



Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnología
CARRERA DE BIOLOGÍA

Trabajo de titulación

Modalidad Artículo Académico

Tema:

Edad y crecimiento de la caballa verde, *Decapterus macarellus* (Cuvier, 1833) en el Pacífico ecuatoriano

Autores:

Delgado Mero Carlos Eduardo
Zamora Delgado Odalys Gabriela

Tutor:

Blgo. Jesús Briones-Mendoza PhD.

Período

2023 (2) - 2024

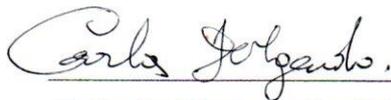
Declaración de autoría

Nosotros, **Delgado Mero Carlos Eduardo y Zamora Delgado Odalys Gabriela** declaramos que hemos contribuido a la realización del trabajo de titulación bajo la modalidad de Artículo Académico previo a la obtención del título de Biólogo (a), con tema: **Edad y crecimiento de la caballa verde, *Decapterus macarellus* (Cuvier, 1833) en el Pacífico ecuatoriano.**

Hemos revisado la versión final del manuscrito y aprobamos su presentación para publicación. También garantizamos que este trabajo es original, no ha sido publicado previamente y no está bajo consideración para su publicación en otro lugar.

Además, declaramos que no tenemos conflictos de interés en relación con este trabajo.

Firmas:



Delgado Mero Carlos Eduardo
C.I 135017327-2



Zamora Delgado Odalys Gabriela
C.I 131685453-6

Manta, Manabí, Ecuador

Viernes, 23 de agosto del 2024

 Uleam UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A).	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1 Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnologías de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría del estudiante **Delgado Mero Carlos Eduardo**, legalmente matriculado en la carrera de Biología, período académico 2024-2025, cumpliendo el total de **384** horas, cuyo tema del proyecto es "**Edad y crecimiento de la caballa verde, *Decapterus macarellus* (Cuvier, 1833) en el Pacífico ecuatoriano**".

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 29 de julio de 2024.

Lo certifico,


Blgo. Jesús Humberto Briones Mendoza, PhD
Docente Tutor
Área: Pesquería



FACULTA CIENCIAS DE LA VIDA Y TECNOLOGÍAS
CARRERA BIOLOGÍA

Modalidad de Artículo Académico

Edad y crecimiento de la caballa verde, *Decapterus macarellus* (Cuvier, 1833) en el Pacífico ecuatoriano

Autores:

Delgado Mero Carlos Eduardo & Zamora Delgado Odalys Gabriela

Dra. Dolores Muñoz Verduga, Ph.D.
Presidente del Tribunal de Titulación

Dra. Maribel Carrera Fernández, Ph.D.
Miembro Tribunal de Titulación

Blg. Klever Mendoza Nieto, Ph.D.
Miembro Tribunal de Titulación

Manta, Manabí, Ecuador

14 de febrero del 2025

EDAD Y CRECIMIENTO DE LA CABALLA VERDE, *Decapterus macarellus* (CUVIER, 1833) EN EL PACÍFICO ECUATORIANO

Delgado-Mero Carlos¹; Zamora-Delgado Odalys¹

¹Carrera de Biología, Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnologías, Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, Ciudadela Universitaria vía San Mateo, Manta, Manabí, Ecuador, 130214.

Correo: delgado828@gmail.com, odalyszd05@gmail.com

Resumen:

La caballa verde (*Decapterus macarellus*) es un pez que juega un papel crucial en las pesquerías de diversas regiones tropicales y subtropicales. En la presente investigación se estimó la edad y el crecimiento mediante el conteo de los anillos en los otolitos de 250 muestras. Se encontraron en un rango de tallas entre 18 y 45.2 cm de longitud total (LT), con una proporción sexual de machos y hembras de 1:1.23. Los machos presentaron LT entre 18 y 37.4 cm (25.77 ± 3.99 , $n = 112$) mientras que las hembras se encontraron entre 18 y 45.2 cm LT (27.06 ± 4.74 , $n = 138$). El modelo que mejor se ajustó a los datos fue el de Von Bertalanffy teniendo como resultado los siguientes parámetros de crecimiento: $L_{\infty} = 45.43$ cm LT, $K = 0.32$ años para machos y $L_{\infty} = 45.94$ cm LT, $K = 0.32$ años para hembras.

Palabras claves: caballa, localidad, pacífico, peso, talla

AGE AND GROWTH OF THE GREEN MACKEREL, *Decapterus macarellus* (CUVIER, 1833) IN THE ECUADORIAN PACIFIC

Abstract:

Green mackerel (*Decapterus macarellus*) is a fish that plays a crucial role in fisheries across various tropical and subtropical regions. This research estimated age and growth by counting rings in the otoliths of 250 samples. Fish were found in a size range of 18 to 45.2 cm total length (TL), with a sex ratio of males to females of 1:1.23. Males ranged in TL from 18 to 37.4 cm (25.77 ± 3.99 , $n=112$), while females ranged from 18 to 45.2 cm TL (27.06 ± 4.74 , $n=138$). The Von Bertalanffy model best fit the data, yielding the following growth parameters: $L_{\infty} = 45.43$ cm TL, $K = 0.32$ years for males and $L_{\infty} = 45.94$ cm TL, $K = 0.32$ years for females.

Key words: mackerel, locality, pacific, weight, size

1. INTRODUCCIÓN

La caballa, *Decapterus macarellus* (Cuvier, 1833) conocida localmente como caballa verde, se encuentra ampliamente distribuida en el Atlántico occidental: Nueva Escocia, Canadá y Bermudas hasta aproximadamente Río de Janeiro, Brasil (Floeter et al., 2003). Atlántico oriental: Santa Elena, Ascensión, Cabo Verde y Golfo de Guinea; Azores y Madeira (Smith-Vaniz & Carpenter, 2007). Océano Índico: Mar Rojo, Golfo de Adén, Seychelles, Mascareñas, Sudáfrica y Sri Lanka (Smith-Vaniz & Carpenter, 2007). Pacífico Oriental: Golfo de California e Isla Revillagigedo hasta Ecuador (WF, 1995). Pasa su vida entre dos hábitats marinos (Silooy et al., 2021), estos incluyen los arrecifes de coral y el océano abierto, por lo que se clasifican como “peces pelágicos costeros” (Mehar et al., 2023), prefieren aguas oceánicas claras alrededor de las islas, y ocasionalmente se encuentran cerca de la superficie, a profundidades de entre 40 y 200 m (Silooy et al., 2021).

La caballa tiene una forma alargada y cilíndrica, su cuerpo y su aleta dorsal son azulados a verdes (Fig.1). La longitud común es de unos 30 cm, siendo la longitud máxima registrada 46 cm, no hay diferencias en el crecimiento entre machos y hembras (Prado & Béarez, 2004). Activo durante el día y la noche, la temperatura preferida del “scad” es de 13 a 28 °C (Ramlochan, 2016).



Figura 1. Caballa verde (*Decapterus macarellus*) (Cuvier, 1833).

Se alimentan principalmente de zooplancton, aunque en su dieta también incluyen crustáceos y peces pequeños (WF, 1995), generalmente se ven como cardúmenes que se mueven rápidamente a lo largo de los bordes del arrecife cerca de aguas profundas (Kuitert & Tonozuka, 2001), su importancia comercial emana de su dominio en las capturas con redes de cerco y arrastre de pequeños pelágicos (Smith-Vaniz, 1999). Además, su menor tamaño en comparación con otros “scads” lo hace relativamente más barato y, por lo tanto, fácilmente accesible para la mayoría de la población local a lo largo de la costa (Sululu et al., 2022).

1.1 IMPORTANCIA DE LOS ESTUDIOS DE EDAD Y CRECIMIENTO

Los estudios sobre edad y crecimiento de peces resultan cruciales para la evaluación de la pesca y la elaboración de modelos de dinámica poblacional, ya sea en regiones tropicales o en cualquier otro lugar (Márquez et al., 2020). La conexión entre la edad

y el crecimiento, junto con la abundancia, se emplea con frecuencia para calcular la producción íctica, convirtiéndose así en elementos fundamentales en la gestión o manejo de las pesquerías (Morales-Nin, 1992; Pascual, 1996; Pauly, 1983).

Es importante conocer la edad en la que una especie alcanza la longitud adecuada para la pesca y su reclutamiento a la pesquería, así como el crecimiento, mortalidad y otros parámetros fundamentales de una población, para la aplicación en la regulación pesquera (Tresierra & Culquichicón, 1993). La edad puede determinarse a partir de las marcas de crecimiento presentes en algunas estructuras duras, como escamas, otolitos, vértebras, espinas y radios (Holden & Raitt, 1975).

Dichos estudios y conocimientos son esenciales para la generación de información valiosa sobre reclutamiento, longevidad, mortalidad y estructura de la población, todos los cuales pueden utilizarse para garantizar la explotación adecuada de una población (Sululu et al., 2022).

1.2 MÉTODO PARA DETERMINAR LA EDAD Y SU RELACIÓN CON EL CRECIMIENTO

Método anatómico

Por enumeración de las marcas rítmicas de crecimiento formadas en los tejidos duros, tales como escamas, otolitos vértebras y espinas (Morales-Nin, 1992).

En lo que se refiere a los otolitos de los peces óseos son complejos cuerpos policristalinos que actúan como órganos del equilibrio en el oído interno (Carlstrom, 1963; Gauldie et al., 1990). Los otolitos están compuestos principalmente de carbonato cálcico cristalizado en forma de aragonito y de una proteína fibrosa, otolina, del tipo del colágeno (Degens et al., 1969; Gutiérrez et al., 1986). Estos otolitos cristalinos son translucidos y sin marcas de crecimiento definidas (Morales-Nin, 1987). Estos crecen en capas concéntricas a lo largo del tiempo, de manera similar a los anillos de crecimiento de los árboles (Morales-Nin, 1992; Popper et al., 2005). Cada capa de otolito corresponde a un período de tiempo, generalmente un año (Morales-Nin, 1987; Rodríguez Mendoza, 2006). Por lo tanto, al contar las capas de otolitos se puede estimar la edad del pez, algo similar que con las escamas.

1.3 ESTIMACIÓN DE LA EDAD DE LOS PECES ÓSEOS

Los otolitos son estructuras ubicadas en la cavidad del oído interno de todos los peces teleósteos (Bravo-Delgado et al., 2023; Morales-Nin, 1987). Están aislados dentro de una membrana semipermeable y bañados en un líquido endolinfático (Rodríguez Mendoza, 2006). Estas estructuras sirven como órgano de equilibrio y también ayudan en la audición (Campana & Thorrold, 2001; Campana, 1999).

El patrón del otolito se compone de varias conchas concéntricas con diferentes radios (Morales-Nin, 1984). Dependiendo de la cantidad de material orgánico en cada concha o zona, su apariencia variará desde extremadamente opaca hasta completamente hialina (transparente) (Morales-Nin, 1992; Villamor et al., 2020). La primera zona es el núcleo del otolito, las zonas opacas en los otolitos se

formandurante el período de mayor crecimiento y la zona hialina generalmente se establece durante el período de crecimiento más lento, estas zonas también se denominan anillos (Morales-Nin, 1978, 1992).

Existen 3 pares de otolitos (*Lapillus*, *Asteriscus* y *Sagitta*).

Lapillus: Se encuentran en peces, aves y mamíferos, presenta forma oval. El margen superior tiene bordes ligeramente rugosos, mientras que el margen interno es liso (Dubox et al., 2023; Wright et al., 2002) (Fig. 2A).

Asteriscus: Se encuentran en algunos peces, incluidos los osteoglossiformes, presenta forma auricular, es translúcido y el más pequeño de los tres otolitos. La cara interna está orientada hacia el eje central del cráneo (Dubox et al., 2023; Wright et al., 2002) (Fig. 2B).

Sagitta: Tiene una forma distintiva que se asemeja a una flecha o una gota alargada, es más grande en comparación con los otros tipos de otolitos, la parte central es más ancha, mientras que los extremos son más estrechos, lo que contribuye a su forma alargada (Dubox et al., 2023; Popper & Coombs, 1980).

La superficie del otolito puede ser lisa o tener surcos y crestas, dependiendo de la especie (Dubox et al., 2023; Morales-Nin, 1992) (Fig. 2C).

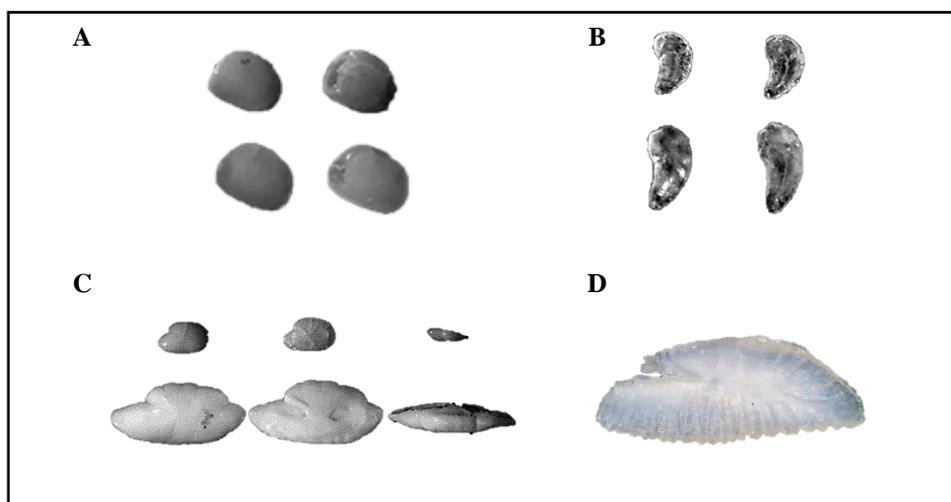


Figura 2. A) Otolitos *Lapillus*. B) Otolitos *Asteriscus*. C) Otolitos *Sagitta* (Curcio et al., 2014). D) Otolito *Sagitta* de *Decapterus macarellus*.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDIO

La recolección de muestras se realizó en Playita mía- Manta- Ecuador situada a una latitud de $-0,95014^{\circ}$ o $0^{\circ} 57' 0''$ sur y una longitud de $-80,70732^{\circ}$ o $80^{\circ} 42' 49''$ oeste.

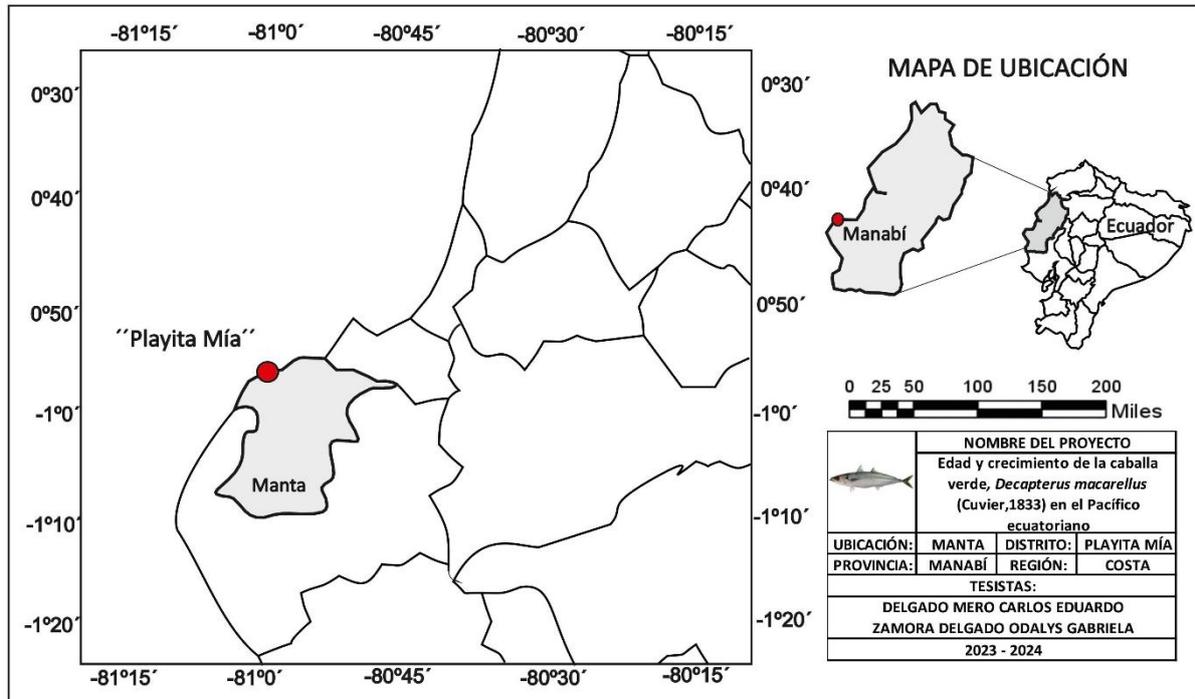


Figura 3. Zona de muestreo Playita mía- Manta- Ecuador.

2.2 MUESTREO BIOLÓGICO

Se analizaron un total de 250 especímenes de *Decapterus macarellus*, procesando 10 ejemplares semanales durante un período de seis meses, recolectados entre agosto del 2023 hasta febrero del 2024, entre las mediciones realizadas se incluyeron: Longitud total (LT) que se extiende desde la punta del hocico hasta el final de la aleta caudal y Longitud horquilla (LH) que se extiende desde la punta del hocico hasta la última parte cartilaginosa del pez, respecto al peso la medición se la realizó en dos partes, Peso total (PT) y Peso eviscerado (PE) utilizando una balanza analítica ADAM con una precisión de 0,1 g.

2.3 EXTRACCIÓN DEL OTOLITO

Los otolitos fueron extraídos de manera cuidadosa y precisa siguiendo los procedimientos estándar. Utilizando pinzas finas y tijeras de disección esterilizadas, se realizaron cortes transversales entre el borde posterior de los ojos y el anterior del opérculo para acceder a las capsulas óticas donde se almacenan los pares de otolitos. Al identificar el izquierdo y derecho fueron extraídos cuidadosamente y separados para su respectivo etiquetado.

2.4 LIMPIEZA, CONSERVACIÓN Y ROTULACIÓN DE MUESTRAS

Después de la extracción de los otolitos estos fueron lavados con agua destilada para eliminar los residuos orgánicos restantes teniendo precaución para no romper las estructuras calcificadas, posteriormente, se dejaron secar al ambiente para colocarlos en tubos eppendorf previamente rotulados con el número de muestra correspondiente.

2.5 LECTURA Y MEDICIÓN DE MUESTRAS

Para la lectura algunos pares fueron sumergidos en tinte de azul de metileno diluido en agua destilada (1 ml/L), mientras que, otra parte fue sumergida en aceite de inmersión, se utilizó un microscopio digital LCD con luz transmitida para contar los anillos.

Cada par de otolito fue fotografiado y adjuntado a una carpeta con sus respectivos datos de etiquetado, estos fueron examinados 2 veces con un mínimo de un mes entre exámenes, por dos lectores independientes para determinar la edad.

Con un calibrador se tomaron medidas de los pares de otolitos incluyendo largo y ancho.

2.6 ANÁLISIS DE DATOS

En este estudio, se llevaron a cabo todos los análisis utilizando el software estadístico Rstudio (Campbell et al., 2019; Wickham & Bryan, 2023). Para verificar la normalidad de los valores, se empleó la prueba de Kolmogórov-Smirnov (Kolmogorov, 1962), y la homogeneidad de varianza se evaluó mediante la prueba de Levene (Schultz, 1985). Para determinar las diferencias significativas entre sexos, se utilizó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney U (Wilcoxon, 1950).

Para estimar la relación Talla-Peso, se utilizó la ecuación alométrica potencial (Froese, 2006; Ricker, 1979), que implica una medición lineal y una volumétrica. La ecuación es la siguiente: $PT = aLT^b$ en esta fórmula, PT representa el peso total del pez, LT es la longitud total en centímetros, b es el coeficiente de crecimiento y a es el intercepto (Gulland, 1983; Ricker, 1975). Además Pauly (1984) afirmó que si $b = 3$, el patrón de crecimiento de los peces es isométrico, es decir, el incremento de longitud es proporcional al peso, mientras que si $b \neq 3$ significa que el incremento de longitud es mayor que el incremento de peso (alométrico negativo, $b < 3$), o el incremento de peso es mayor que el incremento de longitud (alométrico positivo, $b > 3$).

Se llevó a cabo la prueba sistemática de Bowker (Bowker, 1948) para evaluar la simetría en los datos, una herramienta estadística crucial para determinar si existen diferencias significativas entre las observaciones emparejadas, esta prueba se realizó utilizando el entorno de programación R 4.4.1 Rstudio (Campbell et al., 2019; Wickham & Bryan, 2023), que ofrece un conjunto robusto de herramientas y paquetes estadísticos para análisis avanzados.

Para evaluar precisión y sesgo entre lectores en el presente estudio, se analizaron tres métricas clave: el Error Porcentual Promedio (APE) (Beamish & Fournier, 1981), el Coeficiente de Variación (CV) (Chang, 1982) y el Porcentaje de Acuerdo (PA) (Goldman, 2002) (Tabla 1). El APE se utilizó para determinar la magnitud del error relativo en las mediciones realizadas por los lectores, proporcionando una medida de la precisión general (Beamish & Fournier, 1981). El CV, que mide la dispersión relativa de los datos en relación con la media, permitió evaluar la consistencia de las mediciones entre los lectores (Chang, 1982). Por último, el PA se calculó para determinar la proporción de observaciones en las que los lectores coincidieron, ofreciendo una medida del acuerdo absoluto (Goldman, 2002).

Tabla 1. Ecuaciones para evaluar precisión y sesgo

ÍNDICES	ECUACIONES
Error porcentual promedio (APE) (Beamish & Fournier, 1981)	$APE = \frac{1}{R} \sum_{i=1}^R \frac{X_{ij} - X_j}{X_j} \times 100$
Porcentaje de acuerdo entre lectores (PA) (Goldman, 2002)	$PA = \frac{\text{Número de acuerdos}}{\text{Número de otolitos leídos}} \times 100$
Coeficiente de variación (CV) (Chang, 1982)	$CV = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^R \frac{(X_{ij} - X_j)^2}{R - 1}}}{X_j} \times 100$

Se realizó un análisis de proporción sexual utilizando la prueba de chi-cuadrado (Plackett, 1983) para evaluar la distribución de sexos dentro de la muestra. Esta prueba estadística se basa en comparar las frecuencias observadas de machos y hembras con las frecuencias esperadas bajo la hipótesis nula de una proporción sexual de 1:1 (igual número de machos y hembras). La significancia estadística obtenida a través de este análisis proporcionó información sobre cualquier desviación significativa de la proporción sexual esperada, ayudando así a entender la dinámica poblacional.

Se emplearon modelos de crecimiento utilizando el paquete BayesGrowth (Smart, 2020) para la estimación y comparación de parámetros de crecimiento. Se aplicaron tres modelos ampliamente reconocidos (Tabla 2): el modelo de Von Bertalanffy (Von Bertalanffy, 1938), el modelo logístico (Ricker, 1979) y el modelo de Gompertz (Gompertz, 1825). Estos modelos fueron implementados utilizando el paquete AquaticLifeHistory (Smart, 2019) en R, permitiendo analizar cómo la especie crece en función del tiempo.

Tabla 2. Modelos de crecimiento de Von Bertalanffy (VB), Logístico (Log) y Gompertz (Gom)

MODELOS DE CRECIMIENTO	ECUACIONES
Modelo de Von Bertalanffy (VB) (Von Bertalanffy, 1938)	$L(t) = L_{\infty}[1 - e^{(-k(t-t_0))}]$
Modelo Logístico (Log) (Ricker, 1979)	$L(t) = \frac{L_{\infty}L_0(\exp(gt))}{L_{\infty} + L_0(\exp(gt) - 1)}$
Modelo de Gompertz (Gompertz, 1825)	$L_a = L_0 e^{\log\left(\frac{L_{\infty}}{L_0}\right)}(1 - e^{(-kt)})$

3 RESULTADOS

Durante el período de estudio de seis meses (agosto 2023 – febrero 2024), se recolectaron 250 individuos de caballa verde (*D. macarellus*), perteneciendo 112 (44.8%) a machos y 138 (55.2%) a hembras, en donde los machos presentaron una longitud total (LT) de 18 – 37.4 cm (25.77 ± 3.99) y para las hembras 18 – 45.2 cm (27.06 ± 4.74). Las edades de los especímenes oscilaron de 2 – 4 años (2.66 ± 0.62) para machos y 2 – 4 años (2.84 ± 0.67) para hembras.

Como se mencionó anteriormente, se observó una mayor cantidad de hembras en comparación con los machos, resultando en una proporción sexual que se calculó utilizando una prueba de chi-cuadrado (X^2), mostrando una relación de 1.23H:1M ($X^2 = 2.70$ p-value > 0.05), en la cual no hubo una diferencia significativa entre la cantidad de hembras y machos.

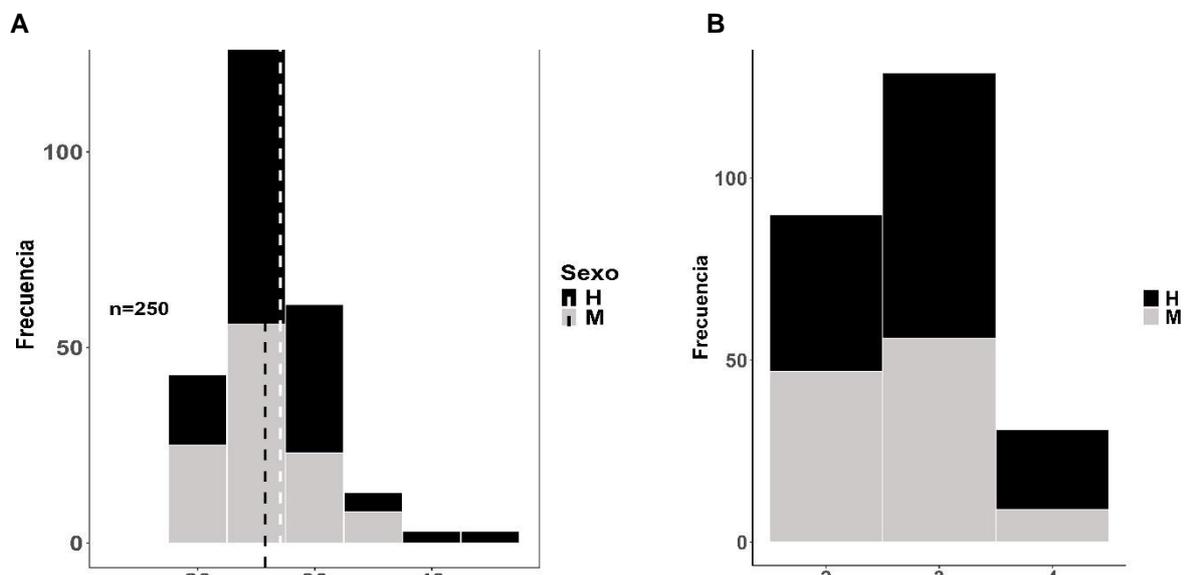


Figura 4. A) Distribución de tallas y B) Edades de *D. macarellus* en el Pacífico ecuatoriano

Dado que no se cumplió con la normalidad (Shapiro-Wilk: $W = 0.92659$, $p\text{-valor} = < 0.05$ – Kolmogorov-Smirnov: $D = 1$, $p\text{-valor} < 0.05$) ni con la homogeneidad de varianza (Test de Levene: $F = 0.11680.7328$, $p\text{-valor} < 0.05$), se decidió utilizar la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney. Esta prueba reveló diferencias significativas en la distribución de tallas ($W = 8901$, $p\text{-valor} < 0.05$) y edades ($W = 8850.5$, $p\text{-valor} < 0.05$) para ambos sexos.

En cuanto a la variable peso, los machos presentaron un rango de 81.28 a 401.27 g (197.70 ± 85.33), mientras que las hembras mostraron un rango de 79.99 a 556.33 g (213.47 ± 90.41). Los individuos analizados de *D. macarellus* mostraron que no existen diferencias significativas entre machos y hembras en términos de peso ($W = 1821.5$, $p\text{-valor} < 0.1036$). Asimismo, al analizar la relación entre la longitud total y el peso total en gramos, se encontró que el valor de b es menor a 3 ($a = 0.0466$, $b = 2.5503$, $R^2 = 0.9094$), lo que sugiere que esta especie experimenta un crecimiento alométrico negativo (Fig.5).

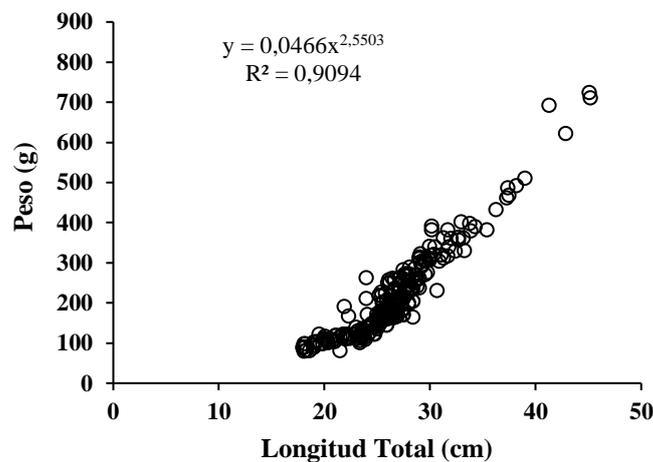


Figura 5. Gráfico de regresión potencial Talla-Peso de *D. macarellus*

Por otro lado, el análisis de precisión y sesgo, se obtuvo un coeficiente de variación (CV) de 7.45, un error porcentual promedio (APE) de 5.27 y un acuerdo entre lectores (PA) del 70% (Fig. 6).

Por lo tanto, la prueba de simetría de Bowker indicó que no existió un sesgo sistemático entre las lecturas de ambos lectores (valor $p > 0.05$).

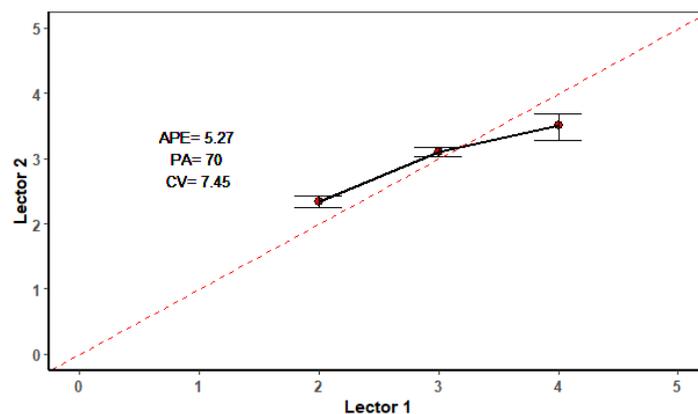


Figura 6. Análisis de precisión y sesgo entre lectores

Se presentan los resultados de la estadística bayesiana aplicada a la inferencia, destacando la construcción de estimaciones puntuales e intervalos de confianza. Los criterios de exclusión LOOIC (Tabla.3) indican que el modelo de Von Bertalanffy es el que mejor se ajusta, con datos específicos para sexos combinados ($L^\infty = 45.87$ cm LT, $k = 0.32$, $L_0 = 0.00$ cm LT), hembras ($L^\infty = 45.94$ cm LT, $k = 0.32$, $L_0 = 0.00$ cm LT) y para machos ($L^\infty = 45.43$ cm LT, $k = 0.32$, $L_0 = 0.00$ cm LT) (Fig. 7).

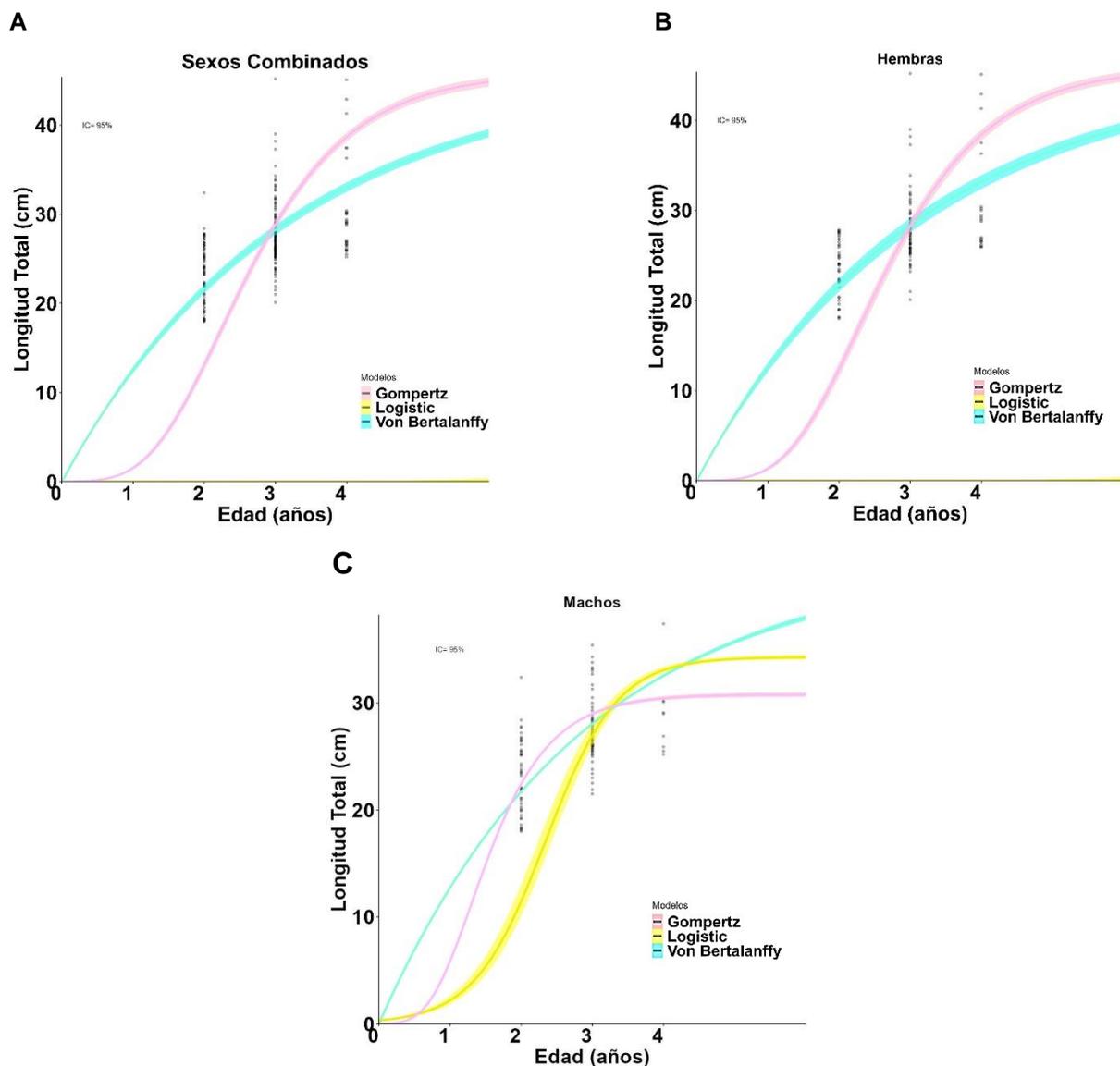


Figura 7. Curvas de crecimiento de Von Bertalanffy (VB), Logístico (Log) y Gompertz (Gom) para A) sexos combinados B) hembras y C) machos en el análisis bayesiano

4 DISCUSIÓN

Los otolitos son estructuras inertes después de su formación, lo que significa que no se reabsorben ni se remodelan, y por lo tanto, preservan un registro cronológico continuo del crecimiento del pez (Campana & Thorrold, 2001).

Según Shiraishi et al. (2010) no existen estudios para la determinación de la edad utilizando tejidos duros en *D. macarellus* por lo que este estudio busca contrarrestar esas carencias de información.

En base a los datos presentados se puede hacer una comparativa de similitudes y discrepancias con algunos estudios previos sobre proporción sexual. Iksan and Irham (2009) reportaron que en Maluku Norte – Indonesia (Océano pacífico) la composición de las hembras es más dominante que la de los machos con una proporción sexual de 1.8:1, sin embargo, en Sulawesi – Indonesia (Océano pacífico occidental) Unus and Omar (2010) obtuvieron una proporción sexual de 1.32:1 siendo los machos los que predominan, por otro lado, Nur et al. (2017) en Sulawesi – Indonesia (Océano pacífico occidental) indican que su proporción es de machos y hembras con 0.98:1, así mismo, Widiyastuti and Zamroni (2017) en la Bahía de Tomini – Indonesia (Océano pacífico occidental) reportan una proporción sexual de 1.06:1 donde las hembras son ligeramente superiores, este valor de proporción de sexos está cerca del valor de proporción de 1:1, lo que significa que el número de peces de machos y hembras capturados es relativamente igual, siendo estos similares a la proporción reportada en este estudio (1.23:1). Según Widodo (1993) las variaciones en la proporción de sexos pueden deberse a la selectividad del arte de pesca, la temporada y la zona de pesca. Bal and Rao (1984) explicaron que las variaciones en la proporción de sexos a menudo ocurren debido a tres factores, a saber, diferencias en el comportamiento sexual, las condiciones ambientales y la captura.

La relación Talla-peso también se puede utilizar para determinar el factor de condición o el bienestar y la aptitud de los peces en términos de capacidad para sobrevivir y reproducirse (Nur et al., 2017). El valor de b en el estudio de Vieira (2019) fue de 3.11 lo que indica un crecimiento alométrico positivo donde el coeficiente de regresión (b) fue mayor que 3 ($b > 3$), sin embargo, Widiyastuti et al. (2020) indica que el patrón de crecimiento de sus datos es alométrico negativo ($b = 2.9595$), de la misma manera en este estudio se muestra un patrón de crecimiento alométrico negativo ($b = 2,5503$) afirmando que el incremento de longitud es mayor que el incremento de peso.

El modelo que mejor se ajustó a los datos fue el de Von Bertalanffy, mediante un enfoque bayesiano, aplicando el criterio de exclusión de LOOIC (Leave-One-Out Information Criterion) (Tabla 3), el cual nos proporciona una medida objetiva basada en la capacidad predictiva. Como resultado obtuvimos que el enfoque bayesiano evaluó el modelo que mejor se ajustó con los datos brindados, para predecir los no vistos o excluidos.

Tabla 3. Criterio de exclusión LOOIC, enfoque bayesiano.

Sexo	Modelo	LOOIC	SE LOOIC	$L^\infty (\pm SE)$	K ($\pm SE$)	Lo ($\pm SE$)
Hembras	VB	798.83	21.32	45.94 \pm 0.00	0.32 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00
	Gompertz	970.91	13.42	45.95 \pm 0.01	0.99 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00
	Logístico	1307.13	4.47	46.00 \pm 0.01	0.51 \pm 0.01	0.00 \pm 0.00
	VB	611.19	13.93	45.43 \pm 0.00	0.32 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00
Machos	Gompertz	773.97	10.37	45.74 \pm 0.00	1.13 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00
	Logístico	1047.49	3.17	46.00 \pm 0.01	1.29 \pm 0.03	0.00 \pm 0.00
	VB	1409.17	27.06	45.87 \pm 0.00	0.32 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00
	Combinados	Gompertz	1743.05	17.98	45.90 \pm 0.01	1.00 \pm 0.00
Logístico		2355.65	5.64	46.00 \pm 0.01	0.50 \pm 0.01	0.00 \pm 0.00

Por otro lado Beamish and Fournier (1981) sugirieron que el APE se ha utilizado comúnmente para estimar variaciones en diferentes lecturas o para estimar el error de lectura de diferentes examinadores, aunque la tasa de acuerdo entre los lectores en este estudio no fue tan alta (aproximadamente 70%), la precisión de la determinación de la edad fue satisfactoria.

Se observaron edades de 2 – 4 años mediante la lectura de otolitos, examinando las zonas opacas en el margen exterior de la estructura, seguida de una zona traslucida, la edad mayormente abarcada se estimó en 3 años, como en el estudio de Herwaty et al. (2024) donde la edad representativa fue la misma (3 años).

Tabla 4. Datos de crecimiento en diferentes localidades.

Autores	Localidades	Modelo de crecimiento	Sexo	L[∞]	K	To
(Bintoro et al., 2020)	Prigi - Indonesia	Von Bertalanffy	Combinado	38.73	0.77	- 0.19
(Herwaty et al., 2024)	Mar Timor – Indonesia	Von Bertalanffy		38.10	0.51	- 0.29
(Iksan & Irham, 2009)	Maluku Norte - Indonesia	Von Bertalanffy	H	33.57	0.39	- 0.25
			M	33	0.33	- 0.21
(Retnoningtyas et al., 2023)	Sulawesi		Combinado	38.80	0.87	- 0.17
	Maluku			37.53	0.86	- 0.18
(Shiraishi et al., 2010)	Opelu - Hawaii	Von Bertalanffy	Combinado	25.03	0.82	- 0.01
(Silooy et al., 2019)	Mar de Banda - Indonesia	Bhattacharya	Combinado	33.35	0.56	- 0.28
(Stobberup & Erzini, 2006)	Cabo Verde	Von Bertalanffy	Combinado	34	0.38	0.00
(Vieira, 2019)	Cabo Verde	Von Bertalanffy	Combinado	46.6	0.45	- 0.34
(Xu et al., 2023)	Mar Meridional - China	Von Bertalanffy	Combinado	36	0.37	- 0.42
(Zamroni et al., 2019)	Sulawesi - Indonesia	Von Bertalanffy	Combinado	35.5	1.03	- 0.39
Presente estudio	Manta - Ecuador	Von Bertalanffy	Combinado	45.87	0.32	0.00
			H	45.94	0.32	0.00
			M	45.93	0.32	0.00

El crecimiento es un aumento de longitud y peso al mismo tiempo, cuanto mayor sea el valor de K, más rápido alcanzará el pez la L[∞] y morirá más rápido (Sparre & Venema, 1998).

Los parámetros de crecimiento para el valor K de *D. macarellus* en el Mar Meridional de China (Océano pacífico) se estimaron en 0.37 (Xu et al., 2023), mientras que en Cabo Verde (Océano atlántico) fue de 0.38 (Stobberup & Erzini, 2006). En Maluku Norte - Indonesia, el valor de K de machos fue estimado en 0.33 (Iksan & Irham, 2009). De estos valores, el último es el que más se asemeja al coeficiente de crecimiento estimado en este estudio, siendo este de 0.32.

La tasa de crecimiento en el presente estudio es más lento que el de Shiraishi et al. (2010), pero el tamaño máximo es mayor.

Los parámetros de crecimiento de *D. macarellus* en aguas de Indonesia - Prigi se analizaron utilizando datos de frecuencia de talla que oscilaban entre 16.8 y 35 cm, concentrados en peces de 2 años y ningún individuo menor a 2 o mayor a 4 años (Bintoro et al., 2020). La longitud infinita del pez en este estudio se estimó en 45.87 cm siendo este casi similar al estimado en el estudio de Vieira (2019) en Cabo Verde con 46.6 cm, sin embargo, en localidades como el Mar de Timor – Indonesia (Océano Índico) fue de 38.10 cm (Herwaty et al., 2024), así mismo, en Sulawesi y Maluku se estimaron tallas de 38.80 y 37.53 respectivamente (Retnoningtyas et al., 2023). Esta desigualdad de tallas podría deberse a la zona de captura, variación climática y disponibilidad de alimento (Fischer et al., 1995).

5 CONCLUSIONES

En este estudio sobre la caballa verde (*Decapterus macarellus*), la especie presenta un crecimiento alométrico negativo, consistente con hallazgos previos. La distribución de tallas varió significativamente entre localidades, sugiriendo influencias de factores ambientales y ecológicos. La proporción sexual también mostró variaciones significativas entre áreas, atribuidas a factores biológicos, ecológicos y ambientales. El uso de otolitos fue efectivo para determinar la edad y las tasas de crecimiento. Estos resultados son cruciales para desarrollar planes de manejo sostenible que consideren las dinámicas poblacionales y aseguren la explotación responsable del recurso.

6 AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestra profunda gratitud a todas las personas que han contribuido de manera significativa a la realización de este proyecto. En primer lugar, agradecemos sinceramente al Blgo. Jesús Briones, por su orientación, paciencia y apoyo constante a lo largo de este proceso. Sus consejos y comentarios han sido fundamentales para dar forma a este proyecto. También queremos agradecer a los docentes por sus aportaciones valiosas y por fomentar un entorno académico enriquecedor. Finalmente, nuestro reconocimiento especial va a nuestras familias y amigos, quienes nos han brindado su amor, comprensión y ánimo durante este camino. Sin su apoyo incondicional, esto no hubiera sido posible.

7 REFERENCIAS

- Bal, D., & Rao, K. J. N. D. T. M. G. H. P. C. L. (1984). Marine fisheries (p. 5-24).
- Beamish, R., & Fournier. (1981). A method for comparing the precision of a set of age determinations. *38*(8), 982-983.
- Bintoro, G., Lelono, T., & Ningtyas, D. (2020). Biological aspect of mackerel scad (*Decapterus macarellus* Cuvier, 1833) in Prigi waters Trenggalek Regency East Java Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*,
- Bowker, A. H. J. J. o. t. a. s. a. (1948). A test for symmetry in contingency tables. *43*(244), 572-574.
- Bravo-Delgado, L. A., Cañarte-Pin, J. D., & Zambrano-Santana, L. J. J. R. d. C. d. M. y. A. Y. I.-. (2023). Análisis morfométrico de otolitos en pelágicos pequeños de la familia carangidae capturados en el Pacífico Ecuatoriano. *6*(11), 13-23.
- Campana, S. E., & Thorrold, S. R. (2001). Otoliths, increments, and elements: keys to a comprehensive understanding of fish populations? , *58*(1), 30-38.
- Campana, S. E. J. M. e. p. s. (1999). Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. *188*, 263-297.
- Campbell, M., Campbell, M. J. L. R. I. Q., Effective,, & Science, P. D. (2019). RStudio Projects. 39-48.
- Carlstrom, D. J. T. B. B. (1963). A crystallographic study of vertebrate otoliths. *125*(3), 441-463.
- Chang, W. (1982). A statistical method for evaluating the reproducibility of age determination. *39*(8), 1208-1210.
- Curcio, N., Tombari, A., & Capitanio, F. J. A. S. (2014). Otolith morphology and feeding ecology of an Antarctic nototheniid, *Lepidonotothen larseni*. *26*(2), 124-132.
- Degens, E. T., Deuser, W. G., & Haedrich, R. L. J. M. b. (1969). Molecular structure and composition of fish otoliths. *2*, 105-113.
- Dubox, M. D. G., Gironde, S. C., Greco, L. S. L., Tombari, A. D. J. M., & Sciences, F. (2023). Morphology of sagitta, lapillus and asteriscus of Patagonian *Genidens barbatus*. *36*(1), 109-116.
- Fischer, W., Krupp, F., Schneider, W., Sommer, C., Carpenter, K., & Niem, V. (1995). *Guía FAO para la Identificación de Especies para los Fines de la Pesca-Pacífico Centro-Oriental Volumen II. Vertebrados. Parte1.*
- Floeter, S., Gasparini, J., Rocha, L., Ferreira, C., Rangel, C., & Feitoza, B. J. B. R. F. P. (2003). Brazilian reef fish fauna: checklist and remarks.
- Froese, R. (2006). Cube law, condition factor and weight–length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *22*(4), 241-253.
- Gauldie, R., Nelson, D. J. C. B., & Physiology, P. P. A. (1990). Otolith growth in fishes. *97*(2), 119-135.
- Goldman, K. J. (2002). *Aspects of age, growth, demographics and thermal biology of two Lamniform shark species*. The College of William and Mary.
- Gompertz, B. J. P. t. o. t. R. S. o. L. (1825). XXIV. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining

- the value of life contingencies. In a letter to Francis Baily, Esq. FRS &c. (115), 513-583.
- Gulland, J. A. (1983). *Fish stock assessment: a manual of basic methods* (Vol. 1).
- Gutiérrez, E., Morales-Nin, B. J. J. o. E. M. B., & Ecology. (1986). Time series analysis of daily growth in *Dicentrarchus labrax* L. otoliths. *103*(1-3), 163-179.
- Herwaty, S., Mallawa, A., Najamuddin, N., & Zainuddin, M. J. J. K. T. (2024). Population dynamic of mackerel scad (*Decapterus macarellus* Cuvier, 1833) in the Timor Sea. *27*(2), 333-344.
- Holden, M., & Raitt, D. (1975). *Manual de ciencia pesquera: parte 2-metodos para investigar los recursos y su aplicacion* (Vol. 1). FAO Roma.
- Iksan, K. H., & Irham, I. J. J. I. I. (2009). Pertumbuhan Dan Reproduksi Ikan Layang Biru (*Decapterus Macarellus*) Di Perairan Maluku Utara [Growth and Reproduction of Mackerel Scads, *Decapterus Macarellus* (Cuvier, 1833) in North Moluccas Waters]. *9*(2), 163-174.
- Kolmogorov, A. N. J. J. o. F. M. (1962). A refinement of previous hypotheses concerning the local structure of turbulence in a viscous incompressible fluid at high Reynolds number. *13*(1), 82-85.
- Kuiter, R., & Tonzuka, T. (2001). Pictorial Guide to Indonesian Reef Fishes part 1-4 Zoonetic. In: Australia.
- Márquez, J. L. G., Mendoza, B. P., Santiago, J. L. G., Ugarte, I. H. S., Sandoval, A. C., Reyes, C. B., & Plata, M. d. C. A. (2020). Determinación de la edad y crecimiento de organismos acuáticos con énfasis en peces.
- Mehar, S., Anam, I., Masood, Z., Alvi, S., Khan, W., Kabir, M., . . . Khan, T. (2023). Bioaccumulation of heavy metals in the different tissues of Mackerel scad, *Decapterus macarellus* (Cuvier, 1833) collected from Karachi and Gwadar Coasts of Pakistan. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *30*(2), 103540.
- Morales-Nin, B. (1978). Avances en el estudio del otolito de los teleósteos.
- Morales-Nin, B. (1984). Microarquitectura, características y composición de los otolitos de los peces teleósteos.
- Morales-Nin, B. (1987). Métodos de determinación de la edad en los osteictios en base a estructuras de crecimiento.
- Morales-Nin, B. (1992). *Determinación del crecimiento de peces óseos en base a la microestructura de los otolitos* (Vol. 322). Food & Agriculture Org.
- Nur, M., Ihsan, M. N., Tanriware, T., & Atjo, A. A. J. J. S. P. D. P. (2017). HUBUNGAN PANJANG BOBOT IKAN LAYANG BIRU (*Decapterus macarellus* Cuvier, 1833) DI PERAIRAN KABUPATEN MAJENE, SULAWESI BARAT. *1*(1), 40-44.
- Pascual, A. J. P. d. P. V. A. (1996). Métodos para el estudio de la edad y crecimiento en peces. *92*, 43.
- Pauly, D. (1984). *Fish population dynamics in tropical waters: a manual for use with programmable calculators* (Vol. 8). WorldFish.
- Pauly, D. J. F. D. T. d. P. (1983). Algunos métodos simples para la evaluación de recursos pesqueros tropicales. *234*, 1-49.
- Plackett, R. L. J. I. s. r. r. i. d. s. (1983). Karl Pearson and the chi-squared test. 59-72.
- Popper, A. N., & Coombs, S. J. A. S. (1980). Auditory mechanisms in teleost fishes: significant variations in both hearing capabilities and auditory structures are found among species of bony fishes. *68*(4), 429-440.

- Popper, A. N., Ramcharitar, J., Campana, S. E. J. M., & Research, f. (2005). Why otoliths? Insights from inner ear physiology and fisheries biology. *56*(5), 497-504.
- Prado, P. J., & Béarez, P. (2004). *Peces marinos del Ecuador continental* (Vol. 171). Simbioe.
- Ramlochan. (2016). The Online Guide to the Animals of Trinidad and Tobago.
- Retnoningtyas, H., Agustina, S., Dhani, A. K., Wiryawan, B., Palm, H. W., Natsir, M., . . . Yulianto, I. J. A. F. S. (2023). Impact of Fishing Pressure on Reproductive Biology of Mackerel Scad, *Decapterus macarellus* (Cuvier, 1833) in Sulawesi Sea and Maluku Sea, Indonesia. *36*(3).
- Ricker. (1979). Growth rates and models. 677-744.
- Ricker, W. E. J. F. R. B. C. B. (1975). Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *191*, 1-382.
- Rodríguez Mendoza, R. J. C. J. o. F. R. (2006). Otoliths and their applications in fishery science. *64*(3), 89-102.
- Schultz, B. B. J. S. Z. (1985). Levene's test for relative variation. *34*(4), 449-456.
- Shiraishi, T., Tanaka, H., Ohshimo, S., Ishida, H., & Morinaga, N. J. J. A. R. Q. J. (2010). Age, growth and reproduction of two species of scad, *Decapterus macrosoma* and *D. macarellus* in the waters off southern Kyushu. *44*(2), 197-206.
- Silooy, F., Tupamahu, A., Matrutty, D., & Pattikawa, J. (2021). Sex ratio, age group and length at first maturity of mackerel scad (*Decapterus macarellus* Cuvier, 1833) in the Southern waters of Ambon, Eastern Indonesia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science,
- Silooy, F. D., Tupamahu, A., Ongkers, O., Matrutty, D. J. I. J. o. E., Agriculture, & Biotechnology. (2019). Size distribution and growth Mackerel Scad (*Decapterus macarellus*) in the Ambon Waters. *4*(2), 505-508.
- Smart, J. (2020). BayesGrowth: Estimate fish growth using MCMC analysis. R package version 0.3. 0. In.
- Smart, J. J. R. p., vers. 0.0. (2019). AquaticLifeHistory: Fisheries life history analysis using contemporary methods. *9000*.
- Smith-Vaniz, W. F. (1999). Family carangidae.
- Smith-Vaniz, W. F., & Carpenter, K. E. J. F. B. (2007). Review of the crevalle jacks, *Caranx hippos* complex (Teleostei: Carangidae), with a description of a new species from West Africa. *105*(2).
- Sparre, P., & Venema, S. C. (1998). Introduction to tropical fish stock assessment- Part 1: Manual (French version not published).
- Stobberup, K. A., & Erzini, K. J. F. r. (2006). Assessing mackerel scad, *Decapterus macarellus*, in Cape Verde: Using a Bayesian approach to biomass dynamic modelling in a data-limited situation. *82*(1-3), 194-203.
- Sululu, J. S., Lugendo, B. R., & Benno, B. L. (2022). Reproductive Potential of the Mackerel Scad, *Decapterus macarellus* (Cuvier, 1833) in the Coastal Waters of Tanzania. *Tanzania Journal of Science*, *48*(1), 88-98.
- Tresierra, A., & Culquichicón, Z. J. L. T., Perú. (1993). Biología pesquera. *342*.
- Unus, F., & Omar, S. B. A. J. J. i. k. d. p. (2010). Analisis Fekunditas dan Diameter Telur Ikan Malalugis Biru *Decapterus macarellus* Cuvier, 1833 di Perairan Kabupaten Banggai Kepulauan, Provinsi Sulawesi Tengah. *20*(1), 37-43.

- Vieira, N. J. R. U.-F. (2019). Stock assessment and the influence of environmental parameters on the distribution of mackerel scad (*Decapterus macarellus*) in Cabo Verde waters. Iceland.
- Villamor, B., Navarro, M. R., Dueñas-Liaño, C., Antolínez, A., & Hernández, C. J. C. O. d. S. (2020). Criterios de Interpretación de la Edad en los Otolitos de la Caballa del Atlántico Nordeste (*Scomber scombrus*)(versión 2).
- Von Bertalanffy, L. J. H. b. (1938). A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws. II). *10*(2), 181-213.
- WF, S.-V. J. G. F. p. I. d. E. p. I. F. d. I. P. (1995). Carangidae, Jureles, pampanos, cojinuas, zapateros, cocineros, casabes, macarelas, chicharros, jorobados, medregales, pez pilota. 940-986.
- Wickham, H., & Bryan, J. (2023). *R packages*. " O'Reilly Media, Inc."
- Widiyastuti, H., Pane, A. R. P., Fauzi, M., & Hidayat, T. J. O.-A. (2020). The Biological Aspect of Mackerel Scad (*Decapterus Macarellus* Cuvier, 1833) In Samudera Hindia (West Sumatera Block). *16*(3), 92-98.
- Widiyastuti, H., & Zamroni, A. J. B. W. R. P. T. (2017). Biologi reproduksi ikan malalugis (*Decapterus macarellus*) di Teluk Tomini. *9*(1), 63-72.
- Widodo, J. J. J. P. P. L. (1993). Preliminary study on the biology and fishery of spotted sardine, *Amblygaster sirm* (Clupeidae) in the Java Sea (Indonesia). (72).
- Wilcoxon, F. J. A. o. t. N. Y. A. o. S. (1950). Some rapid approximate statistical procedures. *52*(6), 808-814.
- Wright, P., Panfili, J., Morales-Nin, B., & Geffen, A. J. M. o. f. s. (2002). Types of calcified structures: otoliths. 31-57.
- Xu, Y., Zhang, P., Panhwar, S. K., Li, J., Yan, L., Chen, Z., . . . Fisheries, C. (2023). The initial assessment of an important pelagic fish, Mackerel Scad, in the South China Sea using data-poor length-based methods. *15*(5), e10258.
- Zamroni, A., Kuswoyo, A., & Chodrijah, U. J. B. W. R. P. T. (2019). Aspek biologi dan dinamika populasi ikan layang biru (*Decapterus macarellus* Cuvier, 1833) di perairan Laut Sulawesi. *11*(3), 137-149.