

# ESTRATEGIA DE EXPLOTACIÓN PARA LA PESQUERÍA DE VERDILLO (PARALABRAX NEBULIFER) EN LA REGIÓN CENTRAL DE LA PENÍNSULA DE BAJA CALIFORNIA.

## Contenido

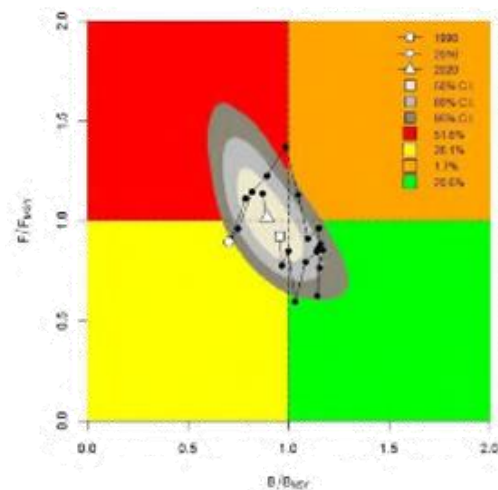
Introducción .....	2
Capítulo I. Sistema de información y monitoreo .....	3
Capítulo II. Evaluación de stock.....	3
Metodología .....	3
<i>Datos</i> .....	3
<i>Estandarización de la captura por unidad de esfuerzo</i> .....	4
<i>Parámetros y supuestos</i> .....	4
<i>Modelos utilizados</i> .....	4
<i>Escenarios de sensibilidad</i> .....	4
Resultados .....	5
Depuración de datos .....	5
Resultados del modelo SPiCt.....	8
Resultados del modelo SRAplus .....	10
Capítulo III. Regla de control y herramientas.....	11
Objetivos de manejo y puntos de referencia.....	12
Reglas de decisión .....	12
Herramientas de manejo .....	12

## Introducción

En el marco del desarrollo del proyecto de mejora pesquera de verdillo en Baja California Sur y alineado al estándar del MSC, se elaboró una estrategia de explotación para la pesquería, la cual tiene como componentes principales: 1) el sistema de información y monitoreo; 2) la evaluación de stock y 3) las reglas de control y sus herramientas. Dentro de las posibles acciones de manejo que se definen de la aplicación de la regla de control, algunas llevan implícito el establecimiento de una respuesta estructurada cuyo objetivo es recuperar la abundancia del stock a los niveles requeridos por la regla de control.

es necesario contar con una evaluación del estado del recurso que indique si el stock se encuentra alrededor del rendimiento máximo sostenible. A la fecha, 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 ( $B/B_{MSY}$ ) del verdillo se ubica por debajo de la biomasa que genera el rendimiento máximo sostenible ( $B/B_{MSY} \cong 1$ ) por al menos 9 años consecutivos (Fig. 1), situación que indicaría que el stock se encuentra sobre pescado y siendo objeto de sobre pesca. Sin embargo, el método de evaluación utilizado puede resultar en estimaciones sesgadas de los stocks (Ovando et al., 2022<sup>1</sup>), por lo que se llevó a cabo un análisis del estado del recurso utilizando diferentes modelos de dinámica poblacional.

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).



Otra evaluación del estado de la pesquería de verdillo fue realizada por Pronatura Noroeste utilizando datos de captura oficiales del sitio de internet de CONAPESCA (Alvarez-Flores 2015). También utilizó información de tallas y otros datos de biología colectados de las cooperativas de FEDECOOP. Los diferentes indicadores sugerían que el stock de verdillo se encontraba alrededor o por arriba del nivel de RMS.

<sup>1</sup> 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\\_et\\_al\\_2022\\_FF.pdf](https://chrismfree.com/wp-content/uploads/2022/11/Ovando_et_al_2022_FF.pdf)

## Capítulo I. Sistema de información y monitoreo

El propósito principal del programa de información y monitoreo en la estrategia de explotación es el de contar con la base de conocimiento y datos que se requieren para apoyar el proceso de toma de decisiones de manejo. En este cuerpo de información se incluye una descripción de la estructura e identidad del stock, unidad poblacional o de manejo; la productividad del stock, lo cual incluye información biológica como el crecimiento, la madurez reproductiva y la fecundidad, la mortalidad natural, etc.; las características de la pesquería, las agrupaciones de pescadores, las artes de pesca y sus prácticas regulares para la captura, etc.; la abundancia del stock, que puede ser en conjunto o agregada o por edades o tallas; los registros de captura y esfuerzo; de preferencia otro tipo de información como factores ambientales, sociales, etc.

El monitoreo de la pesquería de verdillo lo realiza principalmente el cuerpo técnico de la Cooperativa Punta Abrejos, quienes realizan esta actividad desde al menos hace 15 años. Los técnicos registran la captura entregada por cada embarcación y se colecta también información biológica-pesquera como la talla y peso de muestras programadas. En los últimos 5 años se ha trabajado con la comunidad para comenzar a registrar el esfuerzo pesquero de manera más precisa que lo que se realizaba anteriormente como viaje de pesca. En la actualidad el esfuerzo pesquero se mide en número de trampas levantadas, lo cual es también utilizado en la pesquería de langosta roja de roca que también realiza esta comunidad de pescadores. En estos últimos años también se ha trabajado en la instalación del uso de bitácoras electrónicas. En este sentido el éxito ha sido moderado debido a lo remoto de las localidades y la dificultad de subir la información de los dispositivos al sistema de base de datos dadas las limitaciones de conectividad a internet. En este sentido, los pescadores han manifestado un creciente interés a medida que la conectividad a internet ha ido mejorando pues reconocen la eficiencia y facilidad en el uso de este sistema de colecta de información. Se espera que en los próximos años, al menos el 80% de los pescadores estén utilizando este sistema.

La información colectada por los técnicos de las cooperativas, así como lo que es capturado en bitácoras, cualquiera que sea el formato utilizado, es posteriormente anexado a la base de datos central de Pronatura Noroeste que se encuentra en la ciudad de La Paz, Baja California Sur. Estos datos están siempre disponibles para cualquier usuario que los requiera con propósitos de investigación y manejo pesquero.

## Capítulo II. Evaluación de stock

### Metodología

#### *Datos*

Origen y tipo, error asociado. 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.

### *Estandarización de la captura por unidad de esfuerzo*

Con la información generada por Erisman et al (2017<sup>2</sup>), se agregaron 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), mientras que para la profundidad de la captura 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 superficial<sup>3</sup> para la zona de captura de Punta Abreojos para el mismo periodo de capturas en la base de datos.

### *Parámetros y supuestos*

Se suponen distribuciones normales para todos los parámetros que son usadas como pseudo-priors con medias predefinidas en 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 SRAplus, 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  $\tau = 0$ .

### *Modelos utilizados*

Se utilizó un modelo de dinámica poblacional de producción excedente de biomasa en tiempo continuo y otro denominado de “reducción de stock”, ambos implementados en R y denominados respectivamente SPiCt<sup>4</sup> y SRAplus<sup>5</sup>. 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 SRAplus 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 del modelo 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 y la captura total. El modelo utiliza las penalizaciones de la función de verosimilitud objetivo para dar peso específico al supuesto de un parámetro definido de acuerdo con la forma de la distribución pseudo-previa propuesta. En todos los casos se utilizaron penalizaciones con distribución normal con parámetros media y desviación estándar.

### *Escenarios de sensibilidad*

Para investigar el efecto de la incertidumbre introducida por diferentes supuestos sobre parámetros y variables relevantes, se establecieron escenarios para un análisis de sensibilidad en el ajuste de los modelos de SPiCt y SRAplus a los datos de captura y CPUE, en los cuales se variaron los supuestos

---

<sup>2</sup> 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

<sup>3</sup> 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/>

<sup>4</sup> Pedersen, M. W., and Berg, C. W. 2017. A stochastic surplus production model in continuous time. Fish and Fisheries, 18: 226–243.

<sup>5</sup> Ovando et al. 2021. Improving estimates of the state of global fisheries depends on better data. Fish and Fisheries, 00:01-15.

iniciales para los diferentes parámetros del modelo. Se utilizaron las mismas variantes de escenarios tanto en el modelo de SPiCt como en el de SRaplus (Tabla I).

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

		<i>SPiCt</i>			<i>SRaplus</i>		
		Escenario base	Escenario 2	Escenario 3	Escenario base	Escenario 2	Escenario 3
<i>Capturas sin error</i>		0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
<i>Capturas con error</i>		0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
<i>r (prior, <math>\mu</math>)</i>		0.6	0.4	0.8	0.6	0.4	0.8
<i>r (prior cv)</i>		0.1	0.2	0.9	0.1	0.2	0.9
<i>K (prior, <math>\mu</math>)</i>		Max catch *10	Max catch *10	Max catch *10	Max catch *10	Max catch *10	Max catch *10
<i>K (prior cv)</i>		0.1	0.2	0.6	0.31	0.2	0.6
<i>Depletion (prior, <math>\mu</math>)</i>		0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
<i>Depletion (prior)</i>		0.1	0.2	0.6	0.1	0.2	0.6
<i>Shape (prior, <math>\mu</math>)</i>		1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
<i>Shape (prior, cv)</i>		0.1	0.2	0.8	0.1	0.2	0.8

## Resultados

### Depuración de datos

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 (Fig. 2).

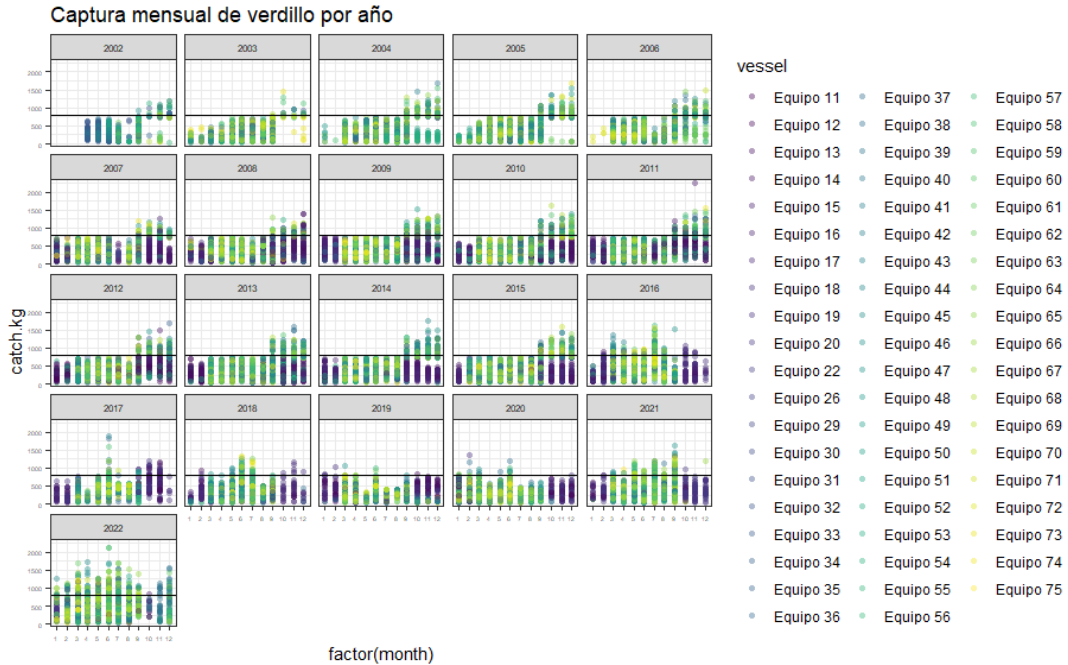


Figura 2. Captura mensual de verdillo por equipo de pesca por año. La línea horizontal indica el “límite” de 800 kg que se observa hasta antes de 2016.

El índice de abundancia utilizado para los análisis posteriores se construye a partir del número de viajes de pesca por embarcación (Fig. 3).

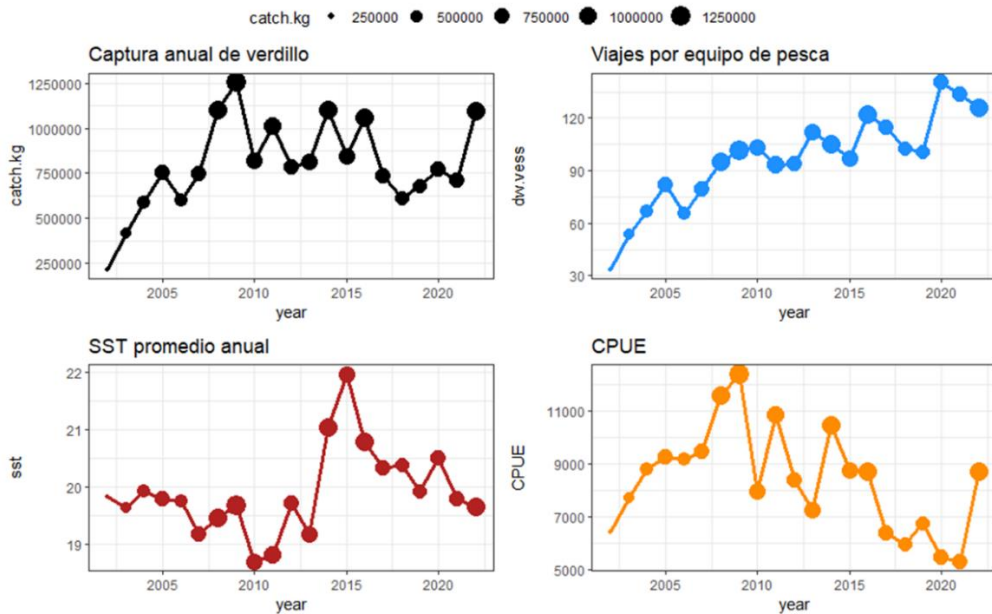


Figura 3. Captura anual, esfuerzo en viajes por equipo de pesca, temperatura superficial promedio anual y CPUE de verdillo de 2002 a 2022, a partir de la información de bitácoras de la SCPP Punta Abrejos.

Con las variables obtenidas de Erisman et al (2017) se construyó un modelo generalizado lineal (GLM) de la forma:

$$\log CPUE = dias.trabajados_c + embarcaciones_c + profundidad_c + sst_c + reproduccion_{cat} + distancia.costa_{cat} + año_{cat} + mes_{cat} + año_{cat}: sst_c + mes_{cat}: sst_c$$

dónde los subíndices  $c$  y  $cat$  denotan variables continuas y categóricas, respectivamente, y el símbolo  $(:)$  denota interacción entre variables.

A partir de este modelo base se construyeron tres diferentes estandarizaciones utilizando las variables cuya aportación a la variabilidad explicada fuera mayor al 5%. La primera estandarización incluyó los días trabajados, embarcaciones, el mes y el año, mientras que la segunda estandarización solo incluyó el mes y el año. La tercera estandarización incluyó la temperatura superficial promedio como factor junto con el mes y el año (Fig. 4). Dado el ajuste de las estandarizaciones, se decidió utilizar como índice de abundancia relativo la CPUE Nominal.

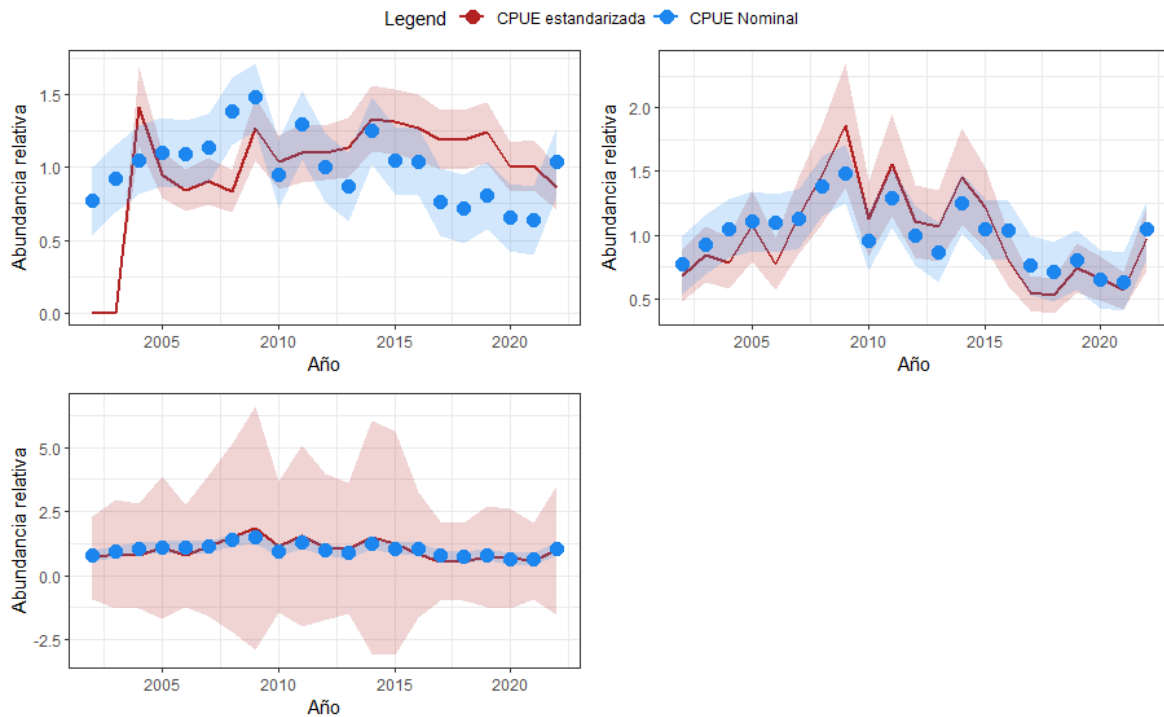


Figura 4. Estandarizaciones de CPUE para la pesquería de verdillo. Las zonas sombreadas representan el coeficiente de variación de cada CPUE.



### Resultados del modelo SPiCt

De acuerdo con el ajuste del modelo SPiCt bajo los diferentes escenarios se observa que la biomasa relativa a la biomasa que genera el rendimiento máximo sostenible ( $B/B_{MSY}$ ) se mantiene por arriba de  $B/B_{MSY}=1$  en los escenarios base y escenario 2 utilizando las capturas con o sin error. En los escenarios 3 de ambos ajustes se puede observar que la biomasa relativa se encuentra por debajo del punto de referencia  $B/B_{MSY}=1$  durante casi toda la serie de tiempo, sin embargo, la probabilidad que  $B/B_{MSY}<0.5$  es menor al 1% para toda la serie de tiempo (Fig. 5).

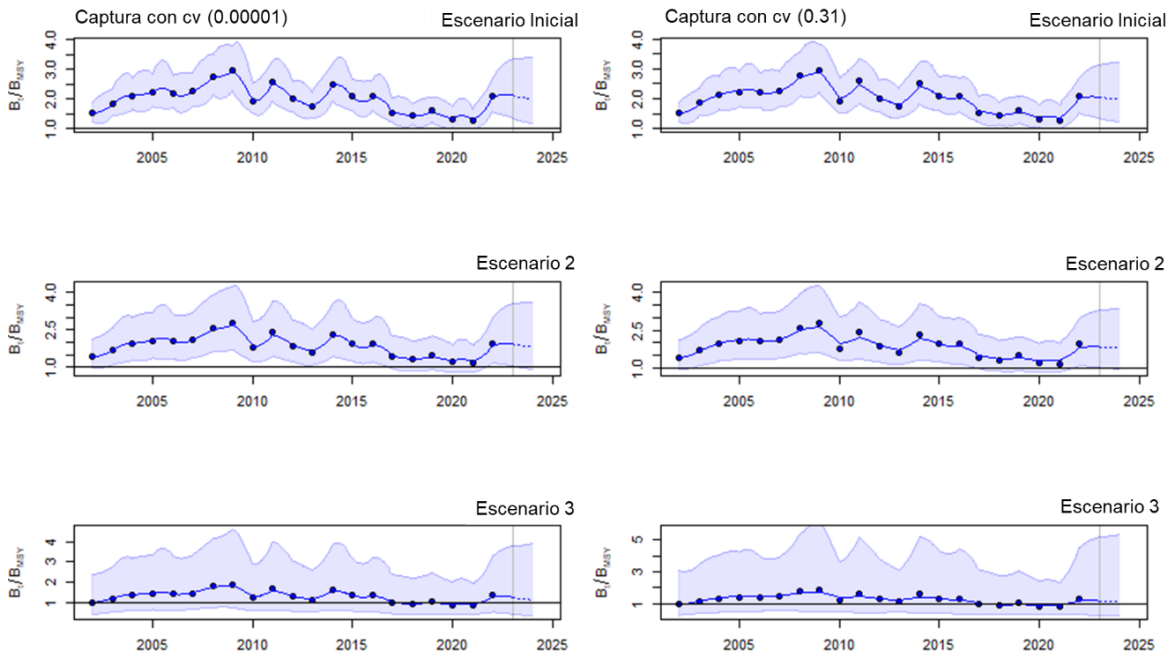


Figura 5. Biomasa relativa con respecto a la biomasa que genera el rendimiento máximo sostenible para verdillo de 2002 a 2022.

En cuanto al estado del recurso en relación a los puntos de referencia relativos a los que generan el rendimiento máximo sostenible a través de los diagramas de Kobe, podemos observar que los escenarios 3 los ajustes para las capturas con y sin error son los escenarios más pesimistas, con valores de  $F/F_{MSY} \geq 1$ , lo que indicaría que el stock de verdillo está siendo objeto de sobre pesca. En el resto de los escenarios, los valores de  $F/F_{MSY} < 1$ , con biomazas relativas mayores a 1 (Fig. 6).

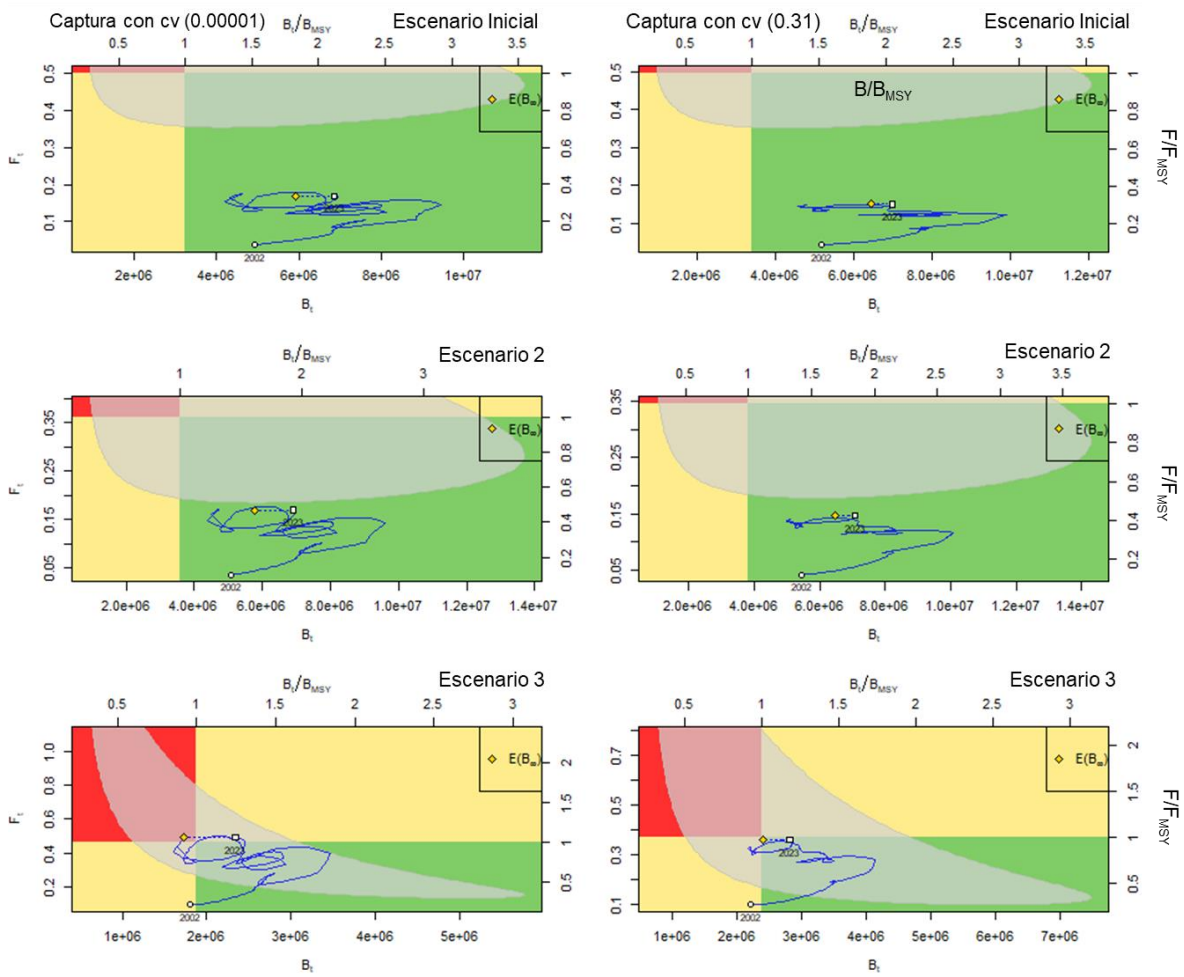


Figura 6. Diagramas de Kobe para cada uno de los escenarios de los ajustes para las capturas de verdillo con y sin error.

## Resultados del modelo SRaplus

Los resultados a partir del ajuste del modelo SRaplus son más optimistas que los obtenidos por el modelo SPiCt, donde la biomasa relativa en cualquiera de los escenarios se mantiene por arriba de 1 durante toda la serie de tiempo (Fig. 7). Sin embargo, el escenario 3 del ajuste de capturas sin error es el escenario más pesimista en este modelo, donde se observa que la biomasa relativa pasa por debajo del punto de referencia  $B/B_{MSY}=1$ ; sin embargo, la probabilidad que la biomasa relativa se encuentre por debajo de 0.5 es menor al 1%.

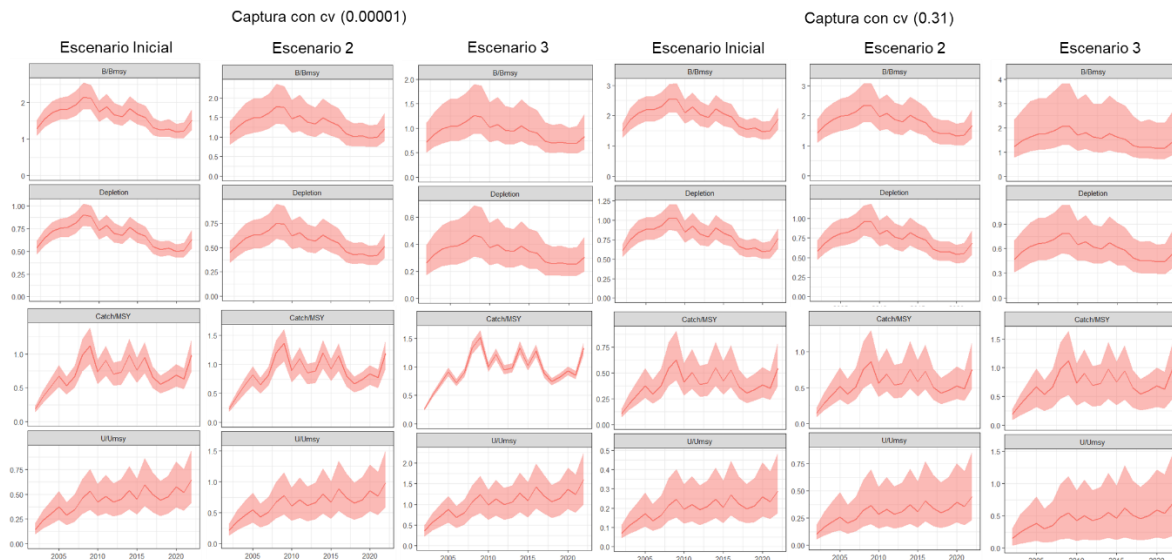


Figura 7. Biomasa relativa ( $B/B_{MSY}$ ), captura relativa al rendimiento máximo sostenible ( $Catch/MSY$ ), reducción (depletion) y tasa de aprovechamiento ( $U/UMSY$ ) para verdillo utilizando el modelo SRaplus.

Es importante señalar que, de acuerdo con estos resultados, el stock de verdillo se encuentra oscilando alrededor del punto de referencia  $B/B_{MSY} = 1$ . Los valores de los parámetros reajustados, así como los puntos de referencia para cada escenario y modelo se pueden consultar a detalle en la tabla II.

Tabla II. Resultados de los ajustes y puntos de referencia (valores promedio) para los modelos SPiCt y SRAplus aplicados al stock de verdillo.

	SPiCt			SRAplus		
	<b>Capturas sin error</b>					
	Escenario Base	Escenario 2	Escenario 3	Escenario base	Escenario 2	Escenario 3
<i>r</i>	0.60	0.42	0.59	0.47	0.32	0.29
<i>K</i>	8,386 ton	9,323 ton	4,673 ton	7,544 ton	9,338 ton	8,859 ton
<i>Depletion</i>	0.82	0.74	0.50	0.63	0.51	0.31
<i>Shape</i>	1.19	1.17	1.27	1.3	1.33	1.04
<i>q</i>	0.0012	0.0012	0.0034	0.0016	0.0015	0.0027
<i>BMSY</i>	3,240 ton	3,573 ton	1,878 ton	3,163 ton	3,952 ton	3,285 ton
<i>FMSY</i>	0.5	0.36	0.46	0.36	0.24	0.27
<i>MSY</i>	1,620 ton	1,289 ton	872 ton	1,135 ton	929 ton	826 ton
<i>B<sub>2022</sub>/BMSY</i>	2.12	1.93	1.25	1.51	1.21	0.83
<i>F<sub>2022</sub>/FMSY</i>	0.33	0.47	1.05	0.65	0.98	1.60
	<b>Capturas con error</b>					
	Escenario base	Escenario 2	Escenario 3	Escenario base	Escenario 2	Escenario 3
<i>r</i>	0.59	0.41	0.53	0.56	0.37	0.33
<i>K</i>	8,758 ton	9,854 ton	5,541 ton	11,156 ton	12,440 ton	12,246 ton
<i>Depletion</i>	0.79	0.71	0.51	0.77	0.68	0.54
<i>Shape</i>	1.2	1.19	1.45	1.22	1.23	1.13
<i>q</i>	0.0012	0.0011	0.0027	0.0009	0.00092	0.0012
<i>BMSY</i>	3,408 ton	3,835 ton	2,387 ton	4,509 ton	5,079 ton	4,889 ton
<i>FMSY</i>	0.49	0.34	0.36	0.46	0.30	0.31
<i>MSY</i>	1,689 ton	1,328 ton	879 ton	2,064 ton	1,511 ton	1,222 ton
<i>B<sub>2022</sub>/BMSY</i>	2.05	1.84	1.18	1.90	1.68	1.42
<i>F<sub>2022</sub>/FMSY</i>	0.30	0.42	0.97	0.29	0.45	0.69

### Capítulo III. Regla de control y herramientas

Una regla de control es un mecanismo o sistema que se utiliza en una pesquería para decidir acciones de manejo que responden al conocimiento más reciente que se tenga sobre la situación del recurso y la pesquería. Por naturaleza la regla de control es una herramienta de manejo activo ya que representa el eslabón principal de un sistema de retroalimentación, conecta la información con las acciones de manejo. El estándar del MSC también requiere que las reglas sean pre-acordadas por los pescadores, autoridades, investigadores y todos los interesados para que puedan ser funcionales de acuerdo con las realidades de la pesquería. Por último, para que una pesquería pueda aplicar de manera efectiva un mecanismo de manejo derivado de la aplicación de una regla de control, se requiere la existencia de herramientas asociadas que implementan las acciones, un sistema de cuotas o límites de captura, medidas de regulación de artes de pesca, control de tallas, establecimiento de temporadas de pesca, etc., son todos mecanismos conocidos en el manejo pesquero que pueden ser utilizados en función de las características particulares de cada pesquería.

En la pesquería de verdillo en la región central de la península de Baja California, iniciamos con la formalización de los puntos de referencia mencionados en secciones previas.

## Objetivos de manejo y puntos de referencia

El objetivo de la estrategia de explotación donde se inserta esta regla de control es mantener al recurso alrededor del nivel que produce el rendimiento máximo sostenible o por arriba de él. Al mismo tiempo, la estrategia debe evitar que la abundancia disminuya por debajo del punto de referencia límite en los términos que son descritos más adelante. Cuando la abundancia permanece por debajo del punto de referencia objetivo por más tiempo que el que ha sido preestablecido, la regla de control debe activar una respuesta encaminada a recuperar la abundancia al menos un nivel cercano al punto de referencia objetivo y mantenerla fluctuando alrededor de él subsecuentemente. Esta respuesta de la regla de control corresponde a la acción conocida como el “plan” de recuperación del stock.

**Punto de Referencia Objetivo:** El stock debe oscilar alrededor de  $B_{RMS}$ , donde  $B_{RMS} = 0.4B_{F=0.0}$  de manera que  $p(B_t < B_{RMS}) \sim 0.5$  durante los últimos 5 años.

**Punto de Referencia Límite:** En ningún momento la biomasa debe rebasar el límite preestablecido  $0.5B_{RMS}$  de manera que nunca se permita que  $p(B_t < B_{Lim}) > 0.1$ .

En relación a la conveniencia de utilizar el valor por defecto en el estándar del MSC  $0.5B_{RMS}$ , se hace notar que cuando se adopta un supuesto conservador (50%) respecto a un nivel inaceptable en la reducción del reclutamiento a causa de la pesca, valores también muy conservadores (0.6) del parámetro de pendiente (h) en la relación stock-recluta de Beverton-Holt para una especie productiva como la langosta, resultan en valores límite de reducción de biomasa respecto a la abundancia en ausencia de pesca de 0.14%. Por lo tanto, si el supuesto para  $B_{RMS}$  es igual  $0.4B_{F=0.0}$ , entonces  $B_{Lim} = 0.2B_{F=0.0}$ , por lo cual, el supuesto adoptado para el punto de referencia límite es aun más precautorio y aceptable dada la incertidumbre en el proceso de estimación.

## Reglas de decisión

Si  $B_t < B_{RMS}$  por 5 años o más, o si  $B_t < B_{RMS}$  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 ocho 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  $p(B_t < B_{RMS}) \sim 0.5$  en seis años.

## Herramientas de manejo

En la actualidad, la pesca de Baja California cuenta con un plan de manejo que indica que sus medidas actuales son las que se mencionen en la Carta Nacional Pesquera y como estrategia se plantea el uso de tasas de aprovechamiento.

Sin embargo, en la práctica, las medidas más importantes de manejo en la región central de la península de Baja California son aplicadas por acuerdos comunitarios establecidos en las cooperativas afiliadas a FEDECOOP. Entre los mecanismos de control más importantes está el establecimiento de un límite diario de captura en los meses de altas temperaturas de verano o cuando los precios descienden. Esta medida se complementa con un límite a la hora de retorno a tierra o final de la jornada de pesca. Aunque estas medidas están diseñadas para controlar el precio del producto en el mercado y para evitar el descarte de pescado echado a perder por no contar con sistema de enfriamiento a bordo de las embarcaciones, estas restricciones imponen un importante tope a la cantidad de biomasa que puede ser removida anualmente.

Dado que los pescadores afiliados a FEDECOOP tienen un sistema muy eficiente del control de esfuerzo pesquero, en caso de ser necesaria una reducción en la mortalidad por pesca determinado por el resultado de aplicación de la regla de control, es posible realizar cálculos que indiquen la reducción en el número de trampas activas en el agua, su tiempo de remojo, la duración del viaje de pesca o inclusive el número de días que se permita operar. Cualquiera de estos mecanismos puede aplicarse mediante acuerdos comunitarios para la aplicación de medidas determinadas por la regla de control.