



PRIMER INFORME

Convenio de Desempeño 2020

Estatus y posibilidades de explotación biológicamente
sustentable de anchoveta y sardina española entre
la Región de Arica y Parinacota a la Región de Antofagasta, año 2021

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Septiembre 2020



PRIMER INFORME
Convenio de Desempeño 2020

Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentable de anchoveta y sardina española entre la Región de Arica y Parinacota a la Región de Antofagasta, año 2021

SUBSECRETARÍA DE ECONOMIA Y EMT / Septiembre 2020

REQUERENTE

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y
EMPRESAS DE MENOR TAMAÑO

Subsecretario de Economía y
Empresas de Menor Tamaño
Ignacio Guerrero Toro

EJECUTOR
INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO, IFOP

Director Ejecutivo
Luis Parot Donoso

Jefe (I) División Investigación Pesquera
Sergio Lillo Vega

JEFE PROYECTO

Fernando Espíndola Rebollo

AUTOR
Fernando Espíndola Rebollo
Ignacio Payá Contreras

COLABORADORES

Gabriela Böhm Stoffel
Francisco Leiva Dietz
Jessica Bonicelli Proaño



RESUMEN EJECUTIVO

El presente informe contiene la evaluación del stock de la anchoveta (*Engraulis ringens*) del sur de Perú y norte de Chile (XV-II Regiones) con información biológica-pesquera hasta el segundo semestre del 2019. El modelo de evaluación incorpora las biomassas totales acústicas del sur de Perú y del norte de Chile, la biomasa desovante estimada a través del método de producción diaria de huevos (MPH) de Chile, los desembarques y las estructuras de tamaños de las flotas comerciales para Perú y Chile y la abundancia a la talla del crucero acústico de Chile. Toda esta información permitió desarrollar el proceso de evaluación de stock, establecimiento de su estatus y su captura biológicamente aceptable (CBA). Además, se detallan los criterios empleados en el proceso de evaluación de stock, el peso estadístico que se entrega a cada conjunto de datos por separado y la estimación de los puntos biológicos de referencia (PBR).

El modelo de evaluación está estructurado de la siguiente manera, i) las observaciones en tallas son transformadas a edades por medio de una clave talla-edad-tiempo para las capturas comerciales de Chile y Perú, para el crucero acústico de Chile y para la biomasa desovante del MPH, ii) la mortalidad por pesca es semestral diferenciada por flota siguiendo un modelo doble-normal, iii) el reclutamiento es semestral y estimado a través de desviaciones desde R_0 , iv) la biomasa del crucero de Chile es predicha en la fecha en que fue observada en cada semestre, v) la biomasa desovante es predicha en la fecha en que fue estimada en el segundo semestre y vi) las capturas por edad son predichas en la fecha que ocurre la máxima captura en cada semestre. Esta configuración fue empleada en el proceso de evaluación de stock del año 2020, en el establecimiento de su estatus y CBA para el año 2021.

La información biológica empleada corresponde al crecimiento basado en el análisis de micro incrementos diarios de otolitos e indican que al año de vida alcanza una longitud media de 16.3 cm (Plaza *et al.* 2017), lo que implica una mortalidad natural de 2.2 año^{-1} y un extenso período de desove que ocurre desde agosto hasta el verano. Además, se emplean los pesos medios a la talla variables por semestres. La incorporación de estos antecedentes en el proceso de evaluación de stock de la anchoveta permitió establecer que la reducción de la biomasa desovante respecto de la biomasa desovante virginal (BD/BD_0) se ubicó en torno a un 1.09, valor que está por sobre el objetivo de manejo pesquero. El diagnóstico de stock de anchoveta compartido del sur de Perú y norte de Chile indica que el estado de situación al último semestre de la evaluación es de una mortalidad por pesca un 81% inferior al máximo definido por el F_{RMS} y una biomasa desovante un 118% superior a la B_{RMS} . Esta situación genera un riesgo nulo de definir el stock de anchoveta en un estado de sobrepesca ($F_{2019.5} > F_{RMS}$) y en un estado de sobreexplotación ($BD_{2019.5} < BD_{RMS}$).

El estado de explotación de la anchoveta al último semestre de la evaluación es explicado por: i) una baja mortalidad por pesca que ocurre durante los últimos años, ii) los altos valores de biomasa total observado en las evaluaciones directas para el sur del Perú y norte de Chile, iii) los altos valores de biomasa desovante estimados durante el 2018 y 2019 y iv) los antecedentes del crecimiento de la anchoveta (Plaza *et al.*, 2017). Estos cuatro elementos han llevado a que los niveles de biomasa desovante estimada por el modelo se situé por encima del objetivo de manejo pesquero, con una nula



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

probabilidad de que esté por debajo del RMS. La CBA para el año 2021, según el criterio del F_{RMS} , considerando el ponderador de reclutamiento neutro (1.0), y tomando en cuenta el escenario de los reclutamientos promedios observados en el primer y segundo semestre por separado, el valor de la CBA se debería limitar a un rango de 373 a 753 mil toneladas anuales para el nivel de riesgo del 10 y 50%, respectivamente. Ahora, si se considera un ponderador de reclutamientos bajo (0.8) y los mismos criterios mencionados anteriormente, el valor de la CBA se debería limitar a un rango de 299 a 603 mil toneladas anuales para el nivel de riesgo del 10 y 50%, respectivamente, para el stock compartido del sur de Perú y norte de Chile.



ÍNDICE GENERAL

	Página
RESUMEN EJECUTIVO.....	1
ÍNDICE GENERAL	3
1. OBJETIVOS.....	5
2. ANTECEDENTES.....	6
2.1. Distribución del recurso.....	6
2.2. Unidades de stock.....	8
2.3. Reproducción	8
2.4. Reclutamiento	8
2.5. Alimentación.....	10
2.6. Crecimiento	10
2.7. Pesquería.....	12
2.8. Variabilidad ambiental.....	14
2.9. Evaluación de stock	14
3. METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	17
3.1. OBEJETIVO ESPECÍFICO 1	17
3.1.1. Modelo conceptual	18
3.1.2. Datos de entrada al modelo de evaluación de stock	19
3.1.3. Modelo de evaluación de stock	20
3.2. OBJETIVO ESPECÍFICO 2	28
3.2.1. Estatus	28
3.2.2. Calidad de la información.....	31
3.3. OBJETIVO ESPECÍFICO 3	32
3.3.1. Captura biológicamente aceptable	32
3.3.2. Proyecciones del stock.....	36
3.3.3. Incorporación del descarte en la CBA	37
3.4. OBJETIVO ESPECÍFICO 4	38
3.4.1. Programa de mejoramiento continuo de la calidad de la asesoría científica	38
4. RESULTADOS	39
4.1. Objetivo específico 1	39
4.1.1. Modelo conceptual	39
4.1.2. Datos de entrada al modelo de evaluación de stock	42
4.1.3. Evaluación de stock	56
4.2. Objetivo específico 2	76
4.2.1. Estatus	76
4.2.2. Calidad de la información.....	82
4.3. Objetivo específico 3	83
4.3.1. Captura biológicamente aceptable	83
4.3.2. Proyecciones del stock.....	84
4.3.3. Incorporación del descarte en la CBA	92
4.4. Objetivo específico 4	93



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

4.4.1. Esquema de trabajo y plan de actividades.....	93
4.4.2. Mejoras realizadas al modelo de evaluación de stock	95
4.4.3. Avances en la reducción de brechas.....	96
4.4.4. Programa de trabajo año 2020.....	99
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN RESULTADOS	102
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105



1. OBJETIVOS

Objetivo general

Proveer la asesoría científica necesaria para la determinación del estado de explotación y la Captura Biológicamente Aceptable (CBA) que deberá mantenerse o llevar las principales pesquerías pelágicas nacionales al Rendimiento Máximo Sostenible (RMS), bajo condiciones de riesgo e incertidumbre, cuantificando las distintas fuentes e integrando la mejor información científica-técnica disponible.

Objetivos específicos

- i. Implementar procedimientos de evaluación de stock basados en protocolos científicos para la determinación del estatus de los recursos seleccionados con arreglo al nivel de conocimiento, información e incertidumbre correspondiente, conforme a los estándares actuales en ciencia pesquera.
- ii. Establecer el estatus actualizado de estos recursos, sobre la base de sus principales indicadores estandarizados de estado y flujo, incorporando, cuantificando y propagando la incertidumbre subyacente a la pesquería.
- iii. Determinar niveles de Captura Biológicamente Aceptable (CBA) que lleven y/o mantengan la pesquería en torno al Rendimiento Máximo Sostenible (RMS), a partir de un análisis de riesgo en condiciones de incertidumbre de no alcanzar los objetivos de conservación y sostenibilidad conforme lo establece la LGPA y contenidos en el Plan de Manejo y/o en el Programa de Recuperación respectivo, según corresponda.
- iv. Informar el avance del Programa de Mejoramiento Continuo de la Calidad de la Asesoría Científica (PMCCAC) realizado durante el presente estudio, respecto al cumplimiento de recomendaciones formuladas en procesos RPEI y priorizadas por el CCT, cuando corresponda.



2. ANTECEDENTES

2.1. Distribución del recurso

La anchoveta se distribuye principalmente entre los 4°LS hasta los 42°LS, distinguiéndose tres stocks; uno que va desde el norte y centro del Perú, otro que va desde el sur del Perú al norte de Chile (XV-II Regiones) y el último en la zona central de Chile (Claramunt *et al.*, 2012). Para este estudio, el área de distribución de la anchoveta está entre el sur de Perú y norte de Chile (16°00'LS -24°00'LS) en la cual la especie constituye una unidad stock independiente del norte-centro de Perú, norte-centro y centro-sur de Chile (**Figura 1**), siendo una unidad de stock y pesquería independiente (Cubillos *et al.*, 2007). Por ser un stock compartido entre dos países es considerado un recurso pesquero transfronterizo (Serra, 1983; Chirichigno y Vélez, 1998).

Es importante señalar que el stock de anchoveta del sur de Perú y norte Chile, se plantea como un stock independiente del stock de anchoveta de la III y IV región (Leal y Canales, 2014). Canales y Leal (2009) plantean que la anchoveta centro-norte podría corresponder a una unidad poblacional independiente de la ubicada al norte de los 25°LS, que recluta, crece y se reproduce en el área. Aunque no se reportan estudios formales a contestar esta pregunta, existen antecedentes que permiten plantear la hipótesis de su independencia del stock sur de Perú y norte de Chile. Los cruceros oceanográficos desarrollados en la década de 1980 muestran focos discretos de desove (huevos y larvas) de anchoveta en las bahías de Caldera y Coquimbo (Rojas *et al.*, 1983). Esto sugiere que la zona centro-norte de Chile podría representar un hábitat favorable para la anchoveta particularmente en las bahías de Caldera y Coquimbo, donde existen patrones de circulación y focos de surgencia (Valle-Levinson y Moraga, 2006) que podrían facilitar la retención y desarrollo de la anchoveta en estas bahías. Serra y Gil (1975) estudiaron la migración del stock de la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile mostrando la ocurrencia de intensos y amplios movimientos migratorios hacia el sur de Perú en invierno y verano. Menos intensos y amplios son los movimientos migratorios de anchoveta con dirección hacia los 24°LS. Un estudio similar fue realizado en 1997 (Martínez *et al.*, 1998) mostrando similares resultados en términos de dirección e intensidad de las migraciones. Se plantea que en la zona comprendida entre los 24°LS y 25°LS al parecer no existirían las condiciones oceanográficas para permitir un flujo continuo que permita la residencia de focos anchoveta entre ambas zonas (Serra, com. pers.). Las poblaciones de Caldera y Coquimbo habrían surgido cuando en algunos años (y por razones ambientales, e.i. El Niño), la anchoveta de la zona norte expande su distribución hacia el sur de los 24°LS, colonizando las bahías de Caldera y Coquimbo donde procesos oceanográficos permiten el crecimiento y desarrollo de poblacionales locales de anchoveta. Sin embargo, esta hipótesis no ha sido demostrada aún.

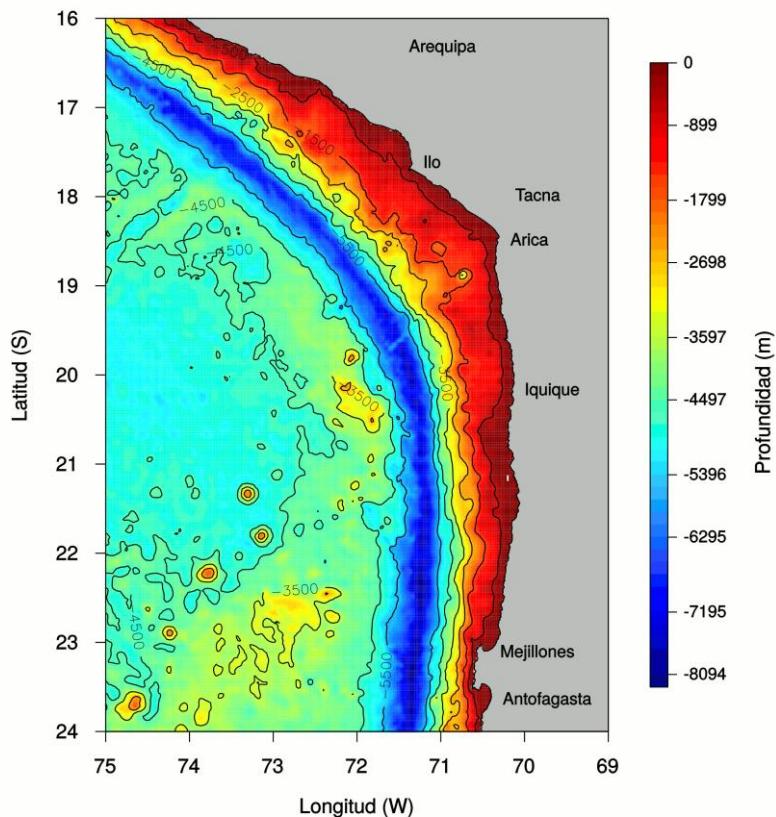


Figura 1. Área de distribución del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile, distribuido entre los 16°LS - 24°LS (FUENTE: Modelo Global de Elevación Batimétrico, ETOPO1-NOAA).

En esta zona, la surgencia costera del norte de Chile se caracterizada por ser débil y continua (Blanco *et al.*, 2001), con altos valores de clorofila (5 mg m^{-3}) restringidos a una estrecha banda costera (~20 km desde la costa), con un máximo ciclo anual en primavera-verano que es coincidente con el máximo ciclo anual del viento (Hormazabal *et al.*, 2001; Correa-Ramírez *et al.*, 2007; Correa-Ramírez *et al.*, 2012). El ciclo de vida de la anchoveta está asociado a temperaturas que van desde los 12° a 23°C (Silva *et al.*, 2012; Claramunt *et al.*, 2012), con una distribución dentro de las 50 mn de la costa y donde casi el 70% de las capturas de la flota industrial se desarrolla dentro de las primeras 20 mn durante los últimos diez años (Böhm *et al.*, 2016). En esta franja costera la productividad biológica es alta debido al incremento de la abundancia del plancton producto de la surgencia costera. En la escala interanual, el principal forzante físico está asociado con ciclo ENOS que determina una baja captura producto de una profundización de la anchoveta afectando su disponibilidad y accesibilidad. Además, durante un evento cálido la anchoveta presenta un desplazamiento al sur de la zona de estudio (Yáñez *et. al.*, 1995; Ñiquen y Bouchon, 2004).



2.2. Unidades de stock

Recientes estudios han determinados el número de unidades poblacionales (demográficas) de anchoveta *Engraulis ringens* desde la región de Arica hasta la de Los Lagos, a través de la aplicación de múltiples metodologías de análisis: análisis químico de otolitos (isótopos estables y microelementos), fauna parasitaria, análisis de micro incrementos de otolitos, morfología de otolitos y análisis de marcadores moleculares. La integración de los métodos de análisis mostró fuerte evidencia de que la zona 3 (Valparaíso-Los Lagos) corresponde a una unidad demográfica claramente separada de las zonas 1 (Arica-Antofagasta) y 2 (Copiapó-Coquimbo), con niveles de mezcla inferiores al 5%, mientras que se encontró evidencia de que las zonas 1 y 2 presentan niveles mayores de mezcla, entre 21 y 26%. Además, se debe considerar que las tasas de mezcla antes señaladas pueden variar a escala interanual y que pueden ser producto de dispersión durante las fases tempranas de huevos y larvas; y/u otros procesos advectivos que afecten las primeras fases de la progenie siendo además afectadas por cambios ambientales y/o en el tamaño de la población (Niklitschek *et al.* 2017).

2.3. Reproducción

La anchoveta es un desovante parcial, es decir, en un periodo determinado es posible encontrar ejemplares en diferentes estados de madurez sexual. Además, la anchoveta desova en tandas para producir un vasto número de pequeños huevos sobre un extenso periodo de desove que va desde mediados de agosto hasta el verano (Plaza *et al.*, 2012; Claramunt *et al.*, 2012), con una máxima intensidad que ocurre desde agosto a septiembre y otra desde diciembre a enero (Contreras-Reyes *et al.*, 2016). En este extenso periodo de desove (**Figura 2**), en el cual el 60% del ciclo anual el índice gonadosomático está por un valor sobre 5 (valor que señala que el 90% o más de las hembras están sexualmente activas, confirmado mediante análisis histológico), la anchoveta desova en sitios asociados a altas concentraciones de clorofila (Claramunt *et al.*, 2012), ya que esta variable ambiental es un buen indicador de la producción primaria (Longhurst *et al.*, 1995) y por ende de la disponibilidad de alimento. Basilone *et al.* (2006) demostraron que los niveles de clorofila afectan la intensidad del desove y el factor de condición. La madurez a la talla de la anchoveta ha sido estudiada por Martinez *et al.* (2009), cuya talla media de madurez corresponde a 11.5 cm en longitud total.

2.4. Reclutamiento

Se define como reclutas a los ejemplares menores a 11.5 cm de longitud total e históricamente el ingreso de estos se ha observado desde octubre hasta marzo, sin embargo, durante los últimos años se ha detectado una mayor presencia de reclutas desde abril hasta agosto (Böhm *et al.*, 2016). Sin embargo, la distribución de longitudes observada por el crucero hidroacústico estimó un 73% de reclutas, distribuyéndose los ejemplares entre 2.5 y 16 cm (Leiva *et al.*, 2016), con una alta presencia de individuos de 2.5 y 5 cm asociados a la franja costera. Durante la fase cálida del evento ENOS se observa un alto porcentaje de ejemplares menores a los 12 cm, alcanzando un 70% la presencia de reclutas en las capturas de la flota industrial (Bertrand *et al.*, 2004; Böhm *et al.*, 2016). Además, durante el último tiempo

se ha observado una disminución de las tallas medias en la flota industrial, donde la falta de ejemplares adultos ha estado ausente en los últimos años. La distribución de longitudes en las capturas de la flota industrial chilena muestra un patrón unimodal con una talla media de 14.7, 14.1, 13.0, 12.1, 12.6 y 13.2 cm en el 2013, 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018 respectivamente. Durante los últimos diez años, la biomasa de este recurso ha registrado una importante reducción producto de una tendencia negativa en los reclutamientos y un aumento de la mortalidad por pesca (Espíndola y Quiroz, 2017). Sin embargo, en los últimos cruceros de evaluación directa realizados en la zona norte de Chile han registrado biomassas de reclutas por sobre el promedio histórico, cambiando la tendencia de anomalías negativas a positivas en los reclutamientos. Esto debido principalmente a que el reclutamiento del 2016 es uno de los mayores registrados en la última década, superior en un 24% al reclutamiento observado en el 2015, y muy similar al observado en el 2014. Es decir, durante los años 2015-16-17 se han registrado un valor medio de 241 ± 28 mil toneladas de reclutas. Aunque, la biomasa de reclutas observados a finales del segundo semestre del 2017 alcanzó un valor cercano a las 41 mil toneladas (Leiva et al., 2018), lo que representa una disminución del 84% con respecto a la estimación de biomasa de reclutas hecha en el primer semestre del 2017. Sin embargo, a finales del 2018 se registró un valor de 596 mil toneladas de reclutas, valor más alto de la serie historia desde que se hace el crucero acústico (1996) en el norte de Chile.

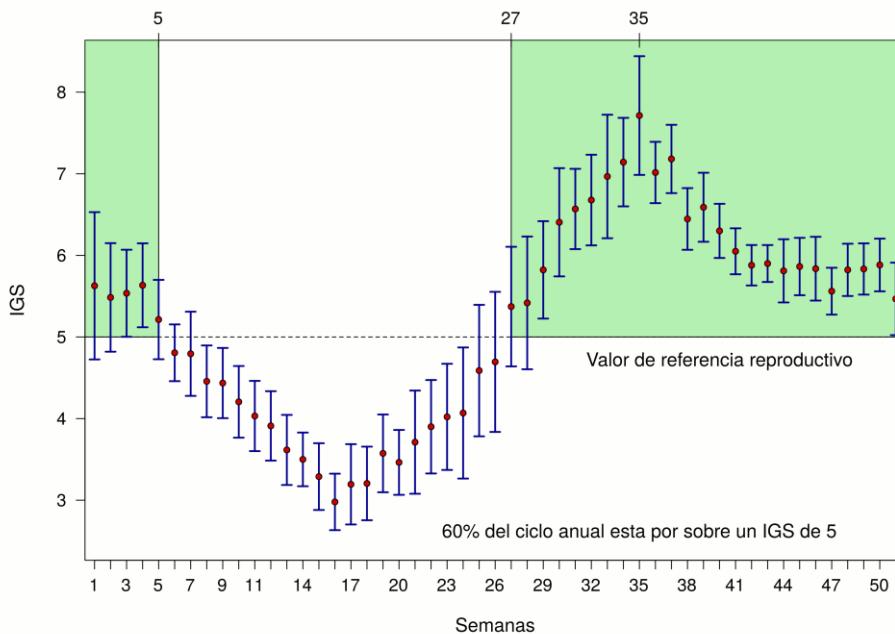


Figura 2. Ciclo anual del índice gonadosomático en escala semanal construido a partir de los datos recolectados por el monitoreo reproductivo en la zona norte de Chile desde el año 2000 al 2018. La línea punteada en un valor de 5 señala el inicio de la actividad biológica (FUENTE: IFOP).



2.5. Alimentación

La anchoveta se alimenta de fitoplancton y zooplancton, con una alta predominancia de fitoplancton por sobre zooplancton en 2.5 órdenes de magnitud (Medina *et al.*, 2015). Los componentes de mayor importancia relativa en la dieta fueron las diatomeas en el fitoplancton y los copépoda dentro del zooplancton, con un claro patrón oportunista y depredador generalista de la anchoveta en la zona norte de Chile. Durante los estadios larvales, el principal ítem alimenticio es el fitoplancton y posteriormente el zooplancton (Yáñez-Rubio *et al.*, 2011).

2.6. Crecimiento

Estudios recientes, utilizando análisis de microestructura de los otolitos, han reportado un crecimiento muy acelerado en la fase juvenil en algunas especies, incluido *Engraulidos*, lo que parece ser indicativo que estas especies alcanzan una porción significativa de sus longitudes asintóticas al finalizar el primer año de vida (Cerna y Plaza, 2016). En este contexto, se ejecutó el proyecto FIP 2009-17 que buscaba ajustar la asignación de edad anual, desde el análisis de microestructura de otolitos, que permitiera consignar la edad correcta de ejemplares que son producto de un reclutamiento prolongado en la zona norte de Chile. Los juveniles de esta especie crecieron a tasas muy elevadas, donde los reclutas de entre 11 y 12 cm de longitud total tenían entre 4 y 5 meses de edad. También se pudo determinar la edad diaria en ejemplares mayores a 12 cm de longitud total, reportándose que ejemplares de entre 15 y 16 cm no tenían más de 400 días de vida. Posteriormente, un segundo proyecto de investigación fue ejecutado (SUBPESCA N° 4728-31 LP 11), el cual permitió validar la periodicidad diaria de formación de los micro incrementos primarios en juveniles y adultos de esta especie en condiciones de confinamiento, lo que ratificaba los resultados del FIP 2009-17. Y Finalmente, un último proyecto FIP 2014-31 permitió confirmar la determinación y asignación de la edad de la anchoveta en la XV-II Regiones. Este proyecto concluyó que la determinación de la edad a nivel diario es altamente confiable para la anchoveta, *Engraulis ringens*, en la zona norte de Chile. Esta secuencia de proyectos involucrados en la determinación de la edad de la anchoveta es mostrada en la Figura 3.

También se han usado otolitos de peces de anchoveta capturados entre enero y julio del 2015, cuyos 47 otolitos se les contó el número de incrementos desde el segundo anillo concéntrico que rodea el primordio central hasta el borde del otolito. Las fechas de nacimiento fueron calculadas substrayendo a la fecha de captura la edad total en días. Los peces capturados correspondieron a juveniles de entre 8.5 y 12.5 cm de longitud total con edades que fluctuaron entre 97 y 167 días, que corresponden a peces nacidos entre julio y diciembre del 2014 y una menor cantidad entre enero y abril (Böhm *et al.*, 2016). Entonces, la edad de reclutamiento de la anchoveta varía entre los 92 (3^{er} mes) y 191 días (6^{to} mes) desde la eclosión. Estos resultados son coincidentes con los reportados por Simpson y Buzeta (1967) que señalan dos nacimientos, uno durante el otoño (feb-abr) y el otro en primavera (jul-nov), con un coeficiente de crecimiento (*k*) de 1.6 año⁻¹ y una longitud asintótica (*L_{inf}*) de 16.9 cm. También Saetersdal y Valdivia (1964) reportan para el Perú una descendencia de verano y otra de primavera, con la entrada de peces juveniles durante octubre-enero y otra en marzo-junio, esta última contiene una alta proporción de peces de pequeño tamaño por debajo de los 12 cm.

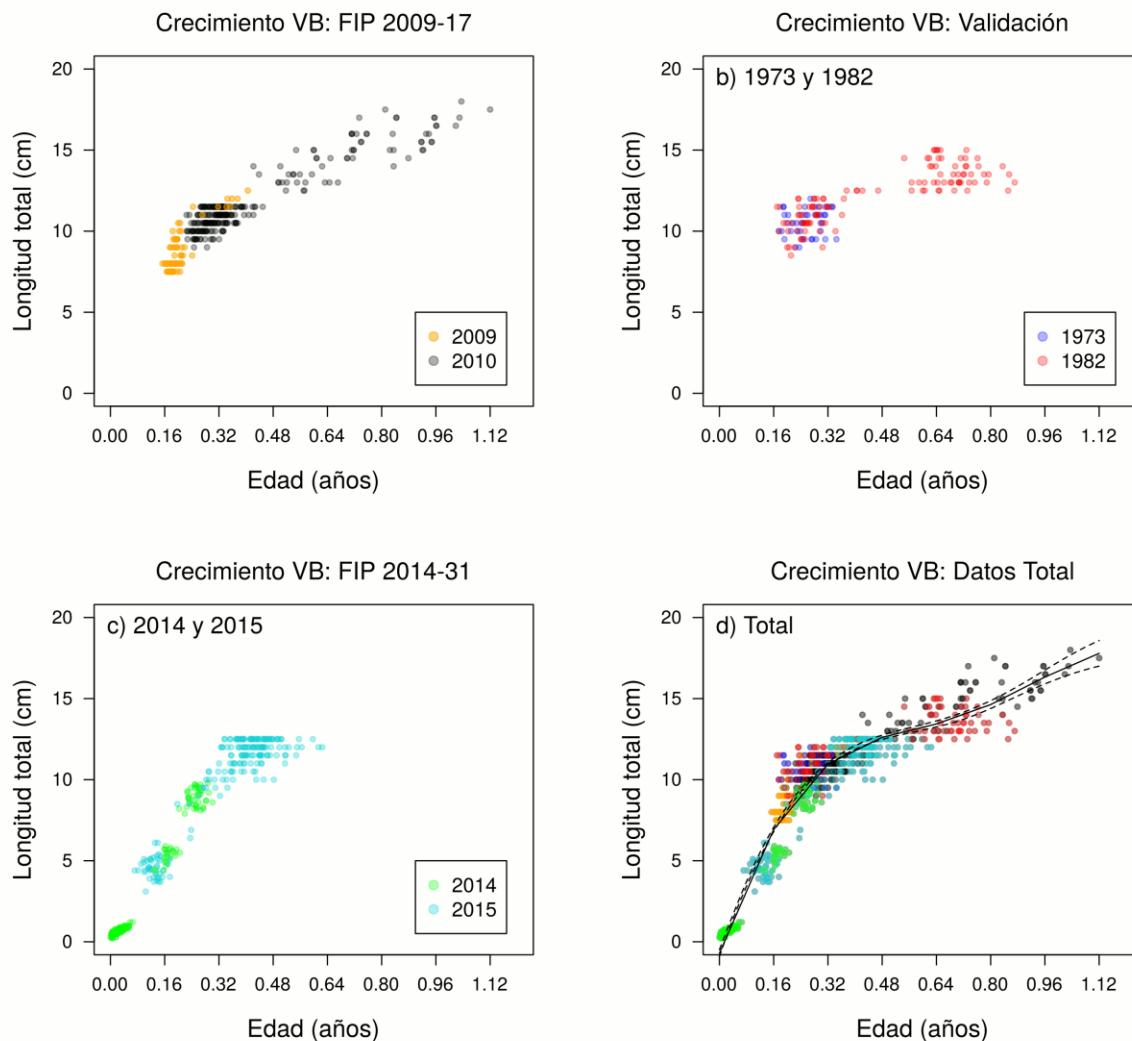


Figura 3. Diferentes proyectos que dan cuenta del modelo de crecimiento de la anchoveta en la zona norte de Chile, en el panel d) se resumen todos los datos juntos de los diferentes proyectos.

Reconfigurando los datos de micro incrementos diarios (otolitos) hacia una escala de paso de tiempo mensual, como se puede apreciar en la **Figura 4**, esta indica que a los tres meses de edad hay individuos de 4 y 12 cm de longitud total dependiendo del año en que fueron recolectados los peces, mostrando la alta variabilidad que presenta el crecimiento de la anchoveta en los primeros meses de vida. Estos resultados indican que habría individuos madurando sexualmente a los 3 meses para los años 1973, 1982

y 2009. En cambio, para los seis meses de edad, más de la mitad de los individuos (64%) están maduros sexualmente (caja celeste en la **Figura 4**).

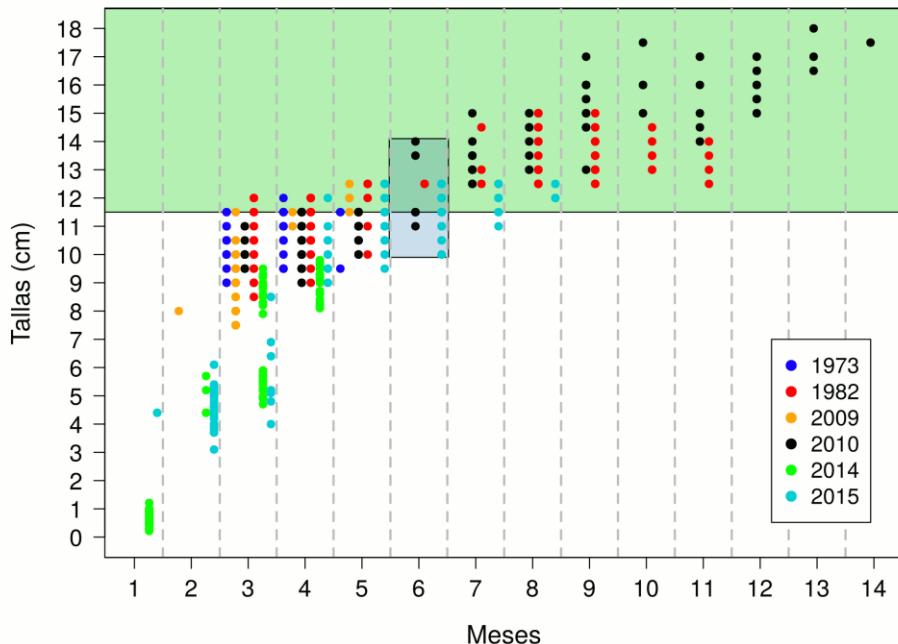


Figura 4. Reconfiguración de los datos de crecimiento de la anchoveta de la zona norte de Chile a una escala de tiempo mensual. La caja verde contiene los individuos sexualmente maduros que corresponde a tallas mayores e igual a 11.5 cm. Y la caja celeste contiene a los individuos de seis meses de edad con un intervalo de tallas que va desde los 10 a 14 cm de longitud total.

2.7. Pesquería

La anchoveta es el recurso objetivo de la pesquería pelágica de cerco de la zona norte de Chile, localizada en la Región de Arica y Parinacota, Región de Tarapacá y la Región de Antofagasta. La pesquería de anchoveta del norte de Chile ($18^{\circ}20'LS - 24^{\circ}00'LS$) ha reportado en promedio 1.271 (± 713 mil) millones de toneladas anuales de desembarque desde el año 1984 hasta el 2017, lo que representa una alta importancia a la economía regional y de empleos directos e indirectos, con el consiguiente beneficio económico y social. Los desembarques de la anchoveta en el norte de Chile han presentado fuertes variaciones en la historia de la pesquería, en particular, las capturas fueron bajas en el 2009 y 2010 alrededor de un 46% bajo el promedio 1984-2012 de 809 mil toneladas. Esta situación también se observó en la pesquería del sur del Perú donde en particular los años 2010 y 2013 se observó una disminución de las capturas de más de un 47% bajo el promedio 1984-2012 de 552 mil toneladas. A pesar de que el

desembarque de ambos países sufrió un incremento relativo en el año 2011 (1.5 millones de toneladas), en el año 2012 y 2013 se observó una disminución del desembarque total respecto al 2011. Durante el año 2014 (1 millón de toneladas) se observó un repunte del desembarque respecto de semestres equivalentes en años anteriores. En el 2015, el desembarque disminuye levemente para alcanzar las 926 mil toneladas, pero en el 2016 se registró el valor más bajo durante los últimos diecisiete años, con un registro cercano a las 397 mil toneladas totales (**Figura 5**). Durante el 2017 este valor aumenta por sobre las 700 mil toneladas anuales para el stock compartido de anchoveta, sin embargo, en el 2018 este valor aumenta hasta las 971 mil toneladas anuales, superando la cuota de captura en 211 mil toneladas. En el 2019 este valor alcanzo las 719 mil toneladas, valor por debajo de la cuota correspondiente a 760 mil toneladas.

Estacionalmente, el análisis promedio histórico (2008-2012) de las capturas de anchoveta señalan que éstas se concentran en los siete primeros meses del año, aportando con el 87% del volumen del año, situación distinta a lo observado en los últimos años donde éstos se han focalizado en sólo dos a tres meses. Al respecto, en el 2014 el 89% de los desembarques se registraron en abril y mayo, mientras que en el 2015 el 78% se concentró en mayo y junio. En el 2016 el 73% de las capturas se focalizó en mayo y junio, siendo nulos a partir de septiembre para la región sur del Perú. En el norte de Chile, la captura de anchoveta se concentra en los meses de marzo (2014) y abril (2015). En cambio, en el año 2016 el 77% de las capturas se concentraron en cuatro meses (abril-julio), siendo junio el valor máximo. En el 2017, el 60% de las capturas se concentraron en tres meses (feb-abr), con marzo con el mes de máxima captura.

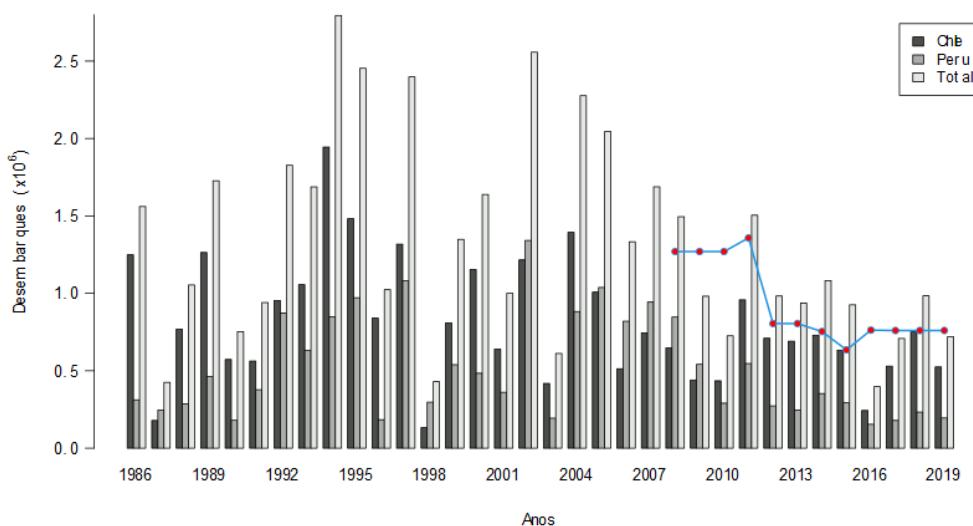


Figura 5. Desembarques (t) por país para el stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. Los puntos rojos indican las cuotas de capturas asignadas para esta pesquería.



2.8. Variabilidad ambiental

Una de las principales características que presentan los pequeños peces pelágicos es su alta variabilidad en el tamaño de su población debido a las fluctuaciones ambientales en diferentes escalas de espacio y tiempo. El principal forzante de los cambios interanuales de las condiciones atmosféricas y oceanográficas está asociado al fenómeno El Niño Oscilación del Sur (ENOS). Durante la fase cálida del ENOS se produce una disminución de la abundancia relativa de la anchoveta, con una profundización y distribución más costera, afectando la disponibilidad a la flota industrial. Además, de una alta presencia de juveniles por sobre los adultos (Bertrand *et al.* 2004). Durante la última fase cálida del ENOS (2015-16) se observó una talla modal de 12.5 cm en las estructuras de las capturas de la flota industrial (CIAM, 2017) donde los ejemplares mayores a 16 cm no fueron observados. Es decir, las tallas medias han ido disminuyendo durante los últimos años y los buenos reclutamientos observados en los tres últimos cruceros no se han traducido en ejemplares adultos, lo que refleja un claro efecto del calentamiento de la temperatura del mar debido a la fase cálida del ENOS. Y más aún, si consideramos los efectos del cambio climático (Bowler *et al.*, 2017) y la alta probabilidad de que eventos “El Niño” se hagan más frecuentes como resultado del calentamiento global (Hansen *et al.*, 2006; Cai *et al.*, 2014).

2.9. Evaluación de stock

Desde el año 2002 y hasta el 2010, la evaluación de stock de anchoveta estuvo basada en un modelo estadístico de captura a la edad (MECE). En octubre del 2010 se introdujo como una alternativa un modelo estadístico de captura a la talla (MECT). Este cambio se debió a las dudas existentes en la asignación de la edad de la anchoveta, y también porque la escala anual no representaba de manera adecuada la dinámica del recurso debido al extenso período de desove, es decir, con un máximo marcado a mediados de agosto y otro de menor intensidad a comienzo del año, **Figura 2**, donde a comienzos del año el índice gonadosomático alcanzan valores mayores 6 y esta característica del desove hace que se observen reclutas durante todo el año.

Considerando estos aspectos y para independizarse de la determinación de la edad se optó por usar: i) la estructura de tallas de las capturas como variables observadas, pero se continuó con una dinámica en edades a través de la simulación de una clave talla-edad, constante en el tiempo; ii) para dar cuenta del extenso período de desove y de reclutas durante gran parte de año, se trabajó a escala semestral asumiendo la existencia de dos reclutamientos y dos desoves por año. Estas dos modificaciones al modelo de evaluación de stock (MECE) llevaron a concluir que el modelo MECT mejoraba el ajuste y además representaba mejor la dinámica del recurso (Serra y Canales, 2011). Una siguiente modificación al modelo de evaluación tuvo lugar en septiembre de 2012 (Serra y Canales, 2012) cuando se introdujo la diferenciación por flotas debido a que los patrones de explotación parecían ser distintos en Perú y Chile lo que se observa en la composición de tallas de la captura, esto a sugerencia del Taller de Evaluación de Recursos de junio de 2012 (Serra y Canales, 2012). La modificación introducida si bien no generó diferencias significativas desde el punto de vista de las variables de estado del stock y del ajuste del modelo, si permitió representar mejor la vulnerabilidad del stock por ambas flotas (Serra y Canales, 2013).



A pesar de las mejoras introducidas a la evaluación de anchoveta y al hecho que el modelo es considerado en desarrollo, la incertidumbre en la edad y en el crecimiento, y la falta de sensibilidad del modelo a los índices de abundancia motivaron el Taller de Revisión de la Evaluación de Stock de Anchoveta del Norte de Chile con la participación del experto internacional en evaluación de recursos pesqueros Dr. Chris Francis (Canales *et al.*, 2014). El Taller dio cuenta de la revisión de los datos, el modelo de evaluación y la identificación de las principales fuentes de incertidumbre. En la oportunidad se revisó cada fuente de información utilizada en la evaluación, y se realizaron algunas modificaciones buscando consistencia y evidencia entre el (los) indicador (es) y el proceso modelado. Se examinó el modelo de evaluación y sus supuestos estableciéndose un modelo base el cual estuvo asentado en una modificación del MECT considerando dos flotas (Serra y Canales, 2013) pero donde se ha independizado la estimación de la tasa de crecimiento, k , de la longitud asintótica (L_∞) siguiendo la aproximación de Schnute y Fournier (1980). Posteriormente, y utilizando el modelo base se realizó un análisis de sensibilidad a las piezas de información y supuestos del modelo. Esto permitió identificar las principales fuentes de incertidumbre en la evaluación y recomendaciones de estudios posteriores orientados a mejorar la evaluación de stock de anchoveta.

Uno de los temas prioritarios durante muchos años ha sido la incertidumbre asociada a la determinación de la edad de la anchoveta. Estudios recientes han reportado que el recurso tiene un crecimiento más rápido que el usado en las evaluaciones de stock históricas. Este crecimiento muestra que esta especie alcanza una porción significativa de su longitud asintótica al finalizar su primer año de vida (Plaza *et al.*, 2017). Estos antecedentes inducen cambios relevantes en la dinámica de la especie, los que se ven reflejados en los casos de evaluación de stock que fueron implementados en el primer informe de estatus (Espíndola y Quiroz, 2017). En este informe se dio cuenta de diez análisis, seis en términos del crecimiento y cuatro en términos de la productividad, determinándose que la mayor reducción de la verosimilitud total se produce en términos del crecimiento, con un $k=2.12 \text{ año}^{-1}$ y $L_{\inf} = 17.55 \text{ cm}$.

Dado el nuevo modelo de crecimiento y la incertidumbre que este género en la evaluación de stock, durante los días 11 al 13 de marzo del 2019 se realizó el taller de revisión por pares del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile por el Dr. James Ianelli, experto del centro de ciencia pesquera de Alaska de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). El taller dio cuenta de la revisión de los datos usados en la evaluación de stock, el crecimiento de la anchoveta basado en micro incrementos diarios y el supuesto de mortalidad natural usado, las hipótesis estructurales que definen el modelo conceptual de la pesquería de la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. Además, se revisó la dinámica poblacional, los modelos de los procesos y error, la configuración del modelo de evaluación. Y finalmente, se revisaron los ajustes del modelo de evaluación a los datos usados, las variables poblacionales estimadas por el modelo, el desempeño del modelo, análisis retrospectivo, puntos biológicos de referencia y estatus del recurso estudiado.

Posterior a la revisión por pares hecha por el Dr. Ianelli, durante los días 8 al 12 de julio del 2019 en dependencias del IFOP, Valparaíso, se realizó el taller de sensibilidad de la evaluación de stock frente a diferentes casos de análisis (“benchmark”) en la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile con la colaboración de la Dra. Carolina Minte-Vera de la Comisión Inter-Americana del Atún Tropical (IATTC),



cuyo objetivo fue cooperar en la implementación de las sugerencias de mejoras priorizadas en el proceso de revisión por pares, en caso de que dicho proceso no sugiera un cambio estructural del enfoque de modelación (sólo mejoras al modelo actual). En su defecto, (si se sugiere un cambio estructural del modelo) contribuir en el desarrollo e implementación del modelo base. Como el Dr. Ianelli recomendó hacer mejoras al modelo actual de evaluación y valido el enfoque de modelación empleado en las últimas evaluaciones. En este taller se implementaron las recomendaciones emanadas de la revisión pares y se exploraron otras modificaciones para mejorar el modelo, y el resultado de este taller propuso un modelo base que podría ser usado para el manejo pesquero. Posterior a este taller, se ha continuado mejorando el modelo de evaluación, debido al objetivo de este proyecto, el programa de mejoramiento continuo de la calidad en la asesoría científica, implementando una selectividad de tipo doble-normal, con la capacidad de convertirse en logística en caso que los datos así lo ameritan, esta mejora permite lidiar con las altas mortalidades por pesca que se observan con el modelo logístico (las que alcanzan el límite superior establecido en el modelo) y que repercuten en el análisis retrospectivo cuando se registran las altas abundancias totales estimadas a través del método acústico y las bajas capturas que se registraron durante el periodo 2015-2017. Además, se han introducidos mejoras en cuanto a los datos usados por el modelo de evaluación, como es la incorporación de los pesos medios variables por semestre desde el año 2001 en adelante.



3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

3.1. Objetivo Específico 1.

Implementar procedimientos de evaluación de stock basados en protocolos científicos para la determinación del estatus de los recursos seleccionados con arreglo al nivel de conocimiento, información e incertidumbre correspondiente, conforme a los estándares actuales en ciencia pesquera.

El enfoque de estudio se sustenta en la aplicación del método científico y en el uso de la mejor información y conocimiento disponible del recurso y la pesquería a la fecha de ejecución, consecuente con la aplicación del enfoque precautorio en las pesquerías establecido por la FAO (1997) y el enfoque ecosistémico (FAO, 2003). Con este propósito, se aplicarán procedimientos de trabajo científico (i.e., transparente, auditables y reproducibles) e inclusivos (talleres y reuniones de trabajo grupales), con el fin de asegurar el cumplimiento del Proceso de Asesoría Científica y que la Administración cuente con ella, en el Proceso Decisional de Manejo de las principales pesquerías nacionales. Para el logro de los objetivos del proyecto, se revisará toda la información científica y técnica disponible.

Se considera la participación del equipo de trabajo en las reuniones que para estos efectos establezcan los Comité Científico Técnicos, así como todas las actividades que demanden las Revisiones por Pares Externos e Independientes (RPEI) de estos estudios (tanto de expertos nacionales como internacionales) u otros proyectos que correspondan a temas relevantes al manejo pesquero, cuando corresponda. Las recomendaciones de los revisores constituirán un Estándar Metodológico en la Evaluación de un determinado recurso, cuyos protocolos se mantendrán vigentes hasta que se considere necesario perfeccionarlos, conforme la recomendación del Comité Científico Técnico respectivo.

Para determinar el estatus de los recursos selectos, se considerará lo establecido por los Comité Científico Técnicos sobre los requerimientos técnicos que define los estándares de análisis y evaluación para las pesquerías analizadas, conforme a los niveles de conocimiento, información y calidad de los datos disponibles para esos fines. En aquellos casos en que el nivel de desarrollo del conocimiento, la información o los datos sean limitados o con altos niveles de incertidumbre, de forma que limiten o impidan la aplicación en propiedad de procedimientos de evaluación y análisis con estándares altos (i. e., para datos ricos), se desarrollarán e implementarán procedimientos y métodos alternativos adecuados a la disponibilidad de información con el fin de determinar el estatus de los recursos que se encuentren en esta condición, los que propenderán a reducir los niveles de incertidumbre que perturben la toma de decisión (*sensu* Carmichael y Fenske, 2010).

No obstante, lo anterior y con el propósito de alcanzar el Estándar Completo, se identificarán las brechas y limitaciones que impiden lograr ese objetivo y se propondrán detalladamente las acciones que se consideren necesarias para alcanzarlo, en el corto o mediano plazo, según corresponda.



3.1.1. Modelo conceptual

La dinámica poblacional es conceptualizada a través del modelo biológico de la historia de vida de la anchoveta (*Engraulis ringens*), que es sustentado por los siguientes componentes:

- a. *Distribución geográfica.* Se asume que la población de anchoveta de los 16° - 24°S constituye una única unidad de stock. Además, se considera que el stock de anchoveta es homogéneo al interior de esta área, donde el conjunto de individuos está sujeto a la misma probabilidad de crecimiento y mortalidad, y donde la migración fuera del área no es importante.
- b. *Reproducción.* Dada la extensión del periodo de desove, que va desde primavera hasta el verano, se asume que los individuos del stock tienen dos eventos reproductivos discretos durante el año.
- c. *Reclutamiento.* El reclutamiento ocurre a la forma de un pulso de abundancia a comienzos de cada semestre y estimado a través de desviaciones de R_0 .
- d. *Modelo de crecimiento.* El crecimiento es determinado a través del análisis de micro incrementos diarios de los otolitos. Estos resultados indican que a un año de vida la longitud media debería ser de 16.3 cm (Cerna y Plaza, 2016; Plaza et al., 2017).
- e. *Mortalidad natural.* La tasa de mortalidad natural se asume invariante y se considera un valor de 2.2 año⁻¹. Valor que es obtenido a través de aplicación de diferentes métodos bio-analógico que están disponibles en la literatura, que considera los parámetros de crecimiento reportado anteriormente.

El modelo de evaluación de stock de anchoveta se basa en un análisis estadístico de la dinámica poblacional donde las observaciones en tallas son transformadas a edades por medio de una clave talla-edad variable en el tiempo, además incorpora información biológica y pesquera. La información que ingresa al modelo consiste en los desembarques totales y datos de composición de longitudes que son proporcionados por el programa de monitoreo de las pesquerías de peces pelágicos (Chile-Perú), mientras que las evaluaciones acústicas de verano proporcionan información de la biomasa total, junto a la composición de abundancia por rango de longitud. Además, se incorpora información de la biomasa total estimada en la zona sur del Perú por las evaluaciones acústicas. En base a esta información el modelo de evaluación estima las variables de estado representadas por la biomasa desovante (BD) y los niveles de mortalidad por pesca (F) para cada una de las flotas, que junto a los puntos biológicos de referencia (PBR) permiten determinar el estatus y calcular la “Captura Biológicamente Aceptable (CBA)”.

En la implementación del procedimiento de evaluación de stock se utilizan protocolos científicos basados en la determinación de un sistema de niveles o “tiers” que permiten clasificar la información disponible de las especies y su pesquería, los cuales se han convertido en una herramienta de uso común en la asesoría



orientada al manejo pesquero en la actualidad. Para estimar el Rendimiento Máximo Sostenible (RMS) se utiliza la estrategia de niveles y de acuerdo con la clasificación del estándar de información se definen los PBR o “proxy” que serán usados para determinar el estatus del recurso. La definición de los procedimientos de cálculo de los PBR y del marco de referencia especie específicos se basan en el estudio “Revisión de los puntos biológicos de referencia (RMS) en las pesquerías nacionales” (Paya *et al.* 2014), en cuyo primer taller, se desarrolló en conjunto con expertos internacionales, un sistema de tres niveles para derivar al RMS específico para las pesquerías en Chile. Además, para determinar el estatus de los recursos selectos, se considera lo establecido por el Comité Científico Técnico de Pelágicos Pequeños (CCT-PP) sobre los requerimientos técnicos que define los estándares de análisis y evaluación para las pesquerías analizadas, conforme a los niveles de conocimiento, información y calidad de los datos disponibles para esos fines.

Al respecto, la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile es una especie que tiene un rápido crecimiento en los primeros estadios de vida, con valores del coeficiente de crecimiento de von Bertalanffy que van de 1-2 año⁻¹ (Plaza *et al.*, 2017), para poder tempranamente reproducirse, lo que implica una alta mortalidad natural (M). Por ende, el reclutamiento está altamente influenciado por el ambiente. El modelo de evaluación de stock tiene una frecuencia temporal semestral, está estructurado a la edad, con información en tallas mediante el uso de una clave talla-edad variable en el tiempo. Se considera dos flotas comerciales en el modelo de evaluación y el patrón de selectividad es asumido variable en el tiempo. El modelo de evaluación de stock no incluye una relación stock-reclutamiento, sino desviaciones desde R_0 . Estos antecedentes permiten clasificar a anchoveta del sur de Perú y norte de Chile (XV-II Regiones) en el Tier o nivel 1b. A continuación, se detalla y fundamenta el conjunto de datos a emplear en el modelo de evaluación de stock, además se informa la incertidumbre asociada a los indicadores de abundancia propuestos para utilizar en la evaluación de anchoveta.

3.1.2. Datos de entrada al modelo de evaluación de stock

En el área de estudio comprendida entre los 16°00'LS -24°00'LS se hace el levantamiento de la información de la pesquería y del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile a través de los siguientes sistemas de monitoreo: (i) pesquería pelágica industrial de anchoveta del sur de Perú, (ii) pesquería pelágica artesanal e industrial de anchoveta del norte de Chile (Böhm *et al.*, 2013; Böhm *et al.*, 2016), (iii) evaluación hidroacústica de peces pelágicos del sur de Perú (primavera y verano), (iv) evaluación hidroacústica de anchoveta norte de Chile (fines de año) (Leiva *et al.*, 2016) y (v) método de producción diaria de huevos (Claramunt *et al.*, 2014). Las actualizaciones de datos peruanos fueron proporcionadas a través del 16 Taller IMARPE-IFOP sobre evaluación conjunta del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile realizado entre el 3 al 7 de diciembre del 2018 en Valparaíso, Chile. Y los datos del 2019 fueron proporcionado vía correo electrónico por intermedio del Sr. Ñíquen (IMARPE).

Los sistemas de monitoreo de la pesquería (i) y stock (ii) suministran a la evaluación de stock indirecta estimaciones de las estructuras de tallas en la captura a nivel mensual y del desembarque ocurrido entre los 16°00'LS - 24°00'LS. El detalle de los diseños de muestreo, tamaños muestrales, estimadores y sus varianzas se encuentra en Böhm *et al.* (2016). Respecto del monitoreo de la abundancia, biomasa y



demografía del stock de anchoveta en el área de estudio esto es, monitoreos (iii) y (iv) sus diseños muestrales, números de transectas y lances, sesgo de orillas, estructuras de tallas, estimadores y varianzas de la abundancia y biomasa se encuentran contenidos en Leiva *et al.* (2016). En relación al monitoreo del stock de desovante de anchoveta (v), todo el detalle metodológico respecto a las estimaciones de producción diaria de huevos, área de desove, proporción de hembras, fracción diaria de hembras desovantes, fecundidad parcial y peso promedio de hembras se encuentra en Claramunt *et al.* (2014).

En resumen:

- Los desembarques realizados al sur de Perú y norte de Chile entre 1986 y el segundo semestre del 2019.
- Biomasa acústica total al sur del Perú (1990-2019) y biomasa acústica total en el norte de Chile (1997-2002, 2007-2019).
- Biomasa desovante a través del MPH en Chile (1992-2019).
- Composiciones de estructuras de tallas en las capturas para el sur del Perú (1986-2019) y norte de Chile (1986-2019) y composición de estructuras de tallas del crucero de Chile (2000-2002 y 2007-2019).
- Ojiva de madurez sexual a la talla (Martínez *et al.*, 2009).
- Pesos a la talla constante desde 1986 hasta el 2000 y desde el 2001 en adelante variable por semestre.
- Parámetros de historia de vida de Plaza *et al.* (2017)
- Una mortalidad natural de $M = 2.2 \text{ año}^{-1}$.

3.1.3. Modelo de evaluación de stock

El modelo estadístico de evaluación de stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile se basa en la dinámica de las estructuras de tallas por flotas (Perú y Chile), donde las tallas son convertidas a edades a través de la simulación de una clave talla-edad variable en el tiempo. Además, se incorpora la biomasa total del crucero acústico de Perú, biomasa total del crucero acústico de Chile, biomasa desovante estimada a través del MPH Chile y los desembarques peruanos y chilenos.

a) *Modelo de los Procesos*

La abundancia ($N_{a,t}$) de la anchoveta a la edad a , y el tiempo t en semestres, está dada por

$$N_{a,t} = N_{a,t} S_{a,t}$$



Donde $N_{a,t}$, depende de la abundancia, $N_{a,t}$ a la edad a , semestre t y de la sobrevida $S_{a,t}$ de la edad a , del semestre t . Donde $a = [0,1,\dots,5]$ y $t = [1986.0, 1986.5,\dots, 2018.0, 2019.5]$.

A su vez la sobrevida $S_{a,t}$, es descrita con una función exponencial de la mortalidad total $Z_{a,t}$ a la edad a y semestre t .

$$S_{a,t} = \exp(-Z_{a,t})$$

La mortalidad total, $Z_{a,t}$ se descompone en mortalidad natural ($M_s = M/2$) y por pesca (F), según:

$$Z_{a,t} = M_s + F_{t,f} \zeta_{t,f}$$

Donde M , F y s han sido previamente definidas, f indexa el tipo de flota (chilena o peruana), y $\zeta_{t,f}$ corresponde al patrón de explotación (o selectividad) del semestre t y flota f . La mortalidad natural M_s se asume igual 1.1 (semestre $^{-1}$). El patrón de explotación es edad y flota específico y sigue una función doble normal definida para todo rango de edad. La función doble-normal utiliza tres parámetros, la edad máxima de selectividad (k) y las varianzas del lado derecho (v^r) e izquierdo (v^l) de la curva. Estos tres parámetros otorgan considerable flexibilidad a la funcionalidad de la selectividad, definida como:

$$\zeta_{t,f} = \begin{cases} 2^{-\left[\frac{a-k}{v^l}\right]^2}, & a \leq k \\ 2^{-\left[\frac{a-k}{v^r}\right]^2}, & a > k \end{cases}$$

Donde, a corresponde a la edad. La curva de selectividad es asintótica cuando la varianza derecha tiene valores altos y conforma una curva tipo domo cuando adopta valores bajos. Para el crucero acústico de Chile se emplea una curva de selectividad logística a la edad y a la talla del tipo:

$$\zeta_{t,f} = \left(1 + \exp \left[-\ln 19 \frac{(a - \alpha_{t,f})}{\beta_{t,f}} \right] \right)^{-1}$$

Donde, a corresponde a la edad, $\alpha_{t,f}$ es la edad del 50% de reclutamiento y $\beta_{t,f}$ representa la diferencia entre la edad al 95% y 50% del reclutamiento. Los índices t y f fueron definidos previamente. El reclutamiento semestral se estima como desviaciones desde R_0 más un 50% de σ_R . La abundancia a la edad $a=0$ y semestre t son estimados según:



$$N_{a=0,t} = R_0 e^{\varepsilon_t + 0.5\sigma_R^2}$$

R_0 corresponde al reclutamiento virginal y es un parámetro a resolver por el modelo dentro de una distribución uniforme (prior), según $\ln R_0 \sim U[a,b]$. ε_t corresponde a las desviaciones de los reclutamientos al semestre t , los cuales son parámetros también a resolver por el modelo y σ_R corresponde a sigma_R , que toma un valor de 0.46.

La condición inicial de la abundancia de la población es estimada desde una condición de equilibrio estocástica en torno a la mortalidad total del primer año:

$$N_{a,t=1} = (N_{a,t=1} e^{-Z_{a,t=1}}) e^{-\rho_a}$$

donde la abundancia inicial $N_{a,t=1}$ depende de un reclutamiento estimado según se explicó anteriormente, ρ_a también se obtiene como desviaciones resueltas por el modelo dentro de una distribución normal (prior), según $\rho_a \sim N(0,0.6^2)$.

b) *Modelo de las observaciones*

Las expresiones anteriormente descritas definen la dinámica de la población explotada. A continuación, se presentan las expresiones que definen las observaciones y que se contrastan estadísticamente con los datos provenientes de las pesquerías y evaluaciones directas.

Las capturas predichas, son obtenidas siguiendo la ecuación de captura de Baranov (1918), cuya forma es:

$$\hat{C}_{a,t,f} = \frac{F_{a,t,f}}{Z_{a,t}} N_{a,t} (1 - S_{a,t,f})$$

donde $\hat{C}_{a,t,f}$ representa las capturas estimadas por el modelo de evaluación a la edad a , semestre t y flota f . Las variables F , Z , N y S fueron definidas en la sección anterior.

Dado que este modelo utiliza observaciones de estructuras en tallas de las capturas, es necesario transformar las capturas predichas en tallas a edades. Esto se resuelve simulando una clave talla-edad variable por semestre y fuente de información (capturas Chile y Perú, biomasa acústica Chile y biomasa desovante Chile), y otra que es constante para el crucero acústico de Perú. Estas claves describen la probabilidad de que un individuo de talla l pertenece a una cierta edad a . De acuerdo a lo anterior, la proporción de ejemplares de edad a en un intervalo de longitud, $P_{l,a}$, es una función de la longitud promedio (\bar{l}_a) a la edad (predicha por los parámetros de crecimiento) y la varianza (σ_a) de las longitudes a una edad determinada, según:



$$l_a = l_\infty(1 - e^{-k}) + e^{-k}l_{a-1}$$

$$\sigma_a = cvl_a$$

$$P_{l,a}(l_a, \sigma_a) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_a^2}} e^{\left(-\frac{(l-l_a)^2}{2\sigma_a^2}\right)}$$

donde $P_{l,a}$ representa la matriz de distribución de probabilidad por talla l a la edad a . Y σ_a corresponde a la desviación estándar de la talla media para la edad a .

Las capturas estimadas a la talla l , semestre t y flota f quedan representada entonces por

$$\hat{C}_{l,t,f} = P_{l,a} C_{a,t,f}$$

donde $C_{a,t,f}$ corresponde a las capturas observadas a la talla provenientes de los monitoreos de la pesquerías pelágicas del sur de Perú y norte de Chile. El desembarque en peso de las capturas de la anchoveta sur de Perú y norte de Chile está dado por:

$$\hat{Y}_{t,f} = \sum_l \hat{C}_{l,t,f} \bar{w}_l$$

donde $\hat{Y}_{t,f}$ corresponde al desembarque predicho en el semestre t y flota f , y \bar{w}_l corresponde al peso teórico de un individuo de talla l constante por semestres. Este peso teórico es obtenido de una relación longitud-peso como un promedio para el periodo 1986-2000 y otra variable por semestre para el periodo 2001-2019, la que es calculada a través de los muestreos biológicos realizados por el programa de monitoreo de las pesquerías pelágicas del norte de Chile. La biomasa total (BT_t) y desovante (BD_t) semestral predicha se obtiene según:

$$BT_t = \sum_l (P_{l,a} N_{a,t}) \bar{w}_l$$

$$BD_t = \sum_l P_{l,a} \left(N_{a,t} e^{-\Delta m Z_{a,t}} \right) \bar{w}_l O_l$$



Donde $N_{a,t}$ corresponde a la abundancia a inicio de semestre, $P_{l,a}$, \bar{w}_l y $Z_{a,t}$ fueron descritas anteriormente. O_l corresponde a la ojiva de madurez sexual, que describe la probabilidad de que un individuo maduro sexualmente pertenezca a la talla l y que se asume conocida. Δm corresponde a la fracción del semestre (fecha del MPH) en la cual ocurre del desove.

Los índices de biomassas predichos siguen la siguiente forma general:

$$\hat{I}_t^c = q^c \sum_l P_{l,a} \left(N_{a,t} \Gamma_a^c e^{-\Delta^c Z_{a,t}} \right) w_l$$

donde \hat{I}_t^c , c define el crucero y t el semestre y puede corresponder a i) la biomasa total predicha del Perú, ii) la biomasa total predicha de Chile y iii) la biomasa desovante predicha de Chile. La constante, q^c es la capturabilidad y/o disponibilidad al crucero (c). En esta evaluación se asume $q^c \neq 1$, dado que todos los índices sólo observan una fracción de la distribución del stock, y por tanto q^c es resuelto por el modelo. La variable, Γ^c corresponde a la selectividad o madurez sexual según sea el caso del índice predicho, y Δ^c es la fracción del semestre en la cual se realiza la evaluación directa (c).

La proporción predichas de la captura ($\hat{p}^{f_{l,t}}$) por flota a la talla l y el semestre t y la abundancia de las evaluaciones directas, c ($\hat{p}^{c_{l,t}}$) a la talla l y el semestre t , quedan descritas respectivamente por

$$\hat{p}^{f_{l,t}} = \frac{\hat{C}_{l,t}}{\sum_l \hat{C}_{l,t}}$$

$$\hat{p}^{c_{l,t}} = \frac{P_{l,a} N_{a,t} \psi_a^c e^{-\Delta^c Z_{a,t}}}{\sum_l P_{l,a} \left(N_{a,t} \psi_a^c e^{-\Delta^c Z_{a,t}} \right)}.$$

Todos los términos contenidos en ambas expresiones fueron descritos previamente.

c) *Modelo de los errores y función de minimización.*

Los modelos de los errores para los índices de biomassas y desembarques tanto peruanos como chilenos asumen una distribución lognormal. El estimador de verosimilitud para los índices de biomassas y desembarques es descrito como:



$$-L(I_t^c) = \frac{1}{2\sigma_{I_t^c}^2} \sum_t \ln \left(\frac{\hat{I}_t^c}{I_t^c} \right)^2$$

Donde, \hat{I}_t^c corresponde al índice predicho por la evaluación descrito en el punto (b.2) para cada índice de biomasa directa y desembarque. I_t^c son los índices estimados por el sistema de monitoreo del stock y las pesquerías de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile descrito en la **Sección 3.1.2**. El parámetro $\sigma_{I_t^c}$ corresponde a la desviación estándar asignada entre el valor observado y el predicho. Para el caso del desembarque observado se agregó un valor épsilon asociado a la ecuación descrita anteriormente. El modelo de error para la proporción de individuos en la captura de la flota f y abundancia de la evaluación directa c , a la talla l y el semestre t , asumen una distribución multinomial. Su estimador de verosimilitud está dado por:

$$-L(p) = n^{f,c} p_{l,t}^{f,c} \ln \hat{p}_{l,t}^{f,c}$$

donde p indica proporción y n es el tamaño de muestra efectivo para la flota f y evaluación directa, c . La función objetivo emerge de las sumas de log-verosimilitud negativas de cada índice de biomasa directa, desembarques y proporción de individuos observados a la talla en las evaluaciones directas y capturas, más el logaritmo de las *priors* (π) antes mencionadas. Luego la función a minimizar corresponde a:

$$-\ln L(\theta | x) = -\sum L(c) - \sum P(\lambda)$$

Donde, θ corresponde al vector de parámetros a estimar dado los datos observados, x a las observaciones I_t^c y $p_{l,t}^{f,c}$. $L(c)$ es estimador verosímil de cada biomasa directa y desembarques, y $P(\lambda)$ a las distribuciones de los parámetros con priors.

d) *Peso estadístico de los datos en la verosimilitud total*

- *Coeficientes de variación de los índices de biomasa y desembarques*

Los coeficientes de variación (CV) que son asignados a los distintos índices de biomasa miden el nivel de desviación que tienen los datos respecto del valor central verdadero como parte del error de observación. El coeficiente de variación tiene relevancia en las estimaciones ya que es inversamente proporcional al peso que tiene una determinada fuente de datos en la verosimilitud total. La **Tabla 1** muestra los CV utilizados.

**Tabla 1.** Coeficientes de variación (CV) de la función objetivo para los desembarques e índices de biomasas de anchoveta.

Serie de observaciones	cv
Desembarque Chile y Perú	0.05
Biomasa desovante MPH	0.20
Biomasa total Perú	0.30
Biomasa total Chile	0.30

El **Tabla 2** muestra el resumen de los valores de tamaños de muestra finales utilizados en la verosimilitud de la estructura de tallas de cada flota y observación directa de Chile. Estos valores fueron determinados mediante el proceso iterativo recomendado por Gavaris y Ianelli (2002) considerando el promedio armónico. Este método (que esta al final del archivo .tpl) comienza con un valor arbitrario de tamaños de muestra, que durante el proceso iterativo, llega a valores estables que son propuestos para la evaluación de stock. A menudo es deseable verificar estas estimaciones a medida que se vayan incorporando nuevas composiciones de tamaños o datos, ya que estos valores pueden ir variando a medida que se va incorporando nuevas fuentes de información o cambios en los supuestos del modelo de evaluación.

Tabla 2. Tamaño de muestra para cada serie de estructuras de tallas de la evaluación de anchoveta.

Composición	Periodo	Tamaño de muestra
Capturas Flota Chilena	1986-2019	27
Capturas Flota Peruana	1986-2019	20
Evaluación directa Chile	2000-2002 y 2007-2019	14

e) *Parámetros estimados por la evaluación*

El vector de parámetros θ corresponde a:

$$\theta = \{k_{f,b}, v_{f,b}^r, v_{f,b}^l, \alpha_b^c, \beta_b^c, \gamma_b^c, \lambda_b^c, \overline{R_0}, \delta_{s,1986} \dots \delta_{s,2019.5}, N_{a_1}^{t=1} \dots N_{a_6}^{t=1}, F_{s,1986}^f \dots F_{s,2019.5}^f, q_{TPE}^c, q_{TCH}^c, q_{BDCH}^c\}$$



Los parámetros resueltos por el modelo corresponden a los parámetros de la selectividad, $k_{f,b}$, $v_{f,b}^r$ y $v_{f,b}^l$ para cada flota f y bloque b para Chile y Perú. Los parámetros para la selectividad a la edad para el crucero acústico de Chile, α_b^c y β_b^c y para la selectividad a la talla para el crucero acústico de Chile, γ_b^c y λ_b^c . Las desviaciones de los reclutamientos semestrales δ_s desde 1986.0 al 2019.5, el reclutamiento virginal R_0 y las abundancias iniciales, $N_a^{t=1}$ con a tomando valores de 0 hasta 5. Las mortalidades por pesca semestrales $F_{s,19860}^f$ para cada semestre s y para ambas flotas f . El modelo asume que todos los índices de biomasa son indicadores relativos de la biomasa total de Chile q_{CH}^c y Perú q_{PE}^c , biomasa desovante de Chile q_{BDCH}^c que asume tres bloques, por tanto se estiman cinco capturabilidades. El modelo de evaluación de stock de anchoveta contiene actualmente un número total de 263 parámetros.



3.2 Objetivo Específico 2.

Establecer el estatus actualizado de estos recursos, sobre la base de sus principales indicadores estandarizados de estado y flujo, incorporando, cuantificando y propagando la incertidumbre subyacente a la pesquería.

3.2.1. Estatus

El establecimiento del estatus de los recursos se realizará conforme el estándar adoptado por los Comité Científico Técnicos CCT y tomando como referencia los resultados del proyecto “Revisión de los puntos biológicos de referencia (Rendimiento Máximo Sostenido) en las pesquerías nacionales” (Payá et al., 2014). El marco de referencia que ha sido adoptado por estos CCT se sustenta en la estimación de los Puntos Biológicos de Referencia (PBR) especie-específicos, esto a objeto de situar los indicadores de estado y flujo del stock analizado:

Puntos biológicos de referencia

Sin perjuicio de los trabajos anteriores, durante el año 2013 y 2014 se desarrolló un Proyecto denominado “Revisión de los puntos biológicos de referencia para las pesquerías nacionales” donde los proxies al RMS para la anchoveta fueron finalmente estimados y luego ratificados por el Comité Científico Técnico en:

- Biomasa al Rendimiento Máximo Sostenido (B_{RMS}) = 50% Biomasa desovante virginal (BD_0)
- Mortalidad por pesca F_{RMS} , corresponde aquella mortalidad por pesca que en el largo plazo produce el 55% de la biomasa desovante por recluta = $F55\%BDPR$.

Para la determinación del valor de la mortalidad por pesca de referencia ligada al RMS, se utiliza un análisis por recluta de dinámica combinada (Beverton y Holt, 1957) que describen el cambio de la biomasa de una cohorte o clase anual por efectos de la mortalidad natural y la pesca. La producción y la biomasa desovante por recluta (YPR, BDPR) son obtenidas en función de la mortalidad por pesca (F), y en cada una de estas curvas es factible identificar niveles de referencia biológicos que se supone deberían estar minimizando el impacto de la pesca sobre el stock.

La biomasa adulta o desovante por recluta (BDPR) es obtenida como función de la mortalidad por pesca (F) y en esta curva es factible identificar el nivel de referencia biológico ($F55\%BDPR$) que se supone debería minimizar el impacto de la pesca sobre el stock, permitiendo es escape en torno al 55% respecto del valor que existiría en ausencia de explotación pesquera.

La estimación de esta curva y su valor de referencia (55%BDPR) se obtiene por medio de la dinámica de la abundancia en equilibrio definida como,



$$N_a = \begin{cases} 1, & a = 1 \\ N_{a-1} e^{(-M - FS_{a-1})}, & 1 < a < m \\ \frac{N_{a-1} e^{(-M - FS_{a-1})}}{1 - e^{(-M - FS_m)}}, & a = m \end{cases}$$

Donde N_a es la abundancia en número a la edad $a+1$ para una población con longevidad máxima m , S_{a-1} corresponde a la selectividad edad específica, M es la mortalidad natural y F es la mortalidad por pesca. Basada en esta abundancia (N_a), la biomasa desovante por recluta se define como,

$$BDPR = \sum_{a=0}^m N_a \exp(-d_s Z_a) m_a \bar{w}_a$$

Donde, d_s es la fracción del semestre donde ocurre el desove, m_a es la fracción de peces maduros a la edad y \bar{w}_a es el peso medio a la edad.

Estatus

Para diagnosticar el estatus del recurso se utiliza el diagrama de fase. Este diagrama de dispersión se construye entre la razón de la biomasa desovante respecto a la biomasa desovante objetivo (BD/BD_{objetivo}) o aquella que lleva al máximo rendimiento sostenido (RMS) al stock, y la razón de mortalidades por pesca y la del RMS (F/F_{RMS}). Estas variables nacen de las estimaciones provenientes de la evaluación de stock y la estimación de los puntos biológicos de referencia. A su vez, en este diagrama (**Figura 6**) se identifican distintas áreas que dicen relación con la condición del stock esto es, subexplotado, plenamente explotado, sobreexplotado y colapsado en concordancia con la Nueva Ley General de Pesca y Acuicultura y los CCT-PPP (2014). A estas definiciones se agrega el concepto de Sobrepesca, lo cual nace de los talleres realizados durante el 2013 en conjunto con la Subsecretaría de Pesca (Canales *et al.*, 2014).

De esta forma se tiene que el stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile puede estar en condición de:

- i. **Sobreexplotado**, si la razón BD/BD_{RMS} del último año es menor a 1 y además cae bajo el valor inferior en biomasa de la zona de plena explotación.
- ii. **Plena explotación**, se define considerando los siguientes límites: (a) límite bajo el objetivo de manejo (10% bajo B_{RMS}) y (b) límite sobre el objetivo de manejo (35% sobre B_{RMS}).
- iii. **Subexplotación**, si la razón BD/BD_{RMS} del último año es mayor a 1 ($BD/BD_{\text{RMS}} > 1$) y además es superior al valor límite de la zona de plena explotación.

- iv. **Sobrepesca**, si la razón F/F_{RMS} del último año es mayor a 1 y además es mayor al límite correspondiente al valor superior en mortalidad por pesca de la zona de plena explotación.

Cabe hacer notar que por objetivo de manejo de la pesquería de anchoveta sur de Perú y norte de Chile se entenderá alcanzar el Máximo Rendimiento Sostenido (MRS) de la biomasa desovante.

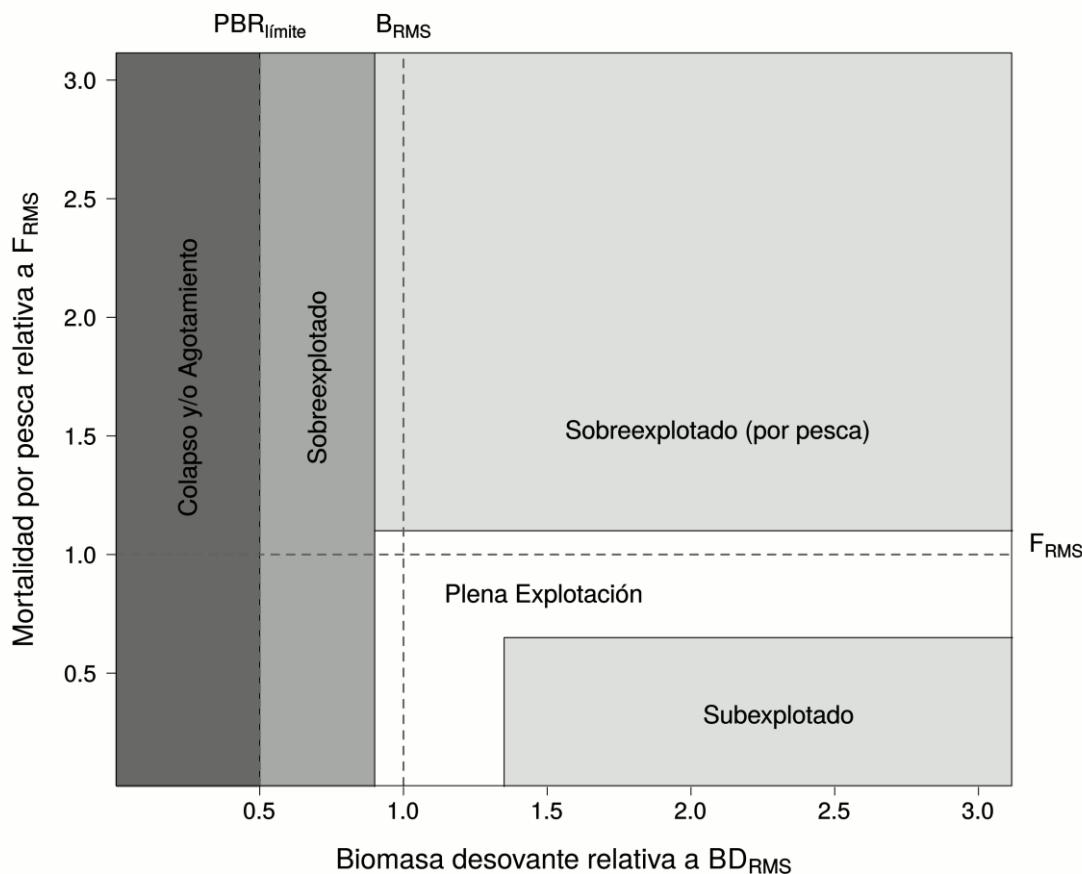


Figura 6. Diagrama de fase tipo para las pesquerías de recursos pequeños pelágicos acordado por el Comité Científico Técnico.



3.2.2. Calidad de la información

Una de las tareas fundamentales en el proceso de evaluación stock consiste en dimensionar el nivel de conocimiento del stock en estudio. Determinar el nivel de calidad de datos e información permite definir el tipo de enfoque de modelamiento que es posible usar para determinar los niveles poblacionales del stock, así como también definir procedimientos para el cálculo de los puntos biológicos de referencia (PBR). De acuerdo con Restrepo *et al.* (1998), la calidad de la información permite clasificar el estándar de una pesquería en tres categorías según los siguientes criterios:

Estándar completo (“Data-Rich”): Se pueden realizar estimaciones confiables del rendimiento máximo sostenido (RMS) y/o de cantidades relacionadas, así como de la abundancia del stock. La evaluación puede ser sofisticada e incorporar la mayor parte de las fuentes de incertidumbre o bien una cantidad razonable de ella.

Estándar medio (“Data-Medium”): No se disponen de estimaciones confiables del rendimiento máximo sostenido y/o cantidades relacionadas, ya sea porque no están disponibles o bien tienen un uso limitado debido a peculiaridades de la historia de vida del recurso, a la pobreza del contraste de los datos, o a la alta variabilidad del reclutamiento. Sin embargo, existen estimaciones confiables del tamaño del stock y de todos los parámetros claves de la historia de vida (crecimiento) y de la pesquería (selectividad). Este caso se utiliza PBR genéricos (“proxy”) para sustituir los PBR asociados al RMS que no se pueden estimar confiablemente.

Estándar pobre (“Data-poor”): No existen estimados confiables del rendimiento máximo sostenido, de la abundancia del stock, de los parámetros vitales ni de los parámetros de la pesquería. La evaluación es mínima y la incertidumbre se aproxima sólo cualitativamente. No se pueden realizar cálculos de rendimientos por recluta o biomassas desovantes por recluta. Este caso se utiliza aproximaciones especiales para estimar el RMS, tales como “reglas del pulgar”, promedio de capturas históricas corregidas, o más sofisticadas como aproximaciones bayesianas que usan información desde stock con data rica

El estándar de la pesquería de anchoveta fue revisado a partir de un listado de tópicos generales y específicos, tomado desde el Anexo D “Checklist for the Stock Assessment” (NRC, 1998). Este listado fue adaptado para las pesquerías chilenas, incluyendo un total de 7 tópicos y 87 preguntas generando la “matriz de conocimiento” del recurso (Canales *et al.*, 2011). Complementariamente se considera la asignación que fue realizada en el marco del proyecto “Revisión de los puntos biológicos de referencia (Rendimiento Máximo Sostenible) en las pesquerías nacionales” realizado por IFOP (Payá *et al.*, 2014) en tres talleres de trabajo y la participación de 8 expertos internacionales.



3.3 Objetivo Específico 3.

Determinar niveles de Captura Biológicamente Aceptable (CBA) que lleven y/o mantenga la pesquería en torno al Rendimiento Máximo Sostenido (RMS), a partir de un análisis de riesgo en condiciones de incertidumbre de no alcanzar los objetivos de conservación y sostenibilidad conforme lo establece la LGPA y contenidos en el Plan de Manejo y/o en el Programa de Recuperación respectivo, según corresponda.

En base al modelo conceptual de la dinámica del stock respectivo que sustentó el enfoque y modelo de evaluación aplicado, se realizó un análisis de la productividad del stock y de sus posibilidades futuras de explotación considerando los parámetros e indicadores estimados precedentemente, con su incertidumbre asociada. El análisis considerará como criterio de explotación, aquel nivel de mortalidad que conduce al Rendimiento Máximo Sostenido (F_{RMS}).

Esta información y además de los antecedentes expuestos serán dados a conocer a los correspondientes Comités Científico Técnicos (CCT) para que analicen los resultados, considerando los requerimientos de reglas de decisión establecidas en los Planes de Manejo o programas de recuperación respectivos, conforme al marco legal y normativo vigente. Los análisis consideran entre otros, la proyección poblacional bajo condiciones de incertidumbre y la generación de tablas de decisión sobre las consecuencias de determinadas acciones en base a posibles estados de la naturaleza (pesimista, neutro, optimista) de variables de estado relevantes tales como biomasa desovante y/o niveles de reclutamiento, junto al riesgo de no lograr determinados objetivos.

3.3.1. Captura biológicamente aceptable (CBA)

La estimación de las capturas biológicamente aceptables se realizó mediante un análisis de estrategias de explotación, que considera niveles de mortalidad por pesca constante, es decir, las remociones por pesca son proporcionales a los cambios de abundancia del stock. El criterio de explotación está basado en los Puntos Biológicos de Referencia (PBR), el cual considera el criterio el F55%BDPR (biomasa desovante por recluta) como un proxy del nivel de mortalidad por pesca que genera el Rendimiento Máximo Sostenido (RMS). Además, es posible usar otros valores de mortalidad por pesca para realizar estimaciones de captura y proyecciones del stock. En base a que el modelo entrega estimaciones de abundancia para todos los grupos etarios del último semestre de evaluación y la incertidumbre asociada al grupo de edad 0, entonces se asumen los siguientes supuestos:

- Las proyecciones se realizan en el corto plazo (4 semestres, dado el rápido crecimiento) y dada la incertidumbre del reclutamiento al último semestre, se corrige este valor según la relación no lineal entre los reclutamientos y los desembarques, ya que se cuenta con un estimado de los desembarques ocurridos al primer semestre del 2020.
- Además, se consideran diferentes ponderadores de los reclutamientos o estados de la naturaleza (0.8:bajo - 1.0:neutral - 1.2:alto) para las proyecciones de la biomasa desovante y de las capturas.



- Para las proyecciones de los reclutamientos se consideran tres escenarios de reclutamientos ocurridos en el primer y segundo semestre por separado, como eventos independientes, desde el año 2000 en adelante (**Figura 7**).
- El primer escenario considera que los reclutamientos promedios ocurridos en el primer y segundo semestre desde el año 2000 en adelante (**Figura 7a**).
- El segundo escenario considera que los reclutamientos ocurridos en el primer semestre son mayores a los ocurridos en el segundo semestre (**Figura 7b**).
- Y el tercer escenario, considera que los reclutamientos ocurridos en el segundo semestre son mayores a los ocurridos en el primer semestre (**Figura 7c**).
- Durante la proyección del stock de anchoveta, los valores de los reclutamientos son generados desde una distribución normal truncada, de manera de evitar valores de reclutamientos por debajo y por sobre de los niveles de reclutamientos observados en los diferentes escenarios.
- Se consideran 10 mil simulaciones desde la distribución normal truncada para proyectar el stock de anchoveta en el corto plazo, y así obtener los niveles de confianza para las proyecciones del stock.
- Durante la proyección del stock de anchoveta, se consideran los niveles de mortalidad por pesca totales ocurridos al último semestre de la evaluación, ponderado por la Frms.
- Se asume que los peces capturados es una función de la población y de la mortalidad por pesca y natural (Baranov, 1918).

Para proyectar el stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile es necesario incorporar los nuevos reclutas para cada semestre proyectado, primer y segundo semestre del 2020 y 2021. La elección de los niveles de reclutamientos que entran en cada semestre tiene fuertes implicancias en los niveles poblacionales que se estimen en el futuro y en los niveles de captura biológicamente aceptable debido al rápido crecimiento (**Figura 4**). Dado que el último reclutamiento estimado por el modelo de evaluación tiene una alta incertidumbre, ya que no tiene la captura del primer semestre del 2020 para regularse. Es posible corregir este valor mediante la relación no lineal ($R^2=0.48$) que existe entre los reclutamientos del tiempo t con los desembarques del tiempo $t+1$ (**Figura 8**). Esto es posible ya que los desembarques del primer semestre del 2020 ya ocurrieron.

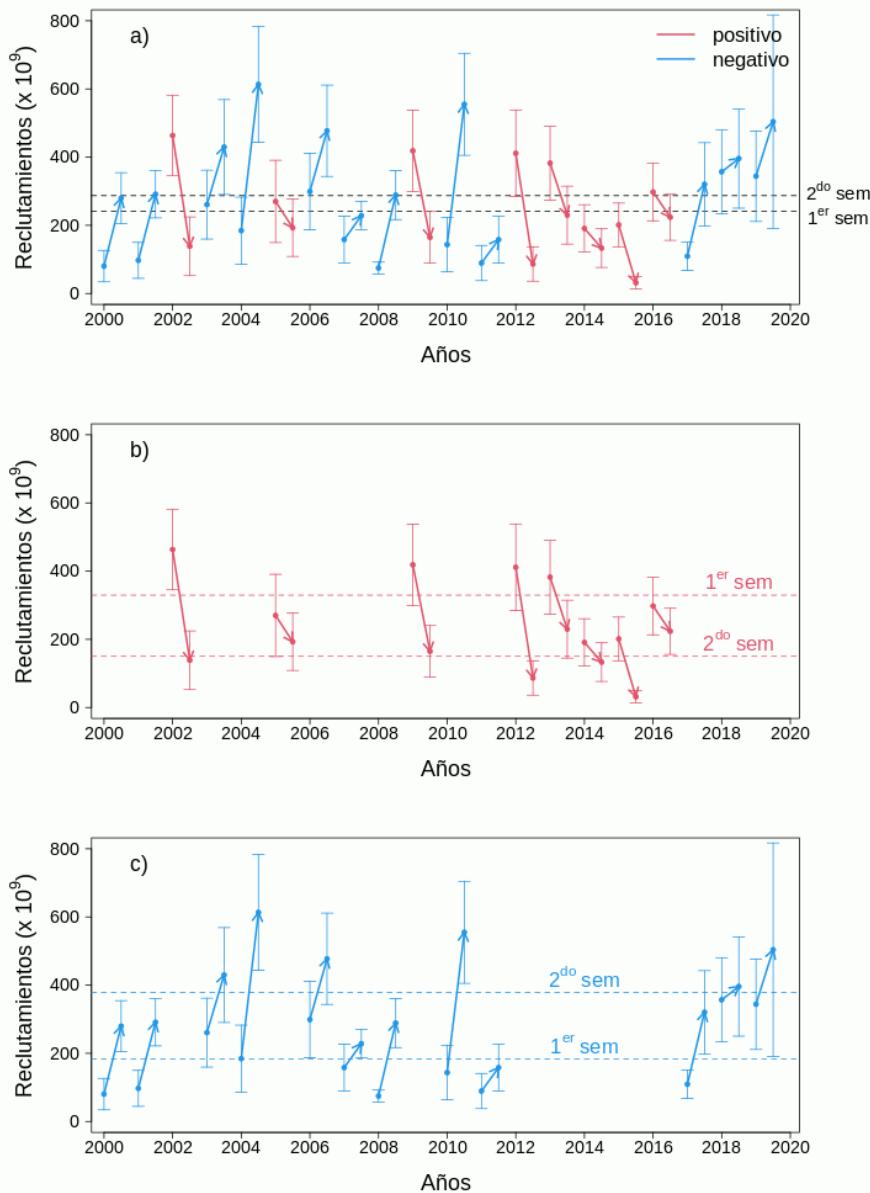


Figura 7. Escenarios de reclutamientos considerados para proyectar el stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. En a) reclutamientos promedios para el primer y segundo semestre, en b) reclutamientos del primer semestre mayores a los del segundo semestre y c) reclutamientos del segundo semestre mayores a los del primer semestre. Las líneas punteadas indican los promedios para cada semestre.

En la actualidad, la CBA considera un rango de valores (de 10 a 50%) basado en el riesgo de no alcanzar el objetivo de conservación. El riesgo corresponde a una distribución de probabilidad acumulada y representa la expectativa de no cumplir el objetivo de conservación, que es equivalente a mantener el stock parental robusto. Dada la alta incertidumbre existente en el establecimiento de la CBA, se recomienda escenarios de reclutamientos (pesimista, neutro y/o optimista) y un nivel de riesgo inferior al 50%. En la sexta sesión (octubre del 2019) del CCT-PP se acordó una CBA para el año 2020 de 784.307 toneladas con un nivel de riesgo del 10%. Con el objeto de mejorar el proceso de establecimiento de CBA y los niveles de riesgo de no alcanzar el objetivo de manejo, se presenta una propuesta metodológica que permite definir un marco de trabajo para la proyección poblacional y para la toma de decisión del nivel de riesgo. Según los escenarios probables de biomasa de reclutas y/o biomasa desovante del semestre siguiente al término de la evaluación, y utilizando la metodología indicada por Gruss *et al.* (2016), la cuál permite establecer una CBA mediante la captura al RMS (C_{RMS}) y un porcentaje de resguardo o buffer respecto de la C_{RMS} (**Figura 9**). Este buffer entre la CBA y la captura al RMS se calcula a partir de la probabilidad de sobre pesca considerada aceptable (P^*) y el error estándar de la distribución de la C_{RMS} (σ), bajo el supuesto de que la C_{RMS} presenta una distribución normal. Dada la distribución de la C_{RMS} , la CBA se determina de manera que la probabilidad de que CBA exceda C_{RMS} sea igual a P^* .

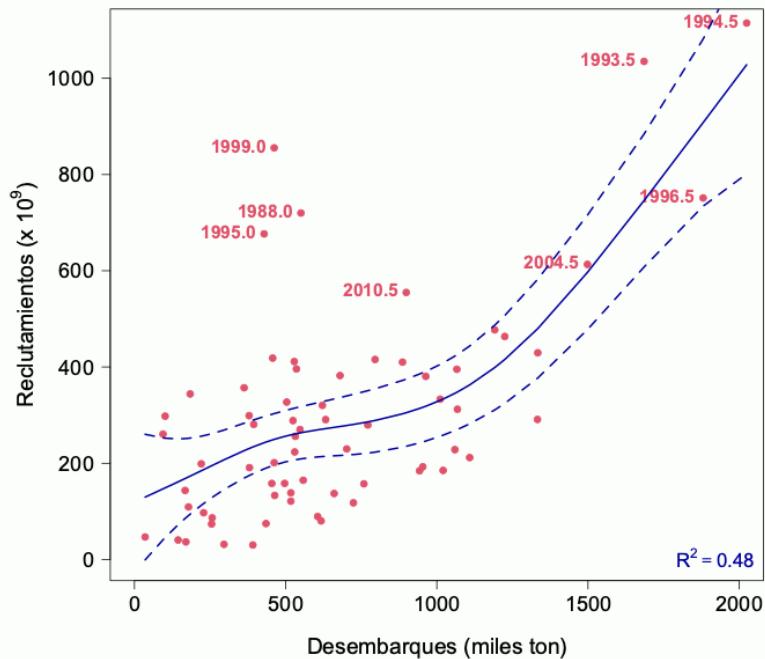


Figura 8. Relación no lineal entre el reclutamiento del semestre t y el desembarque del semestre $t+1$. La línea continua representa la estimación media y las líneas segmentadas los intervalos de confianza al 95%.

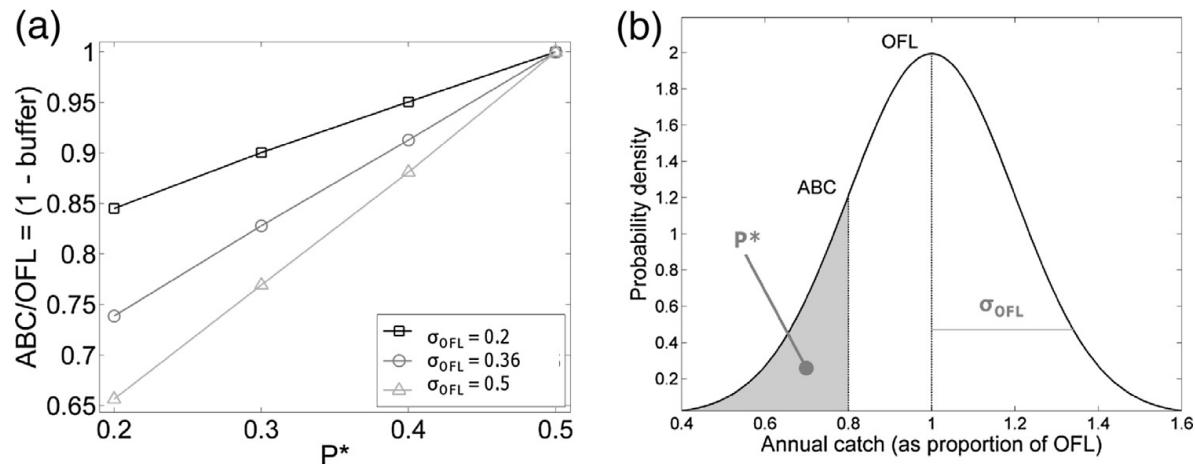


Figura 9. Método utilizado para establecer la captura biológicamente aceptable (ABC) de mero rojo (*Epinephelus morio*) de un límite de sobre pesca (OFL) y un buffer. a) El umbral entre el OFL y el ABC se calcula a partir de la probabilidad de sobre pesca considerada aceptable (P^*) y el error estándar del log de la distribución de OFL (σ_{OFL}), bajo el supuesto de que el OFL está lognormalmente distribuido. b) Dada la distribución de OFL gobernada por σ_{OFL} , ABC se determina de manera que la probabilidad de que ABC exceda OFL sea igual a P^* .

3.3.2. Proyección del stock

Finalmente, se realiza un conjunto de análisis estocásticos de las probables trayectorias de la biomasa desovante como consecuencia de la aplicación de las diferentes estrategias, tácticas y reglas de decisión consideradas en los respectivos Planes de Manejo y/o Programas de Recuperación de las pesquerías, según corresponda, considerando la incertidumbre del estatus (e.g. matriz de correlación de variables de estado) y los posibles estados de la naturaleza a futuro (e.g. niveles probables de reclutamiento futuro). Lo anterior debe permitir analizar los niveles de riesgo de no alcanzar los objetivos de conservación en el corto o mediano plazo, considerando la incertidumbre del estatus y los probables estados de la naturaleza a futuro.



3.3.3. Incorporación del descarte en la CBA

Para la estimación del descarte se consideró el porcentaje histórico (1986-2019) semestral de la captura total para la flota artesanal e industrial, y los valores de los porcentajes de descarte estimados para cada flota por el programa del descarte desarrollado por el IFOP durante los años 2017, 2018 y 2019. La corrección de la serie de captura fue hecha desde el 2001 hasta el 2019, empleando los tres últimos descartes estimados y para el resto de la serie histórica se empleo el promedio de los tres años para cada flota. Entonces, la captura corregida artesanal (CC_{art}) por el descarte está dada por:

$$CC_{art} = C_{tot} * Pro_{art} * (1 + \%D_{art})$$

Donde la C_{tot} es la captura total, Pro_{art} es la proporción de la captura total correspondiente a la flota artesanal y $\%D_{art}$ es la estimación del descarte para la flota artesanal. La captura corregida industrial (CC_{ind}) por el descarte está dada por:

$$CC_{ind} = C_{tot} * Pro_{ind} * (1 + \%D_{ind})$$

Donde Pro_{ind} es la proporción de la captura total correspondiente a la flota industrial y $\%D_{ind}$ es la estimación del descarte para la flota industrial. Luego, la captura total corregida por semestre y por el descarte es:

$$CT_{cor} = CC_{art} + CC_{ind}$$



3.4 Objetivo Específico 4.

Informar el avance del Programa de Mejoramiento Continuo de la Calidad de la Asesoría Científica (PMCCAC) realizado durante el presente estudio, respecto al cumplimiento de recomendaciones formuladas en procesos de RPEI y priorizadas por el CCT, cuando corresponda.

3.4.1. Programa de mejoramiento continuo de la calidad de la asesoría científica

Para el cumplimiento de este objetivo, se informará de los avances alcanzados durante el desarrollo del estudio, conforme al Programa de Mejoramiento Continuo de la Calidad de la Asesoría Científica (PMCCAC), elaborado por recurso y/o pesquería. Este PMCCAC se enfocará a las brechas de datos, información y conocimiento, en relación con la situación general de la pesquería acorde con los requerimientos de asesoría solicitados por la administración pesquera. Sobre la base de lo anterior, se evaluará el desempeño logrado y se propondrán las acciones, actividades, metas, plazos y condiciones que consideren necesarios para lograr disminuir las brechas identificadas y los requerimientos para alcanzar los estándares de asesoría previamente definidos.

En el contexto del desarrollo metodológico del trabajo, se realizará un listado de comprobación en el que se deberá dar cuenta de todas las recomendaciones emanadas de los revisores expertos, con el propósito de verificar el cumplimiento de cada uno de las observaciones, correcciones y recomendaciones señaladas por los revisores.

En el caso de aquellos recursos cuyas metodologías de evaluación de stock hayan sido sometidas a Procesos de Revisión por Pares (PRPP), el informe deberá contener una sección especialmente dedicada a informar detalladamente cómo se abordaron y fueron implementadas cada una de las recomendaciones realizadas por los expertos revisores externos (e. g., situación anterior, modificación, situación post-revisión con los cambios/mejoras implementadas), a la forma de un listado de comprobación (o checklist).

Actividades

- i) Ejecución de un programa de trabajo.
- ii) Elaboración de un informe contenido los avances y resultados durante el período anual del proyecto, contenido el PMCCAC actualizado y un listado de comprobación (inicio/final) de sus logros.
- iii) Para aquellas pesquerías que se han sometido a revisión de pares, elaborar un informe detallado respecto del avance en la incorporación de las recomendaciones de los expertos.



4. RESULTADOS

4.1 Objetivo Específico 1.

Implementar procedimientos de evaluación de stock basados en protocolos científicos para la determinación del estatus de los recursos seleccionados con arreglo al nivel de conocimiento, información e incertidumbre correspondiente, conforme a los estándares actuales en ciencia pesquera.

4.1.1. Modelo conceptual

a) ciclo de vida de la anchoveta

Considerando la información previamente señalada en el punto 2, en el sentido de: i) una distribución principalmente costera, donde el 70% de las capturas se desarrolla dentro de las primeras 20 millas náuticas en los últimos diez años, ii) con un desove que ocurre en un extenso periodo que va desde primavera hasta el verano, con dos máximos de intensidad, uno que ocurre desde agosto a septiembre y el otro desde diciembre a enero, es decir, dos reclutamientos al año iii) una alimentación está basada principalmente en el fitoplancton y secundariamente en el zooplancton, donde los componentes de mayor importancia relativa en la dieta son las diatomeas en el fitoplancton y los copépoda en el zooplancton, con un claro patrón oportunista y depredador generalista y iv) los nuevos antecedentes que dan cuenta de un coeficiente de crecimiento de la ecuación de von Bertalanffy de $k = 1-2 \text{ año}^{-1}$, donde al año de vida alcanza una longitud media de 16.3 cm. Entonces, en base a estos antecedentes expuestos se plantea el siguiente modelo conceptual de la historia de vida de la anchoveta (*Engraulis ringens*) para el sur de Perú y norte de Chile (**Figura 10**).

b) modelo de evaluación de stock

La evaluación del stock de la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile se sustenta en los siguientes supuestos generales basados en el modelo conceptual de historia de vida de la anchoveta presentada en el punto anterior:

- La población de anchoveta está distribuida desde el sur de Perú hasta el norte de Chile (16°S-24°S), y constituye una única unidad de stock.
- La población es cerrada por lo tanto las pérdidas ocurren por mortalidad natural y por pesca.
- Se asume la entrada de dos reclutamientos y dos desoves por año.
- Mortalidad natural se asume constante en el tiempo y a través de las edades.
- La mortalidad por pesca es el resultado de la interacción entre la mortalidad por pesca semestral y el patrón de explotación edad y flota (Chile, Perú) específico.
- Se asume que los desembarques en esta pesquería es un buen sustituto de las capturas.



El supuesto del desembarque se considera confiable puesto que se registra adecuadamente durante la descarga, y el nivel de mezcla con otras especies se considera bajo (Böhm com pers). Los supuestos sobre la escala de la dinámica se sustentan sobre el hecho que la anchoveta es una especie de vida corta (al año de vida alcanza una longitud media de 16.3 cm), que tiene un período de desove bien prolongado, comenzando a mediados de agosto y extendiéndose a través de toda la primavera para comenzar a declinar hacia fines del verano. La máxima intensidad del desove ocurre desde agosto a septiembre y otra desde diciembre a enero. Consistente con ello, el reclutamiento a la pesquería también se observa durante gran parte del año, registrándose un máximo reclutamiento durante enero y otro que ocurre en julio. El período prolongado de desove y los reclutamientos han determinado que la escala temporal de la dinámica poblacional usada sea al menos a nivel de semestre. El modelo de evaluación asume que los reclutamientos ocurren al inicio de cada semestre como desviaciones desde R_0 y el desove a una fracción (Δm) de cada semestre, dado por un vector de fechas.

CICLO DE VIDA ANCHOVETA XV-II REGIONES

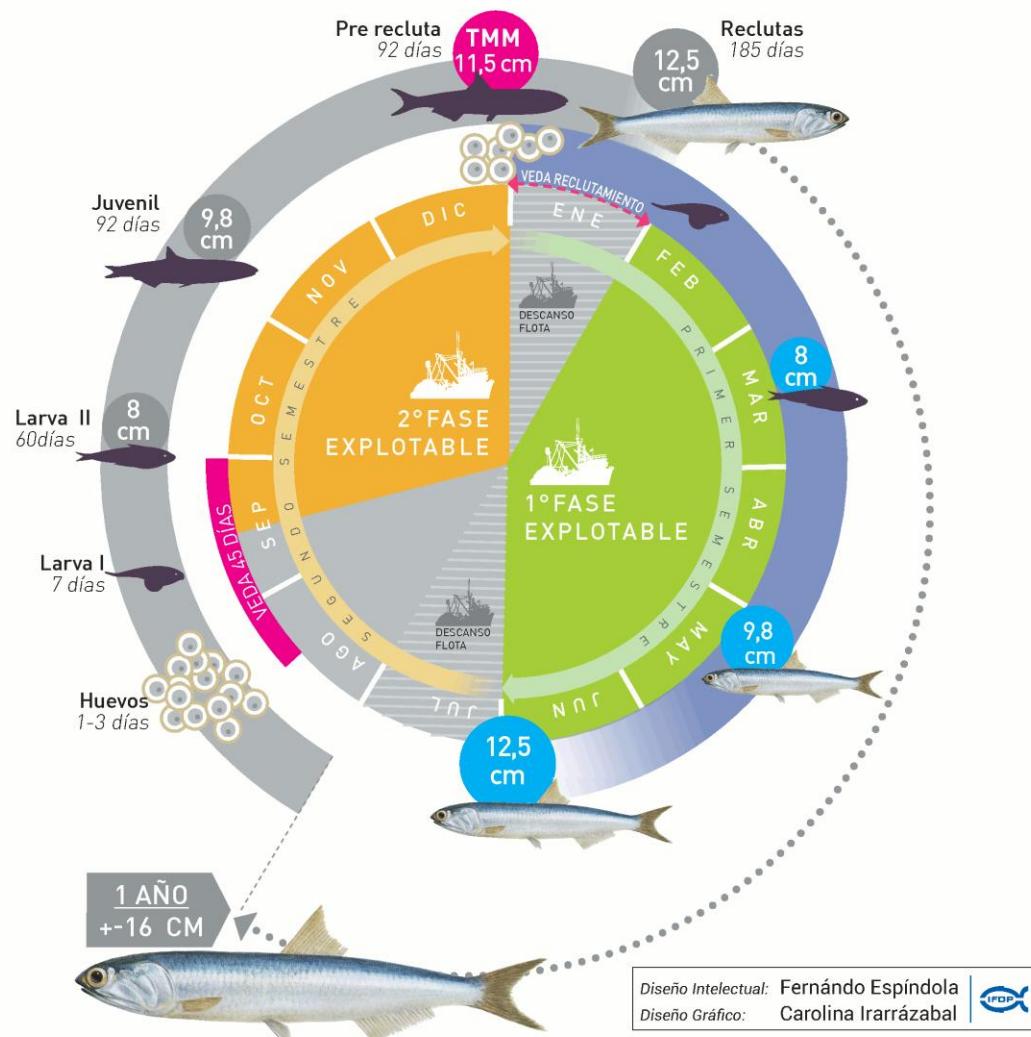


Figura 10. Diagrama del modelo conceptual planteado para la anchoveta (*Engraulis ringens*) del sur de Perú y norte de Chile (XV-II Regiones).



4.1.2. Datos de entrada al modelo de evaluación de stock

El período de análisis de la evaluación de stock comienza en 1986 hasta el 2^{do} semestre del 2019, con información completa hasta el segundo semestre del año 2019. Se incluye la biomasa total y composición de la estructura de tamaños estimada por el crucero de Chile, la biomasa total del sur de Perú, la biomasa desovante estimada por el MPH en Chile, la composición de la estructura de tamaños de tamaños para la flota chilena y peruana, y el desembarque para cada una de las flotas.

a) *Desembarques*

La historia de la pesquería del stock de anchoveta compartido entre el sur de Perú y norte de Chile, comienza con leves desembarques ocurridos en 1984 y a contar de 1986 se incrementan considerablemente hasta el año 1994 (**Tabla 3; Figura 11**), los más altos desembarques ocurren entre los años 1994 al 2002. Desde el año 2004 al primer semestre 2013 estos muestran una tendencia de descenso con máximos relativos. El desembarque por país muestra un cambio de dominancia. Entre los años 1986 al 2004 se puede señalar que el mayor desembarque fue realizado en Chile. Sin embargo, entre el 2005 al 2009 los mayores desembarques se realizaron en Perú. Entre las causas probables de la dominancia peruana del desembarque se encuentra el aumento del esfuerzo de pesca en la pesquería del sur del Perú debido a la mayor disponibilidad de anchoveta en dicha área según lo informado por IMARPE en el 12º taller de evaluación conjunta de IFOP e IMARPE, 2008 (Serra y Canales, 2013). Y desde el año 2010 a diciembre del 2013 el desembarque chileno ha dominado el desembarque total del stock anchoveta. Se postula que el incremento del desembarque chileno en el año 2011 habría estado asociado a un desplazamiento de la anchoveta del sur de Perú hacia el norte de Chile evidenciándose un incremento del desembarque particularmente en la zona de Arica (Böhm *et al.*, 2013).

Más recientemente y de acuerdo a las estadísticas oficiales, el primer y segundo semestre del 2014 se capturaron en Chile 375.1 mil y 354.3 mil toneladas, respectivamente. Por su parte, en el sur del Perú y de acuerdo a lo informado en Oficio PRODUCE 100-59-2015, el desembarque acumulado de enero a octubre había sido de 336.7 mil toneladas, de las cuales solo 26 mil toneladas fueron capturadas en el segundo semestre. Si se considera además que producto de este oficio la captura de anchoveta fue prohibida en la zona sur del Perú en noviembre y diciembre 2014 debido a la gran presencia de reclutas, se deduce entonces que la captura en esta región pudo haber alcanzado 310 mil toneladas durante el primer semestre del 2014. De esta forma, el desembarque total 2014 se estima en 1.082 millones de toneladas (**Tabla 3**) el cual se traduce un alza del 15% respecto del año 2013, y el desembarque del 2015 disminuyó en un 1% con respecto al 2013. Y el desembarque del 2015 se tradujo en una disminución del 14% con respecto al del 2014. Sin embargo, el desembarque durante el 2016 se redujo fuertemente, alcanzando 397 mil toneladas para ambos países. Y finalmente, en el año 2017 el desembarque aumentó a 708 mil toneladas. Cerrando el año 2018, se registra un desembarque total de 971.1 mil toneladas, un 37% superior a lo registrado en el 2017. Desde el 2016 hasta la fecha se viene registrando un aumento constante de los desembarques, pasando de 397.4, 708.7 y 971.1 mil toneladas, respectivamente (**Figura 11**). En el 2019 se registra un desembarque de 719.9 mil toneladas.



Tabla 3.
Desembarques de la anchoveta stock 16°LS – 24°LS 1986-2019

Año	Sur Perú (x10 ³ t)	Norte Chile (x10 ³ t)	Total (x10 ³ t)
1986	312.2	1248.7	1560.9
1987	246.4	178.8	425.2
1988	285.6	768.5	1054.1
1989	462.8	1263.8	1726.6
1990	179.9	573.1	753.0
1991	377.5	562.8	940.3
1992	873.2	953.9	1827.1
1993	631.4	1056.2	1687.6
1994	849.2	1945.0	2794.2
1995	971.5	1482.1	2453.6
1996	183.8	840.0	1023.8
1997	1080.6	1317.4	2398.0
1998	297.0	132.7	429.7
1999	539.4	809.2	1348.6
2000	483.8	1154.4	1638.2
2001	360.8	639.8	1000.6
2002	1341.6	1216.0	2557.6
2003	193.7	417.9	611.6
2004	882.8	1394.1	2276.9
2005	1037.9	1007.7	2045.6
2006	819.8	513.1	1332.9
2007	943.4	744.8	1688.2
2008	846.8	648.2	1495.0
2009	541.3	440.2	981.5
2010	290.5	435.0	725.5
2011	546.8	958.0	1504.8
2012	272.9	710.1	983.0
2013	246.0	691.0	937.0
2014	353.0	729.4	1082.4
2015	293.0	633.0	926.0
2016	154.0	243.4	397.4
2017	179.0	529.7	708.7
2018	220.0	751.1	971.1
2019	195.0	524.9	719.9

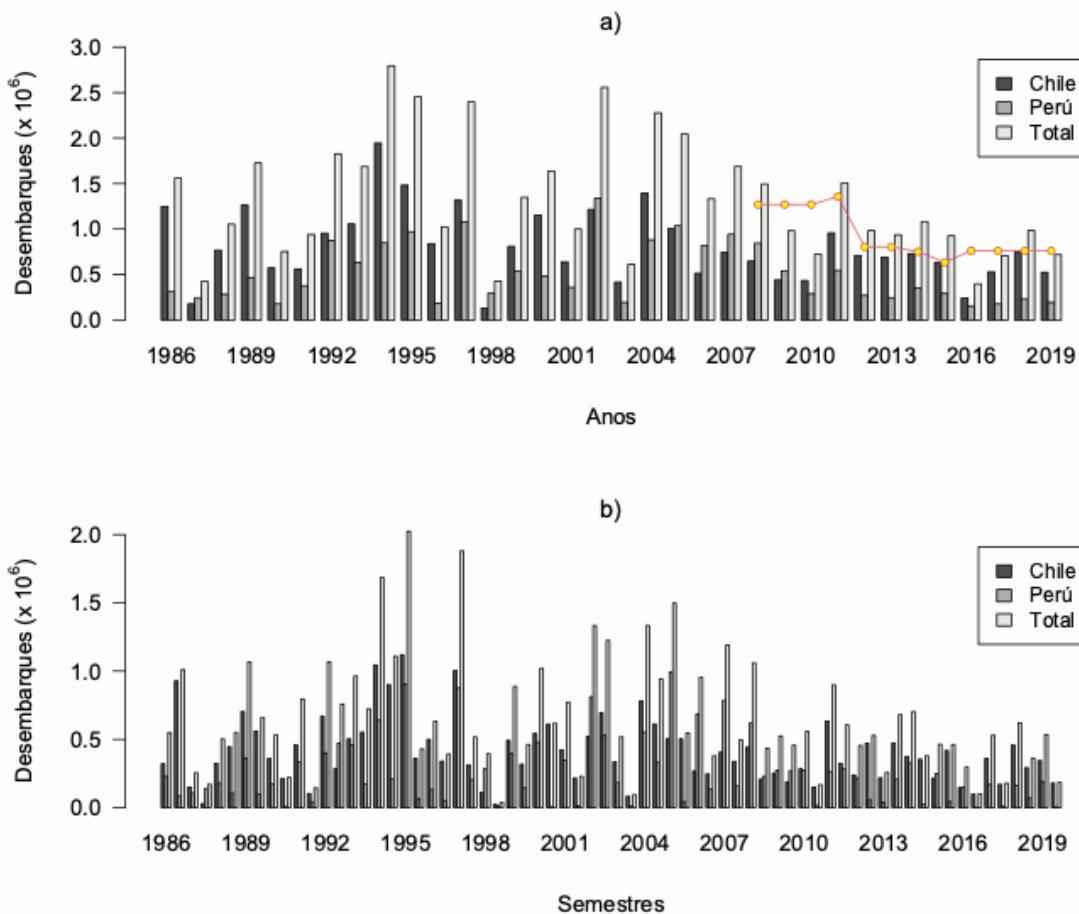


Figura 11. Desembarques anuales y semestrales para Chile, Perú y Total del stock de anchoveta distribuido entre 16°LS - 24°LS (1986 - 2019). Los puntos amarillos representan la cuota chilena. En el panel superior (a) se muestra el desembarque en escala anual y en el panel inferior (b) en escala semestral.

b) Composición de longitud de la captura y cruceros

El número de individuos pescados a la talla en las capturas totales (COLOCAP) se elabora en base mensual tanto de la pesquería del sur de Perú como del norte de Chile. En Perú la expansión de las tallas a las capturas se realiza en base diaria y por puerto, en la pesquería del norte de Chile se realiza en base mensual y por macrozona hasta el 2007. Desde el 2008 se construyen por viaje dentro de cada macrozona, donde las composiciones de tallas muestrales son ponderadas por las capturas. Las macrozonas son:

- Arica: Límite – 19° 30' LS

- Iquique: $19^{\circ} 30' LS - 21^{\circ} 30' LS$
- Antofagasta: $21^{\circ} 30' LS - 24^{\circ} 00' LS$

Para la pesquería chilena cubren el período comprendido entre el primer semestre de 1986 y el segundo semestre 2018, y para la peruana solo hasta el primer semestre del 2017. Los COLOCAP semestrales de ambas pesquerías muestran diferencias, capturándose en general ejemplares de menor talla en la pesquería peruana, según puede apreciarse en la **Figura 12** siendo esto más evidente desde el 2002. Se observa que en algunos de los años anteriores al 2002 se capturaron ejemplares de menor talla en el norte de Chile, comparado con el sur de Perú, y en otros la composición de tallas es muy similar. Sin embargo, desde el 2002 al 2011 de manera sistemática se capturaron ejemplares más pequeños en la pesquería peruana. Estas diferencias justifican el uso de un modelo que discrimine por flotas. Sin embargo, desde el 2015 las tallas medias disminuyen fuertemente, acercándose a los 11 cm en el 2019.

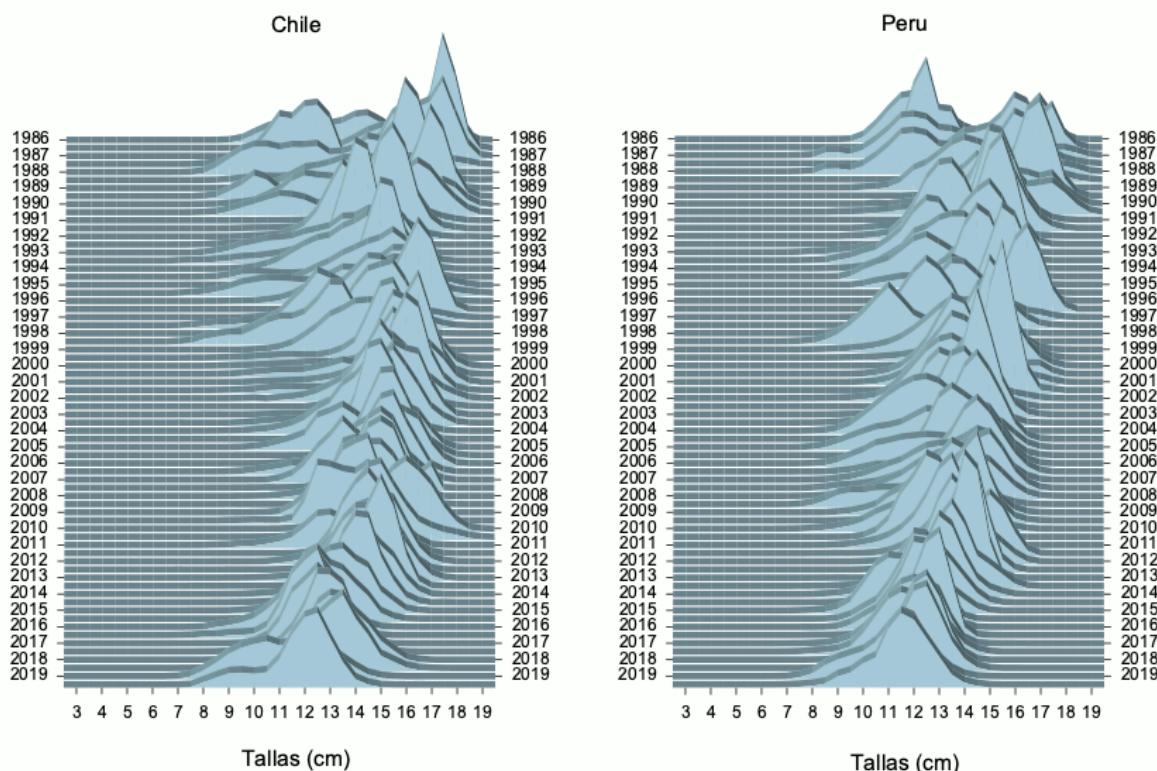


Figura 12. Proporción por tallas de las capturas semestrales en las pesquerías de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile (1986 – 2019).

Para la pesquería chilena se analizan los datos de los muestreos biológicos efectuados por el programa de seguimiento de la pesquería desarrollado en el norte de Chile. Los resultados muestran la proporción en la captura de cuatro categorías de tallas a desde el 2001 hasta el 2019 (**Figura 13**), desde el 2001 hay una predominancia de individuos de 14 a 16 cm de longitud y una baja incidencia de individuos de 12 a 13.5 cm, alcanzando sobre el 40% en el 2004 y 2007. Desde del 2007 en adelante este porcentaje aumenta considerablemente y se observa en una mayor frecuencia, llegando alcanzar valores por sobre el 80% en el 2011. Y desde el 2015 dominan gran parte de la serie y se observa una participación significativa de individuos menores a los 11.5 cm de longitud. Esta tendencia en la disminución de las tallas durante los últimos años también es apreciable en la talla media (**Figura 14**). En el 2014 se observa una disminución de la talla media, hasta alcanzar los 10 cm a comienzos del 2016. Luego, la talla media se mantiene en torno a los 12 a 14 cm y en el 2019 la talla media cae hasta los 10 cm y se mantiene en torno a los 12 cm hacia el final del 2019.

c) Pesos y madurez a la talla

Se utiliza una relación longitud-peso desde 1986 hasta el 2000. Esta se obtuvo como promedio para el período 1986-2000 y considera la zona norte de Chile (XV-II Regiones). Los coeficientes de la relación son: $a = 0.00625$ y $b = 3.02561$. Y para los años 2001 hasta 2019 se utiliza una relación longitud-peso variable por semestre ajustada mediante modelos no lineales mixtos (Pinheiro y Bates, 2000), donde los parámetros a y b de la relación longitud-peso son considerados como efectos aleatorios (**Tabla 4 y Figura 15**). En cuanto a la madurez, se utiliza la ojiva a la talla obtenida por Martínez *et al.* (2009), cuya talla media de madurez corresponde a 11.5 cm en longitud total. La función de proporción de individuos maduros a la talla se muestra en la **Figura 16**.

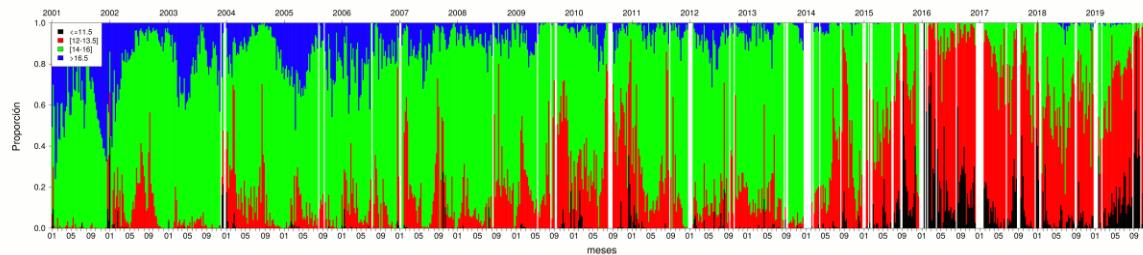


Figura 13. Participación de las tallas en las capturas de la flota chilena por intervalo de talla desde el 2001 hasta el 2019. El color azul (>16.5 cm), color verde (14 a 16 cm), color rojo (12 a 13.5 cm) y color negro (≤ 11.5 cm).

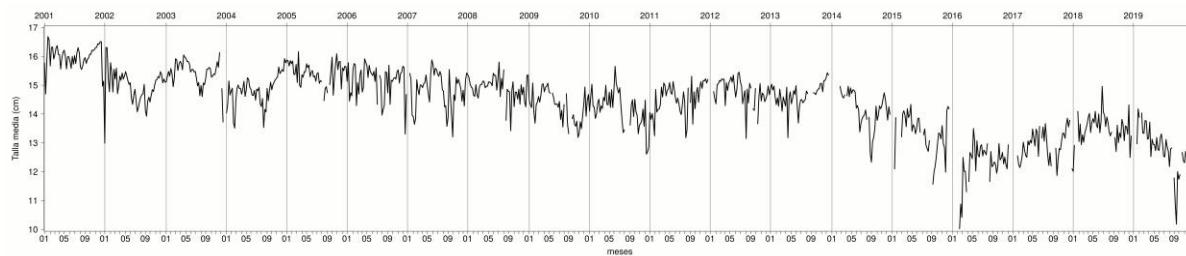


Figura 14. Serie temporal de la talla media en las capturas de la flota chilena desde el 2001 hasta el 2019.

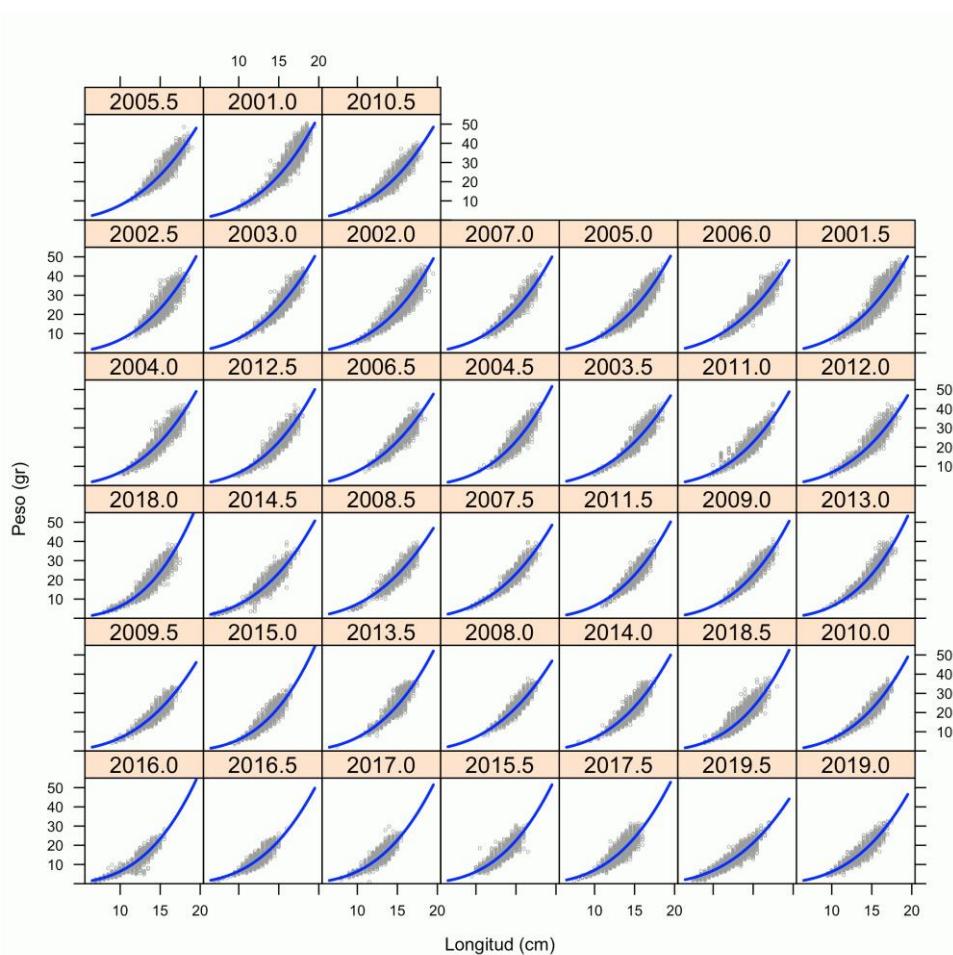


Figura 15. Relación longitud-peso variable por semestres desde el 2001 hasta el 2019. Cada curva (línea azul) fue ajustada por medio de modelos mixtos con efectos aleatorios.

**Tabla 4.**Parámetros a y b de la relación longitud-peso estimados por modelo no lineales mixtos.

Semestre	a	b
2001.0	0.007810934	2.953925
2001.5	0.011107999	2.833511
2002.0	0.006689012	2.996512
2002.5	0.007180881	2.980155
2003.0	0.011145474	2.832652
2003.5	0.012501097	2.769733
2004.0	0.008088254	2.931933
2004.5	0.005530761	3.077420
2005.0	0.008281394	2.931933
2005.5	0.014549947	2.726752
2006.0	0.013851617	2.744509
2006.5	0.012773019	2.768485
2007.0	0.007564375	2.961119
2007.5	0.010773553	2.832238
2008.0	0.011974593	2.785081
2008.5	0.012830483	2.761722
2009.0	0.005619524	3.065078
2009.5	0.009529009	2.856279
2010.0	0.005298669	3.074377
2010.5	0.011398358	2.812732
2011.0	0.007784679	2.943700
2011.5	0.005732487	3.056045
2012.0	0.008782683	2.889336
2012.5	0.006577518	3.008842
2013.0	0.003655199	3.227376
2013.5	0.007650149	2.994775
2014.0	0.007650149	2.957364
2014.5	0.008815520	2.914416
2015.0	0.002972675	3.303684
2015.5	0.004319944	3.160051
2016.0	0.004162371	3.188746
2016.5	0.005994121	3.037969
2017.0	0.004849688	3.120800
2017.5	0.006904577	3.010688
2018.0	0.002855162	3.338865
2018.5	0.004324776	3.165825
2019.0	0.005989567	3.015624
2019.5	0.011380066	2.781900

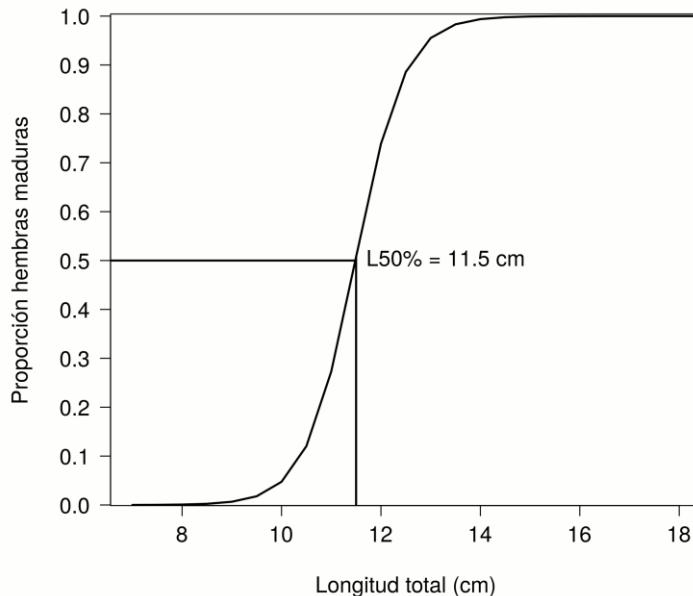


Figura 16. Ojiva de madurez sexual a la talla para la anchoveta obtenida de Martínez *et al.* (2009).

d) *Crecimiento*

Como fue mencionado en el **Punto 2.6**, en relación de los nuevos antecedentes sobre el crecimiento de la anchoveta del norte de Chile (Plaza *et al.*, 2017), señalan una dinámica más rápida que la establecida para las especies de *Engraulis* de otros ecosistemas de surgencia de borde oriental tales como Butler (1989), Waldron *et al.* (1989 y 1992), Melo (1984) y Prosch (1986). Estos resultados señalan un coeficiente de crecimiento de $k = 1.96 \text{ año}^{-1}$, $t_0 = 0.013 \text{ año}$ y $L_{\inf} = 19.85 \text{ cm}$ (**Tabla 5**).

Tabla 5.
Parámetros de crecimiento estimados del modelo de von Bertalanffy.

t_0 (año)	k (año^{-1})	L_{\inf} (cm)
0.013	1.96	19.85

Sin embargo, durante el Taller Benchmark realizado en julio del 2019 se revisaron los diferentes casos de crecimiento, tanto los que incorporan la estacionalidad en el crecimiento como aquellos basados en el modelo de von Bertalanffy tradicional. Los resultados indican que el modelo tradicional de von Bertalanffy no difiere mucho de los modelos estacionales (**Figura 17**) y que el modelo tradicional de crecimiento fue el que mejor se ajustó a los datos de la evaluación durante el Taller Benchmark.

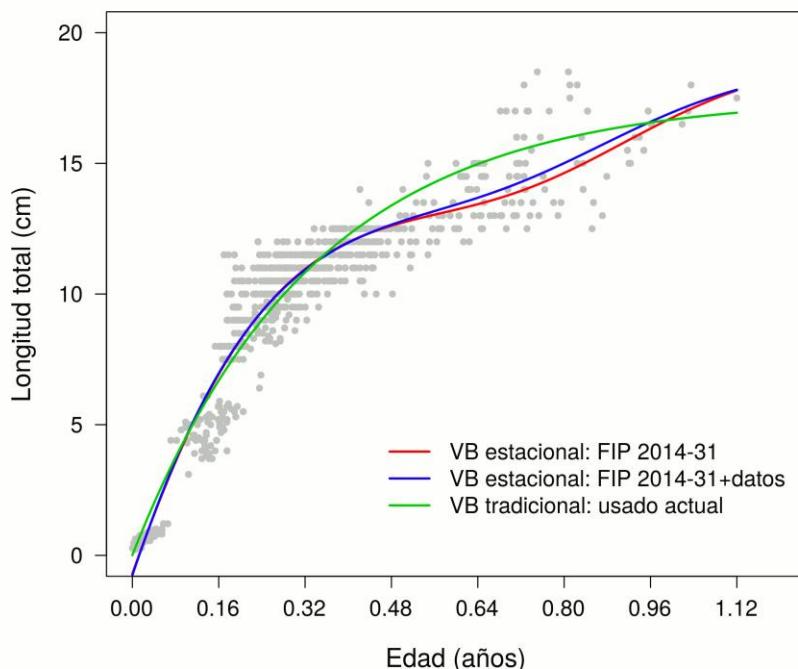


Figura 17. Función de crecimiento de von Bertalanffy tradicional y estacional para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile.

e) *Mortalidad natural*

La mortalidad natural fue calculada a través de diferentes modelos bio-analógicos existentes en la literatura según los parámetros de crecimiento anteriormente señalados (**Tabla 6**). Estos modelos entregan un valor superior a dos, para lo cual se utilizó un valor de $M=1.1$ (semestre $^{-1}$) para la tasa de mortalidad natural (M), valor usado como constante para todas las edades y años

**Tabla 6.**

Métodos empíricos para estimar la mortalidad natural.

Método / Edad teórica máxima		1	2
Rikhter y Efanov (1976)	2.78		
Pauly (1980)	1.74		
Taylor (1958, 1960)		2.16	1.99
Hoening (1983)		2.16	2.14
Alverson y Carney (1975)		2.33	2.28
Alagaraja (1984)		2.33	2.30
Hewitt y Hoening (2005)		2.14	2.11
Promedio	2.26	2.22	2.17

f) Indicadores de abundancia independientes de la pesquería

Las estimaciones actualizadas de biomasa desovante al 2019 y disponible para la evaluación de stock se entregan en la **Tabla 7**. Para propósitos de la evaluación de stock, el índice de biomasa desovante utilizada corresponde a la serie con el método “Lo” (Claramunt *et al.*, 2014). Sin embargo, se muestra la serie de las estimaciones de biomasa desovante mediante el método de “multinomial” para fines comparativos. En el 2014 la estimación de biomasa desovante alcanzó un valor de 399 mil toneladas. En el 2015 la estimación de biomasa desovante subió levemente a las 436 mil toneladas, luego en el 2016 fue de 461 mil toneladas y en el 2017 fue de 201 mil toneladas, lo que representa una disminución del 56% con respecto al 2016. En el 2018 la biomasa desovante estimada aumento a las 799 mil toneladas y en el 2019 esta fue de 651 mil toneladas. En la **Tabla 7** se muestran los índices provenientes de las evaluaciones hidroacústicas por año e incluye: i) la biomasa total de Perú realizados durante los años 1990 al 2019 y la biomasa total para el norte de Chile (Castillo *et al.*, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013). Los cruceros peruanos fueron realizados durante el primer y segundo semestre de cada año en que se tiene dicha información en Perú. Para el norte de Chile se incluye también la estructura de tamaños disponible para la abundancia total estimada durante los años 2000-2002 y 2007-2019 y la fecha en que se desarrolló el crucero acústico. La actualización de los registros peruanos a través de los Talleres IMARPE-IFOP de Evaluación Conjunta del Stock de Anchoveta del Sur de Perú y Norte de Chile, el último realizado entre el 3 y 7 de diciembre del 2018 en el Club Alemán, Valparaíso, Chile.

En enero 2015, el IMARPE reportó en la zona sur del Perú una biomasa total de 534 mil toneladas, de las cuales el 94% estaba compuesto por biomasa de reclutas (Oficio PRODUCE 100-556-2014), individuos menores a 11.5 cm. Asimismo, poco antes y en diciembre del 2014 IFOP había registrado una biomasa de 410 mil toneladas cuya incidencia de reclutas alcanzaba el 60% en peso. Y para el 2016 se estima una biomasa total de 307 mil toneladas para el norte de Chile y en el 2017 este valor fue de 105 mil toneladas. Sin embargo, este valor sube drásticamente a 793 mil toneladas de biomasa total en el 2018, lo que



representa un aumento de más de seis veces de magnitud. Pero en el 2019 este valor cae drásticamente a las 230 mil toneladas.

Tabla 7.

Biomasa estimada a través del Método de Producción de Huevos (MPH) y cruceros acústicos del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile.

Año	MPH				Acústica	
	Multinomial (t)	CV (%)	Modelo Lo (t)	CV (%)	Total Perú (t)	Total Chile (t)
1990	-	-	-	-	187.000	-
1991	-	-	-	-	558.000	-
1992	280.000	32.5	314.232	32.3	482.000	-
1993	-	-	-	-	893.000	-
1994	-	-	-	-	744.000	-
1995	218.000	-	465.696	31.6	2.667.000	-
1996	288.000	-	253.356	40.5	648.000	385.881
1997	423.654	31.7	744.838	34.5	745.000	-
1998	-	-	-	-	1.306.000	957.868
1999	751.810	63.1	973.292	64.5	178.000	-
2000	737.217	28.9	608.087	29.0	522.000	959.791
2001	193.857	141.5	765.885	142.7	199.000	317.977
2002	1.283.127	23.4	1.503.911	24.0	1.008.000	-
2003	477.004	57.3	1.238.731	53.6	839.000	-
2004	757.385	40.6	668.979	42.5	682.000	-
2005	977.285	35	1.520.754	33.8	1.375.000	-
2006	953.003	37.8	1.081.156	40.9	283.000	-
2007	202.000	71.2	240.727	78.2	1.318.000	713.012
2008	141.270	69.4	532.132	60.0	554.000	135.550
2009	215.896	29.9	287.916	252.4	425.000	456.341
2010	-	-	-	-	1.274.000	253.861
2011	673.857	27.3	795.056	28.5	613.000	170.405
2012	427.070	32	672.077	33.9	2.271.000	299.520
2013	550.629	53.9	520.336	52.4	2.013.000	163.002
2014	437.627	67.8	399.605	65.8	884.000	410.660
2015	525.087	57,9	436.014	51.6	1.097.000	285.644
2016	342.000		461.000	167.4	370.000	307.129
2017	222.903		201.178	86.5	1.487.000	105.841
2018			799.400	48.7	1.156.000	793.242
2019			651.278		2.968.000	230.206



La **Tabla 8** muestra un resumen de la temporalidad de las evaluaciones directas llevadas a cabo en el norte de Chile. Anterior al año 2007 los cruceros se realizaban en distintos meses, ya que el criterio era evaluar el máximo reclutamiento basado en el máximo desove a fines de agosto (**Figura 2**). Posterior al año 2008, se fijó la fecha para el crucero del norte de Chile. Las estructuras de tallas de los cruceros acústicos de anchoveta están disponibles desde el 2000 hasta 2002 y desde el 2007 hasta el 2018. Esta información es relevante dado por la presencia de individuos de menor tamaño (individuos desde los 2.5 cm), dando cuenta de los reclutas que están ingresando a la pesquería, y por el extenso período que abarca esta información (**Figura 18**).

Tabla 8.

Período de realización de los cruceros hidroacústicos de anchoveta de la zona norte de Chile.

Nombre crucero acústico	año	Noviembre				Diciembre				Enero				Febrero			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
RECLAN9601	1996									x	x	x					
RECLAN9611	1997					x	x	x									
RECLAN9801	1998												x	x	x		
RECLAN9811	1999						x	x	x								
RECLAN0001	2000												x	x	x		
RECLAN0012	2001					x	x	x									
RECLAN0111	2002					x	x	x									
RECLAN0702	2007												x	x	x		
RECLAN0712	2008																
RECLAN0812	2009					x	x	x									
RECLAN0912	2010					x	x	x									
RECLAN1012	2011					x	x	x	x								
RECLAN1112	2012					x	x	x	x								
RECLAN1212	2013					x	x	x	x								
RECLAN1312	2014					x	x	x	x								
RECLAN	2015					x	x	x	x								
RECLAN	2016					x	x	x	x								
RECLAN	2017					x	x	x	x								
RECLAN	2018					x	x	x	x								
RECLAN	2019					x	x	x	x								

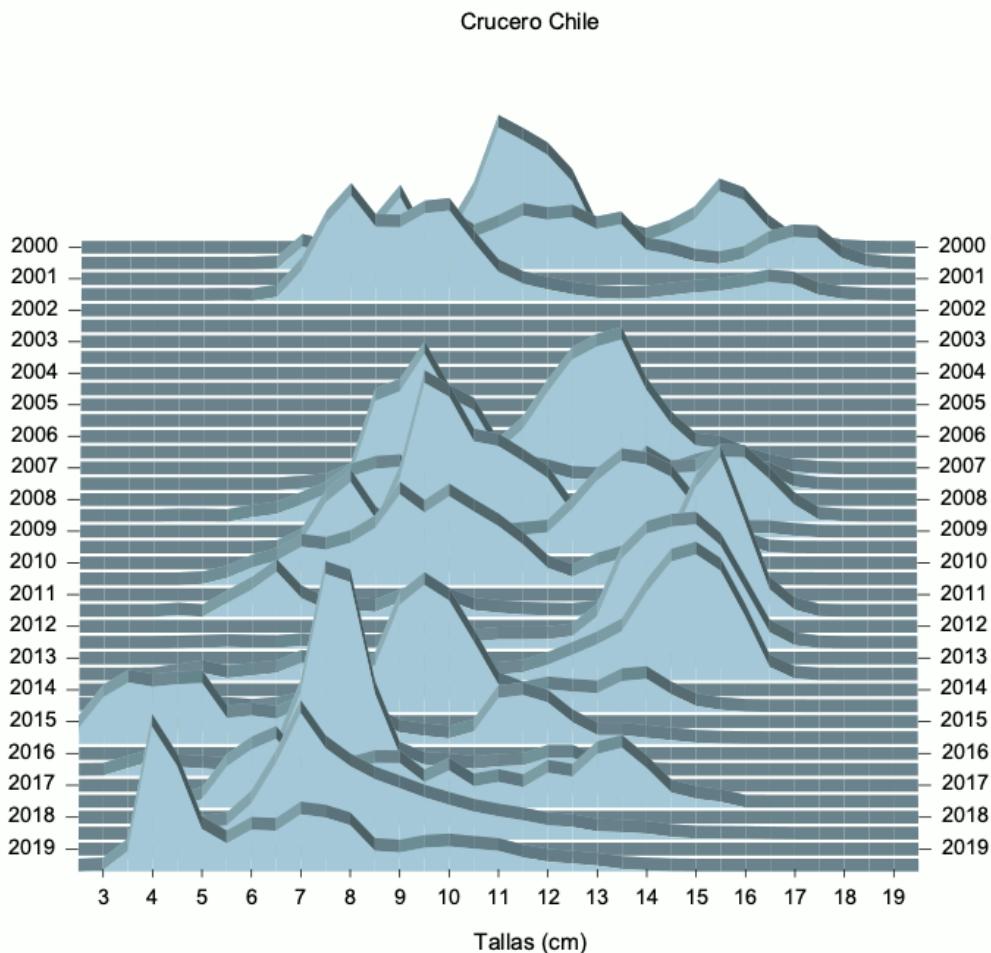


Figura 18. Proporción por tallas de la abundancia del crucero acústico en el norte de Chile (2000-2001 y 2007-2019).

La **Figura 19** muestra los índices utilizados en la actual evaluación de stock al segundo semestre del 2019. En el caso de la biomasa total acústica del Perú, representa la fracción correspondiente a la región sur de Perú ($16-18^{\circ}21' L.S.$). En el caso de la biomasa acústica de Chile representa la totalidad de la biomasa estimada desde los $18^{\circ}21-24^{\circ} L.S.$. Las estimaciones hechas a fines de primavera de los años 2014, 2015 y 2016 se han registrado altos valores, con un promedio de 334 (± 66) mil toneladas, un gran porcentaje de estas biomassas corresponde a la fracción juvenil del stock. Durante el 2017 este valor cae a 105 mil toneladas para luego expandirse a 793 mil toneladas durante el 2018, valor más alto de la serie histórica. Sin embargo, este valor cae a 230 mil toneladas en el 2019. Por otra parte, la biomasa desovante estimada en el segundo semestre del 2017 alcanzó un valor de 201 mil toneladas, el valor más bajo de

toda la serie histórica estimada por el método de producción diaria de huevos para la anchoveta del norte de Chile. Pero la estimación hecha en el 2018, la biomasa desovante alcanzó un valor de 799 mil toneladas, mostrando un aumento de casi cuatro veces con respecto al valor observado en el 2017 (**Figura 19c**). Sin embargo, este valor cae levemente en el 2019 a 651 mil toneladas.

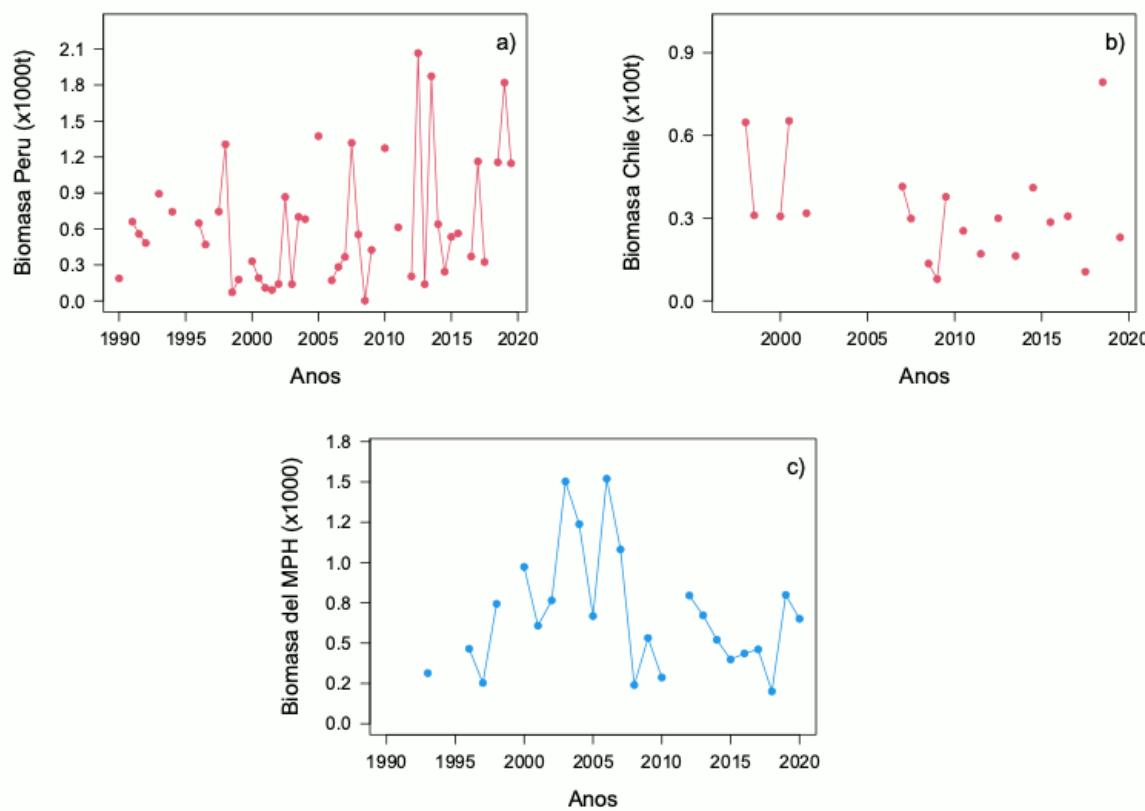


Figura 19. Índices considerados en la evaluación del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile al segundo semestre del 2019, en a) la biomasa total acústica del Perú, b) la biomasa total acústica de Chile y c) biomasa desovante estimada a partir del MPH del norte de Chile.



4.1.3 Evaluación de stock

El siguiente modelo base presentado en este informe está basado en los resultados de la Revisión por Pares Internacionales, en el Taller Benchmark y en las mejoras continúas hechas hasta el desarrollo de este informe. A continuación, se presentan los resultados de la evaluación de stock de la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile.

Ajuste del modelo a las observaciones

El ajuste del modelo de evaluación a los índices de abundancia auxiliares se muestra en la **Figura 20**. Se aprecia que el modelo es capaz de reproducir en forma adecuada las principales tendencias de los diferentes índices de biomasa, y en menor medida la alta variabilidad que presenta la información. En este sentido se destaca principalmente los buenos ajustes al índice del MPH y en menor medida las biomassas totales acústica del sur de Perú y norte de Chile, como lo indica la raíz del cuadrado medio de los errores (RMSE) en la **Figura 20**. La biomasa acústica total del sur de Perú durante los últimos años ha presentado alta variabilidad, con valores de 370 mil toneladas en el 2016, 1.4 millones de toneladas en el 2017, 1.1 millones de toneladas en el 2018 y 2.9 millones de toneladas en el 2019 (**Figura 20a**). Estos valores tan altos (>700 mil toneladas) el modelo de evaluación no es capaz de reproducir durante los últimos diez años. Lo mismo ocurre para la biomasa total acústica del norte de Chile, valores por sobre las 700 mil toneladas el modelo no es capaz de reproducir adecuadamente, como es el año 2018 donde se registraron 799 mil toneladas (**Figura 20b**). Por otro lado, el modelo es capaz de reproducir adecuadamente los valores observados de biomasa desovante para casi toda la serie histórica, salvo para algunos años en particular. En este sentido, el modelo es capaz de recoger adecuadamente el aumento que se observa en la biomasa desovante en los últimos años (**Figura 20c**), salvo el 2017 donde se registra el menor valor de la serie histórica de la biomasa desovante.

Respecto del ajuste de los desembarques semestrales (**Figura 21**) se destaca el buen desempeño del modelo a la serie de desembarques debido principalmente al coeficiente de variación asignado a esta variable. En la **Figura 22, 23 y 24** se presentan las estructuras de tamaños observadas y las ajustadas por el modelo de evaluación para la flota chilena, peruana y cruceros, respectivamente. En general, se concluye que el modelo reproduce en buena medida la variabilidad que se observa entre los semestres, lo cual podría deberse a cambios en el patrón de explotación o a variaciones en la talla media. El modelo tiene la capacidad de capturar las formas generales referidas a los efectos selectivos, pero en menor medida las altas proporciones que se observan en algunos semestres. Sin embargo, el ajuste a las estructuras de tamaños de la flota peruana presenta un mejor desempeño (**Figura 23**) que el ajuste a la flota chilena, debido en gran medida a los bloques de selectividad usados (**Figura 25**) y la fecha, en proporción al semestre, en que ocurre la máxima captura. También se observa un buen desempeño del modelo al ajuste de las estructuras del crucero acústico chileno para algunos años en particular, como se observa en el 2012 y 2013 (**Figura 24**). Este modelo de evaluación considera diferentes bloques de selectividad para la flota chilena (6), para la peruana (7) y para el crucero acústico de Chile (2) como se muestra en la **Figura 25**. Esto debido a que las composiciones de tallas muestran variaciones importantes durante el periodo de estudio, más aún durante los últimos años donde la talla media ha ido disminuyendo drásticamente (**Figura 13 y 14**).

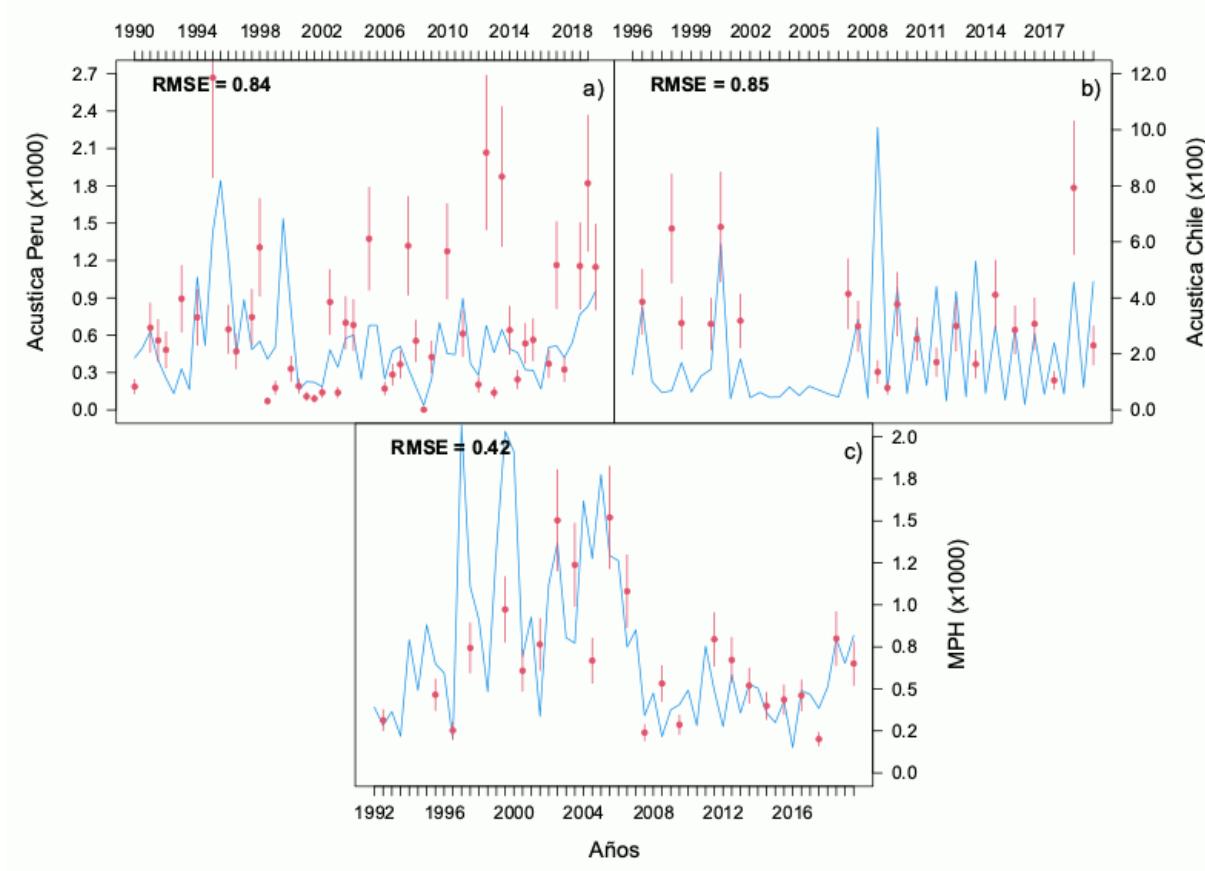


Figura 20. Ajuste del modelo (línea azul) de evaluación de stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. En a) el crucero acústico de biomasa total del sur de Perú, b) biomasa total del crucero acústico de Chile y c) biomasa desovante estimada a través del MPH en Chile. Las líneas rojas verticales indican el error dado por los coeficientes de variación asignados a estas variables y los puntos rojos representan el valor observado. Se indica la raíz del cuadrado medio de los errores en color negro.

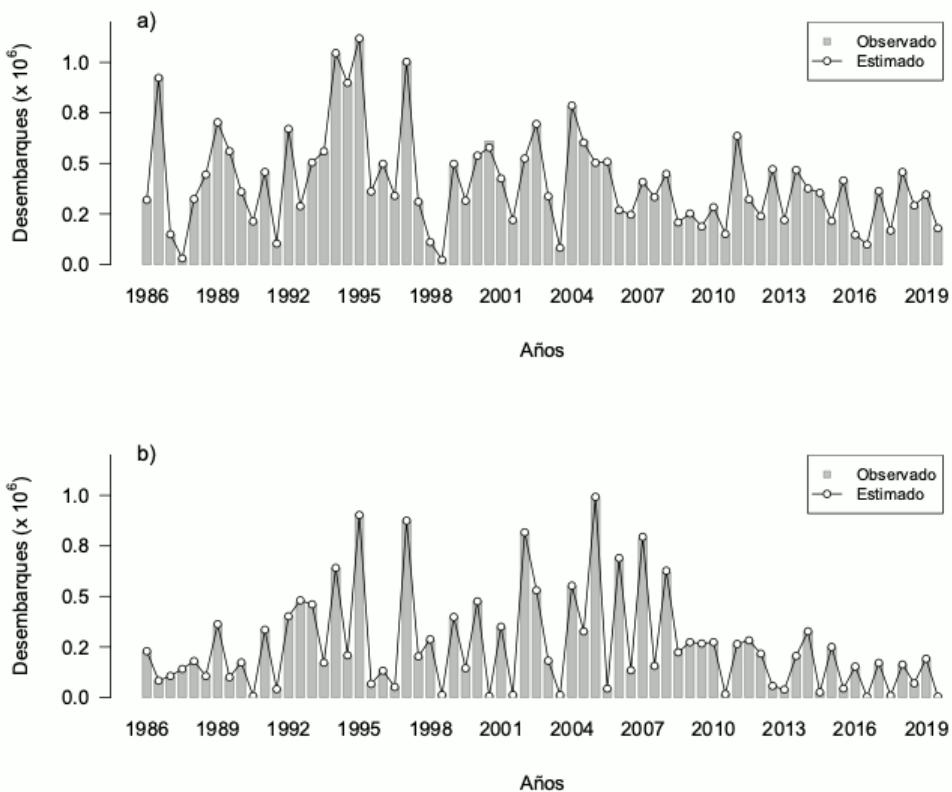


Figura 21. Ajuste del modelo de evaluación de stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile a las series de desembarques para ambos países. En a) los desembarques semestrales del norte de Chile y en b) los desembarques semestrales del sur de Perú.

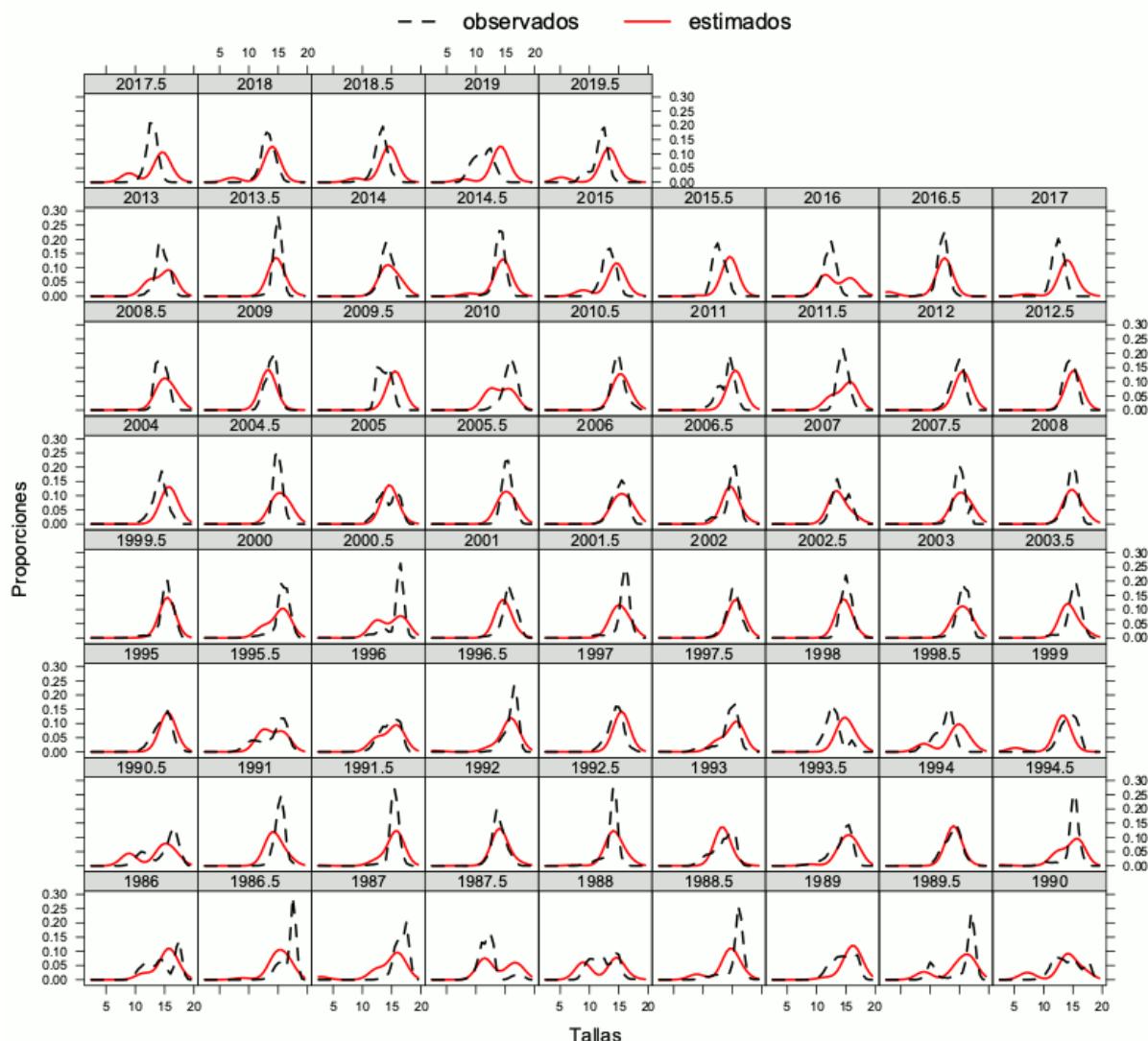


Figura 22. Ajuste del modelo a la información de composiciones de tallas de las capturas de anchoveta para la flota chilena. La línea segmentada corresponde a las observaciones y la línea continua a la estimada por el modelo.

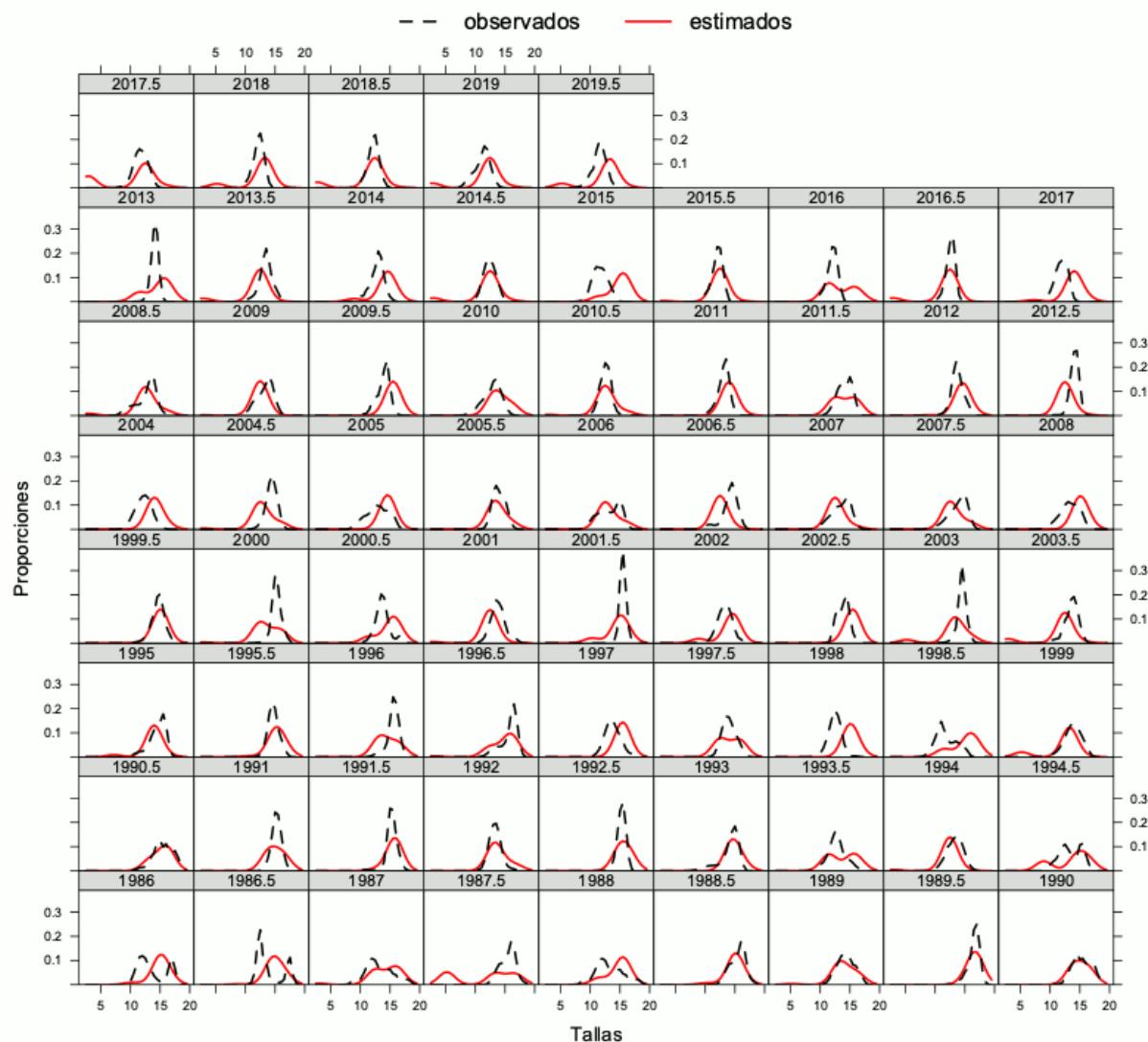


Figura 23. Ajuste del modelo a la información de composiciones de tallas de las capturas de anchoveta para la flota peruana. La línea segmentada corresponde a las observaciones y la línea continua a la estimada por el modelo.

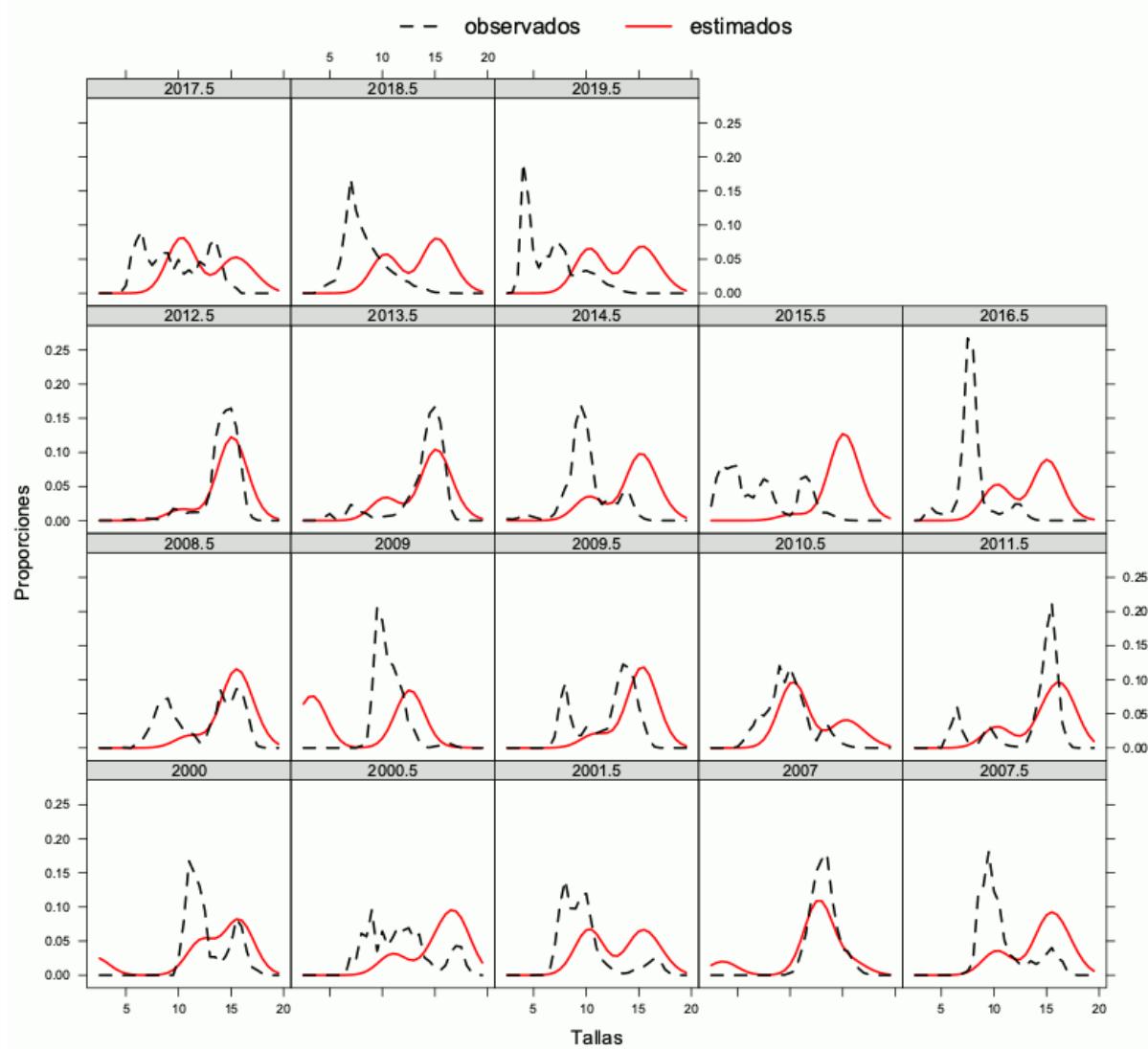


Figura 24. Ajuste del modelo a la información de composiciones de tallas de los cruceros acústicos en el norte de Chile para la anchoveta. La línea segmentada corresponde a las observaciones y la línea continua a la estimada por el modelo.

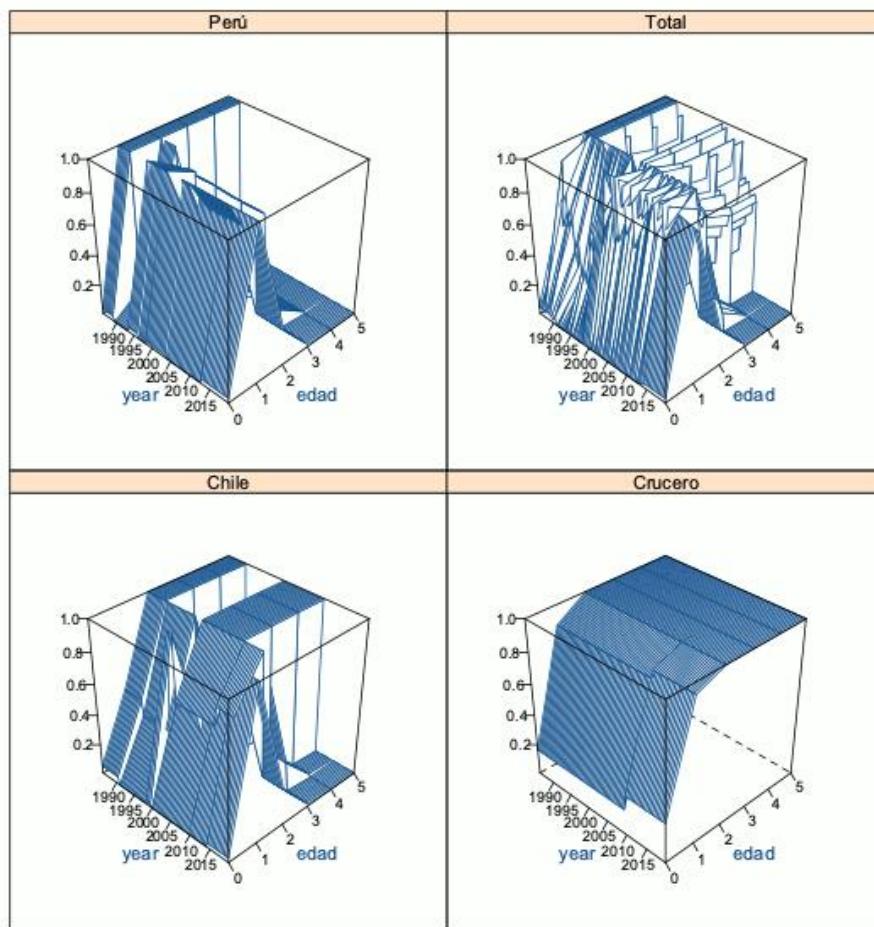


Figura 25. Bloques de selectividad por edades y años para la flota chilena, peruana y crucero acústico del norte de Chile en la evaluación del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile.



Variables poblacionales

Las principales variables poblacionales biomasa total, biomasa desovante, razón del potencial reproductivo y reclutamientos se muestran en la **Figura 26**. Los menores valores para la biomasa total y desovante se registraron en 2016, con valores de 542 y 362 mil toneladas, respectivamente. La biomasa total para el segundo semestre del 2019 se estima en torno a las 2.2 millones de toneladas, mientras que la biomasa desovante estaría próxima a los 1.3 millones de toneladas, siendo esta estimación una de las más altas desde el 2011 (**Tabla 9**). De igual forma, la reducción de la razón del potencial reproductivo para este recurso señala que entre los años 1999 y 2001 la biomasa reproductiva se redujo drásticamente en un 79%, alcanzando un valor mínimo de 0.31 en el segundo semestre del 2001. Y desde el año 2002 hasta la fecha ha variado en torno a un valor de 0.68 (± 0.23) (**Figura 26c**). La razón del potencial reproductivo al segundo semestre del 2019 señala un valor de 1.09, valor por encima del punto biológico de referencia objetivo de manejo. La variabilidad del reclutamiento y los cambios en la amplitud sugieren un cambio en la señal desde el 2007, con un valor mínimo de 74 millones de individuos en el 2008 (**Figura 26d**). Desde el año 2008.5 hasta el 2015 los reclutamientos semestrales han alcanzado un valor medio de 246 (± 143) millones de individuos. En el segundo semestre del 2015 se registró el valor más bajo de la serie con un valor de 31 millones de individuos. Al final de la serie se estima un valor de 503 millones de individuos, este último valor corresponde al más alto de los últimos diez años de reclutamientos estimados por el modelo. Sin perjuicio de lo anterior, los niveles de incertidumbre de estas estimaciones parecen ser bastante razonables, reflejados en los coeficientes de variación cercanos al 15% para la biomasa desovante para el último semestre de la evaluación. Sin embargo, la incertidumbre para el reclutamiento se incrementa para el último semestre, alcanzando un valor del 31% (**Figura 27**). Se destaca que en general la medida de imprecisión es constante durante todo el periodo de estudio, alcanzando un valor promedio de 0.18 (± 0.07) para la biomasa desovante.

De igual modo, los desvíos de los reclutamientos semestrales respecto de su tendencia de largo plazo indican anomalías negativas desde el 2008 hasta el primer semestre del 2017 (**Figura 28b**), y en el segundo semestre del 2018 esta tendencia se revierte (anomalía positiva), debido al último valor observado de la biomasa desovante en torno a las 799 mil toneladas (**Tabla 6**). Sin embargo, los tres últimos valores de biomasa total (alto % de reclutas) estimados en el 2014, 2015 y 2016 no pudieron revertir la tendencia negativa en los desvíos de reclutamientos (**Figura 28b**), más aún, el desvío del reclutamiento estimado para el segundo semestre del 2015 es el más bajo de la serie histórica. Cabe destacar, que, a nivel semestral, los reclutamientos registrados durante el segundo semestre han sido en promedio de mayor intensidad respecto de los registrados en el primer semestre (**Figura 28a**), y esto se debería principalmente a que el reclutamiento del segundo semestre es el que soporta las capturas del primer semestre, donde se registra la mayor proporción de las capturas. La mortalidad por pesca ha sido muy variable en los últimos diez años, principalmente influenciada por la flota chilena (**Figura 28c**), que ha presentado valores más altos que la flota peruana, salvo por algunos semestres. Durante el último periodo, las mortalidades estimadas presentan valores muy bajos para ambas flotas. Sin embargo, durante el último periodo ambas flotas han concentrado su explotación sobre individuos de 10 a 14 cm de longitud, lo que corresponde al grupo de individuos de medio y un año de edad y algo de los individuos de un año-medio de edad (**Figura 28d**). La flota peruana capture ejemplares de menor tamaño que la flota chilena.

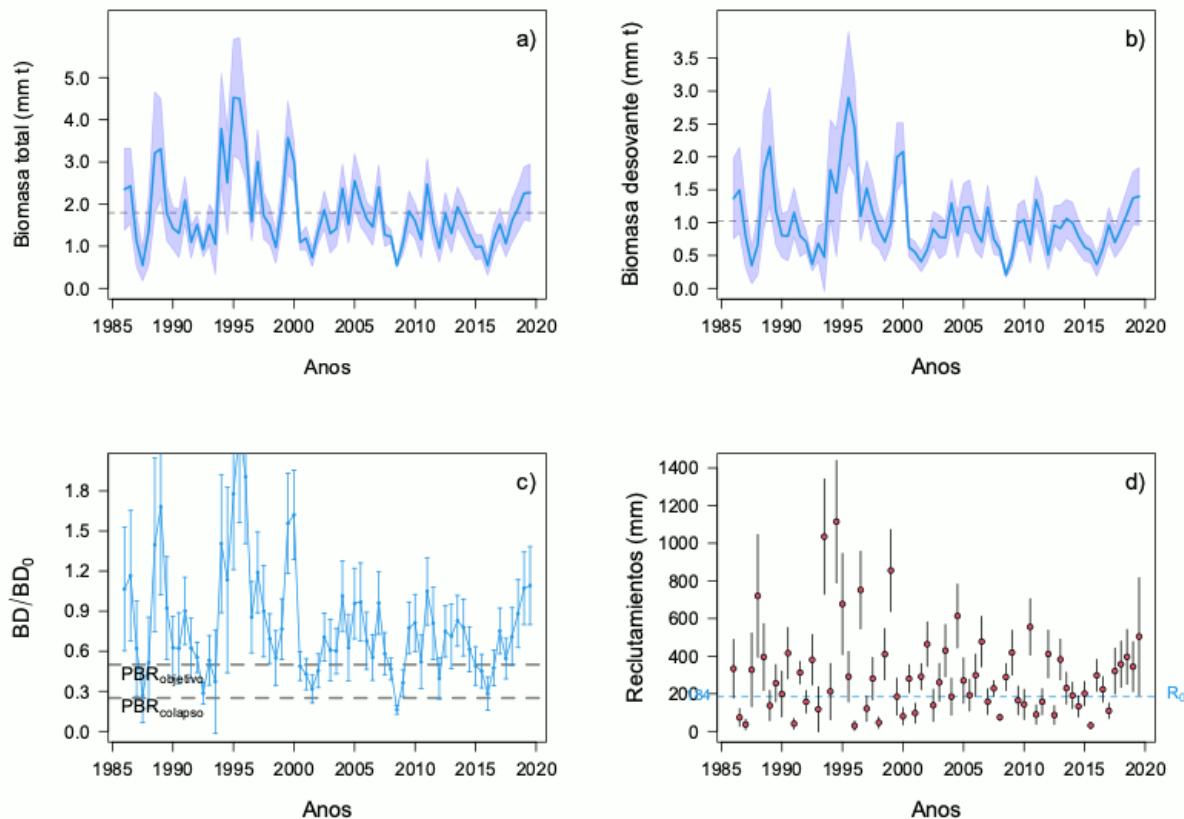


Figura 26. Biomasa total (a), biomasa desovante (b), razón del potencial reproductivo de largo plazo (c) y reclutamientos (d) para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. Las zonas en azul representan los intervalos de confianza al 95%. En (a) y (b) las líneas horizontales segmentadas representan el valor medio estimado. En (c) las líneas segmentadas representan los niveles objetivo y de agotamiento (colapso). En (c) y (d) las líneas verticales representan los intervalos de confianza al 95%. Y en (d) la línea segmentada representa el valor medio estimado para R_0 .

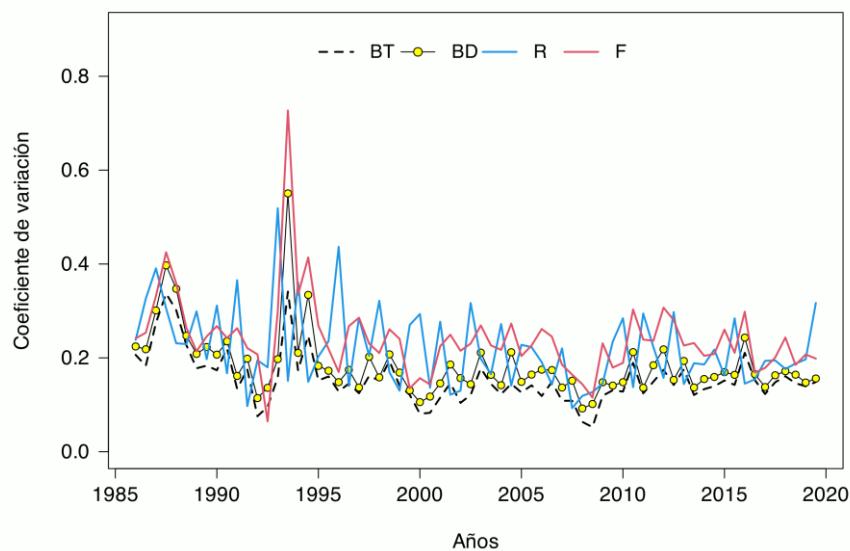


Figura 27. Coeficiente de variación de las estimaciones de biomasa total (BT), biomasa desovante (BD), reclutamientos (R) y la mortalidad por pesca (F) de la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile.

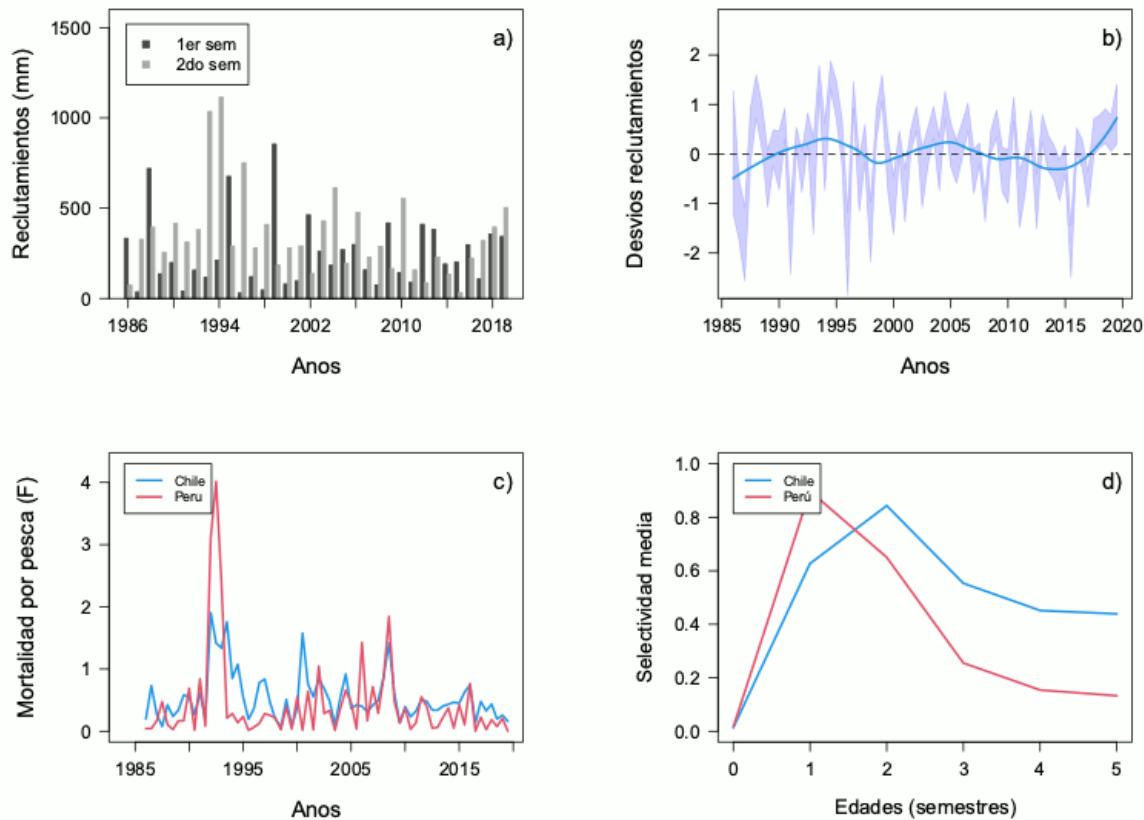


Figura 28. Reclutamientos semestrales (a), desvíos de los reclutamientos (b), mortalidades por pesca (c) y selectividad media (d) para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. En (b) la línea continua representa la tendencia de largo plazo.

**Tabla 8.**

Variables poblacionales en base semestral para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. N es la abundancia total; R es el reclutamiento, C es la captura estimada; BT es la biomasa total; BD es la biomasa desovante; RPR es la reducción del potencial reproductivo; F_{TOT} es la mortalidad por peca total; BD/BD_0 es la reducción del potencial reproductivo de largo plazo; BD/B_{RMS} es la razón entre la biomasa desovante y su punto biológico de referencia y F/F_{RMS} es la razón de la mortalidad por peca y su punto biológico de referencia.

Año	N(#)	R(#)	C(#)	BT	BD	RPR	F_{TOT}	BD/BD_0	BD/B_{RMS}	F/F_{RMS}
2001.0	195	97	43	1188	548	0.42	4.46	0.42	0.85	1.79
2001.5	334	291	9	736	406	0.34	2.57	0.31	0.63	0.47
2002.0	569	463	62	1343	582	0.54	5.45	0.45	0.90	2.34
2002.5	297	138	51	1862	904	0.51	3.59	0.70	1.41	1.05
2003.0	332	260	22	1300	779	0.43	2.74	0.60	1.21	1.00
2003.5	528	429	4	1416	770	0.56	0.49	0.60	1.20	0.10
2004.0	357	184	56	2371	1297	0.74	3.16	1.01	2.02	1.00
2004.5	703	613	43	1513	802	0.45	5.41	0.62	1.25	1.76
2005.0	482	270	67	2554	1227	0.56	2.51	0.95	1.91	1.02
2005.5	318	192	22	2043	1241	0.52	2.00	0.96	1.93	0.39
2006.0	393	298	50	1650	868	0.49	4.42	0.67	1.35	2.21
2006.5	583	477	20	1457	708	0.46	1.72	0.55	1.10	0.50
2007.0	341	158	74	2398	1231	0.62	3.22	0.96	1.92	1.40
2007.5	304	228	22	1269	746	0.40	2.79	0.58	1.16	0.84
2008.0	164	74	45	1231	597	0.43	5.53	0.46	0.93	2.05
2008.5	321	288	23	552	207	0.19	9.84	0.16	0.32	4.04
2009.0	515	418	36	1081	466	0.44	3.67	0.36	0.72	1.24
2009.5	317	164	18	1832	992	0.63	0.87	0.77	1.54	0.31
2010.0	239	143	28	1602	1041	0.66	1.44	0.81	1.62	0.95
2010.5	619	554	6	1158	666	0.55	0.51	0.51	1.03	0.26
2011.0	291	89	38	2473	1343	0.78	0.87	1.04	2.09	0.50
2011.5	234	157	28	1553	1037	0.60	1.98	0.80	1.61	1.30
2012.0	475	411	19	954	508	0.46	1.64	0.39	0.79	1.07
2012.5	234	86	23	1770	958	0.67	0.75	0.74	1.49	0.39
2013.0	447	382	11	1305	913	0.64	0.74	0.71	1.42	0.44
2013.5	372	229	35	1934	1060	0.73	1.07	0.82	1.65	0.78
2014.0	296	190	32	1650	997	0.62	1.31	0.77	1.55	0.99
2014.5	214	133	18	1282	787	0.55	0.66	0.61	1.22	0.59
2015.0	263	201	21	980	628	0.57	1.12	0.49	0.98	1.01
2015.5	108	31	23	994	578	0.57	0.94	0.45	0.90	0.85
2016.0	321	297	15	542	362	0.45	1.94	0.28	0.56	1.75
2016.5	322	223	8	1152	609	0.69	0.17	0.47	0.95	0.16
2017.0	212	109	28	1526	963	0.78	0.90	0.75	1.50	0.81
2017.5	376	320	9	1063	699	0.62	0.45	0.54	1.09	0.41
2018.0	477	356	36	1602	909	0.73	0.79	0.70	1.41	0.71
2018.5	535	395	20	1892	1129	0.68	0.35	0.88	1.76	0.32
2019.0	511	344	35	2254	1372	0.75	0.59	1.07	2.14	0.53
2019.5	655	503	12	2271	1398	0.73	0.21	1.09	2.18	0.19



Desempeño del modelo

Una forma gráfica de evaluar la bondad o calidad del ajuste del modelo de evaluación poblacional es a través de los gráficos quantil-quantil (qqplot). Esta figura permite evaluar dos distribuciones de probabilidad, que en este caso corresponde a la teórica (modelo) versus la empírica (los datos). Si el conjunto de datos proviene de una distribución teórica, entonces los puntos deberían ubicarse en las proximidades de una línea recta. Esto significa que el supuesto de normalidad y varianza es adecuado para los datos analizados. En la **Figura 29** se entregan las gráficas de los residuales y qqplot para las diferentes series de índices de abundancia, en general el modelo de evaluación es capaz de reproducir en forma muy adecuada la biomasa acústica de Perú, la biomasa acústica de Chile y la biomasa desovante del MPH de Chile, debido principalmente a que los residuales se alinean a la línea recta (supuesto de linealidad en los datos es correcto) (**Figura 29 a, b y c**).

Los análisis de los residuales para las estructuras de tamaños se presentan en la **Figura 30**. Para la flota chilena se observa que a comienzos del periodo de estudio el modelo de evaluación tiende a subestimar las tallas mayores (>17 cm) y sobreestimar las tallas intermedias (<17 cm). Durante los eventos cálidos (1987-88, 1997-98 y 2015-2017) se observa que el modelo tiende a subestimar las tallas menores a 13 cm y sobreestimar las tallas mayores, dado por la fuerte presencia de reclutas en las capturas. Esta tendencia del modelo a subestimar las tallas menores también ocurrió durante los años 2015, 2016 y 2017 para ambas flotas. Sin embargo, gran parte del periodo desde el 2000 hasta el 2010 el modelo de evaluación tiende a sobreestimar las tallas menores a 14 cm y a subestimar las tallas mayores a 14 cm para la flota chilena, salvo para algunos semestres, como en el primer semestre del 2004 y segundo semestre del 2009. En cambio, para la flota peruana, el modelo tiende a subestimar las tallas menores a 14 cm, principalmente porque la flota chilena captura ejemplares de mayor tamaño que los que captura la flota peruana. Desde el 2010 el modelo tiende a ajustar en forma adecuada las estructuras de tamaños de la flota chilena, ya que los residuales son menores. En cambio, para la flota peruana el modelo reproduce adecuadamente las estructuras de tamaños desde el 2005 en adelante, dado por los bajos residuales observados en este periodo (**Figura 30b**). Ya al final del periodo de evaluación, el modelo tiende a subestimar las tallas menores y a sobreestimar las tallas mayores producto del prolongado evento de el Niño 2015-16 y 2017 (**Figura 30a y b**), dado por la alta presencia de juveniles. En cambio, para el crucero acústico del norte de Chile se observa cambios temporales a subestimar las tallas mayores (2011-2013) y en otros periodos a subestimar las tallas menores (2001, 2008, 2010, 2015, 2017 y 2018). Sin embargo, algunos años el ajuste es muy adecuado, con residuales muy bajos (2000, 2007-2013, 2015 y 2017). En general, el ajuste del modelo a las estructuras de tamaños es bastante adecuado, teniendo en cuenta la alta variabilidad que presentan las estructuras de tamaños en el crucero acústico (**Figura 18**). Las formas generales observadas en los residuales de las estructuras, con valores subestimados hacia tallas menores y sobreestimados hacia tallas mayores dan cuenta de que el modelo de evaluación tiende a reproducir una distribución unimodal en las estructuras de tallas para la flota peruana y chilena, no así para el crucero acústico del norte de Chile.

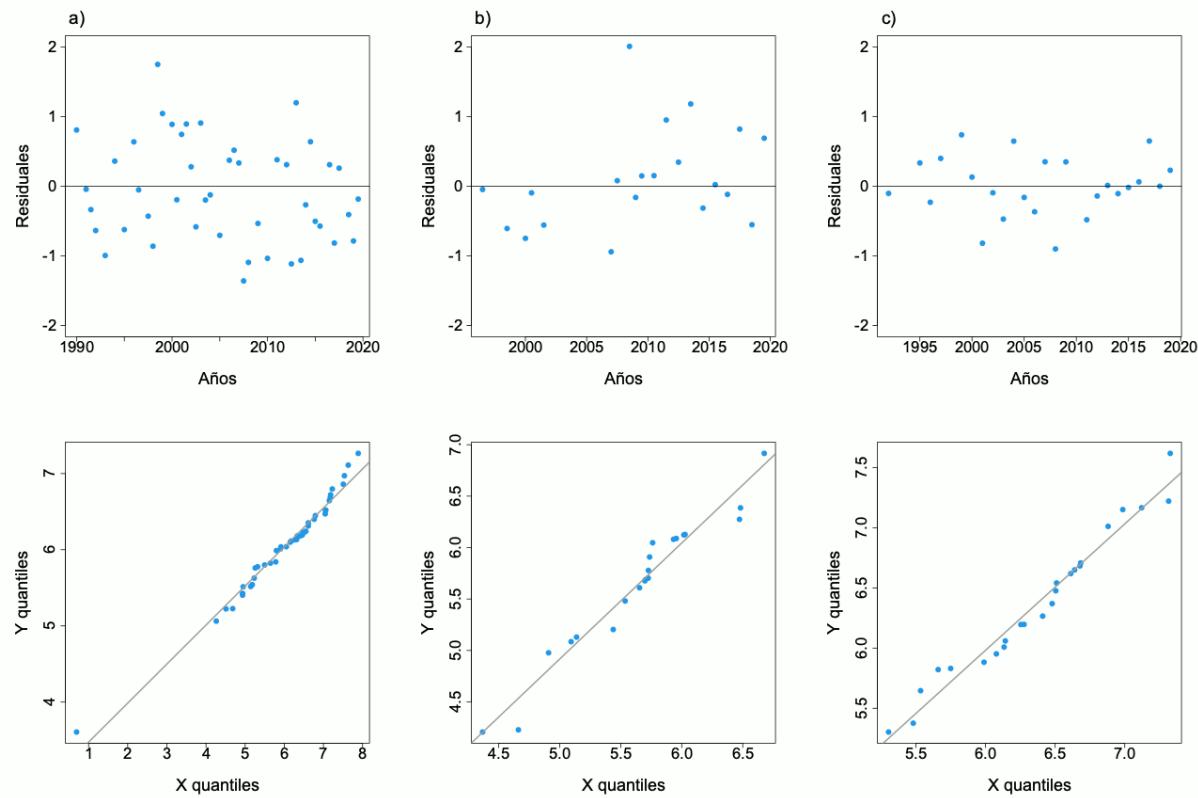


Figura 29. Residuales y qqplot para los diferentes índices de abundancia, a) biomasa total acústica del Perú, b) biomasa total acústica de Chile y c) biomasa desovante MPH del norte de Chile.

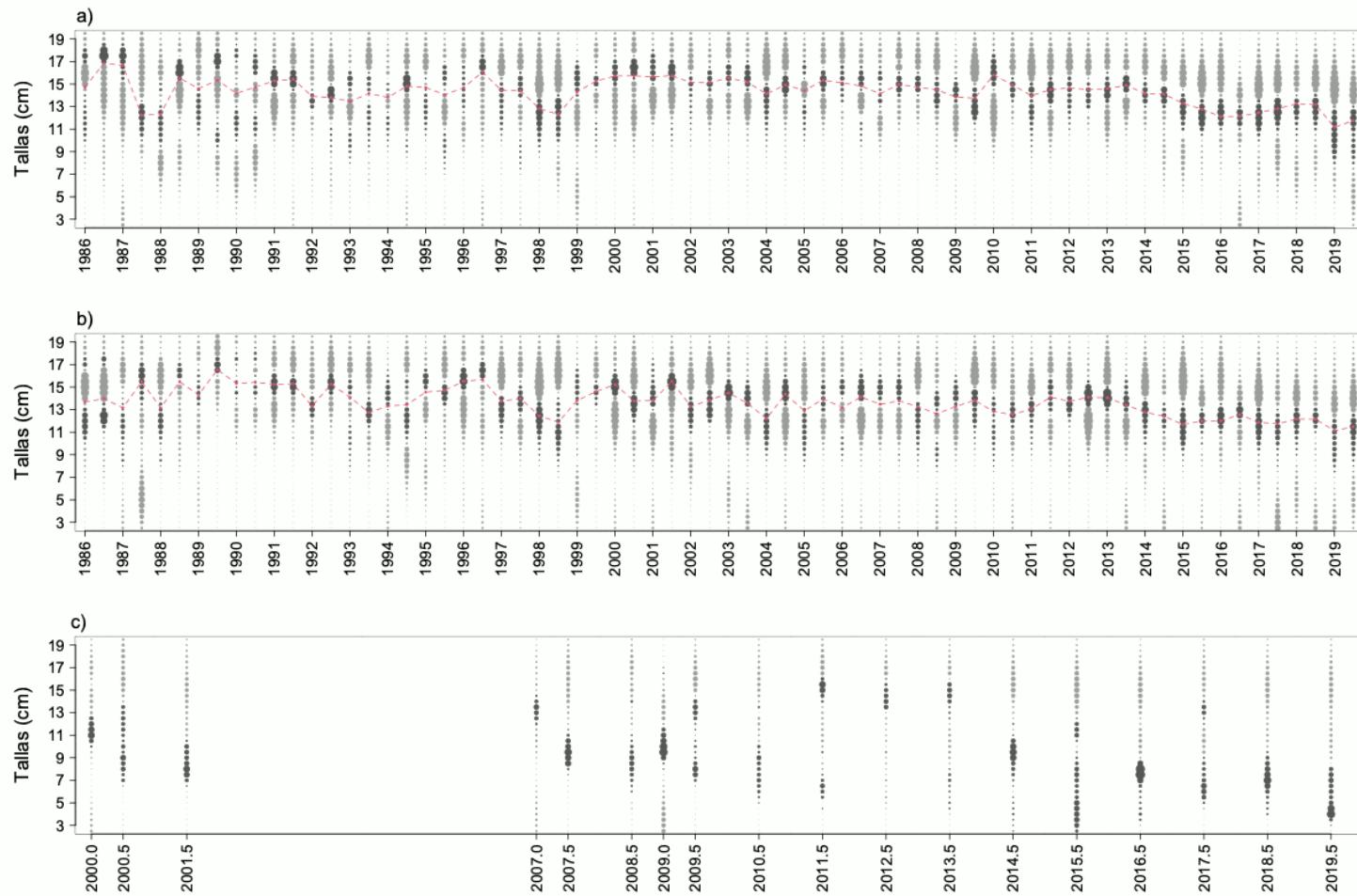


Figura 30. Residuales del ajuste a las composiciones de tamaños para la flota chilena (a), la flota peruana (b) y crucero acústico norte de Chile (c) para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. Los círculos negros indican residuos positivos y los círculos grises residuos negativos. La línea roja corresponde a la talla media.

En cuanto a los diagramas qqplot para las estructuras de tamaños (**Figura 31**), no se observa una linealidad clara en los diagramas, para las proporciones altas se alejan más de la linealidad, tanto para la flota chilena, peruana y en menor medida para el crucero acústico del norte de Chile. Dado porque el modelo captura las formas generales de las estructuras de tamaños, pero no logra ajustar las altas proporciones (formas puntiagudas) que se observan en las tallas. En cambio, para la serie de desembarques (**Figura 32**) los diagramas qqplot muestran un ajuste perfecto de los datos al supuesto de linealidad, debido principalmente al bajo coeficiente de variación asignado para estos datos, esto confirma el supuesto de normalidad y varianza constante para la serie de desembarques.

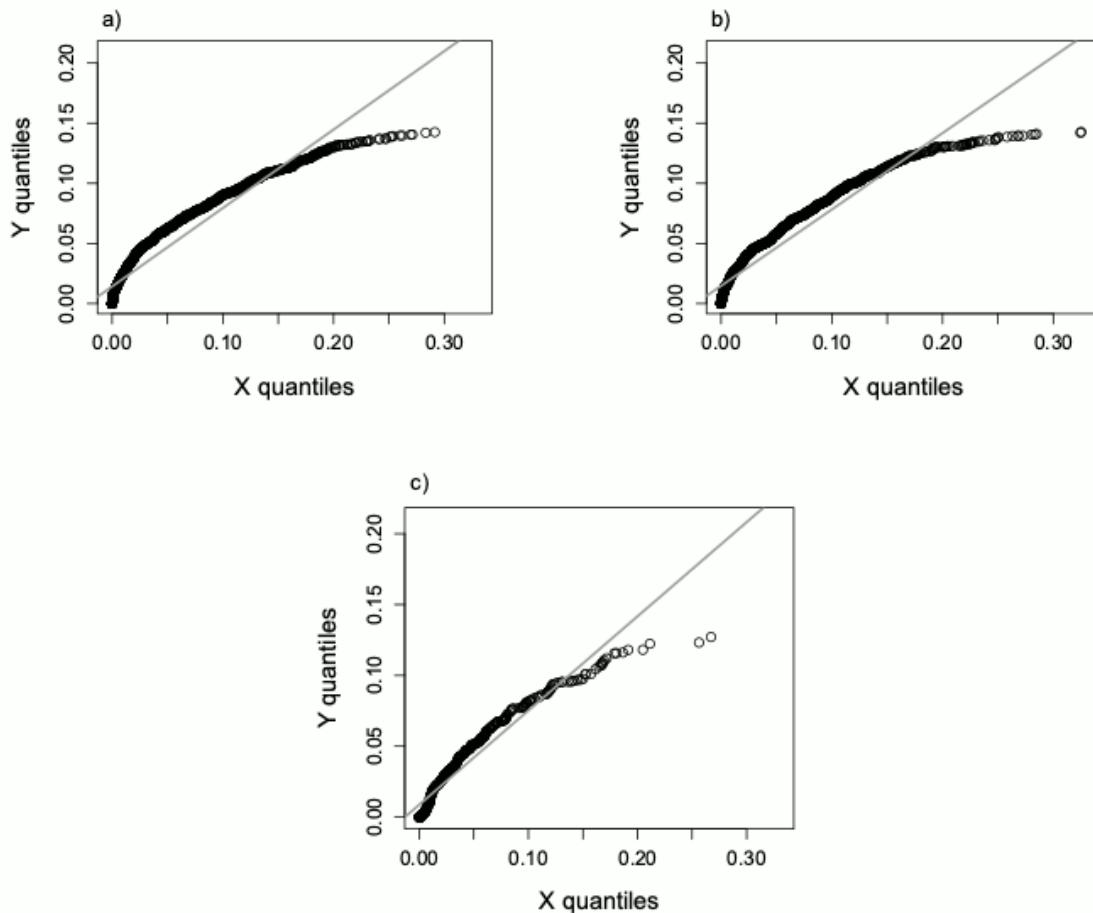


Figura 31. Diagrama qqplot para las composiciones de tamaños para la flota chilena (a), la flota peruana (b) y los cruceros (c) para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile.

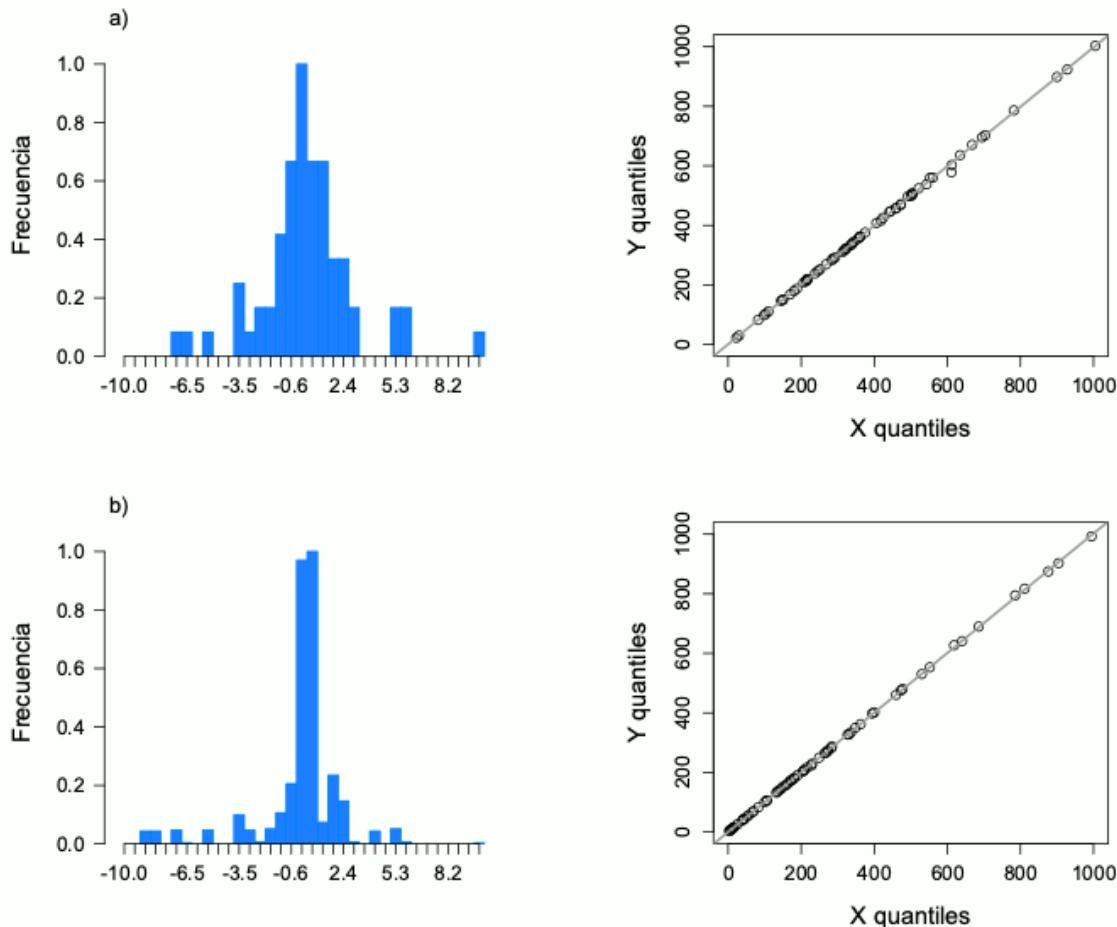


Figura 32. Distribución de los residuales y diagrama qqplot para las capturas de la flota chilena en el panel superior (a) y en el panel inferior para la flota peruana (b) para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile.

Otra manera de probar la capacidad del modelo de evaluación y de sus resultados a la ausencia o exclusión de series de información es el análisis retrospectivo. En la **Figura 33** se presenta el análisis retrospectivo para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile, la cual se llevó a cabo mediante la eliminación sistemática de los últimos cinco años de las series de datos, secuencialmente por semestre. Los resultados muestran un pequeño patrón a sobreestimar la biomasa desovante al descuento del primer, quinto, sexto, séptimo y octavo semestre, es decir, hace un semestre (1^{er} semestre del 2019), dos año y medio atrás (1^{er} semestre del 2017), tres años (2^{do} semestre del 2016), tres años y medio (1^{er} semestre del 2015) y cuatro años atrás

(2^{do} semestre 2014). Las diferencias en los niveles de biomasa desovante (ton) resultan ser muy marginales para el resto de los descuentos, incluso tiende a subestimar la biomasa desovante en el 1^{er} semestre del 2017. Los cambios en las estimaciones de abundancia en que se producen las mayores diferencias es producto de las grandes abundancias totales observadas en los cruceros de evaluación acústica realizado en el sur de Perú y norte de Chile durante los años 2015-2019 y además del bajo valor estimado para el coeficiente de capturabilidad del crucero acústico de Chile. Ya que más del 70% de la abundancia de la población corresponde al grupo de edad 0 semestre. Otra de las posibles causas de este patrón retrospectivo es el cambio en la proporción de las capturas (Legault, 2009), ya que desde el 2015 se vienen registrando capturas semestrales bajas, en el 2016 se registró la menor captura de la serie en los últimos 30 años. Estos dos elementos (capturas y biomassas acústicas) podrían estar generando este patrón retrospectivo. Por otra parte, anterior al 2015 la magnitud del patrón retrospectivo parece haberse disipado (**Figura 33 y 34**). Es difícil dilucidar las causas de este patrón, pero varias causas podrían existir, por ejemplo, cambios en el medio ambiente (El Niño) que afectan la capturabilidad, mortalidad natural variante en el tiempo o cambios en la selectividad de la flota o del crucero (Legault, 2009).

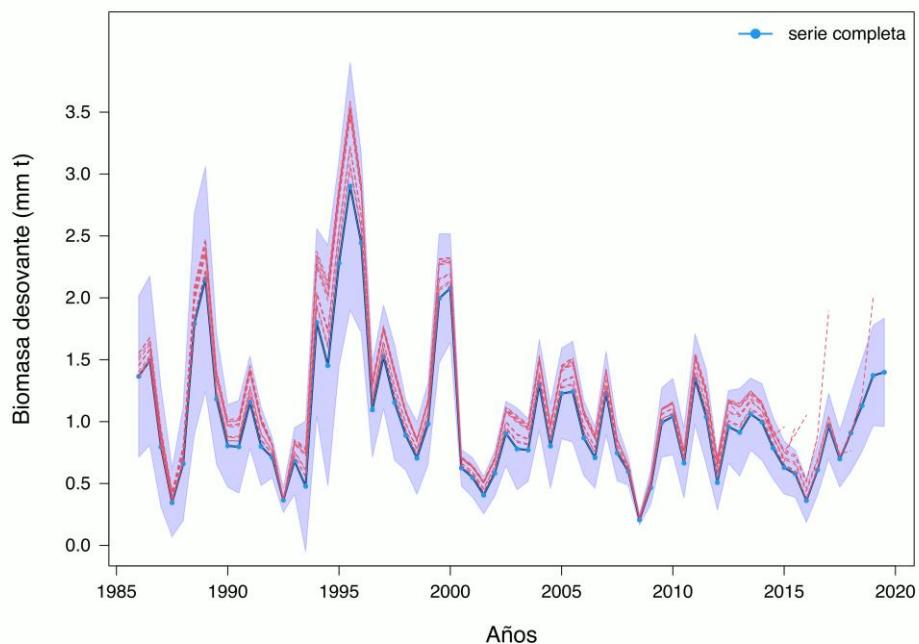


Figura 33. Análisis retrospectivo para los últimos seis semestres de la biomasa desovante para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. La sombra en azul representa el intervalo de confianza al 95% para la serie completa y la línea azul con los círculos representa la estimación media para la serie completa. Las líneas segmentadas en rojo representan las biomassas desovantes estimadas al descuento de información.



El análisis retrospectivo puede ser visualizado también como la suma de las diferencias relativas entre un parámetro estimado de la evaluación con todos los datos, y el mismo parámetro estimado con respecto a una serie de tiempo reducida. Este estadístico es conocido como *rho* de Mohn (1999), y su cálculo será cero cuando la evaluación descontada sea igual con la evaluación con todos los datos, o cuando las diferencias entre la evaluación descontada y la de la evaluación con todos los datos son balanceadas por las diferencias positivas y negativas. El estadístico de *rho* de Mohn será grande, si es positivo o negativo, cuando hay un consistente patrón de cambio en la evaluación descontada relativo a la evaluación con todos los datos. En la Figura 34 se muestra el estadístico de *rho* de Mohn, el cual tuvo pequeñas diferencias (<0.5) en su valor de los últimos años, pero un valor de 0.96 en el 1^{er} semestre 2017 y 1.90 en el 1^{er} semestre del 2016. Estas diferencias observadas en el primer semestre del 2016 y 2017 dan cuenta que los cambios en las estimaciones de abundancia es producto de la alta abundancia estimadas por los cruceros acústicos realizado en el Perú y en Chile. Por otro parte, en el 2016 se registra la captura más baja de los treinta años. Como es de esperar, las diferencias disminuyen hacia el 1^{er} semestre del 2015.

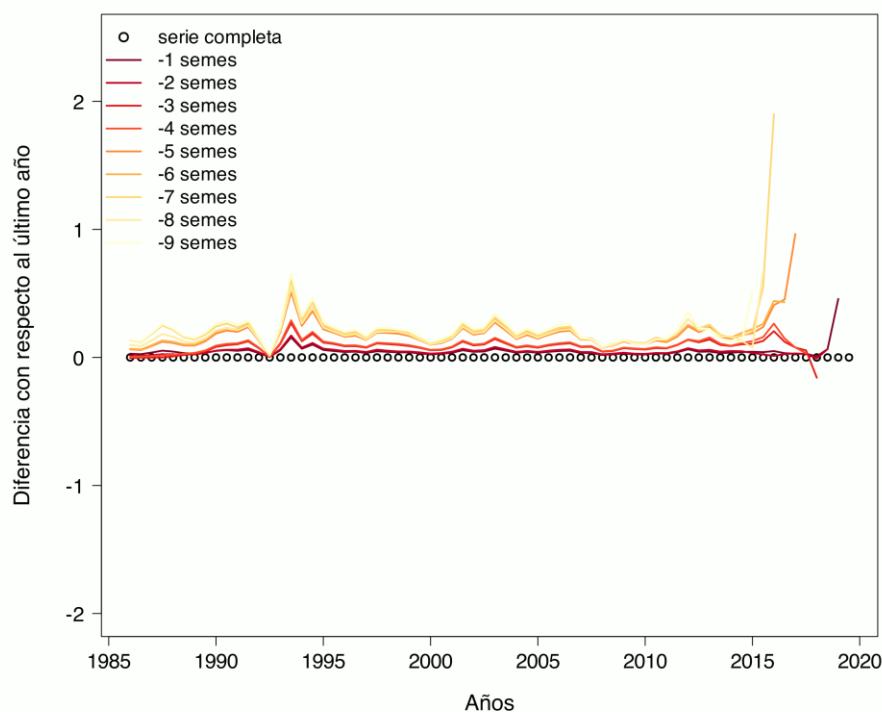


Figura 34. Patrón retrospectivo para los últimos seis semestres de *rho* de Mohn para la biomasa desovante como una diferencia del último año de la evaluación de la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile.

Otra forma de evaluar el desempeño del modelo de evaluación es el perfil de verosimilitud del parámetro de escala global ($\log R_0$). Este procedimiento se utiliza para determinar si la información sobre la escala de la biomasa absoluta es coherente entre los diferentes conjuntos de datos (Lee *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2014). El perfil se realiza fijando el $\log R_0$ a un rango de valores alrededor de la estimación de máxima verosimilitud y estimando todos los demás parámetros, luego obteniendo la contribución de cada conjunto de datos a la probabilidad condicionada del valor de $\log R_0$. El perfil cuantifica cómo se degrada el ajuste a cada componente de datos al cambiar la escala de la población. Los componentes de datos con una gran cantidad de información sobre la escala de la población mostrarán una pérdida de ajuste a medida que la escala de la población cambia de la estimación de máxima verosimilitud (Lee *et al.*, 2014). Si diferentes componentes de datos favorecen diferentes valores para el $\log R_0$, entonces existe información contradictoria entre ellos, condicionada por el modelo, lo que apunta a una posible especificación errónea del modelo. Para el modelo de la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile la estimación de máxima verosimilitud del parámetro de escala es función de dos grupos de componentes de la verosimilitud que están en contradicción entre ellos (**Figura 35**). Los datos de frecuencia de tallas para las flotas comerciales y la biomasa total acústica del Perú tienen valores mínimos al valor de R_0 , mientras que la biomasa total acústica y su estructura de tallas para Chile tiene valores mínimos superiores al valor de R_0 .

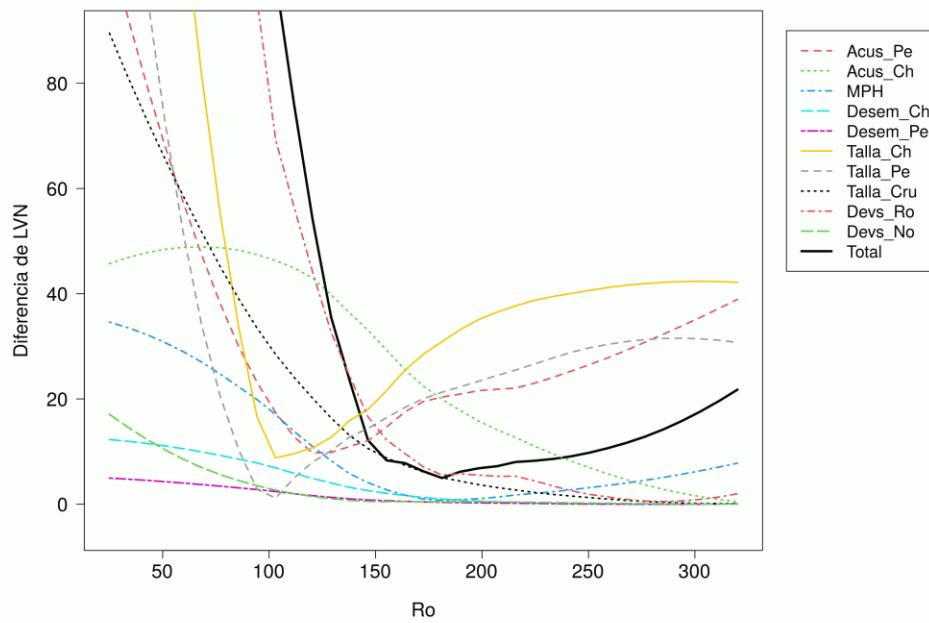


Figura 35. Perfil de verosimilitud del parámetro de escala global $\log R_0$ para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile.



4.2 Objetivo específico 2.

Establecer el estatus actualizado de estos recursos, sobre la base de sus principales indicadores estandarizados de estado y flujo, incorporando, cuantificando y propagando la incertidumbre subyacente a la pesquería.

4.2.1 Estatus

La **Figura 36** muestra la proporción de reducción de la biomasa desovante por recluta (BDPR) a distintos niveles de mortalidad por pesca (F) respecto de la biomasa desovante por recluta virginal ($BDPR/BDPR_{F=0}$). Se entrega el valor de la mortalidad por pesca objetivo al segundo semestre del 2019, definido por el Comité Científico Técnico en el año 2014 ($F55\%BDPR_0 = 0.86$) del que se destaca su alta variabilidad en el tiempo, durante la década de los 90, (**Figura 36b**), con un valor medio de 1.13 y un coeficiente de variación del 37%, influenciada particularmente por las variaciones en el patrón de explotación (**Figura 36c**). A manera de referencia la biomasa desovante virginal se ha estimado en 1.28 millones de toneladas (± 73 mil toneladas), de manera que en base a lo establecido por el Comité Científico Técnico de considerar para este recurso como proxy de la biomasa al rendimiento máximo sostenible ($50\%BD_0$), el valor de referencia asociado a este criterio es cercano a las 640 mil toneladas.

El estado de explotación de la población de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile se evalúa respecto de la condición virginal, la cual se estima a partir del reclutamiento virginal o promedio de largo plazo bajo condiciones de no explotación. El análisis de esta razón ($RPR_{lp}=BD/BD_0$) y su intervalo de confianza al 95% se muestra en la **Figura 37**. Se observa una persistente reducción de la biomasa reproductiva del orden del 84% entre los años 2004 y mediados del 2008, donde alcanza un valor de 0.16. Durante el periodo 2011 al 2016 se registra otra fuerte reducción, en torno al 73%, ya que en el 2016 alcanzo un valor de 0.28. Y desde mediados del año 2016 hasta la fecha ha variado en torno a un valor de 0.78 (± 0.23), valor por sobre al punto biológico de referencia objetivo de manejo pesquero. Considerando los PBR mencionados anteriormente, la mortalidad por pesca muestra un patrón fluctuante desde mediados del 1992, en varios periodos donde se registran valores por sobre el F_{RMS} y otros periodos por debajo del F_{RMS} . Sin embargo, desde el 2010 a la fecha los valores se ubican por debajo del F_{RMS} , generando con esto una condición sin sobrepesca (**Figura 38a**). De igual manera, los resultados indican que la reducción de la biomasa ocurrida a mediados del 2008 y en 2016 llevaron a la población a valores por debajo de la biomasa al RMS, generando con ello un estado de sobreexplotación. Sin embargo, la reducción de la mortalidad por pesca observada durante los últimos años y la alta variabilidad observados en los reclutamientos han llevado a la población a niveles por encima del punto biológico de referencia objetivo, y esto se traduce que desde mediados del 2016 a la fecha ha variado en torno a un 1.57 (± 0.47). Al último semestre de la evaluación la biomasa desovante se encuentra un 118% superior al objetivo de manejo, y dado los niveles de incertidumbre, existe una nula probabilidad de que la $BD_{2019.5} < BD_{RMS}$ (**Figura 38b**), generando con ello un estado de subexplotación en biomasa desovante.

El diagrama de fase entre la fracción de la biomasa desovante al RMS versus la mortalidad por pesca relativa al F_{RMS} (**Figura 39**) muestra que ha ocurrido tanto niveles de explotación mayores al F_{RMS} como menores al

F_{RMS} durante el periodo de evaluación. Sin embargo, son mayores los periodos que están por debajo del objetivo de manejo. Durante los últimos años los niveles de mortalidad por pesca han estado por debajo del F_{RMS} . Mientras que la biomasa desovante pasó de estar en una condición de sobreexplotación en el 2016, al año siguiente se ubicó por sobre el punto biológico de referencia objetivo (B_{RMS}). Las distribuciones de probabilidades indican que el valor más probable de la mortalidad por pesca al 2^{do} semestre del 2019 podría ubicarse al 95% de confianza entre 0.11 y 0.27 veces de la F_{RMS} . En cambio, al igual nivel de confianza la biomasa desovante se ubica entre un 1.50 y 2.86 veces de la B_{RMS} . Hay una nula probabilidad de que $BD_{2019.5} < BD_{RMS}$.

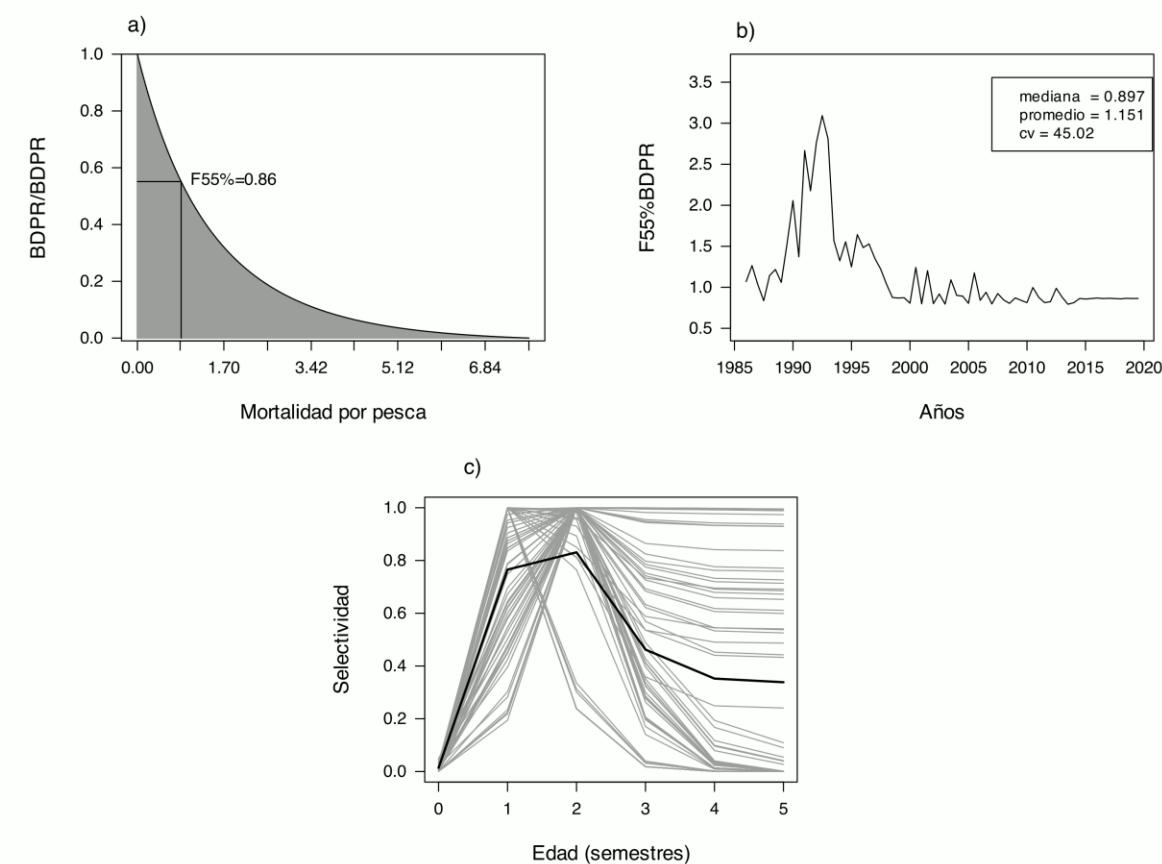


Figura 36. Biomasa desovante por recluta respecto de la mortalidad por pesca (F) para el último semestre de la evaluación de stock en (a), variabilidad semestral histórica del $F55\%BDPR$ (b) y patrón de selectividad semestral histórica (c) para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile.

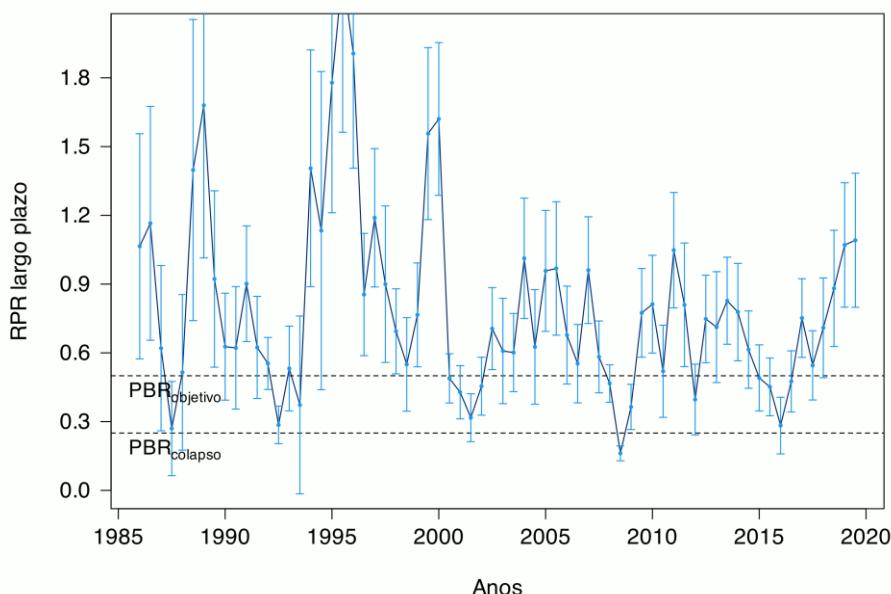


Figura 37. Razón del potencial reproductivo (RPR) de largo plazo y su intervalo de confianza al 95% para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. Las líneas segmentadas indican los niveles de manejo pesquero objetivo y de agotamiento (colapso).

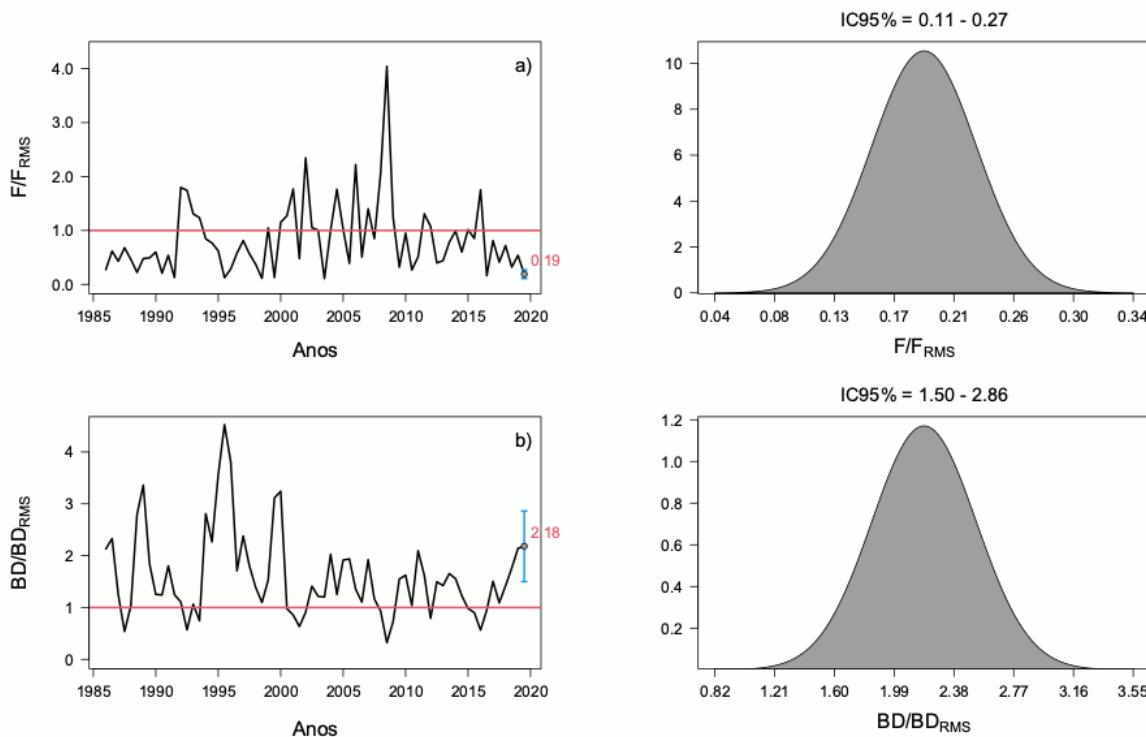


Figura 38. Serie temporal de la razón de la mortalidad por pesca respecto a su referente asociado al RMS y la incertidumbre al último semestre de la evaluación en el panel superior (a) y la serie temporal de la razón de la biomasa desovante respecto a su referente asociado al RMS y la incertidumbre al último semestre de la evaluación en el panel inferior (b) para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. La línea roja representa el objetivo de manejo referido al RMS.

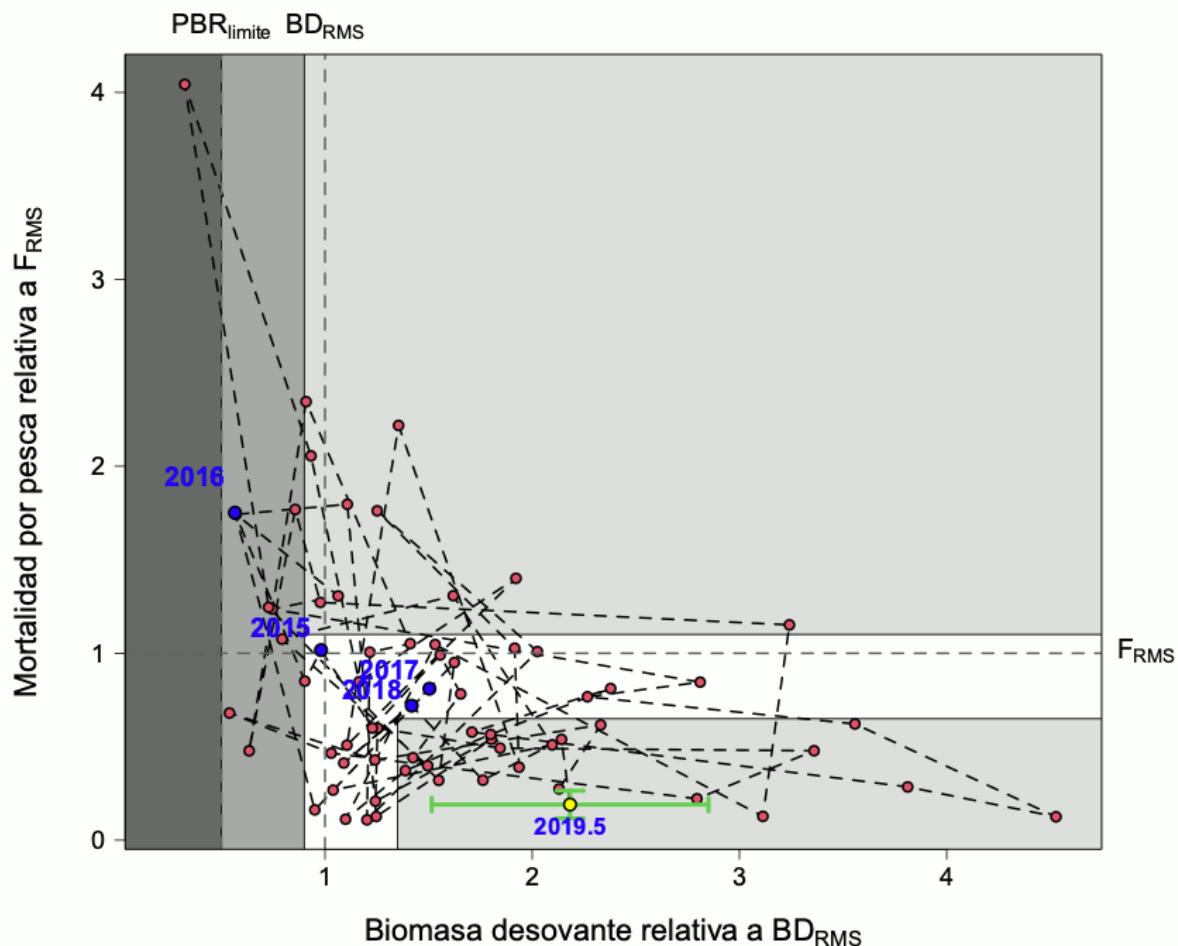


Figura 39. Diagrama de fase semestral del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. El punto amarillo representa la condición para el segundo semestre del 2019. Las líneas verdes representan los intervalos de confianza al 95% para la última estimación. Los años en azul presentan la condición para el primer semestre de cada año puesto en la gráfica.

En la **Figura 40** se muestra el diagrama de fase en escala anual, como un promedio del primer y segundo semestre. La condición del stock de anchoveta en escala semestral no difiere de la en escala anual.

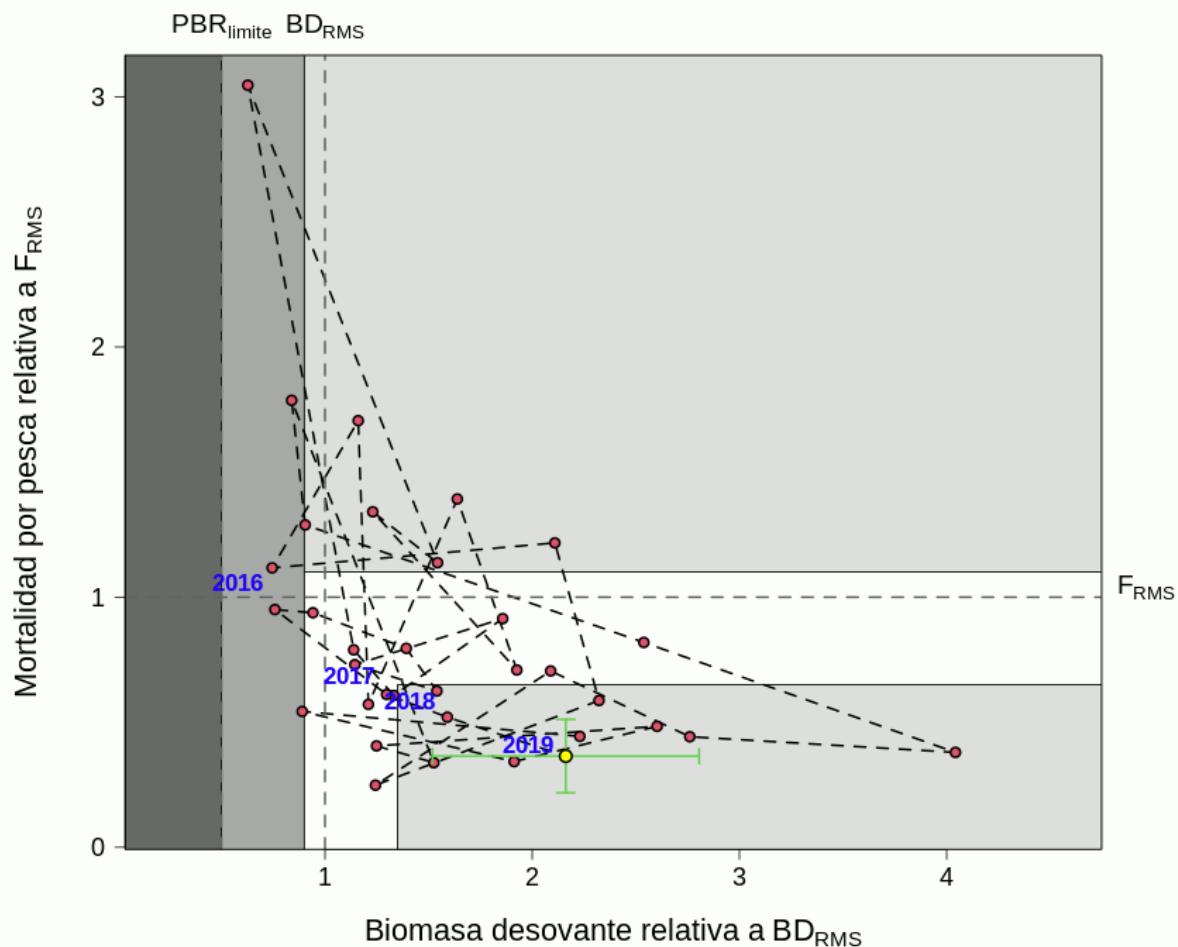


Figura 40. Diagrama de fase anual del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. El punto amarillo representa la condición para el año 2019. Las líneas verdes representan los intervalos de confianza al 95% para la estimación del 2019.



4.2.2. Calidad de la información

El estándar de la pesquería de anchoveta fue nuevamente analizado a partir de “Checklist for the Stock Assessment” (NRC, 1998) modificado para las pesquerías chilenas, incluyendo un total de 7 tópicos y 87 preguntas que generan la “matriz de conocimiento” del recurso (Canales *et al.*, 2011). Cabe señalar que esta evaluación de la matriz de conocimiento, se llevó a cabo en el año 2011 (Canales *et al.*, 2011) calificando a la pesquería de anchoveta como de estándar medio.

La **Tabla 9** muestra un resumen de la actual evaluación la cual continúa indicando que la pesquería de anchoveta de la XV y II regiones es de Estándar Medio. Los tópicos que cuentan con mayor conocimiento son datos y parámetros, seguidos por la definición del stock y modelo de evaluación. Los tópicos con más bajo conocimiento se refieren a la información biológica, bondad de ajuste e información auxiliar (efecto del ambiente en la capturabilidad).

Tabla 9.

Evaluación de la Matriz de Conocimiento de la pesquería de anchoveta XV y II regiones. (Numerador corresponde a la suma de la evaluación de cada ítem dentro del tópico. Denominador corresponde a la suma de todos los ítems dentro de un tópico si existiera un conocimiento satisfactorio de cada uno de ellos).

Tópico	Puntaje	%
Definición del Stocks	8/15	0.18
Datos y Parámetros	26/48	0.19
Información Biológica	26/75	0.12
Modelo de Evaluación	9/18	0.17
Formulación Estadística	20/39	0.18
Bondad de Ajuste	6/15	0.14
Información Auxiliar	0/3	0.00
Total	96/213	

Más recientemente, el panel de expertos contratados en el desarrollo del proyecto “Revisión de los puntos biológicos de referencia (rendimiento máximo sostenible) en las pesquerías nacionales” (Payá *et al.*, 2014), la anchoveta sur del Perú y norte de Chile fue calificada en el Tier 1b, lo cual significa que, habiendo información suficiente para la evaluación analítica, el conocimiento sobre el nivel de resiliencia es aún insuficiente y por ende el criterio RMS está basado en proxies.



4.3 Objetivo Específico 3.

Determinar niveles de Captura Biológicamente Aceptable (CBA) que lleven y/o mantenga la pesquería en torno al Rendimiento Máximo Sostenible (RMS), a partir de un análisis de riesgo en condiciones de incertidumbre de no alcanzar los objetivos de conservación y sostenibilidad conforme lo establece la LGPA y contenidos en el Plan de Manejo y/o en el Programa de Recuperación respectivo, según corresponda.

4.3.1. Captura biológicamente aceptable (CBA)

En base al modelo de evaluación del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile desarrollado en el presente informe, se simularon las trayectorias futuras del stock desovante de anchoveta bajo el nivel de mortalidad por pesca que produce el rendimiento máximo sostenido (**Figura 36a**). El modelo de evaluación entrega estimaciones de abundancia para todos los grupos etarios del último semestre de evaluación, más la incertidumbre del último reclutamiento. Y en base a estas estimaciones, se realizó la proyección del stock de anchoveta para cuatro semestres (2 años) según los tres escenarios de reclutamientos (**Figura 7**). Las condiciones de incertidumbre de los parámetros estimados por el modelo provienen de la matriz de varianza-covarianza, la cual es estimada en la plataforma de programación ADMB (Fournier *et al.*, 2012). La captura biológicamente aceptable para el año 2021 según el escenario de reclutamientos promedio y el criterio del F_{RMS} bajo los tres ponderadores de reclutamiento (bajo: 0.8, neutro: 1.0 y alto: 1.2) se presenta en la **Tabla 10** y los distintos niveles de riesgo de exceder el criterio del $F=F_{RMS}$. El valor esperado promedio debería fluctuar entre 299 y 899 miles de toneladas para el stock compartido de la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. Si se considera el escenario de reclutamiento positivos (**Tabla 11**), un ponderador de reclutamientos neutros y un nivel de riesgo del 50%, la CBA para el 2021 debería tener un valor de 666 mil toneladas. Ahora, si el criterio de exceder el riesgo es del 10%, la CBA para el 2021 debería tener un valor de 450 mil toneladas. Y, por último, si se considera el escenario de reclutamiento negativo (**Tabla 12**), con un ponderador de reclutamientos neutros, y considerando un nivel de riesgo del 50%, la CBA para el 2021 debería tener un valor de 813 mil toneladas. Ahora, si el nivel del riesgo baja a un 30%, la CBA para el 2021 debería tener un valor de 652 mil toneladas.

Tabla 10.

Captura biológicamente aceptable anual (2021) para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile para cinco niveles de riesgo de exceder el criterio de $F=F_{RMS}$ bajo tres escenarios de reclutamiento, bajo (0.8), neutro (1.0) y alto (1.2), y el escenario de reclutamiento promedio.

Recluta	media	d.s.	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.8	603	233	299	391	468	536	603
1.0	753	292	373	489	584	670	753
1.2	899	350	450	582	697	800	899

**Tabla 11.**

Captura biológicamente aceptable anual (2021) para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile para cinco niveles de riesgo de exceder el criterio de $F=F_{RMS}$ bajo tres escenarios de reclutamiento, bajo (0.8), neutro (1.0) y alto (1.2), y el escenario de reclutamiento positivo.

Recluta	media	d.s	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.8	533	122	360	414	457	496	533
1.0	666	153	450	517	572	620	666
1.2	799	184	539	621	686	745	799

Tabla 12.

Captura biológicamente aceptable anual (2021) para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile para cinco niveles de riesgo de exceder el criterio de $F=F_{RMS}$ bajo tres escenarios de reclutamiento, bajo (0.8), neutro (1.0) y alto (1.2), y el escenario de reclutamiento negativo.

Recluta	media	d.s	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.8	628	184	394	462	522	576	628
1.0	785	230	493	578	652	720	785
1.2	942	276	591	693	782	864	942

4.3.2. Proyecciones del stock

Los resultados de las proyecciones del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile bajo el nivel de mortalidad por pesca que produce el rendimiento máximo sostenido (F_{RMS}), y de acuerdo a los tres escenarios de reclutamientos evaluados, con un ponderador de reclutamiento bajo (0.8), indican que la biomasa desovante debería fluctuar al 95% de confianza entre las 371 y 940 mil toneladas durante la proyección (**Figura 41a**). El valor medio proyectado para la biomasa desovante debería tener un valor mínimo y máximo de 523 y 858 mil toneladas, respectivamente. Para los tres escenarios de reclutamientos evaluados y con un ponderador de reclutamientos bajo (0.8), la biomasa desovante promedio semestral teórica de largo plazo ($BD_{2021.5}$) debería alcanzar las 616 (± 21) mil toneladas. Para la captura semestral debería fluctuar al 95% de confianza entre las 91 y 593 mil toneladas durante la proyección (**Figura 41b**). El valor medio proyectado para la captura semestral debería tener un valor mínimo y máximo de 180 y 399 mil toneladas, respectivamente. La captura promedio semestral teórica de largo plazo ($CTP_{2021.5}$) debería alcanzar las 287 (± 62) mil toneladas. Los resultados de las proyecciones, para los tres escenarios de reclutamientos evaluados y un ponderador de reclutamientos bajo, indican que la reducción media del stock de anchoveta en el largo plazo ($BD_{2021.5}/BD_0$) alcanzaría un nivel levemente inferior (0.481 ± 0.0165) al punto biológico de referencia ($50\%BD_0$) para el manejo pesquero (**Figura 41c**).

En la **Figura 42** se muestran el porcentaje de participación en la captura proyectada por rango de talla para los diferentes escenarios de reclutamientos considerados, bajo el nivel de mortalidad por pesca que genera el rendimiento máximo sostenido y un ponderador de reclutamiento bajo (0.8) durante la proyección del stock de anchoveta. Un gran porcentaje de participación en la captura corresponde a tallas entre los 9 a 15 cm. Sin embargo, durante el 1^{er} semestre del 2021 se observa que en el escenario de reclutamientos positivos se incrementa la participación de las tallas mayores a los 15 cm, mientras que en el 2^{do} semestre del 2021 estas disminuyen para el escenario de reclutamientos positivos y aumenta para el escenario de reclutamientos negativos.

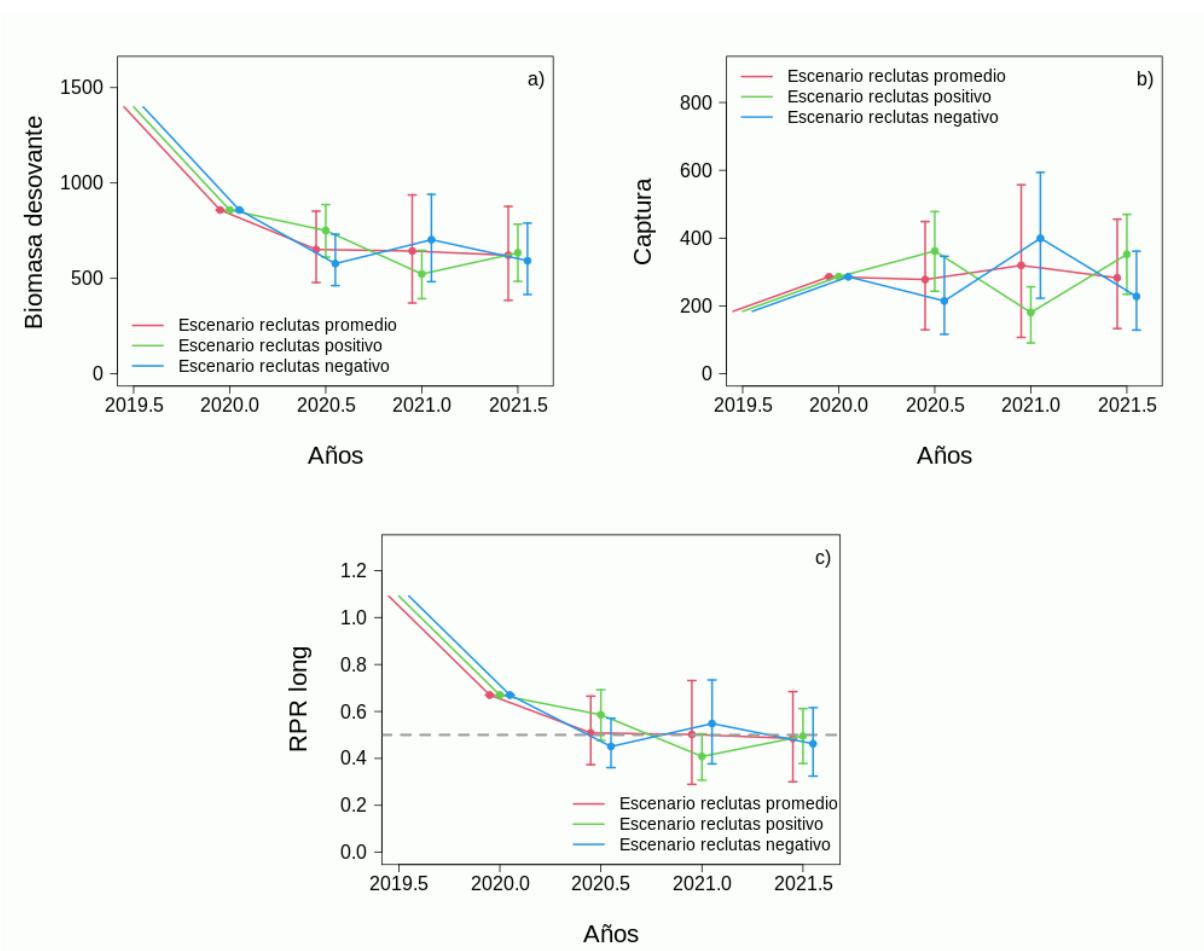


Figura 41. Proyecciones para la biomasa desovante (a), la captura biológicamente aceptable (b) y la reducción del stock (c) para los diferentes escenarios de reclutamientos con el nivel de mortalidad por pesca al rendimiento máximo sostenido (F_{RMS}) y con un ponderador de reclutamiento bajo (0.8) para el stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile.

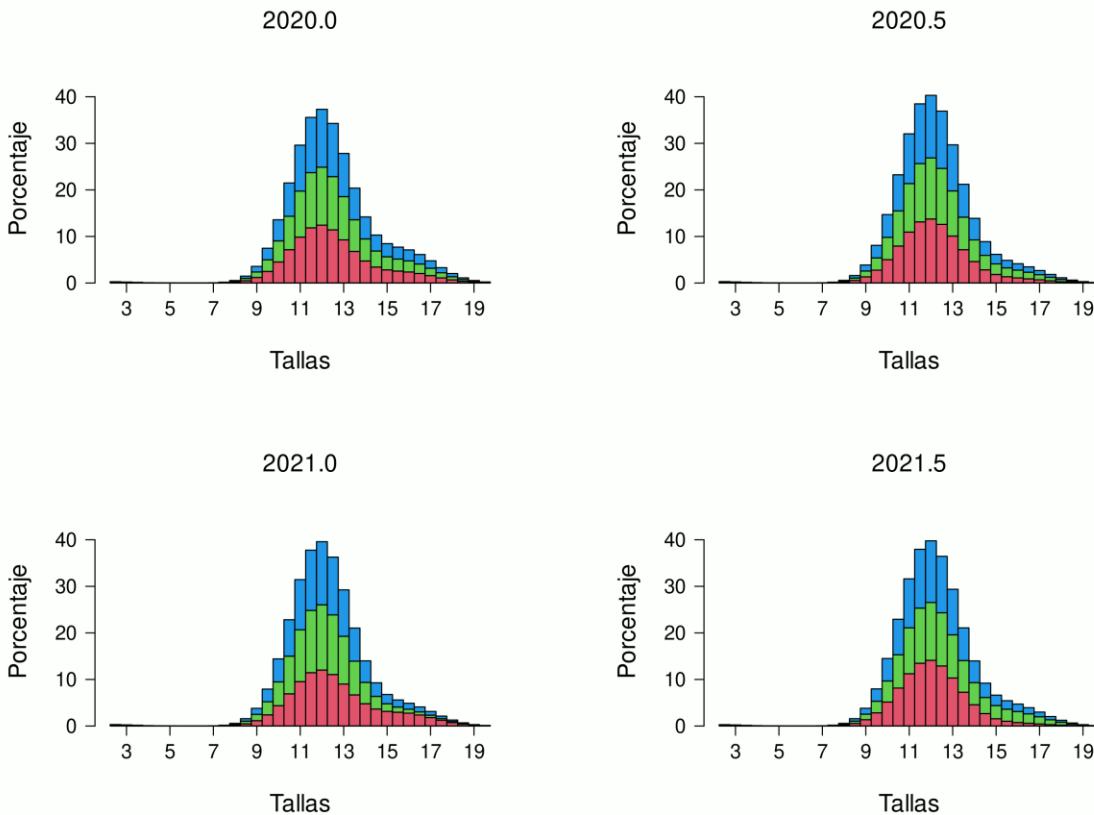


Figura 42. Estructura de tamaños en la captura (como porcentaje) durante la proyección del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile, para el nivel de mortalidad por pesca al F_{RMS} considerando un ponderador de reclutamiento bajo (0.8). El color rojo es el escenario de reclutamientos positivo, el verde es el escenario de reclutamientos negativo y el azul es el escenario de reclutamientos promedio.

Para un ponderador de reclutamiento neutro (1.0) y el nivel de mortalidad por pesca que produce el rendimiento máximo sostenido, y de acuerdo a los tres escenarios de reclutamientos evaluados, los resultados indican que la biomasa desovante debería fluctuar al 95% de confianza entre las 432 mil toneladas y 1144 un millón ciento cuarenta y cuatro mil toneladas durante la proyección (**Figura 43a**). El valor medio proyectado para la biomasa desovante debería tener un valor mínimo y máximo de 622 y 858 mil toneladas, respectivamente. Para los tres escenarios de reclutamientos evaluados y con un ponderador de reclutamientos neutro (1.0), la biomasa desovante promedio semestral teórica de largo plazo ($BD_{2021.5}$) debería alcanzar las 754 (± 26) mil toneladas. Para la captura semestral debería fluctuar al 95% de confianza entre las 113 y 742 mil toneladas durante la proyección (**Figura**

43b). El valor medio proyectado para la captura semestral debería tener un valor mínimo y máximo de 225 y 499 mil toneladas, respectivamente. La captura promedio semestral teórica de largo plazo ($CTP_{2021.5}$) debería alcanzar las 359 (± 77) mil toneladas. Los resultados de las proyecciones, para los tres escenarios de reclutamientos evaluados y un ponderador de reclutamientos neutro, indican que la reducción media del stock de anchoveta en el largo plazo ($BD_{2021.5}/BD_0$) alcanzaría un nivel levemente superior (0.588 ± 0.0207) al punto biológico de referencia (50% BD_0) para el manejo pesquero (**Figura 43c**).

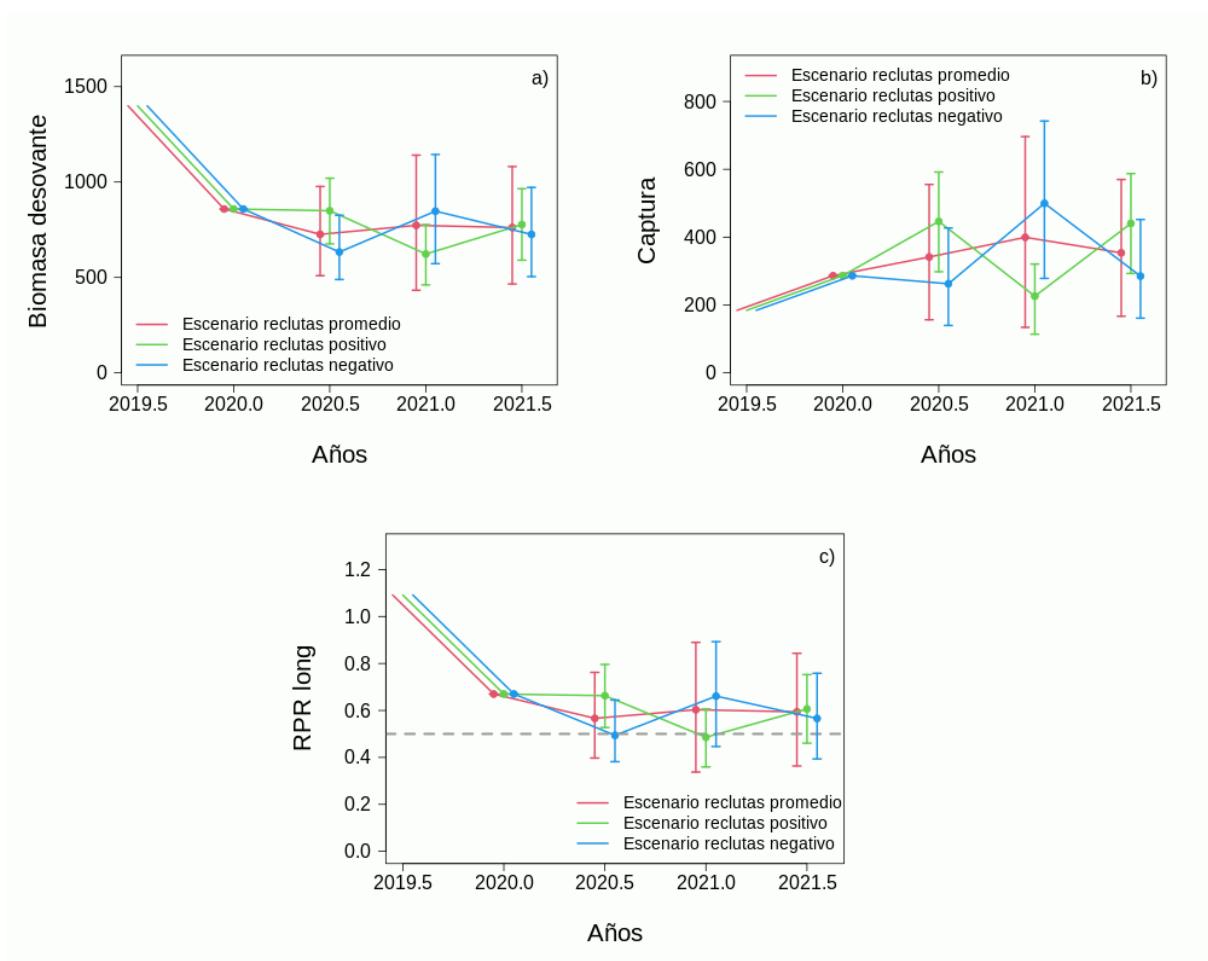


Figura 43. Proyecciones para la biomasa desovante (a), la captura biológicamente aceptable (b) y la reducción del stock (c) para los diferentes escenarios de reclutamientos con el nivel de mortalidad por pesca al rendimiento máximo sostenido (F_{RMS}) y con un ponderador de reclutamiento neutro (1.0) para el stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile.

En la **Figura 44** se muestran el porcentaje de participación en la captura proyectada por rango de talla para los diferentes escenarios de reclutamientos considerados, con el nivel de mortalidad por pesca que genera el rendimiento máximo sostenido y un ponderador de reclutamiento neutro (1.0). Un gran porcentaje de participación en la captura corresponde a tallas entre los 9 a 15 cm. Sin embargo, durante el 1^{er} semestre del 2021 se observa que en el escenario de reclutamientos positivos se incrementa la participación de las tallas mayores a los 15 cm, mientras que en el 2^{do} semestre del 2021 estas disminuyen para el escenario de reclutamientos positivos y aumenta para el escenario de reclutamientos negativos.

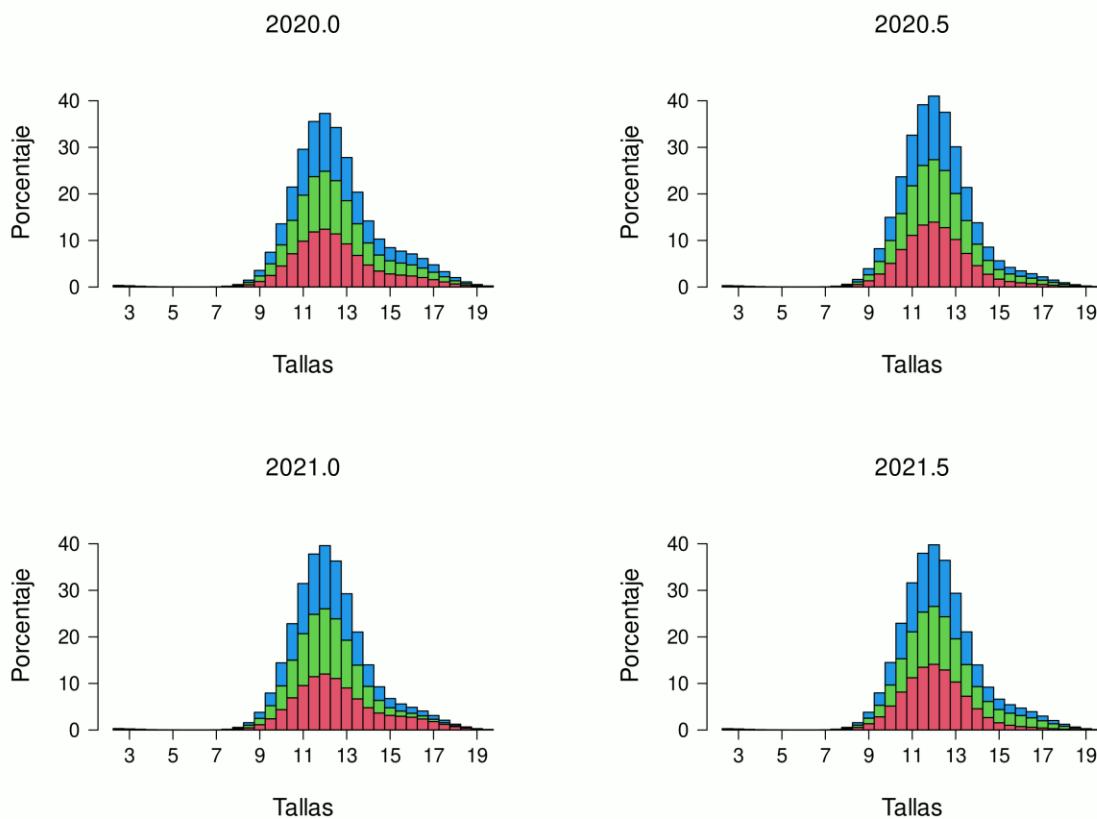


Figura 44. Estructura de tamaños en la captura (como porcentaje) durante la proyección del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile, para el nivel de mortalidad por pesca al F_{RMS} considerando un ponderador de reclutamiento neutro (1.0). El color rojo es el escenario de reclutamientos positivo, el verde es el escenario de reclutamientos negativo y el azul es el escenario de reclutamientos promedio.



Y, por último, para un ponderador de reclutamiento alto (1.2) y el nivel de mortalidad por pesca que produce el rendimiento máximo sostenido, y de acuerdo a los tres escenarios de reclutamientos evaluados, los resultados indican que la biomasa desovante debería fluctuar al 95% de confianza entre las 494 mil toneladas y 1348 un millón trescientos cuarenta y ocho mil toneladas durante la proyección (**Figura 45a**). El valor medio proyectado para la biomasa desovante debería tener un valor mínimo y máximo de 688 mil toneladas y 991 mil toneladas, respectivamente. Para los tres escenarios de reclutamientos evaluados y con un ponderador de reclutamientos alto (1.2), la biomasa desovante promedio semestral teórica de largo plazo ($BD_{2021.5}$) debería alcanzar las 893 (± 31) mil toneladas. Para la captura semestral debería fluctuar al 95% de confianza entre las 136 y 890 mil toneladas durante la proyección (**Figura 45b**). El valor medio proyectado para la captura semestral debería tener un valor mínimo y máximo de 270 y 599 mil toneladas, respectivamente. La captura promedio semestral teórica de largo plazo ($CTP_{2021.5}$) debería alcanzar las 431 (± 93) mil toneladas. Los resultados de las proyecciones, para los tres escenarios de reclutamientos evaluados y un ponderador de reclutamientos neutro, indican que la reducción media del stock de anchoveta en el largo plazo ($BD_{2021.5}/BD_0$) alcanzaría un nivel superior (0.696 ± 0.0248) al punto biológico de referencia (50% BD_0) para el manejo pesquero (**Figura 45c**).

En la **Figura 46** se muestran el porcentaje de participación en la captura proyectada por rango de talla para los diferentes escenarios de reclutamientos considerados, con el nivel de mortalidad por pesca que genera el rendimiento máximo sostenido y un ponderador de reclutamiento neutro (1.2). Un gran porcentaje de participación en la captura corresponde a tallas entre los 9 a 15 cm. Sin embargo, durante el 1^{er} semestre del 2021 se observa que en el escenario de reclutamientos positivos se incrementa la participación de las tallas mayores a los 15 cm, mientras que en el 2^{do} semestre del 2021 estas disminuyen para el escenario de reclutamientos positivos y aumenta para el escenario de reclutamientos negativos.

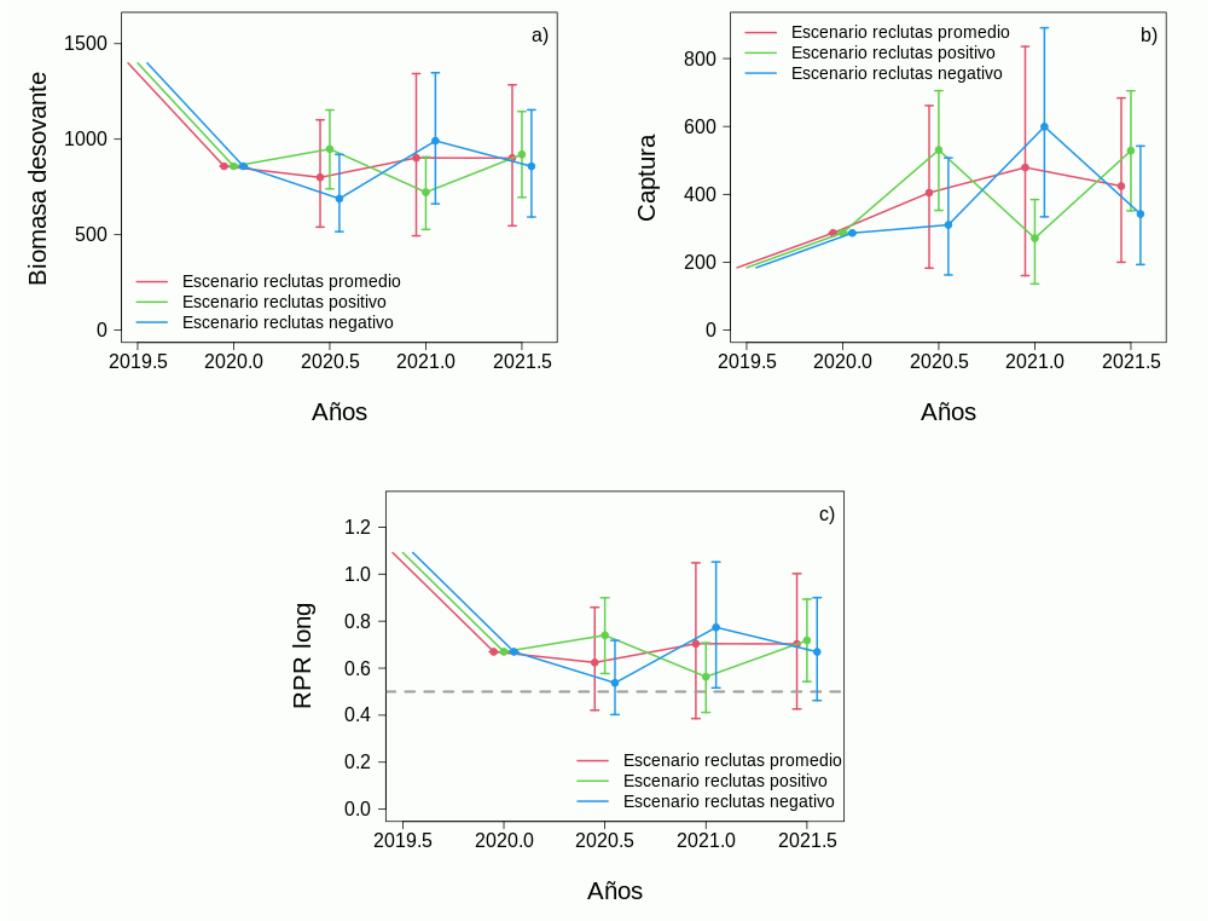


Figura 45. Proyecciones para la biomasa desovante (a), la captura biológicamente aceptable (b) y la reducción del stock (c) para los diferentes escenarios de reclutamientos con el nivel de mortalidad por pesca al rendimiento máximo sostenido (F_{RMS}) y con un ponderador de reclutamiento alto (1.2) para el stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile.

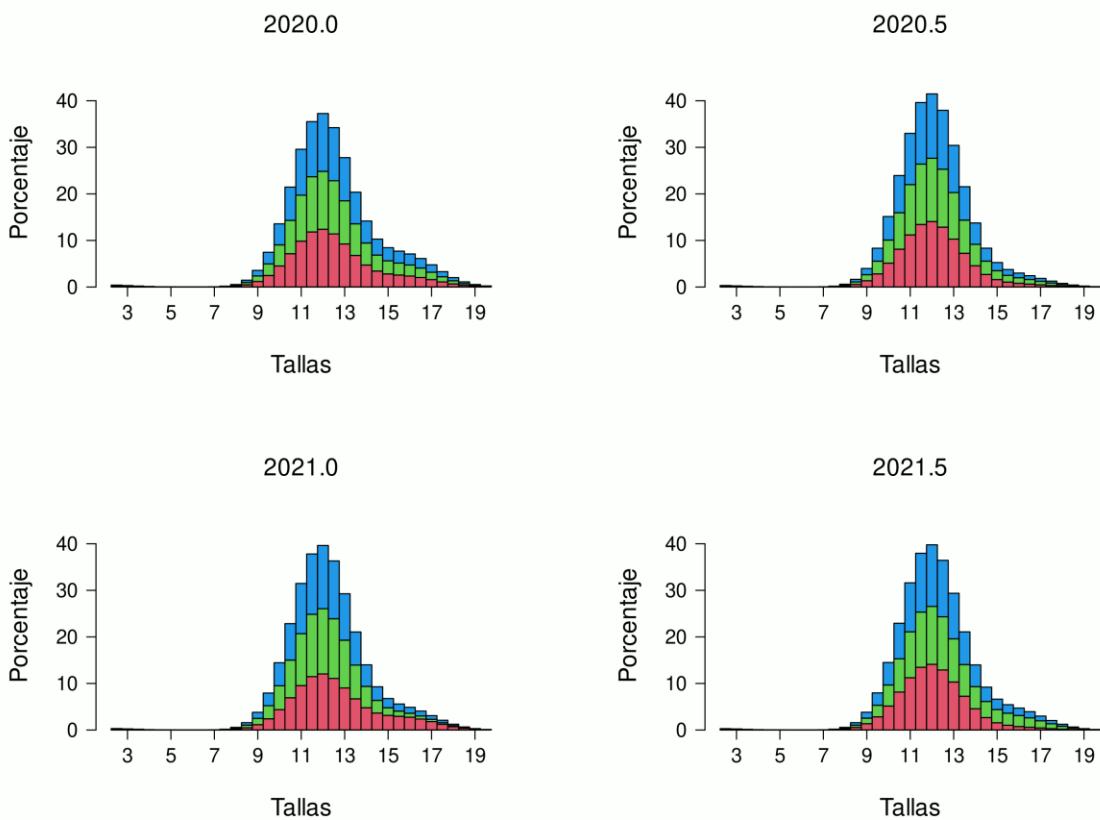


Figura 46. Estructura de tamaños en la captura (como porcentaje) durante la proyección del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile, para el nivel de mortalidad por pesca al F_{RMS} considerando un ponderador de reclutamiento alto (1.2). El color rojo es el escenario de reclutamientos positivo, el verde es el escenario de reclutamientos negativo y el azul es el escenario de reclutamientos promedio.



4.3.3. Incorporación del descarte en la CBA

Según el escenario de reclutamientos negativos (**Tabla 15**), en que los reclutas del segundo semestre son mayores que los del primer semestre, y por ende las capturas del primer semestre son mayores que las del segundo semestre, los resultados indican que la CBA para el año 2021 debería estar en un rango de las 390 a 929 mil toneladas según el ponderador de reclutamientos y el nivel de riesgo que se considere.

Tabla 13.

Captura biológicamente aceptable anual (2021) incorporando el descarte para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile para cinco niveles de riesgo de exceder el criterio de $F=F_{RMS}$ bajo tres escenarios de reclutamiento, bajo (0.8), neutro (1.0) y alto (1.2), y el escenario de reclutamiento promedio.

Recluta	media	d.s.	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.8	594	229	296	387	461	529	594
1.0	742	286	370	484	576	661	742
1.2	891	343	444	581	691	793	891

Tabla 14.

Captura biológicamente aceptable anual (2021) incorporando el descarte para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile para cinco niveles de riesgo de exceder el criterio de $F=F_{RMS}$ bajo tres escenarios de reclutamiento, bajo (0.8), neutro (1.0) y alto (1.2), y el escenario de reclutamiento positivo.

Recluta	media	d.s.	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.8	524	121	353	405	449	487	524
1.0	654	151	441	506	561	608	654
1.2	785	181	529	608	674	730	785

Tabla 15.

Captura biológicamente aceptable anual (2021) incorporando el descarte para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile para cinco niveles de riesgo de exceder el criterio de $F=F_{RMS}$ bajo tres escenarios de reclutamiento, bajo (0.8), neutro (1.0) y alto (1.2), y el escenario de reclutamiento negativo.

Recluta	media	d.s.	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.8	620	180	390	458	516	569	620
1.0	774	225	488	572	644	711	774
1.2	929	270	585	697	773	853	929



4.4 Objetivo Específico 4.

Informar el avance del Programa de Mejoramiento Continuo de la Calidad de la Asesoría Científica (PMCCAC) realizado durante el presente estudio, respecto al cumplimiento de recomendaciones formuladas en procesos de RPEI y priorizadas por el CCT, cuando corresponda.

4.4.1. Esquema de trabajo y plan de actividades

El plan de actividades del proyecto de evaluación de stock considera la participación en reuniones de coordinación entre el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) y la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SSPA) con el objeto de estandarizar los informes del presente proyecto y elementos de apoyo a la toma de decisión. Al respecto, el día 12 de junio de 2017 se desarrolló la primera reunión de coordinación donde la SSPA propuso un esquema de trabajo para ser aplicado a los futuros desarrollos e implementaciones de las mejoras y modificaciones (MM) a la evaluación de stock (EV), además de la revisión y actualización de datos y modelos, los cuales estarán vinculados al trabajo del CCT-PP. Este esquema se aplicará para los próximos años. El IFOP estuvo de acuerdo con esta propuesta ya que ayudará a ordenar las tareas comprometidas durante el período de ejecución de este proyecto. El esquema de trabajo de datos y modelos presentado en la **Figura 47**, consiste en los siguientes pasos:

- i) Especificación de EV(t+1) (septiembre) sobre la base de las MM(t) presentadas en la asesoría anterior, EV(t) las cuales serán presentadas y discutidas con el CCT-PP para la definición del caso base, EV(t+1), utilizado para establecer el estatus y CBA.
- ii) IFOP presenta propuestas de MM(t+1) para trabajar durante el desarrollo de este proyecto que recogerán algunas de las observaciones a la EV(t) de revisores por pares (RPP) nacionales, CCT-PP y SSPA, junto a recomendaciones de la RPP internacional.
- iii) IFOP presenta propuesta de modelo alternativo y soporte para evaluar los criterios del establecimiento de vedas para trabajar durante la ejecución de este proyecto.
- iv) Uno de los propósitos de este esquema de trabajo es que en esta instancia también se realice la revisión de datos, sin embargo, en este proyecto en particular se dará prioridad a la propuesta de MM(t+1), con el compromiso que la revisión de datos se lleve a cabo en los futuros proyectos.

Finalmente, en la etapa de revisión y actualización de la EV(t+2 y t+3) a realizarse entre marzo y julio, también se comparará con los resultados de la EV(t+1 y t+2) correspondiente a las asesorías de septiembre y marzo de cada año, respectivamente.



ESQUEMA DE TRABAJO DE DATOS Y MODELOS

Proyecto Estatus y CBA de Pelágicos

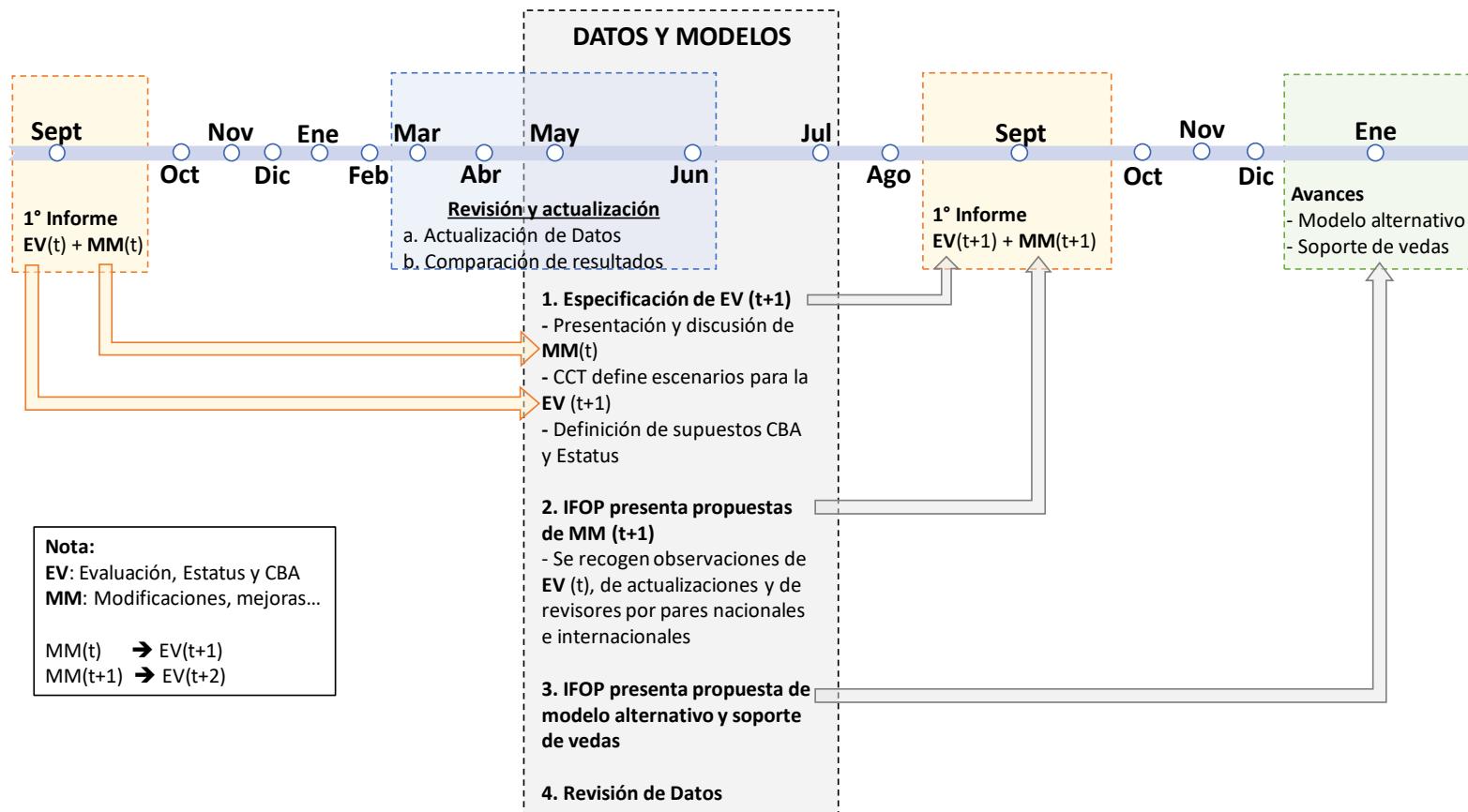


Figura 47. Esquema de trabajo de datos y modelos por la SSPA y IFOP para la implementación de mejoras y modificaciones (MM) a la evaluación de stock (EV) durante el desarrollo del proyecto de estatus y CBA de las pesquerías de pequeños peces pelágicos.



4.4.2. Mejoras realizadas al modelo de evaluación de stock

La principal mejora realizada al modelo de evaluación de stock para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile fue realizada en el taller de revisión por pares entre los días 11 al 13 de marzo del 2019 por el Dr. James Ianelli, experto del centro de ciencia pesquera de Alaska de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). El taller dio cuenta de la revisión de los datos usados en la evaluación de stock, el crecimiento de la anchoveta basado en micro incrementos diarios y el supuesto de mortalidad natural usado, las hipótesis estructurales que definen el modelo conceptual de la pesquería de la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. Además, se revisó la dinámica poblacional, los modelos de los procesos y error, la configuración del modelo de evaluación. Y finalmente, se revisaron los ajustes del modelo de evaluación a los datos usados, las variables poblacionales estimadas por el modelo, el desempeño del modelo, análisis retrospectivo, puntos biológicos de referencia y estatus del recurso estudiado. Finalmente, durante los días 8 al 12 de julio del 2019 se realizó el Taller “Benchmark Stock Assessment” para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile por la Dra. Carolina Minte-Vera, experta de la Comisión Inter-Americana del Atún Tropical (IATTC) con sede en la Jolla, California, USA. Este taller tuvo la finalidad de incorporar las sugerencias del Dr. Ianelli para mejorar el modelo de evaluación de stock antes de que el modelo pueda ser usado con fines para el manejo pesquero.

Posterior a este taller, se ha continuado haciendo mejoras al modelo de evaluación, primero, la incorporación de una selectividad tipo doble-normal, con la capacidad de convertirse en logística en caso que los datos en las estructuras de tallas lo indiquen, dado el valor de la varianza asignado al lado izquierdo de esta ecuación. Esta mejora permite lidiar con las altas mortalidades por pesca que se observan en el modelo logístico (las que alcanzan el límite superior establecido por el modelo) y que repercuten en el análisis retrospectivo cuando se registran las altas abundancias totales estimadas a través del método acústico y las bajas capturas que se vienen registrando en el último tiempo. Segundo, otra mejora realizada que no tiene relación con el código del modelo de evaluación pero sí con el tratamiento de la información utilizada en el modelo de evaluación, es la incorporación de la relación longitud-peso variable por semestre desde el año 2001 hasta el 2019 (**Figura 15**), debido principalmente a la variabilidad que se han observado en las estructuras de tallas de las capturas (**Figura 13 y 14**) durante los últimos veinte años, y más aún durante los últimos cinco años, donde la talla media ha alcanzado valores por debajo de los 12 cm de longitud total, lo cual implica un menor peso en los individuos capturados.



4.4.3. Avances en la reducción de brechas

El gran desafío que presentan los pequeños peces pelágicos a nivel mundial, y más aún en la anchoveta de la zona norte de Chile dado su rápido crecimiento, es intentar predecir los reclutamientos futuros durante la proyección del stock. Actualmente, la elección de los reclutamientos futuros para cada semestre, se seleccionan según la historia de los reclutamientos ocurridos durante el primer y segundo semestre, y el patrón intra-anual que se observa en los reclutamientos (**Figura 7**). La principal característica de esta metodología es que los reclutamientos futuros son tratados como eventos independientes. En este sentido, y para tomar en cuenta interdependencia (o autocorrelación) que podría existir en los reclutamientos a través del tiempo, se aplicaron diferentes métodos estadísticos que toman en cuenta la correlación a través del tiempo. En una primera aproximación, es identificar los puntos de quiebres para la serie de reclutamientos en función del promedio sobre períodos acotados de tiempo. Esto con el propósito de identificar niveles medios de reclutamientos que se dan durante períodos acotados con una cierta variación. En la **Figura 48** se muestran los distintos niveles medio en que ha cambiado la serie de reclutamientos, durante el 2007 al 2017 se observó un valor medio de 218 mm de reclutas y desde el segundo semestre del 2017 hasta la fecha el valor fue de 321 mm de reclutas. Y en una segunda aproximación, se ajustó un modelo auto regresivo de promedios móviles, ARIMA, en donde la principal característica es determinar algún grado de estacionalidad en la serie de los reclutamientos. Este grado de estacionalidad se obtiene diferenciando la serie de reclutamientos sucesivamente. Una vez encontrado este grado de autocorrelación producto de la diferenciación de la serie temporal de reclutamientos, se ajusta el modelo auto regresivo de promedios móviles (**Tabla 16**) y se proyectan los reclutamientos en el futuro. En la **Figura 49** se muestran las predicciones de los reclutamientos a través del modelo auto regresivo con sus intervalos de confianza. Los valores medios predichos para el primer y segundo semestre del 2021 son 220 y 271 mm de reclutas, respectivamente. Estos dos valores están dentro del rango de los dos últimos valores medios de quiebres estimados para la serie de reclutamientos (**Figura 48**), lo cual pareciera ser indicativo que la aproximación basada en la modelación auto regresiva de promedios móviles converge a los niveles medios de reclutamientos que se han registrado durante los últimos veinte años, estimados a través de puntos de quiebres basado en promedio.

Tabla 16.

Coeficientes ajustados y su desviación estándar por el modelo auto regresivo de promedios móviles ARIMA a la serie temporal de los reclutamientos de la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile.

	ar1	ar2	ar3	sar1	sar2	sar3	promedio
Coeficientes	-0.2531	-0.0239	0.4184	-0.0256	0.2116	-0.0658	254.74
s.d.	0.1581	0.2310	0.1922	0.2445	0.2160	0.2050	25.16

log-likelihood = -256.81

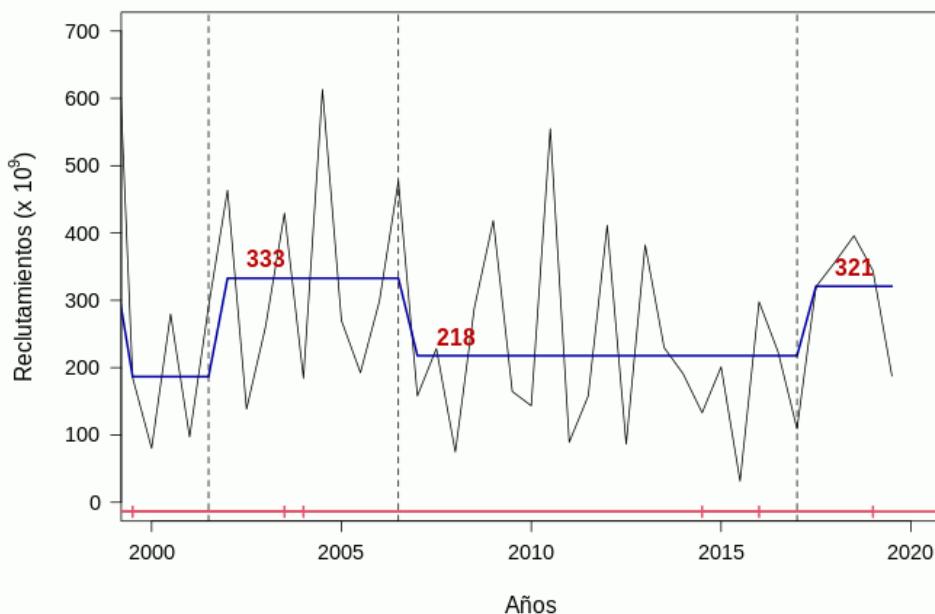


Figura 48. Estimación de puntos de quiebres medios en la serie temporal de reclutamientos durante los últimos veinte años. La línea azul representa la estimación media de la serie de reclutamientos y la línea roja con segmentos verticales muestra los períodos en que se producen los puntos de quiebres.

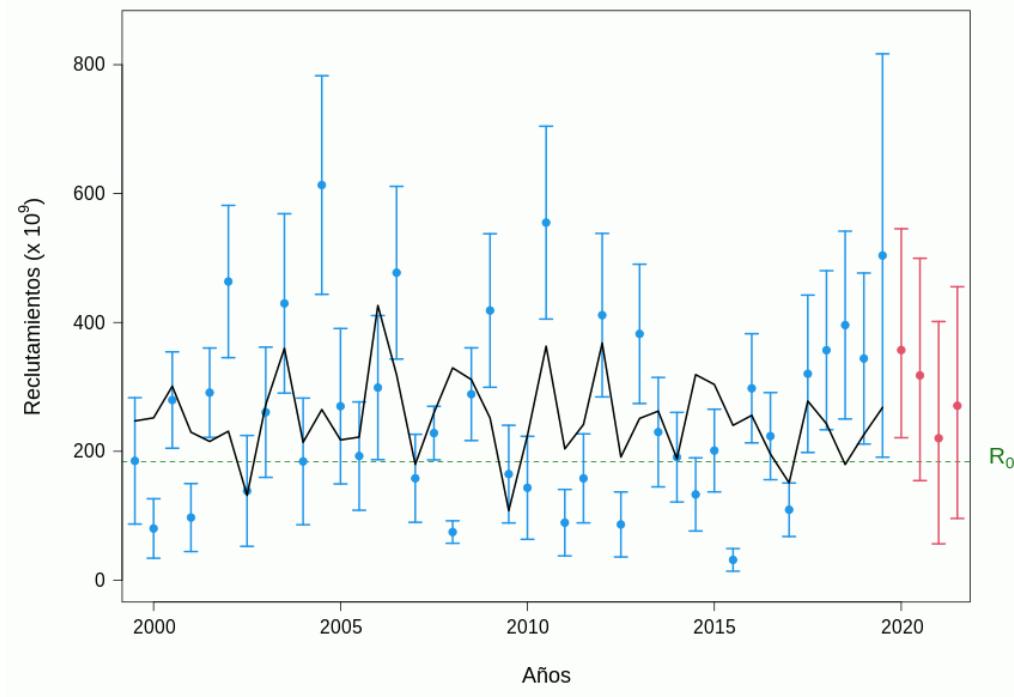


Figura 49. Predicción de los reclutamientos futuros a través de un modelo auto regresivo de promedios móviles, ARIMA. La línea negra continua representa el modelo ARIMA ajustado a los datos. Los puntos rojos son las predicciones para el primer y segundo semestre del 2020 y 2021 con sus intervalos de confianza. La línea verde punteada representa R_0 .



4.4.4. Programa de trabajo año 2020

El esquema de trabajo y plan de actividades programadas para el año 2020 se presenta en las siguientes tablas. Las principales actividades e hitos que sustentan el programa anual de trabajo se pueden definir en 3 categorías principales: i) Hitos de proyecto de estatus, entrega de informes correspondientes al convenio de desempeño 2019 y 2020 (**Tabla 16 y 17**), ii) Proceso de asesoría propiamente tal, el cual incluye la presentación de datos, resultados y análisis de la evaluación del stock al CCT-PP (**Tabla 18**) y iii) Participación en talleres de revisión por pares, capacitación y conferencias orientados al proceso de mejora continua y disminución de brechas del conocimiento de pequeños peces pelágicos (**Tabla 19**).

Tabla 16.

Calendario de entrega de informes de Estatus y CBA de los recursos pelágicos pequeños
según Convenio de desempeño 2019

Recursos	Documento técnico	Informe 1 de estatus	Informe consolidado	Informe complementario
Anchoveta Norte	30 – 05 - 2019	15-09-2019	15-04-2020	-
Anchoveta ATCMA a COQ			15-04-2020	-
Anchoveta VALPO a LAGOS			15-03-2020	30-07-2020
Sardina común VALPO a LAGOS			15-03-2020	30-07-2020
Sardina austral LAGOS y AYSEN			15-06-2020	-

Tabla 17.

Calendario de entrega de informes de Estatus y CBA de los recursos pelágicos pequeños
según Convenio de desempeño 2020

Recursos	Documento técnico	Informe 1 de estatus	Informe consolidado	Informe complementario
Anchoveta Norte	30-05-2020	15-09-2020	15-04-2021	31-05-2021
Anchoveta ATCMA a COQ			15-04-2021	-
Anchoveta VALPO a LAGOS			15-03-2021	30-07-2021
Sardina común VALPO a LAGOS			15-03-2021	30-07-2021
Sardina austral LAGOS y AYSEN			15-06-2021	-

**Tabla 18.**

Presentaciones del grupo de pesquerías pelágicas de IFOP en las sesiones del Comité Científico Técnico de Pesquerías Pelágicas calendarizadas para el año 2020.

Sesiones 2020	Presentaciones de grupo pelágicos de IFOP
Sesión N°1 10 al 11 de enero 2020	Presentación del Trabajo desarrollado durante año 2019 según programa de trabajo propuesto
Sesión N°2 3 y 4 de abril 2020	Presentación de resultados de primera revisión de estatus y CBA 2020 de anchoveta y sardina común de las Regiones VALPO a LAGOS
Sesión N°3 14 y 15 de mayo 2020	Presentación de resultados de actualización de estatus y CBA 2020 de anchoveta zona norte y anchoveta Regiones Atacama-Coquimbo.
Sesión N°4 2 y 3 de julio 2020	Presentación de revisión y actualización cuota de captura recursos anchoveta zona norte, sardina austral Región de Los Lagos y Región de Aysén, año 2020. Revisión de datos y modelos de sardina austral aguas interiores Región de Los Lagos, anchoveta Regiones de Atacama y Coquimbo y anchoveta regiones Arica y Parinacota a Antofagasta.
Sesión N°5 20 y 21 de agosto 2020	Presentación de resultados de actualización de estatus y CBA 2020 de anchoveta y sardina común Regiones VALPO a LAGOS. Datos y modelos anchoveta zona norte, sensibilización de la CBA. Datos y modelos sardina austral. Modificación en la estimación del PBR anchoveta.
Sesión N°6 16 y 18 de octubre 2020	Presentación de resultados de estatus 2019 y CBA 2021 de pesquerías pelágicas.

**Tabla 19.**

Eventos relacionados al proceso de mejora continua y disminución de brechas

Eventos durante año 2019-2020	Contenidos
Taller N° 1 Revisión por Pares Anchoveta Norte Marzo 2019	Durante los días 11 al 13 de marzo del 2019 se realizó el taller de revisión por pares del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile por el Dr. James Ianelli, experto del centro de ciencia pesquera de Alaska de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration).
Taller N° 2 Benchmark Anchoveta Norte Julio 2019	“Benchmark Stock Assessment” de los diferentes casos del modelo base a usar en base a las recomendaciones realizadas por el Dr. Jim Ianelli. Para este taller se contará con la asesoría de la Dr. Carolina Minte-Vera (IATTC).
Taller convenio IFOP-IMARPE Anchoveta Norte Diciembre 2019 SUSPENDIDO	XVII Taller IMARPE-IFOP de Evaluación conjunta del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile a realizarse la primera semana de diciembre del 2019 en el Callao, Perú.
Seminario-Taller Evaluación de Estrategias de Manejo en Recursos Pelágicos Pequeños en Chile 9 al 11 de Marzo 2020	Proyecto FIPA 2018-49 Presentación de la puesta en marcha de la Evaluación de Estrategias de Manejo para la Anchoveta de la zona Norte de Chile.
Taller convenio IFOP-IMARPE Anchoveta Norte Diciembre 2020 VIRTUAL	XVII Taller IMARPE-IFOP de Evaluación conjunta del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile a realizarse en forma Virtual.



5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN RESULTADOS

Durante marzo y julio del año 2019 se realizó el taller de revisión por pares (Dr. Ianelli) y el taller benchmark stock assessment (Dra. Minte-Vera), respectivamente, los que permitieron validar el enfoque de modelación empleado en la evaluación del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile, implementar las recomendaciones de la revisión por pares y explorar nuevas modificaciones al modelo. Los resultados de estos dos talleres permitieron proponer un modelo de evaluación de stock con fines de manejo pesquero. Posteriormente, se han incorporado mejoras en la codificación del modelo y también en el procesamiento de los datos biológico-pesqueros que son usados por el modelo de evaluación. Este proceso de mejora continua (PMCCAC) permite informar sobre el proceso de evaluación de stock durante el año 2020, el establecimiento del estatus y la captura biológicamente aceptable para el año 2021. Los resultados permiten establecer una reducción del potencial reproductivo (RPR) de 0.73, en cambio, la biomasa desovante respecto de la biomasa desovante virginal (BD/BD_0) se ubicó en torno a un 1.09, valor que está por sobre el objetivo de manejo pesquero. El diagnóstico de stock de anchoveta compartido entre el sur de Perú y norte de Chile al último semestre de la evaluación es de una mortalidad por pesca un 81% inferior al máximo definido por el F_{RMS} y una biomasa desovante un 118% superior a la biomasa que genera el RMS. Esta situación genera una probabilidad nula de definir el stock de anchoveta en un estado de sobrepesca ($F_{2019.5} > F_{RMS}$) y en un estado de sobreexplotación ($BD_{2019.5} < BD_{RMS}$). La CBA para el stock compartido del sur de Perú y norte de Chile para el año 2021, según el criterio de la F_{RMS} , considerando un ponderador de reclutamientos neutro (1.0) y tomando en cuenta el escenario de los reclutamientos promedios observados en el primer y segundo semestre por separado, el valor de la CBA debería estar en el rango de 373 a 753 mil toneladas para el nivel del riesgo del 10 y 50%, respectivamente. Ahora, si se considera el criterio de la F_{RMS} y el ponderador neutro, y el escenario de reclutamientos positivos, el valor de la CBA debería estar en el rango de 450 a 666 mil toneladas para el nivel del riesgo del 10 y 50%, respectivamente. Y finalmente, si se considera el escenario de reclutamientos negativo, el valor de la CBA debería estar en el rango de 493 a 785 mil toneladas para el nivel del riesgo del 10 y 50%, respectivamente. Con respecto a los niveles recomendados en el año 2019, no hay diferencias significativas en términos CBA media, pero si en términos de la desviación estándar de la CBA, donde se registra una diferencia significativa.

El ajuste del modelo de evaluación a los índices de abundancia directos e indirectos indica que la incertidumbre es más del doble de lo que está supuesto en el modelo (**Figura 20**), dado por los valores que toma la raíz de los cuadrados medios de los errores (RMSE). Sin embargo, los residuales de los índices de abundancia no indican un patrón aparente que indique una mala especificación en el modelo (**Figura 29**). Los desembarques son bien ajustados por el modelo debido al bajo coeficiente de variación asignado (**Figura 21**), y los residuales se encuentran uniformemente distribuidos en torno a cero (**Figura 32**). Las distribuciones de tallas son bien ajustadas por el modelo, sin patrones aparentes (**Figura 22, 23 y 24**). En varios semestres se puede observar que las distribuciones de tallas parecen presentar menor variabilidad que la supuesta por el modelo (**Figura 30**). Esto debido principalmente a una clave talla-edad variable según la fecha en que se realizó cada fuente de información, permitiendo disminuir la magnitud de los residuales y evitar patrones en ellos, generando que los residuales estén uniformemente distribuidos (**Figura 31**), salvo por las altas proporciones que el modelo no genera distribuciones puntiagudas que se observan en algunos semestres.



Otra forma de evaluar el desempeño del modelo de evaluación es el perfil de verosimilitud del parámetro de escala, logaritmo del reclutamiento virginal ($\log R_0$). Y se utiliza para determinar si la información sobre la escala de la biomasa absoluta es coherente entre los conjuntos de datos. En el caso del modelo de evaluación para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile, la estimación de máxima verosimilitud del parámetro de escala es función de dos grupos de componentes de la verosimilitud que parecieran estar en contradicción entre ellos (**Figura 35**). En una primera aproximación, los datos de biomasa acústica del Perú, las frecuencias de tallas de las capturas de Chile y Perú tienen su mínimo en valores menores al de R_0 (183), mientras que la biomasa acústica de Chile, las estructuras de tallas del crucero acústico de Chile y los desvíos de R_0 dan soporte para valores mayores de R_0 . Los datos de frecuencia de tallas para las capturas de Chile y Perú muestran información sobre valores más limitados de R_0 que están próximo a 100, mientras que los otros datos indican que este valor es poco probable y que R_0 debería ser mucho mayor. Esto nos indica que las frecuencias de tallas son importantes en restringir la incertidumbre sobre los límites superiores del tamaño de la población.

Un mecanismo efectivo para mejorar la evaluación de stock de la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile es dirigir los esfuerzos para realizar investigación en colaboración con el Perú, ya que no hay ningún índice de abundancia que cubra toda la distribución del stock de forma completa. Los índices de abundancia están limitados a la jurisdicción de cada país y no hay indicadores del cuál proporción del stock está en cada jurisdicción en el tiempo. Además, no hay frecuencias de tallas de los índices acústicos del Perú y se emplea la selectividad estimada para el índice acústico de Chile. Dada las grandes incertidumbres, especialmente en los índices de abundancia, el desarrollo de la evaluación de estrategias de manejo (EEM), como fue sugerido por el revisor externo, Dr. Ianelli, es importante para este stock. En este sentido, el Taller-Seminario Evaluación de Estrategias de Manejo en pequeños peces pelágicos en Chile desarrollado del 9 al 11 de marzo del 2020 en Viña del Mar, Chile, permitió en una primera fase iniciar el proceso de EEM para la anchoveta de la zona norte de Chile, con la exposición de dos presentaciones. Durante el último trimestre del 2020 y principios del 2021 se podrían tener resultados preliminares del EEM para el stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile.

Desde el punto de vista biológico, los antecedentes sobre el crecimiento de la anchoveta (**Figura 17**) que conllevan a una mortalidad natural igual a 2.2 año^{-1} (**Tabla 6**), lo que implica un corto período de vida en la pesquería, como se ve reflejado en el patrón de explotación (**Figura 25 y 28d**), con una fuerte dependencia de la población al éxito o fracaso del reclutamiento que ocurre semestre a semestre, causando importantes fluctuaciones en el tamaño de su población debido principalmente a fluctuaciones ambientales a diferentes escalas de espacio y tiempo. Durante los últimos cinco años, la alta presencia de juveniles que se han registrado en las capturas de la flota comercial de Chile (**Figura 13 y 14**) y en el crucero acústico de Chile (Leiva *et al.*, 2015; 2016; 2017; 2018 y 2019) ha impulsado el establecimiento de vedas biológicas. Durante el año 2020, se registró una veda biológica desde el 08/02 al 01/03, imposibilitando desarrollar actividad extractiva pesquera. En marzo del 2020 la estructura de tamaño de la captura de la flota industrial presentó una moda de 11.5 cm, con un 63% de juveniles. En abril la moda fue de 11.5 cm con un 65% de juveniles, y en mayo la moda fue de 12 cm con un 60% de juveniles. En junio la moda fue de 12 cm con un 65% de juveniles y en julio la moda fue de 12 cm con un 56% de juveniles. Y en agosto del 2020 la moda fue de 12 cm con un 48% de juveniles. El desembarque de anchoveta ha sido bajo durante gran parte del año por la alta



presencia de juveniles y la distribución costera que ha presentado el recurso, ubicándose entre las 5 a 16 millas náuticas de la costa. La veda reproductiva se inició el 25 de agosto del 2020 y se extenderá por 45 días hasta el 8 de octubre del 2020. Es probable que se mantendrá la influencia de juveniles en los próximos meses, debido al desove observado en el verano, y las agregaciones de anchoveta se presentarían preferentemente en zonas costeras con alta productividad (CIAM, 2020). Esta condición, de alta presencia de juveniles durante una condición cálida ha sido reportada para la anchoveta del Perú, junto a una disminución de la abundancia, una distribución mucho más costera y un prolongado desove en el tiempo (Ñiquen y Bouchon, 2004; Bertrand *et al.* 2004). Recientes estudios han sugerido que el fenómeno de El Niño podría tener una mayor frecuencia y fuerza como resultado del calentamiento global (Cai *et al.*, 2014), lo que podría conllevar a una permanente presencia de juveniles durante todo el año. Además, el calentamiento global podría producir variaciones en la surgencia costera, suministro de nutrientes, cambios en el hábitat y cambios en la composición y producción primaria (Fréon *et al.* 2009; Bakun *et al.* 2015; Checkley *et al.* 2017). Estos cambios en el ecosistema pelágico del norte de Chile tendrían efectos adversos para la anchoveta (van der Lingen, 1994), lo que se vería reflejado en bajos niveles de abundancia.

Esta distribución más costera que presenta la anchoveta, con una alta presencia de juveniles, asociada a zonas de alta productividad biológica estaría relacionado a los cambios observados en la clorofila costera que afectan directamente la abundancia y disponibilidad del alimento planctónico para los primeros estadios de vida y el posterior éxito o fracaso del reclutamiento de la anchoveta. Si consideramos que el ecosistema pelágico de la zona norte de Chile está estructurado desde “abajo hacia arriba” y la cantidad de alimento disponible en el ambiente es el factor limitante (Cury *et al.*, 2001). Entonces, los bajos niveles de clorofila costera que se vienen registrando en los últimos años (Ángulo *et al.* 2016) limitarían el tamaño de la población de anchoveta a los niveles actuales de productividad. Y por otra parte, un reciente estudio presentado en el IV SIBERCOP ha mostrado la pérdida de fenología (ciencia que estudia la relación entre los factores climáticos y los ciclos de los seres vivos) entre el ciclo reproductivo de la anchoveta y la estacionalidad de temperatura superficial del mar, como una consecuencia del cambio climático (Bakun *et al.*, 2015). Además, como la temperatura superficial del mar esta acoplada a la clorofila, con un $R^2=0.85$, entonces es de esperar que los reclutamientos de anchoveta sigan marcando una tendencia estable durante los últimos cinco años, debido principalmente al desencuentro entre la primera alimentación de los estadios tempranos de vida y el inicio del florecimiento de fitoplancton (Platt *et al.*, 2003). Por otra parte, la presencia de juveniles durante todo el año, indica una estrategia a desovar continuamente en zonas costeras de alta productiva biológica para sostener la población. Esto refuerza la necesidad de ser precautorio dado que la Ley de Pesca (L.G.P.A 20.657) es clara en su artículo 1ºB: El objetivo de la ley es la conservación y el uso sustentable de los recursos hidrobiológicos, mediante la aplicación del enfoque precautorio, del enfoque ecosistémico y salvaguardar los ecosistemas marino. Es por ello, que se hace necesario que la Administración Pesquera cuente con información actualizada del ecosistema del norte de Chile, de manera de tener una compresión de la productividad de este, y así tener una mejor aproximación a la condición del recurso, y posteriormente aplicar el enfoque precautorio, como manda la ley, sobre los niveles de captura que son biológicamente permisibles para la sostenibilidad del stock. Ya que por muchos años el manejo pesquero de este recurso ha estado basado en el control por arriba (de las capturas) más que en el control primario de este stock que comienza por abajo, es decir, el clima (Checkley *et al.* 2017).



6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Angulo, J., C. Grendi, U. Cifuentes, H. Miles y A. Varas. 2016. Monitoreo de las condiciones bio-oceanográficas entre la XV y II Regiones, año 2015. Boletín Bio-Oceanográfico, Marzo 2016, Zona Norte. Instituto de Fomento Pesquero, 14 pp.
- Bakun, A., B.A. Black, S.J. Bograd, M. García-Reyes, A.J. Miller, R.R. Rykaczewski y W.J. Sydeman. 2015. Anticipated effects of climate change on coastal upwelling ecosystems. *Curr. Clim. Change Rep.* DOI 10.1007/s40641-015-0008-4.
- Basilone, G., C. Guisande, B. Patti, S. Mazzola, A. Cuttitta, A. Bonanno, A.R. Vergara y I. Maneiro. 2006. Effect of habitat condicions on reproduction of the European anchovy (*Engraulis encrasicolus*) in the Strait of Sicily. *Fish. Ocenaogr.*, 15:4, 271-280.
- Bertrand, A., M. Segura, M. Gutiérrez y L. Vásquez. 2004. From small-scale habitat loopholes to decadal cycles: a habitat-based hypothesis explaining fluctuation in pelagic fish populations off Peru. *Fish Fish.*, 5: 296-316.
- Baranov, F.I. 1918. On the question of the biological basis of fisheries, *Nauchnye Issledovaniya Ikhtiolicheskii Instituta Izvestiya*, vol. 1, 81-128 pp.
- Beverton, R.J.H. y S.J. Holt. 1957. On the dynamics of exploited fish populations. *Fish. Invest. Ser. 2*, 19, 533 pp.
- Blanco, J.L., A.C. Thomas, M.E. Carr y P.T. Strub. 2001. Seasonal climatology of hydrographic conditions in the upwelling region off northern Chile. *J. Geophys. Res.*, 106, 11,451-11,467.
- Böhm, G., C. Hernández, G. Pérez, E. Díaz, L. Cortez, L. Ossa, F. Cerna, C. Valero, C. Machuca, L. Muñoz, H. Reyes, M. Troncoso, C. Gaspar, Z. Young y R. Aravena. 2013. Asesoría integral para la toma de decisiones en pesca y acuicultura, 2013. Actividad 1: Recursos pelágicos: Pesquería Recursos pelágicos Zona Norte. Subsecretaría de Economía. Informe Final. 267 pp.
- Böhm, G., C. Hernández, E. Díaz, R. Ojeda, F. Cerna, C. Valero, C. Machuca, L. Muñoz, C. Rozas, H. Reyes, M. Pizarro, R. Aravena, M. Troncoso, C. Gaspar y Z. Young. 2016. Programa de Seguimiento de las Pesquerías Pelágicas Zona Norte. Subsecretaría de Economía y EMT. Informe Final. 364 pp.
- Bowler, D.E. et. al. 2017. Cross-realm assessment of climate change impacts on species abundance trends. *Nat. Ecol. Evol.* 1, 0067.



Butler, J. 1989. Growth during the larval and juveniles stages of the northern anchovy *Engraulis mordax* in the California Current, 1980-1984. *Fish. Bull.* 87: 645-652.

Cai, W., S. Borlace, M. Lengaigne, P. van Rensch, M. Collins, G. Vecchi, A. Timmermann, A. Santoso, M.J. McPhaden, L. Wu, M.H. England, G. Wang, E. Guilyardi y F.F. Jin. 2014. Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming. *Nature Clim. Change*, 4: 111-116.

Canales, T. M. y E. Leal. 2009. Parámetros de historia de vida de la anchoveta *Engraulis ringens Jenyns*, 1842, distribuida en la zona centro norte de Chile. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.*, 44(1): 173-179.

Canales, C., R. Wiff y J.C. Quiroz. 2011. Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2012. Metas Cualitativas; Cuarto Objetivo Específico. Informe Final. 23 pp+Anexos.

Canales, T.M. C. Canales, M.G. Böhm y C. Castillo. 2014. Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2014. Proyecto 2.6. Investigación del status y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de anchoveta y sardina española regiones XV a II, año 2014: Anchoveta XV - II Regiones, 2014. Informe Final. Instituto de Fomento Pesquero. 39 pp. + Anexos.

Carmichael, J. y K. Fenske. 2010. Third National Meeting of the Regional Fisheries Management Councils's Scientific and Statistical Committees. Report of a National SSC Workshop on BC Control Rule Implementation and Peer Review Procedures. 95 pp.

Castillo, J. A. Saavedra, C. Hernández, V. Catasti, F. Leiva, J. Letelier, H. Reyes, M. Pizarro, B. Leiva, F. Cerna, A. López, L. Herrera, G. Claramunt, A. Mujica y E. Uribe. 2009. Evaluación hidroacústica reclutamiento anchoveta entre la XV y IV Regiones, año 2009. Informe Final. FIP 2008-02. 285 pp + Figuras, Tablas y Anexos.

Castillo, J. A. Saavedra, F. Leiva, H. Reyes, M. Pizarro, F. Espíndola, V. Catasti, C. Lang, C. Hernández, B. Leiva, F. Cerna, A. López, L. Herrera, G. Claramunt, E. Oliva, P. Moreno y M. Medina. 2010. Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta en la XV, I y II Regiones, año 2010. Informe Final. FIP 2009-02. 225 pp + Figuras, Tablas y Anexos.

Castillo, J. A. Saavedra, F. Leiva, H. Reyes, M. Pizarro, V. Catasti, C. Lang, M., San Martin, B. Leiva, F. Cerna, A. López y L. Herrera. 2011. Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta en la XV, I y II Regiones, año 2011. Informe Final. FIP 2010-13. 248 pp + Figuras, Tablas y Anexos.

Castillo, J. A. Saavedra, F. Leiva, H. Reyes, M. Pizarro, V. Catasti, C. Lang, M., San Martin, B. Leiva, F. Cerna, A. López y L. Herrera. 2012. Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta en la XV, I y II Regiones, año 2012. Informe Final. FIP 2010-13. 248 pp + Figuras, Tablas y Anexos.



Castillo, J. A. Saavedra, F. Leiva, H. Reyes, M. Pizarro, V. Catasti, C. Lang, M., San Martin, B. Leiva, F. Cerna, A. López y L. Herrera. 2013. Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta en la XV, I y II Regiones, año 2013. Pre-Informe Final. FIP 2012-11. 248 pp + Figuras, Tablas y Anexos.

Cerna, F. y G. Plaza. 2016. Daily growth patterns of juveniles and adults of the Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*) in northern Chile. *Mar. Fresh. Res.*, <http://dx.doi.org/10.1071/MF15032>.

Checkley, D., R. Asch y R. Rykaczewski. 2017. Climate, anchovy and sardine. *Annu. Rev. Mar. Sci.*, 9: 469-493

Chirichigno, N. y J. Vélez. 1998. Clave para identificar los peces marinos del Perú (2da edición). Pub. Esp. Inst. Mar Perú. 500 p.

CIAM, 2017. Condición biológica pesquera y ambiental de las regiones XV, I y II. Informe mensual – Marzo del 2017. 38 pp.

CIAM, 2020. Condición biológica pesquera y ambiental de las regiones XV, I y II. Informe mensual – Agosto del 2020. 44 pp.

Claramunt, G., L.R. Castro, L.A. Cubillos, Hans-Jurgen Hirche, G. Perez y M. Braun. 2012. Inter-annual reproductive trait variation and spawning habitat preferences of *Engraulis ringens* off northern Chile. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.*, 47(2): 227-243.

Claramunt, G., Herrera, G., Moreno, P. y Azocar, C. 2014. Evaluación de la biomasa desovante de anchoveta en la XV, I y II Regiones, Año 2013. Pre-Informe Final. FIP 2013-06.

Contreras-Reyes, J.E., T.M. Canales y P.M. Rojas. 2016. Influence of climate variability on anchovy reproductive timing off northern Chile. *J. Mar. Sys.*, 164: 67-75.

Correa-Ramírez, M., S. Hormazabal y G. Yuras. 2007. Mesoscale eddies and high chlorophyll concentrations off central Chile. *Geophys. Res. Lett.*, 34, L12604, doi:10.1029/2007GL029541.

Correa-Ramírez, M.A., S.E. Hormazabal y C.E. Morales. 2012. Spatial patterns of annual and interannual surface chlorophyll-a variability in the Peru-Chile Current System. *Prog. Oceanogr.*, 92-95: 8-17.

Cubillos, L. A., R. Serra y P. Fréon. 2007. Synchronous pattern of fluctuation in three anchovy fisheries in the Humboldt Current System. *Aquat. Living Resour.*, 75:69–75.

Cury, P., L. Shannon y Y.J. Shin. 2001. The Functioning of Marine Ecosystems. In: Reykjavik Conference on Responsible Fisheries in the Marine Ecosystem. Reykjavik, Iceland, 1-4 October 2001. 22 pp.



Espíndola, F. y J.C. Quiroz. 2017. Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2018, Anchoveta XV - II Regiones, 2017. Informe 1 Estatus. IFOP. 131 pp.

FAO (1997) Enfoque Precautorio para la Pesca de Captura y la Introducción de especies. FAO Orientaciones Técnicas para la Pesca Responsable. N°2. Roma. FAO. 64 p.

FAO (2003) La ordenación pesquera. El enfoque de ecosistemas en la pesca. FAO Orientaciones técnicas para la pesca responsable. No. 4, Supl. 2. Roma, FAO, 133 pp.

Fournier, D.A., H.J. Skaug, J. Ancheta, J. Ianelli, A. Magnusson, M.N. Maunder, A. Nielsen y J. Silbert. 2012. AD Model Builder: using automatic differentiation for statistical inference of highly parameterized complex nonlinear models. *Optim. Methods Softw.* 27: 233-249.

Fréon, P., F. Werner y F. Chavez. 2009. Conjectures on future climate effects on marine ecosystems dominated by small pelagic fish. In: Checkley, D.M., J. Alheit, Y. Oozeki and C. Roy (eds.). Climate Change and Small Pelagic Fish. Cambridge University Press, 372.

Gavaris, S. y J.N. Ianelli. 2002. Statistical issues in fisheries stock assessments. *Scand. J. Statist.*, 29: 245-267.

Gruus, A., W.J. Harford, M.J. Schirripa, L. Velez, S.R. Sagarese, Y. Shin y P. Verley. 2016. Management strategy evaluation using the individual-based, multispecies modeling approach OSMOSE. *Ecol. Model.*, 340: 86-105.

Hansen, J., M. Soto, R. Ruedy, K. Lo, D.W. Lea y M. Medina-Elizade. 2006. Global temperature change. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 103(39): 14288-14293.

Hormazabal, S., G. Shaffer, J. Letelier y O. Ulloa. 2001. Local and remote forcing of sea surface temperature in the coastal upwelling system off Chile. *J. Geophys. Res.*, 106, 16,657-16,671.

Leal E. y C. Canales. 2014. Convenio de Desempeño: "Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, 2015". Anchoveta III-IV Regiones. Informe de estatus y cuota. 110 pp.

Lee, H.H., K.R. Piner, R.D. Methot y M.N. Maunder. 2014. Use of likelihood profiling over a global scaling parameter to structure the population dynamics models: an example using blue marlin in the Pacific Ocean. *Fish. Res.* 158: 138-146.

Legault, C.M. 2009. Report of the Retrospective Working Group, 2008, Woods Hole, Massachusetts. US Dept Commer, Northeast Fish Sci Cent Ref Doc. 09-01; 30 pp.



Leiva, F., R. Vargas, V. Catasti, C. Lang, C. Grendi, U. Cifuentes, H. Reyes, B. Leiva, F. Cerna, A. López, L. Herrera, J. Jaque, V. Valenzuela y J. Angulo. 2015. Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta en la XV, I y II Regiones, año 2014. Informe Final. IFOP. 382 pp.

Leiva, F., R. Vargas, C. Grendi, U. Cifuentes, C. Rozas, B. Leiva, F. Cerna, A. López, C. Lang, L. Herrera, J. Jaque, J. Angulo y V. Valenzuela. 2016. Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta en la XV, I y II Regiones, año 2015. Informe Final, IFOP, 335 pp.

Leiva, F., R. Vargas, C. Grendi, M. Pizarro, U. Cifuentes, A. Bustamante, B. Leiva, F. Cerna, A. López, F. Sánchez, C. Lang, J. Angulo, V. Valenzuela, F. Osorio, L. Herrera, J. Jaque. 2017. Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta en la XV, I y II Regiones, año 2016. Informe Final, IFOP, 274 pp.

Leiva, F., B. Leiva, F. Sánchez, M. Pizarro, C. Grendi, A. Bustamante, U. Cifuentes. 2018. Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta en la XV, I y II Regiones, año 2017. Informe de Avance, IFOP, 87 pp.

Leiva, F., F. Sánchez, C. Grendi, A. Bustamante, C. Salinas, U. Cifuentes. 2019. Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta en la XV, I y II Regiones, año 2018. Informe de Avance, IFOP, 97 pp.

Longhurst, A.R., S. Sathyendranath, T. Platt y C. Cavehill. 1995. An estimate of global primary production in the ocean from satellite radiometer data. *J. Plankton Res.* 17, 1245-1271.

Martínez, C., Baros., V., Cortes., M *et al.* 1998. Programa de Marcaje de Anchoveta. Fase I: Marcacio. Informe Final FIP-IT/96-04. Fondo de Investigación Pesquera (FIP), 88 pp +Anexos.

Martínez, C., G. Bohm, E. Díaz, L. Ossa, H. Reyes, R. Aravena, F. Cerna, V. Boic, C. Machuca, L. Muñoz y M. Troncoso. 2009. Programa: Seguimiento del Estado de Situación de las Principales Pesquerías Nacionales. Proyecto: Investigación de la Situación de la Pesquería Pelágica de la Zona Norte, 2008 – Informe Final. Convenio SUBPESCA – IFOP. Instituto Fomento Pesquero, Valparaíso, Chile.

Medina, M., L. Herrera, J. Castillo, J. Jaque y N. Pizarro. 2015. Alimentación de la anchoveta (*Engraulis ringens*) en el norte de Chile (18°25`-25°40`S) en diciembre de 2010. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 43(1): 46-58.

Melo, Y. C. 1984. Age studies on anchovy *Engraulis capensis* Gilchrist off South West Africa. *S. Afr. J. Mar. Sci.* 2: 19-31.

Mohn, R. 1999. The retrospective problem in sequential population analysis: An investigation using cod fishery and simulated data. *ICES J. Mar. Sci.*, 56: 473-488.



- Niklitschek, E., C. Garcés y P. Toledo. 2017. Determinación de unidades poblacionales de anchoveta (*Engraulis ringens*) en Chile. Informe Pre-Final. Universidad de Los Lagos. 186 pp.
- Ñiquen, M. y M. Bouchon. 2004. Impact of El Niño events on pelagic fisheries in Peruvian waters. *Deep-Sea Res. II*, 51, 563-574.
- NRC-National Research Council. 1998. Improving Fish Stock Assessments. National Academic Press. Washington D.C.: 188 pp.
- Payá I, C. Canales, D. Bucarey, M. Canales, F. Contreras, F. Espíndola, E. Leal, R. Tascheri, A. Yañez y M.J. Zúñiga. 2014. Proyecto 2.16: Revisión de los puntos biológicos de referencia (Rendimiento Máximo Sostenible) en las pesquerías nacionales. Convenio II: "Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales año 2014. Informe Final. Subsecretaría de Economía y EMT - IFOP. 51 pp.+ 4 Anexos.
- Pinheiro, J.C. y D.M. Bates. 2000. Mixed-Effects Models in S and S-PLUS. Springer-Verlag, New York, 528 pp.
- Platt, T., C. Fuentes-Yaco and K.T. Frank. 2003. Spring algal bloom and larval fish survival. *Nature* 423: 389-399.
- Plaza, G., F. Cerna y J. Legua. 2012. Validación de formación de anillos primarios y macro-anillos de crecimiento en otolitos de anchoveta de la zona norte. Informe Final. PROY. SUBPESCA ID N°4728-31LP11. 130 pp.
- Plaza, G., M. Landaeta, A. Hernández, J. Contreras, C. Rodríguez, J. Merino, D. Queirolo, F. Cerna, M. Gómez, C. Machuca y F. Espíndola. 2017. Revisión experta de la estimación y asignación de edad de la anchoveta XV-II Región. Informe Final. Proyecto FIP 2014-31. 125 pp.
- Prosch, R. M. 1986. Early growth in length of the anchovy *Engraulis capensis* Gilchrist off South Africa. *S. Afr. J. Mar. Sci.* 4: 181-191.
- Restrepo V.R., G.G. Thompson, P.M. Mace, W.L. Gabriel, L.L. Low, A.D. MacCall, R.D. Methot, J.E. Powers, B.L. Taylor, P.R. Wade, y J.F. Witzig. 1998. Technical Guidance On the Use of Precautionary Approaches to Implementing National Standard 1 of the Magnuson-Stevens Fishery Conservation and Management Act. NOAA Technical Memorandum NMFS-F/SPO.
- Rojas O, A Mujica, M Labra, G Lederman y H Miles. 1983. Estimación de la abundancia relativa de huevos y larvas de peces. Informe IFOP/CORFO 83-31: 1-99.



Saetersdal, G. y J.E. Valdivia. 1964. Un estudio del crecimiento, tamaño y reclutamiento de la anchoveta (*Engraulis ringens* J.) basado en datos de frecuencia de longitud. Instituto de Investigación de los Recursos Marinos, La Punta, Callao, Perú. Boletín Nº 4, vol 1, 85-136 pp.

Schnute, J. y Fournier, D. 1980. A new approach to length-frequency analysis: Growth Structure. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37(9): 1337-1351.

Serra, R. y E. Gil. 1975. Marcación de anchoveta en la Zona norte de Chile. Metodología y trabajos preliminares. *Rev. Com. Perm. Pacífico Sur*, 3: 3-19.

Serra, J.R. 1983. Changes in the abundance of pelagic resources along the Chilean coast. In: G.D. Sharp and J. Csirke (Eds.) Proceedings of the Expert Consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources. San José, Costa Rica, 18 - 29 April 1983. FAO Fish. Rep. 291 (2): 255 - 284.

Serra, R. y C. Canales. 2011. Investigación del Estatus y Evaluación de Estrategias de Explotación Sustentables 2011, de las Principales Pesquerías Chilenas. Actividad 1: Peces Pelágicos: Anchoveta y sardina española XV, I y II Regiones. 2011.

Serra, R. y C. Canales. 2012. Estatus y Posibilidades de Explotación Biológicamente Sustentables de los Principales Recursos Pesqueros Nacionales, Año 2012. Evaluación de Estrategias de Explotación Sustentables 2011, de las Principales Pesquerías Chilenas. Actividad 1: Peces Pelágicos: Anchoveta y sardina española XV, I y II Regiones. 2011.

Serra, R. y C. Canales. 2013. Investigación del Estatus y Evaluación de Estrategias de Explotación Sustentables 2013, de las Principales Pesquerías Chilenas. Actividad 1: Peces Pelágicos: Anchoveta y sardina española XV, I y II Regiones. 2011. Informe Final.

Silva, C., M.A. Barbieri, E. Ycañez, J.C. Gutiérrez-Estrada y T.M. DelValls. 2012. Using indicators and models for an ecosystem approach to fisheries and aquaculture management: the anchovy fishery and Pacific oyster culture in Chile: case studies. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 40(4): 955-969.

Simpson, J. y R. Buzeta. 1967. El crecimiento y la edad de la anchoveta (*Engraulis ringens*, Jenyns) en Chile basado en estudios de frecuencia de longitud. Boletín Científico Nº 3. IFOP. 56 pp.

Yañez-Rubio, A., A. Llanos-Rivera, L. Castro, G. Claramunt y L. Herrera. 2011. Variations in type, width, volume and carbon content of anchoveta, *Engraulis ringens* food items during the early larval stages. *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.*, 91(6): 1207-1213.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO /DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

Yáñez, E., A. González y M.A. Barbieri. 1995. Estructura térmica superficial del mar asociada a la distribución espacio-temporal de sardina y anchoveta en la zona norte de Chile entre 1987 y 1992. *Invest. Mar.*, 23:123-147.

Valle-Levinson A y J Moraga-Opazo. 2006. Observations of bipolar residual circulation in two equatorward-facing semiarid bays. *Cont. Shelf Res.*, 26: 179-193.

van der Lingen, C.D. 1994. Effect of particle size and concentration on the feeding behavior of adult pilchard, *Sardinops sagax*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 109, 1-13.

Waldron, M., M.J. Armstrong y R.M. Prosch. 1989. Aspects of the variability in growth of juvenile anchovy *Engraulis capensis* in the southern Benguela System. *S. Afr. J. Mar. Sci.* 8:9-19.

Waldron, M., M.J. Armstrong y B.A. Roel. 1992. Birthdate distribution of juvenile anchovy *Engraulis capensis* caught in the southern Benguela System. *S. Afr. J. Mar. Sci.* 12: 865-871.

Wang, S.P., M.N. Maunder, K.R. Piner, A. Aires-da-Silva y H.H. Lee. 2014. Evaluation of virgin recruitment profiling as a diagnostic for selectivity curve structure in integrated stock assessment models. *Fish. Res.*, 158: 158-164.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

Almte. Manuel Blanco Encalada 839,
Fono 56-32-2151500
Valparaíso, Chile
www.ifop.cl

A wide-angle photograph of a calm ocean under a blue sky filled with scattered white clouds. A vibrant rainbow arches across the upper right portion of the image, its colors transitioning from red at the top to purple at the bottom. The horizon line is visible in the distance.

www.ifop.cl