

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ



DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIONES DE RECURSOS DEMERSALES Y LITORALES
ÁREA FUNCIONAL DE INVESTIGACIONES DE PECES DEMERSALES, BENTÓNICOS Y LITORALES

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA PESQUERÍA DEL BACALAO DE PROFUNDIDAD (*Dissostichus eleginoides* Smitt 1898), CON PROYECCIÓN DE CAPTURA AL 2018



INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA PESQUERÍA DEL BACALAO DE PROFUNDIDAD (*Dissostichus eleginoides* Smitt 1898), CON PROYECCIÓN DE CAPTURA AL 2018

1. INTRODUCCIÓN

El bacalao de profundidad *Dissostichus eleginoides*, conocido también como merluza negra, bacalao austral, en diversos países, pertenece a la familia de los nototénidos cuyos miembros han desarrollado diversas adaptaciones que les permiten sobrevivir a temperaturas cercanas a 0°C. Entre sus principales adaptaciones presentan una baja viscosidad sanguínea, carecen de vejiga natatoria, baja densidad ósea, alto contenido de grasa y tejido gelatinoso bajo la piel. Estas características le proporcionan flotabilidad neutra (lo que implica ahorro energético en el desplazamiento) y, la adaptación para soportar amplios rangos de profundidad (euribática).

La pesquería sobre este recurso es realizada por diversos países como Chile y Argentina, debido a su gran área de distribución, donde existe una gran industria. En el Perú la pesquería es realizada por seis (06) embarcaciones, con capacidades de bodega que no superan los 32,56 m³, las que operan a lo largo del litoral exportando casi el 100% del producto en forma de congelado – refrigerado.

Durante el año 2017 la pesquería del bacalao fue regulada por la R. M. N° 097-2017-PRODUCE (02/03/2017), que estableció la cuota máxima de captura permisible en 160 t.

La actividad extractiva fue suspendida a finales del mes de agosto debido al cumplimiento de la cuota de pesca asignada (R. M. N° 382-2017-PRODUCE), después de la cual el IMARPE, con la finalidad de obtener información sobre indicadores biológicos pesqueros del bacalao de profundidad, ejecutó la Pesca Exploratoria bajo el enfoque de pesca centinela (R. M. N° 430-2017-PRODUCE).

En el presente informe, se da a conocer los resultados de los aspectos biológicos y pesqueros más resaltantes obtenidos durante el 2017, además del cuadro de decisión para la determinación de la cuota de captura del recurso para el año 2018.



2. MATERIALES Y MÉTODOS

Base de datos

Para la caracterización de la pesquería y estimación de indicadores poblacionales del bacalao de profundidad fueron utilizados dos fuentes de información. La primera fuente estuvo comprendida por los registros de desembarque realizado por el personal de PRODUCE, donde se detalla la información concerniente al desembarque total en peso y en número, las fechas de zarpe y arribo, zonas de pesca, entre otros. La segunda fuente de información fueron las Pescas Exploratorias bajo el enfoque de pesca centinela, realizada durante los años 2016 y 2017.

Para un mejor análisis y entendimiento, la información fue estratificada en tres zonas. La zona norte abarcó desde Puerto Pizarro (03°24'S) hasta Salaverry (08°13'S), la zona centro desde Salaverry hasta Tambo de Mora (13°27'S) y, por último, la zona sur entre Tambo de Mora e Ilo (18°20'S). Asimismo, a través de los parámetros de crecimiento propuestos por Arana 2008 (Linf: 200 cm, K: 0,07, t₀:0.3 años), se consideró la elaboración de un índice de reclutamiento, definido como el número de ejemplares pertenecientes a los grupos de edad 8 y 9. Este índice puede ser interpretado como una medida de ingreso de ejemplares a la zona de pesca (Perú) producto de los procesos de inmigración, teniendo en consideración que hasta el momento no se ha detectado actividad de



desove de este recurso en aguas nacionales. Además, se consideró un índice de longevidad definido como el número de ejemplares correspondientes a los de grupos de edad 29 y 30+ (grupo plus).

Información adicional proveniente de los muestreos realizados en la planta de procesamiento fue utilizada para caracterizar la estructura por tallas del desembarque realizado por la flota palangrera.

Por otro lado, indicadores ambientales fueron obtenidos de la base de datos de la NOAA (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.indices>).

Evaluación poblacional

Para caracterizar la dinámica poblacional del bacalao de profundidad, dada la información disponible, se optó por el uso del modelo de biomasa dinámica (conocido como modelo de producción excedentaria). El citado modelo requiere sólo la información de la captura y el esfuerzo de pesca, por lo cual es considerado como la primera herramienta a ser utilizada en estos contextos (Hilborn y Walters 1992).

El modelo fue construido bajo el enfoque de un Modelo de Espacio de Estados (State Space Model – SSM), el mismo que es considerado como una de las herramientas más sofisticadas para el modelamiento y pronóstico de modelos dinámicos, debido a que permite considerar la medida del error de proceso (error propio del modelo) y el error de observación (Meyer y Millar 1999).

Invariablemente un modelo de espacio de estados se encuentra compuesto por dos ecuaciones principales:

- La ecuación de observación.** Que viene a ser la ecuación de vínculo entre lo que queremos estimar (biomasa), y lo observado (captura por unidad de esfuerzo – CPUE).

$$CPUE_t = q'_t * B_t * e^{\tau}$$

$$q'_t = q * e^{\alpha * Ni\tilde{n}o_{(1+2)}t}$$

Donde $CPUE_t$ es el vector de datos observados, B_t es el vector de interés (Biomasa), generalmente desconocido, q'_t vincula el vector de observaciones (CPUE) con el vector de Estado (Biomasa), y es afectado por la variación del índice Niño 1+2.

Captura por Unidad de Esfuerzo – CPUE

Para la implementación de la ecuación de observación, se consideró la metodología propuesta por Gulland (1971), donde se asume que existe estacionalidad en la ejecución de las operaciones de pesca, es decir que las actividades de pesca se encuentran distribuidas inequitativamente entre los meses. Dicho método considera lo siguiente:

Sea N el tamaño poblacional para el año t , donde:

$$N_t = \frac{1}{q} * \sum A_i * \frac{C_i}{f_i} \dots (1)$$

En el cual A_i es el mes “i” analizado; C_i es la captura obtenida durante el mes i , f_i es el esfuerzo de pesca y, q es el coeficiente de capturabilidad (asumido constante).

Además, la densidad media poblacional mensual (D) se expresa:



$$D = \frac{N}{A} = \frac{1}{q} * \frac{1}{A} * \sum_{i=1}^n A_i * \frac{C_i}{f_i} \dots (2)$$

$$A = \sum A_i \dots (3)$$

De la relación $\tilde{f}_t = \frac{C_t}{q * D}$ tenemos:

$$\tilde{f}_t = \frac{C_t * q * A}{q * \sum A_i * \frac{C_i}{f_i}} = \frac{A * C_t}{\sum A_i * \frac{C_i}{f_i}}$$

Donde C_t es la sumatoria de las capturas obtenidas durante el año t y $\tilde{f}$ es el esfuerzo efectivo.

Una vez estimado el esfuerzo efectivo, el valor de la CPUE fue dado a través de:

$$CPUE_{ef_t} = \frac{\sum C_i}{\tilde{f}_t}$$

- b) **La ecuación de estado.** Esta ecuación representa cómo se comporta la biomasa, la misma que es representada por la ecuación dinámica de Schaefer (1954), que posee la siguiente estructura:

$$B_t = B_{t-1} + r * B_t \left(1 - \frac{B_t}{K}\right) - C_{t-1} + \sigma_t$$

Donde B_t es la biomasa en el tiempo t , r es la tasa de crecimiento poblacional, K es la capacidad de carga del ambiente, C_t es la captura en el tiempo t , σ_t representa el error de proceso.

Se asume que la estructura de error del modelo es del tipo *log-normal*. Además, se re-parametrizó el modelo a través de la expresión $P_t = B_t/K$, que permitió expresar la biomasa como una proporción de la capacidad de carga (K), según lo aplicado en Millar y Meyer (2000), con el objetivo de acelerar el re-muestreo durante las simulaciones. En este sentido, la expresión re-parametrizada sería la siguiente:

$$P_t | P_{t+1}, K, r, \sigma^2 = \left(P_{t-1} + r P_{t-1} (1 - P_{t-1}) - \frac{C_{t-1}}{K} \right) e^{u_t}$$

$$I_t | P_t, q, r, \tau^2 = q * K * P_t * e^{v_t}$$

Donde u_t y v_t representan el error de proceso y de observación, respectivamente.

El ajuste del modelo descrito anteriormente fue realizado a través del software JAGS (Just Another Gibbs Sampler), herramienta diseñada para el análisis bayesiano utilizando el método de Monte Carlo basado en cadenas de Markov (MCMC) (Plummer 2003).

En la estimación de la distribución *posteriori* de los parámetros del modelo, se realizaron tres (03) series de 1 000 000 de simulaciones cada una. En cada serie, se eliminaron las primeras 900 000 simulaciones, por ser consideradas dentro del proceso de "burning" (calentamiento). Para probar la convergencia y la ausencia de autocorrelación, se utilizó el paquete *coda* del software R.



Análisis de Riesgo

Debido a la presencia de fuentes de error que no son considerados por el modelo, se efectuó un análisis de riesgo, el mismo que implica proyectar a futuro las diferentes opciones de manejo (en este caso niveles de captura), considerando las medidas de dispersión estimadas para cada uno de los parámetros del modelo.

Las proyecciones fueron hechas a un año, bajo diferentes escenarios de explotación, considerando como riesgo la probabilidad de que la biomasa del año siguiente sea menor que la biomasa actual, es decir:

$$\Pr(B_{2019} < B_{2018})$$

Se realizaron 1000 simulaciones utilizando la versión dinámica del modelo de Schaefer (Ecuación 1) donde la captura fue reemplazada por los diferentes niveles de captura, entre los cuales se consideraron los puntos biológicos de referencia como el Máximo Rendimiento Sostenible (MRS), La mortalidad por pesca al $F_{0.1}$ y la mortalidad por pesca a los $2/3$ del Máximo Rendimiento Sostenible ($2/3F_{MRS}$).

3. RESULTADOS

3.1 ZONAS DE PESCA

La flota palangrera dedicada a la extracción del bacalao de profundidad operó a lo largo del dominio marítimo peruano desde Punta La Negra ($06^{\circ}00'S$) hasta Morro Sama ($18^{\circ}00'S$), variando su distancia a la costa de aproximadamente 90 mn al norte y bordeando las 10 mn en el sur (Figura 1).

Durante el periodo comprendido entre el inicio del año calendario hasta el cierre de la pesquería (agosto 2017), la actividad extractiva se realizó en las zonas centro y sur, con mayor actividad durante el primer semestre. Durante el tercer trimestre, la intensidad de pesca se redujo, debido a la cercanía del cumplimiento de la cuota de captura. Durante el cuarto trimestre, la actividad extractiva estuvo asociada a la ejecución de la Pesca Exploratoria, la cual permitió obtener información sobre la zona norte. Esta actividad se ejecutó entre la primera quincena de setiembre y noviembre.

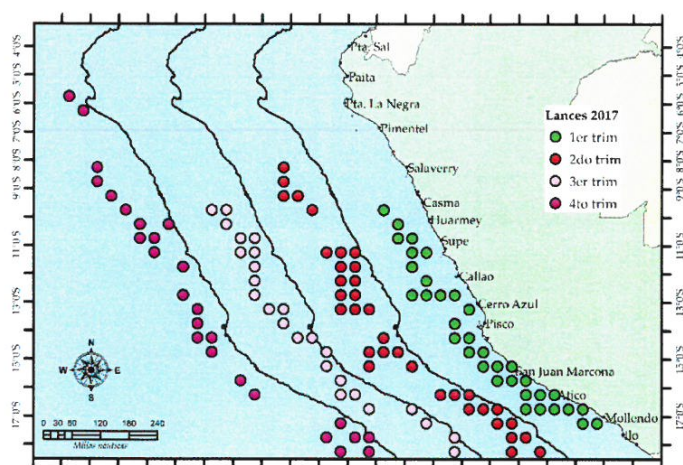


Figura 1. Zonas de pesca de la flota palangrera dirigida al bacalao de profundidad *Dissostichus eleginoides* durante el 2017.

3.2 CAPTURA

Durante el 2017, la captura de bacalao de profundidad fue de 203,7t (cifras no oficiales). Este valor es aproximadamente 19% superior al desembarque registrado para el 2016. Las mayores capturas provinieron de las zonas centro y sur con 49% (99,3 t) y 48% (97,4 t), respectivamente (Figura 2).

A escala mensual, la mayor captura fue obtenida durante el primer semestre, con una captura promedio de 23.7 t/mes. Asimismo, la magnitud de las capturas fue similar a las registradas para el 2016, a excepción del mes de enero, donde la captura se incrementó en 76% en relación al periodo 2016 (Tabla I).

A partir del mes de mayo, se observó una reducción gradual de los niveles de desembarque (asociado al cumplimiento de la cuota de pesca) obteniéndose el menor valor durante el mes de agosto. Por otro lado, las capturas registradas para los meses de octubre y noviembre corresponden a la Pesca Exploratoria durante la cual se capturó alrededor de 35 t (Tabla I).

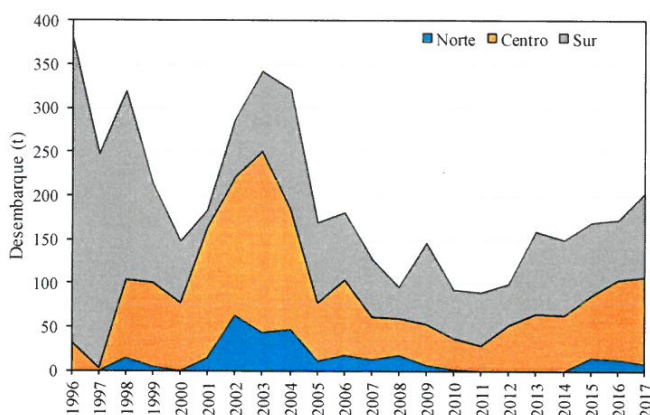


Figura 2. Desembarque (t) acumulados del bacalao de profundidad *Dissostichus eleginoides* por zonas de pesca durante el periodo 1996 - 2017

Tabla 1. Desembarque mensual (t) del bacalao de profundidad realizados entre 2016 y 2017

Mes	Captura (t)	
	2016	2017
Enero	17.1	30.1
Febrero	23.5	26.3
Marzo	28.0	24.0
Abril	17.7	24.8
Mayo	18.5	18.7
Junio	22.6	18.3
Julio	16.0	17.1
Agosto		9.3
Septiembre		
Octubre	17.7	15.6
Noviembre		19.4
Diciembre	10.2	
Total	171.4	203.7

3.3 ESFUERZO

El esfuerzo traducido en número de días empleados en la actividad extractiva fue un 18%, superior a lo registrado para el 2016 con un total de 927 días, de las cuales el 95% fue empleado en las zonas centro y sur con un promedio de 438 días en cada zona (Figura 3).

A escala mensual, el mayor esfuerzo fue realizado durante el mes de noviembre (periodo de ejecución de la Pesca Exploratoria), asimismo, de forma similar a lo observado en las capturas, durante el primer semestre, el esfuerzo promedio fue de 96 días/mes. Asimismo, en comparación a lo registrado durante el 2016 no se observaron grandes diferencias respecto de la magnitud de esfuerzo empleado, salvo el mes de enero, donde fue aplicado un menor esfuerzo, obteniéndose los mayores niveles de captura, denotando un alto rendimiento durante ese mes.

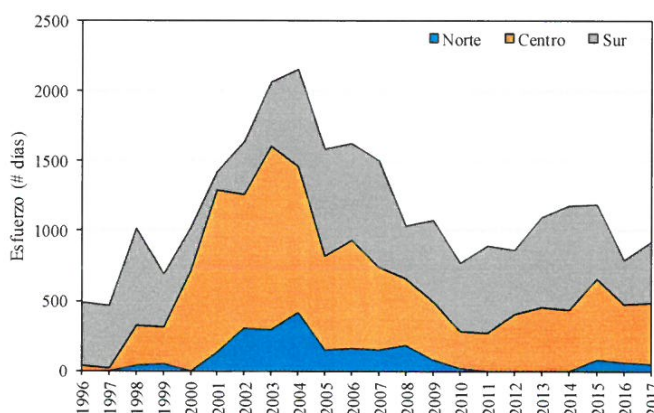


Figura 3. Esfuerzo de pesca acumulados (# días) ejercido por la flota pesquera dirigida al bacalao de profundidad *Dissostichus eleginoides* durante el periodo 1996 – 2017

Tabla 2. Esfuerzo de pesca (# días) mensual de la flota palangrera del bacalao de profundidad entre 2016 y 2017

Mes	# días	
	2016	2017
Enero	111	96
Febrero	93	95
Marzo	116	91
Abril	78	112
Mayo	78	89
Junio	114	91
Julio	85	90
Agosto		61
Septiembre		
Octubre	81	84
Noviembre		118
Diciembre	31	
Total	787	927

3.4 CAPTURA POR UNIDAD DE ESFUERZO - CPUE

En el análisis de la CPUE por zonas no se observaron diferencias significativas entre las zonas centro y sur, cuyos valores bordearon las 0,22 t/día, mientras que para la zona norte, la CPUE fue estimada en 0,13 t/día, valor que comparado con el estimado para el año 2016 (0,19 t/día), representa una reducción de aproximadamente 32% (Figura 4).

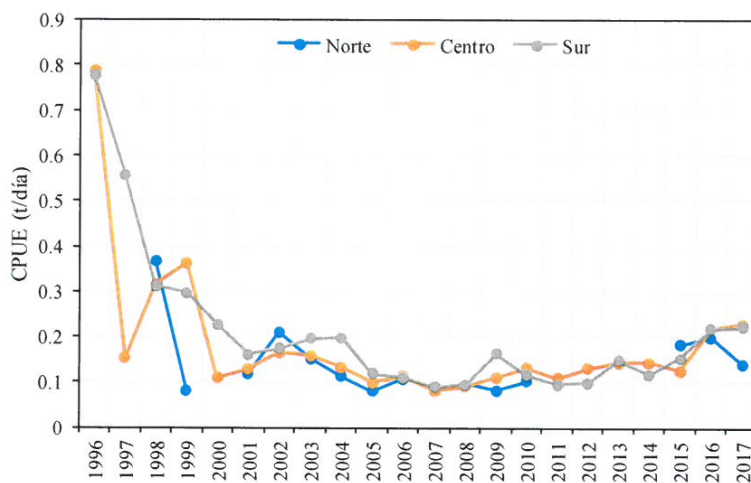


Figura 4. Variación anual y por zonas de la CPUE del bacalao de profundidad *Dissastichus eleginoides* durante el periodo 1996 - 2016

Por otro lado, en el análisis general de la CPUE en peso se muestra una leve reducción de alrededor del 5% respecto al 2016 (Figura 5a). En cuanto a la CPUE en número, se observa una tendencia ascendente a partir del 2005, con una ligera reducción del número de ejemplares capturados por unidad de esfuerzo durante el 2017 (Figura 5b). Este evento se encuentra asociado a procesos de inmigración, favorecidos por el ingreso de ejemplares pertenecientes a los grupos de edad 8 y 9, como se muestra en la Figura 6.

Cabe señalar, que a partir del 2015 se observó un pulso migratorio (incremento del valor del índice de reclutamiento) alcanzando sus máximos valores durante el 2016 (Figura 6).

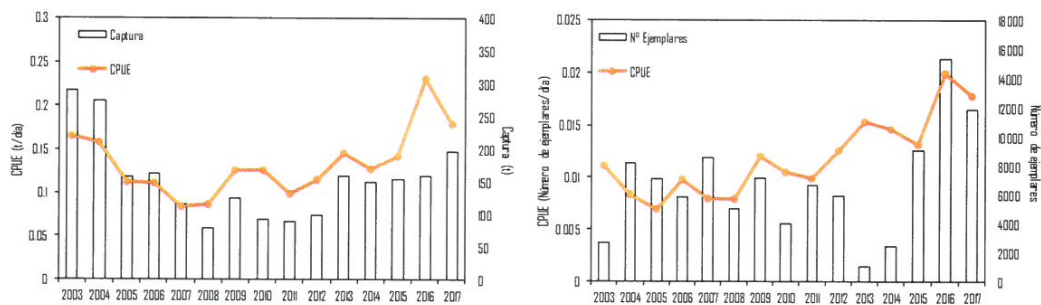


Figura 5. Variación anual de desembarques y captura por unidad de esfuerzo - CPUE del bacalao de profundidad *Dissastichus eleginoides*, durante el periodo 2003 - 2017

3.5 ÍNDICES DE RECLUTAMIENTO Y LONGEVIDAD

El incremento notorio entre el 2015 y 2016 de la CPUE se puede observar a través de las tendencias de los índices de reclutamiento mensual (Figura 6, línea azul). Asimismo, se puede observar que este índice se ha reducido a lo largo del 2017, año en el que predominaron ejemplares longevos en las capturas. Teniendo en cuenta que el índice de reclutamiento indica un proceso de inmigración, se puede afirmar que este se redujo a lo largo del 2017.

Por otro lado, el índice de longevidad puede estar indicando el crecimiento de los ejemplares que se encuentran localizados en aguas nacionales (Figura 6, línea naranja). Por ello, al haberse reducido la proporción de ejemplares más jóvenes en las capturas, se observa que hubo una mayor incidencia de ejemplares más viejos en la pesca.

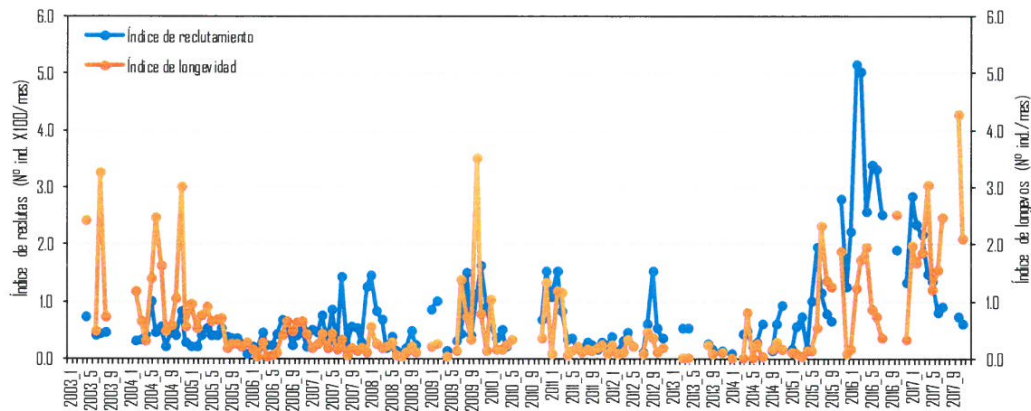


Figura 6. Índices de reclutamiento (grupos de edad 8 y 9 años) y longevidad (grupos de edad 29 y 30+) del bacalao de profundidad *Dissostichus eleginoides* durante el periodo 2003 - 2017

3.6 ESTRUCTURA POR TALLAS

La estructura por tallas de las capturas durante el 2017 varió entre 42 y 191 cm de LT, y estuvo compuesta por dos grupos modales, el principal en la marca de clase de 108 cm de LT y el secundario (aunque poco resaltado) en la marca de clase de 138 cm de LT.

La estructura por tallas del 2017 en comparación a la observada durante el 2016, evidenció un incremento del valor promedio, así como un mayor rango de tallas (Figura 7). El incremento de la talla media estaría relacionado al crecimiento individual del recurso, mientras que la reducción de ejemplares "juveniles" para el 2017 se debería a la escasa renovación del stock frente a Perú, producto de la variabilidad en los procesos de inmigración.



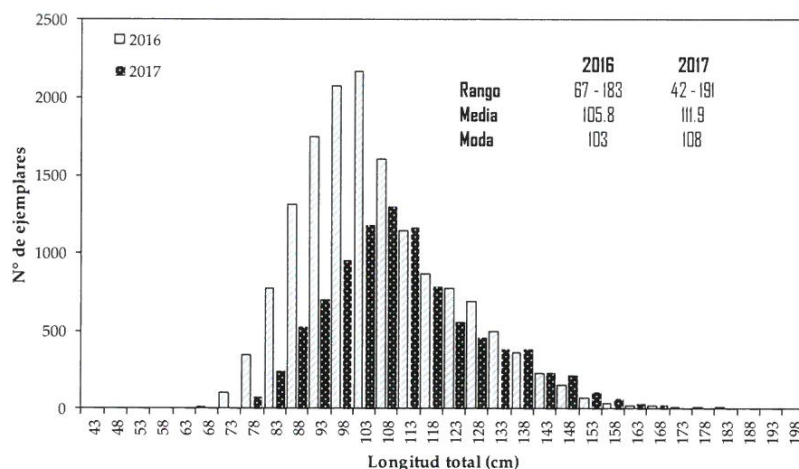


Figura 7. Estructura por tallas de la captura de bacalao de profundidad *Dissastichus eleginoides* ponderados a la CPUE para los años 2016 y 2017

Espacialmente hablando, en esta ocasión no se observó diferencia resaltante en las longitudes medias entre las zonas analizadas, en contraste a lo observado durante el 2016 (Figura 8). Los valores promedio variaron según latitud, estimándose el mayor valor en la zona norte (116,4 cm LT), seguido de la zona centro (114,6 cm LT), y por último la zona sur con 109,8 cm de LT. Esta variación respondería a la estratificación por tallas, propia de esta especie, donde los ejemplares menores habitan zonas ubicadas más al sur, y a medida que van creciendo, se desplazan hacia el norte. En general, la estructura por tallas en las zonas centro y sur presentaron una distribución asimétrica hacia la izquierda (bajos valores), simulando una distribución tipo gamma con una sola moda, mientras que la zona norte presentó dos modas principales, ubicadas en las marcas de clase de 118 y 148 cm de LT.

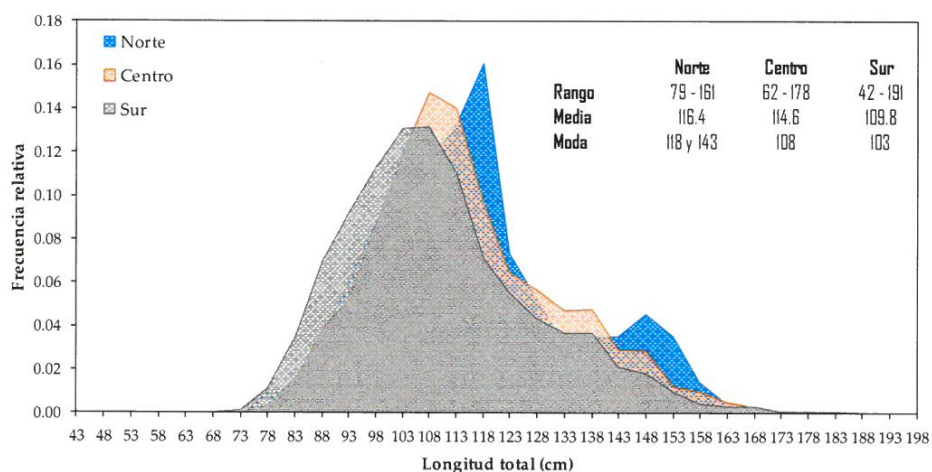


Figura 8. Estructura por tallas por zonas de la captura del bacalao de profundidad *Dissastichus eleginoides* durante el 2017

3.7 EVALUACIÓN POBLACIONAL

Varios estudios han utilizado las anomalías de la región Niño 1+2 (0-10°S, 90-80°W), como referencia para monitorear la ocurrencia de eventos cálidos y fríos frente a la costa del Perú (ENFEN, 2012). Si bien estos índices son calculados en base a la temperatura superficial del mar (TSM), los cambios de la TSM a nivel multidecadal reflejan fluctuaciones que han sido relacionadas a cambios de la circulación en el Océano Pacífico, a nivel subsuperficial (≤ 1800 m de profundidad) (Chávez, 2003; Roemmich et al., 2005).

En este sentido, al analizar la relación entre el índice 1+2 y la CPUE del bacalao, se optó por desfazar esta relación por un periodo de 1 año, es decir, Niño 1+2 de 1997 $\leftrightarrow$ CPUE de 1998, de esta forma, se encontró una correlación lineal entre ambas variables (R^2 : 0.63; Figura 9), para su inclusión en el modelo de evaluación.

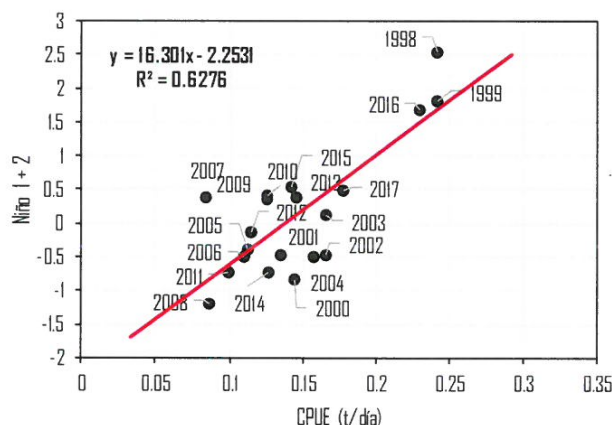


Figura 9. Relación entre la captura por unidad de esfuerzo del bacalao de profundidad y el índice Niño 1+2

Al comparar el ajuste del modelo sin y con variable ambiental, muestra que la inclusión del índice Niño 1+2 en la modelación de la CPUE permite representar mejor la variación de este indicador (Figura 10), señalando que el incremento de este indicador se debió a factores ajenos al tamaño poblacional (factores ambientales) que condicionaron un incremento en la disponibilidad de este recurso a la flota palangrera.

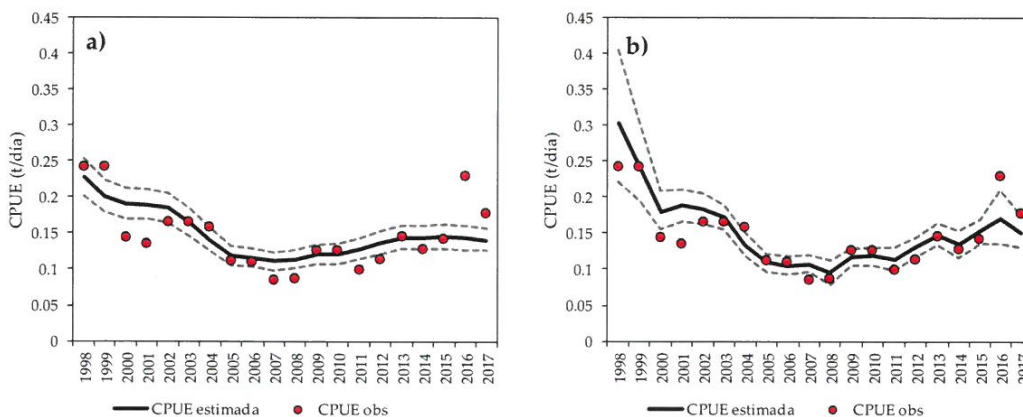


Figura 10. Ajuste del modelo de evaluación a) sin variable ambiental y b) con variable ambiental a la serie de CPUE (t/día) del bacalao de profundidad *Dissostichus eleginoides* durante el periodo 1998 – 2017

Los principales resultados obtenidos en esta evaluación son resumidos en la Tabla 3, donde la capacidad de carga (K) fue estimada en 1969,9 t observándose un leve incremento respecto de la anterior evaluación (IMARPE, 2018), pero manteniéndose dentro de los límites de credibilidad estimados. Respecto de la tasa de crecimiento poblacional (r) fue estimada en $0,33 \text{ año}^{-1}$, que, de forma similar a K, no varió significativamente de lo estimado en la evaluación anterior.

Tabla 3. Valores medios, desviación estándar e intervalos de credibilidad de los parámetros del modelo de evaluación para el bacalao de profundidad *Dissostichus eleginoides*

Parámetros	Media	S.D	Intervalo de credibilidad	
			0.025	0.975
K	1969.4	117.1	1758.8	2220.2
r	0.33	0.03	0.28	0.38
q	1.63E-04	1.66E-05	1.34E-04	1.99E-04
Deviance	-207.5	4.2	-213.7	-197.6

Uno de los puntos más resaltantes en la presente evaluación es la variación de la biomasa estimada; si bien es cierto que la tendencia de la misma se ha mantenido, la magnitud de los niveles de biomasa estimados a partir del 2013 muestra una estabilización (periodo con capturas de 160 t en promedio), pero a partir del 2016 presentó una leve reducción pasando de las 880 t aproximadamente a 834 t, para el inicio del año 2018 (Figura 11).

Asimismo, se puede observar que los límites de confianza estimados no presentan diferencia significativa con la biomasa necesaria para la obtención del Máximo Rendimiento Sostenible (ver tabla 4), lo cual muestra la incertidumbre existente sobre la situación actual del recurso.

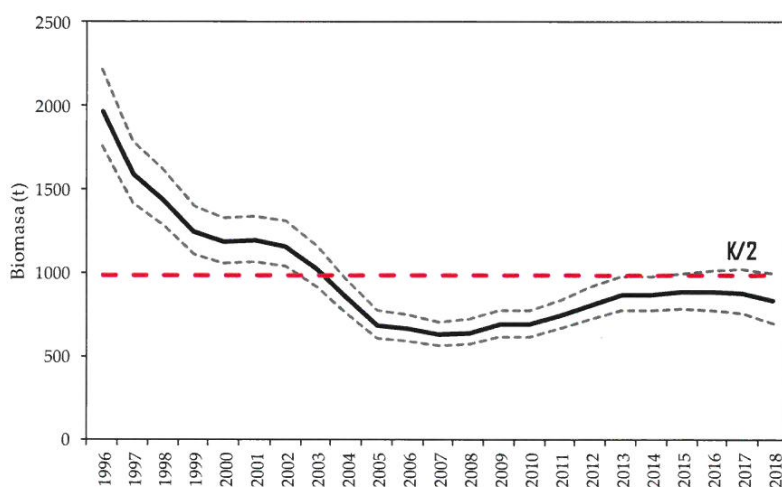


Figura 11. Variación de la biomasa estimada para el bacalao de profundidad *Dissostichus eleginoides* [Líneas punteadas de color negro representan los límites de credibilidad de las estimaciones de biomasa: K/2 (Biomasa al Máximo Rendimiento Sostenible)]

Los puntos biológicos de referencia estimados como el Máximo Rendimiento Sostenible (MRS), el esfuerzo de pesca al nivel del MRS y el nivel de biomasa para el MRS que se muestran en la Tabla 4, deben ser consideradas como puntos de referencia límite (Mace, 2001). Bajo esta situación, adicionalmente se estimaron puntos de referencia alternativos y de menor riesgo como el $F_{0.1}$ y el rendimiento a este nivel de pesca $Y_{0.1}$ que se encuentran plasmados en la Tabla 4.

Tabla 4. Media, desviación estándar y límites de credibilidad de los puntos de referencia derivados del modelo de evaluación poblacional para el bacalao de profundidad *Dissastichus eleginoides*

Parámetros	Media	S.D	Intervalo de credibilidad	
			0.025	0.975
MRS	162.7	7.0	148.3	176.1
E_{MRS}	1006.09	66.63	878.51	1139.66
F_{MRS}	0.17	0.01	0.14	0.19
$F_{0.1}$	0.15	0.01	0.13	0.17
$Y_{0.1}$	161.1	7.0	146.8	174.3
$2/3 F_{MRS}$	0.11	0.01	0.09	0.13
$Y_{2/3 F_{MRS}}$	144.6	6.3	131.8	156.5

Asimismo, se ha considerado el nivel de captura de $2/3 F_{MRS}$ (dos tercios de la mortalidad por pesca a nivel de MRS) (Caddy y Mahon, 1995), que se basa en el criterio de reducir significativamente el esfuerzo de pesca sin afectar significativamente el MRS, cuyo rendimiento promedio estimado equivale a 144,6 t.

3.8 CRITERIOS PARA LA ORDENACIÓN

3.8.1 CONTROL DE CAPTURAS

En la Figura 11 se muestran las proyecciones de biomasa a 10 años bajo diferentes niveles de captura, mostrando que los niveles de captura que permiten una explotación sostenible del recurso se encuentran por debajo del nivel del Máximo Rendimiento Sostenible (MRS); también se presentan puntos biológicos de referencia alternativos más conservadores que el MRS. Las proyecciones de biomasa se muestran variables, debido a la amplitud de los límites de confianza (error en la estimación de biomasa).

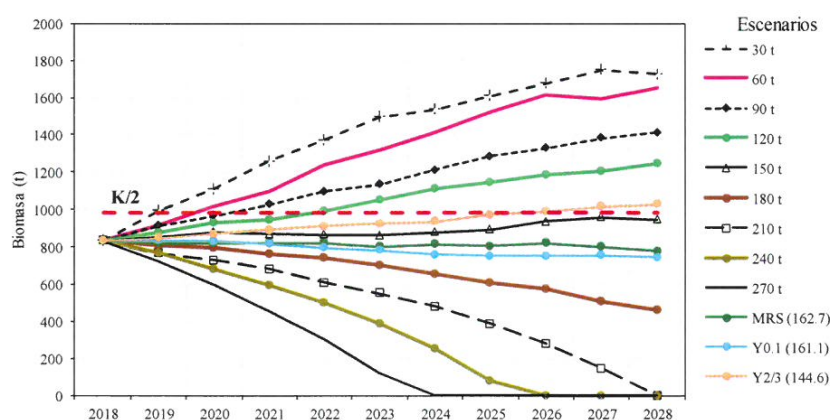


Figura 11. Variación de la biomasa media del bacalao de profundidad *Dissastichus eleginoides* bajo diferentes escenarios de explotación

Como esquema general sobre la estrategia de manejo del bacalao de profundidad en el mar peruano, se muestra la curva de rendimiento por esfuerzo de pesca, asumiendo las condiciones de equilibrio (modelo tipo Schaefer) en base a los parámetros estimados a través del modelo de evaluación (Figura 12). En ella, la mejor estrategia de

manejo se ubica al lado izquierdo de la parábola, la misma que es coherente con la tendencia mundial de adoptar un enfoque ecosistémico para el manejo de pesquerías, el mismo que promueve utilizar los rendimientos menores que el MRS y esfuerzos de pesca menores que el E_{MRS} .

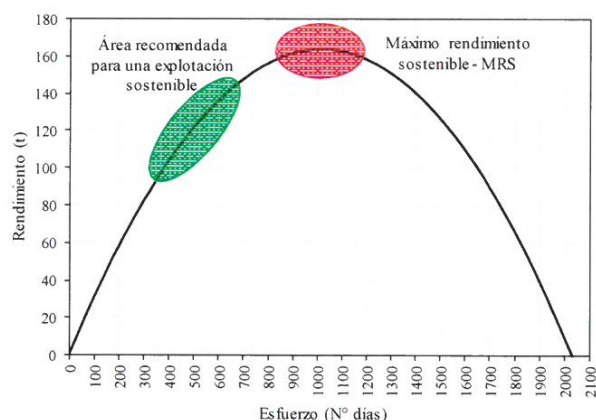


Figura 12. Curva de rendimiento (t) para el bacalao de profundidad *Dissostichus eleginoides* estimados a partir de los parámetros del modelo de evaluación utilizado. Los niveles seguros de rendimiento se ubican al lado izquierdo de la curva

3.8.1.1 Análisis de riesgo



Considerando el escenario actual, donde la biomasa inicial promedio estimada para el 2018 se encuentra ligeramente por debajo del $K/2$ (B_{MRS}), se realizó un análisis de riesgo a corto plazo (Figura 13) donde se expresa la probabilidad promedio de que la biomasa se encuentre por debajo del nivel de biomasa predecesora, considerándose en general que el asumir un riesgo por debajo del 50 % es lo más recomendado (Haddon, 2011).

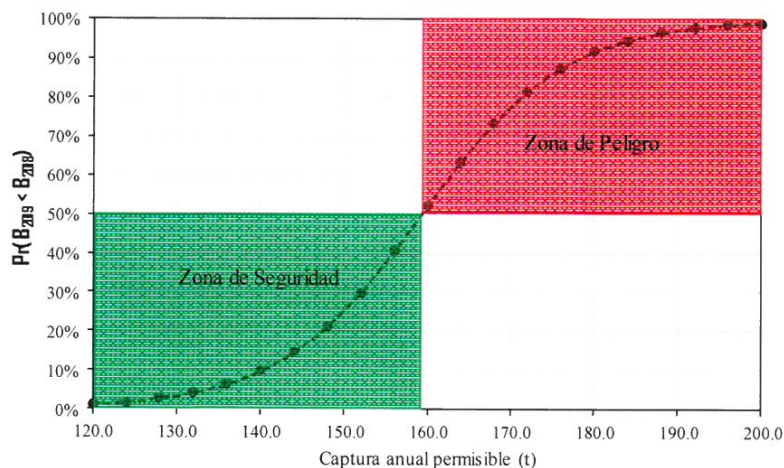


Figura 13. Análisis de riesgo para el bacalao de profundidad *Dissostichus eleginoides*. El riesgo es definido como la probabilidad de reducir la biomasa por debajo de la biomasa predecesora

Asimismo, en la Tabla 5 se muestra el análisis de riesgo en números, donde se consideran los niveles de captura que permiten una explotación sostenible.



Tabla 5. Análisis de riesgo a diferentes niveles de captura y la probabilidad de que la biomasa se encuentre por debajo de la biomasa inicial estimada para el 2018 (B_{2018})

Nivel de Captura (t)	1 año	
	Pr ($B_{2019} < B_{2018}$)	
0.0	0%	Rango de sostenibilidad
110.0	0%	
120.0	1%	
130.0	3%	
140.0	10%	
$2/3 F_{MRS}$ (144.6)	15%	
150.0	25%	
155.0	38%	
157.2	44%	
157.6	45%	
157.9	46%	
158.3	47%	
158.6	48%	
159.0	49%	
159.3	50%	
160.0	52%	
$F_{0.1}$ (161.1)	55%	
MRS (162.7)	60%	
170.0	78%	
200.0	99%	



R. GUEVARA

3.8.2 CONTROL DEL ESFUERZO

Adicionalmente, como método alternativo para el manejo de la pesquería, se determinó el esfuerzo óptimo que se debe de aplicar para que el recurso se mantenga en niveles sostenibilidad. Usualmente el esfuerzo se determina en número de embarcaciones, sin embargo, también existen unidades alternativas como los días totales de pesca. Un antecedente sobre este tipo de manejo en el Perú, es el manejo durante los primeros años de la pesquería del calamar gigante.

De acuerdo a la evaluación realizada en el presente informe, el nivel del Máximo Rendimiento Sostenible (MRS) se obtiene aplicando un esfuerzo aproximado de 1006 días totales de pesca (contabilizado desde el zarpe hasta el arribo de la embarcación). Asimismo, el nivel del esfuerzo al nivel de $F_{0.1}$ y $2/3 F_{MRS}$ (dos tercios de la mortalidad por pesca a nivel del MRS), sería equivalente a 905 días y 671 días totales de pesca respectivamente (Figura 14).



C. YAMASHIRO



V. BLASKOVIC

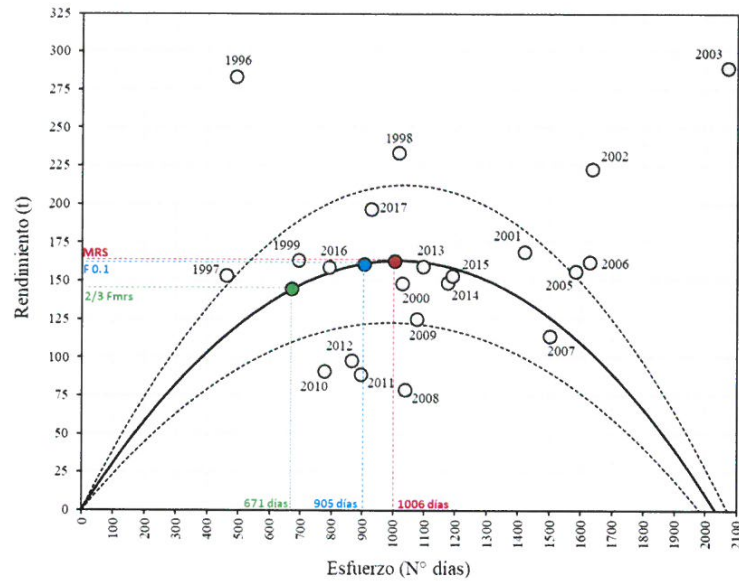


Figura 14. Curva de rendimiento (t) para el bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides*). En color verde se muestra el esfuerzo a los 2/3 del FMRS, en color azul el esfuerzo al F0.1, en color rojo el esfuerzo al MRS y en color gris el esfuerzo observado. Las líneas punteadas son los límites de confianza del modelo



Hay que considerar que este criterio supone que las embarcaciones y artes de pesca utilizadas en la extracción del bacalao de profundidad, mantienen similar diseño y eficiencia de captura al que existió durante el periodo analizado. Cualquier modificación sobre el arte o sobre la operatividad de la embarcación, deberá considerarse como un aumento efectivo del esfuerzo de pesca.

3.8.2.1 Análisis de riesgo

De forma análoga al análisis basado en capturas, se realizó un análisis de riesgo a corto plazo (Figura 15), considerándose en general que el asumir un riesgo por debajo del 50 % es lo más recomendado (Haddon, 2011).

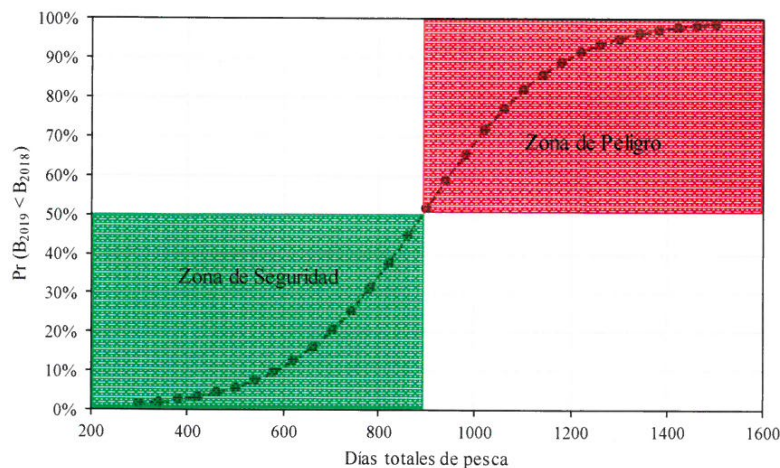


Figura 15. Análisis de riesgo (basado en el esfuerzo de pesca) para el bacalao de profundidad *Dissostichus eleginoides*. El riesgo es definido como la probabilidad de reducir la biomasa por debajo de la biomasa predecesora

La Tabla 6, muestra el análisis de riesgo en números, donde se consideran los niveles de días de pesca que permiten una explotación sostenible.

Tabla 6. Análisis de riesgo a diferentes niveles de esfuerzo de pesca y la probabilidad de que la biomasa se encuentre por debajo de la biomasa inicial estimada para el 2018 (B_{2018})

Nivel de Esfuerzo (días totales)	1 año Pr ($B_{2019} < B_{2018}$)
0	0%
640	14%
2/3 E_{MRS} (672)	17%
720	23%
760	28%
800	34%
810	36%
820	38%
830	39%
833	40%
840	41%
845	42%
851	43%
856	44%
862	45%
868	46%
873	47%
879	48%
884	49%
890	50%
E_{RUI} (894)	51%
900	52%
910	54%
920	55%
930	57%
E_{MRS} (947)	60%
1000	69%

Rango de sostenibilidad



4. DISCUSIÓN

Los resultados de la presente evaluación indicaron que la variación de la CPUE observada durante el periodo analizado está relacionada a variaciones ambientales (variación del índice Niño 1+2), que al parecer guarda relación con la disponibilidad del recurso, traduciéndose en un incremento de la CPUE observada durante el 2016 y 2017 (Figura 5). Asimismo, tomando en consideración las estructuras por tallas, este incremento podría estar asociado a la presencia de ejemplares "juveniles", producto del proceso de inmigración (Figura 6), y una posterior reducción a lo largo del año 2017. Es por ello que, al no evidenciar procesos reproductivos frente al litoral peruano, la renovación de la biomasa disponible estaría sujeta principalmente al proceso de inmigración de ejemplares juveniles (grupos de edad 8 y 9 años). En ese sentido, se ha observado que el ingreso de este grupo de individuos tiende a presentar una estacionalidad, con mayor intensidad entre las estaciones de primavera y verano (Figura 16).



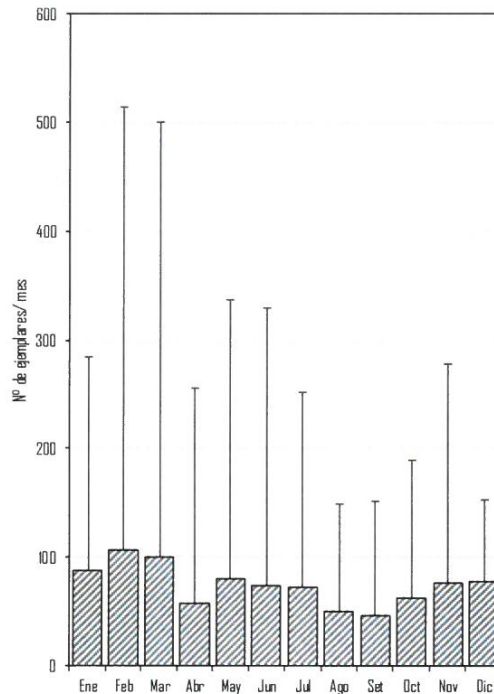


Figura 16. Variación estacional del índice de reclutamiento (Nº ejemplares/mes). (barras y los bigotes representan los valores promedios y máximos respectivamente)

Cabe resaltar que los altos rendimientos observados durante el año 2016 y primer trimestre del 2017 estuvieron sostenidos por el ingreso de juveniles, panorama que ha cambiado durante el segundo trimestre del 2017 cuando la presencia de este grupo ha disminuido, traduciéndose en una reducción de la CPUE (Figuras 5 y 6), conllevando a un incremento de la presión de pesca sobre los ejemplares más longevos.

La actual reducción del ingreso de este importante grupo, podría estar asociada a factores ambientales, sin embargo, hay que tener en cuenta que, tratándose de un proceso de inmigración, éste podría estar siendo afectado por la presión de pesca ejercida sobre este recurso en latitudes más australes, afectando la renovación del stock frente a Perú.

La biomasa disponible promedio estimada muestra que la población se encontraría a niveles todavía por debajo del $K/2$ (BMRS). Esta tendencia podría estar asociada al incremento en la presión pesquera (aumento de las capturas), y a la disminución del proceso de renovación (por inmigración), denotando que el recurso todavía no alcanza un nivel de sostenibilidad. Por ello, se presentan alternativas de manejo que permitirían aumentar los niveles de productividad, a través de un sistema basado en la regulación de capturas o del esfuerzo de pesca.

Debido al bajo conocimiento de la dinámica espacial de este recurso, se hace necesario reforzar la toma de información sobre los aspectos biológicos y ecológicos del mismo, a fin de disponer de información complementaria que permita dilucidar las incertidumbres sobre las cuales se realiza la evaluación, para lo cual se requiere una activa participación y colaboración de los usuarios directos de este recurso pesquero.

5. RECOMENDACIONES

- Se recomienda la implementación y aplicación de medidas de manejo que consideren un nivel de riesgo menor al 50%, ya sea mediante el control de capturas o del esfuerzo de pesca.

- Evaluar la necesidad de establecer algún mecanismo de conservación de los ejemplares “juveniles”.
- Establecer los mecanismos necesarios para que cuando el IMARPE lo requiera, se permita el embarque de un observador a bordo de la flota palangrera dedicada a la actividad extractiva de este recurso.
- Recomendar el uso de las bitácoras de pesca por parte de los armadores, a fin de continuar con la recopilación de información más detallada de los principales indicadores biológicos pesqueros de esta pesquería.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Arana, P. 2008. Pesquería del bacalao de profundidad: un caso especial entre las especies de aguas profundas. In: Curso sobre pesca en aguas profundas, Lambayeque, Perú. http://www.imarpe.gob.pe/paita/curso/Pesqueria_del_bacalao_de_profundidad.pdf
- Caddy J F, Mahon R. 1995. Reference points for fisheries management. FAO Fish Tech Pap. Roma: FAO. 83pp.
- Chavez F; Ryan J; Lluch-Cota S y Niquen M. 2003. From anchovies to sardines and back: Multidecadal change in the Pacific Ocean. Science Vol 299.
- ENFEN, 2012. Definición operacional de los eventos El niño y La Niña y sus magnitudes en la costa del Perú, Nota Técnica.
- Gulland J. A. 1971. Manual de Métodos para la Evaluación de las Poblaciones de Peces, FAO Man. Fish. Sci. FAO.
- Haddon M. 2011. Modelling and Quantitative Methods in Fisheries, Second Edition. USA: Chapman & Hall/CRC.
- Hilborn, R.; Walters, C. 1992. Quantitative fisheries stock assessment: Choice, dynamics, and uncertainty. Chapman and Hall, 570 pp.
- IMARPE, 2018. Estado de la pesquería del bacalao de profundidad *Dissostichus eleginoides* con proyección de captura al 2017. Informe interno. 13pp.
- Mace P. 2001. A new role for MSY in single-species and ecosystem approaches to fisheries stock assessment and management. Fish Fish. 2: 2-32.
- Meyer, R.; Millar, R.B. 1999. BUGS in Bayesian stock assessments. Can J Fish Aquat Sci. 56: 1078-1087.
- Millar, R.B.; Meyer, R. 2000. Non-linear state space modelling of fisheries biomass dynamics by using Metropolis-Hastings within-Gibbs sampling. J Roy Stat Soc Ser C (Appl Stat). 49: 327-342.
- Plummer M. 2003. JAGS: A program for analysis of Bayesian graphical models using Gibbs sampling. Proceedings of the 3rd International Workshop on Distributed Statistical Computing. Vienna, Austria.
- Roemmich D; Gilson J; Davis R; Sutton P; Wijffels S y Riser S. 2005. Decadal spinup of the south pacific subtropical gyre. Journal of physical oceanography. Vol 37.
- Schaefer M B. 1954. Some aspects of the dynamics of populations important to the management of the commercial marine fisheries. Bull Math Biol. 53: 253-279.
- Takahashi k; Mosquera K y Reupo J. 2014. El índice costero El Niño (ICEN): historia y actualización. Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenomeno El Niño". Vol I. Febrero del 2014.

Callao, diciembre de 2017



R. GUEVARA



C. YAMASHIRO



V. GERSKOVIC