



INSTITUTO DEL MAR DEL PERU

PROTOCOLO

“Elaboración de la Tabla de Decisión para la determinación del Límite Máximo de Captura Total Permisible por temporada de pesca en la pesquería del Stock Norte-Centro de la anchoveta peruana”

IMP-DGIRP/AFDPERP

Edición: 04

Revisión: 01

Fecha: septiembre 2019

Dirección General de Investigaciones en Recursos Pelágicos
Área Funcional de Dinámica Poblacional y Evaluación de Recursos Pelágicos

Prólogo

Se presenta una nueva versión del Protocolo “Elaboración de la Tabla de Decisión para la determinación del Límite Máximo de Captura Total Permisible por temporada de pesca en la pesquería del Stock Norte-Centro de la anchoveta peruana”. Esta versión (v4.1-set2019) representa un progreso respecto a la versión anterior (v3.1-abr2016) por los siguientes aspectos:

- (i) incorpora y analiza de manera integral información de diferente naturaleza, proveniente de diferentes fuentes, para obtener una idea más robusta sobre la situación más reciente del stock, información base para la elaboración de la Tabla de Decisión;
- (ii) utiliza información actualizada sobre la biología y pesquería de la anchoveta en la etapa de proyección de su situación bajo diferentes escenarios de explotación;
- (iii) incorpora y explica el cálculo de la cantidad de juveniles que se espera capturar durante una temporada de pesca como consecuencia de la imperfecta selectividad de las redes de cerco.

Los detalles se exponen a continuación. El primer aspecto en mención (uso de diferentes piezas de información para determinar de manera más robusta la situación más reciente del stock) implica una innovación en el enfoque metodológico, ya que se transita desde un procedimiento en que la estructura demográfica (abundancia por tallas) y biomasa del stock (información base para la elaboración de la Tabla de Decisión) son exclusivamente estimadas a partir de la información proveniente de los Cruceros de Evaluación, a otro en que la abundancia por tallas y biomasa también se pueden estimar a partir de Modelos de Dinámica Poblacional, pero previo cotejo y análisis de toda la información oceanográfica, biológica y pesquera disponible (Figura 1). Este enfoque, ahora denominado Proceso de evaluación de la anchoveta (y cuyo producto final es la Tabla de Decisión) responde a la necesidad, identificada por IMARPE, de reducir la incertidumbre asociada a los resultados de los Cruceros de Evaluación, particularmente en los periodos en que la distribución espacial del stock ha sido alterada por la ocurrencia de anomalías oceanográficas, eventos que durante los últimos años han incrementado su frecuencia (Figura 2). En ese sentido, este nuevo enfoque propone que la incertidumbre asociada a la abundancia por tallas y biomasa del stock puede ser reducida (o dicho en otras palabras, que el conocimiento sobre estas variables puede ser mejorado) al usar y analizar de manera integral toda la información generada por IMARPE, como parte del Proceso de evaluación, a partir de sus diferentes plataformas, entre las que se cuentan, además de los Cruceros de Evaluación, los Cruceros MPH, las prospecciones oceanográficas, las Operaciones Eureka, el monitoreo de la actividad pesquera, entre otros.

En consecuencia, el procedimiento para la estimación de la Tabla de Decisión bajo este nuevo enfoque metodológico ahora comprende las siguientes etapas: 1) la determinación de la ocurrencia de anomalías oceanográficas durante el desarrollo del Crucero de Evaluación; 2) la descripción y calificación de las anomalías oceanográficas y la discusión de sus impactos sobre la situación del stock; 3) la estimación de la abundancia por tallas y biomasa del stock, cuyo método (en base a los Cruceros de Evaluación o en base a los



R. GUEVARA



M. NIQUEN



E. DÍAZA. (e)

Modelos de Dinámica Poblacional) dependerá de la ocurrencia o no de anomalías oceanográficas, su calificación y de la discusión de sus impactos sobre la situación del stock; 4) la proyección de la abundancia por tallas y biomasa del stock bajo diferentes escenarios de explotación; y 5) la elaboración de la correspondiente Tabla de Decisión. Como se puede apreciar, se trata de un trabajo multidisciplinario que anida el procedimiento del Protocolo anterior. Los pormenores de este procedimiento se presentan en la Sección IV.

El segundo aspecto en mención (uso de información actualizada sobre la biología y pesquería de la anchoveta durante la etapa de proyección) implica la inclusión y uso, en la etapa de proyección de la situación del stock bajo diferentes escenarios de explotación, de valores de parámetros que han sido estimados a partir de información histórica y que en la versión anterior no eran mencionados o eran citados como referencias personales. Los parámetros a los que se hace mención son: de la relación longitud-peso, del crecimiento (somático), de la madurez sexual y de la selectividad de las redes de cerco. Las metodologías y principales resultados de los ejercicios de estimación de estos parámetros se presentan en los Anexos 1 a 4.

De manera adicional, en esta versión del Protocolo, también en la sección de proyecciones, se propone un patrón semanal esperado de extracción de las cuotas de captura (LMCTP) por temporada de pesca, el mismo que ha sido estimado a partir de información actualizada sobre el comportamiento de la flota y que reemplaza al patrón hasta ahora utilizado, que asume que una cuota es extraída de manera proporcional entre todas las semanas que se espera dure una temporada. De acuerdo a esta nueva información, se espera que transcurrida la mitad de una temporada la flota haya extraído el 84 % de la correspondiente cuota de captura. Los detalles metodológicos y principales resultados de la estimación de este patrón se presentan en el Anexo 5.

En este punto es importante destacar que toda esta nueva información que se agrega al Protocolo es el resultado del progreso que viene obteniendo IMARPE con relación a las investigaciones de los recursos que habitan el mar peruano, sus pesquerías y el ecosistema.

El tercer aspecto en mención (cálculo de la cantidad de juveniles que se espera capturar durante una temporada de pesca) implica la estimación del peso de todos los individuos con tallas menores a 12 cm que se proyecta capturar como parte de la cuota de captura establecida para una temporada de pesca. Esta cifra, también conocida como “cuota de juveniles”, y que es una estimación que PRODUCE regularmente solicita al IMARPE, surge del reconocimiento de que las redes de cerco con las que se captura la anchoveta no son perfectamente selectivas (como casi cualquier otro aparejo de pesca en el mundo) y que, en consecuencia, se hace necesario implementar medidas de manejo adicionales a las ya existentes para fortalecer la protección de la fracción juvenil del stock. La regla tácita establece que, alcanzada la cuota de juveniles, se procede a cerrar la pesquería de manera automática. Los detalles de la estimación de la cuota de juveniles se presentan en la Sección 4.3.

Finalmente, como la ciencia no es estática, se prevé que nuevas versiones de este Protocolo se irán elaborando a medida que la brecha de conocimiento sobre la anchoveta, su



pesquería y el ecosistema se vaya cerrando. En perspectiva, se tiene planeado revisar en el corto plazo: i) el efecto del uso de modelos de evaluación que integren múltiples fuentes de información, incluyendo la oceanográfica, sobre la estimación de la situación del stock (Análisis Integrales); y ii) el efecto del uso de diferentes Puntos Biológicos de Referencia, asociados al cumplimiento de diferentes objetivos de manejo, sobre las recomendaciones que genera IMARPE (Evaluación de Estrategias de Manejo).

En las siguientes líneas se describe la versión actualizada del procedimiento de elaboración de la Tabla de Decisión para la determinación del LMCTP por temporada de pesca en la pesquería del Stock Norte-Centro de la anchoveta peruana.

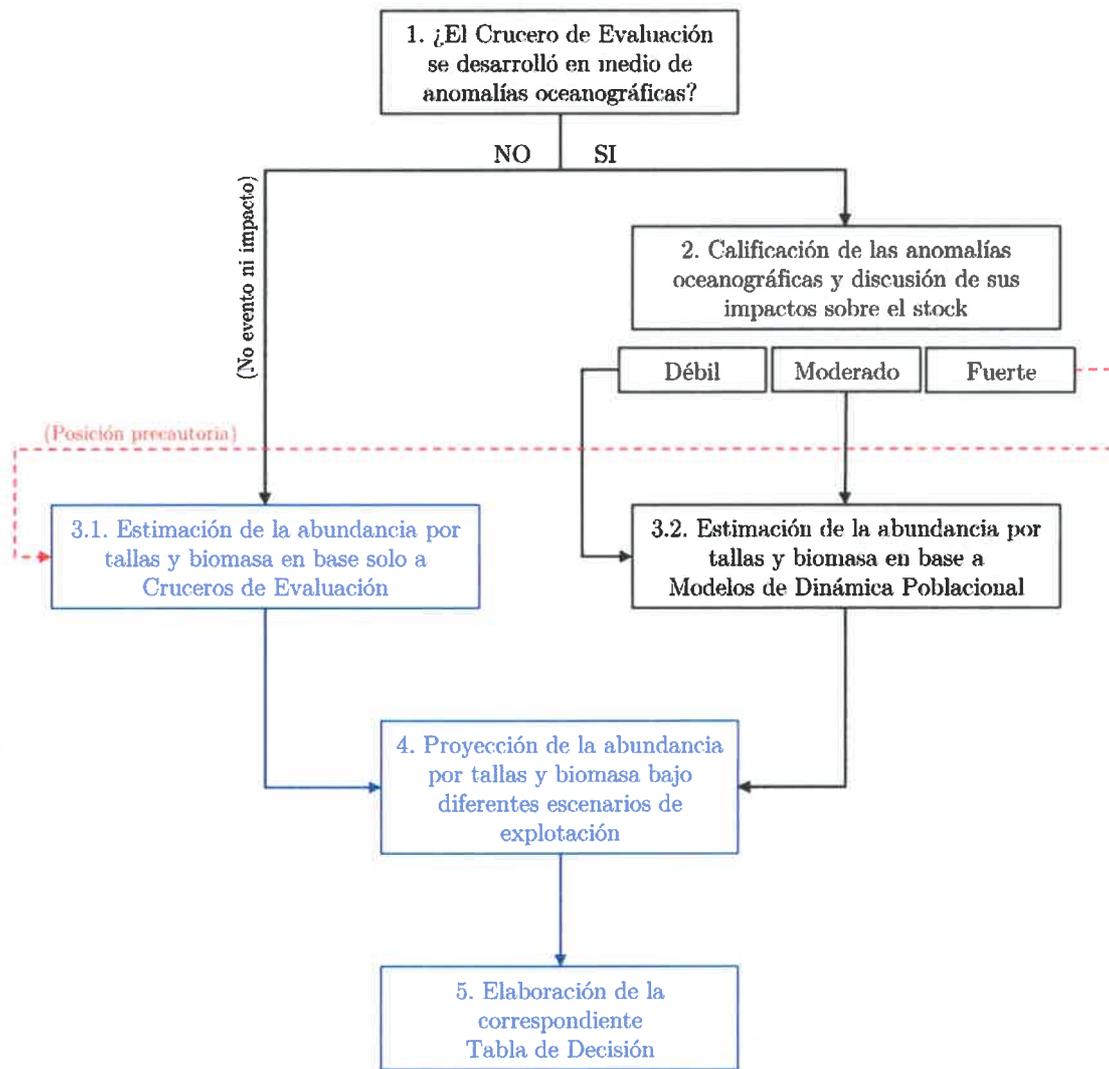


Figura 1: Procedimiento de elaboración de la Tabla de Decisión para la determinación del LMCTP por temporada de pesca en la pesquería del Stock Norte-Centro de la anchoveta peruana. Los cuadros de color azul señalan la secuencia de etapas usadas en el Protocolo anterior, secuencia que ahora se encuentra anidada dentro del procedimiento actual.



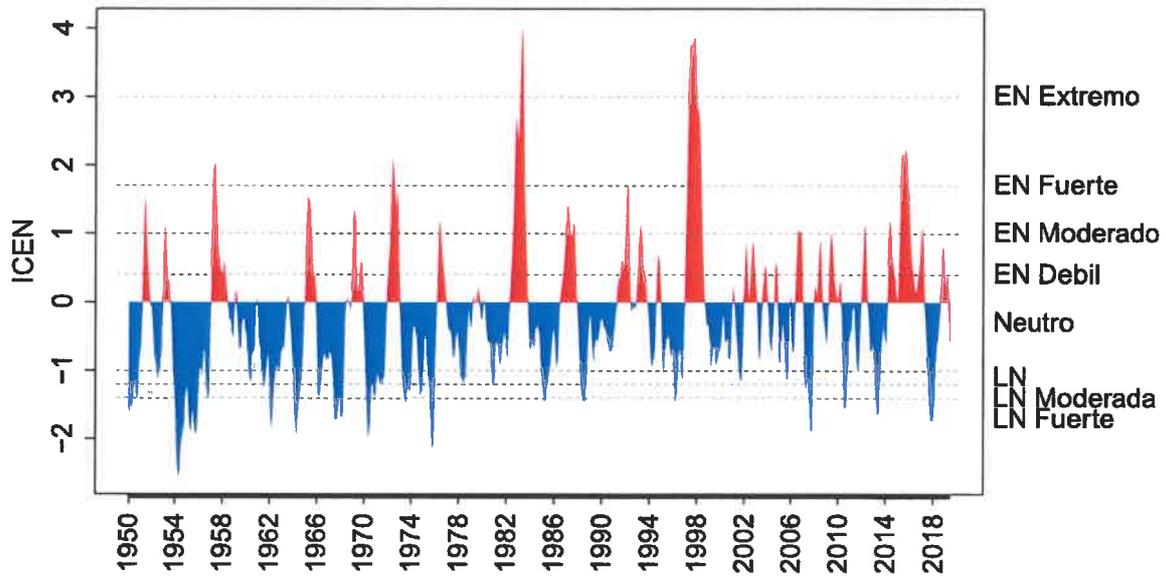


Figura 2: Serie mensual de Índice Costero de El Niño (ICEN), desde febrero de 1950 a julio de 2019. Leyenda: EN: El Niño, LN: La Niña. Fuente: <http://www.met.igp.gob.pe/datos/icen.txt>. Figura: IMARPE. “Nótese desde el 2002 el incremento en la frecuencia de ocurrencia de anomalías oceanográficas de naturaleza cálida”.



R. GUEVARA



M. NIQUEN



E. DÍAZA. (e)

Índice

Glosario	7
I. Objetivo	10
II. Ámbito de aplicación	10
III. Responsabilidad	10
IV. Procedimiento	10
1. Determinación de la ocurrencia de anomalías oceanográficas durante el desarrollo del Crucero de Evaluación	11
2. Calificación de las anomalías oceanográficas y discusión de sus impactos sobre la situación del stock	12
2.1. Calificación de las anomalías oceanográficas	12
2.2. Discusión de impactos sobre la situación del stock	12
3. Estimación de la abundancia por tallas y biomasa del stock	12
3.1. Estimación en base a los Cruceros de Evaluación	12
3.2. Estimación en base a Modelos de Dinámica Poblacional	16
4. Proyección de la abundancia por tallas y biomasa bajo diferentes escenarios de explotación	19
4.1. Definición de variables de entrada	19
4.2. Proyección de la abundancia por tallas y biomasa	21
4.3. Cálculo de variables durante y al final de la proyección	22
5. Elaboración de la Tabla de Decisión	25
5.1. Datos a incluir en la tabla	25
5.2. Determinación de las recomendaciones de manejo	25
V. Referencias	27
VI. Anexos	29
Anexo 1	29
Anexo 2	30
Anexo 3	34
Anexo 4	35
Anexo 5	37



R. GUEVARA



M. NIQUEN



E. DÍAZA. (e)

Glosario

- *Abundancia*. Número total de individuos que conforman un stock.
- *Abundancia por tallas*. Número total de individuos que conforman un stock pero agrupados por rangos de tallas.
- *Área isoparalitoral*. Áreas formadas por la proyección imaginaria de la línea de la costa, desde las 10 a las 300 millas náuticas, cada 10 millas, y que son cortadas perpendicularmente cada 30 millas por los paralelos de latitud.
- *Biomasa*. Peso de todos los individuos que conforman un stock (generalmente expresada en toneladas).
- *Biomasa Desovante*. Biomasa que corresponde únicamente a los individuos sexualmente maduros.
- *Biomasa Desovante Remanente (BDR)*. Biomasa desovante que quedaría disponible al final de una proyección.
- *Bootstrap*. Método estadístico de remuestreo empleado para estimar las medidas de tendencia central y de dispersión de una variable así como sus respectivos límites de confianza (Efron, 1982).
- *Crucero de Evaluación (Crucero de Evaluación Hidroacústica de Recursos Pelágicos)*. Operación en la que se emplean Buques de Investigación Científica del IMAR-PE y que tiene como objetivo general estimar el estado más reciente de los principales recursos pelágicos (abundancia por tallas, biomasa, distribución, condición reproductiva, edad y crecimiento, ecología trófica, entre otros) y las condiciones oceanográficas del mar peruano (desde los puntos de vista de la física, química, biología y geología) (Castillo et al., 2009). Generalmente, los Cruceros de Evaluación se realizan antes de cada temporada de pesca.
- *Cuota de juveniles*. Cantidad en peso de todos los individuos con tallas menores a 12 cm que se proyecta capturar como parte de la cuota de captura (LMCTP) establecida para una temporada de pesca.
- *Dinámica Poblacional*. Disciplina científica que estudia el cómo y el por qué cambian las poblaciones de peces (Quinn & Deriso, 1999).
- *Ecoabundancia (s_A)*. Índice relativo que representa la cantidad de energía de retrodispersión (o eco) originada por la presencia de un cardumen o grupo de organismos. En el caso de anchoveta, su integración a lo largo de 1 mn se denomina Coeficiente de Dispersión por Área Náutica (NASC, por sus siglas en inglés) (MacLennan et al., 2002).
- *Escenario de explotación*. Escenario propuesto para la explotación de la anchoveta durante una temporada de pesca y que está definido por una tasa de mortalidad por pesca (F), a la cual se le asocia una tasa de explotación (E) y una cuota de captura (Q).



R. GUEVARA



M. NIQUEN



E. DÍAZA (e)

- *Evaluación de stocks*. Disciplina científica que implica el uso de herramientas matemáticas y estadísticas a partir de las cuales se determina el estado más reciente de un stock y se predice su probable reacción ante diferentes escenarios de explotación (Hilborn & Walters, 1992).
- *Factor de condición*. En este protocolo, el factor de condición es el parámetro a de la relación Longitud-Peso.
- *Fuerza de blanco (TS)*. Cantidad de eco, expresado en decibeles, reflejado por un individuo (MacLennan et al., 2002).
- *Incertidumbre*. Conocimiento incompleto sobre algún estado o proceso de la naturaleza (FAO, 1996).
- *Informe de Evaluación del Stock Norte-Centro de la anchoveta peruana*. Informe que eleva IMARPE a PRODUCE donde se resume el estado más reciente del stock y se presentan escenarios de explotación para la determinación del LMCTP.
- *Lance de comprobación*. Operación de pesca que se realiza durante los Cruceros de Evaluación mediante la cual se determina la composición por especies de los organismos que habitan la zona pelágica y sus tallas, información que es utilizada en la estimación de la abundancia por tallas y biomasa del stock. Los lances de comprobación también sirven para recolectar, a partir de los individuos capturados, estructuras blandas (e.g. gónadas, estómagos y músculo) y duras (e.g. otolitos, escamas y espinas) que luego son utilizadas en estudios de naturaleza bio-ecológica (Castillo et al., 2009).
- *Límite Máximo de Captura Total Permisible (LMCTP)*. Es el total de captura del recurso objetivo, expresado en toneladas métricas, que PRODUCE autoriza como máximo de captura permitida para cada temporada de pesca. También se le conoce como Cuota de Captura.
- *Percentil 2.5 y 97.5*. Medida estadística de posición que indica los valores debajo y encima de los cuales se encuentran el 5% de los datos.
- *Población*. Grupo de individuos de una misma especie que comparten caracteres ecológicos y genéticos similares. Una población puede estar conformada por una o más sub-unidades (stocks).
- *Proceso de evaluación de la anchoveta*. Proceso de estimación de la estructura demográfica (abundancia por tallas) y biomasa del stock haciendo uso de toda la información oceanográfica, biológica y pesquera generada por IMARPE a partir de sus diferentes plataformas, entre las que se cuentan, además de los Cruceros de Evaluación, los Cruceros MPH, las prospecciones oceanográficas, las Operaciones Eureka, el monitoreo de la actividad pesquera, entre otros. Su producto final es la Tabla de Decisión.
- *Punto Biológico de Referencia (PBR)*. Cifra derivada de un análisis técnico que se usa para comparar el estado actual de un stock (biomasa) y su nivel de explotación (mortalidad por pesca).



R. GUEVARA



M. NIQUEN



E. DÍAZA. (e)

- *Punto Biológico de Referencia Objetivo (PBR Objetivo)*. Cifra que hace referencia a los niveles de biomasa o mortalidad por pesca que se desea alcanzar ya que garantizan la capacidad autoregenerativa del stock.
- *Punto Biológico de Referencia Límite (PBR Límite)*. Cifra que hace referencia a los niveles mínimo de biomasa o máximo de mortalidad por pesca que no se deben superar, bajo riesgo de afectar la capacidad regenerativa del stock.
- *Recursos Pelágicos*. Son poblaciones de organismos que habitan la parte superficial de la columna de agua y que poseen un valor real o potencial para la humanidad.
- *Relación Longitud-Peso*. Relación de tipo potencial que se establece entre las tallas de los individuos y sus respectivos pesos.
- *Riesgo*. Probabilidad de que la Biomasa Desovante Remanente sea menor al Punto Biológico de Referencia establecido.
- *Stock*. Conjunto de individuos de una misma especie que forman un grupo con características ecológicas similares y que, como unidad, puede estar parcialmente aislada de otras. Un stock es sujeto de evaluación y su pesquería sujeta a manejo.
- *Stock Norte-Centro de la anchoveta peruana*. Stock de anchoveta que generalmente ocupa el área comprendida entre el 4° y 16° S, y desde la línea de la costa hasta las 80 mn.
- *Tabla de Decisión*. Tabla que contiene un conjunto de escenarios de explotación y la probable reacción del stock a la aplicación de cada uno de ellos.
- *Temporada de pesca*. Período de tiempo establecido por el PRODUCE para la extracción de un LMCTP.



R. GUEVARA



M. NIQUEN



E. DÍAZ. (e)

I. Objetivo

El objetivo de este protocolo es establecer el procedimiento para la elaboración de la Tabla de Decisión a partir de la cual PRODUCE determinará el Límite Máximo de Captura Total Permisible (LMCTP) para la pesquería del Stock Norte-Centro de la anchoveta peruana, correspondiente a una temporada de pesca.

II. Ámbito de aplicación

El procedimiento para la estimación de la Tabla de Decisión se debe realizar antes de la apertura de una temporada de pesca y una vez culminado el análisis de toda la información oceanográfica, biológica y pesquera generada por IMARPE como parte del Proceso de evaluación de la anchoveta. Los resultados de este procedimiento son parte central del Informe de Evaluación del Stock Norte-Centro de la anchoveta que IMARPE eleva al PRODUCE, donde se describe el estado actual del stock y se presentan las alternativas de explotación.

III. Responsabilidad

Este trabajo debe ser realizado por los profesionales designados por IMARPE para este fin, quienes deberán contar con los conocimientos y la experiencia necesarios en las disciplinas involucradas como son la oceanografía, acústica, métodos de pesca, biología, dinámica poblacional y evaluación de stocks. Así mismo, este trabajo debe ser refrendado por el Coordinador del Área Funcional de Dinámica Poblacional y Evaluación de Recursos Pelágicos, el Director General de Investigaciones en Recursos Pelágicos y el Director Ejecutivo Científico del IMARPE.

IV. Procedimiento

El procedimiento para la elaboración de la Tabla de Decisión comprende 5 etapas que son:

1. Determinación de la ocurrencia de anomalías oceanográficas durante el desarrollo del Crucero de Evaluación
2. Calificación de las anomalías oceanográficas y discusión de sus impactos sobre la situación del stock
3. Estimación de la abundancia por tallas y biomasa del stock
4. Proyección de la abundancia por tallas y biomasa bajo diferentes escenarios de explotación
5. Elaboración de la Tabla de Decisión



R. GUEVARA



M. ÑIQUEN



E. DÍAZ A. (e)

La secuencia de cumplimiento de cada una de estas etapas va a depender de la respuesta a la pregunta inicial de si el Crucero de Evaluación realizado de manera previa al inicio de una temporada de pesca se desarrolló o no en medio de anomalías oceanográficas (Etapa 1). Si la respuesta es negativa, el procedimiento se lleva a cabo tal cual el Protocolo anterior, es decir, se estima la abundancia por tallas y biomasa del stock en base a la información del Crucero de Evaluación (Etapa 3.1), se proyecta la abundancia por tallas y biomasa bajo diferentes escenarios de explotación (Etapa 4) y se elabora la Tabla de Decisión (Etapa 5). Por el contrario, si la respuesta es positiva, entonces se califica el evento oceanográfico y se discuten sus impactos sobre la situación del stock (Etapa 2), y si como resultado de esta discusión se concluye que los impactos del evento no son de consideración (débiles o moderados), se estima la abundancia por tallas y biomasa del stock en base a Modelos de Dinámica Poblacional (Etapa 3.2), para luego continuar con las etapas de proyección (Etapa 4) y de elaboración de la Tabla de Decisión (Etapa 5). Sin embargo, si se concluye que los impactos del evento oceanográfico sobre la situación del stock son de consideración (fuertes), se adopta una posición precautoria y se evita el uso de modelos para estimar la abundancia por tallas y biomasa del stock. El procedimiento aquí descrito es graficado en la Figura 1. La descripción de cada etapa se presenta a continuación.

1. Determinación de la ocurrencia de anomalías oceanográficas durante el desarrollo del Crucero de Evaluación

Como ya se mencionó, el primer paso en la secuencia del cumplimiento de etapas es la determinación de si el Crucero de Evaluación se desarrolló o no en medio de anomalías oceanográficas. La respuesta a esta pregunta es clave porque, tal como ha sido documentado en publicaciones científicas (Mathisen, 1989; Bertrand et al., 2004; Bertrand et al., 2008; Joo et al., 2014; Castillo et al., 2019; Moron et al., 2019) y tal como se ha observado en los últimos años (IMARPE, 2012; IMARPE, 2014a; IMARPE, 2014b; IMARPE, 2015; IMARPE, 2016), la ocurrencia de anomalías oceanográficas en el área de distribución del stock altera su comportamiento espacial, y ante un escenario de comportamiento espacial alterado, la probabilidad de que la abundancia por tallas y biomasa estimadas por el método acústico se vea sesgada, es alta. Esta condición justifica el uso de modelos para corregir los sesgos, aunque solo hasta cierto punto (ver Sección 2).

La determinación de la ocurrencia de anomalías oceanográficas durante el desarrollo de un Crucero de Evaluación debe ser evidenciada de manera objetiva, haciendo uso de la mejor información disponible, entre la que se cuenta no solo la generada por IMARPE (a partir de prospecciones, detección remota y modelos), sino también la provista por grupos multisectoriales (como el ENFEN) y las agencias internacionales de investigación oceanográfica. El área considerada para la determinación de la ocurrencia de las anomalías oceanográficas corresponde al área de distribución del Stock Norte-Centro de anchoveta. De comprobarse la ocurrencia de anomalías oceanográficas en esta área durante el desarrollo de un Crucero de Evaluación se prosigue con la Etapa 2, de lo contrario con la Etapa 3.1.



R. GUEVARA



M. NIQUEN



E. DÍAZA. (e)

2. Calificación de las anomalías oceanográficas y discusión de sus impactos sobre la situación del stock

La ocurrencia de anomalías oceanográficas en el área de distribución del stock no solo ocasiona impactos sobre su comportamiento espacial, sino también sobre todos los otros elementos de su dinámica poblacional, entre los que se cuenta el reclutamiento (y por lo tanto la abundancia y biomasa), el crecimiento, la biología reproductiva y la mortalidad natural. Además, la magnitud de los impactos sobre estos elementos generalmente está muy ligada a la magnitud y duración de las anomalías, por lo tanto, antes de proceder a corregir los potenciales sesgos de los Cruceros de Evaluación haciendo uso de modelos (Etapa 3.2), es necesario: i) valorar el tipo de evento oceanográfico que está ocurriendo y ii) discutir los impactos que dicho evento está ocasionando sobre todos o la mayor parte de los elementos de la dinámica poblacional del stock.

2.1. Calificación de las anomalías oceanográficas

Los eventos de anomalías oceanográficas deben ser calificadas mediante el análisis de las propiedades oceanográficas físicas, químicas y biológicas del área de distribución del stock y la cuantificación de sus desviaciones respecto a situaciones patrón. Entre las propiedades de naturaleza física a analizar se cuenta principalmente la temperatura, salinidad y tenor de oxígeno, entre las de naturaleza química a la concentración de nutrientes y de clorofila, y entre las de naturaleza biológica a los volúmenes de fitoplancton y zooplancton. Lo interesante de este enfoque es que se evoluciona desde un sistema de calificación de anomalías basado solo en la temperatura a otro de tipo multivariado (estados oceanográficos multivariados).

2.2. Discusión de impactos sobre la situación del stock

Los impactos de las anomalías oceanográficas sobre la situación del stock deben ser discutidos mediante el análisis de los elementos de su dinámica poblacional y la cuantificación de sus desviaciones respecto a situaciones patrón. Entre los elementos de la dinámica poblacional a analizar se cuenta principalmente el reclutamiento, la abundancia y biomasa, el crecimiento, los procesos de madurez sexual y desove y la distribución espacial. Si como resultado del análisis de toda esta información se determina que los impactos de las anomalías oceanográficas sobre la situación del stock no son de consideración (débiles o moderados), se procede a estimar la abundancia por tallas y biomasa en base a Modelos de Dinámica Poblacional (Etapa 3.2), caso contrario se asume una posición precautoria y se evita el uso de modelos para estimar la abundancia por tallas y biomasa del stock (Etapa 3.1).

3. Estimación de la abundancia por tallas y biomasa del stock

3.1. Estimación en base a los Cruceros de Evaluación

La información para esta estimación proviene de los Cruceros de Evaluación que realiza el IMARPE de manera previa al inicio de las temporadas de pesca y los pasos son los siguientes:



R. GUEVARA



M. ÑIQUEÑ



E. DIAZ A. (e)

- (i) se estima la abundancia por tallas y la biomasa en cada área isoparalitoral;
- (ii) se calcula la abundancia por tallas y biomasa de todo el stock como la suma de las estimaciones hechas por área isoparalitoral (Castillo et al., 2009; Simmonds et al., 2009);
- (iii) se generan réplicas de la abundancia por tallas y biomasa del stock; y
- (iv) se calculan los límites de confianza (LC) y el coeficiente de variación (CV) de las estimaciones.

Así tenemos que por cada área isoparalitoral, la abundancia es estimada por tallas entre 2.0 y 20.0 cm de Longitud Total (LT), a intervalos de 0.5 cm, de acuerdo al procedimiento descrito en Simmonds & MacLennan (2005) (Figura 3), el mismo que establece que:

$$N_i(l) = P_i(l) \frac{s_{\bar{A}_i} A_i}{\bar{\sigma}_i} \quad (1)$$

siendo

$$\bar{\sigma}_i = \sum_l P_i(l) \cdot 4\pi \cdot 10^{(m+n \log l)/10} \quad (2)$$

donde

$N_i(l)$ es la abundancia de la talla l en el área i

$P_i(l)$ es la proporción de individuos de la talla l en el área i

$s_{\bar{A}_i}$ es el promedio de las ecoabundancias registradas en el área i

A_i es la superficie en mn^2 del área i

$\bar{\sigma}_i$ es la sección transversal de retro-dispersión esférica de los peces en el área i

m y n son los parámetros de la relación entre la fuerza de blanco y el logaritmo de las tallas de anchoveta

La información de la proporción de individuos a la talla por área isoparalitoral proviene de los lances de comprobación realizados durante el Crucero de Evaluación (Figura 4), mientras que los valores de m y n provienen de experimentos *in situ* y son diferenciados para larvas, juveniles y adultos (Mariano Gutiérrez com. pers.).

La biomasa por área isoparalitoral es calculada al sumar los productos de las abundancias por los pesos medios a la talla:

$$B_i = \sum_l N_i(l)W(l) \quad (3)$$

siendo

$$W(l) = al^b \quad (4)$$

donde



R. GUEVARA



M. NIQUEN



E. DÍAZA. (e)

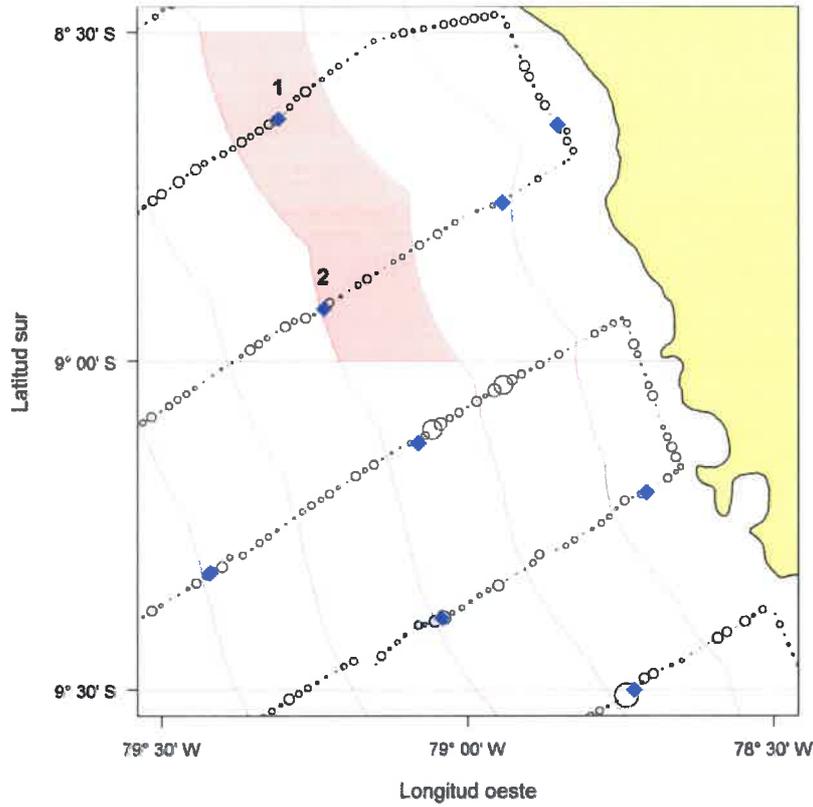


Figura 3: Mapa que presenta el recorrido realizado por un Buque de Investigación Científica (BIC) durante un Crucero de Evaluación tipo (línea gris continua). Los círculos vacíos representan las ecoabundancias muestreadas durante el Crucero, mientras que los rombos azules representan los lances de comprobación. Las líneas rojas delimitan las áreas isoparalitorales a partir de las cuales se inicia el proceso de estimación de la abundancia por tallas y biomasa del stock.

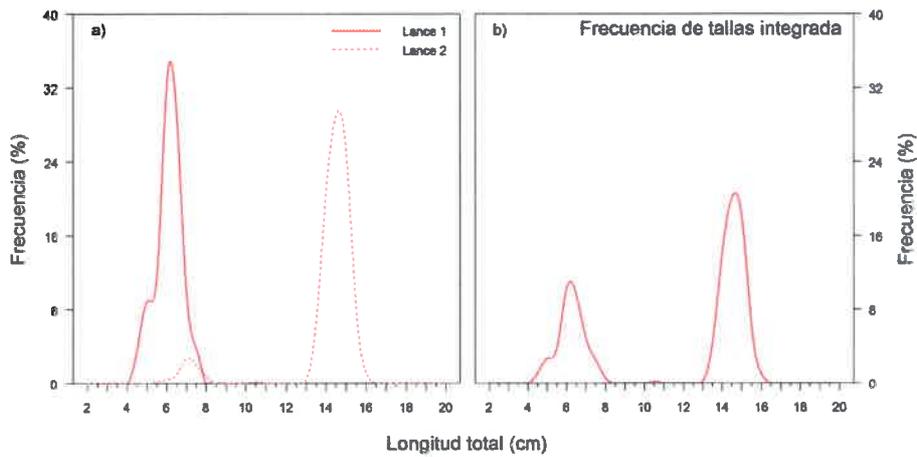


Figura 4: a) Frecuencia de tallas de los lances de comprobación 1 y 2 realizados durante un Crucero de Evaluación tipo en un área isoparalitoral dada (área sombreada de la Figura 3); b) Frecuencia de tallas estimada a partir de la integración de los dos lances realizados en el área mencionada. Antes de la integración, la frecuencia de tallas de cada lance es ponderada a los valores de ecoabundancia más cercanos.



B_i es la biomasa estimada para el área i

$W(l)$ es el peso medio de los individuos de la talla l

a es el factor de condición estimado para el stock

b es el factor alométrico de crecimiento en peso estimado para el stock

Los valores de a y b son estimados a partir del ajuste de un modelo potencial a los datos talla-peso de los individuos muestreados durante el Crucero de Evaluación.

La abundancia por tallas y biomasa de todo el stock son calculadas al sumar las estimaciones hechas por área isoparalitoral:

$$N(l) = \sum_i N_i(l) \quad (5)$$

y

$$B = \sum_i B_i \quad (6)$$

donde

$N(l)$ es la abundancia por tallas de todo el stock

$N_i(l)$ es la abundancia por tallas en el área i

B es la biomasa de todo el stock

B_i es la biomasa en el área i

Sin embargo, la cifra final de la biomasa del stock es proporcionada por la Dirección General de Investigaciones en Hidroacústica, Sensoramiento Remoto y Artes de Pesca (DGIHSA) de IMARPE, por lo tanto, el vector de abundancia por tallas final del stock se calcula al ponderar $N(l)$ a la biomasa final.

Las réplicas de la abundancia por tallas y biomasa del stock son estimadas con el propósito de incorporar a los resultados la incertidumbre asociada a los datos que se recolectan y de estimar el riesgo de tomar decisiones a partir de esta información. El método utilizado para estimar las réplicas es el Bootstrap (remuestreo con reemplazo) (Efron, 1982), el mismo que tiene la ventaja de permitir la incorporación (a los resultados) de múltiples fuentes de incertidumbre (Simmonds & MacLennan, 2005; Simmonds et al., 2009) y de proveer mejores inferencias estadísticas para datos con distribuciones no conocidas (Smith, 1997). Para el caso de la anchoveta, se asume que las principales fuentes de incertidumbre asociadas a la estimación de su abundancia provienen del muestreo del proceso de recolección de las ecoabundancias, de la composición por especies de dichas ecoabundancias y de las tallas (Simmonds et al., 2009). En ese sentido, el procedimiento descrito en las Ecuaciones 1 a 6 se repite 1000 veces, remuestreando en cada oportunidad la información acústica y biológica arriba mencionada, con el propósito de generar la



R. GUEVARA



M. NIQUEN



E. DIAZA. (e)

misma cantidad de vectores de abundancia por tallas y de valores de biomasa (Figuras 5 y 6). Al igual que con el vector determinístico (Ecuación 5) las réplicas de la abundancia por tallas son escaladas a la cifra final de biomasa proporcionada por la DGIHSA.

Como paso final, los LC de la abundancia son estimados como los percentiles 2.5 y 97.5 de las 1000 réplicas de abundancia estimados por cada talla (Figura 5), mientras que los LC de la biomasa como los percentiles (también 2.5 y 97.5) de las 1000 réplicas de sus estimados globales (Figura 6). El CV de la biomasa es estimado como la razón entre la desviación estándar y la media de sus réplicas (Figura 6):

$$CV = \frac{s}{\bar{B}} \cdot 100 \quad (7)$$

siendo

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (B_j - \bar{B})^2 \quad (8)$$

y

$$\bar{B} = \frac{\sum_{j=1}^n B_j}{n} \quad (9)$$

donde

B_j es la biomasa estimada para la réplica j

n es el número de réplicas

\bar{B} es la biomasa media estimada de las n réplicas

s^2 es la varianza estimada de las n réplicas

CV es el coeficiente de variación de la biomasa estimado de las n réplicas

Culminada la estimación de la abundancia por tallas y biomasa del stock (y sus réplicas) se prosigue con las etapas de proyección (Etapa 4) y elaboración de la Tabla de Decisión (Etapa 5).

3.2. Estimación en base a Modelos de Dinámica Poblacional

La información para la estimación de la abundancia por tallas y biomasa del stock usando modelos proviene de los dos últimos Cruceros de Evaluación realizados por IMAR-PE, el más reciente (previo al inicio de la temporada de pesca que está por comenzar, denominado Crucero de Evaluación actual) y el anterior (que generalmente data de unos seis meses atrás, denominado Crucero de Evaluación anterior). Los pasos para la estimación son los siguientes:

- (i) se proyecta la abundancia por tallas y biomasa del stock observadas por el Crucero de Evaluación anterior hasta la fecha de finalización del Crucero de Evaluación actual, descontando en el proceso las capturas registradas durante la temporada de pesca transcurrida;



R. GUEVARA



M. NIQUEN



E. DÍAZ A. (e)

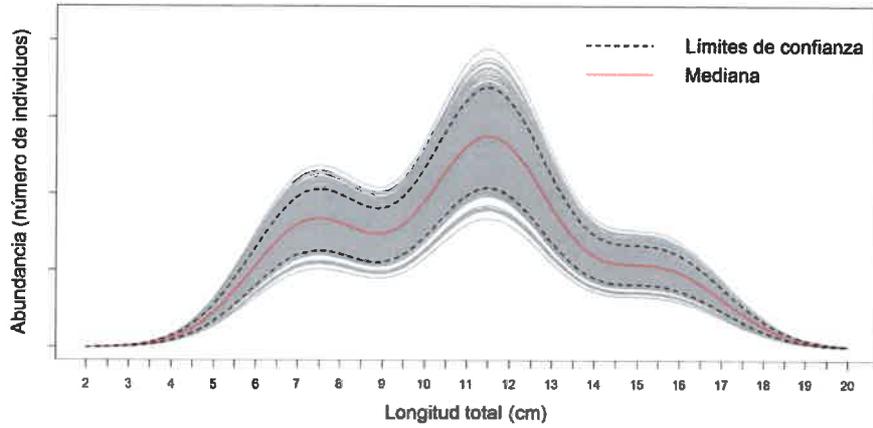


Figura 5: Réplicas de la abundancia por tallas del stock simuladas para un crucero tipo. Se denota la mediana de las abundancias por talla (línea continua) y los límites de confianza (líneas discontinuas).

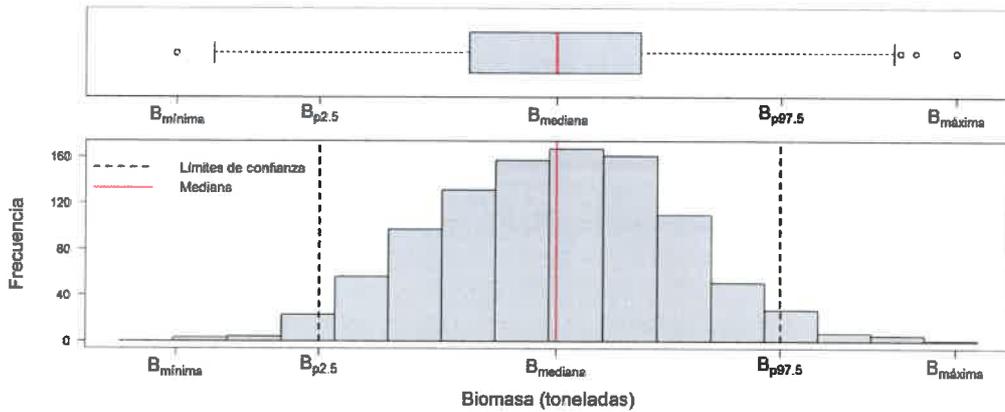


Figura 6: Réplicas de la biomasa del stock simuladas para un crucero tipo. Se denota la mediana de las biomazas y los límites de confianza.



- (ii) se estima la abundancia por tallas del stock (y sus réplicas) usando la información del Crucero de Evaluación actual y la metodología establecida en la Sección 3.1;
- (iii) se pondera la abundancia por tallas actual (estimada en ii) a la biomasa que proviene de la proyección (estimada en i).

La abundancia por tallas del stock es proyectada a un paso de tiempo mensual (desde el Crucero de Evaluación anterior hasta la fecha de finalización del Crucero de Evaluación actual) usando una modificación de la ecuación de decaimiento exponencial (Sparre & Venema, 1998; Quinn & Deriso, 1999; Cadima, 2003; Hilborn & Walters, 1992):

$$N_{t+\Delta t}(l) = N_t(l)e^{-(M_t(l))\Delta t} - C_t(l) \quad (10)$$

donde

$N_{t+\Delta t}(l)$ es la abundancia de los individuos de la tallas l en el tiempo $t + \Delta t$ (mes posterior)

$N_t(l)$ es la abundancia de los individuos de la tallas l en el tiempo t

$M_t(l)$ es la tasa de mortalidad natural correspondiente a los individuos de la talla l en el tiempo t

$C_t(l)$ es el número de individuos de la talla l capturados por la flota en el tiempo t

Las tallas (l) son proyectadas al mismo paso de tiempo (mes) usando un arreglo de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy (arreglo de Brody (Schnute & Richards, 2008)):

$$l_{t+\Delta t} = l_\infty - (l_\infty - l_t)e^{-k\Delta t} \quad (11)$$

donde

$l_{t+\Delta t}$ es la talla de los individuos en el tiempo $t + \Delta t$ (mes posterior)

l_t es la talla en el tiempo t

l_∞ es la talla asintótica o máxima talla que en promedio pueden alcanzar los individuos

k es el parámetro de curvatura que determina cuan rápido los peces alcanzan l_∞

Para este ejercicio los valores de M , l_∞ y k son generalmente tomados del escenario neutro de la Tabla 1 y 2.

La biomasa por paso de tiempo es calculada al sumar los productos de las abundancias por los pesos medios a la talla (ecuaciones 3 y 4), usando (generalmente) los parámetros a y b estimados con información del Crucero de Evaluación actual. La biomasa del último mes de la proyección es considerada como "la biomasa actual".



R. GUEVARA



M. NIQUEN



E. DÍAZA. (e)

Culminada la proyección y obtenido el valor de la “biomasa actual” se estima la abundancia por tallas del stock y sus réplicas usando la información del Crucero de Evaluación actual y el método establecido en la Sección 3.1, luego se pondera el vector determinístico de la abundancia por tallas recientemente estimado a la “biomasa actual” y finalmente se escalan las réplicas de la abundancia por tallas a este mismo valor. La abundancia por tallas y biomasa estimadas por este método son el punto de partida para continuar con las etapas de proyección (Etapa 4) y de elaboración de la Tabla de Decisión (Etapa 5).

4. Proyección de la abundancia por tallas y biomasa bajo diferentes escenarios de explotación

Una vez estimadas las réplicas de la abundancia por tallas del stock, ya sea por el método 3.1 o 3.2, estas se proyectan algunos meses hacia adelante, específicamente hasta el siguiente proceso reproductivo, bajo diferentes escenarios de explotación. Los pasos son los siguientes:

4.1. Definición de variables de entrada

Para la proyección de la abundancia por tallas del stock es necesario definir las siguientes variables: el horizonte de proyección, el paso del tiempo, los parámetros biológicos y pesqueros a usar y los escenarios de explotación.

El horizonte de proyección (T) es el tiempo que transcurre entre el inicio y el final de la proyección. Este horizonte comprende un período de cuatro a seis meses, que es el tiempo que normalmente transcurre entre la estimación del estado más reciente del stock y el proceso reproductivo inmediato posterior (e.g. si la estimación del estado más reciente del stock se hace en la estación de verano, la proyección se hace hasta el proceso reproductivo de invierno).

El horizonte de proyección es dividido en intervalos de tiempo de duración constante denominados paso de tiempo, los mismos que son calculados como una fracción del año (e.g. 7/365 si es semanal o 10/365 si es cada 10 días) y cuya elección dependerá de la resolución deseada para la generación de los resultados. Aunque en la práctica se suele usar un paso de tiempo semanal, el uso de diferentes resoluciones no tendría por qué afectar las estimaciones al final de la proyección.

Los parámetros biológicos y pesqueros a usar en las proyecciones son de la mortalidad natural (M), la selectividad de las redes de cerco, el crecimiento, la madurez sexual y la relación longitud-peso. Idealmente se debe utilizar parámetros estimados en retrospectiva, ya sea por modelos empíricos o de evaluación, que estén asociados al escenario ambiental más probable de ocurrir durante la proyección. Si no se puede contar con ellos, se debe recurrir a parámetros estimados para el momento (e.g. a partir de los datos recolectados durante el Crucero de Evaluación más reciente). En las Tablas 1 y 2 se presentan valores de parámetros estimados a partir de información histórica asociados a diferentes escenarios ambientales.



Los escenarios de explotación están relacionados a las diferentes tasas de mortalidad por pesca (F) que pueden ser aplicadas durante una temporada, las mismas que han sido fijadas de manera arbitraria entre 0 y 0.5 (o 1.0 anual) a intervalos constantes y cuya amplitud dependerá de la resolución deseada para la generación de resultados. Luego, cada valor de F es repartido por paso de tiempo y por talla de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$F_t(l) = F_t \cdot s(l) \quad (12)$$

donde

$F_t(l)$ es la tasa mortalidad por pesca aplicada a los individuos de la talla l durante el paso de tiempo t

F_t es la tasa mortalidad por pesca aplicada durante el paso de tiempo t , la misma que se estima al repartir el F de la temporada entre semanas, de acuerdo al patrón presentado en el Anexo 5

$s(l)$ es la ojiva de selectividad, mediante la cual se selecciona a los individuos sobre los que se va a aplicar F_t (individuos completamente reclutados a la pesquería)

A su vez, $s(l)$ es definido de la siguiente manera:

$$s(l) = \frac{1}{1 + e^{\log(3) \cdot \frac{-l}{d}}} \quad (13)$$

donde

c es el parámetro que señala la talla a la cual el 50% de los peces son retenidos

d es el parámetro que señala la forma de la ojiva de selectividad (Anexo 5)

Tabla 1: Parámetros de mortalidad natural sugeridos para las proyecciones y su asociación con diferentes escenarios ambientales.

	Escenario ambiental			unidades
	Favorable	Neutro	Desfavorable	
Mortalidad Natural (M)				
M adultos ($\geq 12\text{cm}$)	0.83	0.83	0.99	año ⁻¹
M reclutas (8.0-11.5cm)	0.91	0.91	1.08	año ⁻¹
M pre-reclutas ($< 8.0\text{cm}$)	1.29	1.29	1.29	año ⁻¹



Tabla 2: Parámetros de crecimiento sugeridos para las proyecciones y su asociación con diferentes escenarios ambientales.

Crecimiento	Escenario ambiental				unidades
	Favorable	Neutro	Neutro-Desfavorable	Desfavorable	
L_{∞}	20.63	20.59	20.37	18.63	cm
K	1.00	0.84	0.73	0.68	año ⁻¹
t_0	-0.18	-0.21	-0.24	-0.27	años

4.2. Proyección de la abundancia por tallas y biomasa

Definidas las variables de entrada, se procede a proyectar las réplicas de la abundancia por tallas. Las abundancias son proyectadas a cada paso de tiempo utilizando la ecuación de decaimiento exponencial (Ecuación 14), mientras que las tallas son proyectadas (al mismo paso de tiempo) usando el arreglo de la ecuación de von Bertalanffy (Ecuación 11). La representación gráfica de la proyección se presenta en la Figura 7.

$$N_{t+\Delta t}(l) = N_t(l)e^{-(F_t(l)+M_t(l))\Delta t} \quad (14)$$

donde

$N_{t+\Delta t}(l)$ es la abundancia de los individuos de la talla l en el tiempo $t + \Delta t$

$N_t(l)$ es la abundancia de los individuos de la talla l en el tiempo t

$M_t(l)$ es la tasa de mortalidad natural correspondiente a los individuos de la talla l en el tiempo t

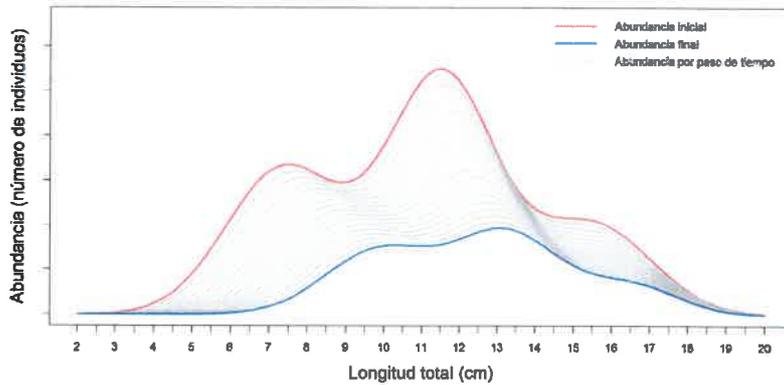


Figura 7: Evolución de la mediana de la abundancia por tallas del stock desde el inicio (línea roja) hasta el final de la proyección (línea azul) bajo un escenario de explotación.



4.3. Cálculo de variables durante y al final de la proyección

Durante y al final de la proyección, y por cada escenario de explotación, se calculan variables que son de interés. Así tenemos que a cada paso de tiempo se calcula:

- (i) la captura en número de individuos a la talla;
- (ii) la captura de todos los individuos en unidades de peso;
- (iii) la captura de juveniles en unidades de peso;
- (iv) la biomasa; y
- (v) la biomasa desovante (Figuras 8 y 9).

Además, al final de la proyección se calculan las variables que suelen ir en la Tabla de Decisión, como son:

- (vi) la cuota de captura (captura acumulada de todas las semanas de proyección);
- (vii) la tasa de explotación (razón entre la mortalidad por pesca y la mortalidad total);
- (viii) la biomasa desovante remanente (*BDR*, valor de biomasa desovante al final de la proyección);
- (ix) el riesgo de que, aplicado un escenario de explotación, la biomasa desovante remanente sea menor al Punto Biológico de Referencia (*PBR*); y
- (x) la “cuota de juveniles” (cantidad en peso de los individuos juveniles que se espera capturar como parte de la cuota de captura y la imperfecta selectividad de las redes de cerco).

La captura en número de individuos a la talla es calculada mediante la Ecuación de Captura de Baranov (Sparre & Venema, 1998; Quinn & Deriso, 1999; Cadima, 2003; Hilborn & Walters, 1992):

$$C_{t,t+\Delta t}(l) = \frac{F_t(l)}{F_t(l) + M_t(l)} N_t(l) (1 - e^{-(F_t(l)+M_t(l))\Delta t}) \quad (15)$$

donde

$C_{t,t+\Delta t}(l)$ es la captura de los individuos de la talla l en el intervalo $[t, t + \Delta t]$

La captura de todos los individuos en unidades de peso es calculada al sumar los productos de las capturas en número por los pesos medios a la talla

$$Y_t = \sum_l C_{t,t+\Delta t}(l)W(l) \quad (16)$$

$$W(l) = al^b \quad (17)$$

donde



$W(l)$ es el peso medio de los individuos de la talla l

a es el factor de condición estimado para el stock

b es el factor alométrico de crecimiento en peso estimado para el stock

La captura de juveniles en unidades de peso es calculada de la siguiente manera

$$YJ_t = \sum_{l < 12} C_{t,t+\Delta t}(l)W(l) \quad (18)$$

La biomasa es calculada al sumar los productos de las abundancias (Ecuación 14) por los pesos medios a la talla.

$$B_t = \sum_l N_t(l)W(l) \quad (19)$$

La biomasa desovante es calculada como la sumatoria en tallas de los productos de la abundancia de los individuos sexualmente maduros (abundancia desovante) y su peso medio:

$$BD_t = \sum_l ND_t(l)W(l) \quad (20)$$

$$ND_t(l) = N_t(l)m(l) \quad (21)$$

$$m(l) = \frac{1}{1 - e^{p-ql}} \quad (22)$$

donde

$ND_t(l)$ es la abundancia de los individuos de la talla l sexualmente maduros o desovantes en el tiempo t

$N_t(l)$ es la abundancia de todos los individuos de la talla l en el tiempo t

$m(l)$ es la ojiva de madurez sexual

p y q son los parámetros de la ojiva de madurez sexual

La cuota de captura es calculada al sumar todas las capturas (en unidades de peso) estimadas por paso de tiempo:

$$Q = \sum_t Y_t \quad (23)$$



R. GUEVARA



M. NIQUEN



E. DÍAZA. (e)

La tasa de explotación hacia el final de la proyección ($t = T$) es estimada en forma general como:

$$E = \frac{F}{F+M} (1 - e^{-(F+M)T}) \quad (24)$$

La biomasa desovante remanente es el valor de la biomasa desovante al final de la proyección

$$BDR = BD_t, \quad t = T \quad (25)$$

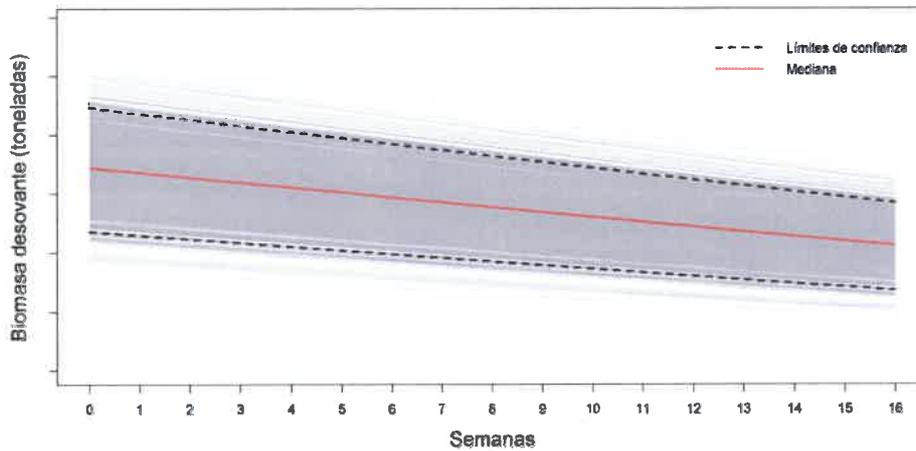


Figura 8: Evolución de la biomasa desovante estimada para todo el horizonte de proyección bajo un solo escenario de explotación. Se denota la mediana (línea continua roja) y los límites de confianza (líneas discontinuas).

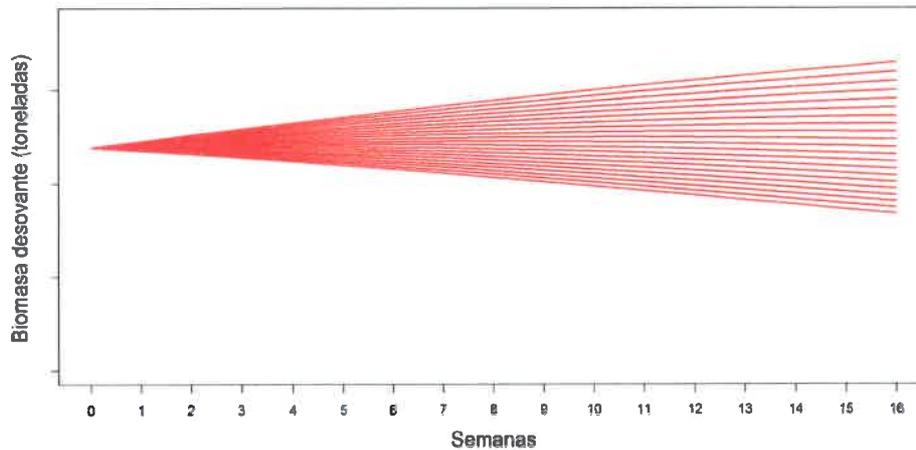


Figura 9: Evolución de las medianas de la biomasa desovante estimadas para todo el horizonte de proyección por cada escenario de explotación (valores de F propuestos).



El *Riesgo* es calculado como el porcentaje del número de réplicas cuyas *BDR* son menores al *PBR* al final de la proyección con relación al número total de réplicas (Ecuación 26). Para el caso de la anchoveta peruana, el *PBR* Objetivo ha sido estimado en 6 millones t de biomasa desovante y el *PBR* Límite en 4 millones t. En ese sentido, el *Riesgo* es calculado para cada valor de *PBR* utilizado entre el *PBR* Objetivo y el *PBR* Límite.

$$Riesgo = \frac{n_{BDR < PBR}}{n} \times 100 \quad (26)$$

Finalmente, la “cota de juveniles” es calculada al sumar todas las capturas de juveniles en unidades de peso

$$QJ = \sum_t YJ_t \quad (27)$$

5. Elaboración de la Tabla de Decisión

5.1. Datos a incluir en la tabla

La Tabla de Decisión contiene los resultados de tasa de explotación (*E*), cuota (*Q*), *BDR* y *Riesgo* asociados a cada escenario de explotación propuesto, con tantas columnas de *Riesgo* como *PBR* utilizados entre el *PBR* Objetivo y el *PBR* Límite. Los valores de cuota y *BDR* corresponden a la mediana que resulta de la proyección de las réplicas (Tabla 3).

5.2. Determinación de las recomendaciones de manejo

En esta tabla, IMARPE señala la máxima captura que permitiría mantener la *BDR* por encima del *PBR* Objetivo y del *PBR* Límite. Otro *PBR* Objetivo utilizado es una $E = 0,35$. A partir de esta tabla, el PRODUCE procederá a determinar el LMCTP.



R. GUEVARA



M. NIQUEN



E. DÍAZA (e)

Tabla 3: Esquema de Tabla de Decisión

F	E	Q	BDR	$Riesgo_{Obj}$...	$Riesgo_{Lim}$
F_{min}	E_{min}	Q_{min}	BDR_{max}	R_{min}	...	R_{min}
⋮						
⋮						
⋮						
F_{Obj}	E_{Obj}	Q_{Obj}	$BDR > PBR_{Obj}$	R_{Obj}		
⋮						
⋮						
F_{Lim}	E_{Lim}	Q_{Lim}	$BDR > PBR_{Lim}$			R_{Lim}
⋮						
⋮						
⋮						
F_{max}	E_{max}	Q_{max}	BDR_{min}	R_{max}	...	R_{max}



R. GUEVARA




E. DÍAZA. (e)

V. Referencias

- Bertrand, A., Gerlotto, F., Bertrand, S., Gutiérrez, M., Alza, L., Chipollini, A., Díaz, E., Espinoza, P., Ledesma, J., & Quesquén, R. (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.
- Bertrand, A., Segura, M., Gutiérrez, M., & Vásquez, L. (2004). From small-scale habitat loopholes to decadal cycles: a habitat-based hypothesis explaining fluctuation in pelagic fish populations off peru. *Fish and fisheries*, 5(4), 296–316.
- Cadima, E. L. (2003). *Fish stock assessment manual*. Number 393. Food & Agriculture Org.
- Castillo, R., Dalla Rosa, L., García Diaz, W., Madureira, L., Gutierrez, M., Vásquez, L., & Koppelman, R. (2019). Anchovy distribution off peru in relation to abiotic parameters: A 32-year time series from 1985 to 2017. *Fisheries Oceanography*, 28(4), 389–401.
- Castillo, R., Peraltilla, S., Aliaga, A., Flores, M., Ballón, M., Calderón, J., & Gutiérrez, M. (2009). Protocolo técnico para la evaluación acústica de las áreas de distribución y abundancia de recursos pelágicos en el mar peruano. Versión 2009. *Informe del Instituto del Mar del Perú*, 36(1-2), 7–28.
- Efron, B. (1982). *The jackknife, the bootstrap and other resampling plans*, volume 38. SIAM.
- FAO (1996). *Precautionary approach to capture fisheries and species introductions*. FAO Rome (Italy).
- Hilborn, R. & Walters, C. J. (1992). Role of stock assessment in fisheries management. In *Quantitative Fisheries Stock Assessment* (pp. 3–21). Springer.
- IMARPE (2012). *Proyecciones de pesca de anchoveta en la Región Norte-Centro (Temporada Noviembre 2012 - Enero 2013)*. Informe del Instituto del Mar del Perú. 9 p.
- IMARPE (2014a). *Situación actual del Stock Norte-Centro de la anchoveta peruana y perspectivas de explotación para el periodo abril-julio 2014*. Informe del Instituto del Mar del Perú. 9 p.
- IMARPE (2014b). *Situación del Stock Norte-Centro de la anchoveta peruana a octubre del 2014*. Informe del Instituto del Mar del Perú. 45 p.
- IMARPE (2015). *Situación del Stock Norte-Centro de la anchoveta peruana a setiembre del 2015*. Informe del Instituto del Mar del Perú. 37 p.
- IMARPE (2016). *Situación del Stock Norte-Centro de la anchoveta peruana al 01 de mayo de 2016*. Informe del Instituto del Mar del Perú. 20 p.



R. GUEVARA



M. MONTEN



E. DÍAZ. (e)

- Joo, R., Bertrand, A., Bouchon, M., Chaigneau, A., Demarcq, H., Tam, J., Simier, M., Gutierrez, D., Gutierrez, M., Segura, M., et al. (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.
- MacLennan, D. N., Fernandes, P. G., & Dalen, J. (2002). A consistent approach to definitions and symbols in fisheries acoustics. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil*, 59(2), 365–369.
- Mathisen, O. (1989). Adaptation of the anchoveta (*engraulis ringens*) to the peruvian upwelling system. In *The Peruvian upwelling ecosystem: dynamics and interactions. ICLARM Conf Proc, Instituto del Mar del Peru (IMARPE), Callao*, (pp. 220–234).
- Mildenberger, T. & Taylor, M. H. (2017). Tropfishr: an r package for fisheries analysis with length-frequency data. *Methods in Ecology and Evolution*, 8(11), 1520–1527.
- Moron, G., Galloso, P., Gutierrez, D., & Torrejon-Magallanes, J. (2019). Temporal changes in mesoscale aggregations and spatial distribution scenarios of the peruvian anchovy (*engraulis ringens*). *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 159, 75–83.
- Pauly, D. (1987). A review of the elefan system for analysis of length-frequency data in fish and aquatic invertebrates. In *ICLARM conf. Proc*, volume 13, (pp. 7–34).
- Pauly, D. (2013). *ELEFAN in R: a new tool for length-frequency analysis*. Fisheries Centre, University of British Columbia.
- Quinn, T. J. & Deriso, R. B. (1999). *Quantitative fish dynamics*. Oxford University Press.
- Schnute, J. & Richards, L. (2008). Surplus production models. In P. J. Hart & J. D. Reynolds (Eds.), *Handbook of fish biology and fisheries. Volumen 2: Fisheries*. Blackwell Publishing.
- 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.
- Simmonds, E. J. & MacLennan, D. (2005). *Fisheries acoustics* (2 ed.). Blackwell Publishing.
- Smith, S. J. (1997). Analysis of data from bottom trawl surveys. *Oceanographic Literature Review*, 44(7), 747–748.
- Sparre, P. & Venema, S. (1998). Introduction to tropical fish stock assesment (part 1). *FAO Fish. Tech. Pap., Rome*.



R. GUEVARA



M. NIQUEN



E. DÍAZA. (e)

VI. Anexos

En esta sección se presenta un resumen de los ejercicios de estimación de los parámetros biológicos y pesqueros de la anchoveta que participan en la sección de proyección de la situación del stock bajo diferentes escenarios de explotación, como son los parámetros de la relación longitud-peso, crecimiento, madurez sexual y selectividad. Del mismo modo, también se presenta el patrón semanal esperado de extracción de la cuota de captura, información que se utiliza para repartir la mortalidad por pesca de la temporada entre todas las semanas de la proyección. La estimación de los parámetros y el patrón ha sido hecha usando información histórica.

Anexo 1

Parámetros de la relación longitud-peso

Los parámetros de la relación longitud-peso son usados para convertir cualquier información expresada en términos de abundancia a biomasa (e. g. número de individuos a la talla a toneladas). La información utilizada para estimar los parámetros promedio de la relación longitud-peso para el Stock Norte-Centro de la anchoveta provino de todos los Cruceros de Evaluación, con información disponible para este fin, realizados desde 1991 a 2019. El procedimiento consistió en ajustar un modelo de tipo potencial a todos los pares de datos longitud-peso provenientes de los individuos muestreados:

$$W_i = aL_i^b \quad (28)$$

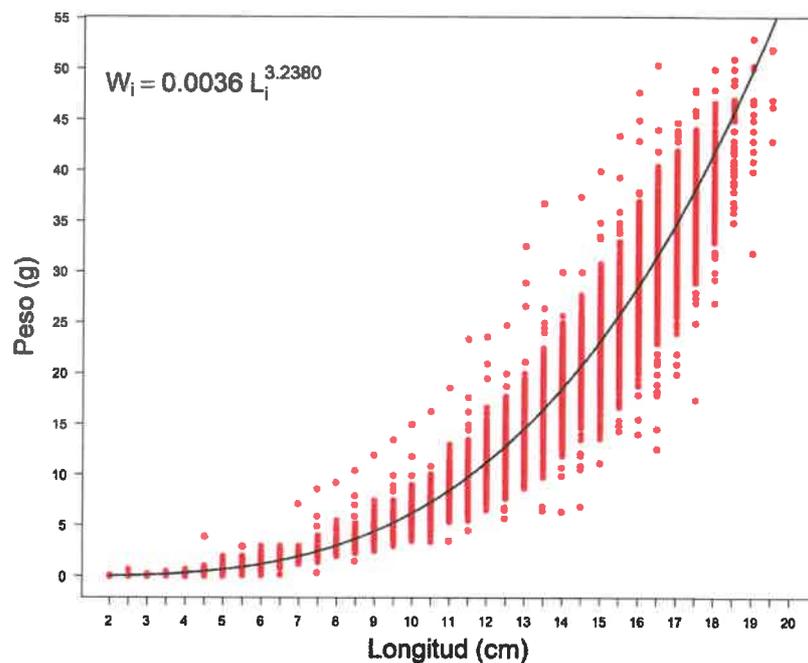


Figura 10: Relación longitud-peso.



donde

W_i es el peso total en gramos

L_i es la longitud total en cm

a es el factor de condición promedio del stock

b es el parámetro de crecimiento en peso alométrico promedio del stock

De acuerdo a los resultados del ajuste del modelo, los parámetros promedio de la relación longitud-peso para el Stock Norte-Centro de la anchoveta son $a = 0,0036$ y $b = 3,2380$ (Figura 10). Los valores de estos parámetros pueden ser usados para las proyecciones en caso no haya mejor información disponible.

Anexo 2

Parámetros de crecimiento (somático)

Los parámetros de crecimiento son usados durante las proyecciones para estimar el incremento en talla de los individuos desde un momento (t) hasta el siguiente ($t + \Delta t$). La información utilizada para estimar los parámetros de crecimiento del Stock Norte-Centro de la anchoveta provino de dos fuentes: los vectores de captura a la talla mensual disponibles desde 1991 a 2018 y los vectores de abundancia a la talla estimados durante los Cruceros de Evaluación (con información disponible para este fin) realizados en el mismo periodo de tiempo. El método consideró los siguientes pasos:

(i) se estimó un set de parámetros de crecimiento por año calendario de la siguiente manera:

- Se ajustó de manera preliminar un modelo de crecimiento de von Bertalanffy por año calendario a los correspondientes datos de captura a la talla mensual usando la rutina ELEFAN I (Pauly, 1987; Mildenerger & Taylor, 2017)

$$L_t = L_\infty (1 - e^{-K(t-t_0)}) \quad (29)$$

donde:

L_t es la talla a un determinado tiempo t

L_∞ es la longitud máxima asintótica

K es la constante de crecimiento

t_0 es la edad de los peces cuando hipotéticamente tienen "longitud cero" (que dentro de la rutina ELEFAN I es reemplazado por t_{anchor})

- Se usaron los parámetros del modelo preliminar para construir una curva de captura con la que luego se corrigió los vectores de captura a la talla por efectos de la selectividad (limitada presencia de juveniles) (Pauly, 2013)
- Se añadió, en el mes correspondiente, los vectores de abundancia a la talla provenientes de los Cruceros de Evaluación



- Se ajustó un nuevo modelo de crecimiento anual (que esta vez incluyó la estacionalidad) a los correspondientes vectores de captura a la talla mensual complementados con los vectores de abundancia a la talla

$$L_t = L_\infty(1 - e^{-[K(t-t_0) + C\frac{K}{2\pi} \text{sen}(2\pi(t-t_s))])} \quad (30)$$

donde:

t_s es un parámetro estacional que define el momento del año en que la velocidad de crecimiento es mayor

C es un parámetro que define la amplitud de la estacionalidad del crecimiento

- (ii) se implementó un cluster jerárquico para clasificar el parámetro ϕ en relación a sus valores anuales
- (iii) se construyó un set único de parámetros de L_∞ y K para cada grupo identificado en la clasificación, paso que se cumplió de la siguiente manera:
 - Para un grupo dado, se usaron todos los sets de parámetros (casos) para estimar matrices de talla a la edad, tantas como sets de parámetros tenga el grupo. Las edades consideradas para estimar las matrices fueron respectivamente 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 y 3.0 años
 - Se ajustó sobre todos estos datos talla-edad un único modelo de crecimiento
 - Este mismo proceso se repitió para cada grupo identificado con la clasificación
- (iv) se asoció cada grupo identificado en la clasificación a las condiciones de anomalía de la temperatura superficial del mar (según el ICEN) registradas en los años correspondientes a cada uno de sus casos

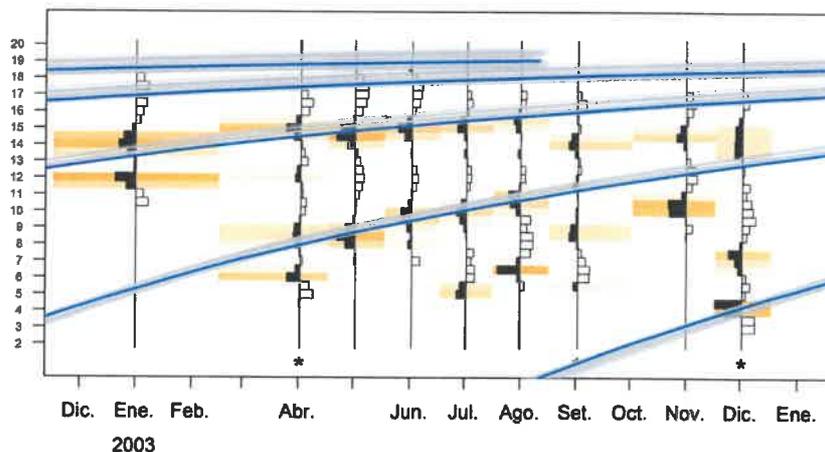


Figura 11: Ajuste del modelo de crecimiento de von Bertalanffy a la información de abundancia y captura a la talla observada durante el año 2003, usando la rutina ELEFAN I.



En la Figura 11 se presenta un ejemplo del ajuste del modelo de crecimiento a los datos observados de captura y abundancia a la talla. En la Figura 12 se presenta las series de parámetros estimados por año calendario. En la Figura 13 se presentan los resultados de la clasificación jerárquica de ϕ . Finalmente, en la Figura 14 y en la Tabla 4 se presenta respectivamente las curvas y parámetros de crecimiento sugeridos por escenario ambiental.

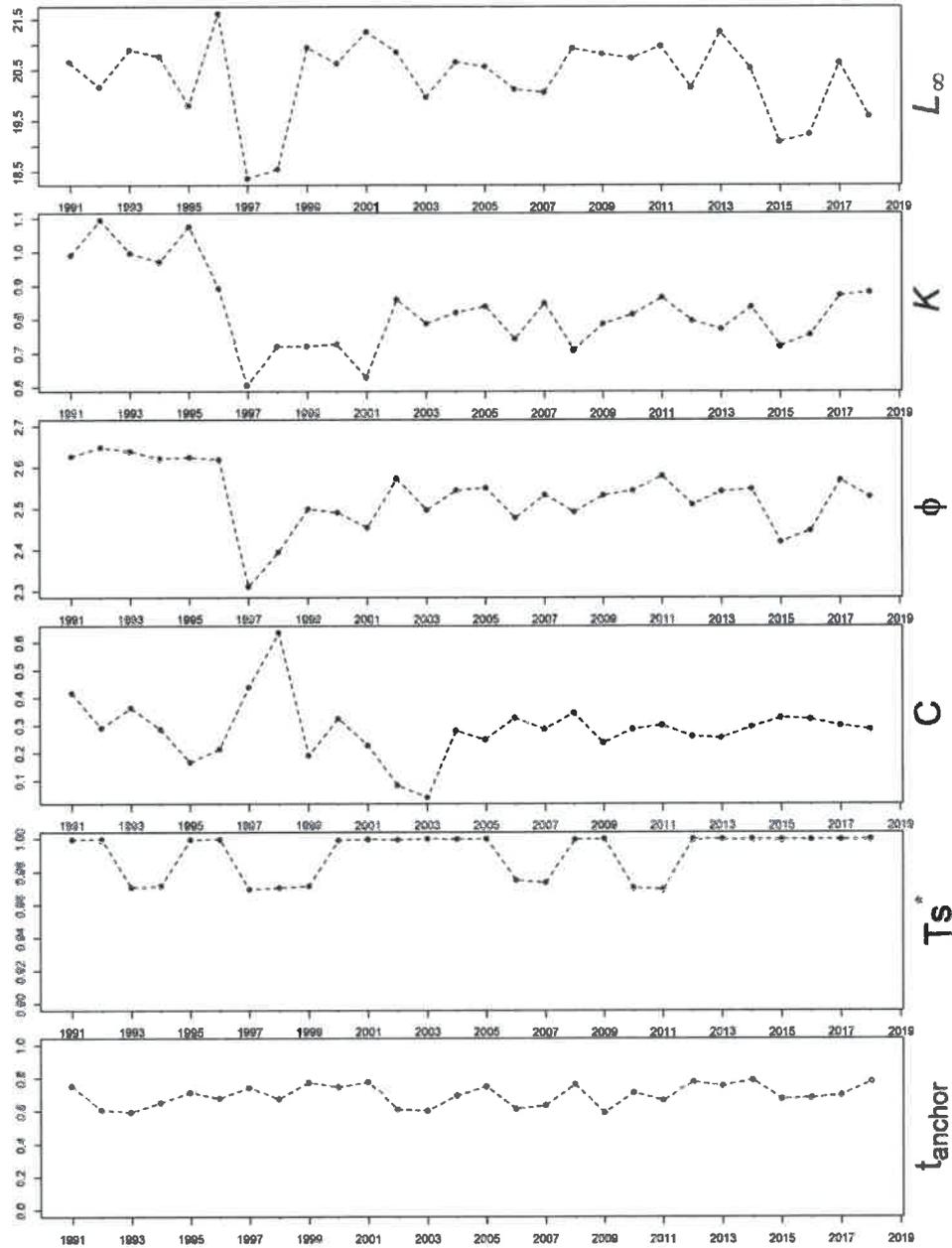


Figura 12: Parámetros de crecimiento estimados por año desde 1991 hasta 2018, usando la rutina ELEFAN I.



R. GUEVARA



M. NIQUEN



E. DIAZ A. (e)

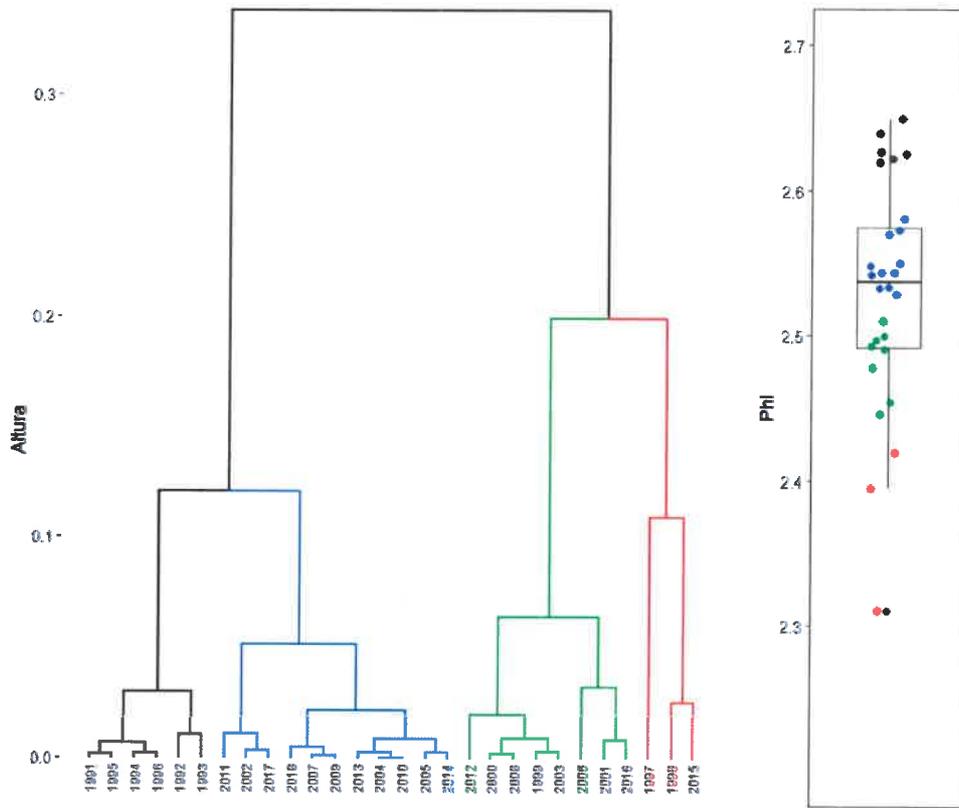


Figura 13: Resultados de la clasificación jerárquica de ϕ . Los colores indican los grupos de años con parámetros de crecimiento similares de acuerdo a lo identificado con el análisis de cluster jerárquico (HCA). El HCA fue construido utilizando el método de mínima varianza de Ward y la distancia euclidiana.

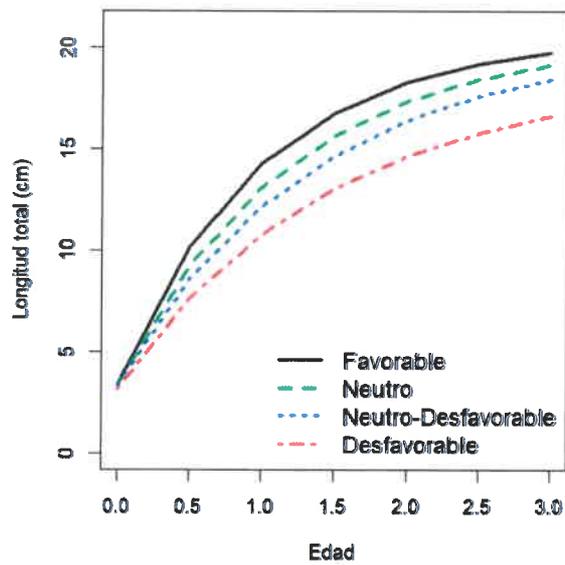


Figura 14: Curvas de crecimiento sugeridos por escenario ambiental.



Tabla 4: Parámetros de crecimiento sugeridos por escenario ambiental.

	Favorable	Neutro	Neutro-Desfavorable	Desfavorable
L_{∞}	20.63	20.59	20.37	18.62
K	1.00	0.84	0.73	0.68

Anexo 3

Parámetros de la ojiva de madurez sexual

Los parámetros de la ojiva de madurez sexual son usados durante las proyecciones para calcular la biomasa desovante por paso de tiempo y la que quedaría remanente al final de la proyección. La información utilizada para calcular los parámetros promedio de la ojiva de madurez sexual para el Stock Norte-Centro de la anchoveta provino de todos los Cruceros de Evaluación, con información disponible para este fin, realizados desde 1991 a 2019. El procedimiento consistió en ajustar un modelo de tipo logístico a todos los datos de proporción de individuos maduros a la talla disponibles.

$$m_l = \frac{1}{1 + e^{(p-ql)}} \quad (31)$$

donde

m_l es la madurez a la talla l

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

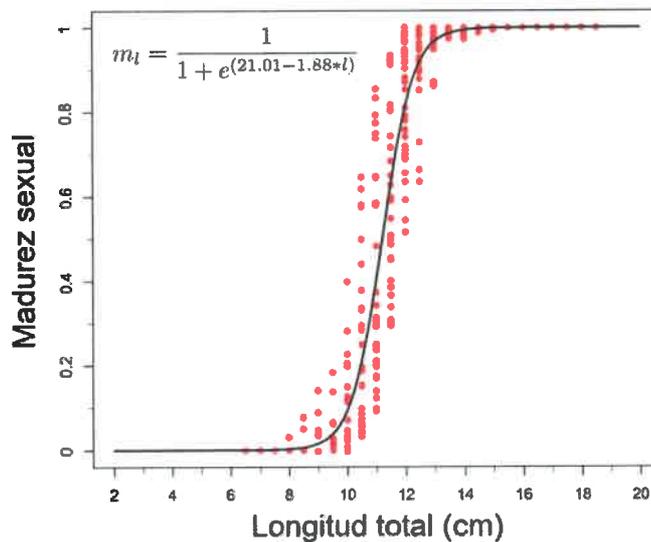


Figura 15: Ojiva de madurez.



De acuerdo a los resultados del ajuste del modelo, los parámetros promedio de la ojiva de madurez sexual para el Stock Norte-Centro de la anchoveta son $p = 21,01$ y $q = 1,88$ (Figura 15). Los valores de estos parámetros pueden ser usados para las proyecciones salvo que exista mejor información disponible.

Anexo 4

Parámetros de selectividad de las redes de cerco

Los parámetros de la selectividad de las redes de cerco son usados durante las proyecciones para estimar la fracción de individuos sobre los que se va a aplicar la mortalidad por pesca, también denominados individuos completamente reclutados a la pesquería. La información utilizada para estimar los parámetros promedio de la selectividad de las redes de cerco provino de dos fuentes: los vectores de captura a la talla correspondientes al primer mes de pesca de todas las temporadas (con información disponible) desarrolladas desde 1994 a 2019 y los vectores de abundancia a la talla de todos los Cruceros de Evaluación (con información disponible) realizados de manera previa a la apertura de dichas temporadas. El método consistió en usar un modelo logístico para estimar vectores de captura a la talla lo más parecidos posible a los vectores de captura a la talla observados durante el primer mes de pesca de las temporadas, asumiendo que estas tienen distribución multinomial y que son el resultado de la interacción entre las características de la red (parámetros de selectividad) y la estructura demográfica del stock (abundancia por tallas):

$$S_{L_i} = \frac{1}{1 + e^{(-\log(3)) * \frac{L_i - c}{d}}} \quad (32)$$

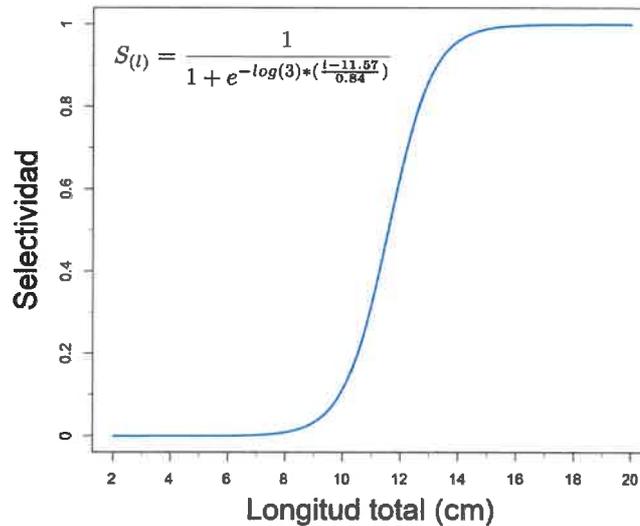


Figura 16: Curva de selectividad de las redes de cerco orientadas a la explotación del Stock Norte-Centro de anchoveta.



R. GUEVARA



M. NIQUEN



E. DÍAZ A. (e)

donde

S_{L_i} es la probabilidad de selección para un pez de longitud total L_i

c es el parámetro que establece la talla a la cual el 50% de los individuos son seleccionados (también conocido como L_{50})

d es el parámetro que define la pendiente de la curva de selectividad

De acuerdo a los resultados del ajuste se evidencia que una ojiva de selectividad con parámetros $c = 11,57$ y $d = 0,84$ (Figura 16) reproducen de manera bastante aceptable los vectores de captura a la talla observados durante el primer mes de pesca de las temporadas (Figura 17).

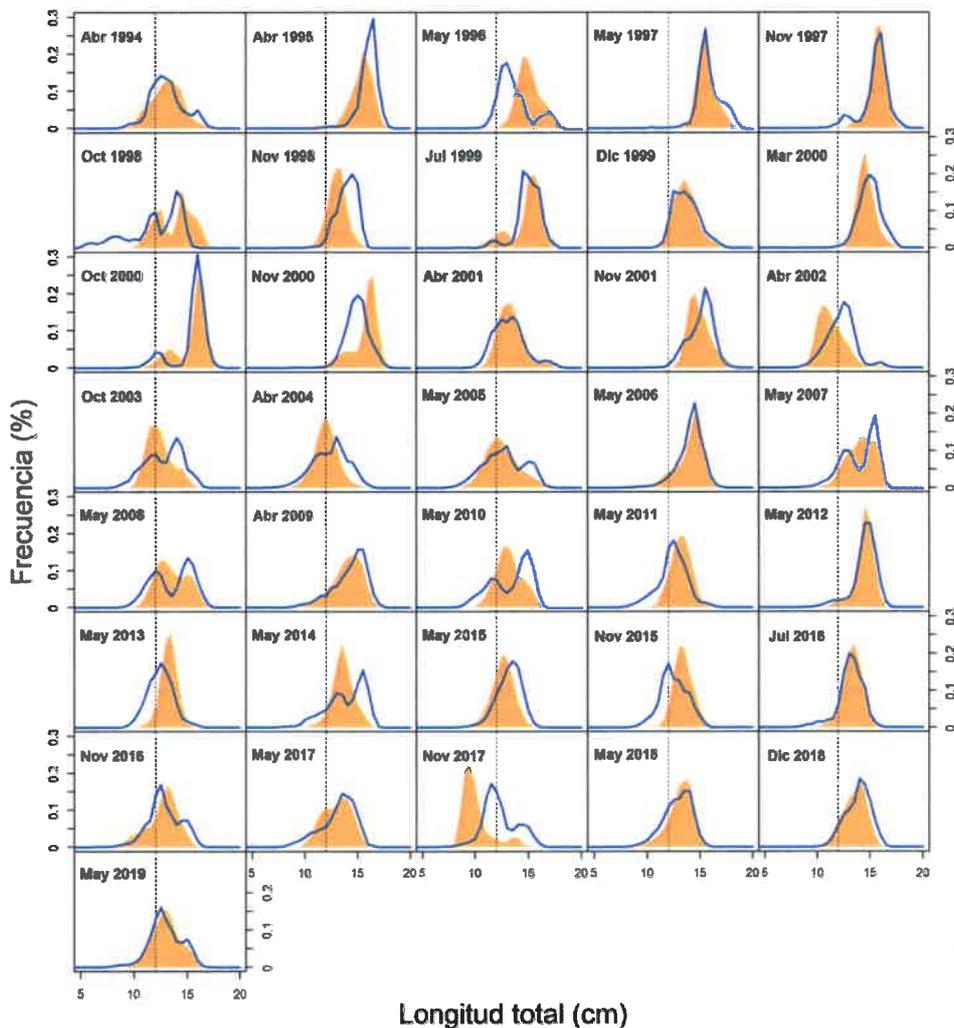


Figura 17: Vectores de captura a la talla observados (área sombreada) y estimados (línea) correspondientes a los primeros meses de pesca de las temporadas desde 1994 a 2019.



R. GUEVARA



M. NIQUEN



E. D'AZA. (e)

Anexo 5

Patrón semanal esperado de extracción de la cuota de captura en la pesquería de la anchoveta

Tal como se describe en la sección de proyecciones (Sección 4), una vez sugerida una tasa de mortalidad por pesca para una temporada, se procede a repartir este valor entre todas las semanas que se espera dure la temporada (horizonte de proyección). Hasta ahora, esta repartición se hacía de manera proporcional entre todas las semanas, bajo la asunción de que la mortalidad por pesca a aplicar en cada semana podía ser la misma. Sin embargo, el análisis de información actualizada sugiere que, en la mayoría de los casos, la flota intenta extraer rápidamente la cuota de captura asignada a una temporada, haciendo que las capturas de las primeras semanas sean altas y las capturas de las últimas semanas bajas. De acuerdo a estos resultados, y si se usa a la captura como proxy de la mortalidad por pesca, el esquema de repartición proporcional de la F de la temporada entre semanas debe ser reemplazado.

En esta sección se presenta el resumen de la estimación del patrón semanal esperado de extracción de la cuota de captura en la pesquería del Stock Norte-Centro de la anchoveta, patrón que se sugiere sea usado en la sección de proyección de la situación del stock bajo diferentes escenarios de explotación. Los pasos para la estimación fueron:

- (i) se calculó una curva de captura acumulada relativizada por semana para cada temporada de pesca (con información disponible) desde la temporada 2009-I a la 2019-I (periodo de vigencia del sistema de cuotas individuales de captura);
- (ii) se implementó un cluster jerárquico para clasificar las temporadas en función al patrón de extracción de las cuotas de captura por semana;
- (iii) se identificó el patrón más recurrente;
- (iv) se ajustó un modelo no lineal a la familia de curvas correspondiente al patrón más recurrente usando un Modelo Aditivo Generalizado (GAM). Este modelo permite estimar el patrón semanal de extracción de cuotas de captura, independientemente del número de semanas que una temporada puede tener

$$C_{acum} = \beta \cdot f(\text{semana}) \quad (33)$$

donde

C_{acum} es la captura acumulada por semana dentro de una temporada de pesca

$f(\text{semana})$ es la función no lineal que determina la forma de la curva de captura acumulada por semana

β es un parámetro a estimar

- (v) se reconvirtió la curva de captura acumulada relativizada estimada por el modelo a la fracción de captura que en promedio se espera obtener por semana. Esta fracción es usada como un proxy de la F a aplicar por semana.



Los resultados demuestran que entre la temporada 2009-I y la 2019-I se han observado 4 diferentes patrones de extracción de la cuota de captura, siendo el más común el que describe que la flota intenta extraer la cuota de captura lo más rápidamente posible (Figura 18). De acuerdo a este patrón, a la mitad de transcurrida la temporada la flota ha extraído el 84% de la cuota de captura (Figura 19). En la Tabla 5 se presenta la fracción de F a aplicar por semana, para una temporada de 10 semanas, de acuerdo a lo sugerido por el modelo.

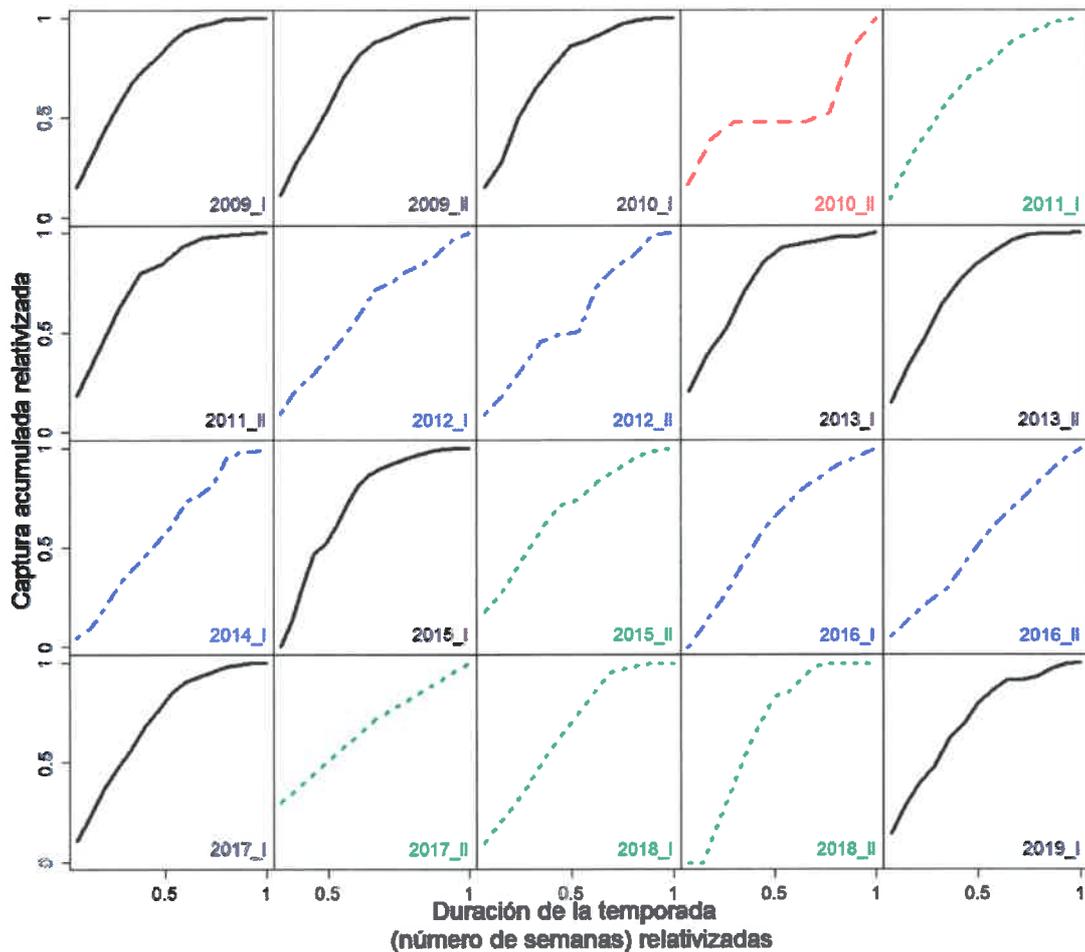


Figura 18: Curva de captura acumulada relativizada versus duración de la temporada relativizada para las temporadas de pesca (con información disponible) desarrollados desde la 2009-I a la 2019-I. Los tipos de línea indican los tipos de comportamiento identificados con un análisis cluster jerárquico (HCA). El HCA fue construido utilizando el método de mínima varianza de Ward y la distancia euclidiana.

INSTITUTO DEL MAR DEL PERU
DIRECCION EJECUTIVA TECNICA
R. GUEVARA

INSTITUTO DEL MAR DEL PERU
DGIRP
M. NIQUEN

INSTITUTO DEL MAR DEL PERU
AFIPERP
E. DIAZA (e)

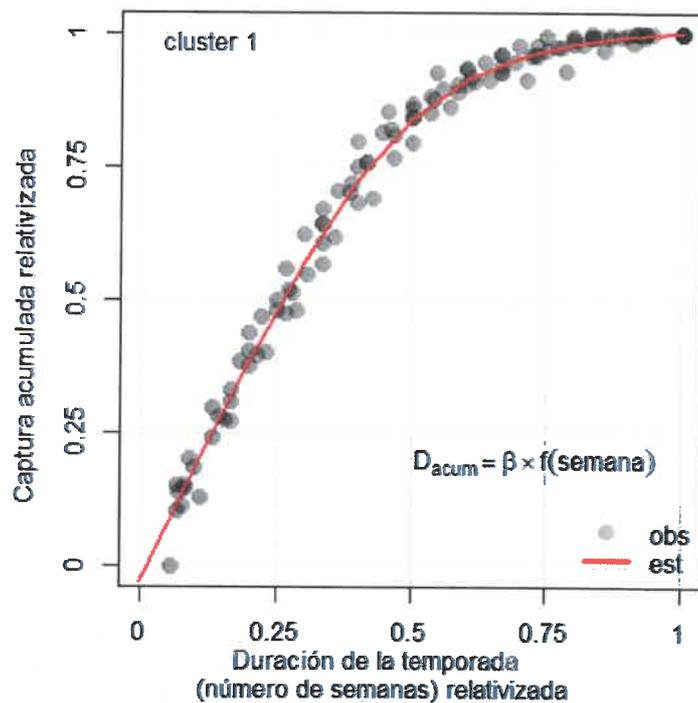


Figura 19: Patrón más recurrente de extracción de la cuota de captura estimado mediante un GAM.

Tabla 5: Repartición de F de la temporada por semana del horizonte de proyección para una temporada de 10 semanas.

Tiempo (t)	(%)F
0.10	18
0.20	21
0.30	18
0.40	16
0.50	11
0.60	7
0.70	5
0.80	2
0.90	1
1.00	1





IMARPE
www.imarpe.gob.pe
Teléfono: (051) 2088650
Esquina Gamarra y General Valle s/n
Chucuito - Callao