichinokawa et al., 2014; Stewart & Martell, 2014), especialmente en pequeños pelágicos (Crone & Valero, 2014; Schueller et al., 2014), cuya vulnerabilidad a la pesca depende estrechamente de cambios en el ambiente, la distribución espacial (Hurtado-Ferro et al., 2014; Okamura et al., 2014) y el comportamiento de la flota (Martell & Stewart, 2014).

Por ejemplo, Stewart & Martell (2014) mostraron que asumir una selectividad constante en el fletán del Pacífico (*Hippoglossus stenolepis*) generó sesgos retrospectivos severos que solo se resolvieron al incorporar una selectividad variable en el tiempo, mientras que Crone & Valero (2014) observaron que ignorar esta variabilidad distorsiona las estimaciones de biomasa y del rendimiento máximo sostenible en pesquerías de pequeños pelágicos. No obstante, aún son escasos los estudios que abordan explícitamente la variabilidad temporal de la selectividad en pesquerías altamente dinámicas.

Este desafío adquiere particular relevancia en el ecosistema marino peruano (región norte de la Corriente de Humboldt), caracterizado por su alta productividad y abundancia de recursos pesqueros. En este ecosistema, la anchoveta peruana (*Engraulis ringens*) es el recurso más importante, dado que ecológicamente, transfiere energía desde niveles inferiores (plancton) hacia depredadores superiores (Blaskovic et al., 2011). Además de su posición ecológica, su elevada abundancia ha permitido que la especie sostenga una de las mayores pesquerías monoespecíficas del mundo (Joo et al., 2014), orientado a la producción de harina y aceite de pescado (Chu, 2016); expresada también en su importancia socioeconómica, por su contribución a la generación de divisas y al empleo directo e indirecto de aproximadamente 250 mil personas (Vílchez, 2020). En particular, el stock norte-centro concentra históricamente la mayor fracción de la biomasa y de las capturas nacionales, y su dinámica poblacional responde tanto a rasgos propios de su historia de vida como a fluctuaciones ambientales o forzantes de gran escala (Oliveros-Ramos & Peña, 2011; Xu et al., 2013).

Entre estas forzantes, los eventos El Niño y La Niña constituyen uno de los principales moduladores de la variabilidad interanual del stock (Gutiérrez, 2015). Estos fenómenos alteran el hábitat de la anchoveta mediante cambios en temperatura, oxígeno, productividad y distribución del alimento, afectando su distribución espacial, disponibilidad para la pesca, condición biológica y estructura demográfica (Bouchon et al., 2019). Como resultado, la fracción de la población vulnerable a la flota puede modificarse de manera importante entre temporadas y años, generando cambios en la selectividad pesquera (Díaz et al., 2010; Joo et al., 2014; Morón et al., 2018). A esta variabilidad ambiental se suma una flota industrial heterogénea, compuesta por embarcaciones de acero y madera, cuya operación ha experimentado cambios tecnológicos, operativos y normativos a lo largo del tiempo (PRODUCE, 2001, 2008, 2016). En este contexto, donde el stock y la pesquería pasan por diversos cambios, resulta necesario evaluar si la selectividad presenta variaciones temporales y operativas. Puesto que ignorar esta variabilidad puede afectar la representación de la vulnerabilidad por talla, particularmente en lo referente a la captura de juveniles, y comprometer la precisión de las evaluaciones de stock y de las proyecciones utilizadas para la toma de decisiones.

En ese marco, la presente investigación tiene como objetivo analizar la variabilidad temporal de la selectividad de la flota industrial de cerco que opera sobre el stock norte-centro de la anchoveta peruana durante el período 1985–2024. Para ello, se estiman parámetros de selectividad por temporada de pesca y se evalúan sus patrones interanuales, estacionales y por tipo de embarcación (madera y acero). De este modo, se busca determinar si la selectividad ha permanecido estable o si, por el contrario, ha experimentado cambios sistemáticos a lo largo de las últimas cuatro décadas.

Los resultados de esta investigación aportarán información clave en donde las especificaciones de selectividad afectan las proyecciones de corto plazo, las cantidades de manejo derivadas de ellas y la proporción prevista de juveniles en las capturas. Asimismo, proporcionarán herramientas y medidas diferenciadas por tipo de embarcación y temporada, incluyendo la determinación de cuotas bajo distintos escenarios de selectividad y el ajuste del esfuerzo pesquero según el periodo de vulnerabilidad ambiental (como los eventos el Niño). El marco metodológico desarrollado en este trabajo puede ser replicable en otras pesquerías con flotas heterogéneas o dinámica complejas en su selectividad, lo que facilitará un mejor manejo adaptativo mediante la actualización de parámetros de selectividad tomando en cuenta el estado del recurso y el desempeño observado de la flota

2. MARCO TEÓRICO

2.1. SELECTIVIDAD PESQUERA: CONCEPTOS Y COMPONENTES

La selectividad es un parámetro fundamental en la dinámica pesquera que puede ser conceptualizada bajo tres enfoques interrelacionados que captan los distintos procesos en el desarrollo de la captura:

(i) **Selectividad por disponibilidad:** Se refiere a la probabilidad de que un pez esté presente en el área y momento exacto en que opera la flota pesquera. Esto depende de factores biológicos – ecológicos como los patrones de distribución del recurso, sus migraciones, su comportamiento y su superposición espaciotemporal con la actividad pesquera (Sampson, 2014; Stewart & Martell, 2014).

(ii) **Selectividad por contacto (o vulnerabilidad):** Representa la probabilidad de que un pez sea capturado tras interactuar directamente con el arte de pesca, Este enfoque se centra en las propiedades físicas del aparejo que determinan si un pez de una talla específica es retenido o escapa (Maunder et al., 2014; Sampson, 2014).

(iii) **Selectividad pesquera:** Corresponde a la probabilidad integral de captura, resultante de la combinación de la selectividad por disponibilidad y por contacto. Sintetiza así todos los procesos a escala temporal, espacial y demográfica que determinan finalmente qué fracción de la población es vulnerable a la pesquería (Maunder et al., 2014; Sampson, 2014; Vasilakopoulos et al., 2020)

2.2. FACTORES QUE DETERMINAN LA SELECTIVIDAD

La selectividad está determinada por una variedad de factores que suelen agruparse en extrínsecos e intrínsecos (Crone & Valero, 2014; Maunder et al., 2014; Sampson, 2014) (Figura 1):

- **Factores extrínsecos (asociados al arte y la operación de la flota)**:

    1. **Diseño del arte de pesca:** Características técnicas como el tamaño de malla (o cocada), que actúa como un tamiz físico filtrando por tamaño; el material y color de la red, que afectan su rigidez y visibilidad; y la configuración del arte (forma del copo, uso de paños dobles), que modifican el comportamiento de escape de los peces. Estas características definen la eficiencia y la curva de selección inherente al arte.
    2. **Operación del arte de pesca:** Abarca las decisiones y tácticas durante la faena de pesca. Factores como la velocidad de calado, la profundidad a la que se trabaja con el arte, el tiempo de permanencia en el agua y la experiencia de la tripulación influyen en el encuentro y la retención efectiva de los peces, modificando la selectividad teórica del diseño.

- **Factores intrínsecos (asociados a la biología y ecología del recurso):**

    1. **Disponibilidad espaciotemporal:** Este factor está sujeto a la distribución geográfica del recurso, que a su vez responde a variables ambientales

(temperatura, oxígeno, corrientes), a la distribución de presas y a la presencia de depredadores.

2. **Morfometría y comportamiento:** Relacionados con la forma del cuerpo de los peces (que afecta su capacidad para pasar a través de una malla) y su comportamiento de escape (reacción ante las redes y nado).
3. **Estructura de tallas y crecimiento:** Variaciones en las tasas de crecimiento poblacional pueden alterar la relación entre talla y edad, haciendo que una malla de tamaño fijo capture proporciones diferentes de cada cohorte a lo largo del tiempo.

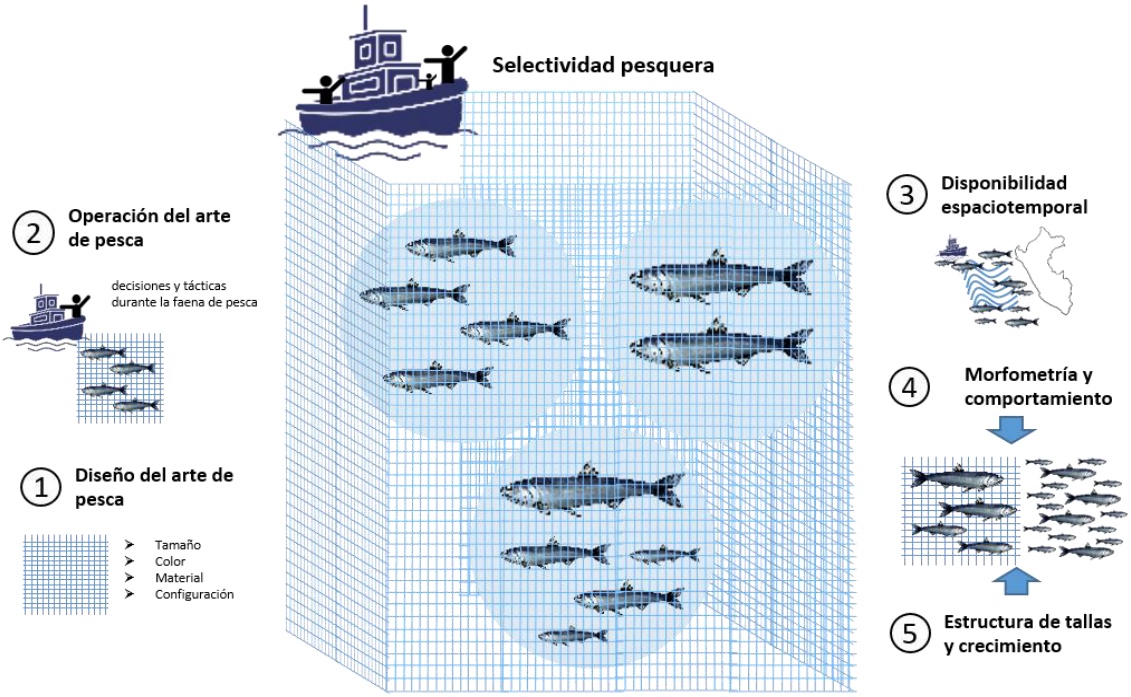


Figura 1. Factores que afectan la selectividad en los peces: factores extrínsecos (1, 2) e intrínsecos (3, 4, 5). Fuente: Elaboración propia.

2.2.1. VARIABILIDAD TEMPORAL DE LA SELECTIVIDAD

La naturaleza dinámica de estos factores, donde, por ejemplo, una normativa pesquera puede cambiar el diseño de las redes (extrínseco) o un evento de El Niño puede alterar la distribución del recurso (intrínseco), implica que la selectividad no es un valor constante (Martell & Stewart, 2014; Nielsen & Berg, 2014).

Por el contrario, exhibe una variabilidad que puede manifestarse a diferentes escalas temporales. A nivel de regímenes, las variaciones en la selectividad pueden surgir por modificaciones tecnológicas o cambios en las decisiones operativas tras eventos de gran impacto (El Niño o La Niña) (Martell & Stewart, 2014; Stewart & Martell, 2014). En cuanto a nivel interanual, los cambios suelen responder a fluctuaciones en la tasa de crecimiento, a la tendencia de la flota por capturar mayor cantidad posible o ajustes en la demanda del mercado y normativas de manejo (Crone & Valero, 2014; Stewart & Martell, 2014). Finalmente, a nivel estacional, la variabilidad puede verse modulada por migraciones o periodos de reproducción del recurso, lo que altera la disponibilidad

espacial de las tallas en el momento que opera la flota (Hurtado-Ferro et al., 2014; Okamura et al., 2014)

Considerando lo anterior, el análisis temporal es necesario en las evaluaciones de stock (Maunder et al., 2014; Thorson & Taylor, 2014), ya que suposiciones incorrectas o simplistas pueden distorsionar las estimaciones de cantidades importantes para la gestión, tales como el rendimiento sostenible (RMS), la abundancia absoluta del stock y su nivel de agotamiento relativo, comprometiendo la eficacia de las medidas de ordenamiento pesquero (Butterworth et al., 2014; Crone & Valero, 2014; Maunder et al., 2014; Wang et al., 2014b).

2.3. SOBRE LOS MODELOS DE SELECTIVIDAD EN RECURSOS PESQUEROS

2.3.1. PRINCIPALES FORMAS FUNCIONALES

Para comprender las diferentes formas en que se manifiesta la selectividad frente a diversos recursos, se emplean modelos basados en la estimación de un conjunto de parámetros que determinan la probabilidad de que un recurso de cierta edad o talla sea retenido por el arte de pesca, donde dicha probabilidad oscila entre 0 (sin posibilidad de retención) y 1 (retención determinada). Los tipos de modelos pueden ser:

- **Filo de cuchillo (Knife-edged):** Se asume que los individuos por debajo de una edad o talla específica no son capturados, mientras que todos aquellos que superan ese umbral son plenamente capturados (Figura 2.A) (Punt et al., 2014; Wang et al., 2014b).
- **Logística:** Es una curva asintótica en forma de “S”. La probabilidad de selección aumenta con la talla o edad hasta alcanzar un máximo que se mantiene constante para los individuos más grandes o viejos (Figura 2.B) (Methot, 2000; Sampson, 2014).
- **Domo (Dome-shaped):** Se asume que la probabilidad de captura es máxima para los individuos de edades o tallas intermedias y disminuye para los ejemplares más jóvenes y viejos (Figura 2.C) (Legault, 2014; Thorson & Taylor, 2014).
- **Doble logística (Domo):** Se construye mediante la combinación de dos funciones logísticas (una ascendente y otra descendente). Cuando los puntos de inflexión de ambas ramas están suficientemente separados, se genera una meseta de selectividad máxima entre tallas intermedias, seguida de un descenso gradual (Figura 2.D) (Methot, 2000; Sampson, 2014).

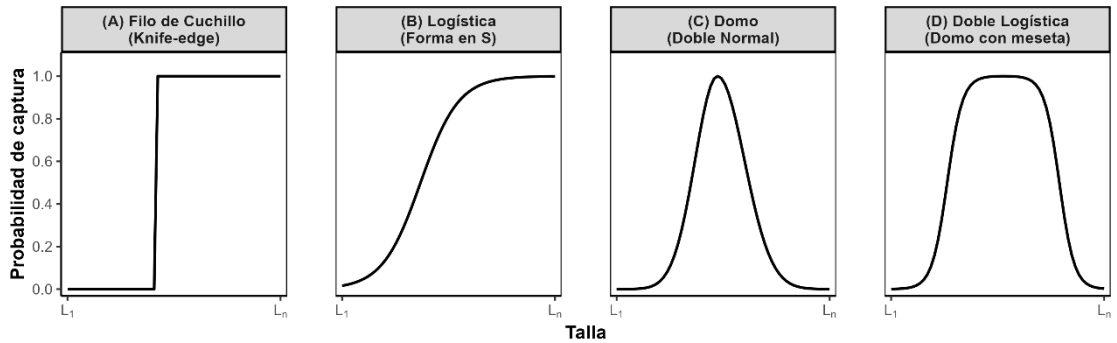


Figura 2. Modelos de curva de selectividad utilizados en la evaluación de recursos pesqueros. El eje horizontal representa las clases de talla $(L_1 a\ L_n)$. Fuente: Elaboración propia

Además, la elección de una curva de selectividad depende, entre otros factores, de la biología de la especie, como el crecimiento y la madurez, que pueden afectar la disponibilidad del recurso ante el arte de pesca, o el tipo de arte de pesca empleado (redes de cerco, arrastre, enmalle, entre otros) (Punt et al., 2014).

2.3.2. MODELO LOGÍSTICO DE SELECTIVIDAD

En las pesquerías de pequeños pelágicos que operan con redes de cerco, como la anchoveta (IMARPE, 2020) o la sardina (Tosunoğlu et al., 2022), el patrón de selección observado suele ajustarse mejor a una curva de tipo logístico o ascendente. Esto se debe a que la captura con este arte de pesca depende de que el cardumen sea rodeado en conjunto por la red: la retención no ocurre pez por pez a través de una malla que actúa como tamiz (como en una red de enmalle o arrastre), sino que responde a la probabilidad de que un individuo de determinada talla o edad, una vez el cardumen ha sido cerrado, permanezca dentro de la red y no escape a través de ella (Sampson, 2014). Dado que los peces de mayor talla o edad suelen tener menor capacidad de escape y una probabilidad más alta de quedar retenidos conforme aumenta su tamaño o edad, la probabilidad de selección tiende a incrementarse de forma progresiva con la talla o edad hasta estabilizarse en un valor máximo, sin el descenso posterior que caracteriza a las curvas tipo domo, típicas de artes donde operan mecanismos de escape para tallas grandes (Sampson, 2014). Por esta razón, el modelo logístico ha sido ampliamente adoptado para representar la selectividad de flotas de cerco dirigidas a pequeños pelágicos, ya que resume el proceso mediante un número reducido de parámetros interpretables en términos biológicos y de manejo.

En el caso de la anchoveta peruana, se emplea una reparametrización del modelo logístico, propuesto por IMARPE (2020), en la que la curva de selectividad queda definida por dos parámetros: L_{50} y *SR* (Figura 3) (Ec. 1).

$$S(l) = \frac{1}{\left(1+e^{\left(-\log(3)*\frac{l-L_{50}}{SR}\right)}\right)} \qquad \text{(Ec. 1)}$$

donde $S(l)$ es la probabilidad de selección para un pez de longitud total (l), L_{50}, corresponde a la talla a la cual la probabilidad de retención es 0.5, SR es un parámetro de escala que representa la distancia entre L_{25} y L_{75}, y que determina la pendiente de la curva y $\log(3)$ es una constante matemática derivada de la función logística que permite expresar la pendiente de la curva en términos del *SR*.

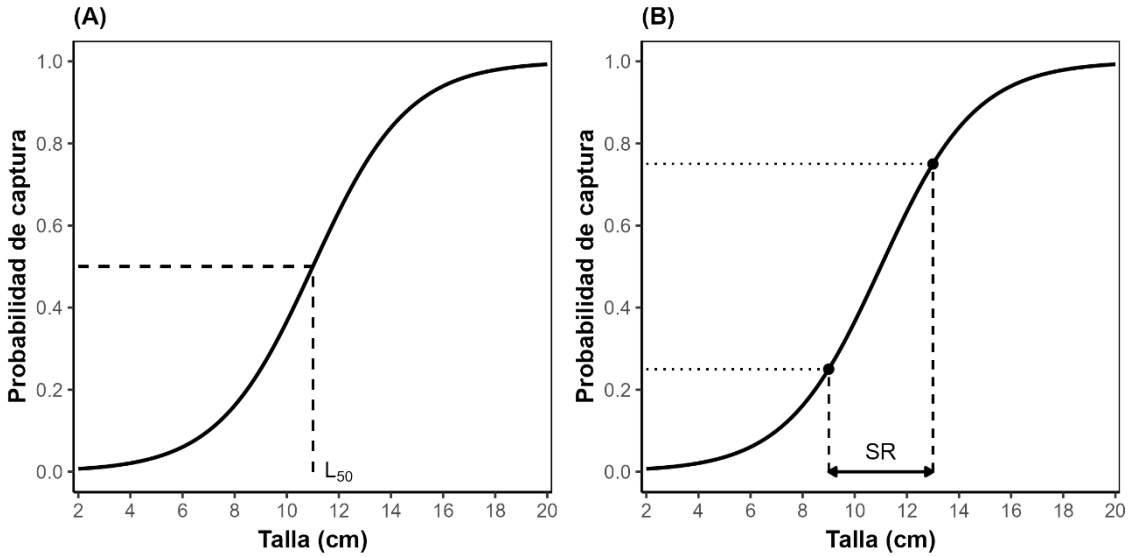


Figura 3. Modelo de selectividad de tipo logístico usado en la anchoveta peruana (*Engraulis ringens*). (A) Talla de retención al 50% (L_{50}) y (B) parámetro de escala SR como distancia entre L_{75} y L_{25} Fuente: Elaboración propia.

2.3.3. INTERPRETACIÓN DE PARÁMETROS DE SELECTIVIDAD

Los dos parámetros que definen la curva logística de selectividad no son solo coeficientes numéricos: cada uno resume un aspecto biológicamente distinto del proceso de captura, y su seguimiento en el tiempo es lo que permite detectar cambios reales en la vulnerabilidad del recurso frente a la flota.

- L_{50} es la talla a la cual "n" pez tiene una probabilidad de 50% de ser retenido por el arte de pesca. En la práctica, funciona como un umbral: valores de L_{50} más altos indican que la flota está capturando tallas mayores, mientras que valores más bajos de L_{50} indican una mayor exposición de individuos de tallas pequeñas a la pesquería. En este sentido, comparar L_{50} con la talla media de madurez de la especie permite evaluar si la flota está capturando principalmente individuos que ya se han reproducido al menos una vez, lo que tiene implicancias directas sobre la capacidad de renovación del stock (Vasilakopoulos et al., 2016).

- *SR* mide la pendiente o amplitud de la transición entre las tallas poco vulnerables y las plenamente vulnerables a la captura (la distancia entre L_{25} y L_{75}). Cuanto menor es el valor de *SR,* más abrupta pequeño es la curva de selección, pasando rápidamente de probabilidades cercanas a 0 a valores próximos a 1 dentro de un rango angosto de tallas, lo que refleja una flota o un arte con mayor capacidad de discriminación por talla. En cambio, cuanto mayor es el valor del *SR*, más gradual es la transición, coexistiendo en la captura, con probabilidades intermedias, individuos de tallas muy distintas; esto puede ser resultado de una estructura de tallas de la población más heterogénea en el área de pesca, de una operación menos selectiva de flota, o de la mezcla de cardúmenes de diferente composición modal en una misma faena.

Así, un cambio en L_{50} entre temporadas señala desplazamiento del punto de vulnerabilidad del stock, mientras que un cambio en *SR* señala una modificación en la forma con que la flota discrimina entre tallas. Ambos parámetros, evaluados conjuntamente y en función del tiempo, constituyen la base empírica para identificar tendencias, puntos de quiebre o regímenes en la selectividad de la pesquería, tal como se plantea en el presente estudio.

2.4. SELECTIVIDAD EN LOS MODELOS DE EVALUACIÓN DE STOCK

El proceso de evaluación en una población se estructura en cinco componentes clave: 1) datos históricos de captura y esfuerzo pesquero; 2) un modelo de dinámica poblacional; 3) modelos de observación que vinculan la abundancia poblacional con los datos monitoreados; 4) un criterio estadístico para evaluar los parámetros alternativos del modelo; y 5) recomendaciones de gestión basadas en las predicciones generadas por el modelo (Martell, 2008).

Este proceso es fundamental ya que permite reconstruir la biomasa histórica de la población y definir puntos biológicos de referencia. No obstante, es crucial considerar que el proceso de evaluación implica procesos sobre la dinámica poblacional, entre los que destaca la selectividad pesquera.

2.4.1. SELECTIVIDAD Y LA MORTALIDAD POR PESCA

La selectividad se incorpora en la evaluación de stock, a través del rango de tallas o edades sobre los que actúa la mortalidad por pesca (Ec. 2). Este parámetro participa indirectamente en la estimación de la abundancia, dado que, en la mayoría de los modelos, los cambios en la abundancia están determinados, entre otros factores, por la magnitud de la mortalidad por pesca que afecta al stock (Ec. 3 y 4). Una selectividad alineada con la biología del recurso permite, además, que los individuos sean capturados principalmente tras alcanzar la madurez sexual y concentra el esfuerzo pesquero en tallas de mayor tamaño, favoreciendo así un mayor rendimiento sostenible a largo plazo (Wang et al. 2014b).

$$F_{a,t} = F_t \times S_a \qquad \text{(Ec. 2)}$$

$$Z_{a,t} = F_{a,t} + M_{a,t} \qquad \text{(Ec. 3)}$$

$$N_{a+1,t+1} = N_{a,t} * e^{-Z_{a,t}} \qquad \text{(Ec. 4)}$$

donde $F_{a,t}$ es la mortalidad por pesca en el momento t y a la edad a; F_t es la mortalidad por pesca máxima en el momento t; S_a es la selectividad para la edad a; $Z_{a,t}$ es la mortalidad total en el momento t y a la edad a; $M_{a,t}$ es la mortalidad natural en el momento t y a la edad a; $N_{a,t}$ es el número de individuos en el momento t y a la edad a.

2.4.2. IMPLICANCIAS DE UNA SELECTIVIDAD CONSTANTE EN LOS MODELOS DE EVALUACIÓN

En algunos modelos de evaluación de stock, por simplicidad estructural y por limitaciones en los datos disponibles, asumen que la selectividad de la flota es constante a lo largo del periodo evaluado (Martell & Stewart, 2014). Sin embargo, cuando este supuesto no se ajusta a la realidad de la pesquería, se genera lo que en la literatura se conoce como "misspecification" de la selectividad, con consecuencias que se propagan a lo largo de todo el modelo de evaluación (Ichinokawa et al., 2014; Thorson & Taylor, 2014).

En primer lugar, la "misspecification" de la selectividad genera conflictos entre las distintas fuentes de datos que alimentan un modelo integrado (por ejemplo, los índices de abundancia de cruceros acústicos y las composiciones de tallas de la flota comercial), ya que un único conjunto de parámetros de selectividad fija no puede explicar simultáneamente patrones que realidad cambian en el tiempo (Ichinokawa et al., 2014). Estos conflictos de datos obligan al modelo a "promediar" procesos distintos, lo que sesga la estimación del resto de los parámetros poblacionales.

En segundo lugar, y como consecuencia directa del anterior, una selectividad mal especificada pude sesgar la estimación de la biomasa total y de la biomasa desovante, del nivel de agotamiento relativo del stock y de la mortalidad por pesca (Butterworth et al., 2014; Crone & Valero, 2014). Cuando la selectividad real presenta un patrón tipo domo y el modelo asume erróneamente un patrón logístico, la abundancia total del stock tiende a subestimarse, mientras que la mortalidad por pesca puede sobreestimarse, lo que puede traducirse en diagnósticos de estado del stock excesivamente pesimistas u optimistas según el caso (Punt et al., 2014).

En tercer lugar, dado que la composición por tallas o edades observada en las capturas viene a ser el producto entre la estructura poblacional registrada y la curva de la selectividad de la flota, cualquier error en esta última afecta directamente a la estimación de la estructura de la población, incluyendo la fracción de juveniles que son capturados (Wang et al., 2014b). Esto resulta relevante para pesquerías de especies de vida corta, reclutamiento pulsado y fuerte variabilidad interanual, como el caso de la anchoveta peruana, en las que la estructura de tallas disponible a la flota puede cambiar de una temporada a otra de forma más marcada que en especies de vida larga, incrementando el riesgo de que una selectividad fija esté mal ajustada a alguna de las temporadas evaluadas posteriormente.

2.4.3. IMPLICANCIAS DE UNA SELECTIVIDAD CONSTANTE EN LAS PROYECCIONES PESQUERAS

Complementariamente de su efecto sobre la reconstrucción histórica del stock, los supuestos de selectividad utilizados en un modelo de evaluación condicionan directamente las proyecciones futuras de biomasa, captura y puntos de referencia sobre los cuales se basan las recomendaciones de manejo.

Scott & Sampson (2011) demostraron que, incluso manteniendo constante la mortalidad por pesca objetivo, cambios relativamente moderados en la forma de la curva de

selectividad (por ejemplo, desplazamientos de la talla de retención al 50% o modificaciones en el *SR*) pueden producir variaciones sustanciales en el rendimiento máximo sostenible (RMS) y en la mortalidad por pesca asociada a dicho rendimiento (FRMS), debido a que la selectividad determina que fracción de cada cohorte llega a contribuir efectivamente a la captura y a la biomasa desovante remanente. En consecuencia, proyectar la captura y la biomasa futura de un stock asumiendo una curva de selectividad fija, cuando en realdad esta varía entre temporadas, introduce un sesgo en las proyecciones.

Un mecanismo adicional que debe considerarse en las proyecciones es el fenómeno de Rosa Lee (Rosa Lee phenomenon), descrito por Kraak et al. (2019): cuando la pesca es selectiva por talla y remueve preferentemente a los individuos de mayor crecimiento dentro de una misma edad, la población remanente queda progresivamente dominada por individuos de crecimiento más lento. Si este efecto no se incorpora en las proyecciones, se subestima o sobreestima, según el cambio de selectividad, la captura de individuos por debajo de la talla mínima legal, así como la biomasa desovante remanente proyectada, con implicancias directas sobre la fijación de cuotas de captura.

2.5. ANCHOVETA PERUANA Y STOCK NORTE-CENTRO

2.5.1. IMPORTANCIA ECOLÓGICA Y PESQUERA

La anchoveta peruana (*Engraulis ringens*) pertenece a la familia Engraulidae (Figura 4) y es endémica del Pacífico Sudeste. Se caracteriza por su cuerpo alargado y delgado, con una coloración azul-verdosa y reflejos metálicos. Presenta un hocico prominente y carece de espinas dorsales o anales. Una de sus particularidades diagnósticas es el número de branquiespinas, que oscila entre 34 y 49 en la rama inferior del primer arco branquial, lo que la diferencia de otras especies de engráulidos en la región (Froese & Pauly, 2026a)

Reino : Animalia
Phylum : Chordata
Clase : Teleostei
Orden : Clupeiformes
Familia : Engraulidae
Género : Engraulis
Especie : *Engraulis ringens* Jenyns, 1842



Figura 4. Clasificación taxonómica y representación de *Engraulis ringens* Jenyns, 1842. La clasificación taxonómica está basada en Froese & Pauly (2026b), consultado a través de WoRMS. Fotografía: J. Miranda, IMARPE, modificado de Zavalaga (2018)

Asimismo, la anchoveta peruana es una especie clave del ecosistema de la Corriente de Humboldt debido a su rol trófico, ya que actúa como un eslabón central en la transferencia de energía desde los niveles tróficos inferiores (fitoplancton y zooplancton) hacia los superiores, que incluyen peces depredadores (caballa, jurel, bonito), aves guaneras y mamíferos marinos (De La Cruz et al., 2020; Espinoza & Bertrand, 2008). Su alta abundancia relativa, sostenida por la elevada productividad primaria del sistema de afloramiento costero, la convierte en la especie de mayor biomasa y captura del

ecosistema, llegando a representar en distintos periodos hasta cerca del 95% del total de desembarques de recursos hidrobiológicos marinos del país (Bouchon et al., 2000).

Junto a su rol ecológico, la anchoveta peruana sostiene la pesquería monoespecífica más grande del mundo (Joo et al., 2014) y constituye uno de los principales pilares de la economía pesquera peruana. Cerca del 98% de sus desembarques se destina a la fabricación de harina y aceite de pescado para consumo humano indirecto, productos de los cuales el Perú es el principal exportador mundial, con mercados de destino concentrados principalmente en China (Chu, 2016). Esta actividad genera empleo directo e indirecto para decenas de miles de personas a lo largo de la cadena extractiva, industrial y de servicios conexos, y aporta una fracción relevante de las divisas generadas por el sector pesquero nacional (Chu, 2016; Vílchez, 2020). Dada esta doble importancia, ecológica y socioeconómica, el manejo sostenible de la anchoveta, y en particular la protección de sus tallas juveniles frente a la explotación constituye una prioridad de conservación con repercusiones económicas y sociales directas.

2.5.2. DISTRIBUCIÓN Y HÁBITAT

La anchoveta peruana se distribuye en el Pacífico Sudeste, desde el norte del Perú (4°S) hasta el centro sur de Chile (42°30'S) (De La Cruz et al., 2020). En este amplio rango se reconocen tres stocks (Figura 5): (1) el stock norte-centro del Perú (4°30'S–16°00'S), (2) el stock sur Perú-norte Chile (16°01'S–24°00'S) y (3) el stock centro-sur de Chile (34°00'S–40°00'S). El presente estudio se enfoca en el stock norte-centro, por ser el de mayor biomasa y el que sostiene la mayor parte de la pesquería industrial peruana.

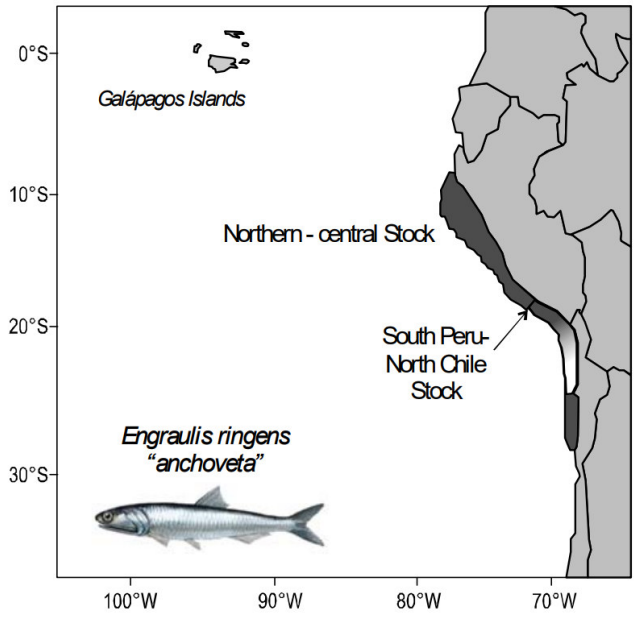


Figura 5. Distribución espacial de Engraulis ringens en área peruana: stock del norte-centro frente a Perú y stock sur frente a Perú y el norte Chile. Tomado de Mori et al. (2011)

La especie habita principalmente la zona costera, entre las 20 y 100 millas náuticas desde la costa (Simmonds et al., 2009), donde las condiciones oceanográficas del sistema de afloramiento son óptimas para su desarrollo. Según Castillo et al. (2009),

esta especie prefiere aguas con temperaturas entre 14°C y 23°C, salinidades de 34.76 a 35.22 ups y concentraciones de oxígeno disuelto superiores a 3.0 ml/L. Debido a estos requerimientos fisiológicos, su distribución vertical se ve limitada por la profundidad de la termoclina y la oxiclina, lo que la lleva a evitar las zonas de bajo contenido de oxígeno, como la zona de mínimo oxígeno (ZMO) que subyace al hábitat costero frente a Perú.

Además, la anchoveta peruana presenta un patrón de distribución estacional: durante el verano forma cardúmenes densos cerca de la costa y a poca profundidad (menos de 20m), mientras que en invierno tiende a dispersarse hacia aguas más profundas (cerca de 25m) (Castillo et al., 2009; De La Cruz et al., 2020). Este comportamiento surge como respuesta a diversos factores ambientales como la intensidad de los vientos, la profundidad de la termoclina y la productividad primaria disponible. Asimismo, fenómenos de gran escala como El Niño alteran drásticamente su hábitat, al reducir la disponibilidad de alimento y forzar su migración hacia zonas costeras más frías o hacia mayor profundidad (Bouchon et al., 2019). Esta plasticidad en la distribución espacial, analizada con mayor detalle en la sección 2.6, es precisamente uno de los mecanismos por los cuales la disponibilidad del recurso frente a la flota puede variar entre temporadas, incluso si la selectividad intrínseca del arte de pesca permanece sin cambios.

2.5.3. HISTORIA DE VIDA DE LA ANCHOVETA

- **Crecimiento y longevidad.** La anchoveta peruana es una especie de vida corta y crecimiento rápido, con una longevidad que puede alcanzar hasta los cuatro años (Boerema & Gulland, 1973; De La Cruz et al., 2020; Palomares et al., 1987). Durante los primeros seis meses de vida, los individuos juveniles alcanzan tallas cercanas a 9 cm, y los adultos pueden alcanzar una longitud total máxima cercana a 20 cm (Boerema & Gulland, 1973; De La Cruz et al., 2020).
- **Madurez sexual.** Hacia el año de edad, los individuos alcanzan la madurez sexual a una longitud aproximada de 12 cm (Boerema & Gulland, 1973; Jordán & Chirinos de Vildoso, 1965). Este ciclo de vida corto y rápido tránsito entre la fase juvenil y la fase reproductivamente activa explican por qué la talla mínima legal de captura (12 cm, según la R.M. N° 209-2001-PE) coincide de manera aproximada con la talla de primera madurez: cualquier desplazamiento de la selectividad de la flota hacia tallas menores implicaría la captura de individuos que aún no se han reproducido.
- **Estrategia reproductiva.** La anchoveta peruana es una especie iterópara y de desove parcial, es decir, no libera la totalidad de ovocitos en un único evento, sino en sucesivas tandas a lo largo de la temporada reproductiva la cual se extiende durante todo el año con máxima actividad durante los meses de invierno-primavera y, en menor magnitud, en verano (Boerema & Gulland, 1973; Perea et al., 2011). El éxito reproductivo de la especie resulta de la interacción entre componentes ambientales (temperatura disponibilidad de alimento, condición geográfica) y factores biológicos propios de la especie (condición somática, fracción desovante, índice gonadosomático), los cuales influyen conjuntamente en la intensidad del desove y, en última instancia, en el reclutamiento(De La Cruz et al., 2020; Mori et al., 2011; Perea et al., 2011). Como consecuencia de esta estrategia reproductiva, la población de anchoveta

mantiene de forma sostenida distintos grupos modales coexistiendo simultáneamente, lo que garantiza la renovación continua del stock y explica, en gran medida, por qué la estructura de tallas disponible a la pesquería puede cambiar relativamente rápida entre temporadas consecutivas (Mori et al., 2011).

- **Zonas de desove.** El desove ocurre a lo largo de todo el litoral peruano, destacando dos zonas de mayor importancia: entre Chicama (7°30'S) y Chimbote (9°S), y entre el Callao (12°S) y Pisco (14°S) (Bouchon et al., 2010).

2.5.4. RECLUTAMIENTO Y SU EFECTO EN LA ESTRUCTURA DE TALLAS

El reclutamiento es el proceso mediante el cual los individuos ingresan por primera vez a la fase explotable del stock, y constituye uno de los procesos más importantes de la dinámica poblacional de la anchoveta peruana, dada su naturaleza altamente variable (Oliveros-Ramos & Peña, 2011).

A diferencia de especies con un único periodo reproductivo anual, la anchoveta peruana presenta dos pulsos de reclutamiento por año, cuya magnitud y estacionalidad han cambiado a lo largo de la historia de la pesquería. Durante los primeros años de la pesquería industrial (década de 1960), el reclutamiento se concentraba en el otoño (abril - junio) (Oliveros-Ramos & Peña, 2011). Tras el evento El Niño 1972-1973, este patrón se modificó: desde entonces, el reclutamiento se inicia entre noviembre y marzo, como resultado de los desoves de invierno y primavera, con un segundo pulso durante el invierno proveniente de los desoves de verano (Oliveros-Ramos & Peña, 2011). Este desplazamiento estacional evidencia que la respuesta del reclutamiento a los cambios de la temporada del año en que la estructura de tallas de la flota se ve renovada por el ingreso de nuevas cohortes.

A partir de la modelación de series mensuales de pre-reclutas (4-7.5 cm) y reclutas (8-11.5 cm) entre 1961 y 2009, Oliveros-Ramos & Peña (2011) identificaron dos cambios de régimen en la abundancia del reclutamiento, ocurridos en 1971 y 1991, que delimitan tres periodos con dinámicas distintas: un primer régimen (1961-1971) de alta abundancia y patrones estacionales bien definidos, asociado a la relación densidad-dependiente entre la población adulta y el reclutamiento subsiguiente; un segundo régimen (1971-1991) de abundancia baja y patrones estacionales poco definidos, coincidente con el colapso de la pesquería por sobreexplotación y con la sucesión de eventos El Niño de gran magnitud (1972-1973, 1982-1983); y un tercer régimen (desde 1991) de abundancia intermedia, en el que el reclutamiento nuevamente muestra una entrada continua de individuos en la pesquería, con valores más altos entre octubre y febrero.

Esta variabilidad en la magnitud y en la estacionalidad del reclutamiento tiene una consecuencia directa sobre la selectividad de la flota: dado que los nuevos reclutas ingresan a la fracción vulnerable de la población en ventanas temporales específicas, la estructura de tallas disponible para la pesquería en una temporada determinada depende de qué tan reciente e intenso haya sido el pulso de reclutamiento precedente, lo que constituye uno de los fundamentos biológicos para esperar variabilidad temporal en los parámetros de selectividad (L_{50} y *SR*) estimados en el presente estudio.

2.6. DISPONIBILIDAD DE LA ANCHOVETA FRENTE A LA DINÁMICA AMBIENTAL

2.6.1. VARIABILIDAD OCEANOGRÁFICA EN EL SISTEMA DE LA CORRIENTE DE HUMBOLDT

El Sistema de la Corriente de Humboldt es uno de los sistemas de afloramiento costero más productivos del planeta. Su elevada productividad primaria se sustenta en el afloramiento de aguas subsuperficiales frías y ricas en nutrientes hacia la zona fótica, impulsado por la acción de los vientos alisios del sureste, que generan un transporte de Ekman neto hacia mar afuera en la franja costera (Espinoza & Bertrand, 2008). Este proceso da lugar a una variedad de masas de agua (Aguas Costeras Frías Aguas Subtropicales Superficiales y Aguas de Mezcla, entre otras) cuya distribución frente a la costa varía estacional e interanualmente y condiciona directamente la disponibilidad de hábitat para la anchoveta (Castillo et al., 2009).

La intensidad de la surgencia costera determina, a su vez, la extensión y profundidad de la zona de mínimo oxígeno (ZMO), una capa subsuperficial pobre en oxígeno disuelto que actúa como un límite fisiológico para la anchoveta y parte de la fauna pelágica asociada, comprimiendo verticalmente el hábitat disponible hacia la capa superficial oxigenada que, en periodos de afloramiento intenso, resulta particularmente somera (Espinoza & Bertrand, 2008; Graco et al., 2016). Bajo estas condiciones de afloramiento, la anchoveta tiende a concentrarse en una franja relativamente angosta y cercana a la costa, en aguas frías, oxigenadas y con alta disponibilidad de zooplancton, lo que determina tanto su patrón de distribución espacial como su grado de accesibilidad para las embarcaciones que operan cerca del litoral (Espinoza & Bertrand, 2008).

Además, esta variabilidad oceanográfica no es estática ya que se manifiesta a distintas escalas temporales, desde variaciones estacionales asociadas al ciclo anual de los vientos, pasando por eventos interanuales como El Niño y La Niña, hasta regímenes de largo plazo asociados a la oscilación Decadal del Pacífico (Espinoza & Bertrand, 2008; Graco et al., 2016). Es precisamente esta variabilidad multiescala del ambiente físico-químico la que constituye la base sobre el cual se expresan los cambios en la distribución y disponibilidad de la anchoveta que se describen en las secciones siguientes.

2.6.2. EFECTOS DE EL NIÑO Y LA NIÑA

El fenómeno de El Niño – Oscilación del Sur (ENOS) es el principal modulador de la variabilidad interanual en el Sistema de la Corriente de Humboldt, ejerciendo efectos profundos sobre la biología, distribución y abundancia de la anchoveta peruana. Este fenómeno climático se manifiesta en tres fases principales: El Niño (fase cálida), La Niña (fase fría) y una fase neutral, cada una con características oceanográficas y ecológicas distintivas que condicionan la dinámica poblacional del recurso.

Durante la fase cálida (El Niño), se producen alteraciones en los patrones de circulación oceánica y atmosférica (Santos, 2006). Estas incluyen anomalías positivas de la temperatura superficial del mar (TSM) y el debilitamiento de los vientos alisios. Esto reduce la intensidad de la surgencia costera y, en consecuencia, disminuye la disponibilidad de nutrientes y la productividad primaria (Gutiérrez, 2015). En términos

del hábitat de la anchoveta, estos cambios se traducen en un profundización de la termoclina y de la oxiclina, que amplía el volumen de agua calidad y pobremente oxigenada disponible en la columna de agua, forzando a la anchoveta a modificar su distribución vertical y horizontal: los cardúmenes tienden a desplazarse hacia zonas más cercanas a la costa y a aguas más profundas, buscando las condiciones frías y oxigenadas que aún persisten, o se concentran en focos de afloramiento, como ocurrió durante El Niño Costero de 2017 (Bouchon et al., 2019). Esta redistribución reduce la concentración de cardúmenes en el área de pesca donde tradicionalmente opera la flota de cerco, deteriora la condición somática y reproductiva de la especie, que se traduce en una notable reducción de los desembarques con el pasar del tiempo (Bouchon et al., 2019; Peña, 2019) (Figura 6.A).

Por el contrario, durante los eventos La Niña (fase fría) se observan anomalías negativas de la TSM, reflejo de un afloramiento costero intensificado que favorece un incremente en la productividad primaria y en la disponibilidad de zooplancton (Graco et al., 2016). Bajo este entorno más favorable, la anchoveta reduce su distribución vertical, permaneciendo más cerca de la superficie, expande su hábitat hacia zonas donde en años cálidos era menos abundante, mejora su condición biológica e incrementa su actividad reproductiva (Blaskovic et al., 2011; Bouchon & Peña, 2008) (Figura 6.B).

En síntesis, el ENOS actúa como un regulador natural de la disponibilidad espacial de la anchoveta frente a la costa: modifica la profundidad a la que se distribuyen los cardúmenes, su grado de concentración o dispersión costera, y, en consecuencia, el grado de vulnerabilidad de stock frente al esfuerzo de pesca. Comprender estas interacciones es fundamental para interpretar por qué, en años de anomalías ambientales marcadas, tanto la magnitud de la captura como la composición de tallas de la flota pueden diferir sustancialmente de lo observado en años neutros.

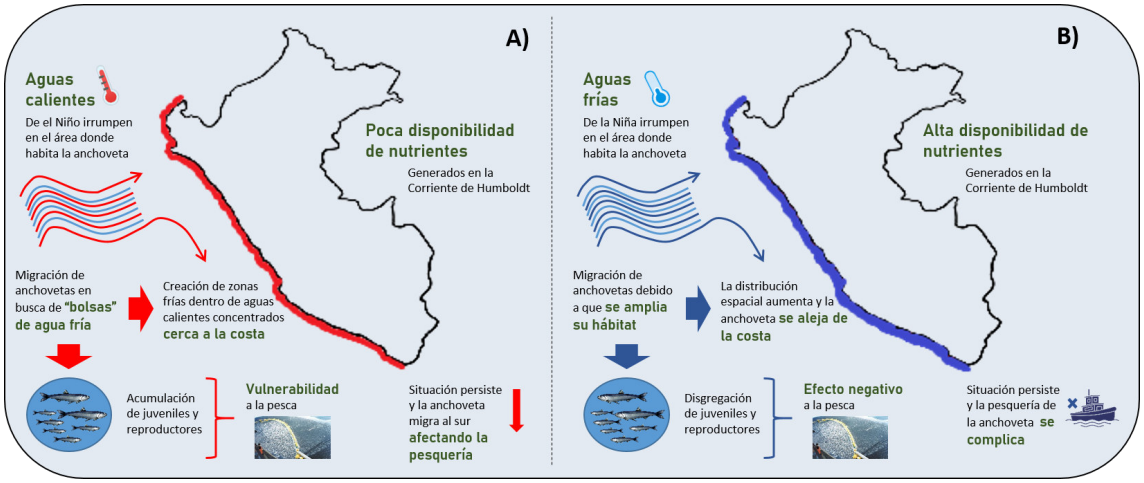


Figura 6. Efectos de El Niño – Oscilación del Sur sobre la anchoveta: A) Fase cálida (El Niño) y B) Fase fría (La Niña). Fuente: Elaboración propia

2.6.3. CAMBIOS EN LA DISPONIBILIDAD Y LA SELECTIVIDAD EFECTIVA

Como se desprende de las secciones anteriores, en especies pelágicas pequeñas y de comportamiento gregario como la anchoveta, la variabilidad ambiental no solo modifica

la abundancia total del stock, sino que también qué fracción de esa abundancia queda disponible y accesible para la flota en un momento y lugar determinados (Joo et al., 2014; Vasilakopoulos et al., 2020). Esta distinción es clave porque, tal como se definió en la sección 2.1, la selectividad pesquera observada es el producto entre la selectividad por disponibilidad y la selectividad por contacto, de modo que un cambio en la primera, sin que exista ningún cambio físico en el arte de pesca ni en la conducta de escape de los peces, puede bastar para modificar la selectividad medida a partir de las capturas.

Diversos estudios han documentado que el comportamiento espacial de la flota de cerco peruana responde de manera activa a los distintos escenarios ambientales del ecosistema: la ubicación, profundidad y grado de agregación de los cardúmenes cambia entre años cálidos, fríos y neutros, y la flota ajusta su patrón de búsqueda y calado en función de dónde se concentra el recurso en cada escenario (Joo et al., 2014; Morón et al., 2018). Cuando la anchoveta se repliega a la costa y se profundiza o, caso contrario, se dispersa y se concentra cerca de la superficie, la flota puede verse forzada a operar sobre cardúmenes de composición de tallas más homogénea o heterogénea (según sea el caso), lo que puede modificar tanto la talla media de retención (L_{50}) como la amplitud de la curva de selección (*SR*) entre temporadas.

2.7. PESQUERÍA INDUSTRIAL DE CERCO DE ANCHOVETA

2.7.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA PESQUERÍA

El stock norte-centro de anchoveta peruana se encuentra en el Sistema de la Corriente de Humboldt del Norte (NHCS), un ecosistema caracterizado por una intensa variabilidad en múltiples escalas temporales y representa la unidad poblacional con mayor importancia en términos de capturas ya que sustenta la pesquería monoespecífica más grande del mundo (Joo et al., 2014).

Históricamente, la biomasa de este stock ha atravesado tres regímenes claramente diferenciados (Díaz et al., 2010). La primera fase, comprendida entre mediados de la década de 1950 y 1972, se distinguió por altos niveles de biomasa y reclutamiento, alcanzando una captura récord de 12.2 millones de toneladas en 1970 (Bouchon, 2018). Le siguió una fase de colapso (1973 – 1991), marcada por una intensa sobrepesca y por el impacto de eventos climáticos extremos como El Niño, los cuales redujeron drásticamente los niveles poblacionales (Peña, 2019). Finalmente, desde 1992 hasta la actualidad, se desarrolla una fase de recuperación, caracterizada por niveles intermedios de biomasa y capturas sostenibles (Figura 7).

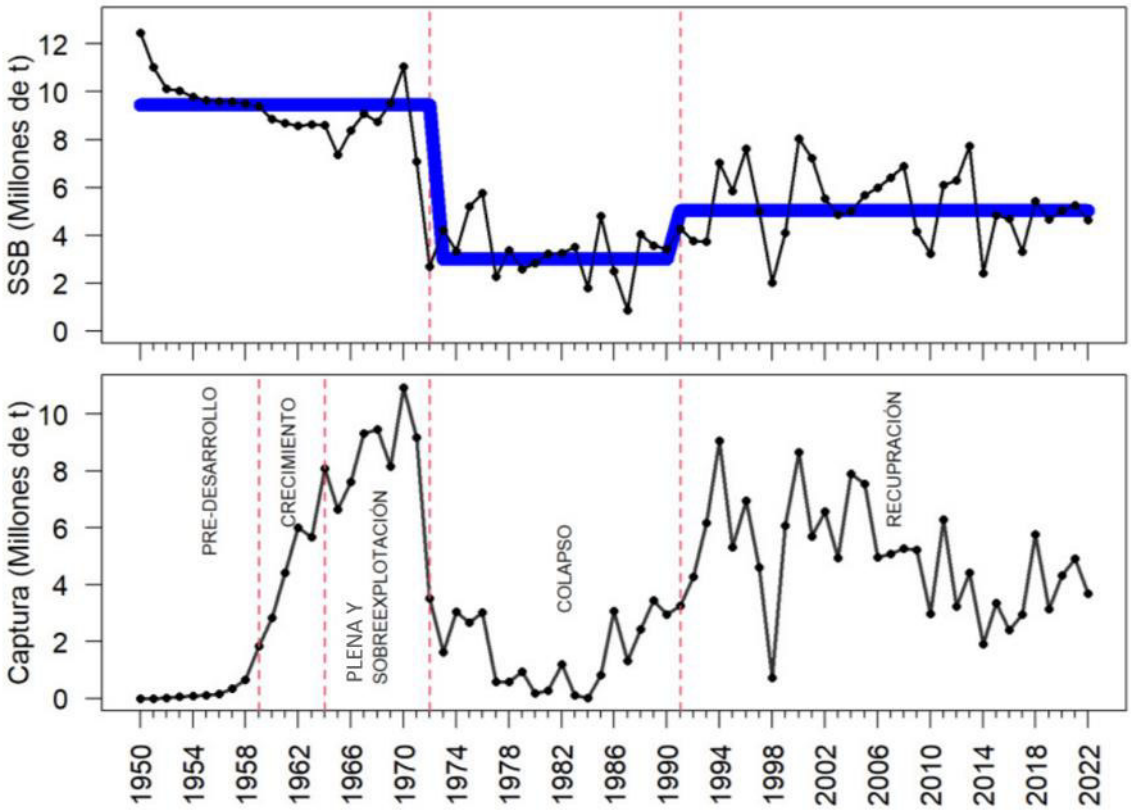


Figura 7. Biomasa desovante y captura histórica del stock norte - centro de la anchoveta peruana. Las líneas rojas punteadas separan las fases de explotación. Modificado de Quispe-Salazar (2025)

La extracción del recurso se realiza casi en su totalidad mediante redes de cerco, operadas por una flota industrial que faena en dos temporadas de pesca al año (la primera entre abril y agosto, y la otra entre noviembre y enero aproximadamente), separadas por periodos de veda reproductiva destinados a proteger la actividad de desove del stock. Desde la implementación del sistema de Límites Máximos de Captura por Embarcación (LMCE) en 2009, cada temporada de pesca cuenta con un Límite Máximo Total de Captura Permisible (LMTCP) fijado por el Ministerio de Producción a partir de las recomendaciones de IMARPE, el cual se distribuye entre las embarcaciones habilitadas según un porcentaje individual fijo (PMCE) (PRODUCE, 2008).

En este contexto de manejo, la composición por tallas de la captura desempeña un rol central: dado que el LMCTP se fija, entre otros criterios, buscando limitar la captura de individuos juveniles por debajo de la talla mínima legal (12 cm, R.M. N°209-2001-PE), la selectividad aplicada por la flota es una pieza importante de proceso de evaluación y de la Tabla de Decisión que IMARPE elabora para cada temporada (IMARPE, 2020).

2.7.2. TIPOS DE EMBARCACIÓN: ACERO Y MADERA

La flota industrial de cerco que opera sobre la anchoveta peruana en el stock norte-centro es heterogénea: coexisten embarcaciones de casco de acero, generalmente de mayor capacidad de bodega, mayor autonomía y equipamiento tecnológico más moderno (sistemas de detección hidroacústica, sistemas de refrigeración, etc.), junto con embarcaciones de casco de madera “vikingas”, de menor porte, que constituyeron

históricamente la flota anchovetera peruana de la pesquería industrial (Chu, 2016). De acuerdo con la normativa pesquera vigente, se consideran embarcaciones de mayor escala o industriales aquellas con una capacidad de bodega superior a $32.6\ m^3$, mientras que valores menores corresponden a embarcaciones de menor escala; ambas categorías, tanto acero como madera, pueden operar sobre el recurso con fines industriales, según su habilitación (Chu, 2016).

Esta heterogeneidad de la flota es relevante para la presente tesis porque ambos segmentos pueden diferir en sus patrones operativos: la capacidad de bodega la potencia de la máquina y la profundidad y velocidad de calado de la red pueden influir en el tiempo de exposición de los cardúmenes al arte de pesca y en el comportamiento de escape de los individuos de distinta talla durante el cerrado de la red, factores que, como se comentó en la sección 2.2, forman parte de los determinantes extrínsecos de la selectividad. En consecuencia, resulta razonable evaluar si la selectividad (L_{50} y *SR*) difiere entre los segmentos de flota de acero y madera, lo cual justifica la comparación realizada en el presente estudio para el periodo 2023-2025, años en los que se disponía de información inmediata para ambos tipos de embarcación sobre el stock norte-centro.

2.7.3. CAMBIOS OPERATIVOS Y NORMATIVAS

La forma en que la flota industrial de cerco opera sobre la anchoveta ha cambiado significativamente a lo largo de las últimas décadas. Entre las décadas de 1990 y 2000, la flota industrial peruana experimentó un periodo de fuerte expansión de su capacidad de bodega, impulsado en parte por la incorporación de embarcaciones de madera “flota vikinga”, lo que incrementó de forma significativa la capacidad total de captura de la flota (Bouchon, 2018). Esta sobrecapacidad se desarrolló bajo un esquema de manejo basado en cuotas globales de captura por temporada, sin asignación individual por embarcación, lo que generaba una fuerte competencia entre pescadores por capturar la mayor cantidad posible de recurso en el menor tiempo posible antes del cierre de la temporada, un patrón conocido como “carrera olímpica”. Este esquema incentivaba una pesca acelerada, con menor selectividad de tallas y mayores niveles de descarte, además de generar riesgos operativos y de seguridad para las tripulaciones (Chu, 2016).

Con el fin de corregir estos incentivos, en junio de 2008 se promulgó el Decreto Legislativo N°1084, Ley sobre Límites Máximos de Captura por Embarcación, que entró en vigor a partir de la primera temporada de pesca de 2009 y estableció el sistema de cuotas individuales (Límite Máximo de Captura por Embarcación, LMCE), calculado a partir de un índice de participación histórica de cada embarcación (PRODUCE, 2008). Este cambio normativo transformó de manera estructural el incentivo operativo de la flota: al garantizar a cada pescador una cuota fija independiente de la velocidad de captura, se redujo la presión por operar en condiciones riesgo y se generó, en principio, un mayor margen para seleccionar zonas y momentos de pesca, lo que pudo influir en los patrones de selectividad efectivamente observados antes y después de su implantación (Chu, 2016).

Posteriormente, en noviembre de 2016 se aprobó el Decreto Supremo N° 024-2016-PRODUCE, que estableció medidas adicionales para fortalecer el control y la vigilancia de la actividad extractiva de anchoveta, con el objetivo de reforzar la conservación y el aprovechamiento sostenible del recurso, incluyendo mecanismos de control más sobre

la captura de ejemplares juveniles (PRODUCE, 2016). Este tipo de medidas normativas, en conjunto con el sistema de cuotas individuales, conforma el marco regulatorio bajo el cual ha operado la flota industrial de cerco durante el periodo evaluado en la presente tesis, y constituye el contexto operativo necesario para interpretar los posibles cambios estructurales que pudieran identificarse en la selectividad de la pesquería a lo largo del tiempo.

2.8. BRECHA DE CONOCIMIENTO Y ENFOQUE CONCEPTUAL DE LA TESIS

Como se ha expuesto a lo largo de este capítulo, la selectividad es un componente central de la evaluación de stock, con implicancias directas sobre la estimación de biomasa, la mortalidad por pesca, la estructura poblacional y las proyecciones que sustentan las recomendaciones de manejo.

En cuanto a estudios de selectividad en la pesquería peruana, la mayoría de los esfuerzos se ha orientado en la modificación de las artes de pesca antes que la estimación de los parámetros. El Banco Interamericano de Desarrollo (2019) exploró mejoras para redes de cerco artesanales de anchoveta con el fin de aumentar la selectividad, proponiendo dispositivos HEXDSC (mallas hexagonales de 1.5” y 2”). Esta línea fue retomada por Salazar C. & Ganoza (2021), quienes diseñaron un prototipo para Huacho usando HEXDSC de 1.5”. En la misma dirección, Aguilar & Barrera-Guevara (2018) revisaron alternativas tecnológicas, incluyendo modificaciones a la red de cerco industrial, orientadas a reducir la captura de juveniles y los descartes en la pesquería de anchoveta, sin llegar a estimar los parámetros de selectividad de la flota. Por su parte, el único que evaluó la función de la selectividad aplicada por la flota durante las temporadas de pesca fue el de IMARPE (2020), que utilizó datos de cruceros de evaluación de recursos pelágicos y de la captura comercial para de estimar la fracción de individuos expuestos a la mortalidad por pesca, proporcionando así una medida integrada de la selectividad durante las temporadas de pesca.

No obstante, la variabilidad temporal de los parámetros de la selectividad de la flota industrial a lo largo de las múltiples temporadas aún no ha sido analizada. Dado que la anchoveta peruana es una especie de vida corta, presenta un reclutamiento pulsado y bianual, existe una alta variabilidad espacial en su distribución y fuerte dependencia de las condiciones oceanográficas del Sistema de la Corriente de Humboldt, resulta necesario abordar esta variabilidad temporal de la selectividad. Como se discutió en las secciones 2.5 y 2.6, todos estos factores forman parte de los mecanismos plausibles por las cuales la selectividad de la pesquería podría cambiar entre años y entre temporadas, en lugar de mantenerse constante.

Por ello, se justifica estimar los parámetros L_{50} y *SR* de forma independiente para cada temporada de pesca, evaluar sus tendencias, identificar posibles puntos de quiebre o regímenes temporales asociados a los periodos descritos en la sección 2.7.3, comparar la selectividad entre segmentos de flota, y cuantificar el efecto que distintos escenarios de selectividad tendrían sobre la cuota de captura proyectada, la cuota de captura de juveniles y la biomasa remanente del stock norte-centro de la anchoveta peruana.

3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

3.1. HIPÓTESIS

Ho: Los parámetros de selectividad de la flota industrial de cerco que opera sobre el stock norte-centro de la anchoveta peruana, no presentan variaciones entre años, regímenes temporales ni temporadas de pesca durante el período 1985–2024.

H1: Los parámetros de selectividad de la flota industrial de cerco que opera sobre el stock norte-centro de la anchoveta peruana, presentan variaciones entre años, regímenes temporales y/o temporadas de pesca durante el período 1985–2024

3.2. OBJETIVO GENERAL

Analizar la variabilidad temporal, estacional y operativa de la selectividad de la flota industrial de cerco sobre el stock norte-centro de la anchoveta peruana durante el período 1985–2024 y complementariamente, evaluar sus implicancias en las proyecciones pesqueras de corto plazo.

3.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estimar los parámetros de selectividad de la flota industrial de cerco que opera sobre el stock norte-centro de la anchoveta peruana, por temporada de pesca durante el período 1985-2024.

- Caracterizar la variabilidad temporal de los parámetros de selectividad mediante el análisis de tendencias de largo plazo, cambios estructurales y patrones estacionales durante el período 1996-2024.

- Comparar los parámetros de selectividad entre embarcaciones de acero y madera durante el período 2023–2025, a fin de evaluar posibles diferencias en la vulnerabilidad por talla entre segmentos de la flota industrial.

- Cuantificar el efecto de distintos escenarios de selectividad sobre las proyecciones de pesca a corto plazo, considerando cantidades para el manejo, como la biomasa remanente, la cuota de captura y la captura prevista de juveniles.

4. MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se realizó sobre el stock norte-centro de la anchoveta peruana*, Engraulis ringens,* que se distribuye desde los 04°30' S (Zorritos) hasta los 16°00' S (San Juan de Marcona). Se utilizaron dos fuentes principales de información: (i) vectores de abundancia a la talla provenientes de los Cruceros de Evaluación de Recursos Pelágicos y (ii) vectores de captura a la talla de la flota industrial de cerco provenientes del muestreo de desembarque, en ambos casos, para el periodo 1985 - 2024**.**

4.1. ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE SELECTIVIDAD

4.1.1. Vinculación entre la estructura poblacional observada en cruceros y la composición de tallas de la pesquería.

Para estimar los parámetros de selectividad (periodo 1985-2024), se vinculó la información de abundancia a la talla obtenida en los cruceros de evaluación de recursos pelágicos con la composición de tallas en la captura de la flota industrial de cerco, basándose en la proximidad temporal entre el término de cada crucero y el inicio de la temporada de pesca.

Dado que los cruceros de evaluación proporcionan una estimación de la estructura poblacional antes del inicio de la temporada de pesca, solo se consideraron aquellos casos en los que el desfase entre ambos eventos fue como máximo 2 meses para poder utilizar la estructura observada de manera directa o mediante proyecciones. Este umbral se estableció debido a que el modelo de balance poblacional (IMARPE, 2020) no considera el comportamiento espacial del recurso. Por ello, desfases mayores entre el crucero y el inicio de la temporada de pesca no podrían capturar la redistribución espacial del stock o cambios en su disponibilidad para la pesquería, comprometiendo la confiabilidad de la estructura de tallas estimada.

En cuanto a las proyecciones, se utilizó en los casos donde existió desfase temporal, con el propósito de reconstruir la composición de tallas del stock expuesta a la pesquería al momento de apertura de cada temporada de pesca. Dado que en ese intervalo no ocurrió actividad pesquera, la proyección consideró únicamente la supervivencia por mortalidad natural y la transición entre clases de talla asociada al crecimiento, considerando:

$$N_t = \left[N_t^{(1)}, N_t^{(2)}, \dots, N_t^{(l)}\right]; \qquad \textit{(Ec. 5)}$$

$$N_{t+1} = \left[\left(N_t * e^{\frac{-M}{2}} - C_t\right) * e^{\frac{-M}{2}}\right] * A_{ij} \qquad \textit{(Ec. 6)}$$

$$A_{ij} = P\left(l' \in \left[l_j - \frac{\Delta l}{2}, l_j + \frac{\Delta l}{2}\right] | l_i\right) \qquad \textit{(Ec. 7)}$$

donde N_t es la abundancia en el momento t; l es el número de clases de tallas, M es la mortalidad natural; C_t es la captura en el momento t; A_{ij} es la matriz de probabilidades de transición entre clases de talla l'y l_j en cada paso del tiempo.

El inicio de la temporada de pesca fue definido a partir de dos criterios. El primero estableció un mínimo de 20 días de actividad pesquera registrada, con el fin de asegurar

que la flota cubriera la mayor parte del área de distribución de la anchoveta registrada por los cruceros y no se concentrara en zonas puntuales de mayor abundancia. El segundo requirió que la captura acumulada representara al menos el 50% del total mensual correspondiente a la temporada, garantizando así que la composición de tallas observadas fuera representativa de las condiciones iniciales de explotación del stock. El mes que cumplió simultáneamente ambos criterios fue considerado como el inicio de la temporada.

4.1.2. Estimación de los parámetros de selectividad

Para la estimación de los parámetros se requirió de la implementación de un proceso previo para la obtención de estimaciones iniciales robustas que sirvieron como punto de partida para el modelo de selectividad logístico. El procedimiento se elaboró en dos etapas secuenciales:

(i) Aproximación empírica: A partir de la proporción entre la estructura de tallas de la captura de la temporada de pesca y la del crucero, se estimaron los parámetros iniciales utilizando la mediana de la distribución de tallas de la captura, ponderada por su abundancia.
(ii) Optimización preliminar: Los valores iniciales fueron optimizados mediante un ajuste por mínimos cuadrados no lineales (algoritmo port) de la función logística a la proporción de selectividad empírica, restringiendo la búsqueda de parámetros a rangos biológicamente plausibles para la anchoveta (8-15 cm como intervalo base), ajustados cuando la estructura de tallas observada en el crucero correspondiente superaba dicho límite superior, extendiéndose hasta 18 cm en los casos necesarios.

Posteriormente, la estimación de los parámetros de selectividad se realizó minimizando la función de verosimilitud negativa, a partir de una distribución multinomial que evalúa la probabilidad de observar la composición de tallas en las capturas dadas las curvas de selectividad y la abundancia relativa estimada por los cruceros de evaluación:

$$P(l) = \frac{S(l) * A(l)}{\sum_{j=1}^{i=K} S(l_j) * A(l_j)} \qquad \textit{(Ec. 8)}$$

donde l_1, l_2, ..., K son el conjunto de clases de tallas, $P(l)$ es la probabilidad de que un individuo capturado pertenezca a la clase l; $S(l)$ es la probabilidad de que un individuo de clase de talla l sea retenido; y $A(l)$ la abundancia relativa, normalizada a una distribución de probabilidad.

La concordancia entre la composición de las tallas observada en las capturas y la predicha por el modelo fue evaluada mediante el coeficiente de determinación (R^2) y la raíz del error cuadrático medio $(RMSE)$. La distribución observada fue estandarizada a conteos efectivos $\left(N_{eff} = 1000\right)$ y comparada con la distribución predicha, definida como:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_l (O_l - \hat{E}_l)^2}{\sum_l (O_l - \bar{O})^2}, \quad RMSE = \sqrt{\frac{1}{l}\sum_l \left(O_l - \hat{E}_l\right)^2} \qquad \textit{(Ec. 9)}$$

donde O_l es el conteo observado estandarizado en la clase de talla l y $\hat{E}_l = P(l) * N_{eff}$ es el conteo esperado bajo el modelo ajustado.

Los ajustes con valores de R^2 inferiores a 0.2, así como aquellos cuyos parámetros estimados alcanzaron los límites del rango de búsqueda o presentaron un comportamiento bimodal, fueron excluidos de los análisis posteriores por considerarse ajustes no informativos sobre la forma real de la curva de selectividad. Se optó por un umbral de aceptación relativamente bajo $(R^2 > 0.2)$ en lugar de un criterio más estricto, considerando el trabajo de Joo & Díaz (2017), los cuales mencionan que las composiciones de tallas por temporada de pesca provienen de un número limitado de lances y observaciones biométricas, lo que puede introducir una variabilidad muestral considerable en las distribuciones observadas. Bajo este enfoque, exigir un ajuste alto en todas las temporadas habría excluido de ciertas estimaciones cuya forma general de la curva seguía siendo consistente con el patrón esperado.

4.2. VARIABILIDAD ESTACIONAL, INTERANUAL Y DECADAL DE LOS PARÁMETROS DE SELECTIVIDAD

La variabilidad temporal de los parámetros de selectividad (L_{50} y *SR*) fue analizada mediante técnicas de series de tiempo. Los datos fueron organizados como series temporales a partir de 1996, primer año con información disponible para ambas temporadas de pesca.

Análisis de tendencia de los parámetros de selectividad

Para identificar y aislar los componentes subyacentes en las series observadas, se aplicó una descomposición aditiva (Cleveland et al., 1990), asumiendo que cada serie puede expresarse como:

$$Y_t = T_t + S_t + \varepsilon_t \qquad \textit{(Ec. 10)}$$

donde Y_t corresponde al valor observado del parámetro en el tiempo t, T_t representa la tendencia de largo plazo, S_t la componente estacional y ε_t el término aleatorio. Esta descomposición permitió cuantificar la contribución relativa de cada componente a la variabilidad de la serie.

A partir de la descomposición aditiva, se calculó la varianza de cada componente $(T_t, S_t, \varepsilon_t)$ de forma independiente. La contribución porcentual de cada uno se obtuvo como el cociente entre la varianza del componente y la varianza total de toda la serie observada $\left(\mathrm{Var}(Y_t)\right)$, expresado en porcentaje:

$$\%Componente = [Var(Componente)/Var(Y_t)] * 100 \qquad \textit{(Ec. 11)}$$

Además, dado que los componentes de la descomposición pueden covariar, la suma de los tres porcentajes no reconstruye necesariamente el 100% de la varianza total. Por ello, cada porcentaje debe interpretarse como un fracción de la variabilidad total de la serie.

Por otro lado, para detectar la presencia de una tendencia a largo plazo en las series temporales de los parámetros se aplicó la prueba de Mann–Kendall (Kendall, 1975; Mann, 1945). Esta prueba permitió identificar si los parámetros cambiaban de forma sostenida y consistente en una misma dirección a lo largo del tiempo, sin asumir

normalidad o linealidad en la serie. Para una serie Y_t de longitud *n*, el estadístico se definió como:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} sgn(Y_j - Y_i) \qquad \textit{(Ec. 12)}$$

donde $sgn(Y_j - Y_i)$ toma el valor de 1, 0 o −1 según $Y_j - Y_i$ sea positivo, nulo o negativo, respectivamente.

Finalmente, con el objetivo de visualizar la forma de las tendencias y su comportamiento, se ajustaron "splines" suavizados a las series temporales de ambos parámetros. El grado de suavizamiento fue controlado mediante el parámetro de suavización $(spar = 1)$, y la incertidumbre asociada a las tendencias estimadas se evaluó mediante un procedimiento de remuestreo "bootstrap" $(n = 1000)$, a partir del cual se construyeron intervalos de confianza al 95%

4.2.1. Identificación de cambios estructurales en los parámetros de selectividad

Los cambios estructurales se analizaron mediante cuatro pruebas para la detección de puntos de quiebre (Tabla 1). Dichas pruebas fueron seleccionadas porque, a diferencia de otros métodos, incorporan explícitamente el tiempo como variable continua en su formulación, lo que permite trabajar directamente con la estructura temporal real de los datos, sin asumir que las observaciones son consecutivas y equiespaciadas. Además, se considera que, un cambio estructural se entiende como una modificación sostenida o abrupta en la serie temporal, el cual delimita regímenes diferenciados; y que, para este estudio, se definió régimen al periodo conformado por al menos ocho temporadas consecutivas. Esta valor corresponde a una decisión pragmática, equivalente a cuatro años completos, adoptada para evitar que cada régimen tuviera una fragmentación excesiva de la serie en segmentos demasiados cortos y no puedan ser interpretados de forma consistente.

Las cuatro pruebas evaluaron distintos aspectos de la serie temporal, desde cambios en la media y la tendencia hasta a homogeneidad interna por segmentos, entendida esta última como la similitud de los valores respecto a su propia media dentro de cada segmento resultante (Therneau et al., 2026) (Tabla 1).

Tabla 1. Pruebas de detección de puntos de quiebre utilizadas para identificar regímenes en las series de los parámetros de selectividad.

Prueba	Detecta cambio en	Paquete en R	Autor
Cambios estructurales en modelos de regresión lineal	Relación lineal con el tiempo (pendiente/nivel)	strucchange	Zeileis et al. (2002)
Rbeast: Detección bayesiana de puntos de	Tendencia suavizada	Rbeast	Hu et al. (2025)

cambio y descomposición de series temporales			
Regresión con múltiples puntos de cambio (MCP)	Media por segmentos	mcp	Lindeløv (2020)
Rpart: Particionamiento recursivo y árboles de regresión	Homogeneidad interna (RSS)	Rpart	Therneau et al. (2026)

***Nota*.** RSS = Residual sum of squares (suma de cuadrados residuales)

Como contraste, se aplicó la prueba de Chow en el punto de quiebre, evaluando dos tipos de cambios: (i) temporadas identificadas como candidatas donde las 4 pruebas detectaron un cambio en el parámetro de selectividad y (ii) temporadas asociadas a la implementación de medidas de manejo o modificaciones regulatorias relevantes para la dinámica de la flota (PRODUCE, 2008, 2016). La prueba de Chow permitió evaluar si las medias difieren significativamente entre los periodos previo y posterior a cada temporada de pesca candidata. Asimismo, ya que esta prueba solo evalúa un único momento de quiebre por vez, cuando existieron múltiples puntos de quiebre, se realizaron contrastes separados para cada uno. Por último, los valores significativos del estadístico F se interpretaron como evidencia de cambio estructural.

Con relación al segundo grupo, ya que la prueba de Chow detecta el final de un régimen; es decir, el punto a partir del cual las condiciones cambian de manera significativa se evaluó la temporada inmediatamente anterior a cada medida regulatoria como posible punto de quiebre; bajo ese criterio, un resultado significativo indicaría que la temporada en la que empieza a ser efectiva dicha medida estuvo asociada al inicio de un nuevo régimen en la dinámica temporal de los parámetros evaluados.

Una vez identificados los puntos de quiebre, se caracterizaron los regímenes resultantes calculando el valor promedio y la desviación estándar de cada parámetro dentro de cada periodo.

4.2.2. Variabilidad estacional de los parámetros de selectividad

La variabilidad estacional se evaluó mediante la comparación de los valores de L_{50} y SR entre la primera (I) y la segunda (II) temporada de pesca. Con el fin de evitar que las diferencias de largo plazo entre regímenes sesgaran esta comparación estacional, ambos parámetros fueron estandarizados dentro de cada régimen. Cabe señalar que para este análisis se excluyeron las temporadas 2017-II y 2023-I debido a que las condiciones ambientales atípicas registradas en dichos periodos (El Niño) podrían introducir variabilidad no representativa del patrón estacional habitual

Para L_{50}, la estandarización se realizó mediante la media y desviación estándar del régimen:

$$Z_{ir} = \frac{\theta_{ir} - \bar{x}_r}{S_r} \qquad \textit{(Ec. 13)}$$

Mientras que para el *SR* se empleó una estandarización basada en la mediana y el rango intercuartílico del régimen

$$Z_{ir} = \frac{\theta_{ir} - \tilde{x}_r}{(Q_3 - Q_1)} \qquad \textit{(Ec. 14)}$$

donde Z_{ir} es el valor estandarizado del parámetro de selectividad para la temporada *i* en el régimen *r*, θ_{ir} corresponde al valor observado de L_{50} o *SR*; $\bar{x}_r$ y $\tilde{x}_r$ son la media y mediana del régimen *r*, y S_r y $(Q_3 - Q_1)$ son desviación estándar y el rango intercuartílico del régimen *r,* utilizados según el parámetro evaluado

La comparación entre temporadas se realizó mediante la prueba de Wilcoxon pareada para L_{50} y *SR*. Esta prueba no paramétrica evalúa si la distribución de las diferencias entre pares de observaciones es simétrica respecto de cero, sin requerir supuestos de normalidad sobre los datos.

4.3. SELECTIVIDAD POR TIPO DE EMBARCACIÓN

Se evaluó si la selectividad difería entre los segmentos de la flota industrial: embarcaciones de madera y de acero. Como la comparación podría estar influenciada por cambios de largo plazo, el análisis se limitó al último período identificado, considerando las temporadas desde 2023 hasta 2025, años para los cuales se dispuso de información mensual sobre la estructura de tallas por tipo de flota. Durante este periodo, se ajustaron modelos logísticos de selectividad para cada tipo de embarcación, siguiendo la misma estructura de verosimilitud multinomial descrita en la sección 4.1.2, con la diferencia de que la estimación se realizó de manera conjunta para todos los cruceros disponibles en ese periodo. Por último, para evaluar si ambas flotas presentaban patrones de selectividad distintos, se aplicó una prueba de razón de verosimilitudes (LTR), comparando un modelo, con parámetros de L_{50} y SR independientes para cada flota, con otro modelo con parámetros comunes. El estadístico D resultante se comparó con una distribución chi-cuadrado con 2 grados de libertad. Complementariamente, las estimaciones de ambos parámetros se compararon visualmente mediante sus intervalos de confianza al 95 %, en los que la ausencia de solapamiento reforzaría la evidencia de diferencias en la selectividad.

4.4. CUANTIFICAR EL EFECTO DE DISTINTOS ESCENARIOS DE SELECTIVIDAD SOBRE LA CAPTURA TOTAL PROYECTADA, CAPTURA DE JUVENILES Y BIOMASA REMANENTE

Con base en los resultados obtenidos para los parámetros de selectividad, la variabilidad interanual observada y su posible relación con las características estructurales de la flota (acero y madera), se analizó las implicancias en la evaluación del stock norte-centro de la anchoveta peruana, particularmente en las proyecciones de captura. Las recomendaciones se enfocaron en la necesidad de incorporar de manera explícita la variabilidad de la selectividad dentro de los modelos de evaluación de stock, reconociendo su influencia en la cuota de captura (Q), la cuota de captura prevista de juveniles (QJ), la biomasa total (BT) y la biomasa desovante remanente (BDR). Para esto, se presentó en un caso aplicado a un crucero de evaluación de anchoveta, considerando proyecciones de captura bajo tres escenarios de selectividad: (1) parámetros según IMARPE (2020) “Selectividad constante”, (2) media de los parámetros de las primeras temporadas “I-temp”, y (3) media de los parámetros de las segundas temporadas “II-temp” (Tabla 2), donde (2) y (3) corresponden al periodo

comprendido desde 2017-I, identificado como el régimen más reciente de la serie temporal.

En cuanto a los demás parámetros biológicos y pesqueros, empleados de manera complementaria en las proyecciones, se trataron de manera diferenciada según su naturaleza. La mortalidad natural (M), el crecimiento (L_∞ y K) y la madurez sexual (p y q) se mantuvieron constantes en los tres escenarios, siguiendo los valores sugeridos por IMARPE (2020) para el escenario ambiental correspondiente. En cambio, los parámetros de la relación longitud-peso (a y b), el patrón semanal de extracción de la cuota y el horizonte de proyección se usaron de manera específica para cada uno de los dos cruceros de evaluación analizados.

La unidad de observación correspondió a cada réplica del procedimiento de remuestreo bootstrap $(n = 1000)$ generado a partir de la abundancia estimada en el crucero de evaluación de cada temporada (verano para la temporada 1 e invierno para a temporada 2) la cual se obtuvo a través del modelo de proyección bajo cada escenario de selectividad para obtener los valores de BT, BDR, Q y QJ. Dado que los escenarios de "Selectividad constante" e I/II-temp se generaron a partir del mismo conjunto de réplicas de bootstrap, las observaciones no son independientes. Por ello, las comparaciones se realizaron mediante la prueba de Wilcoxon para muestras pareadas, contrastando la réplica de escenario de referencia con el de escenario actualizado, para cada combinación de temporada y variable. Los valores p resultantes fueron ajustados mediante el método de Benjamini-Hochberg (BH) para controlar los falsos positivos derivada de las comparaciones múltiples.

Tabla 2. Parámetros de selectividad empleados en los escenarios de proyección

Escenario	Parámetros	
	L_{50}	*SR*
Selectividad constante (1994-2019)	11.57	0.84
I-temp (2017-2024)	11.35	0.6
II-temp (2017-2024)	11.66	0.61

5. RESULTADOS

5.1. ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE SELECTIVIDAD

5.1.1. Vinculación entre la estructura poblacional observada en cruceros y la composición de tallas de la pesquería

La comparación entre la estructura de tallas observada en los cruceros y la composición de tallas registrada al inicio de cada temporada de pesca mostró una correspondencia a lo largo de la serie histórica analizada, donde para 15 cruceros fue necesario proyectar la estructura de tallas hasta el mes de inicio de la pesca (Tabla 3), sin que esto afectara la correspondencia del rango modal observada, es decir, el intervalo de tallas donde se concentra la mayor frecuencia relativa de los individuos.

Asimismo, están temporadas como el 2004-II ($R^2 = 0.99$), 2023-II ($R^2 = 0.98$), 2024-I ($R^2 = 0.96$), entre otras, en las cuales la distribución de tallas observadas por el crucero permitió representar adecuadamente el rango modal registrado por la flota al inicio de la temporada.

Tabla 3. Cruceros en las que la estructura observada fue proyectada hasta el inicio de la temporada de pesca

Crucero	Culminación de crucero	Mes de inicio de pesca	Temporada	Meses proyectados
CR. 8503-05	1/05/1985	1/06/1985	I	1
CR. 0308-09	1/09/2003	1/10/2003	II	1
CR. 0408-09	1/09/2004	1/11/2004	II	2
CR. 0508-09	1/10/2005	1/11/2005	II	1
CR. 0708-09	1/10/2007	1/11/2007	II	1
CR. 0908-09	1/10/2009	1/11/2009	II	1
CR.1002-04	1/04/2010	1/05/2010	I	1
CR. 1108-10	1/10/2011	1/11/2011	II	1
CR. 1202-04	1/04/2012	1/05/2012	I	1
CR. 1302-04	1/04/2013	1/05/2013	I	1
CR. 1308-09	1/10/2013	1/11/2013	II	1
CR. 2002-03	1/04/2020	1/05/2020	I	1
CR. 2202-04	1/04/2022	1/05/2022	I	1
CR. 2302-04	1/04/2023	1/06/2023	I	2
CR. 2409-10	10/10/2024	10/11/2024	II	1

Considerando lo anterior, en la mayoría de los casos lo observado por los cruceros capturó adecuadamente el rango modal y la amplitud de tallas explotadas al inicio de cada temporada de pesca. A nivel interanual, se observó variabilidad en la posición del modo y en la dispersión de las distribuciones, con alta superposición en el intervalo de tallas medias (~10 – 14 cm). Asimismo, se observó diferencias en la composición de tallas puesto que la pesquería presentó una reducción de individuos menores a 11 cm a comparación con lo registrado por el crucero (Figura 8).

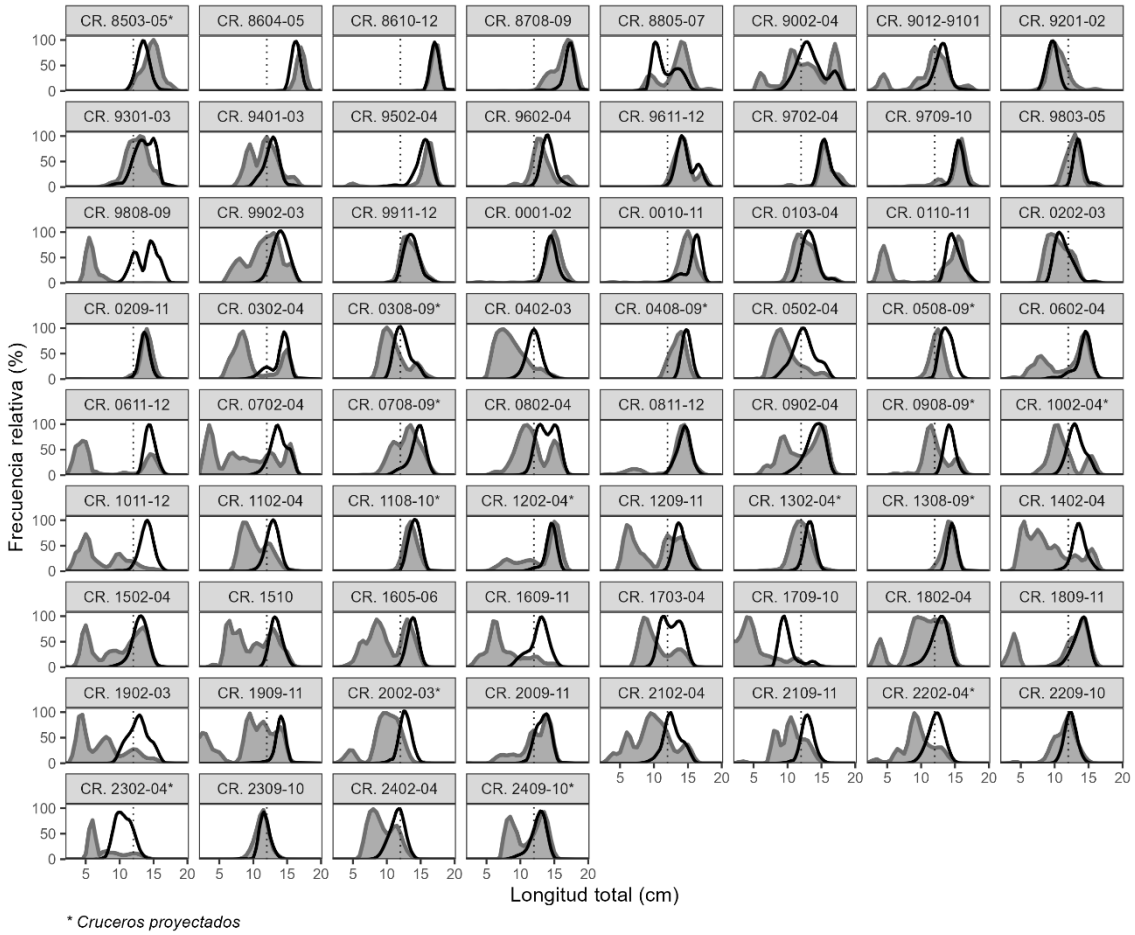


Figura 8. Distribuciones de frecuencia relativa de tallas de la anchoveta peruana para cada crucero de evaluación hidroacústica. El área sombreada en gris corresponde a la distribución observada durante el crucero; la línea negra continua representa la composición de tallas registrada en la pesquería industrial al inicio de la temporada de pesca correspondiente. La línea punteada vertical punteada indica la talla mínima de captura reglamentaria (12 cm). Los cruceros marcados con asterisco (*) corresponden a estructuras proyectadas hasta el mes de inicio de la temporada de pesca (ver Tabla 3).

5.1.2. Estimación de los parámetros de la selectividad

La vinculación entre la estructura poblacional a partir de los cruceros de evaluación y la composición por tallas observada en la pesquería industrial permitió estimar 68 pares crucero-temporada de pesca entre 1985 y 2024 (Anexo 01), de los cuales 59 corresponden a ajustes con $R^2 > 0.2$ y cuyos parámetros estimados no alcanzaron los valores límites del rango de búsqueda o presentaran un comportamiento bimodal. Los 9 pares restantes fueron identificados en la figura mediante asteriscos, pero excluidos de los análisis posteriores.

Las series temporales obtenidas a partir de los valores estimados (Tabla 4) evidenciaron patrones diferentes entre ambos parámetros de selectividad, los cuales se describen a continuación.

Tabla 4. Serie temporal de los parámetros de la selectividad estimados por temporada mediante un modelo de curva logística.

Año	Temp	L_{50}	L_{50} inf	L_{50} sup	*SR*	*SR* inf	*SR* sup	R^2	Uso
1985	I	8.07	8.00	10.64	0.08	0.01	0.94	0.12	*
1986	I	14.02	13.56	14.48	0.01	0.01	0.19	0.26	**
1986	II	15.00	14.55	15.00	0.01	0.01	0.31	0.96	**
1987	II	16.34	16.01	16.68	0.85	0.71	1.01	0.92	Si
1988	I	9.03	9.01	9.21	0.02	0.01	0.14	-0.14	*
1990	I	10.47	10.16	10.79	0.74	0.58	0.94	0.49	Si
1991	I	11.95	11.69	12.22	0.83	0.70	0.99	0.61	Si
1992	I	8.00	7.87	8.13	0.16	0.10	0.26	0.70	**
1993	I	13.42	12.62	14.28	1.50	1.18	1.91	0.83	Si
1994	I	11.35	11.09	11.63	0.68	0.57	0.81	0.68	Si
1995	I	8.25	8.00	8.72	0.01	0.01	0.57	0.60	**
1996	I	13.04	12.95	13.13	0.33	0.29	0.39	0.58	Si
1996	II	12.39	12.02	12.77	0.56	0.34	0.92	0.71	Si
1997	I	12.46	11.39	13.62	0.46	0.26	0.83	0.94	Si
1997	II	13.31	13.07	13.55	0.27	0.17	0.41	0.88	Si
1998	I	13.07	12.97	13.18	0.40	0.35	0.46	0.71	Si
1998	II	15.00	15.00	15.00	0.97	0.94	1.00	-2.16	**
1999	I	12.88	12.72	13.05	0.55	0.47	0.64	0.72	Si
1999	II	12.08	11.84	12.31	0.52	0.39	0.70	0.70	Si
2000	I	12.52	12.17	12.87	0.19	0.10	0.38	0.78	Si
2000	II	15.00	14.96	15.00	1.48	1.30	1.50	0.29	**
2001	I	12.09	11.94	12.24	0.42	0.35	0.51	0.72	Si
2001	II	12.97	12.83	13.12	0.18	0.13	0.26	0.58	Si
2002	I	9.65	9.53	9.77	0.26	0.20	0.35	0.95	Si
2002	II	11.67	11.40	11.95	0.25	0.14	0.44	0.36	Si
2003	I	10.43	10.24	10.63	0.31	0.24	0.40	0.82	Si
2003	II	11.02	10.90	11.14	0.31	0.26	0.38	0.82	Si
2004	I	10.93	10.79	11.07	0.45	0.39	0.51	0.83	Si
2004	II	15.41	14.95	15.89	0.62	0.53	0.73	0.99	Si
2005	I	11.26	11.03	11.49	0.70	0.62	0.80	0.88	Si
2005	II	18.00	18.00	18.00	0.76	0.76	0.77	-0.14	**
2006	I	11.79	11.17	12.43	1.00	0.76	1.31	0.93	Si
2006	II	12.74	12.53	12.95	0.18	0.11	0.29	0.88	Si
2007	I	11.79	11.57	12.02	0.54	0.45	0.65	0.31	Si
2007	II	13.55	13.20	13.90	0.89	0.75	1.06	0.89	Si
2008	I	12.07	11.94	12.21	0.39	0.33	0.46	0.76	Si
2008	II	11.40	10.95	11.86	0.21	0.06	0.75	0.88	Si
2009	I	11.34	11.08	11.61	0.54	0.43	0.67	0.79	Si
2009	II	13.03	12.95	13.11	0.21	0.18	0.25	0.44	Si
2010	I	11.78	11.65	11.90	0.39	0.34	0.45	0.22	Si
2010	II	13.12	13.00	13.23	0.42	0.37	0.47	0.83	Si
2011	I	12.45	12.24	12.66	0.62	0.55	0.70	0.77	Si
2011	II	13.00	12.90	13.10	0.29	0.23	0.36	0.66	Si
2012	I	11.97	11.71	12.23	0.44	0.33	0.58	0.70	Si

2012	II	12.52	12.42	12.63	0.27	0.22	0.33	0.61	Si
2013	I	12.78	12.67	12.90	0.42	0.37	0.47	0.58	Si
2013	II	13.18	13.09	13.28	0.10	0.06	0.14	0.91	Si
2014	I	11.85	11.68	12.02	0.40	0.34	0.48	0.23	Si
2015	I	11.43	11.12	11.75	0.77	0.63	0.93	0.69	Si
2015	II	12.23	12.08	12.38	0.37	0.31	0.45	0.68	Si
2016	I	13.05	12.93	13.17	0.41	0.34	0.49	0.65	Si
2016	II	11.84	11.52	12.17	0.92	0.82	1.03	0.60	Si
2017	I	10.57	10.45	10.70	0.31	0.25	0.37	0.80	Si
2017	II	8.34	8.24	8.45	0.18	0.14	0.23	0.45	Si
2018	I	11.52	11.23	11.82	0.84	0.72	0.99	0.69	Si
2018	II	11.59	11.17	12.03	0.92	0.67	1.26	0.84	Si
2019	I	10.82	10.14	11.54	0.65	0.43	0.99	0.74	Si
2019	II	13.13	12.98	13.28	0.49	0.42	0.56	0.86	Si
2020	I	13.14	12.97	13.33	0.55	0.51	0.60	0.87	Si
2020	II	11.71	11.53	11.90	0.47	0.37	0.59	0.69	Si
2021	I	11.44	11.28	11.61	0.57	0.50	0.65	0.71	Si
2021	II	12.40	12.21	12.59	0.51	0.45	0.59	0.81	Si
2022	I	11.06	10.87	11.26	0.53	0.45	0.61	0.88	Si
2022	II	11.24	11.01	11.48	0.50	0.39	0.64	0.95	Si
2023	I	8.71	8.57	8.86	0.33	0.27	0.41	0.79	Si
2023	II	10.98	10.61	11.36	0.75	0.53	1.06	0.98	Si
2024	I	10.88	10.41	11.38	0.76	0.62	0.94	0.96	Si
2024	II	10.59	10.29	10.89	0.59	0.47	0.73	0.70	Si

L_{50}: longitud de retención al 50%, *SR*: parámetro de escala asociado a la pendiente de la curva logística; inf/sup: límites inferior y superior del rango de búsqueda; R^2 : coeficiente de determinación. * Estimaciones excluidas del análisis por tener un ajuste menor a 0.2, ** estimaciones excluidas por convergencia en los límites del rango de búsqueda.

El L_{50} presentó variabilidad interanual a lo largo de todo el periodo, con valores que oscilaron alrededor de los 12 cm en la mayor parte de la serie, con episodios puntuales de valores iguales o superiores a los 15 cm (1987-II, 1998-II, 2000-II, 2004-II, 2005-II) e inferiores a 9 cm (1985-I, 1992-I, 1995-I, 2017-II, 2023-I). Por su parte, el SR presentó generalmente valores cercanos o inferiores a 0.5 cm a partir de 2005, aunque con episodios de altos valores en años específicos (Figura 9).

En cuanto a por temporada de pesca, durante el periodo de 2000 a 2012, en el L_{50} se puede apreciar diferencias puntuales entre ambas temporadas, con valores menores a los 12 cm en las primeras temporadas y mayores en las segundas; mientras que el *SR* muestra fluctuaciones entre temporadas sin que se observe un patrón consistente a lo largo de toda la serie.

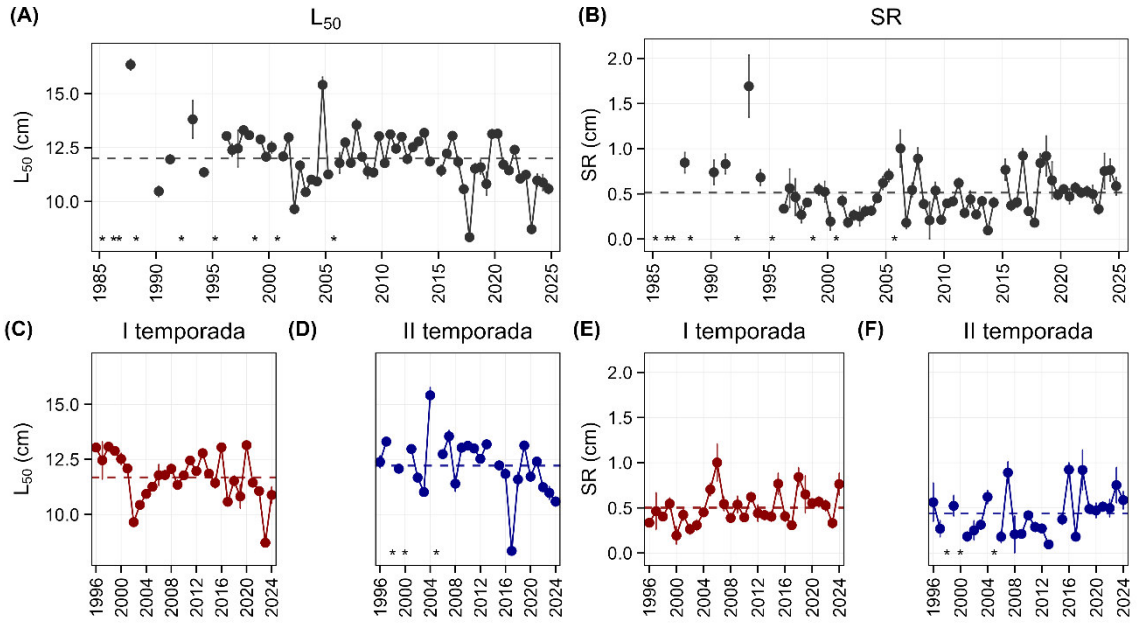


Figura 9. Serie temporal de los parámetros de selectividad estimados en el periodo de 1985-2024: A) L_{50} y B) *SR* para la serie completa; (C) y (E) corresponden a la primera temporada (I) y (D) y (F) a la segunda temporada de pesca (II), para L_{50} y *SR* respectivamente. Los puntos representan los valores estimados por temporada y las líneas verticales indican los intervalos de confianza al 99%. Las líneas horizontales discontinuas corresponden a la media de cada parámetro. Los asteriscos indican los 9 pares asociados a ajustes menores a 0.2 $(R^2 > 0.2)$ y a una convergencia en los límites del rango de búsqueda.

5.2. VARIABILIDAD ESTACIONAL, INTERANUAL Y DECADAL DE LOS PARÁMETROS DE SELECTIVIDAD

5.2.1. Tendencia de los parámetros de selectividad

La prueba de Mann-Kendall evidenció tendencias estadísticamente significativas en ambos parámetros de selectividad a lo largo del periodo analizado (1996-2024). El L_{50} presentó una tendencia decreciente significativa $(\tau = -0.24, p = 0.009)$, lo que indica que la talla a la cual el 50% de los individuos es retenido por la red de cerco ha disminuido en el tiempo. Por otro lado, el *SR* mostró una tendencia creciente significativa $(\tau = +0.20, p = 0.032)$, señalando que la curva de la selectividad es cada vez más amplia y menos selectiva. Estos resultados son consistentes con la tendencia estimada mediante splines suavizados, los cuales muestran un descenso y aumento progresivo en el nivel de suavizamiento para el L_{50} y *SR* respectivamente, a lo largo del periodo de estudio (Figura 10).

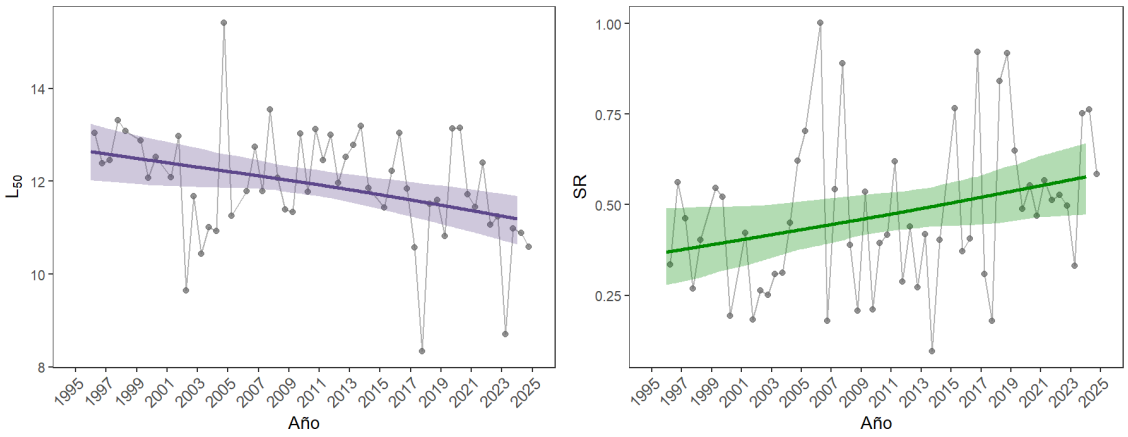


Figura 10. Tendencia a largo plazo de los parámetros de selectividad de la anchoveta peruana estimados por temporada (1996 - 2024). Las líneas grises representan los valores observados por temporada, y la línea sólida con banda de confianza (95%) representa la tendencia suavizada.

Además, la descomposición aditiva de la series para ambos parámetros de la selectividad (L_{50} y *SR*) mostró que la mayor parte de la variabilidad es explicada por la tendencia temporal (Tabla 5). Esto indica que los cambios sostenidos en la selectividad no siguen un patrón semestral repetitivo, sino que responden en mayor medida a procesos progresivos, con una fracción importante de variabilidad irregular que podría asociarse a factores ambientales o cambios en la operación de la flota.

Tabla 5. Contribución porcentual de los componentes de tendencia, estacionalidad y aleatoriedad a la varianza total de las series temporales de los parámetros de selectividad

Parámetro	Componentes	Porcentaje de varianza
L_{50}	Tendencia	48.9 %
	Estacionalidad	0.08 %
	Aleatoriedad	33.8 %
SR	Tendencia	46.3 %
	Estacionalidad	0.94 %
	Aleatoriedad	26.7 %

Nota. Se presenta la varianza independiente de cada componente y su proporción respecto a la varianza total de la serie original

5.2.2. Cambios estructurales en los parámetros de la selectividad

El análisis de puntos de quiebre identificó dos zonas de cambio estructural para ambos parámetros analizados en la mayoría de las pruebas empleadas. Para el L_{50}, los periodos de inflexión abarcan desde 2001-II hasta 2006-I y desde 2016-II hasta 2022-II (Figura 11.A); mientras que para el *SR* el primer periodo comprende desde 1999-II hasta 2008-I y el segundo varía se extiende desde 2012-II hasta 2023-I (Figura 11.B).

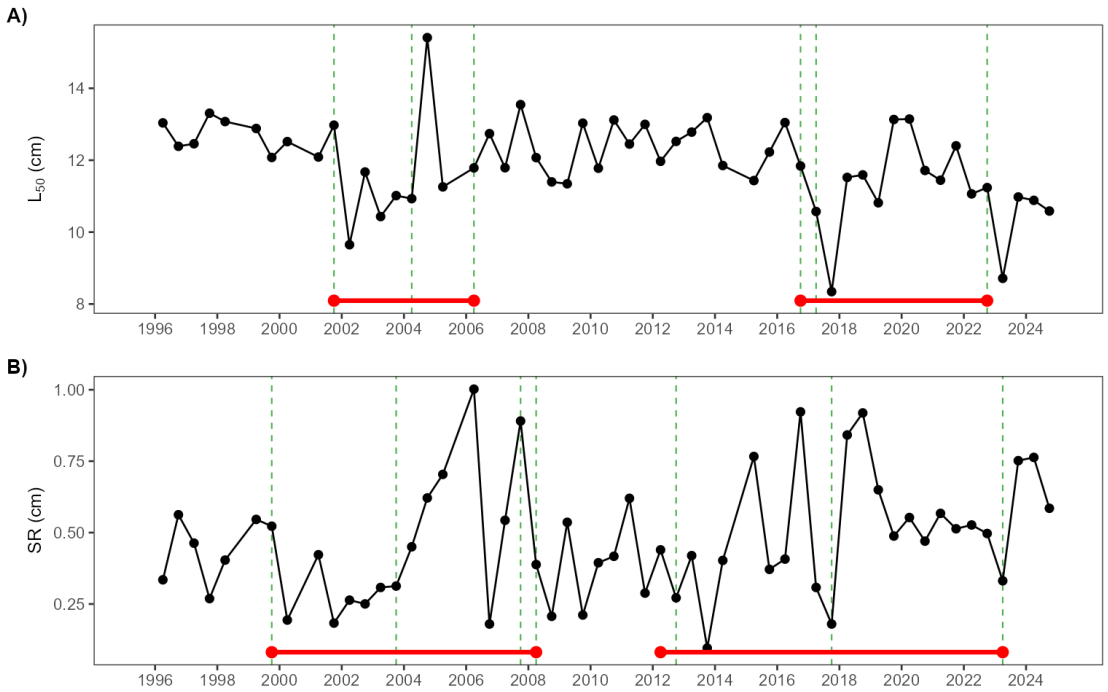


Figura 11. Identificación de puntos de quiebre en la serie temporal semestral de los parámetros de selectividad: A) L_{50} y B) *SR*. La línea con puntos representa la serie temporal del parámetro. Las líneas verticales discontinuas verdes indican los años en que al menos un método estadístico detectó un punto de quiebre. Los segmentos rojos horizontales delimitan las zonas temporales con mayor concentración de detecciones coincidentes entre métodos.

Puesto que varios puntos detectados para ambas series son temporalmente adyacentes y su inclusión simultánea como quiebres independientes no es estadísticamente correcto, su validación se realizó en función de la significancia y el valor F de la prueba de Chow, cuyos resultados se presentan en la Tabla 6. Complementariamente, la prueba también confirmó que el D.S. 024-2016 mostró un quiebre significativo en L_{50}, coincidiendo con el punto de inflexión de la segunda zona; mientras que para el *SR* su efecto fue marginalmente no significativo. Por último, el D.L. 1084 no resultó significativo en ninguna de las dos variables analizadas.

Tabla 6. Resumen de los análisis de la prueba de Chow en los puntos identificados como cambios estructurales

Variable	Enfoque de análisis	Detalle	Punto de cambio	F	*p*
L_{50}	Pruebas de puntos de quiebre	Zona 1	2001-II	5.164	0.03
		Zona 2	2016-II	12.061	0.001
	Medida regulatoria	D.L. 1084	2008-II	2	0.163
		D.S. 024-2016	2016-II	12.061	0.001

SR	Pruebas de puntos de quiebre	Zona 1	2003-II	5.775	0.02
		Zona 2	2017-II	8.094	0.006
	Medida regulatoria	D.L. 1084	2008-II	1.21	0.27
		D.S. 024-2016	2016-II	3.911	0.053

***Nota**:* F: estadístico de la prueba de Chow; *p*: valor de probabilidad asociado. D.L. 1084: Decreto Legislativo N°1084, Ley sobre Límites Máximos de Captura por Embarcación (PRODUCE, 2008), efectivo a partir de 2009. D.S. 024-2016: Decreto Supremo N° 024-2016-PRODUCE, medida para la conservación del recurso anchoveta (PRODUCE, 2016), efectivo desde 2017.

A partir de los resultados obtenidos, se determinó la existencia de tres regímenes temporales independientes para cada parámetro: para el L_{50} (1996-I – 2001-II, 2002-I – 2016-II y 2017-I – 2024-II) y para el *SR* (1996-I – 2003-II, 2004-I – 2017-II y 2018-I – 2024-II) (Figura 12). Considerando lo anterior, la distribución del L_{50} por régimen mostró una tendencia decreciente entre periodos (Figura 12.A). El primer régimen (1996-I – 2001-II) presentó el promedio más alto (12.68 cm), con valores generalmente por encima de los 12 cm y baja dispersión. El segundo régimen (2002-I – 2016-II) registró un valor similar (12.12 cm), aunque con una mayor variabilidad en torno a los 12 cm. El tercer régimen (2017-I – 2024-II) concentró sus valores mayoritariamente por debajo de la media de los datos (11.51 cm), evidenciando un desplazamiento sostenido hacia tallas menores en el periodo más reciente.

Para el *SR*, la distribución por régimen mostró una tendencia creciente en la mediana (Figura 12.B). El primer régimen (1996-1 – 2003-II) registró la mediana más baja (0.32 cm, más selectivo), el segundo (2004-I – 2017-II) mostró mayor dispersión, y el tercero (2018-I – 2024-II) presentó la mediana más alta (0.57 cm), indicando una transición de tallas progresivamente más gradual durante la captura.

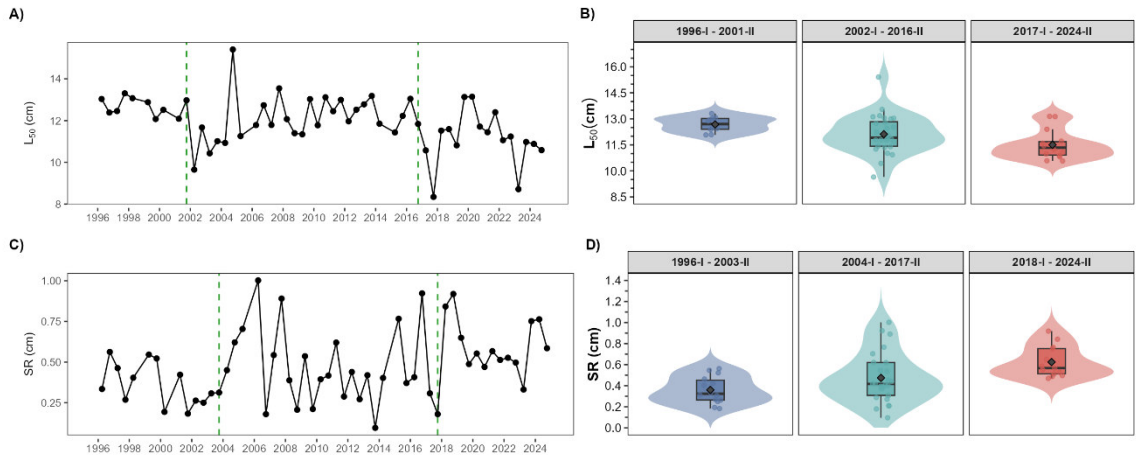


Figura 12. Series temporales y distribución por régimen temporal de los parámetros de selectividad L_{50} (A, B) y *SR* (C, D) por régimen temporal. Los paneles A y C muestran la evolución temporal de cada parámetro, donde las líneas verticales discontinuas indican los años de quiebre estructural que delimitan los regímenes. Los paneles B y D muestran la distribución de los datos de L_{50} y *SR,* respectivamente, dentro de cada régimen

mediante un diagrama de violín con un diagrama de caja y bigotes superpuesto, donde se indica la media (rombo) y la mediana (línea horizontal).

5.2.3. Variabilidad estacional de los parámetros de selectividad

La comparación entre temporadas mostró resultados diferenciados para los parámetros de selectividad (Figura 13). Para el L_{50}, los valores estandarizados de la primera temporada fueron significativamente menores que los de la segunda $(p = 0.046)$, dando a entender que la talla en la que se captura el 50% de individuos es menor en las primeras temporadas. Por su parte, para el *SR* no se detectó una diferencia estacional significativa ($p = 0.080$), aunque la diferencia mediana positiva apunta a un patrón no concluyente de tener valores más altos en la primera temporada (Tabla 7).

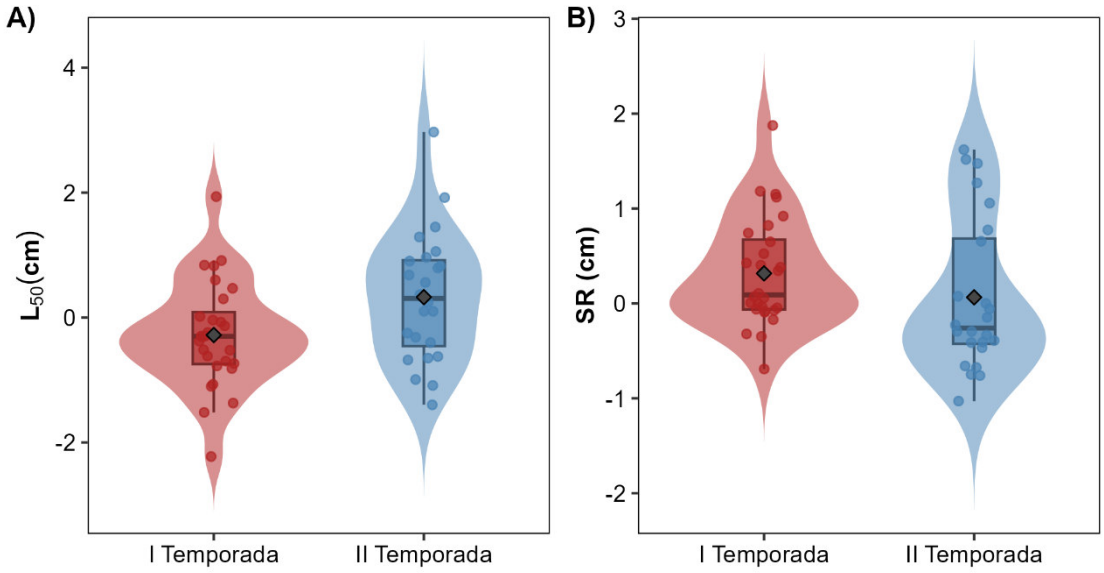


Figura 13. Variabilidad estacional de los parámetros de selectividad entre temporadas de pesca. Distribución de valores estandarizados de: A) L_{50} y B) *SR* por temporada de pesca (I y II). La caja indica el rango intercuartílico, la línea central la mediana y el rombo la media. Los puntos representan los valores individuales estandarizados por temporada.

Tabla 7. Comparación intraanual (Temporada I vs II) de los parámetros de selectividad mediante la prueba de Wilcoxon pareada.

Parámetro	V	*p*	Diferencia mediana (T1-T2)
L_{50}	72	0.046	-0.53
SR	196	0.080	0.35

Nota. V: estadístico de la prueba de Wilcoxon pareada con corrección de continuidad; p: valor de probabilidad asociado. T1: primera temporada de pesca; T2: segunda temporada de pesca.

5.3. SELECTIVIDAD POR TIPO DE FLOTA

Durante el periodo 2023-2025, los modelos logísticos ajustados por segmento de flota industrial mostraron valores de L_{50} similares entre embarcaciones de acero (11.36 cm) y de madera (11.38 cm), cuyos intervalos de confianza se solaparon ampliamente, indicando ausencia de diferencias relevantes en el L_{50} entre segmentos. Un patrón similar se observó para *SR*, donde las estimaciones para las embarcaciones de acero (0.67 cm) y de madera (0.72 cm) presentaron intervalos de confianza parcialmente solapadas (Figura 14, Tabla 8).

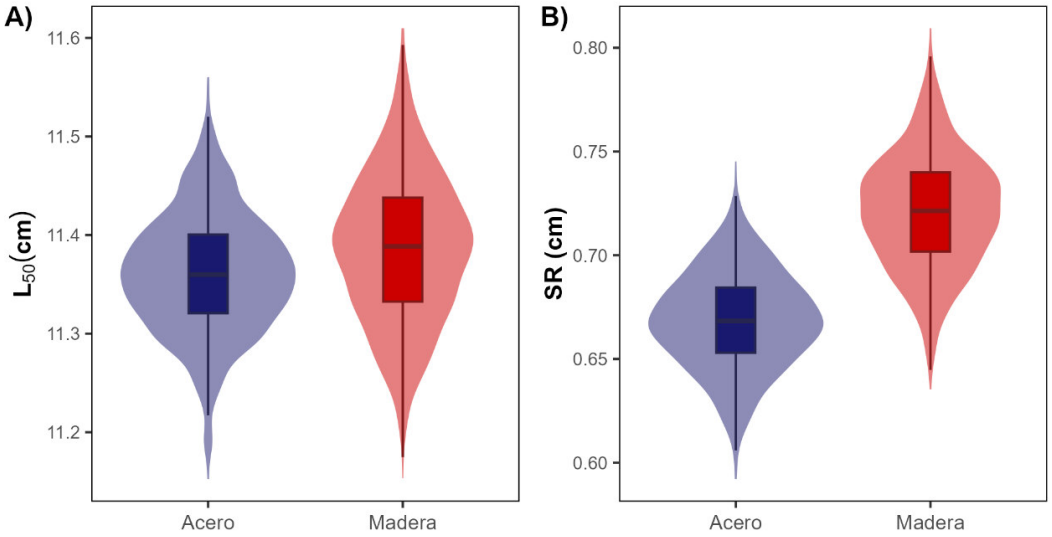


Figura 14. Distribución de los parámetros de selectividad (A) L_{50} y (B) *SR*, según tipo de flota: acero (azul) y madera (rojo) para el periodo 2023-2025. Las cajas internas representan el rango intercuartílico y la media; la forma del violín indica la distribución de los valores**.**

Tabla 8. Valores e intervalos de confianza de L_{50} y *SR* según segmento de flota industrial (acero y madera), periodo 2023-2025.

Variable	Parámetro	Valor	IC 95%
Acero	L_{50}	11.36	11.24-11.48
	SR	0.67	0.62-0.72
Madera	L_{50}	11.38	11.24-11.53
	SR	0.72	0.67-0.78

Nota. IC 95%: intervalo de confianza al 95%, obtenido del modelo logístico ajustado por segmento de flota.

5.4. IMPLICANCIAS DE LA VARIABILIDAD EN LA SELECTIVIDAD EN LA EVALUACIÓN DEL STOCK

Los resultados de las proyecciones bajo los tres escenarios de selectividad mostraron diferencias en las cuatro variables evaluadas (Q, QJ, BT y BDR), con patrones que variaron según la temporada.

Para las primeras temporadas (T1), el escenario I-temp presentó valores menores en BDR y BT respecto a la de Selectividad constante, mientras que Q y QJ mostraron el patrón inverso, siendo mayores bajo I-temp (Figura 15). La prueba de Wilcoxon pareada con corrección de BH confirmó diferencias estadísticamente significativas en las cuatro variables ($p < 0.001$ en todos los casos), lo que indica que la actualización de los parámetros de selectividad en la primera temporada tiene un efecto robusto sobre las proyecciones de captura y biomasa.

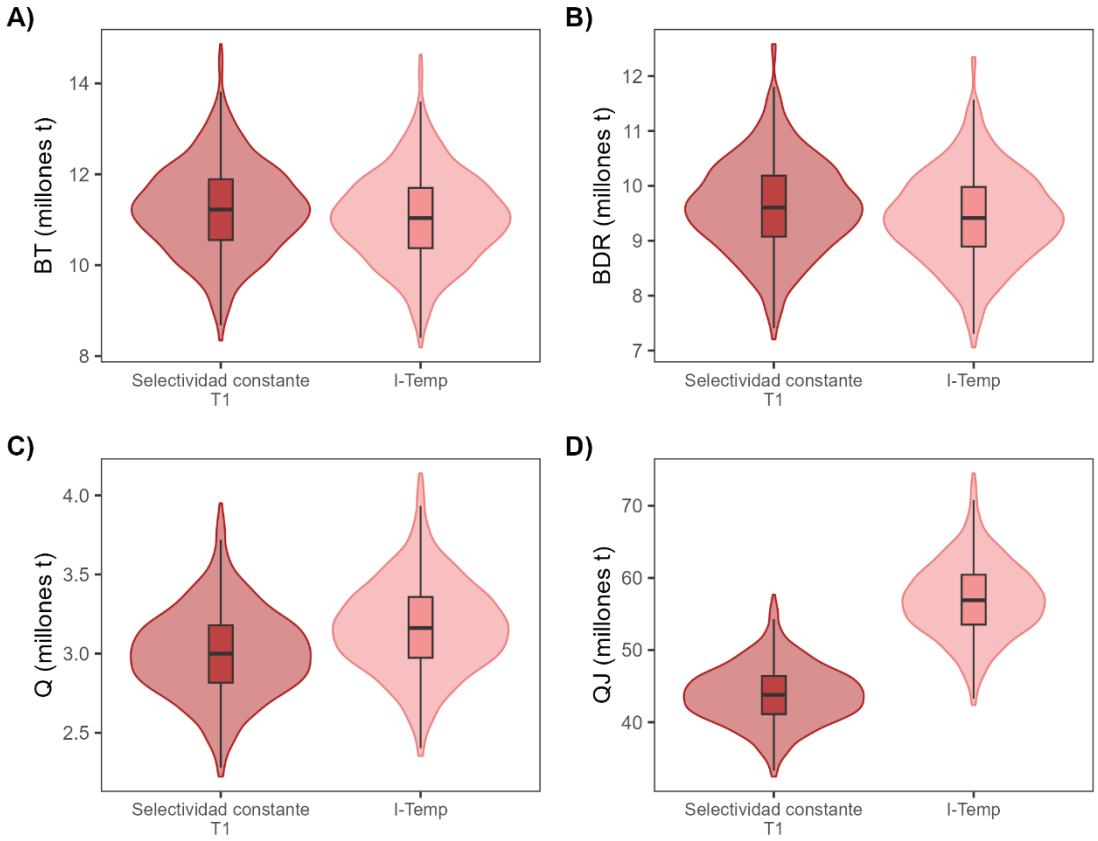


Figura 15. Distribución de las proyecciones bajo los dos escenarios: Selectividad constante y I-temp, para las variables analizadas: (A) BT: Biomasa total, (B) BDR: Biomasa desovante remanente, (C) Q: Cuota de captura y (D) QJ: Cuota de captura de juveniles. Las cajas internas representan el rango intercuartílico y la media. Los valores están expresados en millones de toneladas.

Por su parte, para las segundas temporadas (T2), el patrón fue inverso (Figura 16). Los valores de Q y QJ mostraron diferencias significativas entre los escenarios de Selectividad constante y II-temp ($p < 0.001$), siendo mayores cuando se trabaja con una selectividad constante; mientras que, las variables BDR y BT presentaron valores mas altos en II-temp.

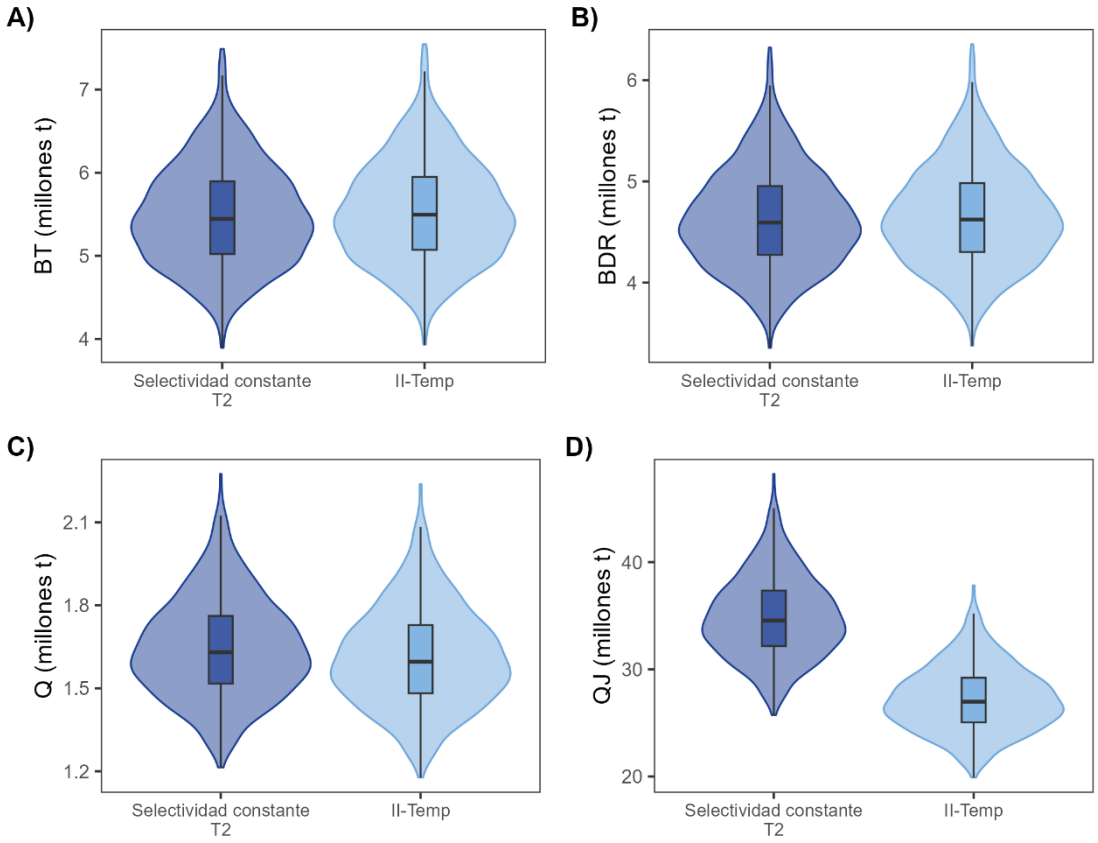


Figura 16. Distribución de las proyecciones bajo los dos escenarios: Selectividad constante y II-temp, para las variables analizadas: (A) BT: Biomasa total, (B) BDR: Biomasa desovante remanente, (C) Q: Cuota de captura y (D) QJ: Cuota de captura de juveniles. Las cajas internas representan el rango intercuartílico y la media. Los valores están expresados en millones de toneladas.

En conjunto, los resultados confirman que la selectividad de la flota industrial de cerco no ha sido un proceso estable a lo largo del periodo analizado, sino que ha experimentado una transformación progresiva y estructurada. A escala decadal, se identificó una tendencia significativa hacia la captura de individuos de menor talla (descenso de L_{50}), acompañada de una menor discriminación entre tallas (aumento de *SR*), organizada en 3 regímenes temporales, independientes para cada parámetro, separados por quiebres estructurales asociadas posiblemente a eventos relevantes del sistema pesquero. A escala interanual, el L_{50} fue significativamente menor durante las primeras temporadas de pesca, mientras que el *SR* no presentó diferencias estacionales significativas.

Esta dinámica combinada, regímenes decadales con valores decrecientes de L_{50} y crecientes de SR, y una diferencia estacional en el L_{50}, implica que los parámetros de selectividad para las evaluaciones de stock no son uniformes, sino que deben diferenciarse tanto por régimen temporal como por temporada de pesca. Los valores medios calculados para cada combinación de régimen y temporada, excluyendo los años anómalos (2017-II y 2023-I) y los 9 casos con estimaciones deficientes, se presentan en la tabla 9.

Tabla 9. Valores y la desviación estándar de los parámetros de selectividad por régimen temporal y temporada de pesca (periodo 1996 – 2024), excluidos años anómalos y estimaciones deficientes.

Parámetro	Primer régimen		Segundo régimen		Tercer régimen	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2
L_{50} (cm)	12.72 ± 0.34	12.59 ± 0.52	11.64 ± 0.84	12.67 ± 1.08	11.35 ± 0.80	11.66 ± 0.80
SR	0.36 ± 0.13	0.45 ± 0.13	0.51 ± 0.19	0.39 ± 0.25	0.60 ± 0.16	0.60 ± 0.16

6. DISCUSIÓN

6.1. VINCULACIÓN ENTRE LA ESTRUCTURA POBLACIONAL OBSERVADA EN CRUCEROS Y LA COMPOSICIÓN DE TALLAS DE LA PESQUERÍA

La estimación de los parámetros de selectividad a partir de la vinculación entre la estructura poblacional observada en los cruceros de evaluación y la composición de tallas por captura de la pesquería industrial, periodo 1985-2024, mostró, en general, un ajuste satisfactorio a lo largo del periodo analizado. Desde el punto de vista metodológico, este resultado indica que la composición por tallas de la captura puede ser interpretada como el producto de la selectividad de la flota y la abundancia relativa por talla estimada por el crucero, principio consistente con el uso de composiciones de talla para inferir selectividades relativas entre fuentes de información pesquera y de evaluación (Clark, 2014). En ese sentido, los buenos ajustes obtenidos sugieren que, en dichas temporadas, la ventana temporal entre el término del crucero y el inicio de la pesca fue suficientemente corta como para que los cambios en la estructura poblacional, asociados a las redistribuciones espaciales del stock o variaciones en su disponibilidad, fueran capturados adecuadamente por las proyecciones del balance poblacional cuando estas fueron necesarias.

No obstante, nueve casos presentaron ajustes deficientes, identificables tanto por valores negativos o muy bajos de R^2, como en 1988-I, 1998-II y 2005-II, como por estimaciones que tomaron el valor límite en el rango de búsqueda definido para los parámetros “estimaciones tipo borde” (Tabla 4). Estos casos se debieron principalmente a tres razones.

- La primera causa de desajuste radica en las diferencias entre la estructura de tallas observada en el crucero y aquella registrada por la pesquería. Estas discrepancias pueden surgir por cambios en la distribución horizontal o vertical de la anchoveta entre el momento de la evaluación acústica y el inicio de la temporada, pero también por la propia operación de la flota, que puede evitar zonas con alta presencia de juveniles o concentrarse en agregaciones comercialmente más favorables. Esta situación se conoce como un conflicto de datos, donde una sola función de selectividad no puede ajustar simultáneamente dos composiciones de talla que responden a fracciones distintas del stock accesible (Ichinokawa et al., 2014).

Este enfoque puede explicar lo observado en 1998-II ($R^2 = -2.16$), donde la distribución de tallas en el crucero mostró una alta proporción de individuos menores a los 12 cm, mientras que las tallas en pesca estuvieron dominadas por tallas intermedias, aproximadamente entre 12 y 16 cm. Asimismo, durante la temporada de 2005-II ($R^2 = -0.14$), el crucero observó tallas que oscilaron principalmente entre 7.5 y 14 cm, mientras que la temporada de pesca presentó tallas de 10.5 y a 18 cm. En ambos casos, lo registrado por el crucero difería de lo registrado por la flota, generando un conflicto de información que el modelo no logra resolver adecuadamente.

- La segunda razón consiste en situaciones donde tanto el crucero como la captura estuvieron dominados exclusivamente por tallas grandes (>14 cm) o tallas pequeñas (<11 cm), lo que privó al modelo de información en la sección

inicial o final de la curva. En estos casos, al no existir suficiente contraste entre tallas parcialmente retenidas y tallas plenamente retenidas, múltiples combinaciones de L_{50} y *SR* pueden producir ajustes similares. Esto limita la identificación de los parámetros y aumenta la incertidumbre de la estimación. Esta interpretación es coherente con la literatura que advierte que los datos de composición por talla pueden ser muy informativos, pero también pueden producir estimaciones sesgadas o inestables cuando la selectividad está mal especificada o cuando los datos no contienen información suficiente en los rangos extremos de la curva (Crone & Valero, 2014; Wang et al., 2014a).

Ejemplo de ello son la mayoría de las temporadas con mal ajuste, tales como 1985-I, 1986-I, 1986-II, 1995-I y 2000-II, donde la estructura evidenció predominio de individuos de tallas grandes. En contraste, en 1992-I las tallas registradas por el crucero fueron menores a los 12 cm y las observadas por la flota industrial estuvieron concentrados principalmente entre 8 a 10 cm. En ambos extremos, ya sea por predominio de tallas grandes o pequeñas, la ausencia de información en la zona de inicial o final de la curva redujo la capacidad del modelo para estimar adecuadamente los parámetros de selectividad.

- La última razón se relaciona con aquellos casos en que el patrón observado en los datos no seguía una forma logística, sino que aumentaba y luego disminuía con la talla. Esto sugiere que, en esos periodos, un modelo de selectividad alternativa podría representar mejor el proceso de retención por parte de la pesca (Sampson, 2014). Esta posibilidad es importante porque la selectividad pesquera no necesariamente adopta una forma sigmoidea en todos los contextos. Puede responder a formas de domo, patrones no monotónicos o combinaciones de procesos de disponibilidad espacial y selección de contacto. Por ello, la elección de la forma funcional de la selectividad debe evaluarse explícitamente cuando las composiciones por talla presentan bimodalidad o patrones no logísticos (Punt et al., 2014).

Dicha explicación permite interpretar lo sucedido en 1988-I, donde la distribución del crucero mostró una estructura de tallas bimodal, con una proporción baja de individuos pequeños (~8 – 10 cm) y alta de adultos (~12 – 14 cm), mientras que la captura industrial mostró el caso contrario, con abundancia de individuos pequeños y bajo presencia de adultos. En dicho caso, el modelo logístico no logró reconciliar la forma de la distribución del stock con la composición de la captura, aun viendo que la selectividad de tipo sigmoidea estimada era compatible con lo capturado por el crucero y por ello reproducía una captura unimodal centrada en tallas intermedias; sin embargo, lo observado en pesca presentaba una distribución bimodal. Este tipo de situación refuerza la necesidad de considerar formas funcionales más flexibles o diagnósticos más explícitos de selección de modelo cuando los datos empíricos se apartan de la forma logística esperada (Punt et al., 2014).

6.2. SOBRE VARIABILIDAD ESTACIONAL, INTERANUAL Y DECADAL DE LOS PARÁMETROS DE SELECTIVIDAD

Los resultados de largo plazo muestran que la pesquería ha experimentado un cambio gradual y sostenido en la forma en que retiene a los individuos. Esto se refleja en la

tendencia decreciente del L_{50} y el aumento progresivo del *SR* a lo largo del periodo 1996-2024. Ambas tendencias muestran una curva que se desplaza hacia tallas menores y que, al mismo tiempo, presenta una pendiente menos pronunciada.

Ahora bien, dicha dinámica se vuelve notoria al observar los tres regímenes temporales identificados. El primer régimen del L_{50} $(\bar{x} = 12.68; 1996 - 2001)$ abarca tanto el periodo previo como el posterior al evento El Niño 1997-98. A pesar de la perturbación que este fenómeno generó sobre el stock, este régimen presenta los valores más altos de L_{50} de toda la serie, lo que indica que la pesquería operaba principalmente sobre individuos adultos (>12 cm). Este resultado es coherente con las tallas modales de 12.5-13.5 cm registradas en la pesquería durante 1998 y con la rápida recuperación del stock apoyada en los reclutamientos abundantes hacia 1999 (Ñiquen et al., 2000). Por su parte, el *SR* en su primer periodo $(\tilde{x} = 0.32; 1996 - 2003)$ presentó los valores más bajos de sus tres regímenes, lo que indica que la pendiente de la curva de selectividad era más vertical, es decir, que existía una separación más clara entre tallas retenidas y tallas no retenidas.

El segundo régimen para ambos parámetros coincide con un periodo de diversos cambios en la estructura y la operación de la flota industrial. Para empezar, está el sobredimensionamiento de la flota debido al incremento masivo de embarcaciones de madera, conocidas como flota vikinga, desde 1998 hasta inicios del 2002. Este exceso se hizo evidente entre 2004 y 2008, periodo conocido como "carrera olímpica", cuando la presión sobre el recurso alcanzó niveles extremos por la acción conjunta de las plantas de procesamiento y la flota, donde esta última se caracterizaba por competir de manera desenfrenada por capturar la mayor cantidad posible en el menor tiempo (Bouchon, 2018).

En este contexto, la prueba de Chow identificó un quiebre estructural significativo en L_{50} hacia 2001-II $(F = 5.16; p = 0.03)$, coincidiendo con la consolidación de la sobrecapacidad de la flota industrial. Para el *SR*, se detectó un quiebre en 2003-II $(F = 5.78; p = 0.02)$, cuando la presión extractiva ya estaba instalada y la carrera olímpica comenzaba a definir la dinámica operativa de la flota. Esto sugiere que primero se da el cambio de la talla a la que se captura el 50% de individuos, como una posible respuesta indirecta al incremento en el número de embarcaciones de madera compitiendo por un mismo recurso, y luego se amplía el rango de tallas retenidas, probablemente asociado al agravamiento de esta competencia que reduce la capacidad de la flota de ser selectiva.
Cabe señalar que esta secuencia se basa en la coincidencia temporal entre los quiebres detectados y los eventos históricos. Dicha interpretación se respalda en el trabajo de Sampson (2014), quien señala que las decisiones operativas sobre dónde y cuándo pescar influyen directamente en la selectividad poblacional, ya que esto no depende solo del arte de pesca, sino también de la distribución espacial del esfuerzo respecto a la distribución espacial del stock. En consecuencia, ante un escenario de mayor número de embarcaciones y la necesidad de capturar la mayor cantidad posible, la flota podría ajustar su distribución espacial, lo que alteraría la vulnerabilidad por disponibilidad de las distintas tallas.
Un segundo quiebre en L_{50}, también significativo, se identificó en 2016-II según la prueba de Chow $(F = 12.06; p = 0.001)$, coincidiendo con la entrada en vigor del D.S.

N° 024-2016-PRODUCE. Esta medida, al eliminar las sanciones a embarcaciones que superan el límite permitido de captura de juveniles bajo determinadas condiciones de reporte, pudo incrementar indirectamente la presión sobre el componente más joven del stock. Esto se hace visible en el tercer régimen $(\bar{x}L_{50} = 11.5; 2017 - 2024)$, donde el L_{50} alcanza sus valores más bajos. Para el *SR*, cuyo quiebre fue más tardío, en 2017-II, se observó el valor más alto de la serie $(\bar{x} = 0.57)$, indicando una curva de selectividad más ancha y menos discriminadora de tallas.

Adicionalmente, otros factores que podrían explicar el descenso del L_{50} en el tercer régimen se detallan en el trabajo de Quispe-Salazar (2025). Uno de ellos se relaciona a la longitud asintótica (L_{∞}), puesto que se demostró que el stock norte-centro de la anchoveta ha transitado hacia un tercer régimen de crecimiento iniciado en 2006, caracterizado por una L_{∞} significativamente menor (promedio de 18.09 cm) en comparación con los periodos anteriores. Dicha reducción en la L_{∞} implicaría que los individuos del stock alcanzan tallas máximas menores a lo largo de su ciclo de vida, desplazando la distribución de tallas de la población hacia rangos inferiores y permitiendo una posible reducción en el L_{50} observado en la pesquería. Asimismo, en dicho trabajo se evidenció que escenarios ambientales con aumento de la temperatura superficial del mar y disminución de la productividad primaria afectan negativamente la L_{∞} de la anchoveta, reorientando la energía disponible hacia una reproducción más temprana a tallas menores como estrategia adaptativa frente a condiciones desfavorables. Este mecanismo, modulado principalmente por el ENOS, genera fluctuaciones interanuales en los parámetros de crecimiento que se reflejan directamente en la estructura de tallas del stock y, en consecuencia, en el L_{50} observado por la flota. En este mismo sentido, De La Cruz et al. (2020) señalan que durante los eventos El Niño, la anchoveta tiende a distribuirse en zonas más profundas y costeras, reduciendo la disponibilidad de individuos de mayor talla para la flota. En conjunto, el menor L_{50} del tercer régimen podría responder a cambios normativos, a la reducción del potencial de crecimiento de la especie asociada al tercer régimen descrito por Quispe (2025), y a los efectos de escenarios ambientales desfavorables sobre la talla de los individuos del stock.

En contraste, el Decreto Legislativo N° 1084, que estableció Límites Máximos de Captura por Embarcación, no resultó significativo en ninguna de los dos parámetros. Esto sugiere que esta medida no alteró de forma detectable el patrón de selectividad de la flota. Una explicación plausible es que el sistema de cuotas individuales (IVQ) modificó la competencia por el volumen total de captura, pero no necesariamente la estructura de tallas disponible ni la vulnerabilidad de juveniles y adultos frente a la operación pesquera.

Complementariamente, la selectividad pesquera es equivalente a la selectividad a escala poblacional descrita por Sampson (2014), ya que integra tanto la retención del arte como la disponibilidad espacial y temporal del recurso frente a la flota.
Bajo esta interpretación, la tendencia descendente del L_{50} y el aumento paralelo del *SR* también pueden verse influenciados por la evolución de los indicadores espaciales de la flota el cual varía en función al recurso (Anexo 2).

Cuando la flota opera de manera más dispersa y heterogénea, sus operaciones abarcan cardúmenes con mayor variedad de tallas, lo que resultaría en un *SR* más alto. Este mecanismo es coherente con lo documentado por Joo et al. (2014), quienes demostraron que la dispersión del esfuerzo pesquero de la flota anchovetera peruana está directamente asociada a la variabilidad en la accesibilidad y distribución del recurso. De igual manera, el trabajo de Hurtado-Ferro et al. (2014) que emplea múltiples patrones de selectividad como aproximación de procesos espaciales respalda la idea de que los cambios en la selectividad pueden reflejar diferencias espaciales en la fracción del stock accesible a la flota.

Asimismo, cuando el esfuerzo se concentra en un área más reducida, la captura proviene de un conjunto más homogéneo de cardúmenes, ya que los individuos dentro de una misma agregación mantienen tallas similares para facilitar sus desplazamientos y alimentación conjunta (Aguilar & Barrera-Guevara, 2018), por lo que la selectividad no depende de la malla, sino de la decisión del patrón de pesca de calar sobre ese cardumen en específico. En consecuencia, la captura resultante presenta una distribución de tallas más limitada debido a la menor variabilidad espacial del stock accesible para la flota (Morón et al., 2018). Considerando además que esta concentración espacial implicaría una mayor proximidad del recurso hacia zonas costeras, donde existe una mayor concentración de juveniles (Galarza, 2023), ambos procesos podrían favorecer los menores valores de L_{50} observados en el régimen reciente. Joo et al. (2014) documentaron que las decisiones espaciales de la flota responden directamente a dónde está disponible el recurso, de modo que, si el stock se desplaza hacia zonas más cercanas a la costa, el esfuerzo pesquero tiende a seguirlo.

A escala intraanual, la comparación entre temporadas de pesca mostró que el L_{50} es menor durante la primera temporada en relación con la segunda. Este patrón tiene una posible explicación biológica relacionada al pulso principal de reclutamiento de la anchoveta peruana, el cual ocurre entre enero y marzo, incorporando a la población un volumen importante de individuos jóvenes (<12 cm) que quedan disponibles para la flota al inicio de la primera temporada (Boerema & Gulland, 1973; De La Cruz et al., 2020).

Complementariamente, los valores de distancia de costa (DC) y área ocupada para las primeras temporadas también son menores que en las segundas temporadas, coincidiendo con los valores relativamente más bajos de L_{50}. Este patrón es plausible con lo reportado por Galarza (2023), quien encontró que durante el verano tanto juveniles como adultos de anchoveta tienden a estar más cerca de la costa y a ocupar una menor área.

En contraste, el *SR* no mostró diferencias estacionales significativas, aunque los valores tendieron a ser ligeramente más altos en la primera temporada. Esto podría reflejar una mayor mezcla de tallas en los cardúmenes cuando los juveniles del reclutamiento coexisten con individuos de clases de edad anteriores. Sin embargo, al no ser una diferencia significativa, este patrón debe interpretarse con cautela

Toda la dinámica descrita anteriormente es relevante porque indica que la selectividad no se comportó como un proceso constante en el tiempo. En pesquerías con fuerte variabilidad ambiental, cambios regulatorios, modificaciones en la distribución espacial del recurso y variaciones en la operación de la flota, la selectividad puede variar

temporalmente y afectar la interpretación de las composiciones por talla. En este sentido, asumir una selectividad constante puede resultar insuficiente cuando existen evidencia de regímenes o quiebres estructurales en los parámetros (Martell & Stewart, 2014). Por tanto, los cambios observados en L_{50} y *SR* no deben entenderse solo como variación estadística, sino como una señal de modificación en la interacción entre la flota industrial y la fracción del stock disponible para la captura

6.3. SOBRE SELECTIVIDAD POR TIPO DE FLOTA

La comparación entre embarcaciones de acero y madera durante 2023-2025 no evidenció diferencias relevantes en ninguno de los dos parámetros, con intervalos de confianza ampliamente solapados en ambos casos. Este resultado indica que, al menos en el periodo reciente, el tipo de embarcación no determina de manera significativa cómo la flota retiene a los individuos. Una posible explicación es que ambas flotas operan bajo las mismas restricciones técnicas: el tamaño de malla de 13 mm establecido por PRODUCE (2001) y los límites de tolerancia de captura de juveniles fijados por el D.S. N° 024-2016-PRODUCE.

Considerando que, la selectividad observada resulta de la interacción entre factores propios del recurso, como su distribución y estructura de tallas, y factores propios de la operación de la flota, como el diseño del arte de pesca y su operación (Crone & Valero, 2014), cuando estos últimos están fuertemente regulados y son comunes para toda la flota, las diferencias entre tipos de embarcación tienden a desaparecer. No obstante, estos resultados deben tomarse con cautela, dado que el análisis abarcó únicamente tres temporadas de pesca, lo que limita la capacidad de detectar diferencias de magnitud moderada.

6.4. SOBRE IMPLICANCIAS DE LA VARIABILIDAD EN LA SELECTIVIDAD EN LA EVALUACIÓN DEL STOCK

Los resultados de las proyecciones bajo los tres escenarios de selectividad muestran que la elección del parámetro utilizado tiene consecuencias concretas sobre las variables de manejo, y que dichas consecuencias no son uniformes entre temporadas. Para las primeras temporadas, las diferencias entre el escenario Selectividad constante y el escenario I-temp fueron estadísticamente significativas en las cuatro variables evaluada (BT, BDR, Q y QJ). Esto indica que usar un L_{50} global de 11.57 cm en lugar del valor promedio del régimen reciente para la primera temporada (11.35 cm) implica asumir una curva de selectividad desplazada hacia tallas ligeramente mayores, lo que lleva a subestimar la proporción de individuos de talla menor retenidos por la flota y, en consecuencia, a sobreestimar la biomasa desovante remanente.

Este tipo de sesgos, donde una diferencia aparente pequeña en L_{50} se amplifica en las proyecciones de biomasa y captura de juveniles, es consistente con lo reportado por Kraak et al. (2019), quienes demostraron mediante simulaciones que cuando el L_{50} disminuye, los sesgos en las estimación de capturas de individuos por debajo de la talla de referencia o talla mínima considerada son sustanciales y se manifiestan desde el primer año de proyección. Igualmente la sensibilidad de las variables de manejo frente a supuestos de selectividad ha sido documentada en evaluaciones pesqueras, donde los puntos biológicos de referencia y los objetivos de rendimiento pueden modificarse cuando cambia la selectividad asumida (Butterworth et al., 2014; Okamura et al., 2014; Scott & Sampson, 2011)

De igual manera, para las segundas temporadas, las diferencias fueron significativas para las cuatro variables evaluadas. Este resultado indica que usar un valor de L_{50} global (11.57 cm) implicaría considerar una curva desplazada a talla ligeramente menores, lo que podría llevar a sobreestimar la proporción de individuos de talla mayor retenidos por la flota y, por ende, subestimar la biomasa desovante remanente.

En términos prácticos, esto indica que existe la necesidad de actualizar los parámetros de selectividad en las proyecciones, al menos desde el punto de vista de la conservación del stock.

Para finalizar, considerando los resultados obtenidos y los trabajos de Butterworth et al. (2014), que señalan que ignorar o representar inadecuadamente la selectividad puede comprometer la precisión de las evaluaciones de stock y recomendaciones de manejo, así como el estudio de Crone & Valero (2014), que mostraron que en pesquerías de pequeños pelágicos la elección de datos de composición y supuestos de selectividad pueden modificar las estimaciones de biomasa y variables de manejo, sería recomendable incorporar parámetros de selectividad diferenciados por temporada y actualizados al régimen más reciente (Tabla 9). Esto permitiría mejorar la precisión de las proyecciones utilizadas para la determinación de las cuotas de captura en las pesquería norte-centro de la anchoveta peruana.

7. CONCLUSIONES

- La comparación entre la estructura de tallas observada en los cruceros de evaluación y la composición de tallas de la pesquería industrial mostró un ajuste adecuado en la mayoría de las temporadas evaluadas (59 de 68 pares crucero-temporada, $R^2 > 0.2$) a lo largo del periodo 1985-2024. Esta vinculación permitió estimar 59 pares de parámetros de selectividad, siendo la primera serie temporal extendida de estos parámetros para la pesquería norte-centro de la anchoveta peruana.

- La selectividad de la flota industrial de cerco no permaneció constante durante el periodo 1996-2024. Se identificó una tendencia decreciente en el L_{50} y un aumento progresivo en el *SR*, lo que indica un cambio en el patrón de la vulnerabilidad por talla observado en la interacción stock-pesquería.

- El análisis de puntos de quiebre identificó tres regímenes temporales significativos independientemente para ambos parámetros. Los cambios estructurales en el L_{50} se ubicaron en 2001-II y 2016-II, mientras que para el *SR* se detectaron en 2003-II y 2017-II. La explicación de dichos quiebres podría deberse a ciertos eventos relevantes del sistema pesquero: el ingreso masivo de la flota vikinga, la carrera olímpica y la entrada en vigor del D.S. N° 024-2016-PRODUCE.

- A escala intraanual, el L_{50} fue significativamente menor durante las primeras temporadas de pesca respecto a la segunda, patrón consistente con la incorporación de juveniles del reclutamiento estacional (enero-marzo) al inicio de la temporada. El *SR* no presentó diferencias estacionales significativas, aunque mostró una tendencia a valores ligeramente elevados en la primera temporada.

- No se detectaron diferencias estadísticamente significativas en los parámetros de selectividad estimados entre embarcaciones de acero y madera durante el periodo de 2023-2025, lo que indica patrones de retención por talla similares entre ambos segmentos de la flota durante el periodo analizado.

- Las proyecciones bajo distintos escenarios de selectividad demostraron que existe sensibilidad de las proyecciones al supuesto de selectividad, sugiriendo tomar en cuenta el par de parámetros utilizados en los modelos de evaluación para la conservación del stock.

8. RECOMENDACIONES

- Incorporar parámetros de selectividad diferenciados por temporada y actualizados al régimen reciente (2017-2024) en el Protocolo de Elaboración de Tablas de Decisión del IMARPE, especialmente para las primeras temporadas. Esto permitiría mejorar la precisión de las estimaciones de biomasa desovante remanente y la cuota de captura de juveniles.

- Evaluar distintos escenarios de cruceros de evaluación, agrupándolos por tipo de año oceanográfico (El Niño, La Niña, neutro), por distribución espacial del stock o por el nivel de biomasa, con el fin de determinar si la asociación entre la estructura poblacional observada en los cruceros y la composición de tallas en la pesquería varía en función de estas condiciones. Esto contribuirá a identificar los contextos ambientales y operativos en los que el enfoque metodológico es más robusto.

- Ampliar el análisis de selectividad por tipo de embarcación a un periodo más extenso, dado que el presente estudio se restringió a tres temporadas de pesca (2023-2025). Contar con series más largas permitiría detectar diferencias de magnitud moderada entre flotas de acero y madera.

- Considerar la incorporación de formas funcionales de selectividad alternativas a la logística en aquellas temporadas donde los datos presentan distribuciones bimodales u otro tipo de patrón.

- Replicar el enfoque metodológico desarrollado en este trabajo en otras pesquerías con flotas heterogéneas o dinámicas complejas en su selectividad, con el objetivo de promover un manejo pesquero adaptativo sustentado en evaluaciones de stock más precisas y actualizadas.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar, D., & Barrera-Guevara, J. C. (2018). Alternativas tecnológicas para el control de descartes y reducción de capturas de juveniles en la pesquería de anchoveta. *Síntesis Ejecutiva –versión en español*, 20p.

Banco Interamericano de Desarrollo. (2019). Avances del Perú en la adaptación al cambio climático del sector pesquero y del ecosistema marino-costero. *IDB Publications*, *Zavala, R., Gutiérrez, D., Morales, R., Grunwaldt, A., Gonzales, N., Tam, J., Rodriguez, C., Bucaram, S. (Eds.)*. (Perú). https://doi.org/10.18235/0001647

Blaskovic, V., Alegre, A., Navarro, I., & Fernández, C. (2011). *Estructura trófica de los principales peces pelágicos del litoral peruano frente al evento La Niña 2010 Trophic structure of the main pelagic fishes of the Peruvian coast in front of La Niña event in 2010*. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4525.4647

Boerema, L. K., & Gulland, J. A. (1973). Stock Assessment of the Peruvian Anchovy (Engraulis ringens) and Management of the Fishery. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, *30*(12), 2226-2235. https://doi.org/10.1139/f73-351

Bouchon, M. (2018). La pesquería de anchoveta en Perú. *Universidad de Alicante*. http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/103709

Bouchon, M., Ayón, P., Mori, J., Peña, C., Espinoza, P., Hutchings, L., Buitron, B., Perea, Á., Goicochea, C., & Messie, M. (2010). Biología de la anchoveta peruana (Engraulis ringens Jenyns). *Boletin Instituto del Mar del Perú*, *25*(1-2), 23-30.

Bouchon, M., Cahuín, S., Díaz, E., & Ñiquen, M. (2000). Captura y esfuerzo pesquero de la pesquería de anchoveta peruana (Engraulis Ringens). *Boletin Instituto del Mar del Perú*, *19*(1-2), 109-115.

Bouchon, M., & Peña, C. (2008). Impactos de los evento la niña en la pesquería peruana. *Inf. Inst. Mar Perú*, *35*(3), 193-198.

Bouchon, M., Peña, C., Roman, G., & Limache, J. (2019). Cambios en la distribución de la anchoveta durante Eventos El Niño extraordinarios (1982-83 y 1997-98) y El Niño Costero 2017. *Boletín técnico: Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño*, *6*(8), 5-9.

Butterworth, D. S., Rademeyer, R. A., Brandão, A., Geromont, H. F., & Johnston, S. J. (2014). Does selectivity matter? A fisheries management perspective. *Fisheries Research, SI: Selectivity*, *158*, 194-204. https://doi.org/10.1016/j.fishres.2014.02.004

Castillo, R., Escudero, L., Domínguez, N., & Gaviola, G. (2009). *Fluctuaciones ambientales y la distribución de la anchoveta peruana en el verano 2007*. *36*(3-4). https://hdl.handle.net/20.500.12958/2027

Chu, J. (2016). *Pesca industrial: Harina y aceite de pescado en el Perú*. https://pirhua.udep.edu.pe/item/c45ec846-6cb2-46b1-a0f4-009f48ea9b05

Clark, W. G. (2014). Direct calculation of relative fishery and survey selectivities. *Fisheries Research, SI: Selectivity*, *158*, 135-137. https://doi.org/10.1016/j.fishres.2013.10.017

Cleveland, RB., Cleveland, W., McRae, J., & Terpenning, I. (1990). *STL: A Seasonal-Trend Decomposition Procedure Based on Loess*. *6*(1), 3-73. https://www.semanticscholar.org/paper/STL-%3A-A-Seasonal-Trend-Decomposition-Procedure-on-Cleveland/585bf445ec84c1d9621b2726bdcce9f544b515c8

Crone, P. R., & Valero, J. L. (2014). Evaluation of length- vs. Age-composition data and associated selectivity assumptions used in stock assessments based on robustness of derived management quantities. *Fisheries Research, SI: Selectivity*, *158*, 165-171. https://doi.org/10.1016/j.fishres.2014.02.034

De La Cruz, K., Delgado, A., Baca, J., Hualcas, D., Costa, J., Gonzáles, C., & Culquichicón, Z. (2020). Sinopsis Biológica de Engraulis ringens (Jenyns, 1842)

Anchoveta. *REBIOL*, *42*(2), 298-317. https://doi.org/10.17268/rebiol.2020.40.02.15

Díaz, E., García, C., Espinoza Morriberón, D., Guevara Carrasco, R., Csirke, J., Ñiquen Carranza, M., Vargas López, N., & Argüelles Torres, J. (2010). *Evaluación del stock norte – centro de la anchoveta peruana (Engraulis ringens Jenyns) por un modelo estadístico estructurado por edades*. https://hdl.handle.net/20.500.12958/1112

Espinoza, P., & Bertrand, A. (2008). Revisiting Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*) trophodynamics provides a new vision of the Humboldt Current system. *Progress in Oceanography, The Northern Humboldt Current System: Ocean Dynamics, Ecosystem Processes, and Fisheries*, *79*(2), 215-227. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2008.10.022

Froese, R., & Pauly, D. (2026a). *Engraulis ringens* Jenyns, 1842. FishBase. https://www.fishbase.se/summary/SpeciesSummary.php?ID=4&AT=anchovy

Froese, R., & Pauly, D. (2026b). *Engraulis ringens* Jenyns, 1842. FishBase. https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=272287

Galarza, S. G. P. (2023). *Distribución espacial de los estadios juvenil y adulto que conforman el stock norte-centro de la anchoveta peruana (Engraulis ringens, J. 1842)*. https://hdl.handle.net/20.500.12996/6552

Graco, M., Correa Chilon, D., García Díaz, W., & Sarmiento, M. (2016). *Impactos del ENSO en la biogeoquímica del sistema de afloramiento frente a Perú central, febrero 2013—Diciembre 2015*. https://hdl.handle.net/20.500.12958/3039

Gutiérrez, D. (2015). Editorial: El niño y sus efectos en el ecosistema marino frente al Perú. *Boletín Trimestral Oceanográfico*, *1*(1-4), 1-3.

Hu, T., Li, Y., Zhang, X., Zhao, K., Dongarra, J., & Moler, C. (2025). *Rbeast: Bayesian Change-Point Detection and Time Series Decomposition* (Versión 1.0.2) [Software]. https://cran.r-project.org/web/packages/Rbeast/index.html

Hurtado-Ferro, F., Punt, A. E., & Hill, K. T. (2014). Use of multiple selectivity patterns as a proxy for spatial structure. *Fisheries Research, SI: Selectivity*, *158*, 102-115. https://doi.org/10.1016/j.fishres.2013.10.001

Ichinokawa, M., Okamura, H., & Takeuchi, Y. (2014). Data conflict caused by model mis-specification of selectivity in an integrated stock assessment model and its potential effects on stock status estimation. *Fisheries Research, SI: Selectivity*, *158*, 147-157. https://doi.org/10.1016/j.fishres.2014.02.003

IMARPE. (2020, septiembre 16). Protocolo Elaboración de la Tablas de Decisión para la determinación del Límite Máximo Total Permisible por temporada de pesca en la pesquería del stock norte-centro de la anchoveta peruana. *IMP-DGIRP/AFDPERP*. https://www.gob.pe/institucion/imarpe/informes-publicaciones/1202194-elaboracion-de-la-tabla-de-decision-para-la-determinacion-del-limite-maximo-de-captura-total-permisible-por-temporada-de-pesca-en-la-pesqueria-del-stock-norte-centro-de-la-anchoveta-peruana

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/10.1016/j.pocean.2014.08.009

Joo, R., & Díaz, E. (2017). Tamaño óptimo de muestra para estimar la distribución de tallas y proporción de juveniles de anchoveta por lance a bordo de la flota de cerco peruana. *Revista Peruana de Biología*, *24*(1), 59-66. https://doi.org/10.15381/rpb.v24i1.13112

Jordán, R., & Chirinos de Vildoso, A. (1965). *La Anchoveta (Engraulis ringens J.): Conocimiento actual sobre su biología ecología y pesquería*. (6), 1-52.

Kendall, M. G. (1975). *Rank correlation methods* (4th ed.). Griffin.

Kraak, S. B. M., Haase, S., Minto, C., & Santos, J. (2019). The Rosa Lee phenomenon and its consequences for fisheries advice on changes in fishing mortality or

gear selectivity. *ICES Journal of Marine Science*, *76*(7), 2179-2192. https://doi.org/10.1093/icesjms/fsz107

Legault, C. M. (2014). The ability of two age composition error distributions to estimate selectivity and spawning stock biomass in simulated stock assessments. *Fisheries Research, SI: Selectivity*, *158*, 172-180. https://doi.org/10.1016/j.fishres.2013.12.007

Lindeløv, J. (2020). *mcp: An R Package for Regression With Multiple Change Points*. OSF. https://doi.org/10.31219/osf.io/fzqxv

Mann, H. B. (1945). Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrica*, *13*(3), 245-259. https://doi.org/10.2307/1907187

Martell, S. J. D. (2008). *Fisheries Management*. 1572-1582. https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00206-8

Martell, S., & Stewart, I. (2014). Towards defining good practices for modeling time-varying selectivity. *Fisheries Research, SI: Selectivity*, *158*, 84-95. https://doi.org/10.1016/j.fishres.2013.11.001

Maunder, M. N., Crone, P. R., Valero, J. L., & Semmens, B. X. (2014). Selectivity: Theory, estimation, and application in fishery stock assessment models. *Fisheries Research, SI: Selectivity*, *158*, 1-4. https://doi.org/10.1016/j.fishres.2014.03.017

Methot, R. D. (2000). Technical description of the stock synthesis assessment program. *U.S. Dept. Commer., NOAA Technical Memorandum NMFS-NWFSC 43*, 46.

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*(4B), 513-525.

Morón, G., Galloso, P., Gutierrez, D., & Torrejon-Magallanes, J. (2018). Temporal changes in mesoscale aggregations and spatial distribution scenarios of the Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*). *Deep Sea Research Part II: Topical*

Studies in Oceanography, Drivers of dynamics of small pelagic fish resources: environmental control of long-term changes, *159*, 75-83. https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2018.11.009

Nielsen, A., & Berg, C. W. (2014). Estimation of time-varying selectivity in stock assessments using state-space models. *Fisheries Research, SI: Selectivity*, *158*, 96-101. https://doi.org/10.1016/j.fishres.2014.01.014

Ñiquen, M., Espino, M., & Bouchon, M. (2000). Análisis de la población de anchoveta peruana durante el período 1961-1999. *Boletin Instituto del Mar del Perú*, *19*(1-2), 103-107.

Okamura, H., McAllister, M. K., Ichinokawa, M., Yamanaka, L., & Holt, K. (2014). Evaluation of the sensitivity of biological reference points to the spatio-temporal distribution of fishing effort when seasonal migrations are sex-specific. *Fisheries Research, SI: Selectivity*, *158*, 116-123. https://doi.org/10.1016/j.fishres.2013.10.022

Oliveros-Ramos, R., & Peña, C. (2011). Modelado y análisis del reclutamiento de la anchoveta peruana (Engraulis ringens) entre 1961 y 2009. *Ciencias marinas*, *37*(4B), 659-674.

Palomares, M. L., Muck, P., Mendo, J., Chuman, E., Gomez, O., & Pauly, D. (1987). Growth of the Peruvian anchoveta (Engraulis ringens), 1953 to 1982. *The Peruvian Anchoveta and its Upwelling Ecosystems: Three Decades of Change*, *15*, 117-141.

Peña, C. L. (2019). *Eventos El Niño y su impacto en la pesquería de anchoveta en Perú*. http://hdl.handle.net/10045/112564

Perea, Á., Peña, C., Oliveros-Ramos, R., Buitrón, B., & Mori, J. (2011). Producción potencial de huevos, reclutamiento y veda reproductiva de la anchoveta peruana (Engraulis ringens): Implicaciones en el manejo pesquero. *Ciencias Marinas*, *37*(4b), 585-601.

PRODUCE. (2001, junio 27). *Resolución Ministerial N.º 209-2001-PE. Relación de tallas mínimas de captura y tolerancia máxima de ejemplares juveniles de principales peces marinos e invertebrados. Ministerio de la Producción del Perú*. https://www.gob.pe/institucion/sanipes/normas-legales/5991024-209-2001-pe

PRODUCE. (2008, junio 28). *Decreto Legislativo N.° 1084. LEY SOBRE LIMITES MAXIMOS DE CAPTURA POR EMBARCACION. Ministerio de la Producción del Perú*. https://www.gob.pe/institucion/produce/normas-legales/6526348-1084

PRODUCE. (2016, noviembre 15). *DECRETO SUPREMO N° 024-2016-PRODUCE. Decreto Supremo que establece medidas para fortalecer el control y vigilancia de la actividad extractiva para la conservación y aprovechamiento sostenible del recurso anchoveta*. https://faolex.fao.org/docs/pdf/per161244.pdf

Punt, A. E., Hurtado-Ferro, F., & Whitten, A. R. (2014). Model selection for selectivity in fisheries stock assessments. *Fisheries Research, SI: Selectivity*, *158*, 124-134. https://doi.org/10.1016/j.fishres.2013.06.003

Quispe, E. (2025). *Variabilidad interanual en el crecimiento del Stock Norte – Centro de la anchoveta peruana (engraulis ringens) durante el período 1960 – 2022*. https://cybertesis.unmsm.edu.pe/item/87afdf74-eed0-4cd7-9eec-e45a8edf50fa

Salazar C., C., & Ganoza, F. (2021). *Informe final: Consultoría para Adaptación de las redes de cerco con dispositivos selectores (HEXDSC) – Huacho | Proyecto Adaptación Marino Costero*. https://repositorio.profonanpe.org.pe/handle/20.500.14150/2382

Sampson, D. B. (2014). Fishery selection and its relevance to stock assessment and fishery management. *Fisheries Research, SI: Selectivity*, *158*, 5-14. https://doi.org/10.1016/j.fishres.2013.10.004

Santos, J. L. (2006). El conocimiento sobre El Evento de El Niño: Una perspectiva local dentro de un contexto global. *Revista Tecnológica - ESPOL*, *19*(1). https://rte.espol.edu.ec

Schueller, A. M., Williams, E. H., & Cheshire, R. T. (2014). A proposed, tested, and applied adjustment to account for bias in growth parameter estimates due to selectivity. *Fisheries Research, SI: Selectivity*, *158*, 26-39. https://doi.org/10.1016/j.fishres.2013.10.023

Scott, R. D., & Sampson, D. B. (2011). The sensitivity of long-term yield targets to changes in fishery age-selectivity. *Marine Policy*, *35*(1), 79-84. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2010.08.005

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

Stewart, I. J., & Martell, S. J. D. (2014). A historical review of selectivity approaches and retrospective patterns in the Pacific halibut stock assessment. *Fisheries Research, SI: Selectivity*, *158*, 40-49. https://doi.org/10.1016/j.fishres.2013.09.012

Therneau, T., Atkinson, B., port, B. R. (producer of the initial R., & maintainer 1999-2017). (2026). *rpart: Recursive Partitioning and Regression Trees* (Versión 4.1.27) [Software]. https://cran.r-project.org/web/packages/rpart/index.html

Thorson, J. T., & Taylor, I. G. (2014). A comparison of parametric, semi-parametric, and non-parametric approaches to selectivity in age-structured assessment models. *Fisheries Research, SI: Selectivity*, *158*, 74-83. https://doi.org/10.1016/j.fishres.2013.10.002

Tosunoğlu, Z., Şenbahar, A. M., & Demirel, N. (2022). Length Based Assessments for European Pilchard Sardina pilchardus and European Anchovy Engraulis encrasicolus, in the İzmir Bay, Aegean Sea. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *23*(3), TRJFAS21901. https://doi.org/10.4194/TRJFAS21901

Vasilakopoulos, P., Jardim, E., Konrad, C., Rihan, D., Mannini, A., Pinto, C., Casey, J., Mosqueira, I., & O'Neill, F. G. (2020). Selectivity metrics for fisheries

management and advice. *Fish and Fisheries*, *21*(3), 621-638. https://doi.org/10.1111/faf.12451

Vasilakopoulos, P., O'Neill, F. G., & Marshall, C. T. (2016). The unfulfilled potential of fisheries selectivity to promote sustainability. *Fish and Fisheries*, *17*(2), 399-416. https://doi.org/10.1111/faf.12117

Vílchez, D. J. (2020). *Importancia socioeconómica de la anchoveta (Engraulis ringens) en el Perú en el año 2019*. https://hdl.handle.net/20.500.12676/2809

Wang, S.-P., Maunder, M. N., & Aires-da-Silva, A. (2014). Selectivity's distortion of the production function and its influence on management advice from surplus production models. *Fisheries Research, SI: Selectivity*, *158*, 181-193. https://doi.org/10.1016/j.fishres.2014.01.017

Wang, S.-P., Maunder, M. N., Piner, K. R., Aires-da-Silva, A., & Lee, H.-H. (2014). Evaluation of virgin recruitment profiling as a diagnostic for selectivity curve structure in integrated stock assessment models. *Fisheries Research, SI: Selectivity*, *158*, 158-164. https://doi.org/10.1016/j.fishres.2013.12.009

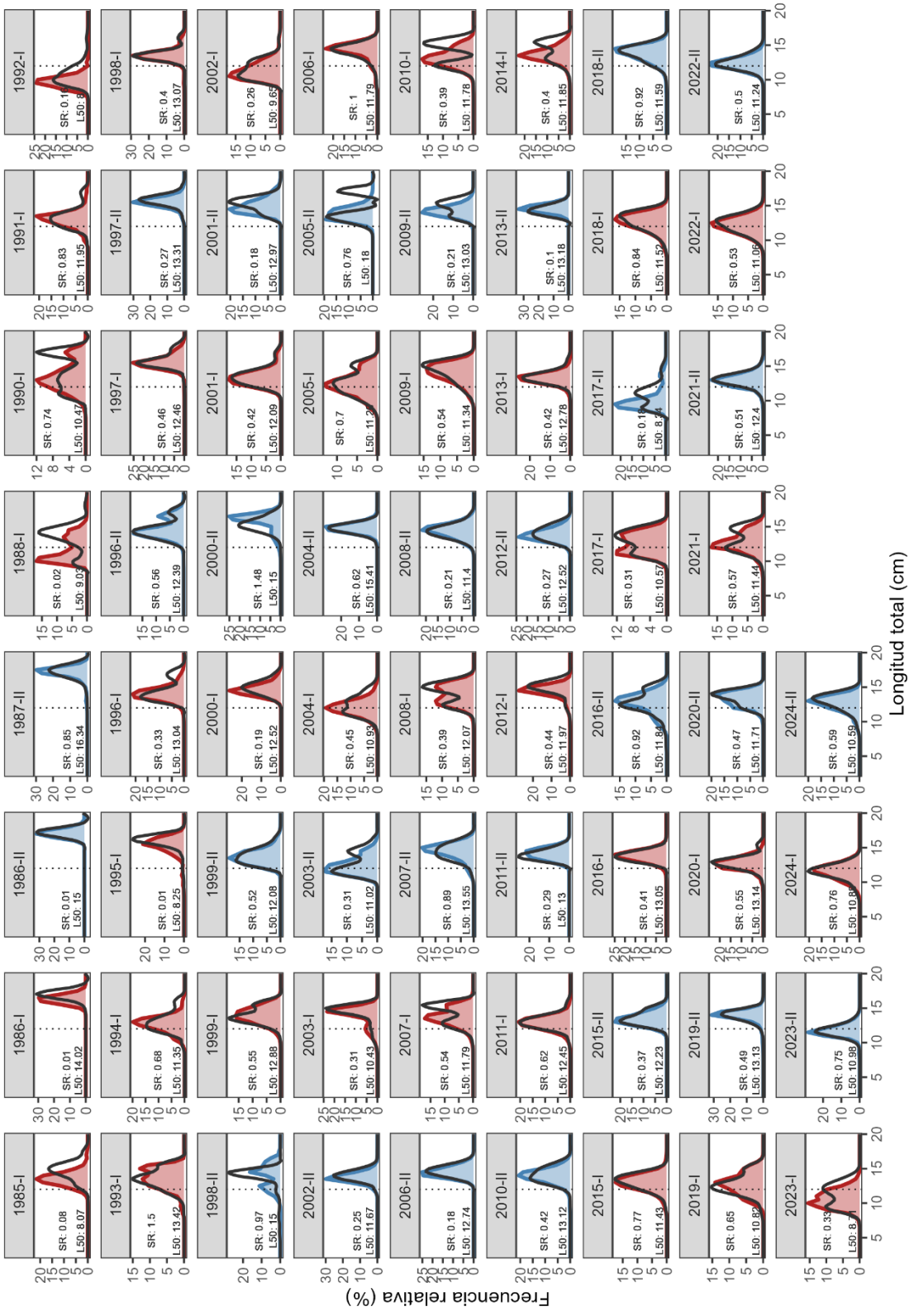
Xu, Y., Chai, F., Rose, K. A., Ñiquen C., M., & Chavez, F. P. (2013). Environmental influences on the interannual variation and spatial distribution of Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*) population dynamics from 1991 to 2007: A three-dimensional modeling study. *Ecological Modelling, Global Climate Change and Marine Ecosystems*, *264*, 64-82. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.01.009

Zavalaga, F. (2018). Anchoveta *Engraulis ringens* Jenyns,1842 [Ficha técnica]. Catálogo Digital de la Biodiversidad Acuática del Perú, Instituto del Mar del Perú (IMARPE). https://biodiversidadacuatica.imarpe.gob.pe/Catalogo/Especie/103

Zeileis, A., Leisch, F., Hornik, K., & Kleiber, C. (2002). strucchange: An R Package for Testing for Structural Change in Linear Regression Models. *Journal of Statistical Software*, *7*, 1-38. https://doi.org/10.18637/jss.v007.i02

10. ANEXOS

Anexo 1. Distribución de frecuencia relativa de tallas de la captura observada y captura teórica estimada por temporada de pesca, periodo 1985 – 2024. La captura observada durante la primera (rojo) y segunda (azul) temporada de pesca, y captura teórica estimada mediante el modelo de selectividad logística (línea negra). Se presentan los valores estimados de L_{50} y *SR* para cada temporada.



Anexo 2. Serie temporal de los parámetros de selectividad e indicadores espaciales de la anchoveta peruana según temporada de pesca. A) L_{50}, B) SR, C) Distancia a la costa, D) Heterogeneidad y E) Área ocupada. La línea negra y la banda sombreada representan la tendencia lineal (con intervalo de confianza del 95%). Los puntos rojos corresponden a la primera temporada de pesca y los puntos azules a la segunda temporada de cada año.

