



Estado del stock de verdillo (*Paralabrax nebulifer*) en la región central de la Península de Baja California.

Elaborado para Pronatura Noroeste por:

A. Medellín – Ortiz, C. Álvarez – Flores.

Octubre de 2023.

Actualizado: 24 septiembre de 2024.

Tabla de contenido

Introducción.....	2
Métodos.....	3
Fuentes de información	3
Avisos de arribo.....	3
Bitácoras de captura de la cooperativa Punta Abreojos.....	4
Identidad del stock o unidad de manejo	4
Reconstrucción de la captura total de la región NoBCS con base en información histórica de la cooperativa Punta Abreojos	6
Estandarización de la captura por unidad de esfuerzo	6
Modelos utilizados	7
SPiCt y SRAplus	7
Stock Synthesis (SS, Methot y Wetzel, 2013)	9
Resultados.....	11
Depuración de datos avisos de arribos.....	11
Representación geográfica de las capturas de avisos de arribo	12
Depuración de datos bitácoras de captura de la cooperativa Punta Abreojos	13
Estandarización de CPUE.....	14
Estructura de tallas de las capturas, bitácoras PNO	15
Resultados de los modelos SPiCt y SRAplus	16
Resultados del modelo base de Stock Synthesis	16
Sobre el uso de métodos de utilizan únicamente datos de captura para el manejo de pesquerías	21
Regla de control sugerida para el manejo de la pesquería de verdillo en la región de operación de FEDECOOP (NoBCS)	22
Puntos de referencia	22
Reglas de decisión	22
Consideraciones finales.....	24

Introducción

El recurso verdillo, *Paralabrax nebulifer*, es una especie de la categoría de peces de escama, conocida en México simplemente como “escama”, que en la Carta Nacional pesquera se agrupa junto con las baquetas y cabrillas. En la costa occidental de la Península de Baja California es posiblemente el recurso de escama con mayor volumen de captura y valor económico. El Plan de Manejo de la pesquería de verdillo indica que en el 2017 el volumen de captura en peso desembarcado fue de 3,919 t con un valor cercano a los 47 millones de pesos (DOF 2021). El mismo Plan de Manejo indica que en el momento de su publicación se habrían otorgado 569 permisos de pesca de escama marina, de los cuales 453 corresponden a Baja California Sur y posiblemente solo el 76% seguía vigente. Es importante señalar que del total de permisos otorgados, únicamente 142 tenía autorización para usar trampas y que posiblemente todas ellas eran para la pesca de verdillo.

Con el apoyo del programa Fish for Good de MSC, en enero del 2018 la porción de la pesquería de verdillo que es realizada por FEDECOOP en B.C.S., ingresó un Proyecto de Mejora Pesquera (o FIP) a la plataforma de Fishery Progress. Posteriormente, en enero del 2023, el FIP ingresó al programa de MSC para pesquerías que están en transición a certificación y se consolidó como un FIP “exhaustivo”, por lo cual, su plan de trabajo se enfoca en resolver los aspectos prioritarios que le permitan estar en estado certificable en el corto plazo (máximo de dos años).

En este contexto, una de las principales prioridades del FIP es que la pesquería cuente con una estrategia de explotación, la cual, de acuerdo con las definiciones del estándar del MSC, consiste de un programa de información y monitoreo, evaluaciones del estado del recurso y una regla de control. El estándar requiere además que los elementos de la estrategia interactúen de manera coordinada para alcanzar los objetivos de conservación y manejo reflejados en el indicador 1.1.1 que evalúa el estado del recurso en relación a puntos de referencia, en particular, que el stock se encuentre por arriba del nivel en que pueda presentarse falla en el reclutamiento y que se encuentre oscilando o por arriba del nivel de abundancia que produce el rendimiento máximo sostenible.

La cooperativa de Punta Abreojos tiene un programa de monitoreo que desde hace años ha sido desarrollado por sus propios técnicos pesqueros y colectan todo tipo de información relevante que puede ser de utilidad para el manejo de la pesquería. En tiempos más recientes y en el marco del FIP se realizan ajustes a ese programa para obtener información adicional (p.ej. esfuerzo de pesca medido en número de trampas revisadas), o mejorando la calidad de la información que ya se obtiene (p. ej. registros individuales de captura por marea o viaje de pesca).

En cuanto a la evaluación del estado del recurso verdillo, Pronatura Noroeste realizó una evaluación utilizando en conjunto una variedad de metodologías con el propósito de identificar un resultado que tuvieran consistencia suficiente para determinar un grado subjetivo de confiabilidad en el estado del recurso (Álvarez-Flores 2015). Este reporte concluyó que en el 2012 la biomasa de verdillo se encontraba aún por arriba del nivel que produce el rendimiento máximo sostenible y que la mortalidad por pesca aún no rebasaba ese mismo nivel. Aunque las estimaciones del RMS estuvieron entre 5,000 y 5,300 t, se recomendó trabajar con un nivel de referencia de 4,500 t. Se hizo notar, sin embargo, que se debería actuar con cautela ya que se observó una tendencia de la biomasa a declinar en los últimos años y se llamó a considerar acciones de manejo precautorias dado el nivel de incertidumbre asociado a las estimaciones.



Adicionalmente, existen dos evaluaciones oficiales publicadas en las actualizaciones de la Carta Nacional Pesquera de 2018 y 2023, en ambas actualizaciones se menciona que el recurso se encuentra aprovechado al máximo sostenible. Sin embargo, en la actualización 2023 de la CNP, el estatus de verdillo que se presenta en un diagrama de fase (Kobe) indica que la biomasa relativa (B/B_{RMS}) del verdillo se ubica por debajo de la biomasa que genera el rendimiento máximo sostenible ($B/B_{RMS} \cong 1$) por al menos 9 años consecutivos, mientras que la mortalidad por pesca relativa (F/F_{RMS}) ha sido superior al nivel que produce el RMS (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), situación que indicaría que el stock se encuentra sobreexplotado y está siendo objeto de sobrepesca. Sin embargo, el método de evaluación utilizado (CMSY) puede resultar en estimaciones sesgadas de los stocks (Ovando et al., 2022¹), por lo que los resultados de las evaluaciones en la CNP también se toman con cierto grado de reserva, además de la contradicción del resultado presentado en el diagrama de fase y la conclusión que presenta el texto de la Carta.

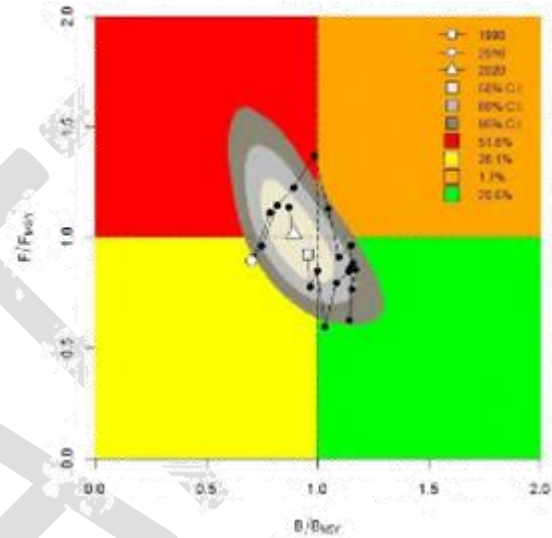


Figura 1. Diagrama de Kobe para el stock de verdillo presentado en la actualización de la Carta Nacional Pesquera 2023. El triángulo indica el último año de la evaluación (2020).

Métodos

Fuentes de información

Avisos de arribo

Se analizaron las bases de datos oficiales provenientes del sistema SIPESCA, que correspondían a avisos de arribo diarios para la captura de verdillo en la costa del Pacífico de la Península de Baja California. A partir del nombre del permisionario registrado en el aviso se realizó una armonización con bases de datos de permisionarios para así poder asignarles un sitio de arribo de acuerdo al sitio de arribo autorizado en el permiso. Lo anterior con la finalidad de contar con criterios para asignar la captura a un espacio determinado. Estas bases de datos corresponden al periodo comprendido entre el 01 de enero de 2000 y el 31 de diciembre de 2023.

Se analizaron 288,855 registros de captura de verdillo comprendidos entre el 01 de enero de 2000 y el 31 de diciembre de 2023, revisando que los nombres de los permisionarios (identificados como unidad.economica en la base de datos) estuvieran estandarizado para evitar duplicidad en la información. Una vez homogenizada la información se armonizó la base de datos de avisos de arribo con bases de datos de permisionarios de la CONAPESCA, algunas disponibles en el portal de transparencia de la dependencia y otras adquiridas a través de solicitudes de

¹ Ovando, D., et al. 2022. A history and evaluation of catch-only stock assessment models. Fish and Fisheries. DOI: 10.1111/faf.12637 https://chrismfree.com/wp-content/uploads/2022/11/Ovando_etal_2022_FF.pdf



información. Esta armonización se utilizó para asignar el sitio de arribo autorizado para cada registro de captura, ya que la base de datos de avisos de arribo no siempre cuenta con esta información o puede que se le asigne un sitio genérico (ej. “Aguas del Pacífico Mexicano”, “Sitio de arribo genérico”, por mencionar algunos). Además, se identificaron y modificaron errores en las columnas que registran la captura y el número de embarcaciones, ya que se observó que en ocasiones el volumen de captura se registra como número de embarcaciones, la fecha puede ser registrada como volumen de captura, etc. Este proceso nos permitió obtener una proporción y la captura total por región biogeográfica que sería considerada como las remociones totales a las que ha estado sujeto el stock de verdillo en la región denominada NoBCS donde opera principalmente FEDECOOP.

Además, para corroborar la consistencia de la información de capturas y esfuerzo, se comparó la información contenida en avisos de arribo correspondientes a la Coop. Punta Abrejos y sus bitácoras correspondientes.

Bitácoras de captura de la cooperativa Punta Abrejos

Se utilizaron datos de captura y esfuerzo provenientes de bitácoras de producción implementadas por la Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera Punta Abrejos, donde se registra de manera detallada los kilogramos de captura de verdillo, así como detalles del equipo de pesca que permiten tener una imagen clara del esfuerzo aplicado. Estas bitácoras son curadas por el equipo técnico de la cooperativa, quienes se aseguran de llevar un registro preciso y confiable de las capturas de verdillo. La base de datos utilizada corresponde a registros diarios de captura desde enero de 2002 hasta diciembre de 2022.

Identidad del stock o unidad de manejo.

Representación geográfica de las capturas.

Se georreferenció la captura correspondiente a cada permisionario parte de FEDECOOP por polígono de pesca autorizado (Figura 2), con base en lo descrito por Medellín – Ortiz et al (2022²) aplicado también a las capturas de langosta roja en Arafeh-Dalmau et al (2023³). Esta captura georreferenciada se contrastó con la información de distribución geográfica de la especie disponible en FishBase⁴.

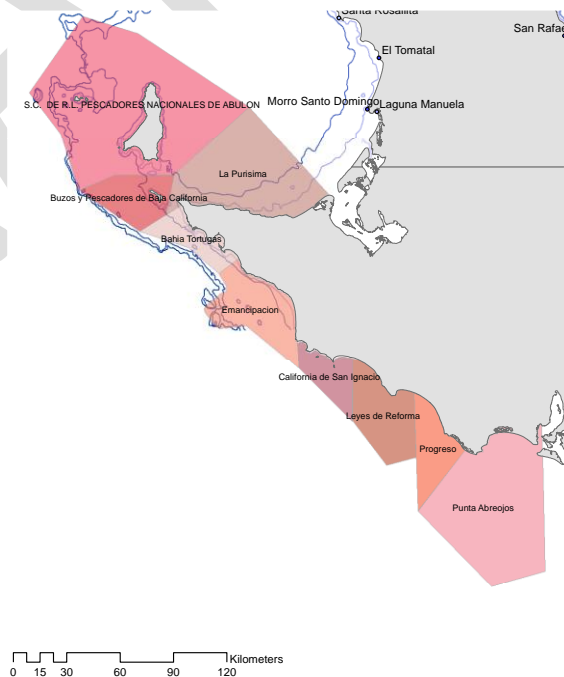


Figura 2. Localización geográfica de las zonas de pesca autorizadas para la captura de verdillo por las organizaciones pertenecientes a la FEDECOOP. Elaboración propia con información de los informes de certificación de langosta roja del MSC.

² Medellín–Ortiz A, Montañón–Moctezuma G, Álvarez–Flores C, Santamaría-del-Ángel E, García–Nava H, Beas–Luna R and Cavanaugh K. 2022. Understanding the impact of environmental variability and fisheries on the red sea urchin population in Baja California. *Front. Mar. Sci.* 9:987242. doi: 10.3389/fmars.2022.987242 <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2022.987242/full>

³ Arafeh – Dalmau et al. 2023. Integrating climate adaptation and transboundary management: Guidelines for designing climate-smart marine protected areas. *One Earth*, Vol 6 (11), 2023, Pages 1523-1541 | <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2023.10.002>

⁴ <https://fishbase.mnhn.fr/summary/Paralabrax-nebulifer.html#>



Representación geográfica de las capturas utilizando regiones biogeográficas

Con base en información ecológica disponible para verdillo, así como con el resultado de la armonización de bases de datos de arribos y permisos, se asignó una región biogeográfica a cada sitio de captura dependiendo de su ubicación geográfica. De acuerdo con Briggs (1974⁵), la Península de Baja California se encuentra dentro de dos regiones biogeográficas: la provincia de San Diego, desde Punta Concepción (USA) hasta Bahía Magdalena (BCS) y la provincia de Cortez, desde Bahía Magdalena incluyendo todo el Golfo de California. Dentro de estas dos provincias, los ecosistemas presentes pueden clasificarse de acuerdo a sus características de profundidad, tipo de fondo, gradiente latitudinal y especies presentes. Allen (2006⁶) propone una subdivisión de ambas provincias en su costa del Pacífico en cinco regiones: Sur de California (SCB), Norte de Baja California (NoBC), Sur de Baja California (SoBC), Norte de Baja California Sur (NoBCS) y Sur de Baja California Sur – La Ribiera (SoBCS-Rib). Dentro de la región NoBCS, se identificaron 2 subregiones: NoBCS1 que comprende las zonas de captura de la FEDECOOP, incluyendo a los permisionarios que operan al sur de Punta Abreojos y al norte del Dátil; la zona NoBCS2 considera a todos los permisionarios ubicados entre el Dátil y Las Animas, en el límite de la región SoBCS-Rib. Esta división responde a la capacidad de implementación de medidas de manejo y al nivel de organización de los permisionarios, aunque sus operaciones de captura puedan ser similares (Figura 3).

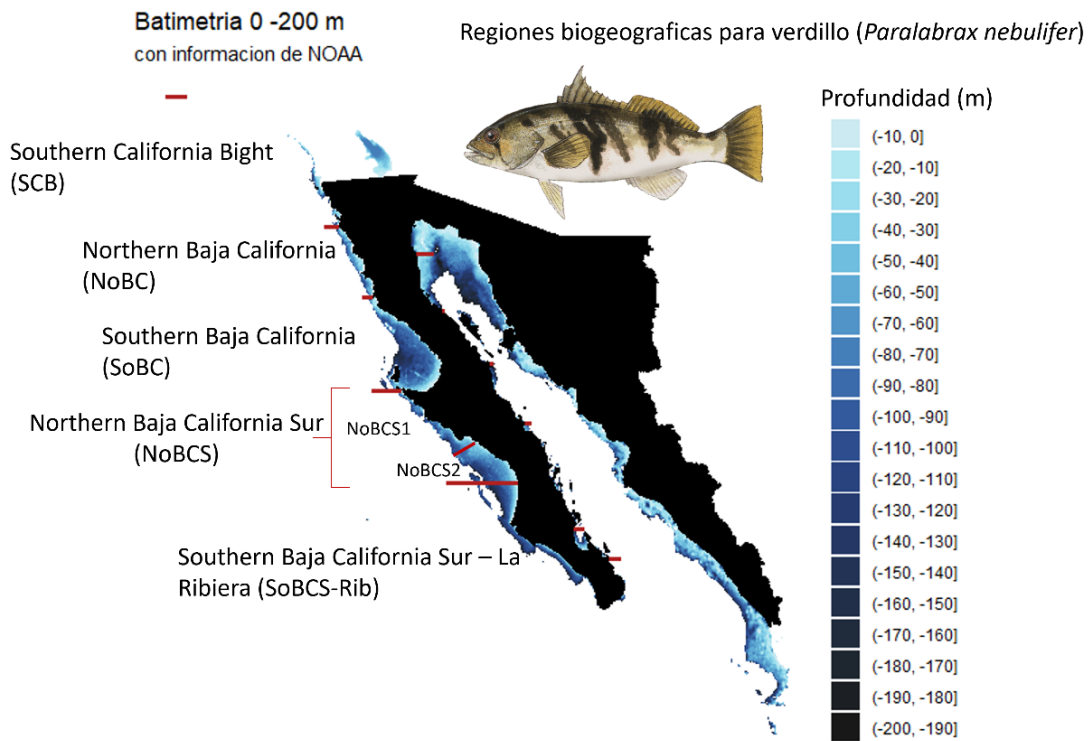


Figura 3. Regiones biogeográficas para verdillo de acuerdo a su distribución batimétrica y gradiente latitudinal. A partir de información de Allen (2006).

⁵ Briggs, J.C. 1974. Marine Zoogeography. McGraw-Hill, New York.

⁶ Allen, L.G, Pondella II, D.J., Horn, M. 2006. The Ecology of Marine Fishes California and Adjacent waters. University of California Press. ISBN. 0-520-24653-5



Reconstrucción de la captura total de la región NoBCS con base en información histórica de la cooperativa Punta Abreojos

Se utilizaron datos de facturas y arribos de la Cooperativa Punta Abreojos registrados entre 1988 y 1999. Se calculó la proporción entre arribos y facturas para reconstruir las capturas de los años previos al 2000; a partir de esta proporción y con base en el porcentaje de aportación de la captura de las sub regiones NoBCS1 y NoBCS2, se reconstruyó la captura histórica de verdillo, con la finalidad de contar con una serie de tiempo más larga, manteniendo la representatividad de los datos de acuerdo a las características que se consideraron del stock, la escala de la población, así como poder ajustar los modelos a una población más cercana a la capacidad de carga (K).

Estandarización de la captura por unidad de esfuerzo

Con el propósito de contar con indicadores de abundancia relativa que sean una mejor representación de la abundancia absoluta, se ajustaron varios modelos lineales a los datos de captura y esfuerzo disponibles. Para esto, y con base en la información generada por Erisman et al (2017⁷), se incorporaron las variables que refieren a capturas dentro y fuera del periodo reproductivo (junio – septiembre), así como la profundidad de la captura y distancia de la costa. En el caso de la distancia a la costa se utilizaron categorías para definir la variable (<10 km y >15 km), al igual que para la profundidad de la captura para las que también se utilizaron variables categóricas (<10m y >40m), así como el valor promedio de la profundidad registrada para cada mes (de acuerdo con la Fig.9 b en Erisman et al, 2017). Además, se agregó información histórica de temperatura superficial⁸ para la zona de captura de Punta Abreojos para el mismo periodo de capturas en la base de datos. Además de estas variables, se consideró la temporada de pesca de langosta como otro factor que podría afectar a la CPUE de la pesquería de verdillo; dividiendo las capturas de verdillo si ocurrieron en los meses de inicio (early season), a finales (late season) o durante la veda (off season) de la temporada de langosta.

⁷ Erisman et al. 2017. Vulnerability of spawning aggregations of a coastal marine fish to a small-scale fishery. Mar. Biol. 164:100 DOI: 10.1007/s00227-017-3135-8

⁸ Climate Predictability Tool, Ver. 17.5.2. International Research Institute for Climate and Society. The Earth Institute at Columbia University. <http://iri.columbia.edu/CPT/>



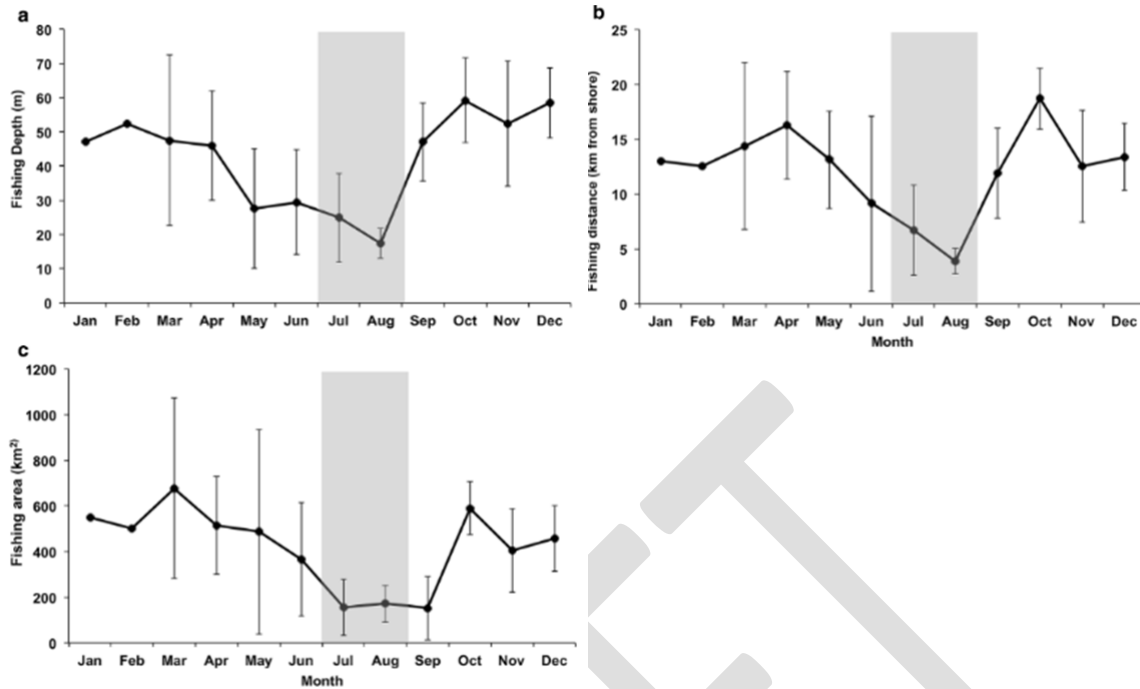


Figura 4. Variables utilizadas para la estandarización de CPUE, tomada de Erisman et al (2017).

Con todas estas variables se construyó un modelo generalizado lineal (GLM) de la forma:

$$\log CPUE = year_{cat} + spawning_{cat} + fish.depth_{cat} + lobseason_{cat} + fish.depth_{cat}:spawning_{cat} + fish.depth_{cat}:lobseason_{cat}$$

dónde el subíndice *cat* denota variables categóricas y el símbolo (:) denota interacción entre variables.

Modelos utilizados

SPiCt y SRPlus

Los datos de captura y abundancia relativa se ajustaron a un modelo de tipo logístico en dos implementaciones en R denominadas **SPiCt**⁹ y **SRPlus**¹⁰. Ambos son implementaciones de modelos de producción excedente primero en tiempo continuo y el segundo en intervalos discretos, pero con error de proceso.

El modelo **SPiCt** (Stochastic Surplus Production in Continuous Time) representa la producción excedente mediante una ecuación diferencial estocástica, que reconoce la presencia de procesos de variabilidad aleatorios no modelados:

$$dB_t = \left(\gamma m \frac{B_t}{K} - \gamma m \left[\frac{B_t}{K} \right]^n - F_t B_t \right) dt + \sigma_B B_t dW_t$$

dónde $\gamma = n^{n/(n-1)} / (n-1)$, $m = \frac{rK}{n^{n/(n-1)}}$ y $\sigma_B B_t dW_t$ representa los procesos de variabilidad aleatorios no modelados.

⁹ Pedersen, M. W., and Berg, C. W. 2017. A stochastic surplus production model in continuous time. *Fish and Fisheries*, 18: 226–243.

¹⁰ Ovando et al. 2021. Improving estimates of the state of global fisheries depends on better data. *Fish and Fisheries*, 00:01-15.



SPiCt utiliza puntos de referencia estocásticos derivados por Bordet y Rivest (2014):

$$B_{MSY} = B_{MSY}^d \left(1 - \frac{1 + F_{MSY}^d (n - 2)/2}{F_{MSY}^d (2 - F_{MSY}^d)^2} \sigma_B^2 \right)$$

$$F_{MSY} = F_{MSY}^d - \frac{(n - 1)(1 - F_{MSY}^d)}{(2 - F_{MSY}^d)^2} \sigma_B^2$$

$$MSY = MSY^d \left(1 - \frac{n/2}{1 - (1 - F_{MSY}^d)^2} \sigma_B^2 \right)$$

dónde el súper índice ^d indica los puntos de referencia determinísticos; los puntos de referencia estocásticos se utilizan cuando $n > 1$ y los puntos de referencia determinísticos cuando $0 \leq n \leq 1$.

El modelo **SRApplus** (Stochastic Stock Reduction Analysis) tiene como base el modelo Pella-Tomilson en la forma de Winker et al (2018):

$$f(x) = \begin{cases} B_{t+1} = \left(B_t + B_t \frac{r}{m-1} \left(1 - \left(\frac{B_t}{K} \right)^{m-1} \right) - C_t \right) p_t, & \text{si } B_t > 0.25 \times K \\ B_{t+1} = \left(\left(B_t + B_t \frac{B_t}{0.25 \times K} \left(B_t \frac{r}{m-1} \left(1 - \left(\frac{B_t}{K} \right)^{m-1} \right) - C_t \right) \right) \right) p_t, & \text{en otro caso} \end{cases}$$

dónde p_t es el error de proceso y m es el parámetro de escalamiento que permite que cambie la razón B_{MSY}/K ; cuando $m=2$, $B_{MSY}/K=0.5$. Este modelo permite error de proceso estocástico de la forma sugerida por Walters et al (2016) con una distribución log normal. Todas las estimaciones que se realizan con SRApplus son de naturaleza bayesiana. Así mismo, SRApplus incluye un parámetro que permite cambios en la capturabilidad (q) dados cambios en las características del arte de pesca ($\tau = \text{creep effect}$).

El ajuste de los modelos a los datos se hace mediante la minimización de una función objetivo construida con el logaritmo negativo de la verosimilitud total de la predicción del modelo respecto a los valores observados del CPUE. Los modelos utilizan priors penalizando la función de verosimilitud para dar peso específico al supuesto de un parámetro definido de acuerdo con la forma de la distribución previa propuesta.

Parámetros y supuestos

Se suponen distribuciones normales para todos los parámetros que son usadas como pseudo-priors con medias predefinidas con base a información existente previa y valores de CV. Tanto las medias como los CVs se manejaron de forma variable en análisis de sensibilidad ante escenarios alternativos de los valores de los parámetros (Tabla I). En el caso de SRApplus, incorpora un parámetro que permite variar la capturabilidad (q , ver descripción en la descripción del modelo), en este caso se trabajó bajo el supuesto de que q no cambió en el tiempo y $\tau = 0$.

Escenarios de sensibilidad

Se realizó un análisis de sensibilidad en el ajuste de los modelos de dinámica poblacional, variando los supuestos iniciales para los diferentes parámetros del modelo. Se utilizaron las mismas variantes de escenarios tanto en el modelo de SPiCt como en el de SRApplus (Tabla I).



Tabla I. Análisis de sensibilidad de diferentes escenarios para los parámetros de ajuste a los modelos.

		SPiCt			SRApIus		
		Escenario base	Escenario 2	Escenario 3	Escenario base	Escenario 2	Escenario 3
Capturas	sin error	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
Capturas	con error	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
r (prior, μ)		0.6	0.4	0.8	0.6	0.4	0.8
r (prior cv)		0.1	0.2	0.9	0.1	0.2	0.9
K (prior, μ)		Max catch *10	Max catch *10	Max catch *10	Max catch *10	Max catch *10	Max catch *10
K (prior cv)		0.1	0.2	0.6	0.31	0.2	0.6
Depletion (prior, μ)		0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Depletion (prior, cv)		0.1	0.2	0.6	0.1	0.2	0.6
Shape (prior, μ)		1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Shape (prior, cv)		0.1	0.2	0.8	0.1	0.2	0.8

Stock Synthesis (SS, Methot y Wetzel, 2013¹¹)

Es una plataforma de análisis pesquero actualmente utilizada ampliamente, se basa en las capacidades de diferenciación automática de AD Model Builder aplicables en regresión no lineal de modelos de dinámica pesquera y poblacional a datos de muy diversa naturaleza. La inferencia mediante el uso de SS permite obtener estimadores no sólo de los parámetros de control de los modelos implementados, sino también de parámetros derivados entre los que se encuentran los de manejo pesquero. En principio, SS utiliza modelos poblacionales con estructura de edades altamente escalable, y que puede ser utilizado en situaciones limitadas de datos, o incorporar múltiples fuentes de información, y procesos biológicos y ambientales. SS implementa dinámicas poblacionales compensatorias a través de una función relacionada con el potencial reproductivo y el reclutamiento promedio; esta función mejora la capacidad de SS de operar en situaciones limitadas de datos y le permite estimar cantidades relacionadas con el manejo pesquero, tales como tasas de aprovechamiento y estados futuros del stock. Además, su arquitectura le permite estimar cientos de parámetros de forma eficiente utilizando máxima verosimilitud o inferencia Bayesiana. SS cuenta con diferentes características que determinan su funcionamiento: estructura del stock, reproductores-reclutamiento, historia de vida y biología, selectividad, mortalidad por pesca, submodelo de observación, objetivos de manejo pesquero y proyecciones (forecasting), estimación de varianza y procesamiento de resultados (salidas). Cada una de estas características está descrita en Methot y Wetzel (2013), así como las necesidades de información y detalles de la implementación. Una de las métricas importantes en pesquerías es la mortalidad por pesca, por lo que SS ofrece la capacidad de calcularla como intensidad de pesca acumulada sobre todo el stock (1-SPR) o sobre la fracción de organismos removidos de ciertas edades clave (F). Para verdillo, se utilizó información de la historia de vida de la especie, la reconstrucción de capturas, dos índices de abundancia (CPUE nominal y estandarizado), así como la estructura de tallas de las capturas provenientes de la bitácora implementada por PNO (Figura 11).

¹¹ Methot, R.D., Wetzel, C.R. 2013. Stock synthesis: A biological and statistical framework for fish stock assessment and fishery management. Fisheries Research, 142: 86 – 99. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fishres.2012.10.012>



Tabla 2. Valores iniciales de parámetros y series de tiempo ingresados a SS.

SECCIÓN EN SS	TIPO DE INFORMACIÓN	DE	PARÁMETROS VALORES	Y	REGIÓN DE INFORMACIÓN	LA	FUENTE
IDENTIDAD DEL STOCK	Zonas aprovechamiento	de	Georeferenciación de la captura por regiones biogeográficas	por	NoBCS		Este trabajo
HISTORIA DE VIDA Y BIOLOGÍA	Edad y crecimiento (modelo Bertalanfy)	Von	$L_{\infty} = 60.6$ $k_{par} = 0.09$ $t_0 = -2.32$		Southern Bight	California	Walker et al., 2020
	Longevidad		$A_{max} = 20$				Estimación SS
	Relación talla – peso		$a = 0.0000018$ $b = 2.8655$		NoBCS		Flores-Irigollen et al., 2016
	Reclutamiento (Beverton-Holt)		$h = 0.7$		Meta serranidos	análisis	
	Reproducción		$L_{50} = 31.5$ $L_{95} = 35.5$		NoBCS		
	Mortalidad natural		$M_{Pauly} = 0.289$		Natural Mortality Tool		NOAA
SELECTIVIDAD Y MORTALIDAD POR PESCA	Selectividad de las trampas (domo-doble normal)		$S_{min} = 28$ $S_{50} = 32$ $S_{95} = 34$ $S_{max} = 60$		NoBCS		Bitácoras de captura PNO
	Remociones totales (captura)				NoBCS: 1988 - 2023		Reconstrucción, avisos de arribo
	Agotamiento inicial (depletion)		$B_0 = K$		NoBCS		Reconstrucción capturas
ABUNDANCIA	Índice tipo CPUE		Nominal estandarizado	y	NoBCS1: 2002-2022		Bitácoras de la SCPP Punta Abreojos

Se implementó el modelo de SS en pasos incrementales, agregando capas de información y observando el comportamiento de los resultados. Se fijó un modelo de crecimiento lineal para las edades previas a la edad 4, así como el peso de Francis para incrementar la importancia del índice de abundancia sobre la distribución de tallas. Una vez que incorporó toda la información, se consideró ese modelo como base sobre el cual se estarán probando diferentes escenarios para los diferentes parámetros que durante las fases iniciales de implementación tuvieron mayor impacto en los resultados al modificar sus valores iniciales. De esta manera, dentro de los siguientes pasos se implementó un análisis de sensibilidad enfocado a esos parámetros (Tabla 3).

Tabla 3. Propuesta de análisis de sensibilidad de diferentes escenarios para los parámetros de ajuste en SS.

Parámetro	Valor inicial (Base)	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Justificación
t_0	-2.32	-1.32	-0.32	-0.03	El valor inicial del parámetro genera una L_0 superior a la talla reportada para la especie.
K_{par}	0.09	0.095	0.099	0.1	Los valores de los parámetros de crecimiento están estimados para la región más fría de la distribución de la especie.



S_{50} (domo)	34	28	36	38	Para discutir los efectos en la población que ocurren con el cambio en la selectividad
Flotas	1	2 (selectividad de domo, parámetros diferentes - trampas y anzuelos)	3 (2 selectividad de domo – trampas y anzuelos, 1 selectividad logística - chinchorros y redes)		Evaluar posibles cambios en el estado del recurso de acuerdo a las artes de pesca empleadas en la UoA
Error en las capturas (cv)	1988-1999= 0.1 2000-2023= 0.05	1988-1999= 0.2 2000-2023= 0.1	1988-1999= 0.2 2000-2023= 0.1	1988-1999= 0.2 2000-2023= 0.1	Existe mayor incertidumbre en el volumen de captura reconstruido (1988-1999)
Error en la CPUE (cv)	Constante 0.169	Constante 0.169	Variación anual resultado de estandarización	Variación anual resultado de estandarización	El valor constante es la desviación estándar de la serie de CPUE; los valores anuales son resultado del proceso de estandarización de CPUE

Resultados

Depuración de datos avisos de arribos

Del análisis exploratorio de las bases de datos de avisos de arribo, se observa que la región NoBCS aporta entre 70 y 80% de la captura anual de verdillo en el Pacífico de la Península de Baja California (Figura 5).



Figura 5. Captura total de verdillo por región biogeográfica (panel izquierdo) y proporción de la captura para las regiones NoBCS y NoBCS-2; "out" representa la proporción de captura de verdillo que se da fuera de estas dos regiones.

De la comparación entre fuentes de información pudimos observar que los datos de captura son consistentes entre las dos fuentes de información, mientras que el registro de embarcaciones fue menor en avisos de arribo, generando una diferencia de tres órdenes de magnitud al contabilizar el número de embarcaciones nominal (Figura 6). Al comparar los valores relativos a la media de ambas mediciones del total de embarcaciones, se observa que presentan tendencias similares a pesar de la diferencia en magnitud (Figura 6).



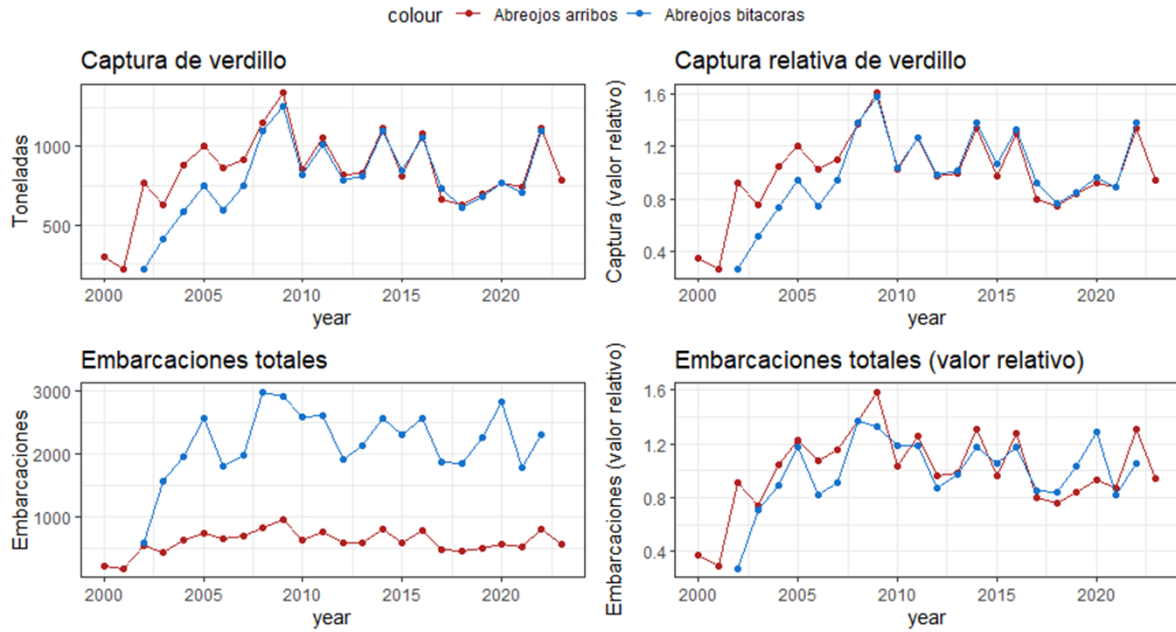


Figura 6. Comparación entre registros de captura y embarcaciones empleadas en la captura de verdillo en avisos de arribo y bitácoras de la Coop. Punta Abrejos.

Representación geográfica de las capturas de avisos de arribo

Además de la división propuesta por Allen (2006), dadas las características de las organizaciones pesqueras que operan en estas regiones, se consideró una división adicional en la región del Norte de Baja California Sur (NoBCS) donde se distribuyen permisionarios y organizaciones cuyas operaciones de captura difieren notablemente de las que se realizan en la zona donde opera la FEDECOOP (Figura 7).

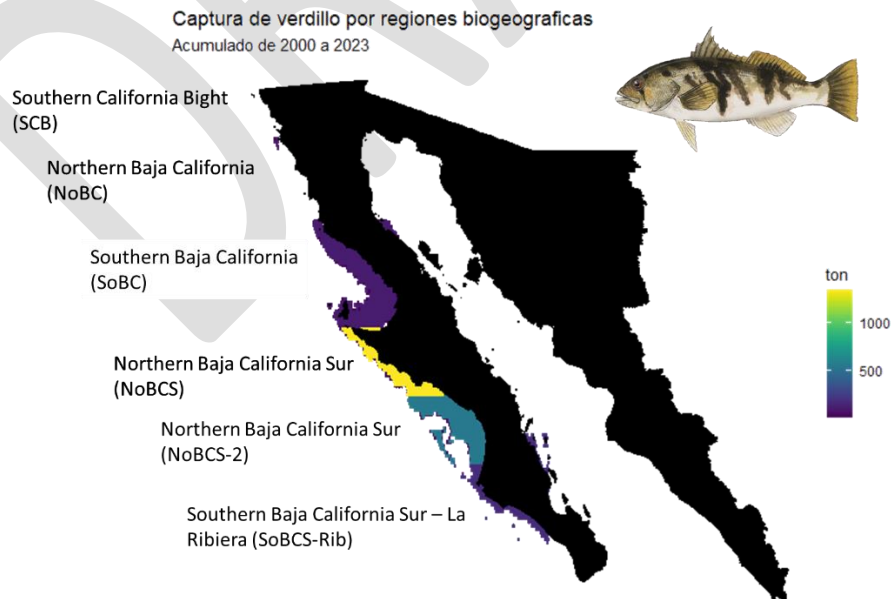


Figura 7. Representación geográfica de las capturas de verdillo por región biogeográfica y operaciones de captura.



Depuración de datos bitácoras de captura de la cooperativa Punta Abrejos

Durante el análisis de las capturas registradas por la Cooperativa observamos lo que aparentaba ser un límite a las capturas durante la primera mitad de cada año, donde las capturas no sobrepasaban 800 kilos. Sin embargo, después de contrastar estas observaciones con la forma de operar de la Cooperativa, este aparente límite puede estar relacionado con la abundancia del recurso en la zona durante esos meses, así como por las mismas operaciones de los equipos (Figura 8).

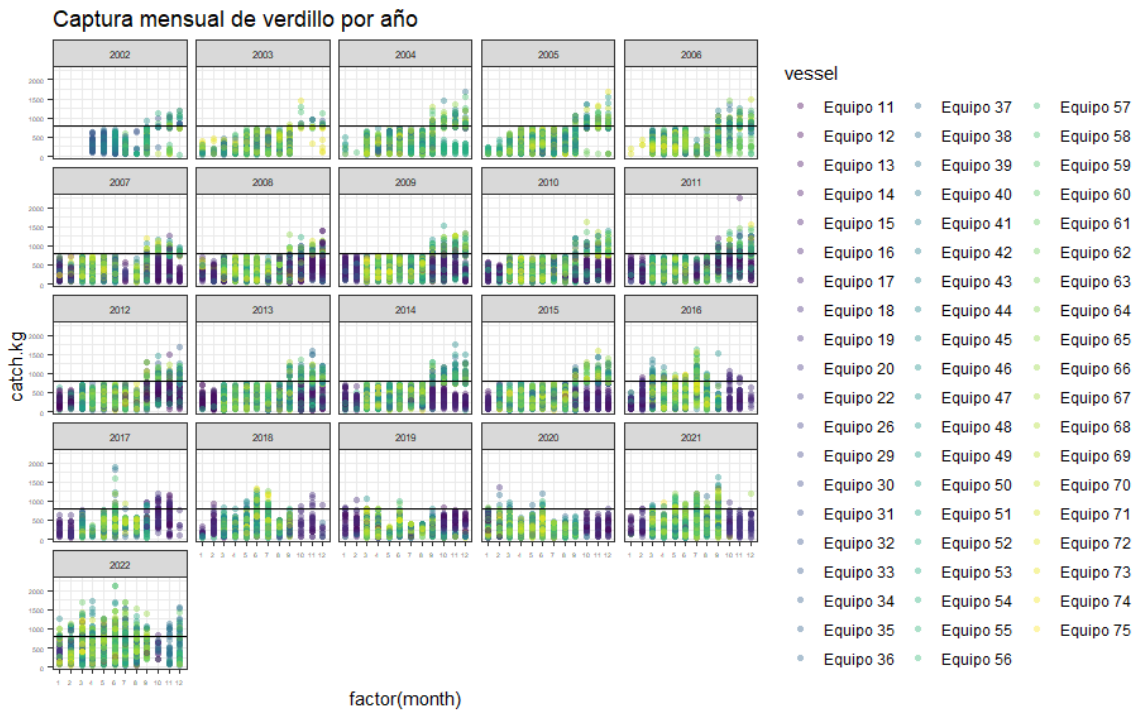


Figura 8. Captura mensual de verdillo por equipo de pesca por año. La línea horizontal indica el “límite” de 800 kg que se observa hasta antes de 2016.

El índice de abundancia utilizado para los análisis posteriores se construye a partir de la captura por embarcación proveniente de las bitácoras de la Coop. Punta Abrejos, utilizando como remociones totales las capturas de toda la región denominada NoBCS (Figura 9).



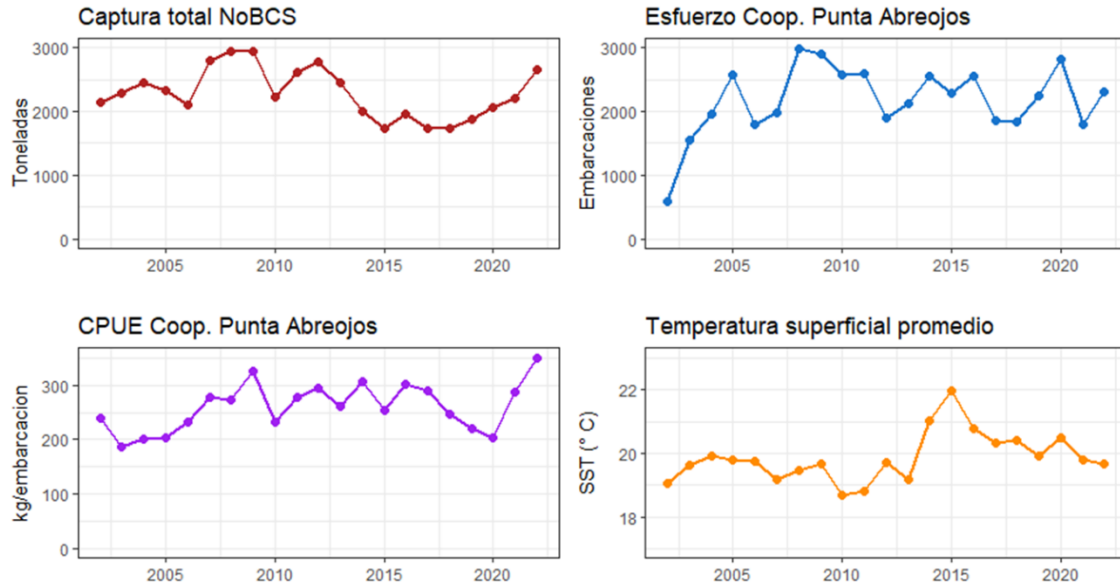


Figura 9. Captura anual, esfuerzo nominal, CPUE de verdillo y temperatura superficial promedio anual de 2002 a 2022, a partir de la información de bitácoras de la SCPP Punta Abreojos.

Estandarización de CPUE

Las variables utilizadas en la estandarización fueron aquellas cuya aportación a la variabilidad explicada fuera mayor al 5%. De acuerdo con el análisis, el año (year) y si la captura de verdillo se da dentro de la temporada de langosta (lobseason) fueron las variables con mayor porcentaje desviación explicada (60 y 32%, respectivamente); otras variables importantes para la estandarización de la CPUE fueron la temporada reproductiva y la profundidad de la captura (Tabla IV). Al comparar la CPUE nominal y estandarizada se observa que ambas curvas son coincidentes (Figura 10).

Tabla IV. Desviación de las variables utilizadas para la estandarización de la CPUE de verdillo.

VARIABLE	DF	DESVIACION	PR(>CHI)	% DESVIACION
YEAR	20	1417.45	0.000000	60.62
SPAWNING	1	172.85	2.57e-97	7.39
FISH.DEPTH	1	10.44	2.64e-07	0.44
LOBSEASON	2	737.12	0.000000	31.52



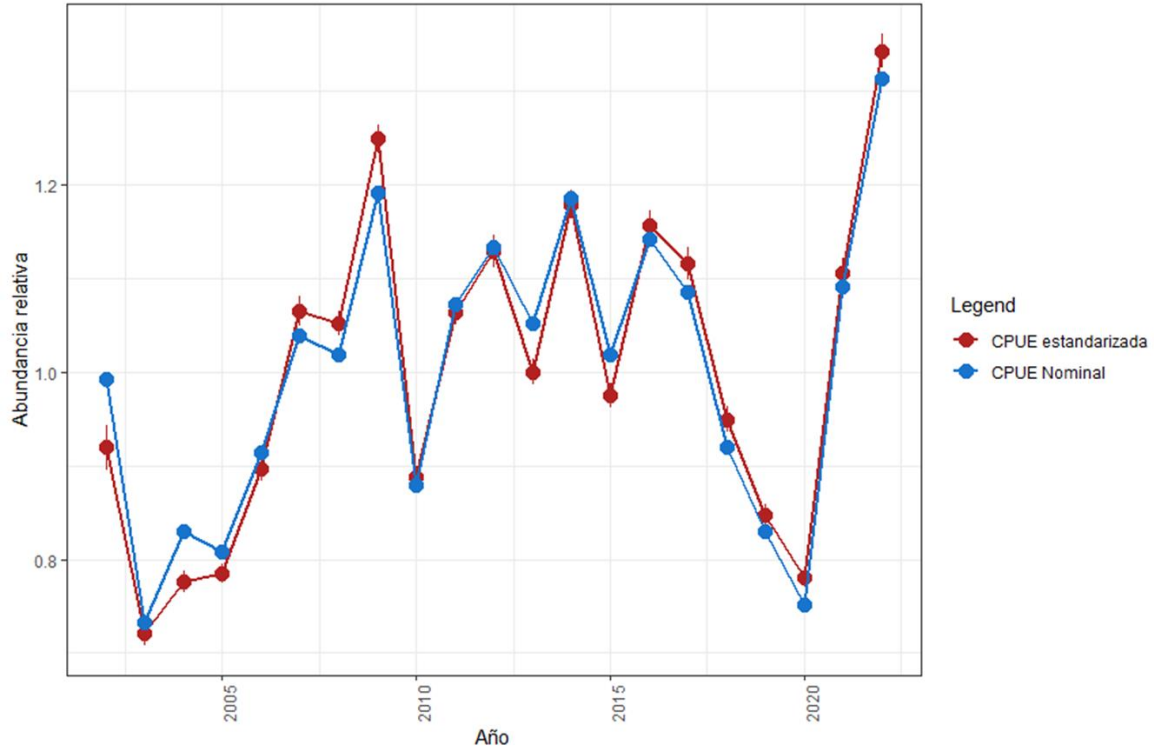


Figura 10. Captura por unidad de esfuerzo nominal y estandarizada para la pesquería de verdillo. Las líneas verticales representan el coeficiente de variación de cada CPUE.

Estructura de tallas de las capturas, bitácoras PNO

Las bitácoras de PNO contienen información sobre la composición de tallas de las capturas de verdillo toda la variedad de artes de pesca que se emplean en la pesca. En la región NoBCS1, donde opera FEDECOOP, todos los involucrados en la pesca utilizan trampas para pescar, mientras que en la región NoBCS2, el verdillo también se captura con trampas y en menor proporción con anzuelos (líneas de mano y cañas) y redes de enmalle (agalleras y chinchorros). En estas bitácoras se registra información sobre las operaciones de pesca, el sitio de captura, las especies capturadas, las profundidades de captura, así como la talla y el sexo de las especies capturadas; sin embargo, en la gran mayoría de los casos no es posible determinar el sexo de las especies, por lo que para verdillo se utilizó la frecuencia de tallas agregada para ambos sexos. De acuerdo con esta información, la estructura de tallas de la captura de verdillo se ha mantenido a lo largo del periodo registrado entre 2009 y 2022, con la poca variación observable atribuible al muestreo más que a cambios en la población de verdillo en la región. Además, se observa que más del 95% de los organismos muestreados que son capturados con trampas se encuentran por arriba de la talla de primera madurez (Figura 11).



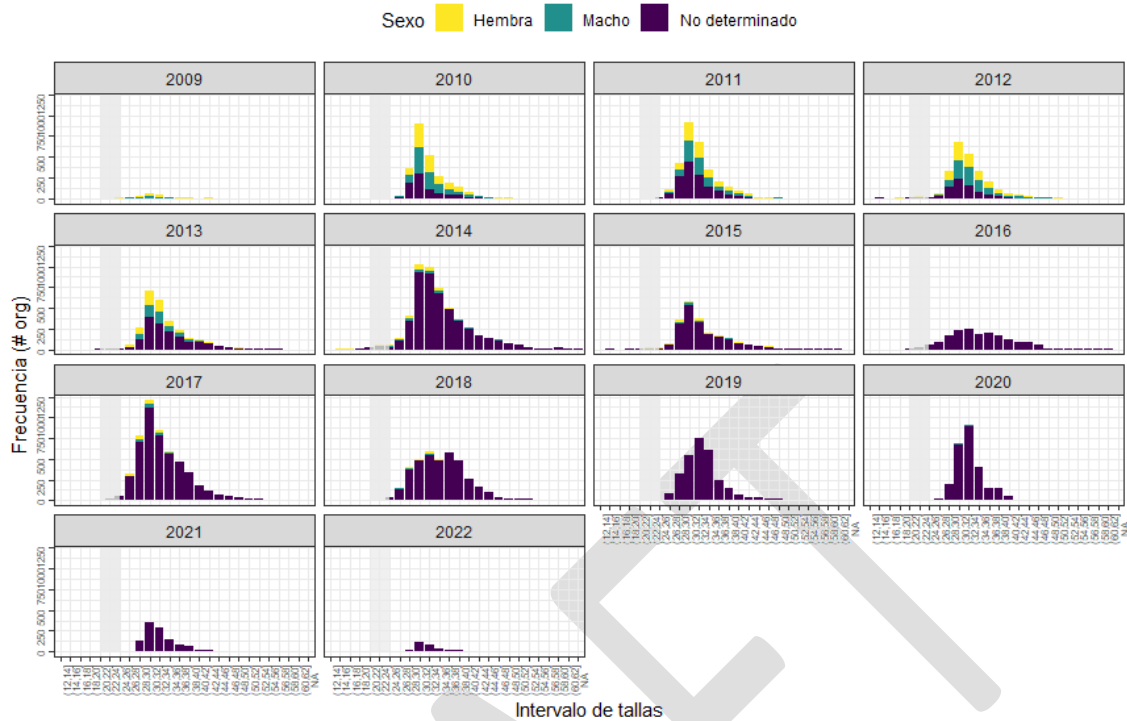


Figura 11. Estructura de tallas de las capturas para el verdillo capturado por trampas en la región NoBCS a partir de las bitácoras de PNO. La franja gris vertical indica la talla de primera madurez de verdillo (20-24 cm LT).

Resultados de los modelos SPiCt y SRaplus

Los ajustes de los modelos SPiCt y SRaplus bajo los diferentes escenarios indican que la biomasa relativa a la biomasa que genera el rendimiento máximo sostenible (B/B_{MSY}) se mantiene por arriba de $B/B_{MSY} = 1$ con valores de $F/F_{MSY} < 0.5$; sin embargo, estos modelos no permiten la incorporación de diferentes fuentes o temporalidades de información, por lo que se prefirió implementar SS.

Resultados del modelo base de Stock Synthesis

Crecimiento en talla, peso y edad, madurez y selectividad.

Con los parámetros de crecimiento establecidos (Tabla 2), se fijó crecimiento lineal para los organismos por debajo de 4 años; los resultados de la modelación de crecimiento, madurez y selectividad, reflejan un crecimiento en talla y peso con alometría positiva ($b \geq 3$); además, se observa que la selectividad es mayor para organismos entre 35 y 55 cm LT, siendo posible capturar organismos más grandes pero en menor proporción (Figura 12).



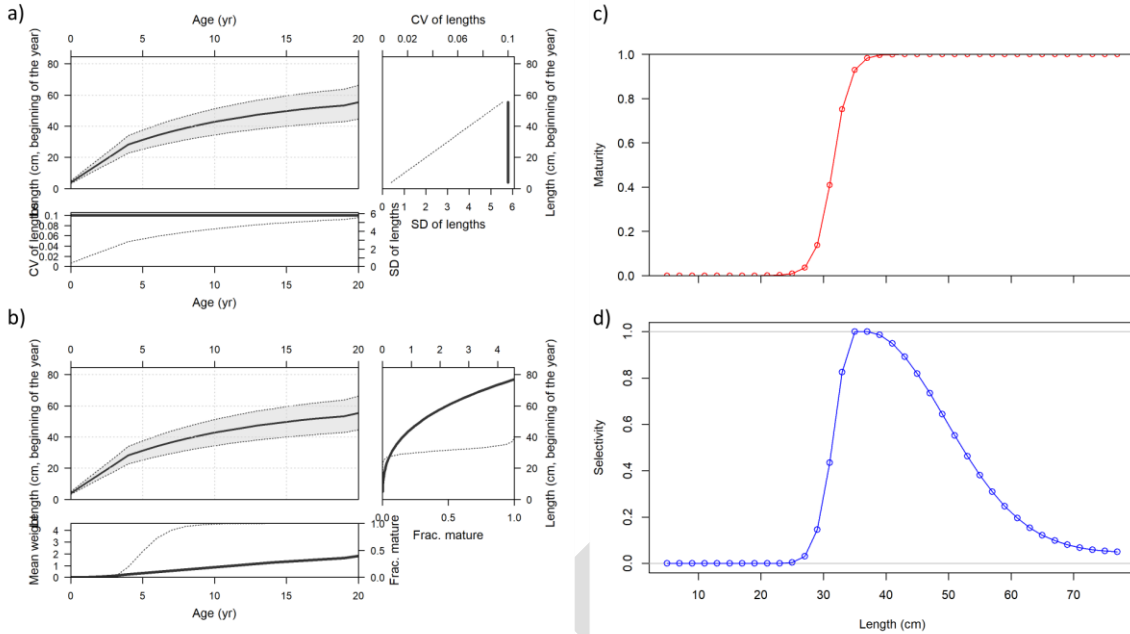


Figura 12. Resultados de la modelación de crecimiento en talla (a) y peso (b), madurez (c) y selectividad del arte de pesca (d), derivados de la implementación del modelo base de SS.

Desviaciones de reclutamiento.

De acuerdo con la modelación del reclutamiento, se pueden observar (desviaciones negativas) durante el inicio de la pesquería en 1988 hasta 1998, a partir del año 2000 el reclutamiento modelado es mayor (desviaciones positivas), con variaciones hasta una nueva disminución en 2010, para regresar a valores positivos hasta 2019, donde el reclutamiento presenta desviaciones $\cong 0$. De esta manera, el número de reclutas de edad 0 fluctúa entre 30 y 60 millones a lo largo de toda la serie de tiempo, sin embargo, debe de tenerse presente la magnitud de la incertidumbre asociada a la reconstrucción de la tendencia en el reclutamiento (Figura 13).



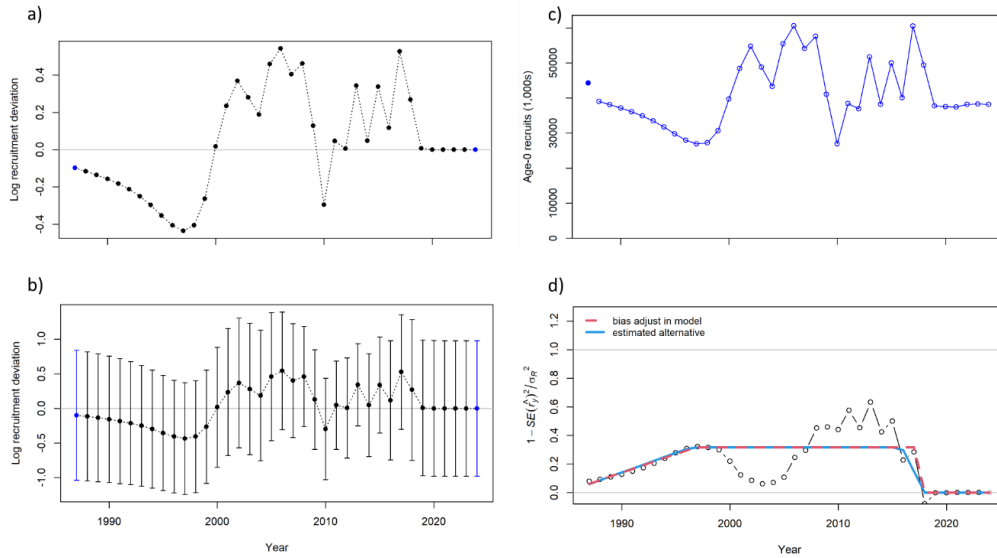


Figura 13. Desviaciones del reclutamiento (a y b), reclutas de edad 0 (c) y ajuste del sesgo del modelo de reclutamiento (d).

Biomasa reproductiva y mortalidad por pesca.

La biomasa reproductiva modelada presenta una disminución entre 1995 y 2005, manteniéndose estable antes y después de este periodo. Al mismo tiempo, la biomasa reproductiva relativa a la biomasa que genera el máximo rendimiento sostenible (B/B_{MSY}) presenta la misma tendencia, fluctuando alrededor de $B/B_{MSY} \cong 1$ (Figura 14). La mortalidad por pesca continua (F) presenta mayores valores a partir de 1995 y mantiene una tendencia positiva hasta 2013, para oscilar entre 0.25 y 0.30 a partir de 2015. Las remociones totales a la población (captura) muestran la misma tendencia que la mortalidad por pesca (Figura 14).

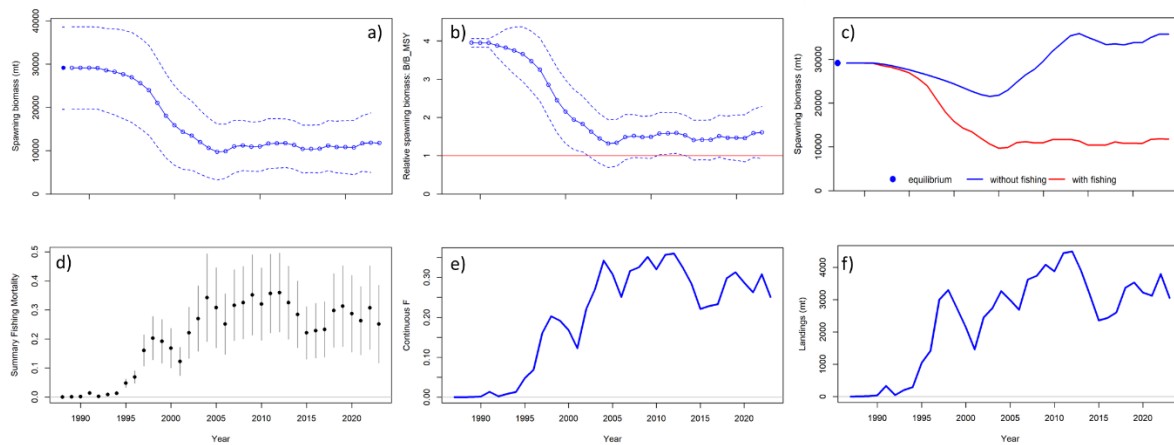


Figura 14. Biomasa reproductiva absoluta (a), relativa (b) impacto de la pesca(c), resumen de mortalidad por pesca (d), mortalidad por pesca continua (e) y capturas totales (f).

Estado del stock en la región NoBCS.

Se puede observar que el potencial reproductivo (SPR), así como la intensidad de pesca ($1-SPR$) se mantienen fluctuando alrededor del punto de referencia a partir del año 2002, situación que se



refleja en los diagramas de fase relativos de la biomasa reproductiva y la intensidad de pesca (F), así como la biomasa total y la mortalidad por pesca (F). Estos resultados sugieren que el stock de verdillo se encuentra oscilando por arriba de los puntos de referencia $B/B_{MSY} \cong 1$ y $F/F_{MSY} \cong 1$.

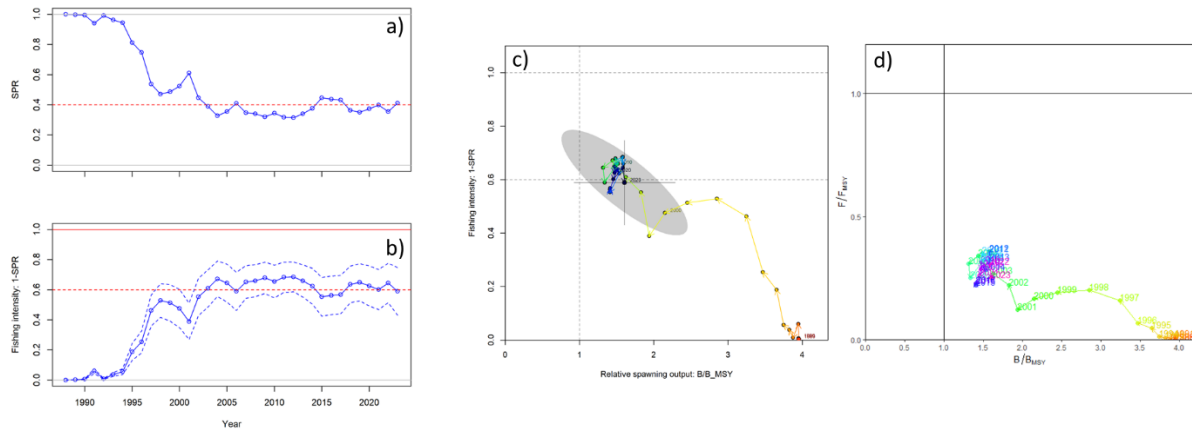


Figura 15. Razón de potencial reproductivo (SPR, a), intensidad de pesca (b), diagramas de fase del estado actual del stock de verdillo en la región NoBCS en relación a la biomasa relativa y la intensidad de pesca 1-SPR (c) y mortalidad por pesca (d).

Escenarios de sensibilidad.

Se implementaron 3 escenarios para observar la sensibilidad del modelo a cambios en los valores de ciertos parámetros. En el escenario 1 donde se modifica el error asociado a las capturas (cv) se observa que el estado del stock de verdillo se mantiene sin cambios con respecto del escenario base, mientras que en los escenarios 2 y 3, donde se incrementa el error asociado a las capturas, así como se incluye el error asociado a la CPUE con base en los resultados del proceso de estandarización, la intensidad de pesca (1-SPR) incrementa. En el escenario 3, además se modificó la edad a partir de la cual el crecimiento de verdillo se modela de manera lineal, pasando de 4 a 2 años, lo que resulta en un mayor incremento en la intensidad de pesca y un estado del stock menos favorable (Figura 16).



Estado del stock de verdillo (*Paralabrax nebulifer*) en la región central de la Península de Baja California.

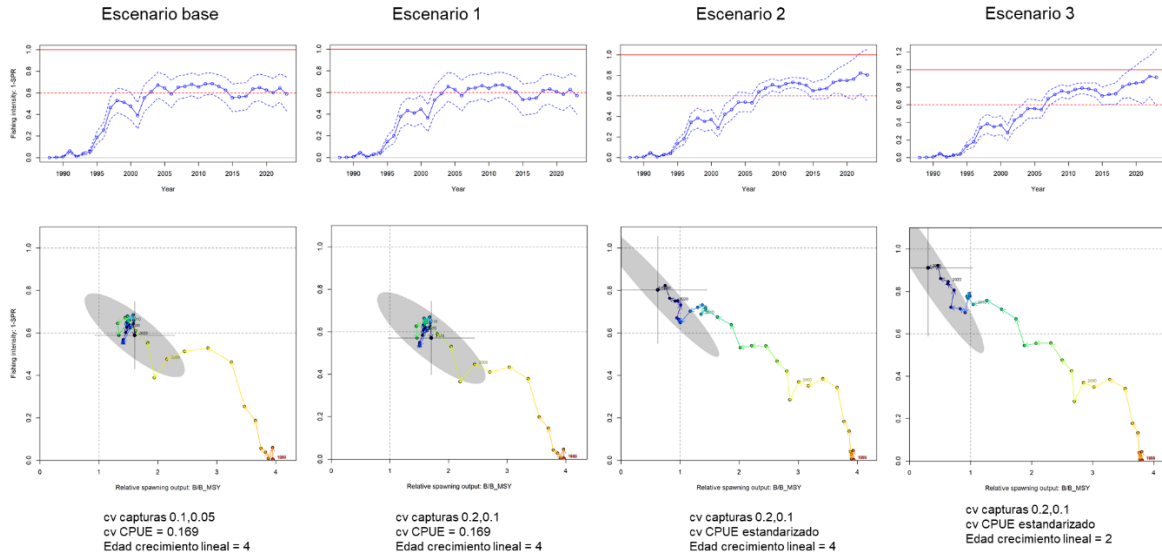


Figura 16. Estados del stock de verdillo bajo diferentes escenarios de sensibilidad.

Análisis retrospectivos.

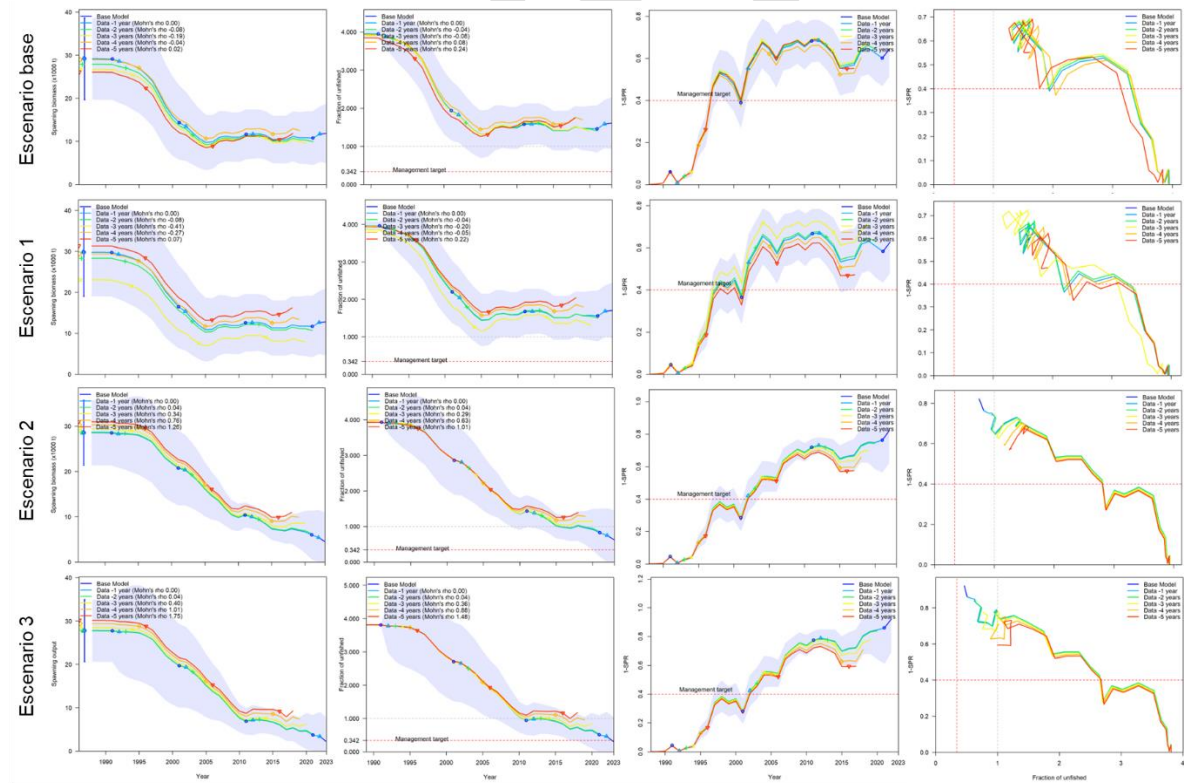


Figura 17. Resultados de los análisis retrospectivos para cada escenario de sensibilidad para el stock de verdillo.



Sobre el uso de métodos de utilizan únicamente datos de captura para el manejo de pesquerías

A pesar que las capturas son la fuente de información más constante en pesquerías, los modelos que dependen únicamente en las capturas (Catch-Only Métodos) han sido criticados para su uso en manejo pesquero¹² por lo siguiente:

- Estimaciones poco confiables del estado de las poblaciones: Los datos de captura no son buenos representantes de la abundancia. Muchos factores, como el clima o las regulaciones pesqueras, pueden influir en las tasas de captura sin reflejar la salud de la población.
- Poder de predicción limitado: Incluso con buenos datos de captura, predecir el estado futuro de las poblaciones basándose en las capturas pasadas no es confiable. Los modelos entrenados en pesquerías bien manejadas pueden no ser aplicables a aquellas con menos gestión.
- Supuestos ocultos: Los modelos basados solo en la captura se basan en suposiciones sobre factores como la "capturabilidad" que a menudo son inexactas, lo que lleva a resultados engañosos.
- Estructura rígida: Estos modelos presentan opciones limitadas de personalización para realizar escenarios alternativos.
- Exceso de confianza y sesgo: Los métodos basados solo en la captura pueden crear una falsa sensación de seguridad o urgencia, lo que lleva a una mala gestión.

Comparando los modelos de inferencia estadística presentados en este informe con los modelos de solo captura, se puede observar que los resultados del CMSY son más optimistas. En contraste, el modelo estadístico que permite hacer inferencias (SPiCT y SRAPlus) son modelos suficientemente flexibles para analizar escenarios de los supuestos alrededor de los parámetros. Por todo lo anterior, consideramos que el modelo de CMSY puede ser útil bajo ciertas condiciones, pero no se recomienda su uso para la toma de decisiones. Es necesario utilizar modelos de inferencia estadística que permitan realizar diferentes escenarios de los estados de la naturaleza.

Sin embargo, es necesario hacer hincapié en la mejora de registro y recolecta de información para la evaluación de los recursos pesqueros ya que, a la fecha, el sistema oficial de registro no permite hacer uso de la información contenida en el de manera directa; es necesario invertir varios meses de limpieza y análisis exploratorios para poder rescatar una fracción de la información o para desecharla en su totalidad. Mejorar el sistema de registro de información pesquera resultará en un incremento en la calidad y cantidad de información que se puede utilizar en la implementación de modelos que a su vez tendrán mayor capacidad de reflejar los diferentes estados de la naturaleza.

¹² Ver Ovando et al., 2021. A history and evaluation of catch-only stock assessment models. Fish and Fisheries. DOI: 10.1111/faf.12637



Regla de control sugerida para el manejo de la pesquería de verdillo en la región de operación de FEDECOOP (NoBCS)

Puntos de referencia

Objetivo: $B_{RMS} = 0.4B_{F=0.0}$

En la práctica, es más conveniente evaluar el estado del recurso dada la incertidumbre que siempre se asocia a estimaciones de su estado actual, por lo que se propone que el stock debe oscilar alrededor de B_{RMS} durante los últimos 5 años. De manera formal:

$$p(B_t < B_{RMS}) \cong 0.5 \text{ con } \tau = t-4 \text{ a } t.$$

Límite: $0.5B_{RMS}$

La biomasa no debe rebasar la biomasa límite en ningún año. Sin embargo, la estimación puntual de B_t tienen una incertidumbre que debe ser tomada en cuenta, por lo que, para incorporarla en el punto de referencia, no se debe permitir que la probabilidad de que el estado actual del recurso exceda el punto de referencia límite no debe de exceder el 10%. De manera formal:

$$p(B_t < B_{LIM}) > 0.1$$

Reglas de decisión

Si:

$B_t < 0.8B_{RMS}$ por 5 años o más;

o si:

$B_t < 0.8B_{RMS}$ y declinando por tres años o más;

Reducir la mortalidad por pesca en tal magnitud que $p(B_t < B_{LIM}) \cong 0.5$ en cinco años.

Si:

$$p(B_t < B_{LIM}) > 0.1$$

Reducir la mortalidad por pesca en tal magnitud que $p(B_t < B_{LIM}) < 0.1$ en tres años y que $p(B_t < B_{RMS}) \cong 0.5$ en seis años.

Para implementar esta regla de control, la discusión inicial con el sector y las autoridades inicia con las cooperativas de FEDECOOP. Para este grupo de pescadores se sugiere que el mecanismo más viable es calcular una captura límite anual a partir de la biomasa estimada y una tasa de explotación



que asegure la meta de manejo. No se debe perder de vista que sobre este stock pescan usuarios afiliados a FEDECOOP y otros que no forman parte de la Federación, sin embargo, la mayoría de la captura sobre este stock proviene de los usuarios de FEDECOOP (Figura 18). Es por esto que, esta discusión que inicia con FEDECOOP debe de tomar los procedimientos propuestos para que sean socializados posteriormente con la participación de las autoridades como parte de las tareas de apoyo a las líneas de acción del Plan de Manejo.

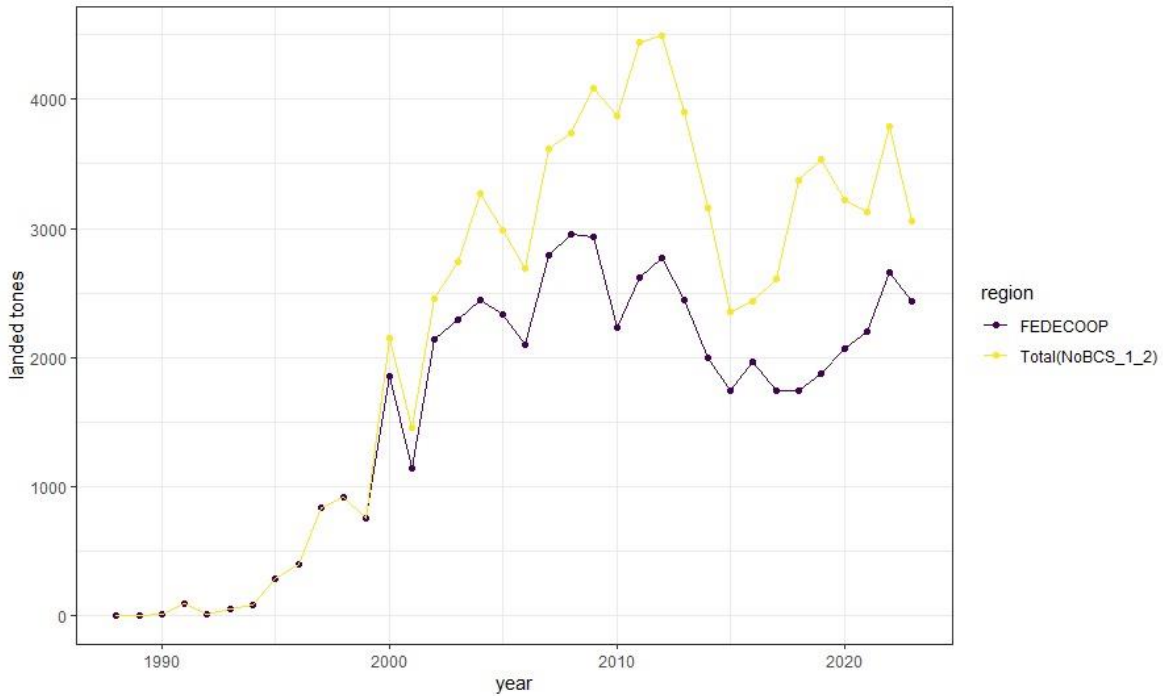


Figura 18. Comparación de la captura de verdillo reportada por FEDECOOP respecto al total en la región NoBCS que ocupa el stock evaluado en este reporte.

Se sugiere que el límite anual sea repartido a usuarios individuales o cooperativas que obtienen límites propios de acuerdo con su historia de productividad. En el caso de cooperativas, es prerrogativa de cada una de ellas la asignación de volúmenes de captura específicos para usuarios individuales. De esa manera, los pescadores con historial de productividad elevado obtienen un límite en concordancia con su historia, mientras que productores con niveles bajos de captura histórica obtienen límites menores. Al establecer este sistema, se deberán establecer reglas para modificaciones posteriores en las asignaciones a usuarios individuales.

El límite de captura para usuarios individuales se asigna por el período de un año, por lo que la forma en que cada usuario distribuya su captura a lo largo del año depende de cada uno de ellos y de las limitaciones que actualmente impone FEDECOOP con otros propósitos como el control de precios, etc. Tanto la definición de las tasas de explotación como los límites de captura están pendientes y serán realizadas de acuerdo a los análisis derivados de esta evaluación del recurso, un análisis de las capturas históricas, las estimaciones de parámetros y los supuestos hechos sobre otros, y sobre todo, las proyecciones hechas con escenarios alternativos aplicando el modelo base que contiene la evaluación con Stock Synthesis. En este esquema básico de control, la definición de cuotas anuales puede extenderse por períodos mayores a un año, sin embargo, la asignación no



debe de exceder un período de tres años sin penalización dependiendo de la antigüedad de la última evaluación del recurso.

Consideraciones finales

Pronatura Noroeste ha impulsado la elaboración de una estrategia de explotación de varias pesquerías en la región incluyendo al verdillo. Con esta estrategia se pretende principalmente, que las pesquerías trabajen de manera que se satisfaga la necesidad primordial de contar con una forma de vida de parte de las comunidades que realizan la pesca, al tiempo que estas actividades se realicen de manera sostenible y en armonía con el ambiente natural. Al mismo tiempo, se pretende cumplir con los requerimientos del estándar del MSC de acuerdo con lo establecido en el plan de trabajo de cada uno de los FIPs que sirven para mejorar el desempeño de estas pesquerías.

En la pesquería del verdillo existe ya un sistema de información y monitoreo que está produciendo los datos necesarios para llevar a cabo evaluaciones del estado del recurso que son apropiadas dada la biología de la especie y la estructura de la regla de control. La estrategia funciona de manera coordinada con las autoridades, los pescadores y Pronatura Noroeste. Se han depurado los datos existentes de captura y esfuerzo para evitar problemas naturales que surgen, cuando participan en su recolección un grupo diverso de personas. También se ha propuesto un modelo de estandarización para el indicador de abundancia relativa que es flexible, adaptable, y que explica de la mejor manera posible la variabilidad observada. Aunque no se ha completado el trabajo de evaluación de stock mediante modelos de complejidad más avanzada, y aunque los resultados actuales utilizan métodos con una base estructural similar a las utilizadas previamente, se han adoptado variantes más eficientes en la estimación de parámetros, que además permiten incorporar mucho mejor los diferentes niveles de incertidumbre inherentes al proceso pesquero. Esto es invaluable en la toma de decisiones ya que se identifica y acepta cualquier nivel de incertidumbre, incorporándose al estado promedio esperado para el recurso en relación con puntos de referencia. De esta manera, las estimaciones del estado de un recurso están más conectadas con la realidad de la pesquería reflejada en los datos que con expectativas que en ocasiones pueden ser difíciles de sostener. Finalmente se ha propuesto una estructura base para la toma de decisiones que cumple como una regla de control, que es alimentada por la evaluación de stock y que establece cursos de acción informados y pueden socializarse de manera clara y explícita con todas las partes interesadas.

Si bien en esta etapa del proyecto se lograron grandes avances en la construcción de la estrategia de explotación, los avances logrados representan tan solo los fundamentos sobre los cuales dicha estrategia tendrá que irse construyendo con el tiempo hasta alcanzar un sistema maduro que tenga alta probabilidad de mantener al recurso y la pesquería en general en sus objetivos de manejo. Para la etapa siguiente, se concluyen los trabajos de construcción de modelos de evaluación cuando esto sea posible. En algunos casos inclusive, se construye un modelo de evaluación estructurado que representa de mejor manera tanto la biología de la especie como la dinámica pesquera y en otros se espera también hacer pruebas del desempeño de estas metodologías. En cuanto a la regla de control, se trabajará en el proceso de discusión, socialización e implementación de las reglas propuestas. Esta etapa es indispensable para mejorar la estructura base propuesta, y para que el sistema del MSC considere que existe una regla de control funcional y aceptable de acuerdo con el



estándar. En la medida en que los interesados conozcan a fondo la operación del sistema mediante el cual se toman las decisiones, más fácil será para los pescadores aceptar y acatar las decisiones y para la autoridad mantener el orden requerido en su mandato por ley.

La pesquería de verdillo ha avanzado lo suficiente en su desempeño respecto a los requerimientos del estándar del MSC como para que en el lapso de dos años máximo estar en posición de certificarse si es que los pescadores deciden que eso conviene a sus intereses.

Es importante hacer notar que aún cuando esta estrategia de explotación puede comenzar a funcionar en el lapso de un par de años, su evolución y consolidación llevará varios años más. Esto es completamente normal incluso en pesquerías industriales (p. ej. atunes tropicales en el Pacífico Oriental Tropical) con larga historia de manejo, alta participación incluso a nivel internacional, con un caudal enorme de información, y sobre todo con un elevado nivel de capacidad técnica, en las cuales, puntos de referencia y reglas de control han incluso permanecido por varios años de manera funcional en la calidad de preliminar (interim). En el verdillo, como en las pesquerías artesanales de cualquier región del mundo, es importante que se establezcan estructuras básicas de manejo pesquero que tengan fundamentos universales de conservación basado en objetivos e intereses comunes. En el verdillo, se considera que estos principios se están estableciendo y difundiendo de manera formal y con la participación de diferentes sectores, las pesquerías artesanales con las que se ha trabajado se dirigen hacia contar con una actividad productiva sostenible a largo plazo. Se espera poder continuar trabajando en la consolidación de esta estrategia.

