



CIENCIAS DE LA VIDA Y TECNOLOGÍAS

Carrera de Biología

Trabajo de titulación

Modalidad Artículo Académico

Tema:

Edad y crecimiento de la raya eléctrica gigante, *Narcine entemedor* (Jordan & Starks, 1895), capturadas en el Puerto de Santa Rosa, Santa Elena, Ecuador.

Autor:

Delgado Franco Mateo Ezequiel

Tutor:

Blgo. Kléver Xavier Mendoza Nieto, PhD.

Período

2025-2

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, **Delgado Franco Mateo Ezequiel**, con número de cédula de identidad **1350601090**, estudiante de la carrera **Biología** de la Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnologías perteneciente a la **Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí**, declaro bajo juramento que el presente trabajo de titulación, en modalidad **artículo académico**, titulado:

“EDAD Y CRECIMIENTO DE LA RAYA ELÉCTRICA GIGANTE, NARCINE ENTEMEDOR (JORDAN & STARKS, 1895), CAPTURADAS EN EL PUERTO DE SANTA ROSA, SANTA ELENA, ECUADOR” es de mi autoría y ha sido desarrollado de manera individual.

Este trabajo es original, no ha sido previamente publicado ni presentado para la obtención de otro título o grado académico en esta u otra institución de educación superior.

Asimismo, declaro que he respetado los derechos de autor y he citado adecuadamente todas las fuentes utilizadas, conforme a las normativas académicas vigentes.

En fe de lo cual, firmo la presente declaración en **Manta**, en el mes de **junio** del año **2026**.



Delgado Franco Mateo Ezequiel
C.I.: 1350601090

CERTIFICACIÓN

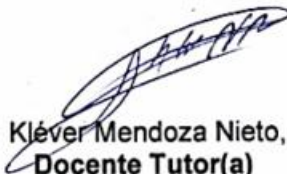
En calidad de docente tutor(a) de la Facultad Ciencias de la Vida y Tecnologías, de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, **CERTIFICO:**

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría del estudiante **Delgado Franco Mateo Ezequiel**, legalmente matriculado/a en la carrera de Biología, período académico 2025-2, cumpliendo el total de 380 horas, cuyo tema del proyecto es **"Edad y crecimiento de la raya eléctrica gigante, *Narcine entemedor* (Jordan & Starks, 1895), capturadas en el Puerto de Santa Rosa, Santa Elena, Ecuador."**

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, 2 de febrero de 2026.


Blgo. Kléver Mendoza Nieto, PhD
Docente Tutor(a)
Área: Pesquería

Agradecimientos - Dedicatoria

Agradezco a Dios por la vida y la fuerza que me ha brindado para poder culminar mi carrera universitaria. A mis padres Mercedes Franco y Pedro Delgado por su apoyo, su comprensión ante fallas que he cometido y sobre todo su amor incondicional, los amo por todas las enseñanzas que me han brindado. A mi novia Ariana Rivas por su amor, compañía y confianza en estos últimos 3 años. Aunque no nombre a todos, agradezco al resto de mi familia que estuvo pendiente e interesados durante este proceso.

Le agradezco a mi tutor, Dr. Klever Mendoza Nieto por sus conocimientos transmitidos y el tiempo brindado al presente estudio, gracias a usted logro culminar la carrera de biología. De igual manera agradecer a la Dra. Maribel Carrera por los datos y muestras brindadas utilizadas en este trabajo.

Agradezco a mi gata Lulú por acompañarme cada noche y madrugada en las que realizaba mis tareas y tesis. A mis amigos que estuvieron acompañándome a lo largo de la carrera y me brindaron su sincera amistad: Micaela, Arnold, Natalia, Jorge Luis, Luis, Karen, Elian, Andy, Anthony, Bryan.

Le dedico el finalizar esta etapa universitaria y el presente trabajo de mis familiares y amigos ya mencionados, en especial a mi abuelo Julio Franco, mi abuela Victoria Cedeño, mi prima Nanet Franco y mis amigos Jesús Vernaza y Edwin Castro que en paz descansen.

Por último, agradecer a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí por la oportunidad de permitirme una formación profesional de calidad, al igual que su personal docente y administrativo.

Edad y crecimiento de la raya eléctrica gigante, *Narcine entemedor* (Jordan & Starks, 1895), capturadas en el Puerto de Santa Rosa, Santa Elena, Ecuador.

Resumen

Los elasmobranquios son uno de los grupos marinos más vulnerables a la sobreexplotación debido a sus características biológicas y ecológicas, lo que los expone a un alto riesgo de declive poblacional. Regiones como El Pacífico y el Atlántico Centro-Occidental representan áreas importantes para su conservación, debilitadas por la falta de información biológica y pesquera. Por su papel ecológico como depredadores, es necesario fortalecer el conocimiento de sus parámetros biológicos para desarrollar estrategias de manejo y conservación efectiva. El objetivo del presente estudio busca estimar la estructura de longitud-peso y estimar la edad y crecimiento en *Narcine entemedor* capturadas en el Puerto Pesquero Artesanal Santa Rosa, Santa Elena-Ecuador durante 2014-2016. Se obtuvieron tallas de 17,50 y 110 cm Lt, valores de 0,06 kg hasta 13,50 kg de peso y edades de 2 hasta 20 años. Utilizando el modelo de crecimiento Von Bertalanffy (VBGF), el crecimiento fue de $L_{\infty} = 95$ cm; $k = 0.16$ en machos y $L_{\infty} = 122,5$ cm; $k = 0.15$ en hembras.

Palabras clave: *Narcine entemedor*, elasmobranquios, parámetros de crecimiento, pesquería artesanal.

Age and growth of the giant electric ray, *Narcine entemedor* (Jordan & Starks, 1895), captured at the Port of Santa Rosa, Santa Elena, Ecuador.

Abstract

Elasmobranchs are among the most vulnerable marine groups to overexploitation due to their biological and ecological characteristics, exposing them to a high risk of population decline. Regions such as the Pacific and the Central-Western Atlantic represent key areas for their conservation, yet they are weakened by a lack of biological and fishery information. Given their ecological role as predators, it is essential to strengthen the knowledge of their biological parameters to develop effective management and conservation strategies. The objective of this study was to estimate the length-weight structure, age, and growth of *Narcine entemedor* captured at the Santa Rosa Artisanal Fishing Port, Santa Elena-Ecuador, between 2014 and 2016. Sizes ranged from 17.50 to 110 cm TL, with weights from 0.06 kg to 13.50 kg and ages from 2 to 20 years. Using the Von Bertalanffy Growth Function (VBGF), growth was estimated at $L_{\infty} = 95$ cm and $k = 0.16$ for males, and $L_{\infty} = 122.5$ cm and $k = 0.15$ for females.

Keywords: *Narcine entemedor*, elasmobranchs, growth parameters, artisanal fishery.

1. INTRODUCCIÓN

La raya eléctrica gigante (*Narcine entemedor*) es un elasmobranquio bentónico distribuido en el Océano Pacífico tropical desde el sur de Baja California y el Golfo de California hasta las costas de Ecuador y Perú (Bizzarro et al., 2009). El *N. entemedor* o también conocido como numbfish (pez adormecido) presenta un cuerpo muy deprimido, cabeza, tronco y aleta pectoral agrandados formando un disco alargado grueso y blando en sus márgenes, dos aletas dorsales, posterior a la base de las aletas pélvicas, órganos visuales pequeños con espiráculos detrás de ellos ubicados en la parte superior de la cabeza (McEachran & Carvalho, 2002). Su cuerpo presenta un dorso de color marrón, gris o rojizo, lisa o con dibujos de reticulaciones claras u oscuras, bandas y manchas, y una zona ventral blanquecina (Seahorse et al., 2019).

Habitan en plataformas continentales e insulares, y ocasionalmente en laderas en latitudes tropicales a templadas cálidas, hasta profundidades de aproximadamente 1000 m, la mayoría se encuentran por debajo de los 250 m (McEachran & Carvalho, 2002; Weigmann, 2016). La dieta principal de *N. entemedor* está compuesta de poliquetos, peces bentónicos, restos de peces y con menor cantidad de estomatópodos, moluscos y camarones (Flores-Ortega et al., 2015). Los elasmobranquios del orden Torpediniformes, poseen grandes órganos eléctricos iguales en forma de riñón, ubicados dentro de sus aletas pectorales, generando hasta 50 V y 1 kW de electricidad o EOD (Electric Organ Discharge), utilizados tanto para defensa y contener a sus presas (Macesic & Kajiura, 2009).

El incremento de la edad se expresa en el crecimiento de cada individuo; por lo tanto la edad sería la descripción cuantitativa del tiempo de vida de un organismo, y el crecimiento se puede definir como el cambio en volumen corporal, la investigación de la edad y el crecimiento en los elasmobranquios se dificulta debido a el tamaño de los organismos y su gran movilidad que genera inconvenientes en la etapa de muestreo (Guzmán-Castellanos et al., 2014). La mayoría de estructuras calcificadas que se utilizan habitualmente para determinar la edad de los peces óseos son las escamas y otolitos (Brophy, 2014), los cuales no se encuentran presentes en elasmobranquios, optando por utilizar otras estructuras como vértebras, espinas y aguijones caudales para valorar la edad de peces cartilaginosos (Cailliet, 2015).

La relación talla-peso son parte de las herramientas básica y más utilizadas con mayor frecuencia en la biología y pesquería, ayudando a la estimación de la biomasa poblacional mediante datos de longitud y el peso medio relacionado con cada clase de talla, representando información fundamental para evaluar poblaciones y el manejo pesquero (Freitas et al., 2023). La estimación de parámetros de crecimiento con métodos indirectos se sustentan por el análisis de frecuencias de tallas, ya que los datos de longitud son sencillos de obtener, el tiempo de procesamiento es rápido e conlleva menos costos de operación, el uso generalizado de estos métodos está limitado por las características de las distribuciones de frecuencia de tallas empleadas y su afinidad con los algoritmos que lo sustentan, para cada aplicación se debe conocer los supuestos de los métodos aplicados, sus algoritmos y las características del ciclo de vida y biología de la población para poder seleccionar el método adecuado dependiendo de las características de la población estudiada (Arellano-Torres et al., 2013; Schwamborn et al., 2018).

Este trabajo busca analizar y conocer los parámetros de crecimiento, la edad y comparar los datos por sexo de *N. entemedor* capturadas en el Pacífico Ecuatoriano. Actualmente en Ecuador existen 10 familias de rayas y un aproximado de 26 especies, las cuales son capturadas como pesca incidental mediante pesca de arrastre artesanal-industrial o redes de enmalle. Por una mal identificación de especies la información de estos elasmobranquios es escasa (Tenelema et al., 2014). Teniendo en cuenta que la subclase de los elasmobranquios presenta estrategias de reproducción K, la pesca incidental afecta negativamente provocando cambios significativos en la abundancia y estructura poblacional (Matta et al., 2017).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de muestreo

Las muestras fueron recolectadas como parte del proyecto Institucional “Edad y crecimiento de Batoideos en el Pacífico Ecuatoriano” a cargo del Msc, Andres Romero y facilitadas por la Dra. Maribel Carrera, la data de *N. entemedor* se recolecto desde enero de 2014 hasta octubre de 2016 en el Puerto Pesquero Artesanal Santa Rosa (-2.207670945110628, -80.94961024666377) ubicado en la provincia de Santa Elena, Ecuador (Figura 1). Se obtuvieron datos morfométricos, cada ejemplar fue medido para

obtener la Longitud Total (LT) tomando como referencia el centímetro inferior más cercano utilizando un ictiómetro, y se determinó el sexo por la presencia (machos) o ausencia (hembras) de mixopterigios (claspers), obteniendo de un total de 221 individuos.

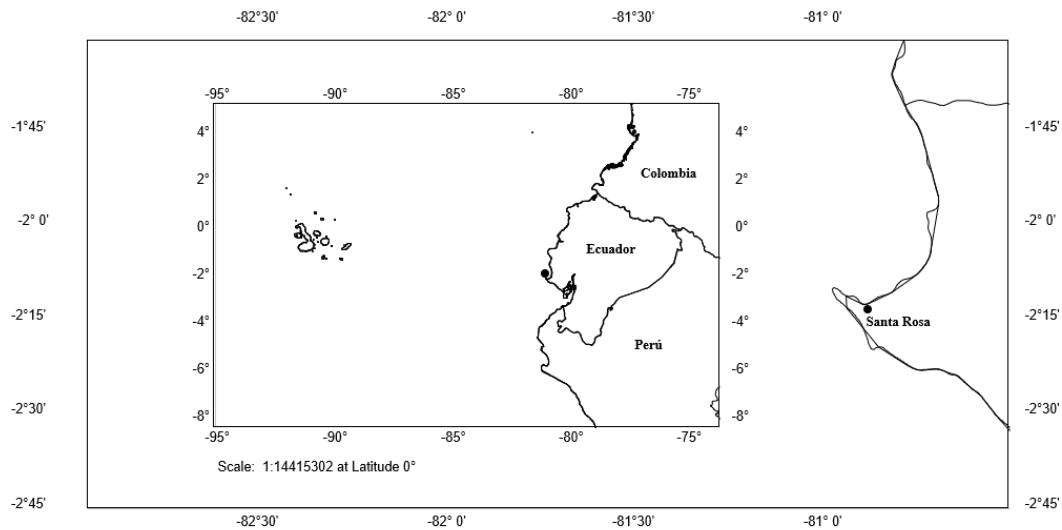


Figura 1: Zona de muestreo

Fase laboratorio

Se obtuvo un total de 221 muestras de vertebras, los estudiantes que fueron parte del proyecto realizaron de uno a dos cortes transversal por cada disco vertebral utilizando un cortador de precisión de baja velocidad ISOMET Low Speed Saw con navaja de diamante de 0.2mm de ancho. Posteriormente se rotularon y almacenaron por cada número de muestra en tubos microcentrífuga de 0,5ml con alcohol.

Durante 2025, se determinó la edad mediante el conteo de bandas de crecimiento en centros vertebrales de ejemplares recolectados en 2014, empleando microscopía estereoscópica con iluminación directa. Debido a la falta de concordancia entre la codificación original de las muestras físicas y los registros morfométricos de la base de datos, la estimación del crecimiento se realizó mediante métodos indirectos para el conjunto de la población

Análisis de datos

Relación talla-peso

Para la estimación de la relación talla peso, se utilizó la ecuación potencial de (Ricker, 1975) para describir el tipo de crecimiento del pez.

$$W = aLt^b.$$

Para su análisis el grado de asociación entre las variables longitud-peso fue evaluado por el coeficiente de determinación (R^2) (Ochoa Ubilla et al., 2016). Se determinó el coeficiente de alometría (b) mediante la siguiente prueba t:

$$t = (b - \beta)/S$$

Donde:

t es t de Student,

b es el coeficiente de alometría,

β es la pendiente de referencia (=3)

S el error estándar.

Se considera un crecimiento isométrico (b=3) cuando la longitud aumenta con misma proporción que el peso, alométrico negativo (b<3) el peso tiene un aumento lento a relación de su longitud (organismo más delgado) y alométrico positivo (b>3) el peso aumenta más rápido que la longitud (organismo más robusto) (Cifuentes et al., 2012; Rivera-Velázquez et al., 2023).

Parámetros de crecimiento

El análisis de crecimiento se basó en el modelo de crecimiento de Von Bertalanffy (VBGF), descrito por la ecuación (Von Bertalanffy, 1938):

$$L_t = L_{\infty}(1 - e^{-K(t-t_0)})$$

Donde:

L_t = Es la longitud o talla del individuo a una edad determinada (t).

L_{∞} = Longitud asintótica (tamaño medio máximo que alcanzaría la especie)

K = Coeficiente de crecimiento (curvatura), que determina la rapidez con la que se alcanza el L_{∞}

t = Es la edad del organismo.

t_0 = Edad teórica a la cual la longitud del organismo sería igual a cero (suele ser un valor negativo).

Debido a que los datos presentan una frecuencia de tallas sin conocer su edad los parámetros L_{∞} y K se evaluaron mediante ELEFAN_GA (Electronic Length Frequency ANalysis with Genetic Algorithms), método que está incorporado en el conjunto de herramientas TropFishR (Mildenberger et al., 2017) del software estadístico R (R Core Team, 2024), el cual aplica un algoritmo genético para mejorar la capacidad de ajuste (R^2), este enfoque ayuda a disminuir convergencia en mínimos locales, debido a ser problema frecuente en estos métodos tradicionales (Pauly & David, 1981; Taylor & Mildenberger, 2017).

El análisis se realizó de manera independiente para la población total, hembras y machos. Para garantizar una búsqueda exhaustiva y evitar sesgos, se configuró el algoritmo con los siguientes criterios:

- **Rango de búsqueda:** Se permitió al algoritmo explorar valores de K entre 0.05 y 0.50 año^{-1} y valores de L_{∞} entre la talla máxima observada y un 30% superior.
- **Optimización:** Se utilizaron 100 generaciones (maxiter) con una población de 100 individuos (popSize) para maximizar el índice de bondad de ajuste $Rn_{\max}$.

Dado que el método ELEFAN no estima t_0 directamente, este parámetro se calculó utilizando la ecuación empírica de (Pauly, 1979), la cual relaciona t_0 con L_{∞} y K :

$$\log_{10}(t_0) = -0,3922 - 0,2752 \cdot \log_{10}(L_{\infty}) - 1,038 \cdot \log_{10}(K)$$

La longevidad máxima teórica ($t_{\max}$) se estimó siguiendo la aproximación inversa de (Taylor, 1958):

$$t_{\max} = \frac{3}{K} + t_0$$

Para validar la coherencia biológica de los parámetros estimados, se superpusieron las curvas de crecimiento resultantes sobre los histogramas de frecuencia de tallas reestructurados. Se identificaron visualmente las cohortes (grupos de edad) presentes en la captura siguiendo la progresión modal de las tallas (Gayanilo et al., 2005).

Para evaluar la precisión de las estimaciones y determinar si existen diferencias significativas en el crecimiento entre sexos, se aplicó un procedimiento **de Bootstrapping** (re-muestreo) con 1000 iteraciones. Esto permitió calcular el Error Estándar (SE) y los Intervalos de Confianza (IC 95%) para L_{∞} y K.

3. RESULTADOS

Estructura de tallas

Se analizaron un total de 221 datos de *N. entemedor* (105 machos y 116 hembras), con una proporción sexual de 1,05 H:1M ($X^2 = 0.19$; $p > 0.05$), la estructura de tallas de esta especie se conformó por organismos una longitud total entre 17,50 hasta 110cm con una media de 53,46 cm. La talla varió entre 23,50 cm y 64 cm ($48,90 \pm 6,96$ cm) en machos y entre 17,50 y 110 cm ($57,60 \pm 16$ cm) en hembras. La prueba de normalidad en Longitud total (cm) establece que los datos no siguen una distribución normal, (K-S=0.116, $p < 0,05$) con un nivel de confianza de 95% y un nivel de significancia de 0,05 (Tabla1, Figura 2).

Tabla 1. prueba Kolmogorov-Smirnov

Prueba de normalidad para Longitud total (cm)		
Prueba	Estadístico	Valor-p
Kolmogorov-Smirnov	0.116	0.0045

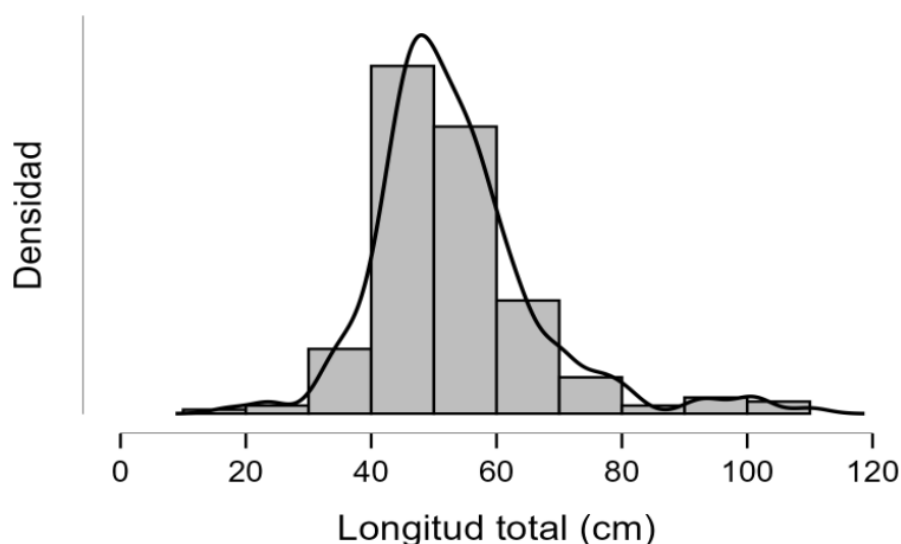


Figura 2: densidad de tallas de *N. entemedor* capturadas en Puerto de Santa Rosa, Ecuador.

La longitud total (Figura 3. a) mostró una distribución unimodal con mayor densidad entre 40 y 70 cm, indicando una concentración de individuos de talla media. El peso (Figura 3. b) presentó una distribución asimétrica positiva, con la mayoría de los individuos entre 1 y 3 kg y en menor proporción individuos muy pesados, indicando una variación en la condición corporal y en el estado ontogénico de la población.

Las comparaciones por sexo demostraron un dimorfismo sexual significativo (Figura. 4), donde las hembras alcanzaron longitudes y pesos mayores, el contraste U de Mann-Whitney demostró diferencias morfométricas significativas en la longitud total ($U = 4786$, $p = 0,004$) tanto para el peso ($U = 3404$, $p < 0,001$) (Tabla 2). Este patrón es consistente con la estrategia reproductiva de la especie, en la que las hembras de mayor tamaño poseen una mayor capacidad de gestación y fecundidad.

Tabla 2. Contraste U de Mann-Whitney.

	U	gl	p
Longitud total (cm)	4786		.004
Peso (kg)	3404		< .001

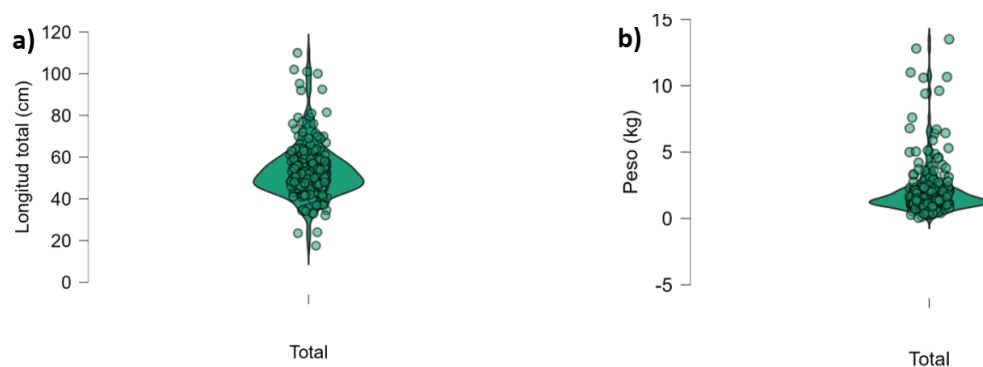


Figura3: Distribución morfométrica en sexos combinados de *N. entemedor*, a) Longitud total, b) Peso (kg).

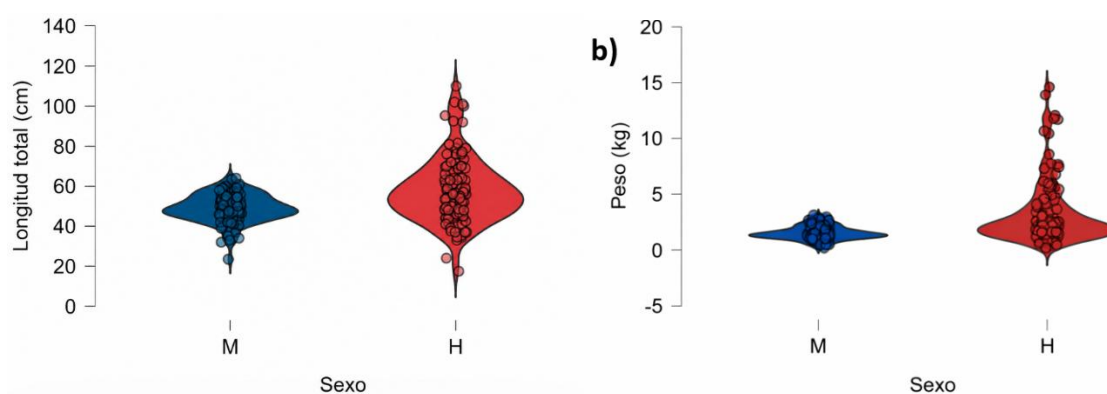


Figura 4: Distribución morfométrica por sexos de *N. entemedor*, a) Longitud total, b) Peso (kg).

Los individuos de la especie *N. entemedor* mostraron un peso total con un valor mínimo de 0,06 y 13,50 kg, por sexo varió entre 0,15 y 2,72 kg ($1,34 \pm 0,53$ kg) en machos, y entre 0,06 y 13,50 kg ($2,86 \pm 2,60$ kg) en hembras.

Relación talla peso

La relación talla peso, estimo un crecimiento alométrico negativo con un valor de pendiente $b=2,92$ ($t=1,13$; $p > 0,05$) con un coeficiente de determinación $R^2= 0,96$ (Figura 5 a). En machos el valor de la pendiente $b = 2,88$ ($t= 1,20$; $p > 0,05$) y un $R^2 = 0,91$ (Figura 5 b), mientras que en hembras se obtuvo un valor de pendiente $b= 2,84$ ($t= 1,72$; $p > 0,05$) y un $R^2 = 0,96$ (Figura 5 c).

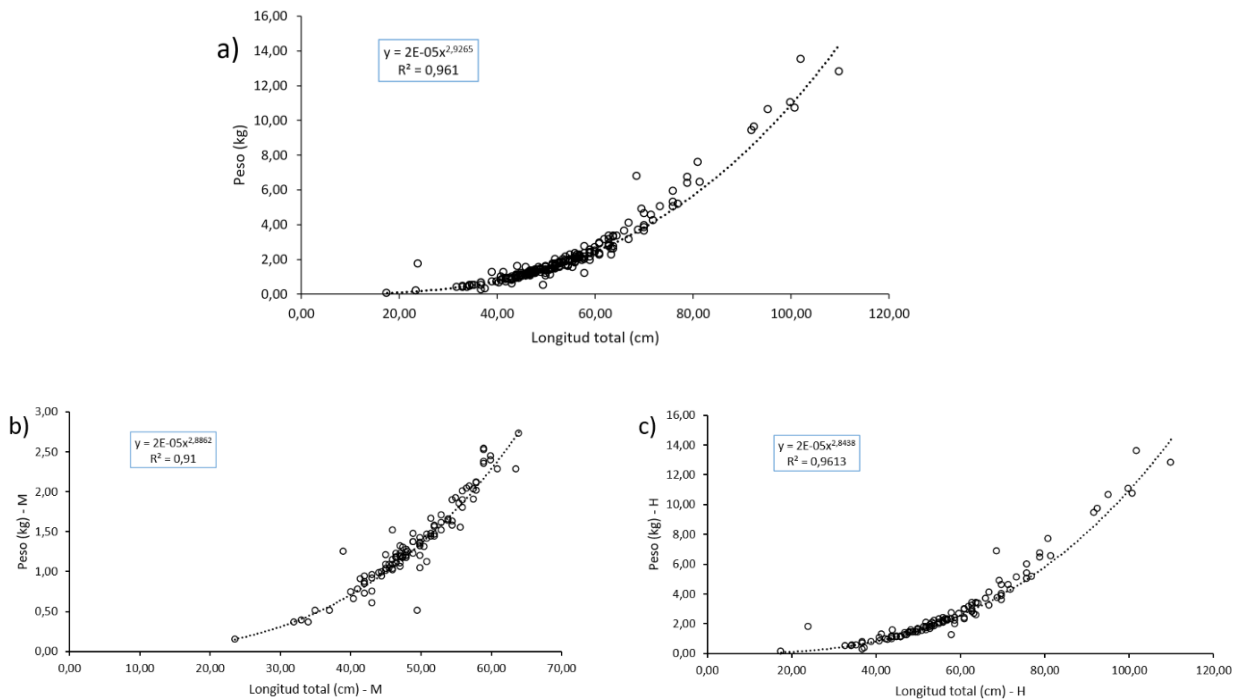


Figura 5. Distribución talla-peso para *N. entemedor*, a) sexos combinados, b) machos, c) hembras

Parámetros de crecimiento

Las hembras alcanzaron una mayor longitud asintótica ($L_{\infty} = 122,5$ cm) en comparación de los machos ($L_{\infty} = 95$ cm) mientras que los machos presentaron una tasa de crecimiento ligeramente superior ($k = 0.16$) respecto a las hembras ($k = 0.15$). Ambas curvas demostraron un crecimiento rápido en edades tempranas, interrumpido por una desaceleración progresiva hasta acercarse a su longitud y edad máxima estimada (Figura 6). La edad máxima estimada ($T_{\max}$) fue considerablemente mayor en hembras a diferencia de los machos, lo que propone una posible longevidad mayor (Figura 7).

El análisis de cohortes (Figura 8) estimadas mostró una distribución multimodal de las tallas, mostrando la existencia de varios grupos de edad en la población de *N. entemedor*. Las cohortes de tallas más grande pertenecen principalmente a hembras adultas las cuales alcanzaron mayores tallas máximas.

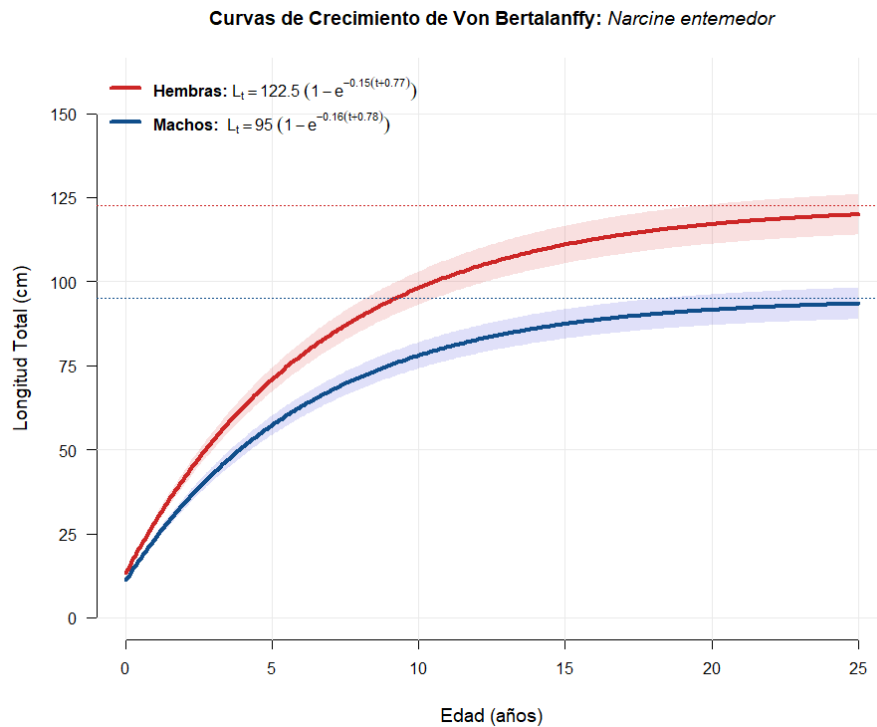


Figura 6: Curvas de crecimiento del modelo frecuentista Von Bertalanffy para machos y hembras.

Los parámetros de crecimiento estimados revelan un marcado dimorfismo sexual en la especie, caracterizado principalmente por una diferencia estadísticamente significativa en la longitud máxima promedio, donde las hembras alcanzaron un L_{∞} de aproximadamente 122 cm frente a los 95 cm observados en los machos. Por el contrario, el coeficiente de crecimiento (K) y la longevidad máxima ($T_{\max}$) mostraron valores más homogéneos entre sexos; los machos presentaron una tasa de crecimiento ligeramente superior (0.16 anual) en comparación con las hembras (0.15 anual), mientras que la longevidad estimada fue levemente mayor en las hembras (~19 años) que en los machos (~18 años). El solapamiento de los intervalos de confianza en estos dos últimos parámetros sugiere que, si bien las hembras alcanzan tallas significativamente mayores, ambos sexos mantienen ritmos de desarrollo y expectativas de vida similares dentro de la población estudiada (Figura 7).

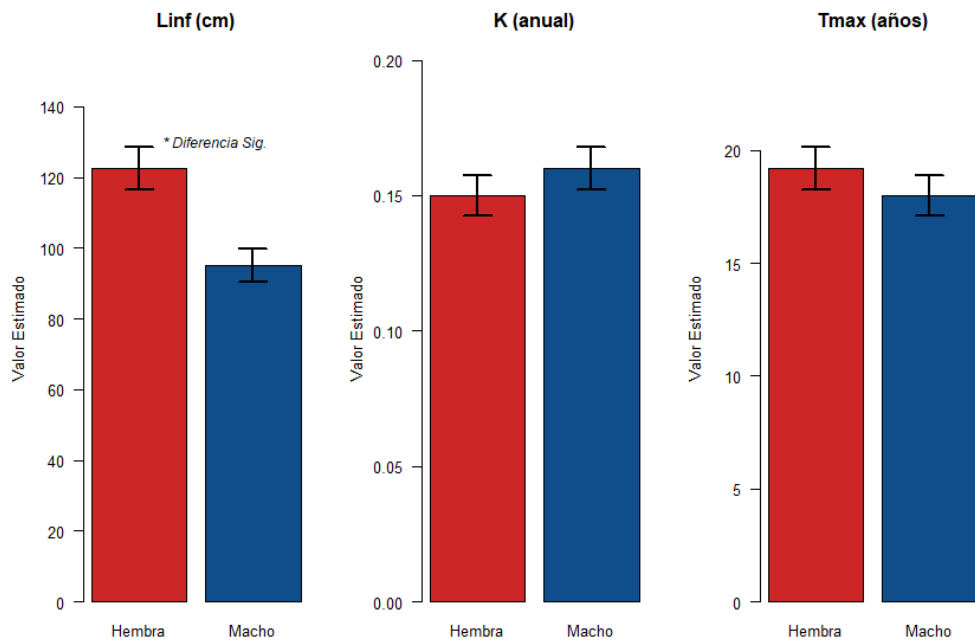


Figura7. Comparación de parámetros de crecimiento L_{∞} , K, y Tmax entre hembras y machos.

La distribución de frecuencias de tallas por edad confirma el dimorfismo sexual observado, mostrando que la población de machos se concentra predominantemente en un rango estrecho entre los 40 y 60 cm, con una rápida compresión de las clases de edad (A6 en adelante) al aproximarse a su talla asintótica. Por el contrario, las hembras exhiben una estructura de tallas más extendida y heterogénea, manteniendo un crecimiento longitudinal sostenido que les permite alcanzar los 110-120 cm, con una progresión de las líneas de edad (A1 a A20) mucho más espaciada en las clases de talla superior. Esta superposición de histogramas y curvas de crecimiento evidencia que, mientras los machos alcanzan su máximo tamaño de forma temprana y abrupta, las hembras presentan una trayectoria de crecimiento más prolongada, dominando exclusivamente las categorías de mayor longitud en la población (Figura 8 y 9)

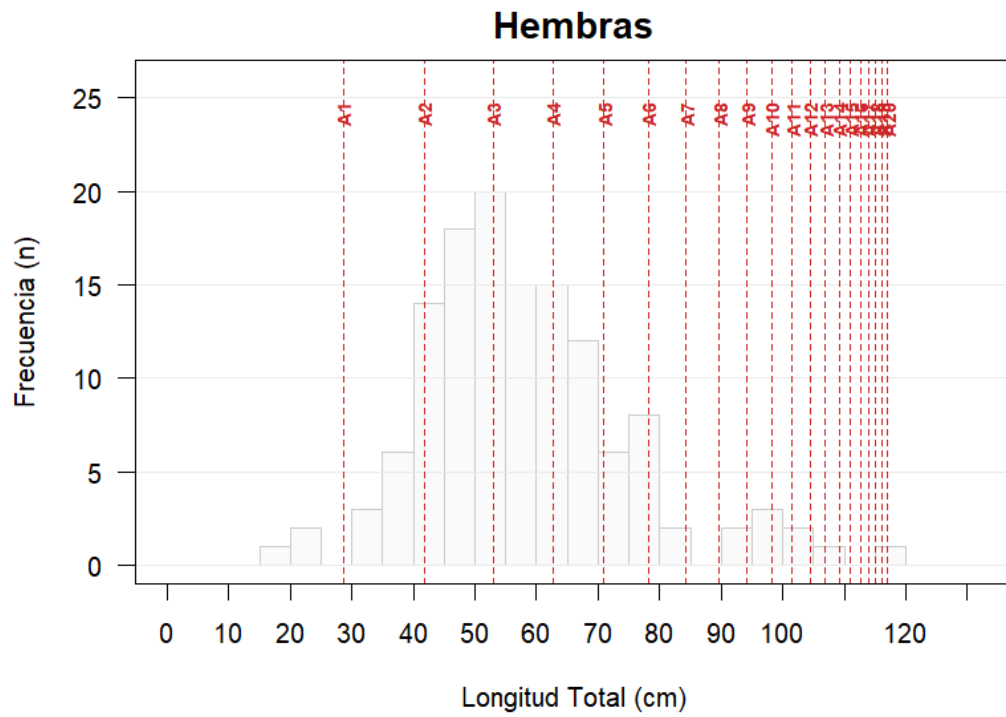


Figura 8. Análisis de cohortes estimadas a partir de la distribución de tallas para hembras de *N. entemedor*.

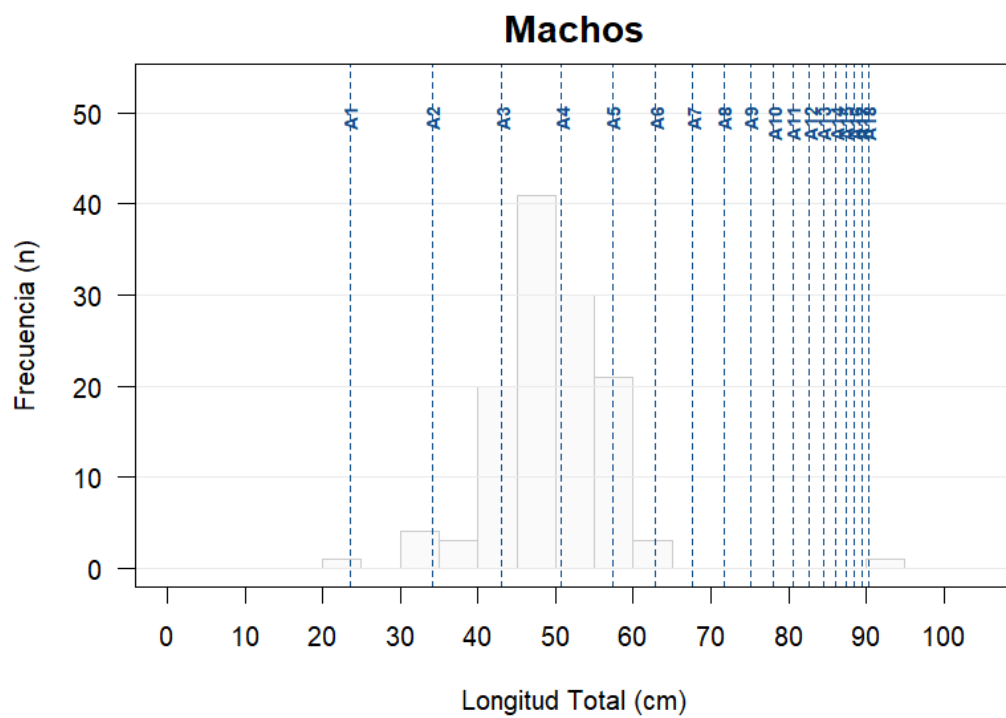


Figura 9. Análisis de cohortes estimadas a partir de la distribución de tallas para machos de *N. entemedor*.

El análisis de la superficie de respuesta ejecutado mediante el método ELEFAN identifica una mayor estabilidad en la estimación de los parámetros de crecimiento para las hembras en comparación con los machos. Para las hembras, se observa una región de ajuste óptimo (áreas en verde intenso) amplia y definida en torno a un L_{∞} de 122 cm, lo que indica una consistencia estadística del modelo ante variaciones en el coeficiente K. Por el contrario, la superficie de respuesta de los machos presenta una estructura fragmentada y heterogénea, con múltiples núcleos de ajuste que reflejan una mayor incertidumbre en la convergencia de los parámetros L_{∞} (cerca a 94 cm) y K (Figura 10 y 11)

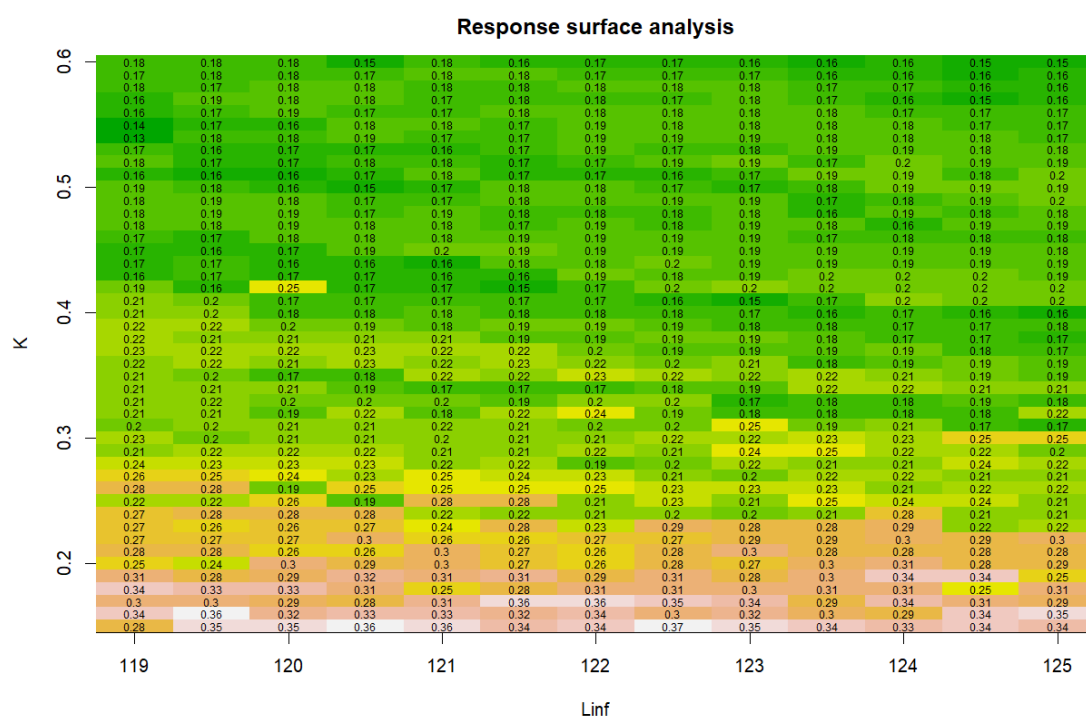


Figura 10: Análisis de superficie de respuesta mediante el método ELEFAN para hembras, mostrando el ajuste de los parámetros L_{∞} y K en un rango de 119 a 125 cm.

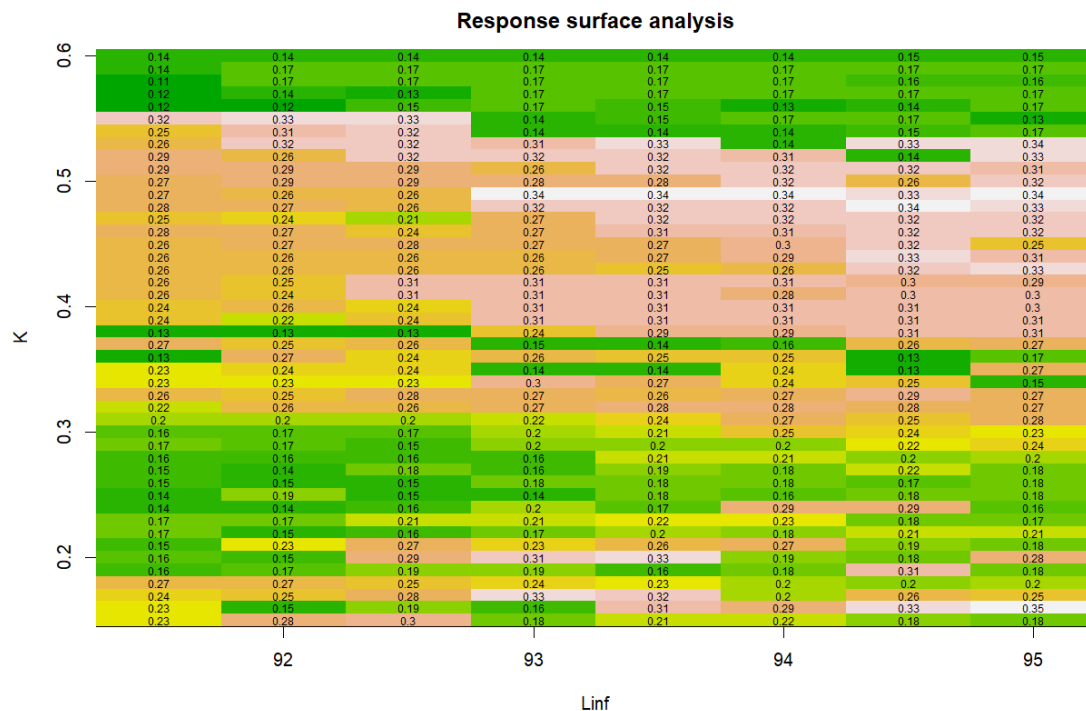


Figura 11: Análisis de superficie de respuesta mediante el método ELEFAN para machos, mostrando el ajuste de los parámetros L_{∞} y K en un rango de 92 a 95 cm.

4. DISCUSIÓN

Los datos analizados para *Narcine entemedor* capturadas en el Puerto Pesquero Artesanal de Santa Rosa presenta información importante sobre la estructura poblacional, el crecimiento y la longevidad de esta especie en el Pacífico ecuatoriano, tema con información insuficiente para los batoideos capturados de manera incidental. Desde el ámbito pesquero, el conocimiento de estos parámetros es básico para evaluar su fragilidad ante una explotación indirecta y el impacto acumulativo de la pesca, (Mora-Zamacona et al., 2022), analizaron la edad y crecimiento de *N. entemedor* en el Golfo de California reportaron un tamaño corporal de 41,5 y 58,8 cm Lt en machos; 49 y 84 cm Lt.en hembras ($L_{\infty}= 81,9$ cm, $K= 0,17$ año⁻¹) indicando un crecimiento relativamente más rápido, siendo mayor a lo reportado en el presente estudio. Estas diferencias pueden mostrar una variación geográfica en la dinámica de crecimiento, posiblemente por factores ambientales, productividad local y una intensidad pesquera diferente.

El dimorfismo sexual demostrado en la estructura de tallas y en los parámetros de crecimiento concuerda con lo reportado para otros elasmobranquios por (Blanco-Parra et al., 2008; Nicole et al., 2024). Las hembras alcanzaron una mayor longitud asintótica y una mayor longevidad teórica en comparación con los machos, este análisis sugiere estrategias de vida diferenciadas entre sexos, donde las hembras utilizan más energía en obtener mayores tamaños corporales, indicando una posible relación con una mayor capacidad reproductiva, mientras los machos alcanzan la madurez a tallas inferiores y con un crecimiento ligeramente más rápido (Gayford et al., 2025).

Se encontraron diferencias significativas en curvas de crecimiento entre sexos. Las curvas de crecimiento estimadas utilizando el modelo de Von Bertalanffy describieron un crecimiento rápido en etapas tempranas continuando con una desaceleración gradual, un modelo característico de especies longevas y de crecimiento lento como lo son los elasmobranquios (Carbonara et al., 2020). Las posiciones medias de cohortes estimados usando el modelo VB, presento una buena correlación con los ángulos de frecuencia observados, lo que puede indicar un buen acoplamiento del modelo de crecimiento y una estructura poblacional más concreta, al tener una buena relación con las curvas de crecimiento respalda la robustez de las estimaciones obtenidas usando el método ELEFAN_GA.

La divergencia en la estabilidad de las superficies de respuesta entre sexos se atribuye a la representatividad de las estructuras de tallas observadas en los histogramas. Mientras que en las hembras el método ELEFAN (Pauly, 1987) permite una delimitación clara del L_{∞} debido a una transición continua de las frecuencias hacia tallas superiores a los 100 cm, en los machos la fuerte concentración de la muestra en un rango estrecho de 40 a 60 cm limita la capacidad del algoritmo para definir una trayectoria de crecimiento única, resultando en un mapa de calor con núcleos de ajuste fragmentados. Este fenómeno sugiere que el dimorfismo sexual, donde las hembras alcanzan tallas significativamente mayores (von Bertalanffy, 1938), influye en la convergencia de los parámetros vitales, ya que la escasa representatividad de machos en tallas extremas aumenta la incertidumbre del modelo según los criterios de ajuste de FiSAT II (Gayanilo & Pauly, 1997). En consecuencia, las proyecciones para las hembras poseen un respaldo estadístico más sólido para la gestión del recurso al presentar menor variabilidad residual.

Los resultados obtenidos para *Narcine entemedor* mediante el método ELEFAN revelan un crecimiento lento y un marcado dimorfismo sexual, donde las hembras alcanzan una talla asintótica significativamente mayor que los machos, un patrón recurrente en elasmobranquios que optimiza la capacidad reproductiva y el espacio para el desarrollo embrionario (Cortés, 2000; Mejía-Falla et al., 2014). El bajo coeficiente de crecimiento (K 0.15) y la longevidad estimada cercana a los 20 años categorizan a esta especie como una estrategia de la selección K , caracterizada por una baja resiliencia poblacional y una alta vulnerabilidad ante la presión por pesca incidental (Musick, 1999). Estos parámetros de historia de vida sugieren que la extracción de individuos de tallas grandes, particularmente hembras, podría comprometer el reclutamiento y la estabilidad biológica del stock a largo plazo, dada la limitada capacidad de recuperación de la especie (Villavicencio-Garayzar, 1993).

Conclusiones

La relación longitud-peso reveló un crecimiento alométrico negativo y una buena correlación entre ambas variables, acorde a la morfología y ecología de la especie.

Se comprobó el notable dimorfismo sexual en la relación talla-peso y en los parámetros de crecimiento, donde la longitud asintótica (L_{∞}) y su longevidad fue mayor en hembras, mientras que la constante de crecimiento (k) fue levemente mayor en machos. *N. entemedor* se considera una especie de crecimiento lento y longeva según el modelo de crecimiento von Bertalanffy.

Los resultados obtenidos son fundamentales para futuros estudios poblacionales y contribuyen información para la gestión y conservación de *N. entemedor*, considerando su captura incidental se recomienda aplicar monitoreos y estudios que recopilen más información de su dinámica poblacional y reproducción, para poder evaluar la vulnerabilidad de *N. entemedor* en el Pacífico ecuatoriano.

REFERENCIAS

- Arellano-Torres, A., Hernández Montaña, D., & Meléndez Galicia, C. (2013). Comparación de tres métodos indirectos para estimar el crecimiento de la tilapia *Oreochromis aureus* (Perciformes: Cichlidae) en un lago tropical de México. *Revista de Biología Tropical*, 61(3), 1301-1312.
- Bizzarro, J. J., Smith, W. D., Hueter, R. E., & Villavicencio-Garayzar, C. J. (2009). Activities and Catch Composition of Artisanal Elasmobranch Fishing Sites on the Eastern Coast of Baja California Sur, Mexico. *Bulletin of the Southern California Academy of Sciences*, 108(3), 137-151. <https://doi.org/10.3160/0038-3872-108.3.137>
- Blanco-Parra, M. del P., Galván-Magaña, F., & Márquez-Farías, F. (2008). Edad y crecimiento del tiburón azul, *Prionace glauca* Linnaeus, 1758, en la costa noroeste de México. *Revista de biología marina y oceanografía*, 43(3), 513-520. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572008000300010>
- Brophy, D. (2014). Chapter Eight - Analysis of Growth Marks in Calcified Structures: Insights into Stock Structure and Migration Pathways. En S. X. Cadrin, L. A. Kerr, & S. Mariani (Eds.), *Stock Identification Methods (Second Edition)* (pp. 141-170). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-397003-9.00008-4>
- Cailliet, G. M. (2015). Perspectives on elasmobranch life-history studies: A focus on age validation and relevance to fishery management. *Journal of Fish Biology*, 87(6), 1271-1292. <https://doi.org/10.1111/jfb.12829>
- Carbonara, P., Bellodi, A., Palmisano, M., Mulas, A., Porcu, C., Zupa, W., Donnaloia, M., Carlucci, R., Sion, L., & Follesa, M. C. (2020). Growth and Age Validation of the Thornback Ray (*Raja clavata* Linnaeus, 1758) in the South Adriatic Sea

- (Central Mediterranean). *Frontiers in Marine Science*, 7.
<https://doi.org/10.3389/fmars.2020.586094>
- Cifuentes, R., González, J., Montoya, G., Jara, A., Ortiz, N., Piedra, P., & Habit, E. (2012). Relación longitud-peso y factor de condición de los peces nativos del río San Pedro (cuenca del río Valdivia, Chile). *Gayana (Concepción)*, 76, 86-100.
<https://doi.org/10.4067/S0717-65382012000100009>
- Cortés, E. (2000). Life history patterns and correlations in sharks. *Reviews in Fisheries Science*, 8(4), 299-344.
- Flores-Ortega, J. R., Godínez-Domínguez, E., & González-Sansón, G. (2015). Ecología trófica de siete especies de batoideos (Batoidea) en el Pacífico Central Mexicano. *Revista de biología marina y oceanografía*, 50(3), 521-533.
<https://doi.org/10.4067/S0718-19572015000400010>
- Freitas, M., Ideia, P., Biscoito, M., Kaufmann, M., & Sousa, R. (2023). Length-weight relationships for eight Chondrichthyes from the north-eastern Atlantic Ocean. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 49(1), 87-90.
<https://doi.org/10.1016/j.ejar.2022.01.002>
- Gayford, J. H., Seamone, S. G., Irschick, D. J., Chin, A., & Rummer, J. L. (2025). Sexual Size Dimorphism in Rays and Skates (Elasmobranchii: Batoidea). *Ecology and Evolution*, 15(7), e71858. <https://doi.org/10.1002/ece3.71858>
- Gayanilo, F. C., & Pauly, D. (1997). The FAO-ICLARM Stock Assessment Tools (FiSAT) Reference Manual. FAO Computerized Information Series (Fisheries). No. 8.
- Guzmán-Castellanos, A. B., Morales-Bojórquez, E., & Balart, E. F. (2014). Estimación del crecimiento individual en elasmobranquios: La inferencia con modelos múltiples. *HIDROBIOLÓGICA*, 24(2), Article 2.

- Macesic, L. J., & Kajiura, S. M. (2009). Electric organ morphology and function in the lesser electric ray, *Narcine brasiliensis*. *Zoology*, 112(6), 442-450. <https://doi.org/10.1016/j.zool.2009.02.002>
- Matta, M. E., Tribuzio, C. A., Ebert, D. A., Goldman, K. J., & Gburski, C. M. (2017). Age and Growth of Elasmobranchs and Applications to Fisheries Management and Conservation in the Northeast Pacific Ocean. *Advances in Marine Biology*, 77, 179-220. <https://doi.org/10.1016/bs.amb.2017.06.002>
- McEachran, J., & Carvalho, M. R. (2002). *Batoid fishes*. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/285309306_Batoid_fishes
- Mejía-Falla, P. A., Cortés, E., Navia, A. F., & Zapata, F. A. (2014). Age and growth of the round stingray *Urotrygon rogersi*, a common bycatch species of the tropical eastern Pacific. *Marine and Freshwater Research*, 65(8), 719-731.
- Mildenberger, T. K., Taylor, M. H., & Wolff, M. (2017). TropFishR: An R package for fisheries analysis with length-frequency data. *Methods in Ecology and Evolution*, 8(11), 1520-1527. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12791>
- Mora-Zamacona, P., Melo-Barrera, F. N., Cruz-Escalona, V. H., Navia, A. F., Morales-Bojórquez, E., Pérez-Palafox, X. A., & Mejía-Falla, P. A. (2022). Growth Modeling of the Giant Electric Ray *Narcine entemedor* in the Southern Gulf of California: Analyzing the Uncertainty of Three Data Sets. *Animals*, 12(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/ani12010019>
- Musick, J. A. (1999). Ecology and conservation of long-lived marine animals. *American Fisheries Society Symposium*, 23, 1-10.
- Nicole, S.-A., Fernanda, Z.-C., Mendoza-Nieto, K., & Briones-Mendoza, J. (2024). Age and growth of the blue shark *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758) in the Ecuadorian Pacific: Bayesian multi-models. *Journal of Fish Biology*, 105(1), 34-45. <https://doi.org/10.1111/jfb.15755>

- Ochoa Ubilla, B. Y., Mendoza Nieto, K. X., Vivas Moreira, R., Urdánigo Zambrano, J. P., & Ferrer Sánchez, Y. (2016). Estructura de tallas de captura y relación longitud-peso de peces nativos en el humedal Abras de Mantequilla: Ecuador. *Revista Ciencia y Tecnología*, 9(2), 19-27.
- Pauly, D. (1979). *Gill size and temperature as governing factors in fish growth: A generalization of von Bertalanffy's growth formula* [Report]. Institut für Meereskunde. https://doi.org/10.3289/ifm_ber_63
- Pauly, D. (1987). A review of the ELEFAN system for analysis of length-frequency data in fish and aquatic invertebrates. ICLARM Conf. Proc., 13, 7-34.
- R Core Team (2024) *R A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. - *References—Scientific Research Publishing*. (2024, diciembre 18). <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=3887298>
- Ricker, W. E. (1975). *Computation and interpretation of biological statistics of fish populations*. DEFMS. <http://www.dfo-mpo.gc.ca/Library/1485.pdf>
- Rivera-Velázquez, G., Aguilar-Ballinas, J. M., Trejo-González, C., Peralta-Meixueiro, M. Á., Rivera-Velázquez, G., Aguilar-Ballinas, J. M., Trejo-González, C., & Peralta-Meixueiro, M. Á. (2023). Estructura de tallas, relación longitud-peso y factor de condición de cuatro peces nativos en la represa Nezahualcóyotl, Chiapas, México. *Caldasia*, 45(2), 323-331. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v46n2.100458>
- Schwamborn, R., Mildenerberger, T. K., & Taylor, M. H. (2018). *Assessing sources of uncertainty in length-based estimates of body growth in populations of fishes and macroinvertebrates with bootstrapped ELEFAN* (arXiv:1808.07154). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1808.07154>

- Seahorse), R. P. (Project, Mario Espinoza (James Cook University, Q., Education), O. S.-N. (The E. C. for S. R. and H., Katelyn Herman (Georgia Aquarium, A., Foundation), A. F. N. (Squalus, Society)), P. A. M.-F. (Squalus F. (Wildlife C., Bizzarro, J., Burgos-Vázquez, I., Group), J. C. P. J. (IUCN S. S. S., Avalos, C., Cevallos, A., Morales-Saldaña, J. M., & González, A. (2019). IUCN Red List of Threatened Species: *Narcine entemedor*. *IUCN Red List of Threatened Species*. <https://www.iucnredlist.org/en>
- Taylor, C. (1958). Cod Growth and Temperature. *Journal du Conseil*, 23(3), 366-370. <https://doi.org/10.1093/icesjms/23.3.366>
- Taylor, M. H., & Mildenerberger, T. K. (2017). Extending electronic length frequency analysis in R. *Fisheries Management and Ecology*, 24(4), 330-338. <https://doi.org/10.1111/fme.12232>
- Tenelema, C. M., Arcentales-Delgado, J. M., Vélez-Tacuri, J. R., & Carrera-Fernández, M. (2014). Especies de batoides presentes en la costa del Pacífico ecuatoriano. *VI Simposium Nacional de Tiburones y Rayas, Mazatlán*, 7-12.
- Von Bertalanffy, L. (1938). A Quantitative Theory of Organic Growth (inquiries on Growth Laws. II). *Human Biology*, 10(2), 181-213.
- Villavicencio-Garayzar, C. J. (1993). Biología reproductiva de *Narcine entemedor* (Rajiformes: Narcinidae), en Bahía de La Paz, B.C.S., México. *Revista de Biología Tropical*, 41(3), 823-829.
- Weigmann, S. (2016). Annotated checklist of the living sharks, batoids and chimaeras (Chondrichthyes) of the world, with a focus on biogeographical diversity. *Journal of Fish Biology*, 88(3), 837-1037. <https://doi.org/10.1111/jfb.12874>