

INDICADORES BIOLÓGICOS, PESQUEROS Y POBLACIONALES DE LA LISA *Mugil cephalus* (Linnaeus, 1758) EN EL LITORAL PERUANO

BIOLOGICAL, FISHERY, AND POPULATION INDICATORS OF THE FLATHEAD MULLET *Mugil cephalus* (Linnaeus, 1758) IN THE PERUVIAN COAST

Edgar Argumedo Guillén¹

Paul Tacuri Santisteban

Miguel Pérez-Huaripata

Gladis Castillo Mendoza

Maritza Saldarriaga Mendoza

Luis Lau Medrano

Jacqueline Palacios León

Renato Guevara-Carrasco

RESUMEN

ARGUMEDO E, TACURI P, PÉREZ-HUARIPATA M, CASTILLO G, SALDARRIAGA M, LAU L, PALACIOS J, GUEVARA-CARRASCO R. 2021. Indicadores biológicos, pesqueros y poblacionales de la lisa *Mugil cephalus* (Linnaeus, 1758) en el litoral peruano. *Inf Inst Mar Perú*. 48(4): 563-577.- Se determinaron algunos aspectos de la biología, pesquería y el uso de dos modelos de evaluación (CMSY y Dinámica de Biomasa) en la población de lisa, *Mugil cephalus* con base en información recolectada de los desembarques de la pesca artesanal en el litoral peruano durante 1950 al 2018. Los mayores desembarques de lisa se registraron en la zona norte con los artes de pesca de cortina y de cerco. Se determinó el índice gonadosomático (IGS) que mostró un patrón reproductivo definido, con un periodo de mayor intensidad en primavera. Las simulaciones realizadas con el método CMSY y el Modelo Dinámico de Biomasa, presentaron resultados similares, demostrando que la lisa *M. cephalus* se encuentra en un estado de plena explotación.

PALABRAS CLAVE: *Mugil cephalus*, lisa, biología, pesquería

ABSTRACT

ARGUMEDO E, TACURI P, PÉREZ-HUARIPATA M, CASTILLO G, SALDARRIAGA M, LAU L, PALACIOS J, GUEVARA-CARRASCO R. 2021. Biological, fishery, and population indicators of the flathead mullet *Mugil cephalus* (Linnaeus, 1758) in the Peruvian coast. *Inf Inst Mar Peru*. 48(4): 563-577.- Information from artisanal landings in the Peruvian coast between 1950-2018 was analyzed by applying two stock assessment methods (CMSY and Biomass Dynamics) to determine some aspects of the biology, fishery, and population status of the flathead mullet, *Mugil cephalus*. Its largest landings occurred in northern Peru and the most used fishing gears were the curtain net and purse seine. The gonadosomatic index (GSI) showed a defined reproductive pattern, with spring being the season when the higher intensity occurred. Simulations performed using the CMSY method and the Dynamic Biomass Model presented similar results. We conclude that the resource is fully exploited.

KEYWORDS: *Mugil cephalus*, biology, fisheries

1. INTRODUCCIÓN

Mugil cephalus (Linnaeus, 1758) es una especie perteneciente a la familia Mugilidae, comúnmente conocida como lisa, mujol, comebarro, cachambre o pardete. Su distribución espacial en la costa oeste de América abarca entre 42°N y 42°S, desde Bahía de San Francisco (EE. UU.) a Valdivia (Chile) e islas Galápagos (CHIRICHIGNO y CORNEJO, 2001). Así mismo, esta especie que forma cardúmenes a poca profundidad, es considerada cosmopolita (de zonas tropicales y subtropicales, bentopelágica, catádroma, de agua dulce y salobre) costera (habita en fondos arenosos, areno-fangosos, ríos, lagunas y estuarios) y de tipo eurihalina, pues tolera salinidades de 0 a 50 ups (HOTOS & VLAHOS, 1998).

En general, los mugílidos son catalogados como detritívoros, pues su alimentación se basa en partículas inorgánicas, detrito inorgánico y diatomeas con variaciones según el área (GONZÁLES-SANSÓN y ÁLVAREZ-LAJONCHERE, 1978). Así también, estudios en el Perú muestran que la lisa es una especie planctófaga, resaltando el componente zooplancton (VILLANUEVA, 2017).

Respecto al comportamiento reproductivo, este consiste en migraciones lejos de la costa para desovar en conjunto. Luego de ello, las larvas regresan a aguas poco profundas en la costa y al alcanzar tallas mayores de 5 cm LT y convertirse en juveniles, se movilizan a aguas más profundas (FAO, 2006).

¹ IMARPE, DGRDL, Área Funcional de Investigaciones de Peces Demersales, Bentónicos y Litorales. eargumedo@imarpe.gob.pe

La lisa sostiene una importante actividad pesquera artesanal en todo el litoral peruano, principalmente en la zona norte, siendo extraída mayormente con las artes de pesca de cerco y cortina (GONZÁLEZ, 2001). La creciente demanda para el consumo humano directo en fresco ha estimulado el desarrollo de su pesquería, que incrementa la presión de pesca, así como la preocupación por implementar medidas de ordenamiento y regulación pesquera. Entre las medidas de regulación establecidas para la extracción de este recurso, se considera la Talla Mínima de Captura (TMC) de 32 cm de longitud total, con tolerancia de 15% (R.M. N° 361-2019-PRODUCE).

El objetivo de este trabajo es dar a conocer algunos aspectos biológico-pesqueros de la especie y mostrar una primera aproximación sobre su estado poblacional y nivel de explotación, con la finalidad de aportar mayor conocimiento sobre el recurso y disponer de bases científicas para la elaboración de estrategias de manejo para su pesquería.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Información biológica

Los muestreos biométricos y biológicos de la lisa (*M. cephalus*) fueron realizados según lineamientos metodológicos adoptados para el seguimiento de las pesquerías a nivel nacional (ESPINO *et al.*, 1995). Particularmente, la información biológica utilizada para el presente análisis fue obtenida durante los muestreos biológicos provenientes de los principales puntos de desembarque del litoral peruano durante el periodo 2000–2018, a través del Programa de Seguimiento de las Pesquerías Demersales y Litorales.

Desembarques

El análisis de la variación de los niveles de desembarque fue realizado con base en las cifras oficiales del Ministerio de la Producción y la proveniente del Sistema de Captación de Información de la Pesca Artesanal del Instituto del Mar del Perú (IMARPE). Esta información, por su carácter desagregado, permitió realizar análisis más exhaustivos, contándose con datos por arte de pesca, viajes, lugar de desembarque, entre otros y, por lo tanto, fue la que se utilizó para analizar la variación de la proporcionalidad de los desembarques por regiones y artes de pesca.

Indicadores biológicos

El análisis y estimación de indicadores biológicos fue realizado con base en la información de muestreos biométricos y biológicos llevados a cabo en los principales lugares de desembarque a cargo del personal de los Laboratorios Costeros y Sede central del IMARPE. Dichos muestreos fueron realizados según lineamientos establecidos por ESPINO *et al.* (1995).

Para el análisis de la variación de la estructura por tallas de la lisa en los desembarques, se consideraron los muestreos biométricos efectuados en los principales lugares de desembarque. Esta información fue revisada y validada a niveles de región y arte de pesca, mediante el uso de análisis descriptivos. Posteriormente, se efectuó un proceso de ponderación progresiva por estratos o niveles según la siguiente descripción:

a) Ponderación por embarcación

$$fp_{e,l} = f_{abs_{e,l}} * \frac{p_{muestra_e}}{d_e}$$

Donde $fp_{e,l}$ es la frecuencia ponderada para la longitud l en la embarcación e ; $f_{abs_{e,l}}$ es la frecuencia absoluta; $p_{muestra_e}$ es el peso muestra (kg) y d_e es el desembarque total de la embarcación (kg).

b) Ponderación por arte de pesca/mes/región

$$facum_{(a,m,r,l)} = \sum fp_{(a,m,r,e,l)}$$

$$dma_{(a,m,r)} = \sum d_{a,m,r,e}$$

$$fpa_{(a,m,r,l)} = facum_{(a,m,l)} * \frac{dta_{(a,m,r)}}{dma_{(a,m,r)}}$$

Donde $facum_{(a,m,r,l)}$ es la sumatoria de las frecuencias ponderadas para la longitud l de las embarcaciones muestreadas con arte de pesca a durante el mes m en la región r ; $dma_{(a,m,r)}$ es el acumulativo del desembarque de las embarcaciones muestreadas por arte de pesca a durante el mes m en la región r y $dta_{(a,m,r)}$ es el desembarque total registrado por arte de pesca a durante el mes m en la región r .

Adicionalmente se estimó el Factor de Condición (FC) para conocer la condición o grado de bienestar del pez (FROESE, 2006) mediante la ecuación de Fulton (NASH *et al.*, 2006) y el Índice gonadosomático (IGS) que es la relación entre el peso de la gónada y el eviscerado. Los cálculos se realizaron siguiendo lo descrito por BUITRÓN *et al.* (2011).

Talla de primera madurez - TPM

La TPM, es un parámetro biológico que representa el 50% de probabilidad de observar un individuo maduro CUBILLOS (2005). Los criterios considerados para su estimación siguieron la metodología propuesta por BUITRÓN *et al.* (2011). Así mismo, desde el punto de vista reproductivo, un pez maduro se define como aquel cuyas gónadas están desarrolladas, es decir, en el caso de las hembras presentan ovocitos maduros (con vitelo) y en machos, espermatozoides (Perea y Sánchez, comunicación personal). Es importante destacar que, para estimar este parámetro biológico, se consideró trabajar sobre la información disponible de hembras, debido a que el aspecto reproductivo se encuentra estrechamente relacionado con la dinámica de esta componente de la población.

La aplicación de esta metodología consistió en los siguientes pasos:

- Garantizar, en lo posible, la cobertura de un amplio rango de tallas, desde ejemplares pequeños hasta grandes.
- Identificar los principales picos de desove, para lo cual se analizó la variación temporal del IGS.
- Categorizar las hembras en dos subgrupos: inmaduras, aquellas que presentaron estadios de madurez gonadal I (inmaduro) y II (juvenil) y el grupo de maduras que estuvo compuesto por los estadios III (madurante inicial) y IV (madurante medio). No se consideró los demás estadios de madurez debido a que el objetivo de este análisis fue identificar la talla de transición entre inmaduros y maduros.
- Aplicación del modelo logístico de madurez sexual.

La modelación del estadio de madurez sexual del pez fue realizado a través del análisis de regresión logística donde la probabilidad que un individuo se encuentre maduro sigue una distribución del tipo *Bernoulli* (DOLL & LAUER, 2013)

Indicadores del stock

Para la Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) se trabajó con información diaria de desembarque y esfuerzo de pesca de la flota artesanal frente al litoral peruano durante el periodo 1996–2018, para las artes de cortina y cerco y de los lugares de desembarque monitoreados con más frecuencia. Se tuvo en cuenta las embarcaciones que registraron desembarques de lisa por un periodo igual o mayor a cinco años, con la finalidad de disminuir la incertidumbre acerca de la direccionalidad de la actividad pesquera sobre el recurso.

Se estandarizó la CPUE aplicando un Modelo Lineal Generalizado (GLM, por sus siglas en inglés) y se consideró las variables año, mes, tipo de embarcación (asociado a la capacidad de bodega), número de tripulantes, región (como *proxy* de zonas de pesca) y “*target*” (definido como la relación entre la captura de lisa y la captura total de la embarcación). Esta última variable compensa la baja especificidad de las artes de pesca consideradas en este análisis, permitiendo incluir información respecto de la disponibilidad del recurso en la zona de pesca. La formulación del modelo fue:

$$\log(CPUE) = \text{factor}(\text{Año}) + \text{factor}(\text{Mes}) + \text{factor}(\text{Tipo}) + N^{\circ} \text{ tripulantes} + \text{factor}(\text{Región}) + \text{Target}$$

Se asumió una distribución de CPUE del tipo log-normal y el modelo fue implementado en el lenguaje R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2018).

Evaluación de stock

1. Método CMSY

La estimación del Máximo Rendimiento Sostenible (MRS) se realizó a través del método propuesto por FROESE *et al.* (2017). Esta metodología, denominada CMSY (por sus siglas en inglés Catch-MSY), utiliza como entrada

las capturas y el conocimiento *a priori* sobre la resiliencia del recurso. Este método se basa en el Análisis de reducción del stock propuesto por KIMURA & TAGART (1982) y KIMURA *et al.* (1984), utilizando el modelo de producción de SCHAEFER (1954) como base para la estimación de la biomasa anual para un conjunto dado de r y K : parámetros de tasa de crecimiento y capacidad de carga, respectivamente en el modelo de Schaefer.

Para la aplicación de este método se consideró a la lisa como un recurso de resiliencia media, con un valor de r variable entre 0,2 y 0,8 (FROESE & PAULY, 2019).

2. Modelo Dinámico de Biomasa

Se usó el Modelo Dinámico de Biomasa bajo el enfoque de espacio de estados (*State-Space Models*) permitiendo incluir el error de proceso y de observación en la modelación (MEYER & MILLAR, 1999; MILLAR & MEYER, 2000). Este modelo presenta dos componentes:

Ecuación de observación: está dada por la modelación de la variación de la CPUE y establecida de la siguiente forma:

$$CPUE_{j,a} = q_a B_j + \tau_{j,a}$$

Donde $CPUE_{j,a}$ representa el valor de CPUE para el arte de pesca a en el año j ; B_j es el vector de estado representado por la biomasa en el año j ; q_a es el vínculo entre CPUE (observación) y la biomasa (estado) para el arte de pesca a y, $\tau_{j,a}$ representa el ruido (error) de observación en el año j y el arte de pesca a .

Ecuación de estado: la biomasa representa el estado de nuestro modelo, el cual fue expresado como:

$$B_j = B_{j-1} + g(B_{j-1}) - C_{j-1} + \sigma_j$$

Donde C_{j-1} es la captura en el año anterior a j ; σ_j representa el error de proceso y $g(B_{j-1})$ es la función de producción de tipo SCHAEFER (1954) y representada de la siguiente forma:

$$g(B_{j-1}) = r * B_j \left(1 - \frac{B_{j-1}}{K} \right)$$

Siendo r la tasa de crecimiento poblacional y K la capacidad de carga del ambiente.

En la implementación del modelo, se realizó la re-parametrización $P_j = \frac{B_j}{K}$ según lo propuesto por MILLAR & MEYER (2000), con la finalidad de acelerar el remuestreo en las simulaciones.

De esta forma, las ecuaciones de observación y de estado fueron reescritas de la siguiente forma:

$$CPUE_j | P_j, q, \tau^2 = qKP_j e^{v_j}; j = 1, \dots, N$$

$$P_1 | \sigma^2 = e^{u_1} \quad P_j | P_{j-1}, K, r, \sigma^2 = \left(P_{j-1} + rP_{j-1} (1 - P_{j-1}) - \frac{C_{j-1}}{K} \right) e^{u_j}; j = 2, \dots, N$$

Donde μ_t y v_t son el error de proceso y de observación, respectivamente y N es el número total de años a ser analizada.

Ajuste del Modelo Dinámico de Biomasa: el ajuste del modelo fue realizado a través del programa JAGS (*Just Another Gibbs Sampler*), herramienta diseñada especialmente para análisis bayesiano, el cual utiliza el método de Monte Carlo basado en Cadenas de Markov (MCMC) (PLUMMER, 2003).

El enfoque bayesiano en este tipo de análisis permite incorporar información disponible en la literatura y la información obtenida a través de la experiencia de otras investigaciones (conocimiento *a priori*) (PUNT & HILBORN, 1997). En este caso, los parámetros del modelo fueron obtenidos de la Base de datos del FishBase (FROESE & PAULY, 2019) (Tabla 1).

Se realizaron tres series o cadenas de 1.000.000 de simulaciones cada una, de las cuales se descartaron las primeras 900.000 como periodo de "calentamiento o burning". Para probar la convergencia y la ausencia de autocorrelación de las cadenas de simulaciones, se utilizó el paquete "coda" del programa estadístico R. Para caracterizar la distribución *posteriori* de los parámetros se realizó un remuestreo seleccionando un valor de cada diez simulaciones.

Tabla 1.- Distribución a priori de los parámetros del Modelo Dinámico de Biomasa para *M. cephalus*

Parámetro	Símbolo	Distribución <i>priori</i>
Capacidad de carga	K	uniforme (máx.(captura), 5*máx.(captura))
Tasa de crecimiento poblacional	r	Log-normal (0,51, 100) I (0,34, 0,77)
Coeficiente de capturabilidad	$q_{cartina}$	dnorm (0, 10) I (0,1)
Coeficiente de capturabilidad	q_{cerco}	dnorm (0, 10) I (0,1)
Error de proceso	σ^2	Gamma-inv (0,001, 0,001)
Proporción entre B/K	P_j	Log-normal (P_{obs} , σ^2)
Captura por unidad de esfuerzo	U_j	Log-normal (U_{obs} , τ^2)

Producto del ajuste del Modelo Dinámico de Biomasa se obtienen los puntos biológicos de referencia para el Máximo Rendimiento Sostenible (MRS). Para el modelo empleado el nivel de biomasa que genera el MRS es

$$B_{MRS} = \frac{K}{2}$$

El mismo que corresponde a una mortalidad por pesca (F_{MRS}):

$$F_{MRS} = r/2$$

Asociándose al valor del máximo rendimiento sostenible (MRS):

$$MRS = \frac{r * K}{4}$$

Asimismo, fueron considerados otros puntos de referencia basados en el criterio de reducir significativamente el esfuerzo de pesca sin afectar al MRS, dentro de los cuales se tiene: $F_{0,1}$: en el manejo pesquero, el valor de F es la pendiente de la curva de rendimiento es una décima parte de su valor cerca al origen.

En condiciones de equilibrio, la estimación de este punto biológico de referencia (PBR) es:

$$F_{0,1} = 0,9 * r/2$$

$F_{2/3F_{MRS}}$: considerado como una medida más conservadora y fue estimada como:

$$F_{2/3MRS} = \frac{2}{3} F_{MRS}$$

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Desembarques

Los desembarques de lisa, según la información oficial del Ministerio de la Producción, muestran que esta pesquería antes de la década de 1970 era desarrollada de manera incipiente, con valores bajos de desembarque, en promedio de 1.000 t al año. Durante la década de 1970, los niveles de desembarque mostraron rápido incremento hasta 1979, luego de ese periodo, los niveles de desembarque presentaron estabilización, variando alrededor de 17.000 t, considerándolo como periodo de plena explotación (Fig. 1).

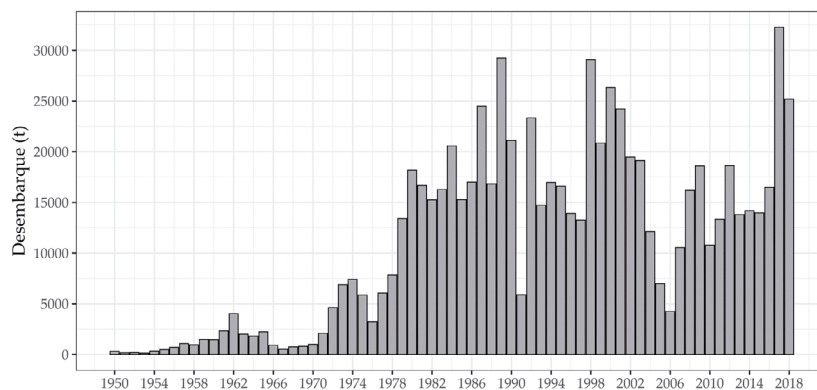


Figura 1.- Desembarques anuales (t) de *Mugil cephalus* en el litoral peruano (1950-2017). Fuente: PRODUCE

En 1991 se observó baja producción del recurso, posiblemente debido a los efectos de la epidemia producida en el verano de ese año a causa del *Vibrio cholerae*, atribuida al consumo de pescado, especialmente de lisa (GÓMEZ *et al.*, 1995).

Durante el periodo 1996–2018, los mayores desembarques se obtuvieron con el uso de las artes de pesca de cerco y cortina agallera. Desde 1996, la mayor proporción fueron atribuidos al cerco, situación que en años más recientes ha cambiado, observándose el incremento paulatino del arte de pesca de cortina agallera desde el 2010 (Fig. 2).

El desembarque de lisa es realizado a lo largo del litoral peruano, resaltando las Regiones de Piura (~40%) y Lambayeque (~27%). Es importante mencionar el incremento de los desembarques en la Región La Libertad en años más recientes (a partir del 2010) que representan aproximadamente el 18% del volumen total de

desembarques registrados en el litoral peruano (Fig. 3).

Estructura por tallas

La estructura por talla en las capturas de lisa, han mantenido su valor promedio en valores inferiores a la Talla Mínima de Captura (TMC) que es 32 cm de LT (R.M. N° 361-2019-PRODUCE) hasta el 2012. Durante el periodo 1991–1994 se obtuvieron los mayores valores estimados de talla media (Fig. 4). Asimismo, en el periodo 2012–2018, la variación de la talla media ha oscilado alrededor de los 32 cm de LT.

El análisis latitudinal de la talla media mostró estratificación por tamaños, donde ejemplares mayores se encontraron en regiones ubicadas al norte (valores medios mayores a la TMC) y los menores al sur, similar a lo descrito por GÓMEZ *et al.* (1995). No se observó, sin embargo, diferencia significativa entre los valores medios por tipo de arte (cerco y cortina) (Fig. 5).

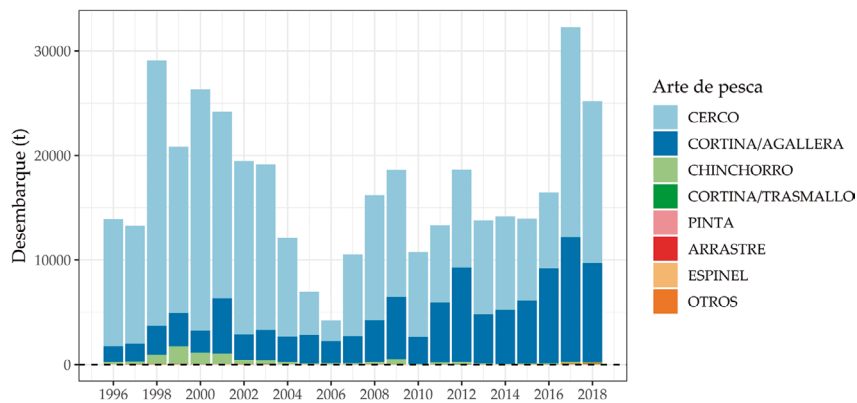


Figura 2.- Desembarques anuales (t) de *Mugil cephalus* en función de artes de pesca durante el periodo 1996-2018. Fuente: IMARPE

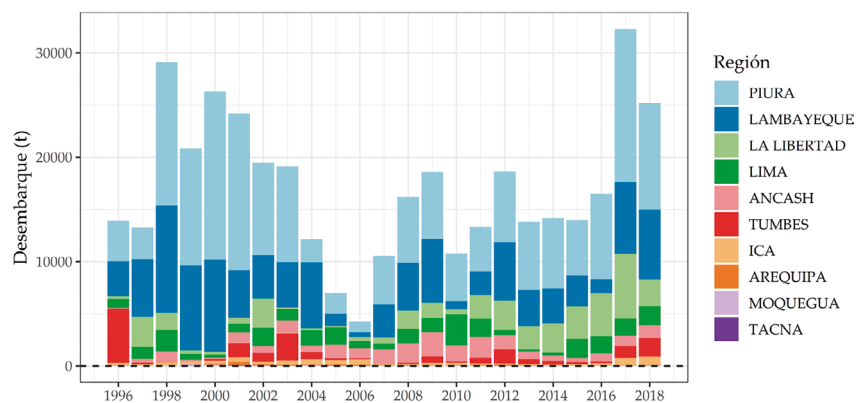


Figura 3.- Desembarques (t) de *Mugil cephalus* según regiones del litoral peruano durante el periodo 1996 – 2018

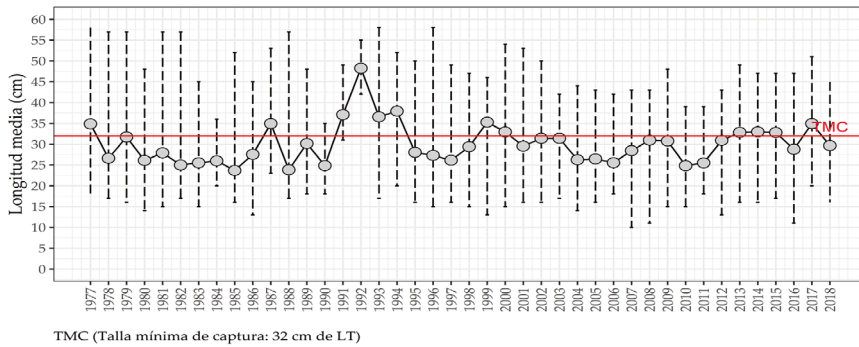


Figura 4.- Variación de la talla media anual de *Mugil cephalus* en las capturas durante el periodo 1977–2018 (Líneas discontinuas indican valores máximos y mínimos observados: línea roja continua indica TMC en 32 cm LT)

TMC (Talla mínima de captura: 32 cm de LT)

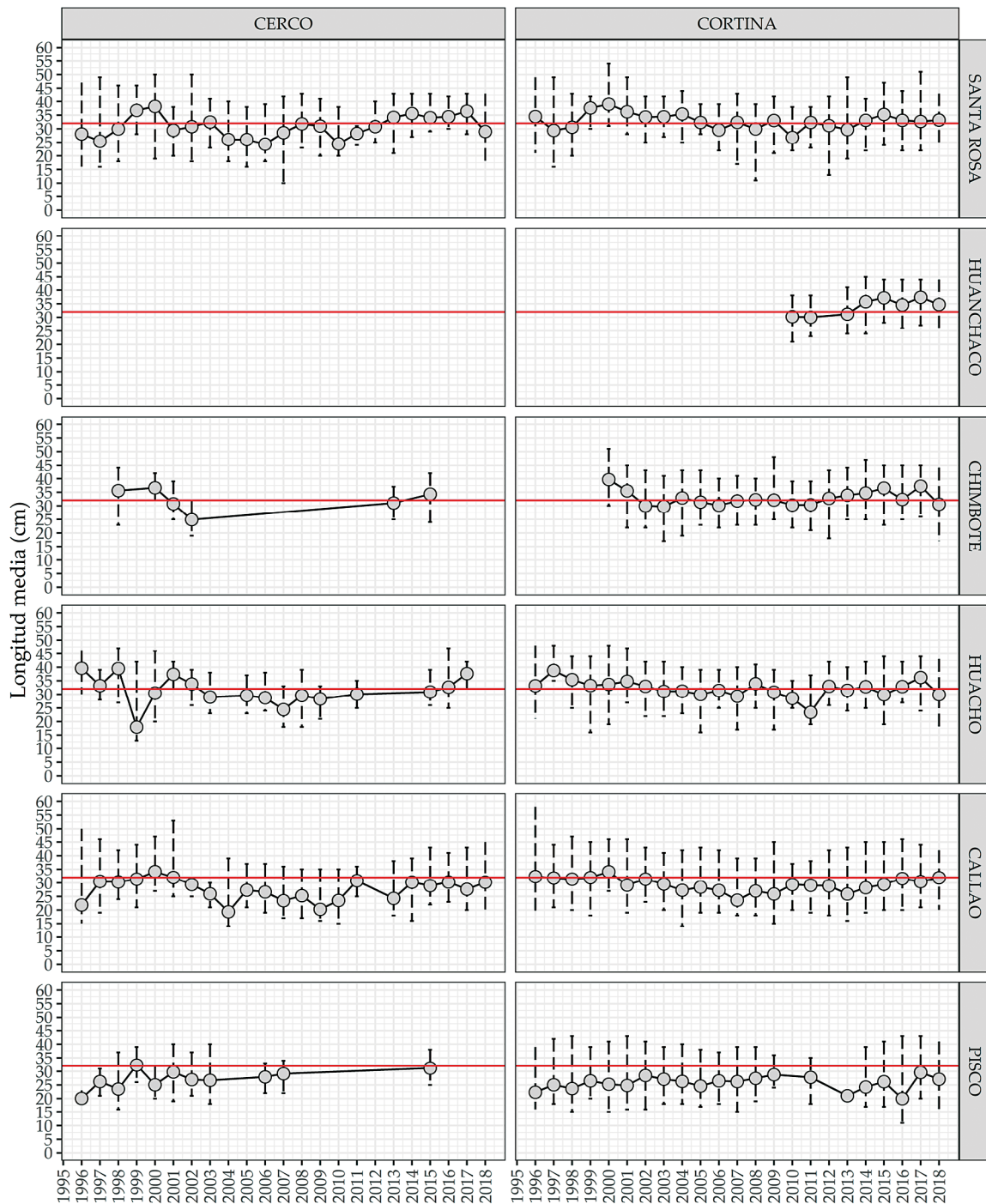


Figura 5.- Variación de la talla media anual de *Mugil cephalus* en los desembarques por áreas de pesca durante el periodo 1996 – 2018 (Línea roja continua representa la Talla Mínima de Captura)

Factor de condición

El Factor de Condición (FC) mostró que los mayores valores correspondieron a las Regiones de Lambayeque y Áncash, se observó que presentan tendencia negativa a partir del 2003 y 2006 en ambas Regiones, respectivamente, en comparación con el FC obtenidos en las regiones de Lima e Ica (Fig. 6) que mostraron comportamiento diferenciado, sin tendencia aparente. Las diferencias observadas entre Regiones pueden deberse a varios factores que van desde la alimentación, estacionalidad hasta

el proceso reproductivo (FROESE, 2006). En este caso, las diferencias observadas se encuentran relacionadas a la estratificación latitudinal, siendo la zona norte el área donde los ejemplares capturados tiene el FC más alto.

Índice Gonadosomático

El ciclo reproductivo de la lisa presenta un patrón con dos periodos definidos: el primero, de menor intensidad, durante verano-otoño y el segundo, de mayor intensidad, durante primavera (GÓMEZ *et al.*, 1995; GONZÁLEZ, 2001) (Fig. 7).

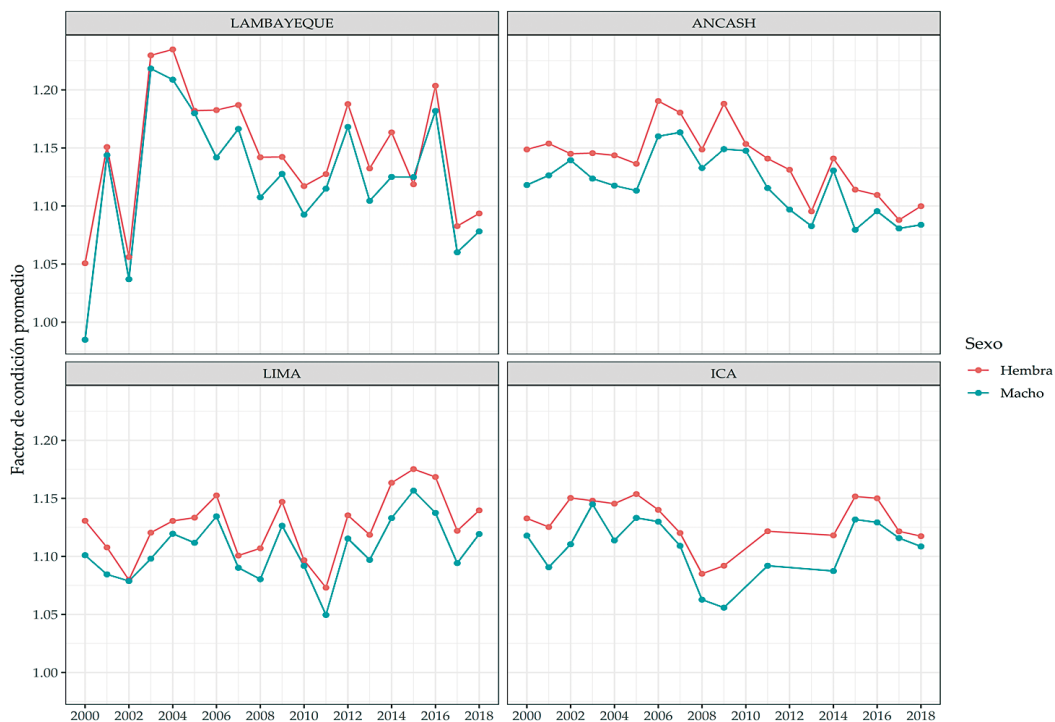


Figura 6.- Factor de condición de *Mugil cephalus* por regiones de pesca y según sexo durante el periodo 2000 – 2018

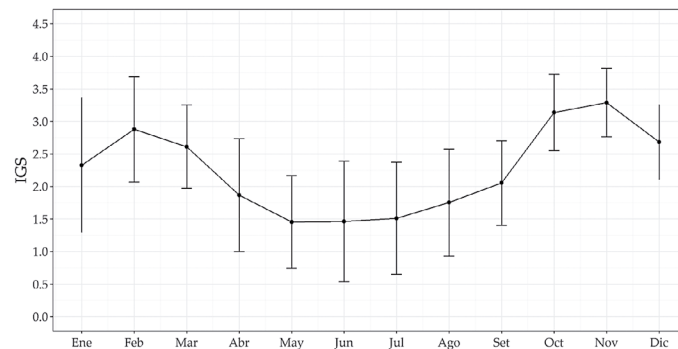


Figura 7.- Variación mensual del Índice Gonadosomático de *Mugil cephalus* durante el periodo 2000–2018

Talla de primera madurez

GÓMEZ *et al.* (1995) estimaron la talla de primera madurez en 29 cm. De forma similar, en el presente estudio este parámetro biológico fue estimado en 30 cm (Fig. 8), con intervalos de credibilidad al 95%, de 28,91 a 31,04 cm para el periodo 2001-2018.

La edad correspondiente a la talla de primera madurez estimada con base en los parámetros de crecimiento considerados en el presente análisis, muestran que la lisa alcanza su primera madurez entre los 2 y 3 años.

Estandarización de la CPUE

Respecto al análisis realizado por arte de pesca, la CPUE estandarizada en la cortina agallera mostró tendencias claras de subidas y bajadas; asimismo, durante el periodo 1997-2001 el valor de la CPUE estandarizada fue mayor que la CPUE nominal (Fig. 9). En el caso del cerco, se observó mayor incertidumbre (mayor variación, con tendencia menos marcada) en comparación a lo estimado para la cortina agallera, en parte porque presentó altos niveles de desembarque y poca información asociada al poder de pesca, permitiendo que el modelo estime mayor incertidumbre sobre los resultados (Fig. 10).

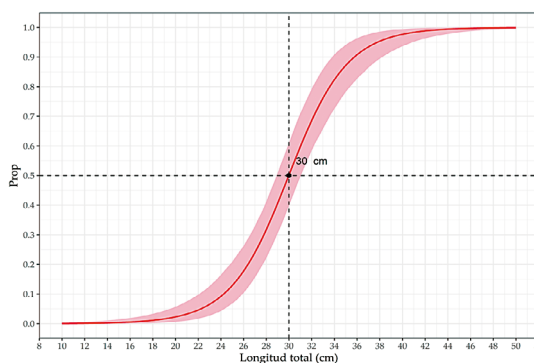


Figura 8.- Curva logística de madurez sexual de *Mugil cephalus* para el periodo 2001 – 2018

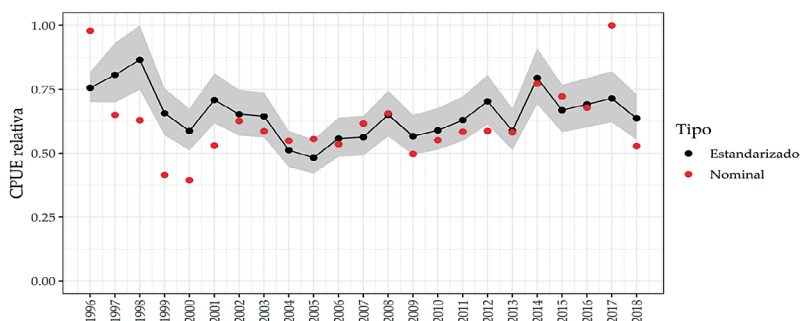


Figura 9.- Variación de la CPUE estandarizada & CPUE nominal de *Mugil cephalus* para el arte de pesca de cortina agallera durante el periodo 1996 – 2018

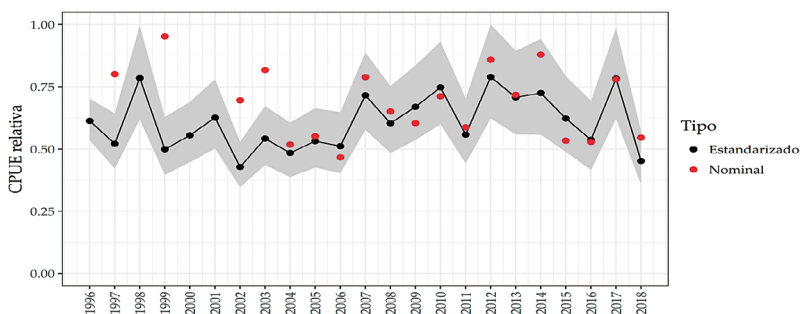


Figura 10.- Variación de la CPUE estandarizada & CPUE nominal de *Mugil cephalus* para el arte de pesca de cerco durante el periodo 1996–2018

Evaluación de stock

1. Método CMSY

Los parámetros poblacionales estimados por el método CMSY se muestran en la Tabla 2, donde el valor de r fue estimado en 0,63, superior a lo considerado como valor *a priori* (0,51), el valor de K asociado fue estimado en 122.000 t y el MRS obtuvo una estimación promedio de 19.100 t. Puntos biológicos de referencia en la Tabla 3.

Los resultados del modelo CMSY de FROESE *et al.* (2017), mostraron que los valores de captura registrados durante los últimos 40 años se han mantenido en promedio al nivel del MRS, situación que se ve reflejada en la variación de la biomasa relativa, según el cual, el stock de lisa se mantiene en niveles de biomasa equiparables al necesario para alcanzar el MRS (B_{MRS}). Los estimados de la tasa relativa de explotación, muestran que esta pesquería ejerce una presión de pesca equiparable a la tasa de explotación para alcanzar el máximo rendimiento sostenible (F_{MRS}).

Tabla 2.- Parámetros biológicos de *Mugil cephalus* obtenidos a través del método CMSY con valores medios e intervalos de credibilidad al 95%

Parámetros	Media	Unidad	Intervalos de credibilidad	
			2,50%	97,50%
r	0,627	año ⁻¹	0,517	0,759
K	122	10 ³ t	15,8	23,1
B/K	0,627		0,387	0,697

Tabla 3.- Puntos biológicos de referencia de *Mugil cephalus* obtenidos a través del método CMSY con valores medios e intervalos de credibilidad al 95%

Puntos biológicos de Referencia	Media	Unidad	Intervalos de credibilidad	
			2,50%	97,50%
MRS	19,1	10 ³ t	15,8	23,1
B_{MRS}	61,0	10 ³ t	45,7	81,5
B_{2018}	76,5	10 ³ t	47,3	85,1
F_{MRS}	0,313	año ⁻¹	0,258	0,380
F_{2018}	0,22	año ⁻¹	0,198	0,357
B/B_{MRS}	1,25		0,775	1,39
F/F_{MRS}	0,703		0,632	1,14

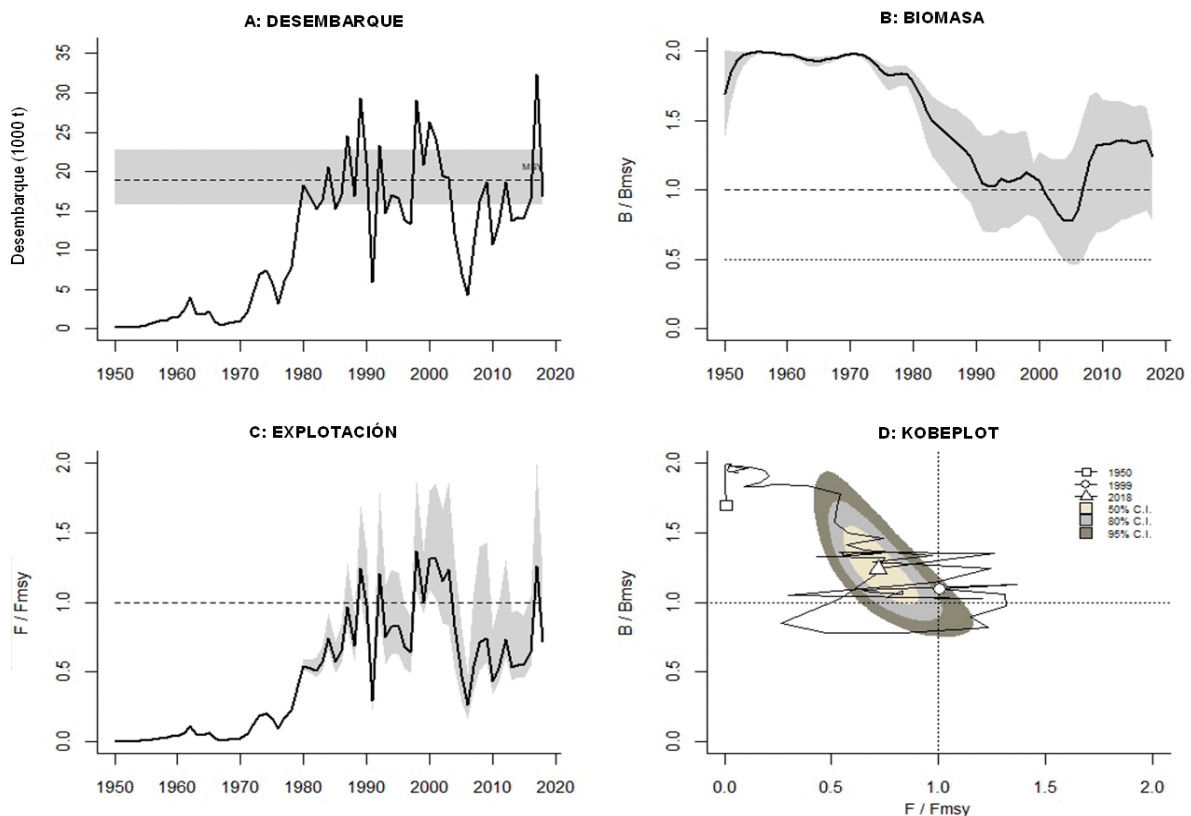


Figura 11.- Panel A: Desembarques con el máximo rendimiento sostenible (MRS) y sus intervalos de credibilidad (línea punteada en negro y banda gris). Panel B: Biomasa (B) con respecto a la Biomasa del máximo rendimiento sostenible (B_{MRS}). Panel C: Mortalidad por pesca (F) con respecto a la mortalidad por pesca del máximo rendimiento sostenible (F_{MRS}). Panel D: Diagrama de Kobe

La relación entre la biomasa relativa y la tasa de explotación relativa, (*Kobe plot*) indica que la pesquería de lisa ha pasado las diversas situaciones de explotación y para el último año evaluado se encontraría en una situación saludable, pero la incertidumbre a un nivel de 95% de confianza no evidencia diferencia significativa con otros escenarios. Esta situación es comúnmente observada en poblaciones que se encuentran en niveles de plena explotación (Fig. 11).

Modelo Dinámico de Biomasa

Este modelo representó adecuadamente la variación de la CPUE estandarizada para el arte de pesca de cortina, pero no ocurrió lo mismo para el arte de cerco (Fig. 12). Esto debido a la alta variabilidad asociada a la CPUE obtenida para este último arte de pesca. Por otro lado, se

consideró la inclusión del índice Niño 1+2 para explicar la variabilidad de las CPUE; no obstante, debido a que no se encontró una relación directa entre la CPUE y esta variable a escala anual, no fue incluida en el presente análisis. Sin embargo, existen referencias sobre la relación captura-temperatura superficial del mar, la que estaría asociada a la estacionalidad en la disponibilidad del recurso, que se incrementa durante la época de verano (ANGULO y ALVITRES, 2007; CIPRA y VENEROS, 2013). Mientras que eventos extremos como El Niño 1997-98, al parecer no impactan significativamente sobre la pesquería de la lisa (TRESIERRA-AGUILAR *et al.*, 1999).

Los parámetros poblacionales estimados por el Modelo Dinámico de Biomasa presentaron una distribución de tipo normal y los valores se indican en la Tabla 4.

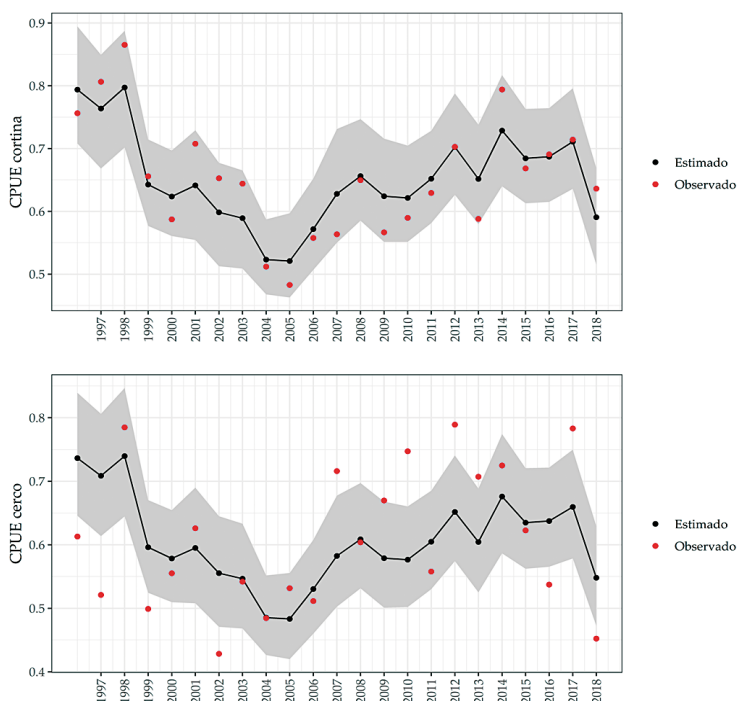


Figura 12.- Comparación entre la CPUE estimada por el Modelo Dinámico de Biomasa (línea y puntos negros) y las estimaciones CPUE estandarizadas para las artes de pesca de cortina y cerco (círculos rojos) entre 1996-2018. La banda gris, representa los límites de confiabilidad al 95%

Tabla 4.- Parámetros poblacionales obtenidos por del Modelo Dinámico de Biomasa para *Mugil cephalus*

Parámetros	Media	Unidad	S.D.	Intervalos de credibilidad	
				2,50%	97,50%
<i>K</i>	129678	t	9321	111577	147723
<i>r</i>	0,611	año ⁻¹	0,044	0,522	0,690
<i>q_{cortina}</i>	6,87E-06	día ⁻¹	7,38E-07	5,63E-06	8,56E-06
<i>q_{cerco}</i>	6,38E-06	día ⁻¹	7,17E-07	5,17E-06	7,95E-06

La biomasa media estimada para el inicio del 2019 mostró un leve incremento respecto al estimado para el 2018, debido a la disminución de los niveles de captura durante ese año. La biomasa media estimada se encontró por encima de la biomasa para el MRS (B_{MRS}), aunque la incertidumbre asociada mostró sobreposición respecto de los intervalos de credibilidad entre biomasa estimada y B_{MRS} (Fig. 13), denotando que no hay diferencia significativa entre los niveles de biomasa estimados para los últimos años evaluados y la B_{MRS} . Por otro lado, la mortalidad por pesca (F) después del incremento durante el 2017, relacionado al alto valor de desembarque registrado, disminuyó considerablemente, manteniendo su valor por debajo del F_{MRS} que, de forma similar, presenta una leve sobreposición entre sus intervalos de credibilidad. En este sentido, los resultados de la evaluación a través del Modelo Dinámico de Biomasa dan a entender que el stock de lisa en el litoral peruano se encuentra en situación de explotación plena.

El estado del stock se determinó considerando dos indicadores: (i) la relación entre la biomasa actual y la biomasa a nivel de MRS (B_{MRS}) y (ii) la relación entre la mortalidad por pesca actual y la mortalidad por pesca correspondiente al MRS (F_{MRS}) (Tabla 5). En ambos indicadores se observó que el stock de *M. cephalus* se encuentra en un nivel de plena explotación.

El diagrama Kobe obtenido de la simulación con el Modelo Dinámico de Biomasa mostró que la situación actual de la población de lisa se ubica en la zona verde, zona deseable e indicadora de una población saludable (Fig. 14).

El MRS y la Mortalidad por Pesca a nivel de MRS (F_{MRS}) deben considerarse como puntos de referencia límite (CADDY & MAHON, 1995; MACE, 2001), debido a las debilidades de los supuestos que genera la estimación de estos Puntos de Referencia. En este contexto, se ha estimado otro punto biológico de referencia alternativo y de menor riesgo como el $F_{0,1}$ y el rendimiento a este nivel de pesca $Y_{0,1}$ (Tabla 6).

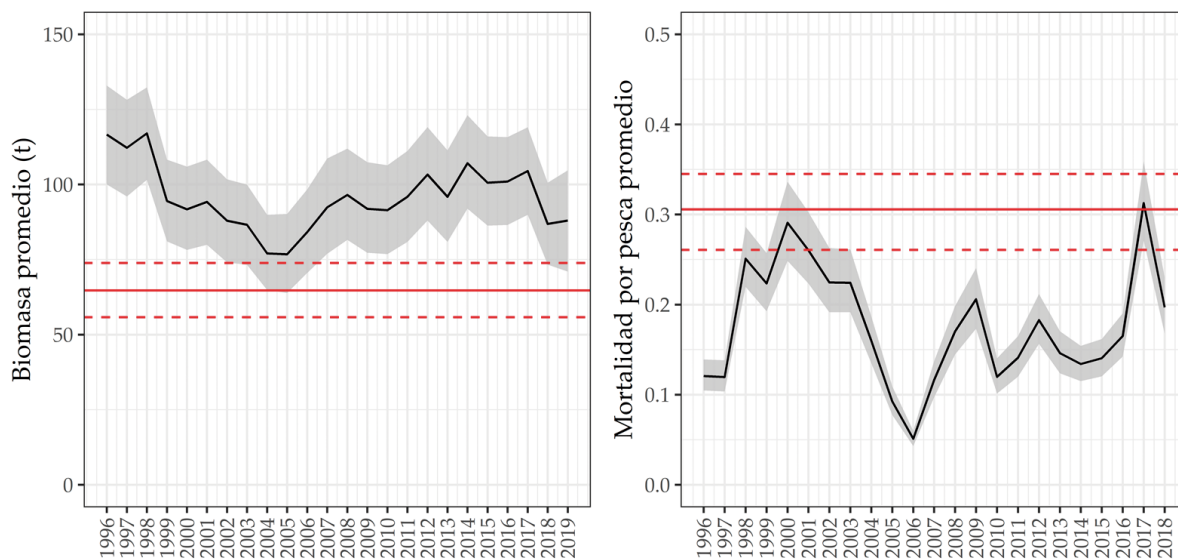


Figura 13.- Biomasa media y mortalidad por pesca (F) estimadas a través del Modelo Dinámico de Biomasa para *Mugil cephalus*. Líneas rojas continuas y discontinuas representan el valor promedio e intervalos de credibilidad para el B_{MRS} ($K/2$) y el F_{MRS} , respectivamente

Tabla 5.- Indicadores derivados del Modelo Dinámico de Biomasa para *Mugil cephalus*

Indicadores	Media	S.D.	Intervalos de credibilidad	
			2,50%	97,50%
B_{act}/B_{MRS}	1,354	0,163	1,051	1,706
F_{act}/F_{MRS}	0,648	0,091	0,495	0,851

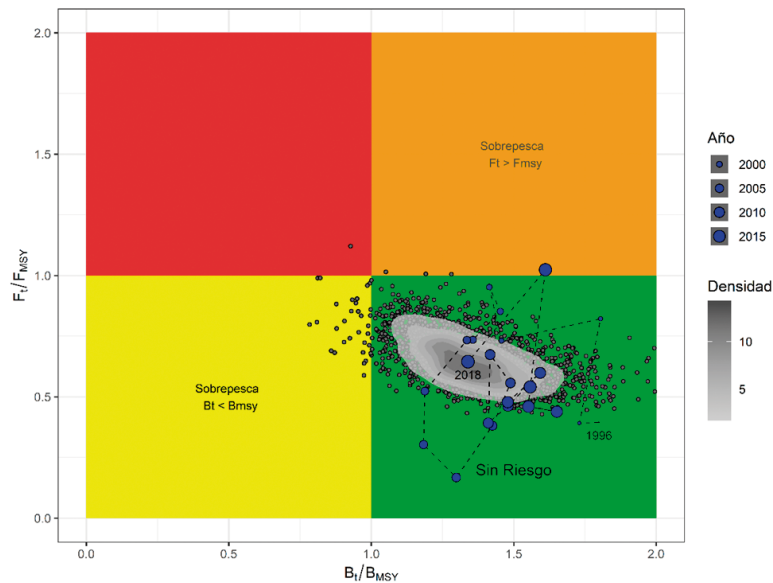


Figura 14.- Diagrama Kobe de las estimaciones del tamaño de la población y la mortalidad por pesca en relación con sus puntos de referencia de MRS para la pesquería de *Mugil cephalus*. La incertidumbre asociada a la aplicación del Modelo Dinámico de Biomasa está representada con puntos de color negro y su densidad en áreas de color gris. Periodo 1996-2018

Tabla 6.- Puntos biológicos de referencia derivados del Modelo Dinámico de Biomasa para *Mugil cephalus*

Puntos biológicos de Referencia	Media	Unidad	S.D.	Intervalos de credibilidad	
				2,50%	97,50%
MRS	19789	t	1776	16389	23447
B _{MRS}	64839	t	4660	55788	73862
F _{MRS}	46617	año ⁻¹	5800	35921	58301
F _{0,1}	0,306	año ⁻¹	0,022	0,261	0,345
Y _{0,1}	19591	año ⁻¹	1759	16225	23213

Se ha considerado otro punto biológico de referencia: la captura a nivel de $2/3 F_{MRS}$ (dos tercios de la mortalidad por pesca a nivel de MRS) que se basa en un criterio arbitrario, de reducir significativamente el esfuerzo de pesca sin afectar significativamente el MRS (CADDY & MAHON, 1995). En este caso, el rendimiento anual considerando este punto biológico de referencia alternativo equivale a 17.590 toneladas, valor que se aproxima al valor promedio de desembarque registrado durante los últimos años.

Comparando los resultados obtenidos a través del CMSY y el Modelo Dinámico de Biomasa, se observó que ambos modelos presentaron resultados similares tanto en tendencia como en magnitud. Ambos métodos trabajan sobre un modelo de producción tipo Schaefer, pero con supuestos particulares para cada situación.

En el caso del CMSY, este método considera como forzante a la media móvil de la captura; asimismo, se parametriza la situación del stock bajo un supuesto del tamaño relativo del stock, basándose en el conocimiento experto, además de considerar que la captura es una secuencia de rendimientos producidos por la biomasa disponible (es decir que la captura es un *proxi* de la abundancia del *stock*). Por otro lado, para el Modelo Dinámico de Biomasa se considera la captura total obtenida instantáneamente durante un periodo de tiempo (cada año) y la limitación de la dependencia de los niveles de captura como índice de abundancia a través del uso de la CPUE.

En general, los resultados mostraron que *M. cephalus*, se encuentra en un estado de plena explotación, con niveles de captura cercanas al MRS.

4. CONCLUSIONES

Los mayores desembarques son registrados en las Regiones de Piura, Lambayeque y La Libertad.

La cortina y el cerco son las principales artes de pesca empleados para la captura de lisa.

La lisa presenta estratificación latitudinal por tallas, con ejemplares grandes al norte y menores al sur.

La lisa presenta un patrón reproductivo bien definido, con dos periodos reproductivos, el primero durante verano-otoño y el segundo, de mayor intensidad, en primavera.

La talla de primera madurez de lisa *Mugil cephalus* es de 29,99 cm LT.

El stock de lisa frente al litoral peruano en encuentra en niveles de plena explotación.

Agradecimientos

Los autores quieren expresar su agradecimiento a todos los integrantes del Sistema de Captación de Información de la Pesca Artesanal del Instituto del Mar del Perú. A las Blgas. Carmen Yamashiro Guinoza y Verónica Blasckovic' Huayta, por sus aportes y comentarios. A la Dra. Sandra Cahuín por la revisión de la presente publicación.

5. REFERENCIAS

- ANGULO E, ALVITRES V. 2007. Impacto del ciclo "El Niño" Oscilación Sur 2002 - 2007 sobre la pesquería y biología de *Mugil cephalus* "lisa" en la región Lambayeque, Perú. Rev. Univ. Cat. St. Toribio Mogrovejo. 3: 3-13.
- BARDACH J, RYTHER J, McLARNEY W. 1986. Acuicultura, crianza y cultivo de organismos marinos y de agua dulce. AGT Editor, México.
- BUITRÓN B, PEREA A, MORI J, SÁNCHEZ J, ROQUE C. 2011. Protocolo para estudios sobre el proceso reproductivo de peces pelágicos y demersales. Inf Inst Mar Perú. 38: 373-384.
- CADDY J, MAHON R. 1995. Reference points for fisheries management. FAO Fish. Tech. Pap. 347: 1-83.
- CHIRICHIGNO N, VÉLEZ J. 1998. Clave para identificar los peces marinos del Perú, Segunda Edición. Instituto del Mar del Perú, Callao.
- CHIRICHIGNO N, CORNEJO R. 2001. Catálogo comentado de los peces marinos del Perú. Pub. Esp. Inf Inst Mar Perú. 314 pp.
- CIPRA C, VENEROS B. 2013. Pesquería Artesanal de *Mugil cephalus* "lisa" en Puerto Salaverry, del 2008 al 2011. Rebiol. 33: 1-23.
- CUBILLOS, L. 2005. Biología Pesquera y Evaluación de Stock. Laboratorio de Poblaciones Marinas y Análisis de Pesquerías, Departamento de Oceanografía, UDEC, Concepción, Chile. 198 p.
- DOLL J, LAUER T. 2013. Bayesian Estimation of age and length at 50% maturity. Trans. Am. Fish. Soc. 142(4): 1012-1024. Taylor & Francis. doi: 10.1080/00028487.2013.793615
- ESPINO M, YAMASHIRO C, FERNÁNDEZ F, CÁRDENAS G. 1995. Aspectos metodológicos relacionados con el análisis de las pesquerías y sus recursos (Guía para el seguimiento de la pesquerías). Inf Inst Mar Perú. (111,112,113, 114): 3-34.
- FAO. 2006. Cultured Aquatic Species Information Programs *Mugil cephalus*. Cultured Aquatic Species Fact Sheets. [WWW Document]. 10 p.
- FROESE R. 2006. Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. J. Appl. Ichthyol. 22: 241-253. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2006.00805.x>
- FROESE R, DEMIREL N, CORO G, KLEISNER K, WINKER H. 2017. Estimating fisheries reference points from catch and resilience. Fish Fish. 18: 506-526. <https://doi.org/10.1111/faf.12190>
- FROESE R, PAULY D. 2019. FishBase [WWW Document]. World Wide Web Electron. Publ.
- GÓMEZ E, PAREDES F, CHIPOLINI A. 1995. Aspectos biológico-pesqueros de la lisa *Mugil cephalus* en el litoral peruano. Inf Inst Mar Perú. 108: 5-25.
- GONZÁLEZ Y A. 2001. Contribución al conocimiento pesquero y biológico de cinco peces costeros de importancia comercial en el Perú: cabinza, lisa, lorna, machete y pejerrey. Período 1996-2000. Inf Prog Inst Mar Perú. 136: 3-46.
- GONZÁLES-SANSÓN G, ÁLVAREZ-LAJONCHERE L. 1978. Alimentación natural de *Mugil liza*, *M. curema*, *M. trichodon* y *M. hospes* (Pisces, Mugilidae) en las lagunas costeras de Tunas de Zaza, Cuba. Ciencias Ser. 8 Invest. Mar. 41: 1-40.
- HOTOS G, VLAHOS N. 1998. Salinity tolerance of *Mugil cephalus* and *Chelon labrosus* (Pisces: Mugilidae) fry in experimental conditions. Aquaculture 167: 329-338. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00314-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00314-7)
- IMARPE. 2019. Estimación de la talla mínima de captura del recurso lisa *Mugil cephalus*. Informe. Of. 635-2019-IMARPE/DEC. 9pp
- KIMURA D, TAGART J. 1982. Stock Reduction Analysis, Another Solution to the Catch Equations. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 39: 1467-1472. <https://doi.org/10.1139/f82-198>
- KIMURA D, BALSIGER J, ITO D. 1984. Generalized Stock Reduction Analysis. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 41: 1325-1333. <https://doi.org/10.1139/f84-162>

- 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. <https://doi.org/10.1046/j.1467-2979.2001.00033.x>
- MARTELL S, FROESE R. 2013. A simple method for estimating MSY from catch and resilience. *Fish Fish.* 14: 504–514. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2012.00485.x>
- MEYER R, MILLAR R. 1999. BUGS in Bayesian stock assessments. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 56: 1078–1087.
- MILLAR R, MEYER R. 2000. Non-Linear State Space Modelling of Fisheries Biomass Dynamics by Using Metropolis-Hastings within-Gibbs Sampling. *J. R. Stat. Soc.* 49: 327–342.
- NASH R, VALENCIA A, GEFFEN A. 2006. The origin of Fulton's condition factor - Setting the record straight. *Fisheries.* 31: 236–238.
- PLUMMER M. 2003. JAGS: A Program for Analysis of Bayesian Graphical Models using Gibbs Sampling. *Proceedings of the 3rd Int. Work. on Distrib. Stat. Comput. (DSC 2003 Working papers)* 125. 8 pp.
- PRODUCE. 2019. Resolución Ministerial. R.M. N° 361-2019-PRODUCE: 4 pp.
- PUNT A, HILBORN R. 1997. Fisheries stock assessment and decision analysis: the Bayesian approach. *Rev. Fish Biol. Fish.* 7: 35–63. <https://doi.org/10.1023/A:1018419207494>
- R CORE TEAM. 2018. R: A language and environment for statistical computing. <http://oceanrep.geomar.de/33076/>
- SCHAEFER M. 1954. Some aspects of the dynamics of populations important to the management of the commercial marine fisheries. *Bull. Math. Biol.* 53: 253–279.
- TRESIERRA-AGUILAR A, CULQUICHICÓN Z, VENEROS-URBINA B. 1999. Efecto del fenómeno “El Niño 1997-98” en el desembarque de los recursos pesqueros artesanales de Puerto Salaverry (Trujillo), en: Tarazona, J., Castillo, E. (Eds.), *El Niño 1997-98 y su Impacto sobre los Ecosistemas Marino y Terrestre*. Revista peruana de Biología, Lima, Perú: 160–163.
- VILLANUEVA B. 2017. Alimento y hábitos alimentarios de *Mugil cephalus* “lisa” en la Región La Libertad durante el año 2016. Tesis para optar el título de biólogo pesquero. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Trujillo. 58 pp.