Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América

Dirección General de Estudios de Posgrado
Facultad de Ciencias Biológicas
Unidad de Posgrado

Efecto de los eventos El Niño y La Niña en el comportamiento reproductivo de la anchoveta peruana *Engraulis ringens* del stock norte-centro del Perú. 1992-2020

TESIS

Para optar el Grado Académico de Magíster en Biodiversidad y Gestión de Ecosistemas

AUTOR

Antonio Alejandro CUBA MARTINEZ

ASESOR

Mg. Silvia Ysabel AGUILAR LUNA

Lima, Perú

2025



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

Cuba, A. (2025). *Efecto de los eventos El Niño y La Niña en el comportamiento reproductivo de la anchoveta peruana Engraulis ringens del stock norte-centro del Perú. 1992-2020*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Biológicas, Unidad de Posgrado]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Antonio Alejandro Cuba Martínez
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	72169167
URL de ORCID	**https://orcid.org/0000-0002-5907-6857**
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Silvia Ysabel Aguilar Luna
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	09431714
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-6123-3287
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Guillermo Odilón Álvarez Béjar
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06754707
Nombres y apellidos	Ricardo Britzke
Tipo de documento	CE
Número de documento de identidad	001314410
Nombres y apellidos	Juan Pedro Arguelles Torres
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08448131
Datos de investigación	

Línea de investigación	A.1.1.2
Grupo de investigación	-
Agencia de financiamiento	-
Ubicación geográfica de la investigación	Perú, Callao, Chucuito, Esquina Gamarra y General Valle S/N -12.066779, -77.158087
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2021-2024
URL de disciplinas OCDE	**https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.06.12**

Expediente N.º 265-UPG-FCB-2025

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE MAGÍSTER EN BIODIVERSIDAD Y GESTIÓN DE ECOSISTEMAS

Siendo las 18:30 horas del viernes 31 de octubre de 2025, en el auditorio de la Facultad de Ciencias Biológicas, el Jurado de Tesis conformado por:

Mg.	Guillermo Odilón Álvarez Béjar	(Presidente)
Dr.	Ricardo Britzke	(Miembro)
Mg.	Juan Pedro Arguelles Torres	(Miembro)
Mg.	Silvia Ysabel Aguilar Luna	(Asesora)

Se reunió para la sustentación oral y pública de la Tesis para optar al Grado Académico de Magíster en Biodiversidad y Gestión de Ecosistemas, que solicitara el señor Bachiller Don **ANTONIO ALEJANDRO CUBA MARTINEZ.**

Después de darse lectura al **Expediente N.º 265-UPG-FCB-2025,** en el que consta haberse cumplido con todas las disposiciones reglamentarias, los señores miembros del Jurado presenciaron la exposición de la Tesis Titulada:

"Efecto de los eventos El Niño y La Niña en el comportamiento reproductivo de la anchoveta peruana *Engraulis ringens* del stock norte-centro del Perú. 1992-2020", y formuladas las preguntas, éstas fueron absueltas por el graduando.

UNIDAD DE POSGRADO

Acto seguido el Jurado procedió a la votación la que dio como resultado el calificativo de: Muy Bueno ..... con la nota de Dieciocho (18)

A continuación, el Presidente del Jurado de Tesis recomienda que la Facultad proponga que la Universidad le otorgue el grado académico de Magíster en Biodiversidad y Gestión de Ecosistemas, al señor Bachiller **ANTONIO ALEJANDRO CUBA MARTINEZ.**

Siendo las 20:00 ..... se levantó la sesión, recibiendo el graduando las felicitaciones de los señores miembros del Jurado y público asistente.

Se extiende la presente Acta en Lima, el viernes 31 de octubre del 2025.

Mg. Guillermo O. Álvarez Béjar
Profesor Asociado a D.E.
PRESIDENTE
galvarezb1@unmsm.edu.pe

Mg. Silvia Y. Aguilar Luna
Profesora Asociada a D.E.
ASESORA
saguilarl@unmsm.edu.pe
RENACYT P0020560

Dr. Ricardo Britzke
Profesor Auxiliar a T.C.
MIEMBRO
rbritzkeb@unmsm.edu.pe
RENACYT P0070661

Mg. Juan P. Arguelles Torres
Profesor Asociado T.P.
MIEMBRO
jarguellest@unmsm.edu.pe

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

Anexo 1
CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Silvia Ysabel Aguilar Luna en mi condición de asesor acreditado con el Dictamen de la UPG N°235v-UPG-FCB-2021 de la tesis cuyo título es Efecto de los eventos El Niño y La Niña en el comportamiento reproductivo de la anchoveta peruana *Engraulis ringens* del stock norte-centro del Perú. 1992-2020, presentado por el bachiller Antonio Alejandro Cuba Martínez para optar el Grado Académico de Magíster en Biodiversidad y Gestión de Ecosistemas,

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 15% 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 Grado Académico de Magíster en Biodiversidad y Gestión de Ecosistemas.

Lima, 14 de noviembre de 2025

UNMSM
Firmado digitalmente por AGUILAR LUNA Silvia Ysabel FAU 20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 14.11.2025 18:04:38 -05:00

Firma del Asesor

Nombres y Apellidos del asesor: Silvia Ysabel Aguilar Luna
DNI: 09431714

* 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.

Índice

Resumen vi

Abstract vi

Introducción 8

Antecedentes 9

Hipótesis y Objetivos 13

Materiales y Métodos 14

Resultados y Discusión de Resultados 18

Resultados 18

Discusión 36

Conclusiones 42

Recomendaciones 42

Referencias Bibliográficas 42

Anexos 48

Índice de Tablas

Tabla 1. Categorías de los eventos El Niño y La Niña dependiendo de los valores del ICEN. Fuente: ENFEN, 2012. 12

Tabla 2. Categorización del efecto de la anomalía según los rangos de anomalías (expresados en deciles) de los índices reproductivos de anchoveta peruana *E.ringens*. Fuente: Cuba et al (2019). 17

Tabla 3. Deciles 4 y 8 de las anomalías mensuales de índice gonadosomático y fracción desovante de anchoveta peruana *E.ringens* del stock Norte-Centro del Perú. 22

Tabla 4. Efecto de los eventos El Niño sobre la reproducción de la anchoveta peruana *E. ringens* según categorización y momento reproductivo. AFD: Anomalías de fracción desovante; AIGS: Anomalías de índice gonadosomático. 35

Tabla 5. Efecto de los eventos La Niña sobre la reproducción de la anchoveta peruana *E. ringens* según categorización y momento reproductivo. AFD: Anomalías de fracción desovante; AIGS: Anomalías de índice gonadosomático. 36

Índice de Figura

Figura 1. Representación gráfica de las regiones Niño en el océano Pacifico. Fuente: CPC, 2015.....12

Figura 2. Ubicación geográfica de los laboratorios costeros del Instituto del Mar del Perú – IMARPE, desde donde provinieron la información y muestras de anchoveta peruana. 15

Figura 3. Serie de tiempo de fracción desovante (FD) de anchoveta peruana *E. ringens* del stock Norte-Centro del Perú desde 1992 hasta 2020. 18

Figura 4. Patrones de comportamiento de fracción desovante (FD) de anchoveta peruana *E. ringens* del stock Norte-Centro del Perú, por periodos. 19

Figura 5. Serie de tiempo del índice gonadosomático (IGS) de anchoveta peruana *E.ringens* del stock Norte-Centro desde 1992 hasta 2020. 20

Figura 6. Patrones de comportamiento del índice gonadosomático (IGS) de anchoveta peruana *E. ringens* del stock Norte-Centro del Perú.....21

Figura 7. Anomalías de fracción desovante (AFD) de anchoveta peruana *E. ringens* del stock Norte-Centro del Perú, de 1992 al 2020. Los recuadros rosados muestran los meses de duración del evento El Niño de categoría débil, los recuadros rojos muestran los meses de duración del evento El Niño de categoría moderada y los recuadros guindas muestran los meses de duración del evento El Niño de categoría fuerte y extremo según el ICEN. 27

Figura 8. Anomalías de índice gonadosomático (AIGS) de anchoveta peruana *E. ringens* del stock Norte-Centro del Perú, de 1992 al 2020. Los recuadros rosados muestran los meses de duración del evento El Niño de categoría débil, los recuadros rojos muestran los meses de duración del evento El Niño de categoría moderada y los recuadros guindas muestran los meses de duración del evento El Niño de categoría fuerte y extremo según el ICEN. 29

Figura 9. Anomalías de fracción desovante (AFD) de anchoveta peruana *E. ringens* del stock Norte-Centro del Perú, de 1992 al 2020. Los recuadros celestes muestran

los meses de duración del evento La Niña de categoría débil, los recuadros azules muestran los meses de duración del evento La Niña de categoría moderado y los recuadros azul oscuro muestran los meses de duración del evento La Niña de categoría fuerte según el ICEN. 32

Figura 10. Anomalías de índice gonadosomático (AIGS) de anchoveta peruana *E. ringens* del stock Norte-Centro del Perú, de 1992 al 2020. Los recuadros celestes muestran los meses de duración del evento La Niña de categoría débil, los recuadros azules muestran los meses de duración del evento La Niña de categoría débil, los recuadros azules muestran los meses de duración del evento La Niña de categoría moderado y los recuadros azul oscuro muestran los meses de duración del evento La Niña de categoría fuerte según el ICEN. 34

Resumen

La anchoveta peruana (*Engraulis ringens*), especie pelágica clave en la corriente de Humboldt, se divide en tres stocks, siendo el norte-centro de Perú el más relevante por su alta biomasa. Esta especie presenta dos períodos reproductivos principales: uno en primavera austral y otro secundario en verano austral, ambos susceptibles a variaciones oceanográficas derivadas de los eventos El Niño y La Niña. El objetivo de esta tesis fue evaluar los efectos de los eventos ENOS sobre la reproducción de la anchoveta mediante el análisis de anomalías de los indicadores reproductivos (AIR), específicamente el índice gonadosomático (IGS) y la fracción desovante (FD). Se analizaron series de tiempo de IGS y FD desde 1992 hasta 2020 para identificar puntos de quiebre que reflejan cambios en el comportamiento reproductivo. Los patrones de cada indicador se calcularon respetando estos puntos, y las anomalías se obtuvieron como la diferencia entre los valores mensuales de la serie y los patrones correspondientes. Los rangos de afectación se determinaron a partir de los valores absolutos de las anomalías mensuales, mientras que los períodos de los eventos El Niño y La Niña costeros se identificaron según datos del comité ENFEN. Los resultados revelaron tres períodos distintos para IGS y FD, con quiebres en 1998 y 2010 (FD) o 2012 (IGS), influenciados notablemente por el evento El Niño 1997-1998, que alteró la productividad primaria y el crecimiento del recurso. La estimación de patrones reproductivos se mejoró utilizando el paquete BreakerPoints en R, detectando variaciones en la actividad reproductiva, como comportamientos tipo “meseta” o dos picos de desove según el período. Las AIR, calculadas considerando oscilaciones temporales, mostraron que la reproducción de la anchoveta varía según la intensidad y el momento de los eventos ENOS, con impactos que van desde nulos hasta fuertes. Estos resultados, comparados con estudios previos, destacan la importancia de considerar los cambios temporales en el análisis reproductivo para obtener estimaciones más precisas.

Abstract

The Peruvian anchovy (Engraulis ringens), a key pelagic species in the Humboldt Current, is divided into three stocks, with the north-central Peru stock being the most significant due to its high biomass. This species exhibits two main reproductive periods: one in austral spring and a secondary one in austral summer, both susceptible to oceanographic variations driven by El Niño and La Niña events. The objective of this thesis was to assess the effects of ENSO events on anchovy reproduction through the analysis of reproductive indicator anomalies (AIR), specifically the gonadosomatic index (IGS) and spawning fraction (FD). Time series of IGS and FD from 1992 to 2020 were analyzed to identify breakpoints reflecting changes in reproductive behavior. Patterns for each indicator were calculated respecting these breakpoints, and anomalies were derived as the difference between monthly time series values and corresponding pattern values. Impact ranges were determined based on the absolute values of monthly anomalies, while El Niño and La Niña coastal event periods were identified using data from the ENFEN multisectoral committee. The results revealed three distinct periods for IGS and FD, with breakpoints in 1998 and 2010 (FD) or 2012 (IGS), notably influenced by the 1997-1998 El Niño event, which altered primary productivity and resource growth. The estimation of reproductive patterns was enhanced using the BreakerPoints package in R, detecting variations in reproductive activity, such as “plateau” behaviors or two spawning peaks depending on the period. The AIR, calculated considering temporal oscillations, showed that anchovy reproduction varies according to the intensity and timing of ENSO events, with impacts ranging from negligible to strong. These findings, compared with previous studies, underscore the importance of accounting for temporal changes in reproductive analysis to achieve more accurate estimations.

Introducción

La anchoveta peruana *Engraulis ringens* (Jenyns, 1842) es una especie pelágica de amplia distribución en el litoral peruano. Su abundante biomasa permite tener cuotas de capturas, que rodean los 5 millones de TM anuales, convirtiéndola en una especie de prioridad alta para la investigación con la finalidad de asegurar su sostenibilidad en el tiempo.

El conocimiento de la biología reproductiva de los recursos marinos extraídos sometidos a pesquerías resulta muy importante para asegurar su sostenibilidad. En particular, los estudios reproductivos de la anchoveta peruana han mostrado gran heterogeneidad espacio-temporal, siendo muy influenciada por la dinámica del ambiente (Buitrón et al., 2011). Por tal motivo, los principales aspectos reproductivos, tales como ciclo de reproducción y variación del desove, han sido estudiados en el ambiente natural (Mori et al, 2011; Perea et al, 2011) y en cautiverio (Espinoza et al, 2009; Espinoza et al, 2010, Catcoparco et al, 2010), aplicando metodologías directas (análisis microscópico de ovarios, catalogación de gónadas) e indirectas (índice gonadosomático) (Buitrón et al, 2015).

Se sabe que los eventos oceanográficos conocidos como El Niño y La Niña pueden llegar a afectar y modificar el comportamiento reproductivo de esta especie (Cuba et al, 2019). Estos eventos son interacciones océano-atmosfera que se desarrollan a escala interanual y es conocido con el nombre de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). El ciclo ENOS es una oscilación entre una fase cálida (El Niño) y una fría (La Niña), que se presenta a través de un incremento o disminución de la temperatura superficial del mar (TSM) en el Océano Pacifico Ecuatorial Central y Oriental (Maturana et al., 1997).

Una forma práctica de evaluar los efectos del ciclo ENOS en la reproducción de la anchoveta peruana es a través del análisis de las anomalías de los índices reproductivos como fracción desovante e índice gonadosomático (Cuba et al, 2019). Algunos autores (Perea et al, 2015; Cuba et al, 2019) han utilizado estas anomalías con la finalidad de calcular el impacto de condiciones cálidas y frías sobre la reproducción de la anchoveta peruana. Categorizar el efecto de los eventos El Niño y La Niña sobre los indicadores reproductivos de la anchoveta peruana,

sería una herramienta útil para determinar el grado de afectación en la reproducción del recurso ante los cambios producidos a nivel oceanográfico.

Antecedentes

La anchoveta peruana

La anchoveta peruana *E. ringens* es un pez pelágico de la Familia Engraulidae, que se encuentra distribuida en el ecosistema de la corriente de Humboldt a manera de tres stocks. El primero es el stock Norte-Centro del Perú, que abarca desde el 5°S (Paita, Piura, Perú) hasta el 15°S (San Juan de Marcona, Ica, Perú). El segundo es el stock Sur Perú – Norte de Chile desde el 16°S (Chala, Arequipa, Perú) hasta el 27°S (Antofagasta, Chile). Finalmente, se encuentra el stock Centro-Sur de Chile que abarca desde el 34°S (San Antonio, Chile) hasta el 40°S (Valdivia, Chile) (Cubillos et al, 2007). En términos de abundancia y capturas, la importancia de los stocks disminuye de norte a sur (Diaz, 2017).

En el litoral peruano, su distribución está asociada a masas de agua con temperaturas entre los 14 y 21°C y salinidades desde 34,8 hasta 35,1 ups (Ñiquen et al, 2000). Latitudinalmente, su presencia es casi continua a lo largo de la costa del Perú (Gutiérrez, 2000); mientras que, longitudinalmente hasta las 100 mn en promedio (Ñiquen et al, 2000). Por otro lado, la distribución vertical dependerá de la posición de la oxiclina (Bertand et al, 2008), siendo independiente de la profundidad total (Díaz, 2017). Los cardúmenes varían en densidad de acuerdo a las horas del día; durante el día la anchoveta peruana forma cardúmenes más densos y se ubica a mayores profundidades; mientras que, durante la noche, se encuentra más dispersa y más somera (Jordán, 1971).

La anchoveta peruana es una especie planctófaga, siendo su presa principal el fitoplanctón (Espinoza & Blaskovic, 2000). No obstante, el mayor aporte nutricional proviene del zooplancton, principalmente eufáusidos y copépodos (Espinoza & Bertrand, 2008). Sin embargo, en cualquier ciclo de vida, el comportamiento alimenticio es bastante dinámico en espacio (latitud y distancia a costa), tiempo (horas del día, estaciones, año) y condiciones ambientales (Espinoza & Bertrand, 2008).

A lo largo de la historia, la biomasa y el reclutamiento de anchoveta en el Perú ha pasado por 3 fases. La primera entre 1950 y 1972, en donde los valores eran altos. La segunda, desde 1973 hasta 1991 con valores bajos. Y finalmente, desde 1992 hasta la actualidad con niveles medianos (Ñiquen et al, 2000; Díaz, 2017). Actualmente, la biomasa de este recurso en el Perú es en promedio de 9,4 millones de toneladas y el 93% corresponde al Stock Norte-Centro (Diaz, 2017).

Reproducción de la anchoveta peruana

La anchoveta peruana *E. ringens* es una especie bastante estudiada debido a que es el sustento de una de las pesquerías más importantes en el mundo (Global Fishing Watch, 2019). Por tal motivo, es indispensable conocer bien sus aspectos reproductivos.

Todo estudio sobre aspectos reproductivos de una especie de peces comienza a partir de la determinación de las fases de madurez de las gónadas, las cuales permitirán determinar con certeza indicadores reproductivos que brindarán información sobre la condición reproductiva del recurso. La primera escala de madurez gonadal para anchoveta peruana fue establecida por Einarsson et al (1996) en base a observaciones macroscópicas que, a partir de características visuales evidentes, determinaron distintas fases de madurez. Sin embargo, al no ser una escala de madurez gonadal con sustento microscópico, se prestaba sesgos e incertidumbre y dependía mucho de la experiencia del observador (Buitrón et al, 2015). No fue hasta el año 2015, que Buitrón et al (2015) presentaron una escala validada mediante cortes histológicos, distinguiéndose 6 fases de madurez gonadal para ambos sexos.

El análisis espacio-temporal de los indicadores reproductivos como el índice gonadosomático (IGS), que está relacionado con la maduración y desove de los individuos, y de la fracción desovante (FD), que calcula la proporción de individuos desovantes, permite la determinación de los ciclos reproductivos. Cada indicador reproductivo posee características propias que lo vuelven indispensable para el análisis, siendo así la FD un indicador más preciso del desove, pero necesita una correcta determinación de la fase desovante; mientras que, el IGS es un indicador que mide el grado de madurez (Mori et al, 2011) y que se calcula solo a partir del

peso de las gónadas. El primer estudio sobre el ciclo reproductivo del recurso fue realizado por Einarsson et al. (1966), quienes determinaron a través de catalogaciones macroscópicas dos periodos importantes de reproducción, el principal durante el invierno austral y uno secundario durante el verano austral. En el 2011, Mori et al realizaron una recopilación de datos de IGS y FD desde 1986 hasta el 2008, determinando que había años que la anchoveta presentaba un pico de desove y otros años que presentaba dos. La cantidad de picos también se veía afectado dependiendo del índice que se utilizaba, no siendo necesariamente igual el número de picos del IGS y FD en un mismo periodo evaluado.

Por otro lado, la fecundidad es un parámetro que permiten cuantificar el desove y nos da información sobre el potencial reproductivo de la especie. Sus variaciones dependen de factores intrínsecos, como el factor de condición, estructura poblacional y contenido graso, y factores extrínsecos, como la temperatura y la disponibilidad de alimento (Buitrón & Perea, 2001). En ese sentido la fecundidad de la anchoveta peruana varía según la época del análisis, siendo en promedio la fecundidad parcial durante primavera de 11 386 ovocitos por tanda de desove (Ayón & Perea, 2008) y en verano 9 686 (Buitrón & Perea, 2006).

El Niño y La Niña

Uno de los eventos más importantes de interacción océano-atmosfera es El Niño Oscilación del Sur (ENOS). El ciclo ENOS consta de una fase cálida (El Niño) y una fase fría (La Niña), que se manifiestan a través del calentamiento o enfriamiento de la temperatura superficial del mar en la parte del Océano Pacifico ecuatorial central y oriental (Maturana et al, 1997).

Hasta el momento no se conoce cuál es el motivo que genera el comienzo del ciclo ENOS; sin embargo, se tienen identificados los signos que preceden su aparición. En la componente oceánica se presentan anomalías de la temperatura superficial del mar (ATSM), positivas en el caso de El Niño y negativas cuando se presenta La Niña, las cuales se prolongan por varios meses. Las ATSM positivas responden a un hundimiento de la termoclina y reducción de las surgencias costeras; mientras que, las ATSM negativas se asocian a la elevación de la termoclina y al fortalecimiento de las surgencias. En el campo atmosférico, el descenso de la

presión atmosférica superficial corresponde a El Niño; en tanto que, el aumento de esta corresponde al evento La Niña (Maturana et al, 1997).

Para la evaluación de los eventos El Niño y La Niña y sus magnitudes en la costa del Perú se utiliza algunos índices, entre ellos el Índice Costero El Niño (ICEN), el cual considera la media de tres meses de las anomalías mensuales de la temperatura superficial del mar (TSM) en la región Niño 1 + 2 (Fig. 1). A cada mes se le asigna una categoría dependiendo del valor ICEN que se obtenga (Tabla 1). Por lo que, se denominará "Evento El Niño en la región costera de Perú" en el momento que el ICEN muestre condiciones cálidas durante tres meses consecutivos; mientras que, cuando el ICEN muestre condiciones frías durante tres meses consecutivos se estará frente a un "Evento La Niña en la región costera de Perú" (ENFEN, 2012).

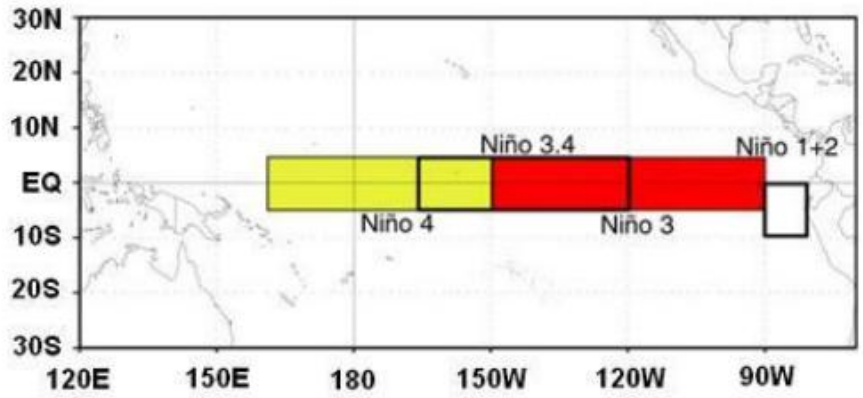


Figura 1. Representación gráfica de las regiones Niño en el océano Pacifico. Fuente: CPC, 2015.

Tabla 1. Categorías de los eventos El Niño y La Niña dependiendo de los valores del ICEN. Fuente: ENFEN, 2012.

Categorías	ICEN
Fría Fuerte	Menor que -1.4
Fría Moderada	Mayor o igual que -1.4 y menor que -1.2
Fría Débil	Mayor o igual que -1.2 y menor que -1.0
Neutras	Mayor o igual que -1.0 y menor o igual que 0.4
Cálida Débil	Mayor que 0.4 y menor o igual que 1.0
Cálida Moderada	Mayor que 1.0 y menor o igual que 1.7
Cálida Fuerte	Mayor que 1.7 y menor o igual que 3.0
Cálida Extraordinaria	Mayor que 3.0

Anomalías de los indicadores reproductivos de anchoveta peruana

Las anomalías de los indicadores reproductivos (AIR) es una manera práctica de medir las variaciones en el comportamiento reproductivo de un recurso, permitiéndonos entender los cambios que se observan en la maduración y desove de este (Cuba et al, 2019). Asimismo, las AIR son utilizadas para observar los impactos que se generan en la reproducción del recurso, tras un cambio en el proceso ambiental del mar (Perea et al, 2015).

Pese a la gran utilidad y variedad de información que presentan las AIR, son pocos los autores que han utilizado esta herramienta debido a que, entre otros factores, se necesita de una basta cantidad de datos que hayan sido tomados de forma periódica para el cálculo de las AIR (Cuba et al, 2019).

Perea et al (2015) hicieron una evaluación de las AIR de FD e IGS desde enero hasta noviembre del 2015, señalando que en dicho año el recurso anchoveta peruana sufrió un efecto negativo en la maduración y desove producto de las condiciones oceanográficas anómalas (El Niño abril 2015-setiembre 2016, categoría fuerte) (ENFEN, 2022). Por otro lado, Cuba et al (2019) evaluaron el impacto del El Niño Costero del 2017 en el proceso reproductivo del stock norte-centro de la anchoveta peruana, observando que como parte de su estrategia reproductiva se produjo un desove masivo en el mes de enero, adelantando su desove de verano un mes con la finalidad de asegurar éxito en su actividad desovante.

Hipótesis y Objetivos

HIPÓTESIS

El fenómeno El Niño y La Niña tiene un efecto en el comportamiento reproductivo de la anchoveta peruana *Engraulis ringens* del stock norte-centro dependiendo de su intensidad.

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar el efecto de los eventos El Niño y La Niña en el comportamiento reproductivo de la anchoveta peruana *Engraulis ringens* del stock norte-centro del Perú, desde el año 1992 hasta el año 2020

Objetivos específicos

- Determinar la variabilidad de las anomalías del índice gonadosomático (IGS) de la anchoveta peruana *Engraulis ringens* del stock norte-centro del Perú durante los eventos El Niño y La Niña, en el periodo de 1992 a 2020.

- Determinar la variabilidad de las anomalías de la fracción desovante (FD) de la anchoveta peruana *Engraulis ringens* del stock norte-centro del Perú durante los eventos El Niño y La Niña, en el periodo de 1992 a 2020.

- Categorizar el efecto de los eventos El Niño y La Niña sobre el índice gonadosomático (IGS) de la anchoveta peruana *Engraulis ringens* del stock norte-centro del Perú, en el periodo de 1992 a 2020.

- Categorizar el efecto de los eventos El Niño y La Niña sobre la fracción desovante (FD) de la anchoveta peruana *Engraulis ringens* del stock norte-centro del Perú, en el periodo de 1992 a 2020.

Materiales y Métodos

Lugares de colecta

Los muestreos biológicos provinieron de los Laboratorios Costeros del Instituto del Mar del Perú (IMARPE) ubicados en los principales puertos de desembarque del recurso anchoveta peruana: Paita (5°S), Chimbote (9°S), Huacho (11°S), Callao (12°S) y Pisco (14°S) (Fig. 2), desde 1992 hasta 2020 en el marco del programa de seguimiento de la pesquería pelágica. Asimismo, se utilizó información proveniente de los cruceros hidroacústicos de recursos pelágicos realizados por IMARPE.

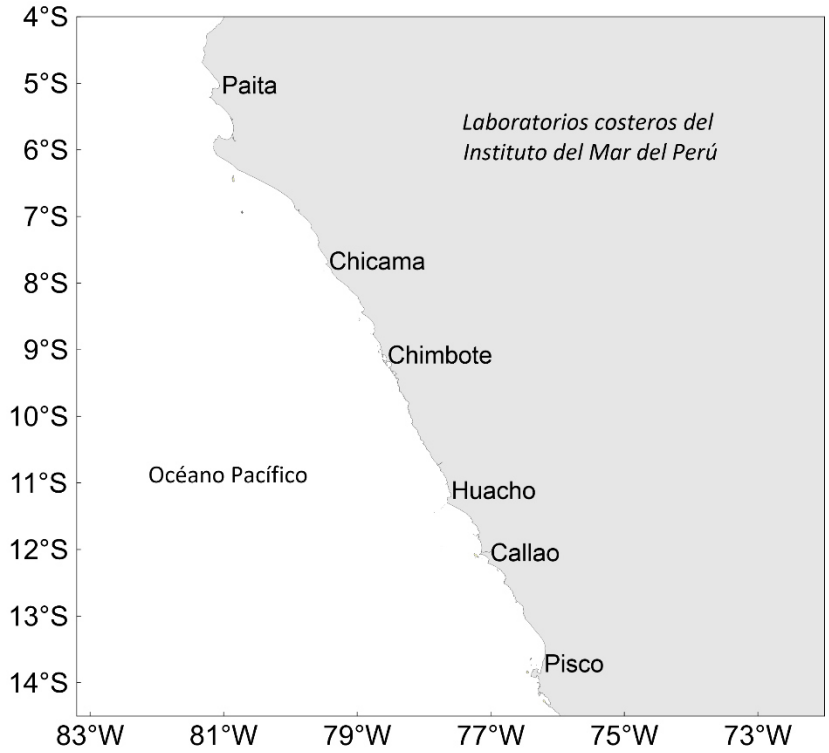


Figura 2. Ubicación geográfica de los laboratorios costeros del Instituto del Mar del Perú – IMARPE, desde donde provinieron la información y muestras de anchoveta peruana.

Los indicadores reproductivos seleccionados fueron el índice gonadosomático (IGS) y la fracción desovante. El IGS mide el grado de maduración gonadal y la actividad de desove de la especie, y se calcula mediante la siguiente ecuación (Vazzoler, 1982):

$$IGS = \frac{Wgon}{Wevisc} * 100$$

En donde:

Wgon = peso de la gonada

Wevisc = peso eviscerado del pez

Por su parte, la fracción desovante indica la proporción de hembras en fase de desove dentro de la población. Esta se estima a través de la siguiente ecuación (Buitrón et al, 2013):

$$FD = \frac{Hiv}{Htotal} * 100$$

En donde:

Hiv = hembras adultas en fase desovante

Htotal = hembras adultas totales

Obtención de datos de series de tiempo de indicadores reproductivos

Se utilizaron las series de tiempos mensuales de los indicadores reproductivos, fracción desovante (FD) e índice gonadosomático (IGS), proporcionados por el Laboratorio de Biología Reproductiva del Instituto del Mar del Perú (IMARPE) desde el año 1992 hasta el 2020.

Estimación de patrones de indicadores reproductivos

Para la determinación de la variación temporal de los indicadores reproductivos, índice gonadosomático y fracción desovante, en la serie de tiempo se utilizó la metodología de Hurtado et al (2020); la cual, tomó como base la metodología descrita por Buishand (1982). En donde, se utilizaron las desviaciones acumulativas de la media en un análisis de homogeneidad con la finalidad de detectar puntos de quiebre en la serie de datos. A partir de ello, se procedió a calcular los valores mensuales promedios y se determinó el patrón de comportamiento reproductivo para dicho periodo.

Para estimar los patrones en las series temporales de los indicadores reproductivos de la anchoveta peruana (IGS y FD) entre 1992 y 2020, se aplicó la metodología de detección de puntos de quiebre propuesta por Hurtado et al. (2020). Esta metodología identifica momentos de cambios abruptos en las propiedades estadísticas de las series, como la media o varianza, dividiéndolas en períodos homogéneos. La metodología incluye detección de puntos de quiebre mediante pruebas de homogeneidad como SNHHT ($\alpha = 0.1$) y el paquete BreakerPoints en R, analizando cambios en la media; así como, segmentación de las series en períodos homogéneos para calcular patrones (medias estacionales o tendencias). Asimismo, la metodología asume estacionariedad relativa dentro de cada

segmento, independencia de observaciones (pese a posible autocorrelación, que requiere ajustes), normalidad aproximada de los datos y series temporales largas para resultados confiables. En la tesis, esta metodología fue adecuada por su capacidad para detectar puntos de quiebre asociados a eventos como El Niño y La Niña.

Cálculo y categorización de anomalías

Las anomalías de los indicadores reproductivos son calculadas mediante la diferencia entre el valor mensual del respectivo índice y el valor mensual del patrón correspondiente.

La categorización de las anomalías de indicadores reproductivos se realizó utilizando la metodología descrita por Cuba et al (2019), donde a partir de los valores absolutos de las anomalías de cada índice se seleccionan los cuantiles 4 y 8 para establecer rangos de efectos. Aquellos valores de anomalías que sean inferiores al valor del cuantil 4 fueron categorizadas como “sin efecto”; por otro lado, aquellas que se ubiquen entre el cuantil 4 y 8 fueron “efecto moderado”. Finalmente, los valores que superen el cuantil 8 se categorizaron como anomalías de “efecto fuerte” (Tabla 2).

Tabla 2. Categorización del efecto de la anomalía según los rangos de anomalías (expresados en deciles) de los índices reproductivos de anchoveta peruana *E. ringens*. Fuente: Cuba et al (2019).

Categoría	**Rango de anomalía**
Sin efecto	0 a ± decil 4
Efecto moderado	± decil 4 a ± decil 8
Efecto fuerte	± decil 8 a ±

Análisis de datos

En primer lugar, se determinó los periodos de los eventos El Niño y La Niña y su intensidad a través de los valores del ICEN. Posteriormente, se analizó las variaciones de las anomalías de los indicadores reproductivos en los meses que duró el evento y se definió su categoría de impacto para cada una según la escala propuesta por Cuba et al (2019). Luego, se realizó una comparación del comportamiento de las anomalías de los indicadores reproductivos en eventos ENOS de la misma categoría. Finalmente, se determinó el tipo de respuesta reproductiva y efecto que tuvieron los eventos climatológicos en la reproducción de la anchoveta peruana teniendo en cuenta si el recurso estaba en un momento reproductivo importante o no.

Resultados y Discusión de Resultados

RESULTADOS

Estimación de patrones de indicadores reproductivos

El análisis de puntos de quiebre en la serie de tiempo de fracción desovante (FD) mostró 3 periodos con comportamiento distinto (Fig. 3). El primero de 1992 a 1998, en el cual se observa una tendencia al alza de los valores; el segundo de 1999 a 2010, en donde, al igual que el primer periodo, observamos una tendencia alcista, sin embargo, el promedio de estos valores es inferior al del periodo anterior; y el tercero de 2011 a 2020, donde es posible observar una tendencia lateral.

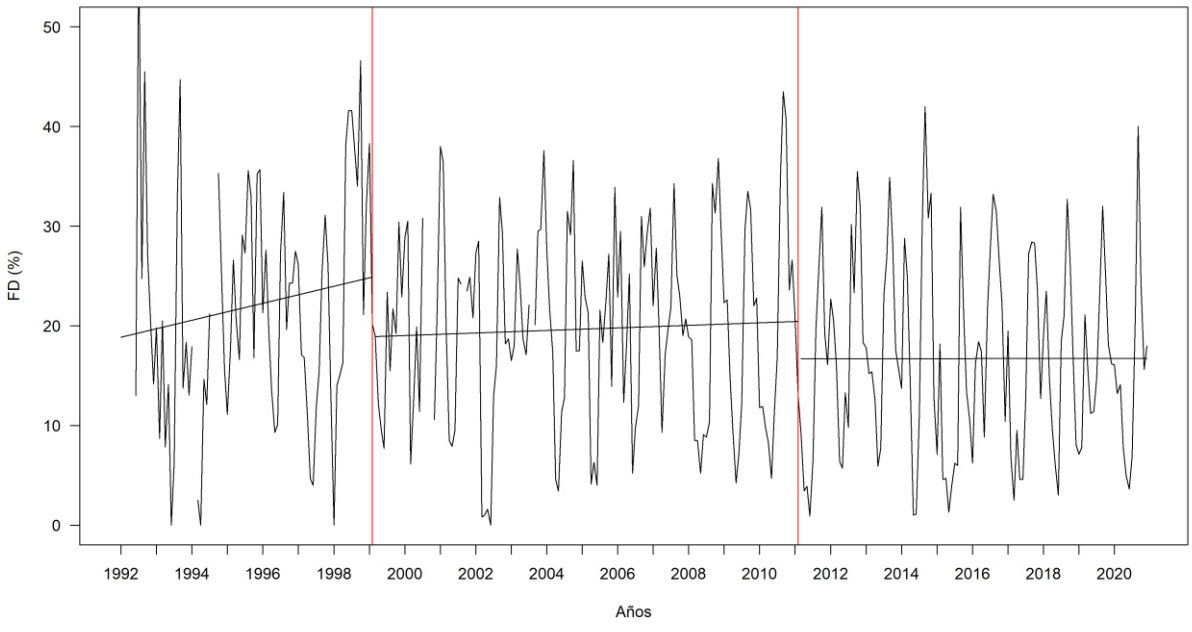


Figura 3. Serie de tiempo de fracción desovante (FD) de anchoveta peruana *E. ringens* del stock Norte-Centro del Perú desde 1992 hasta 2020.

Los patrones de comportamiento fueron calculados a partir de los periodos determinados. En el primer periodo (1992 a 1998) se observó un marcado incremento en la actividad desovante a partir del mes de julio, el cual obtiene su mayor valor en el mes de setiembre y disminuye paulatinamente hasta de febrero. En el segundo periodo (1999 a 2010), se presentó un mayor incremento en los valores de fracción desovante a partir de agosto, obteniendo sus mayores valores durante setiembre y octubre y registrando una ligera caída en el mes de noviembre. Nuevamente en el mes de diciembre se produce un aumento en los valores, iniciando el segundo momento importante de reproducción de la anchoveta en este periodo, el cual duraría hasta el mes de febrero. Finalmente, en el último periodo (2011 a 2020) se puede observar un momento de actividad desovante principal similar al de los años 1999-2010, con el mayor desove en el mes de setiembre. El segundo periodo importante de reproducción se fijó en el mes de febrero (Fig. 4).

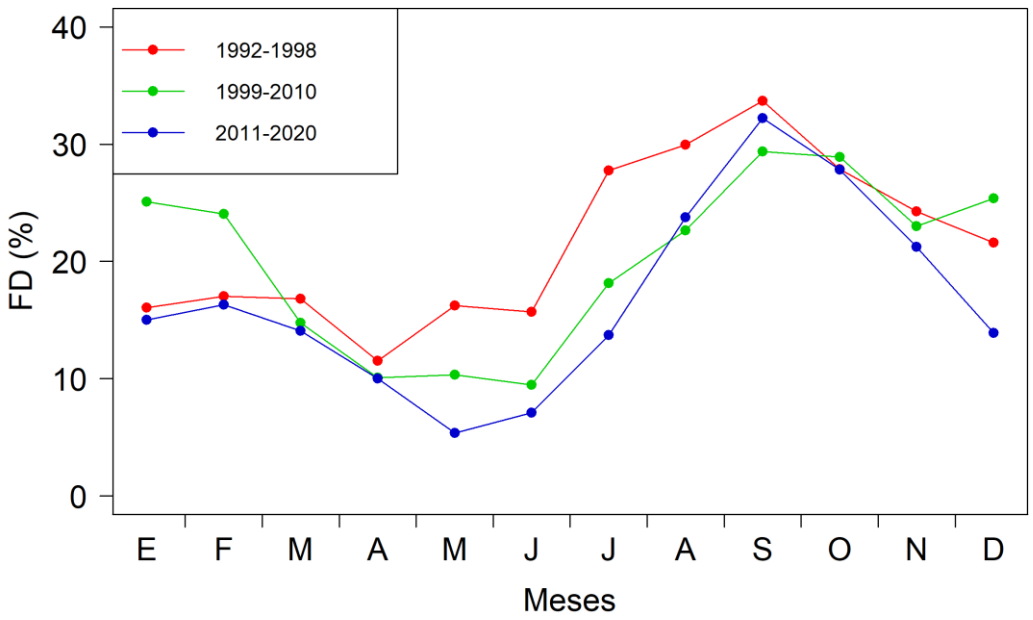


Figura 4. Patrones de comportamiento de fracción desovante (FD) de anchoveta peruana *E. ringens* del stock Norte-Centro del Perú, por periodos.

Por otro lado, el índice gonadosomático (IGS), al igual que la FD, presentó 3 periodos de comportamiento distintos en la serie de tiempo (Fig. 5). Desde 1992 hasta 1998, donde se observó una tendencia al alza de los valores. El segundo de

1999 al 2012, con un comportamiento a la baja muy ligero. Y finalmente, el tercer periodo abarcó de 2013 a 2020, observándose un comportamiento similar al del periodo anterior, pero con valores promedio más altos.

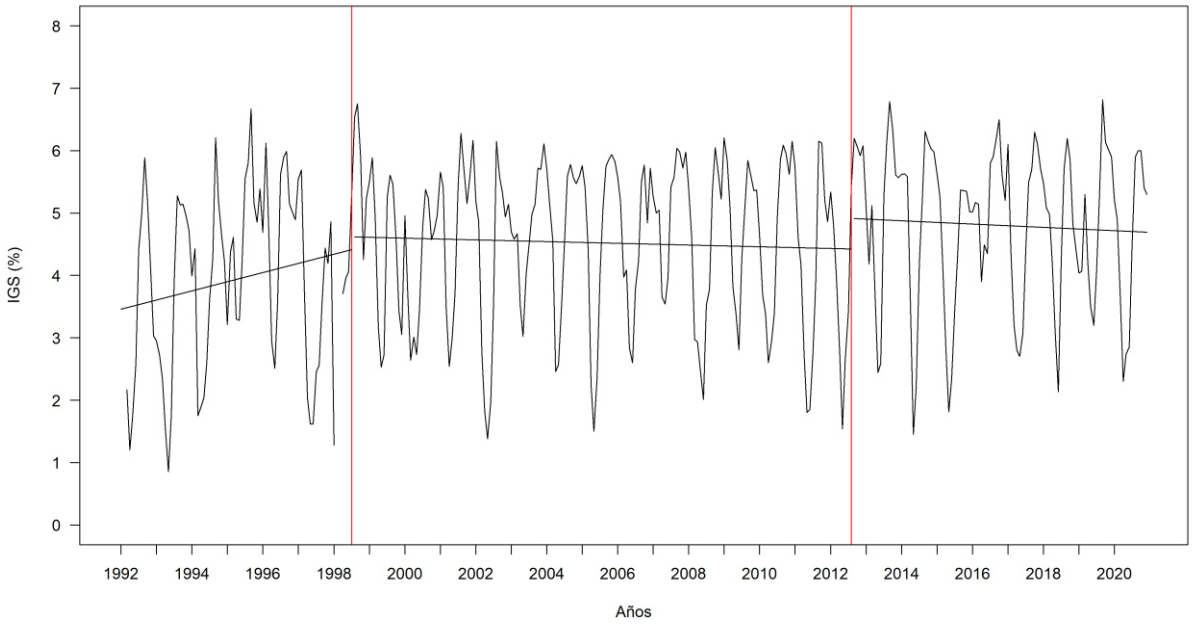


Figura 5. Serie de tiempo del índice gonadosomático (IGS) de anchoveta peruana *E. ringens* del stock Norte-Centro desde 1992 hasta 2020.

El patrón de comportamiento del primer periodo (1992 a 1998) mostró una importante actividad reproductiva entre los meses de agosto a octubre. Asimismo, se observó un pulso de actividad reproductiva en el mes de febrero. Por otro lado, el segundo (1999 a 2012) y tercer (2013 a 2020) periodo evidenciaron valores importantes de actividad reproductiva a partir del mes de agosto, presentando su mayor valor en el mes de setiembre y un descenso paulatino de sus valores hasta el mes de marzo (Fig. 6).

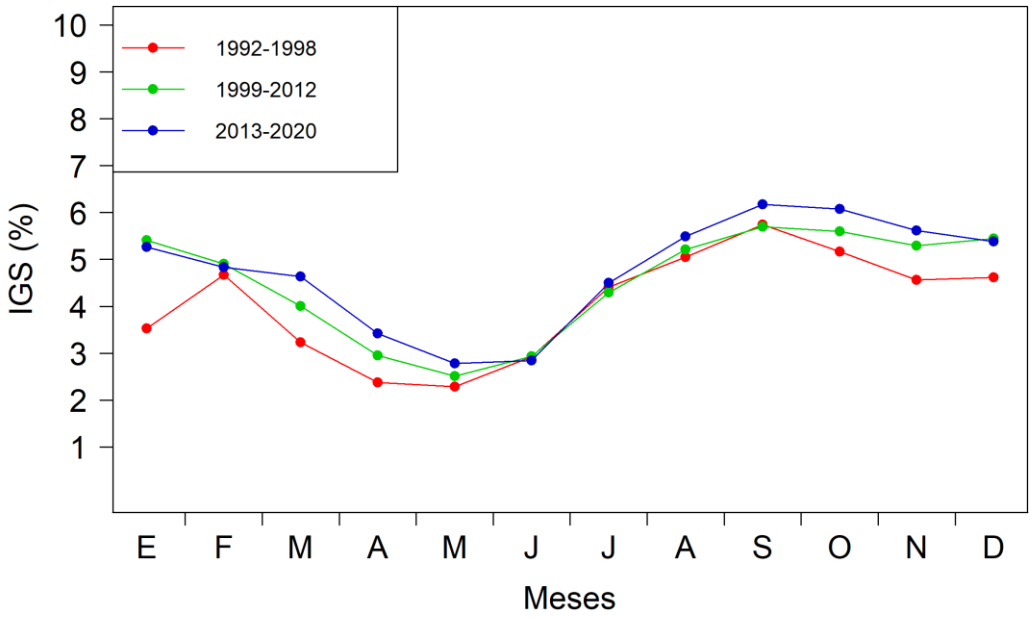


Figura 6. Patrones de comportamiento del índice gonadosomático (IGS) de anchoveta peruana *E. ringens* del stock Norte-Centro del Perú.

Determinación y análisis de rangos de las anomalías

Tanto para la FD y el IGS, para cada periodo estimado se establecieron rangos con los valores absolutos de los valores mensuales de anomalías de toda la serie de tiempo, en donde los valores del decil 4 fueron establecidos como el valor máximo que podía obtener una anomalía y no presentar ningún efecto; mientras que, los valores de las anomalías de indicadores reproductivos que se encontraron entre el decil 4 y el 8 fueron aquellas que mostraron un efecto moderado. Por último, aquellos valores que superaron el decil 8 fueron consideradas anomalías que tuvieron un efecto fuerte sobre la reproducción (tabla 3).

Tabla 3. Deciles 4 y 8 de las anomalías mensuales de índice gonadosomático y fracción desovante de anchoveta peruana *E. ringens* del stock Norte-Centro del Perú.

Mes	**Rangos AIGS**		**Rangos AFD**	
	40%	80%	40%	80%
Ene	0,3	0,7	3,8	8,7
Feb	0,3	1,0	3,5	8,5
Mar	0,7	1,2	4,1	9,7
Abr	0,5	0,9	2,4	7,1
May	0,5	1,0	3,2	7,8
Jun	0,5	1,1	3,5	9,7
Jul	0,5	1,1	5,2	10,7
Ago	0,4	1,1	5,2	10,7
Set	0,3	0,6	3,8	9,3
Oct	0,2	0,5	2,9	7,7
Nov	0,3	0,5	3,7	8,4
Dic	0,4	0,7	4,0	8,1

Cálculo y categorización de anomalías

Anomalías de fracción desovante e índice gonadosomático de anchoveta peruana E. ringens durante eventos El Niño.

Durante el primer periodo (1992-1998) se registraron 3 eventos cálidos. El primero se observó desde marzo a setiembre de 1993 con una magnitud moderada. En este

primer evento durante los meses de junio y julio se presentaron anomalías de fracción desovante (AFD) negativas con efecto fuerte y anomalías de índice gonadosomático (AIGS) negativas con efecto moderado y fuerte, evidenciando una época de reposo más prolongada causada por el evento cálido. Sin embargo, durante setiembre, el mes en donde se registra la mayor actividad desovante según el patrón calculado para los años 1992 a 1998, se observó una AFD positiva de efecto fuerte, con lo que el recurso compensó la baja actividad reproductiva que estaba presentando durante el periodo importante de reproducción (Fig. 7 y 8).

El segundo evento cálido registrado en este periodo fue de noviembre de 1994 a enero de 1995 de categoría débil. Durante este evento las AIGS no mostraron afectación alguna; sin embargo, en el mes de diciembre y enero se observó una AFD negativa con efecto moderado, mostrando que, a pesar de ser un evento corto, el desove es suficientemente sensible a estos eventos cálidos (Fig. 7 y 8).

Finalmente, el tercer evento fue el ocurrido entre marzo de 1997 y setiembre de 1998 con una magnitud extraordinaria. Se observó que durante los dos primeros meses la actividad desovante del recurso no tuvo afectación alguna, esto debido a que el recurso mantuvo valores de AIGS positivas de categoría moderado y fuertes por casi dos años consecutivos, 1995 y 1996. Esta actividad reproductiva anómala permitió que la anchoveta no sufra los efectos del El Niño 1997-98 durante los primeros dos meses. Sin embargo, a partir del tercer mes (mayo 1997) fue posible, en general, observar AFD y AIGS negativas con efectos moderados y fuertes hasta enero de 1998. A excepción del mes de octubre y noviembre, en donde se vieron valores de fracción desovante esperados para la época. No fue hasta abril de 1998, que tanto la actividad reproductiva como la actividad desovante, mostraron un incremento significativo en sus valores, alcanzando valores de anomalías positivas con categorías moderada y fuerte. Observándose que durante 1998 la época de reposo no fue observada, presentándose desde abril, 7 meses de actividad reproductiva y desovante constantes (Fig. 7 y 8).

En el segundo periodo se registraron 5 eventos cálidos en la serie de tiempo de AFD (1999-2010) y 6 en la serie de tiempo de AIGS (1999-2012). El primer evento ocurrió de marzo a mayo del 2002 con categoría débil. En él, se observaron AFD y AIGS negativas de efecto moderado y fuerte, mostrando que el evento cálido

provocó un periodo de reposo más acentuado, con actividad reproductiva y desovante por debajo de lo esperado para la época (Fig. 7 y 8).

El siguiente se evidenció de octubre a diciembre del mismo año de categoría débil, en donde se observó, en general, AFD y AIGS negativos de efecto moderado, probablemente debido al esfuerzo realizado por la anchoveta peruana en mantener la maduración y desove en condiciones normales durante el mes de setiembre (Fig. 7 y 8).

El tercer evento se registró de agosto del 2006 a enero del 2007 nominado con una categoría débil. En el mes de agosto se observaron AFD negativas de efecto fuerte y AIGS negativas moderadas, mostrando que, la maduración y desove del recurso tuvieron un desfase con respecto a lo esperado para la época. Posterior a ello, se observa AFD positivas moderadas en los meses de noviembre y diciembre; mientras que, las AIGS, en general, fueron categorizadas como sin efecto desde setiembre hasta enero, a excepción de noviembre donde se observó una anomalía negativa de efecto moderado. Estos resultados indican que la actividad desovante de la anchoveta peruana se vio afectado por el evento sufriendo un atraso en el inicio del desove de los individuos, el cual la especie buscó compensar con valores de FD fuera de lo normal hacia fines del evento cálido (Fig. 7 y 8).

El cuarto evento se presenció entre marzo y setiembre del 2008 con categoría débil, el cual no mostró afectación alguna en los primeros meses sobre la actividad desovante, pero si una AIGS negativa fuerte en marzo, mostrando que la maduración de la anchoveta peruana se vio afectada al inicio del evento cálido. Posterior a ello, se obtuvieron AFD negativas de efecto moderado y fuerte en los meses de julio y agosto; mientras que, las AIGS negativas de efecto moderado y fuerte se evidenciaron de junio a setiembre, mostrando que, el evento el Niño ocurrido en esta época tuvo un impacto negativo en la maduración y desove del recurso. Sin embargo, en el mes de setiembre se visualizó una AFD positiva con efecto moderado, indicando que nuevamente el recurso busco compensar este comportamiento anómalo con un mayor esfuerzo de su actividad desovante al final del periodo cálido (Fig. 7 y 8).

El quinto evento se manifestó desde mayo hasta setiembre del 2009 y fue categorizado como débil. En general, se observó que este evento no tuvo efecto alguno sobre el momento reproductivo de la anchoveta peruana para dicha época, obteniéndose AFD y AIGS sin efecto alguno, a excepción del mes de mayo en donde se registró una AIGS positiva con efecto moderado, lo cual se debe a la alta actividad reproductiva que mostró el recurso al inicio de ese año (Fig. 7 y 8).

El último evento en este periodo solo correspondió a la serie de tiempo de índice gonadosomático. Dicho evento ocurrió de marzo a julio del 2012 con una categoría débil. Este evento provocó que la actividad reproductiva se vea afectada de manera fuerte y moderada en los meses de mayo y julio, respectivamente. Lo cual evidenció una época de reposo gonadal más marcada para estos meses (Fig. 8).

En el tercer periodo se presenciaron 5 eventos cálidos en la serie de tiempo de AFD (2011-2020) y 4 en la serie de tiempo de AIGS (2013-2020). En el primer evento registrado de marzo a junio del 2012 de categoría débil, evento solo registrado en este periodo para la serie de tiempo de AFD, se observó en el mes de abril una AFD negativa con efecto moderado, indicando que los procesos de desove fueron mucho menores a lo esperado en esa época de reposo gonadal. Así mismo, el recurso compensa este resultado con una AFD positiva de efecto moderado en el mes de junio (Fig. 7).

El segundo evento cálido se observó entre abril y noviembre del 2014 con magnitud débil. En este evento, se presenció AFD y AIGS negativas moderadas y fuertes en los dos primeros meses, mostrando nuevamente una época de reposo marcada y bajos valores de actividad reproductiva y desovante. Sin embargo, se observó a partir de agosto hasta finales del evento, AFD positivas con efecto moderado y fuerte, indicando que la anchoveta peruana no se vio afectada de manera negativa en el periodo más importante de reproducción, sino por lo contrario se registraron valores superiores de los esperados para la época (Fig. 7 y 8).

El tercer evento ocurrió de abril del 2015 hasta julio del 2016 y obtuvo la categoría fuerte. En él podemos observar que en todo el año 2015 se registraron AFD y AIGS negativas de efecto moderado y fuerte, mostrando que el evento cálido tuvo un gran efecto negativo en la actividad reproductiva y desovante del recurso. No obstante,

a partir de marzo del 2016 se evidenciaron AFD positivas de efecto moderado y fuerte y AIGS positivas de efecto fuerte desde mayo, señalando que el recurso buscó compensar la menor intensidad del proceso reproductivo del 2015, con una mayor intensidad en la maduración y desove en el 2016 (Fig. 7 y 8).

El cuarto evento se registró desde diciembre del 2016 hasta mayo del 2017 con categoría moderado. En el primer mes se observó una AFD negativa de efecto moderado y AIGS sin efecto, seguido de AFD y AIGS positivas de efecto moderado y fuerte en el mes de enero, respectivamente; mientras que, desde febrero se presenció anomalías negativas de efecto moderado y fuerte, mostrando un esfuerzo reproductivo de la anchoveta al inicio del evento (Fig. 7 y 8).

Finalmente, el último evento de este periodo se observó desde noviembre del 2018 hasta marzo del 2019 con categoría débil. En los primeros 4 meses se observa AFD y AIGS negativas con efecto moderado y fuerte, indicando que el recurso disminuyó sus procesos de maduración gonadal y desove en la mayor parte de este evento (Fig. 7 y 8).

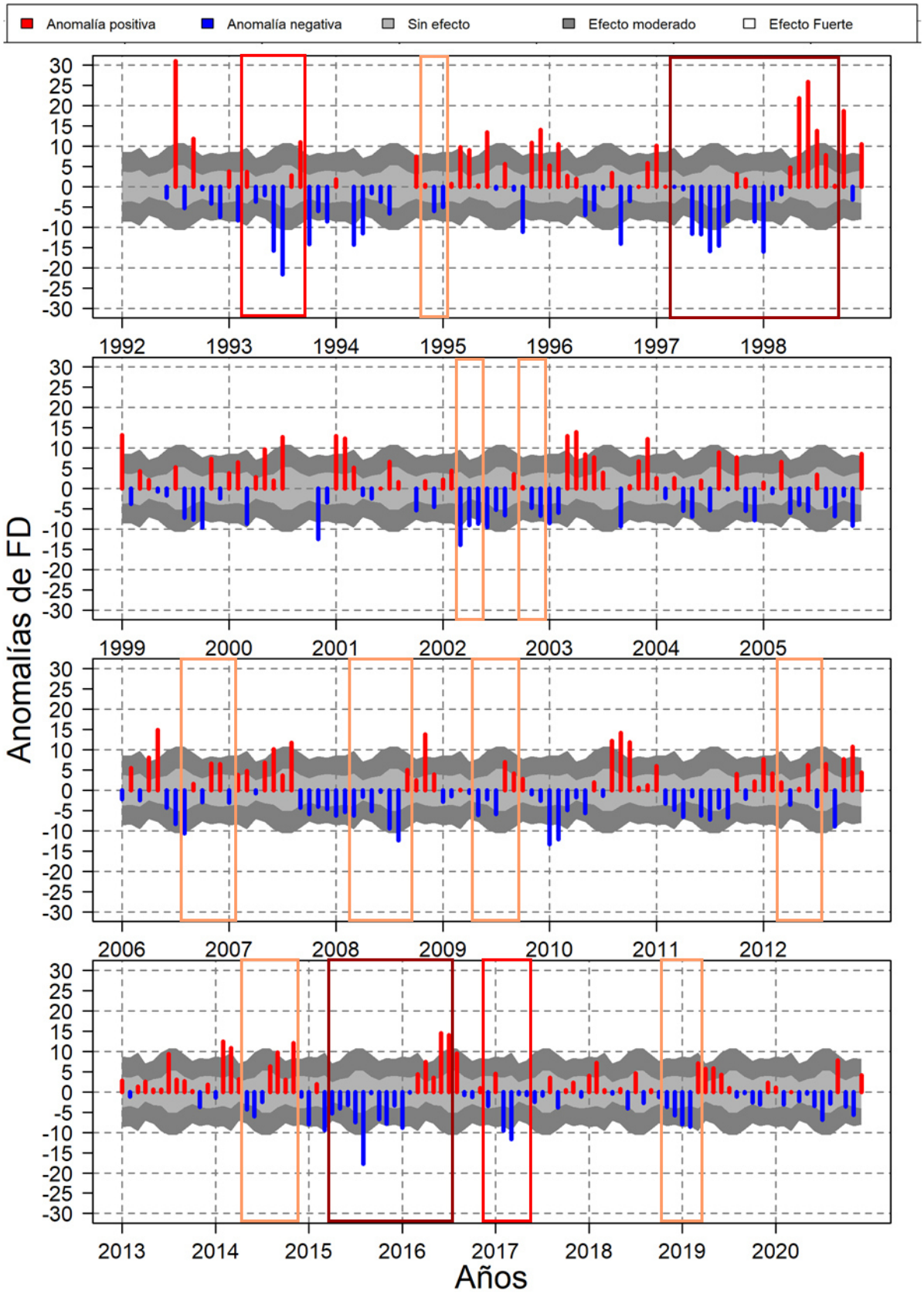


Figura 7. Anomalías de fracción desovante (AFD) de anchoveta peruana *E. ringens* del stock Norte-Centro del Perú, de 1992 al 2020. Los recuadros rosados muestran

los meses de duración del evento El Niño de categoría débil, los recuadros rojos muestran los meses de duración del evento El Niño de categoría moderada y los recuadros guindas muestran los meses de duración del evento El Niño de categoría fuerte y extremo según el ICEN.

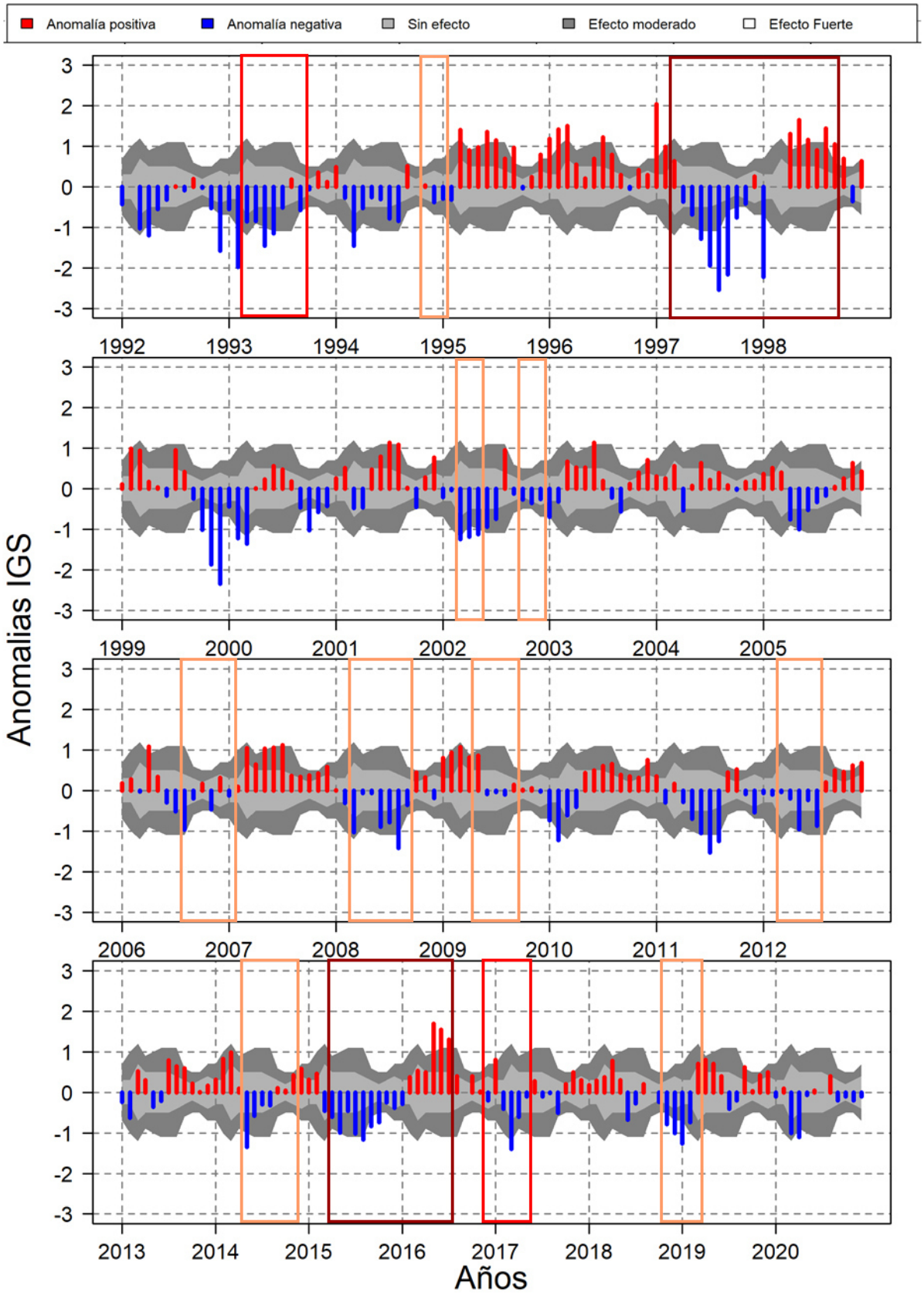


Figura 8. Anomalías de índice gonadosomático (AIGS) de anchoveta peruana *E. ringens* del stock Norte-Centro del Perú, de 1992 al 2020. Los recuadros rosados

muestran los meses de duración del evento El Niño de categoría débil, los recuadros rojos muestran los meses de duración del evento El Niño de categoría moderada y los recuadros guindas muestran los meses de duración del evento El Niño de categoría fuerte y extremo según el ICEN.

Anomalías de fracción desovante e índice gonadosmático de anchoveta peruana E. ringens durante eventos La Niña.

En el primer periodo se registró un evento La Niña desde abril hasta julio de 1996 de categoría moderado. En el cual, se observaron, en general, AFD sin efecto a excepción del mes de mayo que se observó una anomalía negativa de efecto moderado; mientras que, en dicho periodo se registraron AIGS positivas de efecto moderado y fuerte. Esto evidenció que, pese a estar en un periodo de reposo gonadal, la anchoveta mantuvo valores importantes de actividad reproductiva (Fig. 9 y 10).

En el segundo periodo se registraron 3 eventos La Niña. El primero se observó de setiembre a noviembre del 2001 con categoría débil. En el cual, se observa una AFD negativa de efecto moderado en el mes de octubre, mostrando una baja actividad desovante para lo esperado para dicha época; mientras que, las AIGS mostraron una anomalía positiva de efecto moderado en el mes de noviembre, evidenciando una mayor maduración en dicho mes (Fig. 9 y 10).

El siguiente evento ocurrió de abril a diciembre del 2007 con categoría moderado. En dicho evento se registró AFD positivas de efecto moderado y fuerte desde mayo a julio, mostrando una actividad desovante anómala durante la época de reposo gonadal. Asimismo, desde agosto hasta noviembre, en general, se observaron anomalías negativas de efecto moderado seguramente provocado por el desove anómalo ocurrido en los primeros meses del evento. Por otro lado, durante todo el evento se registraron AIGS positivas de efecto moderado y fuerte, mostrando que durante este evento frío la anchoveta peruana mantuvo una actividad reproductiva importante (Fig. 9 y 10).

El tercer evento se registró desde agosto hasta noviembre del 2010 con categoría moderado. En él se observaron AFD y AIGS positivas de efecto moderado y fuerte,

mostrando que la anchoveta, a nivel reproductivo, se vió favorecida por el evento ocurrido (Fig. 9 y 10).

En el tercer periodo se registraron 2 eventos La Niña. El primero, de abril a agosto del 2013 con categoría fuerte. En el cual, se observan AFD y AIGS sin efecto en los primeros 3 meses, manifestando que la época de reposo gonadal no se vio afectada por el enfriamiento de las aguas. Recién en el mes de julio se registró una AFD positiva con efecto fuerte y una AIGS positiva de efecto moderado, lo cual indicó un adelanto en la actividad desovante y reproductiva de la anchoveta peruana. Asimismo, se observó una AIGS positiva de efecto fuerte en el mes de agosto, que mostró una maduración de los individuos superior a lo esperado para dicho mes (Fig. 9 y 10).

El ultimo evento registrado fue desde noviembre del 2017 a marzo del 2018 con categoría débil. En dicho evento, se observó AFD con efecto moderado en el mes de febrero, lo cual indicó que existió una mayor actividad desovante en el segundo pico de desove de la anchoveta peruana. Las AIGS fueron categorizadas como sin efecto, lo que evidenció una actividad reproductiva esperada para la época (Fig. 9 y 10).

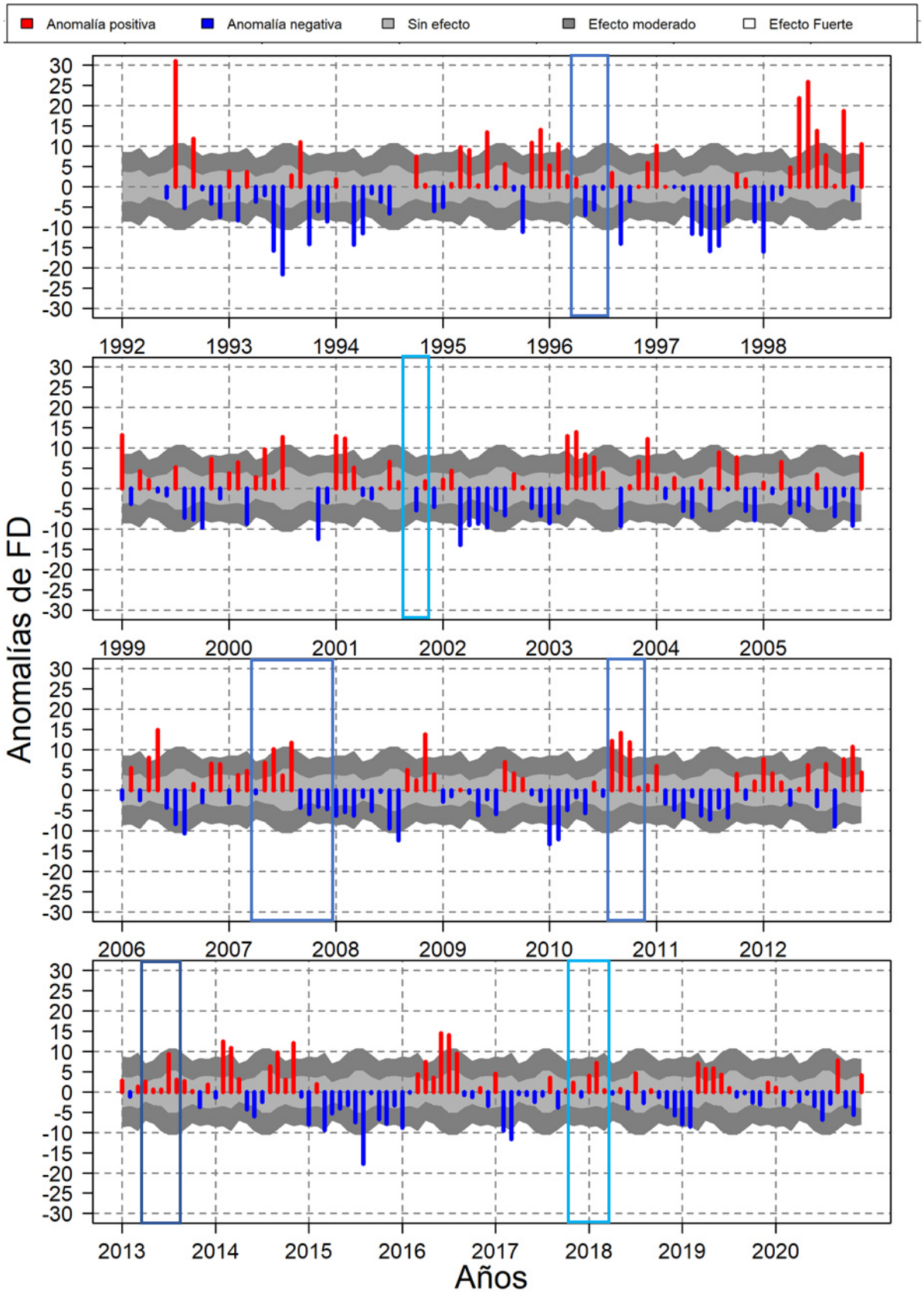


Figura 9. Anomalías de fracción desovante (AFD) de anchoveta peruana *E. ringens* del stock Norte-Centro del Perú, de 1992 al 2020. Los recuadros celestes muestran

los meses de duración del evento La Niña de categoría débil, los recuadros azules muestran los meses de duración del evento La Niña de categoría moderado y los recuadros azul oscuro muestran los meses de duración del evento La Niña de categoría fuerte según el ICEN.

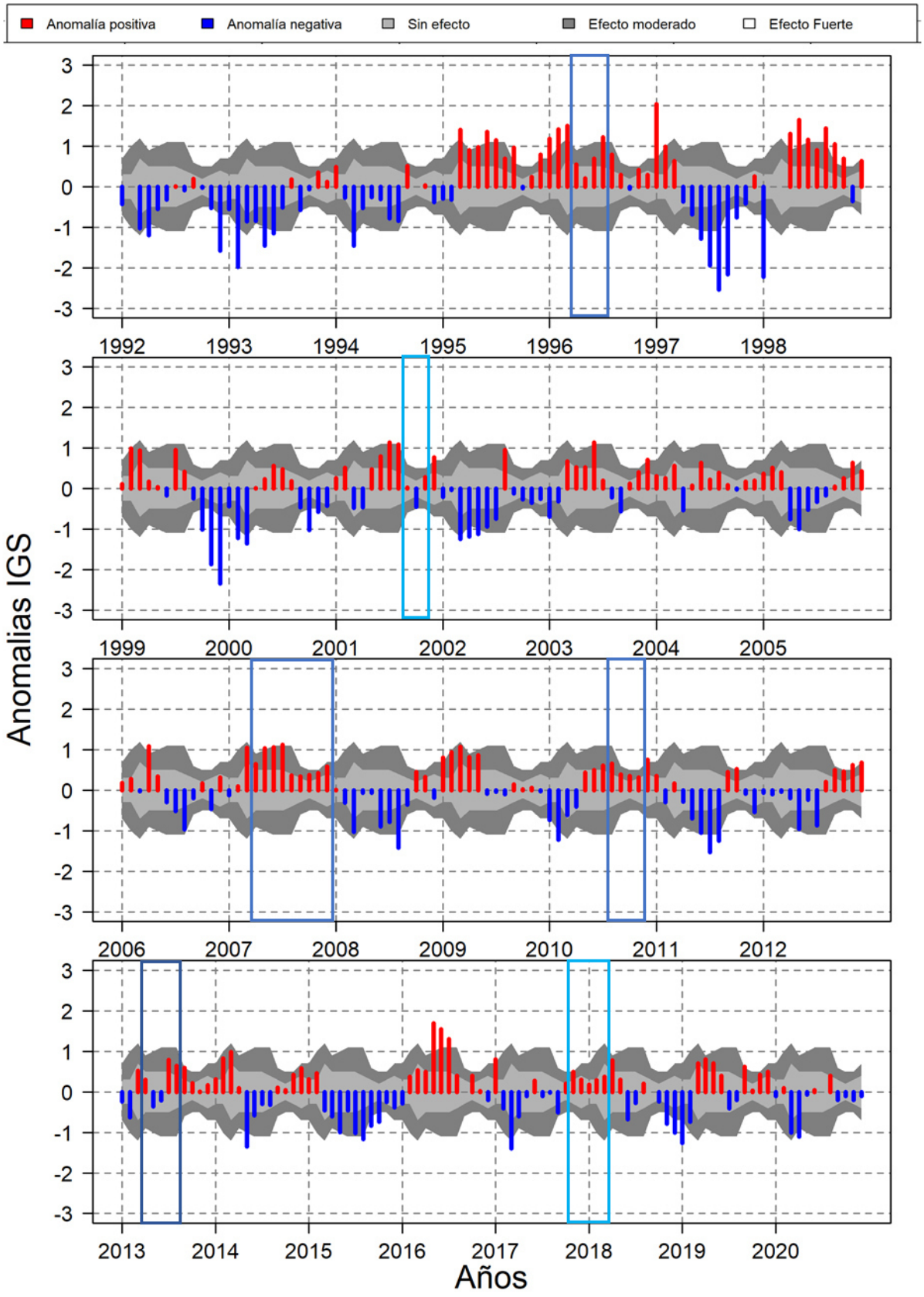


Figura 10. Anomalías de índice gonadosomático (AIGS) de anchoveta peruana *E. ringens* del stock Norte-Centro del Perú, de 1992 al 2020. Los recuadros celestes

muestran los meses de duración del evento La Niña de categoría débil, los recuadros azules muestran los meses de duración del evento La Niña de categoría débil, los recuadros azules muestran los meses de duración del evento La Niña de categoría moderado y los recuadros azul oscuro muestran los meses de duración del evento La Niña de categoría fuerte según el ICEN.

La afectación de los eventos El Niño y La Niña sobre la reproducción de la anchoveta se resume en las tablas 4 y 5.

Tabla 4. Efecto de los eventos El Niño sobre la reproducción de la anchoveta peruana *E. ringens* según categorización y momento reproductivo. AFD: Anomalías de fracción desovante; AIGS: Anomalías de índice gonadosomático.

Categoría de El Niño	Periodo reproductivo importante		Periodo de baja actividad reproductiva	
	AFD	AIGS	AFD	AIGS
Débil	Anomalías negativas con efecto moderado al inicio, luego anomalías positivas	Anomalías negativas con efecto moderado y fuerte al inicio, luego anomalías positivas	Intensifica el periodo de reposo gonadal. Si el evento se extiende hasta el MRI, se observa AFD positivas de efecto moderado	Anomalías negativas de efecto moderado y fuerte, se observa compensación posterior.
Moderada	Anomalías positivas de efecto moderado al inicio, luego anomalías negativas de efecto moderado. Adelanta su desove	Anomalías positivas de efecto fuerte al inicio, luego anomalías negativas de efecto moderado y fuerte.	Anomalías negativas de efecto fuerte, se observa una compensación posterior, pero no tan larga como en END.	Aanomalías negativas de efecto moderado y fuerte, excepto en MRI (1 mes)
Fuerte/Extraordinaria	Anomalías negativas de efecto moderado y fuete al inicio del evento, luego anomalías positivas moderada y fuerte al finalizar el evento.		Anomalías negativas de efecto moderado y fuete al inicio del evento, luego anomalías positivas moderada y fuerte al finalizar el evento.	

Tabla 5. Efecto de los eventos La Niña sobre la reproducción de la anchoveta peruana *E. ringens* según categorización y momento reproductivo. AFD: Anomalías de fracción desovante; AIGS: Anomalías de índice gonadosomático.

Categoría de La Niña	Periodo reproductivo importante		Periodo de baja actividad reproductiva	
	AFD	AIGS	AFD	AIGS
Débil	Anomalías positivas de efecto moderado	Anomalías positivas sin efecto.		
Moderada	Anomalías positivas de efecto moderado y fuerte, posterior a ello se observa anomalías negativas de efecto moderado, tal vez producto del esfuerzo por aprovechar ventana óptima.	Anomalías positivas de efecto moderado y fuerte, no se observa un impacto negativo posterior al evento.	Anomalías positivas de efecto moderado y fuerte, posterior a ello se observa anomalías negativas de efecto moderado, tal vez producto del esfuerzo por aprovechar ventana óptima.	Anomalías positivas de efecto moderado y fuerte, no se observa un impacto negativo posterior al evento.
Fuerte/Extraordinaria			Anomalías sin efecto al inicio, al final se observa anomalías positivas de efecto moderado, adelanto su desove	

DISCUSIÓN

Estimación de patrones de indicadores reproductivos

En la presente investigación se pudo observar 2 puntos de quiebres en las series de tiempo de IGS y FD, generando 3 periodos distintos. En el 2011 Mori et al realizaron el análisis del comportamiento reproductivo de anchoveta peruana del stock norte-centro a través de las series de tiempo de IGS (1986-2008) y FD (1992-2008). En cuanto al IGS se detectaron 3 periodos: 1986-1988, 1989-2001 y 2002-2008; mientras que, para FD se detectaron 2 periodos: 1992-2001 y 2002-2008.

Estos periodos fueron calculados a partir de la metodología descrita por Purca et al (2010), quienes usaron el paquete matemático Matlab dándole una banda temporal de 4 a 7 años y utilizando los valores de anomalías estandarizadas, a diferencia de la metodología aplicada en el presente trabajo, en donde se utilizó el paquete estadístico BreakerPoints del programa R, manejando una banda temporal máxima de 5 años y usando los valores promedio mensuales. Pese a las diferencias en la metodología ambos trabajos encuentran un cambio de periodo alrededor de los años 2000, el cual correspondería al evento El Niño 1997-98 extraordinario (ENFEN, 2022) que sucedió en el Pacifico Central y tuvo gran impacto en el ecosistema de afloramiento peruano (EAP). Pues se tiene conocimiento que las fluctuaciones en las poblaciones de anchoveta peruana tuvieron relación con los grandes cambios a gran escala de las temperaturas superficiales del mar y la posición de la termoclina, los cuales son ocasionados por los ciclos ENOS (An, 2009). Asimismo, durante El Niño 1997-1998 la temperatura superficial del mar subió en 10°C y la termoclina estuvo más abajo en comparación a lo registrado en el año 1996, estas condiciones hicieron que la cantidad de nutrientes que surgen de aguas más profundas no sean suficientes para soportar la alta productividad primaria que posee el mar peruano. En este sentido, la temperatura y bajas concentraciones de zooplancton, hicieron que la tasa de crecimiento de la anchoveta peruana decrezca, tomándole más de 150 días en alcanzar 5 cm de LT, siendo en condiciones neutras el tiempo promedio de 60-80 días (Xu et al., 2013). Estos factores repercutieron sobre el comportamiento reproductivo de la anchoveta, pues según Brochier et al (2010) señalan los cambios en el ciclo reproductivo de las especies están relacionados a la variación de las variables ambientales.

A partir de la determinación de los diferentes periodos del comportamiento reproductivo se calcularon de manera apropiado los patrones de comportamiento del IGS y FD de anchoveta peruana del stock norte-centro respetando las diferentes variaciones que ha venido sufriendo el recurso a lo largo del tiempo. Mori et al (2011) fueron los primeros en tomar en consideración el cambio en los periodos temporales para el cálculo de patrones reproductivos. Esta metodología varia de la tradicional, en la cual toman un grupo de años y se estiman los patrones reproductivos sin tomar en cuenta las oscilaciones de las series de tiempo (Mori et al, 2011). Esta no consideración de los cambios en los periodos temporales podría

reflejar una subestimación o sobreestimación de los valores promedios mensuales de los índices reproductivos.

Según Einarsson et al (1966) la anchoveta peruana del stock norte-centro de Perú presenta dos periodos importantes de actividad reproductiva, uno en invierno-primavera y el otro en verano. Mori et al (2011) señalan que entre 1986 y el 2008 la anchoveta peruana ha presentado en algunos años un comportamiento tipo "meseta", sosteniendo valores importantes de IGS desde agosto hasta marzo generando solo 1 momento importante de actividad reproductiva. Por otro lado, el stock norte de Chile presenta un comportamiento con un periodo importante de actividad reproductiva entre agosto y setiembre y otro de menor intensidad entre diciembre y enero (Contreras-Reyes et al, 2016). Esta variación en el comportamiento de la actividad reproductiva se vio también reflejada en los cálculos de los patrones de IGS, en donde, el primer periodo (1992-1998) mostró dos momentos de actividad reproductiva importante, el primero de julio a diciembre y el segundo en febrero; mientras que, en los otros dos periodos se observó el comportamiento tipo "meseta".

Por otro lado, Mori et al (2011) señalan que el stock norte-centro de la anchoveta peruana desde 1994 hasta 2008, en general, ha presentado más años con 2 momentos de actividad desovante importantes, habiéndose presentado un comportamiento tipo "meseta" solo en 5 años. Sin embargo, el análisis de la FD de 1992 al 2020 mostró un comportamiento tipo "meseta" en los dos primeros periodos, diferenciándose del tercer periodo, en donde es posible observar dos picos de desove. Este comportamiento tipo "meseta" está relacionado con la distribución de tallas de los cardúmenes de anchoveta, ya que los individuos pequeños que maduran y desovan por primera vez son los que generan la existencia de otros picos de desove (Cubillos & Claramunt, 2009). Al analizar la distribución de tallas de la anchoveta peruana de 1992 al 2020, se puede observar que en el periodo de 1992 a 1998 la moda poblacional estaba representada por individuos mayores a 14.0 cm, lo que respaldaría los resultados encontrados en los patrones de índices reproductivos, en tanto que, de 1999 a alrededores del 2012 se puede observar un incremento en la presencia de individuos del grupo de talla de 12.0 a 14.0 cm, motivo por el cual observamos un periodo más extendido de

actividad reproductiva y desovante. Finalmente, desde 2013 al 2020 se observó que ambos grupos de talla siguen presentes, pero en menor número de individuos (Diaz, 2017; IMARPE, 2022), por tal razón se observaron dos picos de desove, uno de mayor intensidad en invierno-primavera y otro de menor intensidad en verano. Asimismo, los factores ambientales como el fotoperiodo, temperatura y la abundancia de alimento también podrían influenciar en los momentos importantes de actividad reproductiva y desovante (Bromage et al, 2001; Ettahiri et al, 2003; Castro et al, 2000; Hernandez et al, 2019; Nyuji et al, 2022).

La variación del comportamiento de la actividad reproductiva de la anchoveta peruana a lo largo del tiempo también ha sido reportada en el stock norte de Chile. Hernandez et al en 2019 hacen el análisis del índice gonadosomático del stock norte de Chile de anchoveta peruana de 1988 al 2017, en cual obtiene 3 periodos con comportamiento distinto, de 1988 a 1993, el cual se caracterizó por presentar su mayor valor de IGS en el mes de agosto y con sus menores valores entre marzo y abril. El segundo fue de 1994 al 2008, en este periodo la mayor actividad reproductiva también se registró en el mes de agosto y sus menores valores entre marzo y abril; sin embargo, se diferencia del primer periodo por presentar mayores valores de IGS. Finalmente, en el último periodo se delimitó del 2009 al 2017, en el cual se observó que la mayor presencia de maduración y desove de los individuos se registró en el mes de setiembre y los menores valores de actividad reproductiva de abril a junio.

Determinación y análisis de rangos de las anomalías

La estimación de anomalías de los indicadores reproductivos ha sufrido una evolución a lo largo del tiempo. Los primeros cálculos de dichos índices usados para evaluar el impacto de las condiciones ambientales sobre la reproducción del recurso anchoveta peruana, data del 2015, en donde Perea et al (2015) proponen el uso de esta herramienta para evaluar el impacto de El Niño 2015. En dicha publicación, los autores definen el cálculo de anomalías a partir de los patrones de IGS y FD, los cuales fueron estimados mediante la agrupación de los valores mensuales desde 1992 hasta el 2012; sin embargo, como ya ha sido mencionado anteriormente la no consideración de las posibles oscilaciones del comportamiento reproductivo de la anchoveta a lo largo del tiempo puede causar un error en el

cálculo de las AIR. Asimismo, en dicha publicación se proponen categorías de impacto a partir del criterio de los investigadores. Pese a registrarse algunas observaciones metodológicas en el artículo, hay que resaltar que dichos resultados sirvieron como base para perfeccionar el cálculo de las AIR. No es hasta el 2019, en donde Cuba et al, proponen que el cálculo de los rangos de afectación se realice a partir de los valores absolutos de las AIR de cada mes, por lo que ya no solo se dependió del criterio del investigador, sino que dicha sugerencia estuvo apoyada por un sustento estadístico. Sin embargo, en la publicación del 2019 no se corrigió la metodología para calcular la correcta determinación de los patrones reproductivos. No es hasta el presente trabajo en que se termina de perfeccionar lo realizado por Perea et al (2015) y Cuba et al (2019) logrando una correcta estimación de los patrones reproductivos, que conllevó a obtener AIR más exactos. Además, se recalcularon los rangos de afectación propuestos en el 2019, debido a que se obtuvieron nuevos valores.

Cálculo y categorización de anomalías

Xu et al. (2013) han mencionado que los eventos climatológicos como El Niño y La Niña tienen un impacto directo en la población de la anchoveta peruana, estando estrechamente conectado con el crecimiento y reclutamiento del recurso.

El efecto de los eventos El Niño sobre la reproducción de la anchoveta peruana depende de la intensidad de estos. En ese sentido, los eventos El Niño categorizados como débiles no tienen efecto alguno sobre la actividad reproductiva; sin embargo, la actividad desovante presenta anomalías negativas durante los meses de baja actividad señalando que la anchoveta distribuye sus reservas energéticas para otros procesos biológicos. En tanto que, si el evento ocurre durante un periodo importante de reproducción observamos un impacto negativo al inicio, pero que el recurso busca compensar en los siguientes meses con anomalías positivas.

Por otro lado, durante los eventos El Niño de categoría moderada que suceden durante un periodo de baja actividad reproductiva y desovante, la anchoveta peruana mostró AIR positivas de efecto moderado antes de su periodo normal de desove. Cuba et al (2019) obtiene resultados similares, señalando que la anchoveta

peruana presentó una maduración y desove anómalo durante diciembre del 2016. Adelantando su desove antes del momento de mayor intensidad del evento El Niño Costero.

Buitrón y Perea (2000) mencionan que durante El Niño extraordinario de 1997-1998 la anchoveta peruana tuvo una fracción desovante de menor intensidad, pero de mayor duración en 1997, no desovó durante el verano y comenzó una maduración y desove extemporáneo en marzo de 1998. Se observó un cambio a nivel reproductivo bastante importante durante la duración del evento, esto se ve reflejado en el análisis de las AIR, en donde observamos una afectación negativa sobre la actividad reproductiva y desovante al inicio del evento, pero se aprecia AIR positivas moderadas y fuertes hacia final del evento.

Asimismo, Contreras-Reyes et al (2016) encuentran una correlación negativa entre el índice multivariado ENSO y el índice gonadosomático de la anchoveta peruana del stock norte de Chile, observando una disminución de la actividad reproductiva cuando el ambiente comienza a calentarse, evidenciando que no solo la reproducción del stock norte-centro de Perú es afectada.

Los eventos La Niña tienen un efecto sobre la reproducción de la anchoveta dependiendo de la intensidad. Eventos categorizados como débiles, al igual que durante El Niño, no tienen efecto alguno sobre la actividad reproductiva, en tanto que, los eventos categorizados como moderados presentan un efecto positivo moderado y fuerte sobre los índices reproductivos. Este resultado concuerda con lo encontrado por Bouchon & Peña (2008) donde señalan que durante La Niña del 2007 el ciclo reproductivo de la anchoveta peruana se vio afectado, intensificando y prolongando su actividad reproductiva. Posteriormente, se observa que ante un evento La Niña de categoría fuerte la actividad reproductiva no presenta una afectación al inicio, sino es en su etapa avanzada del evento en donde se ve afectada de manera positiva; mientras que, durante periodos de baja actividad desovante la anchoveta peruana presentó un desove anómalo para la época, extendiendo su momento reproductivo por mas tiempo.

Finalmente, las diferentes estrategias que presenta la anchoveta peruana del stock norte-centro del Perú frente a los eventos ENOS son diversas, dependiendo mucho de la categoría del evento y el momento en el que ocurre.

Conclusiones

- Los eventos El Niño y La Niña tienen un efecto positivo o negativo sobre la reproducción de la anchoveta dependiendo de la categoría y el momento reproductivo en el que ocurre.
- La variabilidad de las anomalías en los indicadores reproductivos, relacionada con los eventos El Niño y La Niña, indica que dichas variaciones dependen de la intensidad de estos eventos y del momento reproductivo en que ocurren.
- El Niño, en general, genera en los indicadores reproductivos, IGS y FD, anomalías negativas de efecto moderado y fuerte, posterior a ello se observa un efecto de compensación del recurso mostrando anomalías positivas.
- La Niña, en general, provoca anomalías positivas de efecto moderado y fuerte, pero posterior a ello se pueden observar anomalías negativas, posiblemente causadas por el gasto energético realizado por el recurso al aprovechar las condiciones favorables generadas por el evento La Niña.

Recomendaciones

Se recomienda continuar estudiando los efectos de los eventos ENOS sobre la reproducción de la anchoveta peruana con el fin de entender de mejor manera el efecto resiliencia del recurso frente a cambios en los factores ambientales que afectan directamente su reproducción.

En este contexto, se recomienda realizar un análisis de las anomalías en los indicadores reproductivos, incorporando la variable de distribución latitudinal, ya que se sabe que los eventos ENOS, según su categoría, presentan diferentes alcances latitudinales, lo que podría afectar de manera distinta a los cardúmenes ubicados en la región norte del Perú en comparación con los del centro.

Asimismo, resulta fundamental evaluar el impacto de los eventos ENOS en la reproducción de la anchoveta según rangos de talla, con especial atención en aquellas tallas que participan por primera vez en los procesos reproductivos.

Referencias Bibliográficas

An, S. I. (2009). A review of interdecadal changes in the nonlinearity of the El Nino-Southern Oscillation. Theoretical and applied climatology, 97(1), 29-40.

Ayón, P., & Perea, & M. Á. (2008). Biomasa desovante de anchoveta en la zona norte centro del mar peruano (4o36, 5'–14o40's) a finales del invierno austral 2005. Instituto del Mar del Perú.

Bertrand, A., Gerlotto, F., Bertrand, S., Gutiérrez, M., Alza, L., Chipollini, A., ... & Chavez, F. (2008). Schooling behaviour and environmental forcing in relation to anchoveta distribution: An analysis across multiple spatial scales. Progress in Oceanography, 79(2-4), 264-277.

Brochier, T., Lett, C., & Freón, P. (2010). Investigating the northern Humboldt pradox form model comparisons of small pelagic fish reproductive strategies in eastern boundary upwelling ecosystems. Fish Fish. 12, 1-16.

Bromage, N., Porter, M., & Randall, C. (2001). The environmental regulation of maturation in farmed finfish with special reference to the role of photoperiod and melatonin. Aquaculture, 197(1), 63-98.

Bouchon Corrales, M., & Peña Tercero, C. (2008). Impactos de los eventos La Niña en la pesquería peruana. Boletín Instituto del Mar del Perú. 35(3): 193-198.

Buitrón, B., & Perea, A. (2000). Aspectos reproductivos de la anchoveta peruana durante el periodo 1992 – 2000. Inf. Instituto del Mar del Perú. 19(1-2): 45-53.

Buitrón, B., Perea, A., Mori, J., Sánchez, J., & Roque, C. (2011). Protocolo para estudios sobre el proceso reproductivo de peces pelágicos y demersales. Inf. Instituto del Mar del Perú. 38(4): 373-383.

Buitrón, B., & Perea, A. (2001). Fecundidad y frecuencia de desove de la anchoveta peruana durante el invierno 2000. Inf. Instituto del Mar Perú. 162: 29-33.

Buitrón, B., & Perea, A. (2006). Cardúmenes desovantes, fecundidad y un caso de hermafroditismo en la anchoveta peruana durante el verano 2002. Inf. Instituto del Mar Perú. 33(3): 147 – 152.

Buitrón B., Perea A., Mori J., Sánchez J., Roque C., Gálvez M A., & Castillo J. (2015). Gonadal maturity of Peruvian anchovy Engraulis ringens (Jenyns, 1842). Bol Inst Mar Perú. 30(1-2): 10-19.

Buishand T. (1982). Some methods for testing the homogenety of rainfall records. Journal of Hydrology. 58: 11-27.

Castro, L. R., Salinas, G. R., & Hernández, E. H. (2000). Environmental influences on winter spawning of the anchoveta Engraulis ringens off central Chile. Marine Ecology Progress Series, 197, 247-258.

Catcoparco C., Dupré E., & Espinoza C. (2010). Criopreservación de espermatozoides de anchoveta peruana (Engraulis ringens). Revista de Biología Marina y Oceanografía. 45(1): 121-126.

Contreras-Reyes, J. E., Canales, T. M., & Rojas, P. M. (2016). Influence of climate variability on anchovy reproductive timing off northern Chile. Journal of Marine Systems, 164, 67-75.

Cuba, A., Sánchez, J., Mori, J., & Chávez, G. (2019). Anomalías de los índices reproductivos fracción desovante e índice gonadosomatico de anchoveta peruana Engraulis ringens (Jenyns, 1842) del stock norte-centro del Perú y su relación con El Niño Costero 2017.The Biologist (Lima). 17(2): 253-261.

Cubillos, L. A., & Claramunt, G. (2009). Length-structured analysis of the reproductive season of anchovy and common sardine off central southern Chile. Marine Biology, 156, 1673-1680.

Cubillos, L. A., Ruiz, P., Claramunt, G., Gacitúa, S., Núñez, S., Castro, L. R., ... & Sepúlveda, A. (2007). Spawning, daily egg production, and spawning stock biomass estimation for common sardine (Strangomera bentincki) and anchovy (Engraulis ringens) off central southern Chile in 2002. Fisheries Research, 86(2-3), 228-240.

CPC-NCEP. (6 de enero de 2015). Centro de predicciones climáticas/NCEP/NWS y el Instituto Internacional de Investigación de Clima y Sociedad. Recuperado el 10 de abril del 2021 de CIIFEN | Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño.

Díaz, E. (2017). Impacto de diferentes estrategias de explotación sobre el estado inmediato del stock norte – centro de la anchoveta peruana (Engraulis ringens). Tesis (Magister en Recursos Acuáticos). Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Escuela de Posgrado. Facultad de Ciencias Biológicas.

Einarsson, H., Rojas de Mendiola, B., & Santander, H. (1966). El desove de peces en aguas peruanas durante 1961–1964. Memoria del Primer Seminario Latinoamericano del Océano Pacífico Oriental, Lima.

ENFEN. (09 de abril de 2012). Definición operacional de los eventos El Niño y La Niña y sus magnitudes en la costa del Perú. Recuperado el 10 de abril del 2021 de ICEN-Nota_Tecnica.pdf (igp.gob.pe).

ENFEN. (19 de noviembre de 2022). Eventos El Niño y La Niña costeros. Subdirección de Ciencias de la Atmosfera e Hidrosfera. Recuperado el 19 de noviembre del 2022 de El Niño/La Niña Costeros - IGP.

Ettahiri, O., Berraho, A., Vidy, G., & Ramdani, M. (2003). Observation on the spawning of Sardina and Sardinella off the south Moroccan Atlantic coast (21–26 N). Fisheries Research, 60(2-3), 207-222.

Espinoza, P., & Blascovic, V. (2000). Cambios en la dieta de la anchoveta Engraulis ringens y su influencia en la dinámica de alimentación. . Bol. Inst. Mar Perú, 19(1-2): 21-27.

Espinoza, P. & Bertrand, A. (2008). Revisiting Peruvian anchovy (Engraulis ringens) trophodynamics provides a new vision of the Humboldt Current system. Progress in Oceanography, 79: 215–227.

Espinoza C., Perea A., Buitrón B., Cisneros P., Catcoparco C., Alberro A., & Vizziano D. (2009). Inducción del desove y espermiación de anchoveta peruana

Engraulis ringens (Jenyns, 1842) en cautiverio mediante la inyección de un análogo de GnRH. Lat Am J Aquat Res. 38(2): 234-241.

Espinoza C., Vera V., Perea A., Buitrón B., Rojas P., & Kjesbu O. (2010). Efecto de la ración alimenticia sobre la maduración gonadal y acumulación de grasa de anchoveta peruana (Engraulis ringens Jenyns, 1842) en cautiverio. Lat Am JAquat Res. 37(2): 181-190.

Global Fishing Watch. (2019). La pesquería comercial mas grande del mundo ahora disponible en la plataforma Global Fishing Watch. URL: https://globalfishingwatch.org/es/transparencia/la-pesqueria-comercial-mas-grande-del-mundo-ahora-disponible-en-la-plataforma-del-global-fishing-watch/

Gutiérrez, M. (2000). Estimados de biomasa hidroacústica de los cuatro principales recursos pelágicos en el mar peruano durante 1983-2000. Bol. Inst. Mar Perú, 19(1-2): 139-156.

Hernández-Santoro, C., Contreras-Reyes, J. E., & Landaeta, M. F. (2019). Intra-seasonal variability of sea surface temperature influences phenological decoupling in anchovy (Engraulis ringens). Journal of Sea Research, 152, 101765.

Hurtado, S., Zaninelli, P. & Agosta, E. (2020). A multi-breakpoint methodology to detect changes in climatic time series. An application to wet season precipation in subtropical Argentina. Atmospheric Research. 241.

IMARPE. 2022. Informe interno.

Jordán, R. (1971). Distribution of anchoveta (Engraulis ringens) in relation to the environment. Investigaciones Pesqueras, 35(1): 113-126.

Maturana, J., Bello, M., & Manley, M. (1997). Antecedentes históricos y descripción del fenómeno El Niño, Oscilación del Sur. El Niño-La Niña, 2000, 13-27.

Mori J., Buitrón B., Perea A., Peña C., & Espinoza C. (2011). Variabilidad anual en la estrategia reproductiva en la anchoveta peruana en la región norte-centro del litoral del Perú. Ciencias Marinas 37(4B): 513-525.

Nyuji, M., Takasuka, A., & Okada, M. (2022). Variation in reproductive parameters of round herring in the Pacific coastal waters of Japan. Journal of Sea Research, 187, 102247.

Ñiquen Carranza, M., Bouchon Corrales, M., Cahuín Villanueva, S., & Díaz Acuña, E. (2000). Pesquería de anchoveta en el mar peruano 1950-1999.

Perea, A., & Buitrón, B. (2004). Aplicación del método de congelación de ovarios para estimar la distribución espacial de cardúmenes desovantes de anchoveta. Inf. Instituto del Mar Perú. 32(2): 123-126.

Perea, Á., Buitrón, B., Mori, J., Roque, C., & Sánchez, J. (2015). Anomalías de los índices reproductivos de anchoveta Engraulis ringens en relación al ambiente. Boletín Trimestral Oceanográfico. Vol 1, 25-26.

Perea A., 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.

Purca Cuicapusa, S., Graco, M., Gutiérrez Aguilar, D., Dewitte, B., Tam Málaga, J., Bertrand, A., ... & Sánchez Ramírez, S. (2010). Relación entre anchoveta y ambiente a diferentes escalas temporales.

SNP. (2021). Segunda Temporada de Pesca 2020 – Zona Centro Norte. Boletín Informativo.

Vazzoler, A. E. A. de M. (1982). Manual de métodos para estudos biológicos de populações de peixes: Reprodução e crescimento. Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

Xu, Y., Chai, F., Rose, K. A., Ñiquen, 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, 264, 64-82.

Anexos

Anexo 1. Patrones de fracción desovante (FD) de anchoveta peruana *E. ringens* del stock Norte-Centro del Perú, determinados mediante análisis de series de tiempo. Periodo 1992-2020.

	Ene	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Set**	**Oct**	**Nov**	**Dic**
1992-1998	16,0	17,0	16,8	11,5	16,2	15,7	27,8	30,0	33,7	27,9	24,3	21,6
1999-2010	25,1	24,1	14,8	10,1	10,3	9,5	18,2	22,7	29,4	28,9	23,0	25,4
2011-2020	15,0	16,3	14,1	10,0	5,4	7,1	13,7	23,8	32,2	27,8	21,2	13,9

Anexo 2. Patrones del índice gonadosomático (IGS) de anchoveta peruana *E. ringens* del stock Norte-Centro del Perú, determinados mediante análisis de series de tiempo. Periodo 1992-2020.

	Ene	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Set**	**Oct**	**Nov**	**Dic**
1992-1998	3,53	4,67	3,23	2,38	2,29	2,92	4,41	5,05	5,74	5,17	4,57	4,62
1999-2012	5,41	4,91	4,00	2,96	2,51	2,93	4,29	5,21	5,70	5,60	5,29	5,45
2013-2020	5,27	4,84	4,63	3,42	2,78	2,85	4,50	5,49	6,17	6,08	5,62	5,38