

# UNIVERSIDAD DEL MAR CAMPUS PUERTO ÁNGEL



## EDAD Y CRECIMIENTO DEL BARRILETE NEGRO (*Euthynnus lineatus*) BAJO EL ENFOQUE DE LA TEORÍA DE LA INFORMACIÓN

TESIS

Que para obtener el Título Profesional de  
**Licenciado en Biología Marina**

Presenta

**Roberto Iván Velásquez Polanco**

Matrícula: 09020061

Dirigido por

**Dra. Genoveva Cerdanars Ladrón de Guevara**

Ciudad Universitaria, Puerto Ángel, Oaxaca, México, agosto de  
2017

Ciudad universitaria, Puerto Ángel, Oax., a 7 de agosto de 2017



## ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

Una vez efectuada la revisión detallada de la tesis “**EDAD Y CRECIMIENTO DEL BARRILETE NEGRO (*Euthynnus lineatus*) BAJO EL ENFOQUE DE LA TEORÍA DE LA INFORMACIÓN**” que presenta el pasante de Biología Marina, **C. Roberto Iván Velásquez Polanco**, con matrícula 09020061; consideramos que cumple con la calidad y los requisitos académicos necesarios para que continúe con los trámites correspondientes para la defensa de examen profesional y titulación.

## COMISIÓN REVISORA

---

**Dra. Genoveva Cerdenares Ladrón De Guevara**

Profesor-Investigador, UMAP

Campus Puerto Ángel

**Directora de Tesis**

---

**Hidrobiol. Gabriela González Medina**

Profesor-investigador, UMAP

Campus Puerto Ángel

**Revisora**

---

**Ing. Pesq. Samuel Ramos Carrillo**

Profesor-Investigador, UMAP

Campus Puerto Ángel.

**Revisor**

---

**Dra. Gabriela Galindo Cortés**

Profesor-investigador, ICIMAP

Universidad Veracruzana, Boca del Río

**Revisora**

---

**M. en C. Heber Zea de la Cruz**

Técnico investigador, INAPESCA

CRIP, Veracruz

**Revisor**

## Resumen

Entre las especies de túnidos, el barrilete negro *Euthynnus lineatus* (Kishinouye 1920) presenta dos características, su prevalencia en aguas costeras y una distribución restringida al Océano Pacífico Oriental. Internacionalmente, México obtiene el mayor aprovechamiento de esta especie, por lo tanto, el conocimiento de su biología pesquera adquiere relevancia. Hasta el momento, aspectos como la edad, el crecimiento relativo y crecimiento individual no habían sido abordados con un enfoque de teoría de la información. Bajo este escenario y con los objetivos de estimar la edad y describir crecimiento del barrilete negro, se obtuvo la longitud furcal, peso total, sexo y la primera espina de la aleta dorsal de ejemplares capturados en la costa chica de Oaxaca, durante octubre de 2013 a noviembre de 2014. Se analizaron estadísticamente las longitudes, los pesos, la proporción sexual y el factor de condición. El crecimiento relativo fue evaluado a partir de tres modelos; potencial, cuadrático y cúbico. Las edades fueron estimadas mediante el conteo de anillos en secciones de espinas. Para validar la periodicidad de los anillos se utilizó un modelo sinusoidal simétrico. Seis modelos de crecimiento individual fueron ajustados a los datos talla-edad. Los mejores modelos fueron seleccionados con el criterio de información de Akaike ( $AIC$ ) y su ponderación ( $w_i$ ). Las estructuras de longitudes y pesos fueron unimodales con variaciones mensuales. La mejor condición de los peces se obtuvo en la temporada de vientos con variaciones temporales. La proporción sexual encontrada fue 0.87:1 hembras:macho ( $p > 0.05$ ). El crecimiento relativo mostró alometría negativa, descrita por el modelo potencial ( $P_t = 0.25E^{-3} * LF^{2.29}$ ;  $AIC = 972.24$ ;  $w_i = 99.93$ ). La precisión de las lecturas fue  $CV_{total} = 11\%$ . Un anillo doble se formó cada 12 meses. En las capturas existen 10 grupos de edad de 2 a 11 años, la edad más frecuente fue la de 8 años. El modelo logístico fue el mejor descriptor del crecimiento individual ( $LF_{ti} = 52.17 * [1 + e^{-0.47(t-3.73)}]^{-1}$ ;  $AIC = 1897.93$ ;  $w_i = 99.91$ ), indicando que *E. lineatus* presenta una estrategia de crecimiento rápido, permitiéndole convertirse en un depredador activo a edades tempranas.

**Palabras clave:** *Euthynnus lineatus*, barrilete negro, modelación del crecimiento, teoría de la información,  $AIC$ .

## Abstract

Among tuna species, the black skipjack *Euthynnus lineatus* (Kishinouye 1920) has two characteristics, his prevalence in coastal waters and a restricted distribution to Eastern Pacific Ocean. Internationally, Mexico obtains the greatest exploitation of this species, therefore, the knowledge of his fisheries biology is relevant. Until now, aspects such as age, relative and individual growth have not been addressed with a practical information-theoretic approach. In this context and with the objectives of estimating the age and describing black skipjack growth, furcal lengths, total weights, sex and the first dorsal fin spine were obtained from three locations on the Oaxaca coast during october 2013 to november 2014. The lengths, weights, sex ratio and condition factor were statistically analyzed. Relative growth was assessed with the potential, quadratic and cubic models. The ages were estimated by rings counting in fin spines sections. A symmetrical sinusoidal model was used to validate the rings periodicity. Six individual growth models were fitted to length-age data. The best models were selected with the Akaike information criterion (*AIC*) and their weighing (*wi*). The lengths and weights structures were unimodal with monthly variations. The best condition of the fishes was obtained in the winds season with temporary variations. The sex ratio was 0.87:1 females:male ( $p > 0.05$ ). The relative growth showed negative allometry, optimally described by the potential model ( $P_t = 0.25E^{-3} * LF^{2.29}$ ;  $AIC = 972.24$ ;  $wi = 99.93$ ). The accuracy of the readings was  $CV_{total} = 11\%$ . A double ring was formed every 12 months. There were 10 age groups from 2 to 11 years, the most frequent was the age of 8 years. The logistic model was the best descriptor of individual growth ( $LF_{ti} = 52.17 * [1 + e^{-0.47(t-3.73)}]^{-1}$ ;  $AIC = 1897.93$ ;  $wi = 99.91$ ) indicating that *E. lineatus* has a fast growth strategy allowing it to become an active predator at early ages.

**Keywords:** *Euthynnus lineatus*, black skipjack, growth modeling, information-theoretic approach, *AIC*.

**A DIOS  
A MI FAMILIA  
Y  
A MIS AMIGOS**

**Les dedico este libro por que han sido mi  
luz y mi fortaleza durante este  
maravilloso tiempo**

**Estoy convencido que mi verdad no está en la ciencia ni en la soledad, está en el amor que me da la libertad, pues no vale la pena vivir si tú no estás aquí (Onix Rodríguez).**

## **Agradecimientos**

Sin lugar a dudas debo reconocer que esta tesis es el resultado del esfuerzo de muchas personas, quienes contribuyeron de manera directa e indirecta al desarrollo del proyecto de investigación, la participación de cada quien fue fundamental para llevar a cabo esta obra que ahora me alegro en compartirles, no sin antes agradecerles todo lo que hicieron.

Agradezco a la Universidad del Mar Campus Puerto Ángel, por la educación que me dio y por las facilidades otorgadas para desarrollar los métodos de campo, laboratorio y de oficina pertinentes para esta tesis. Muchas Gracias al Laboratorio de Ictiología y Biología Pesquera y al Laboratorio de Dinámica de Poblaciones Pesqueras de la UMAR.

Agradezco a mis padres, Samuel Félix Velásquez Santos y Mara Odilí Polanco Estrada, por financiar mi manutención en el periodo de mi carrera y durante el desarrollo de esta tesis, su ayuda fue mi piedra angular para seguir adelante, los amo infinitamente.

De manera muy especial quiero agradecer a mi directora de tesis la Dra. Genoveva Cerdaneres Ladrón de Guevara, por ser mi mentora en la biología pesquera y la bioestadística, valoro mucho sus enseñanzas y consejos, de verdad me siento muy afortunado de ser su alumno. Al Ingeniero pesquero Samuel Ramos Carrillo que con su amplio conocimiento generó en mi ese interés por la modelación biológica y por enseñarme de manera precisa y oportuna. A la maestra Gabriela González Medina por abrirme los ojos de biólogo y enseñarme a razonar de manera natural.

A la Dra. Gabriela Galindo Cortez investigadora de la Universidad Veracruzana, por sus revisiones a esta tesis y por influir en mi perspectiva científica con su tesis doctoral. Al M en C. Heber Zea De la Cruz, técnico investigador del INAPESCA, por su gran disposición para revisar esta tesis y por pasarme sus técnicas en Excel durante el curso de poblaciones marinas explotadas del 2013.

También quiero agradecer a los que realizaron los muestreos de campo: Dra. Genoveva Cerdaneres Ladrón de Guevara, Ing. Pesq. Samuel Ramos Carrillo, Hidrobiol. Gabriela González Medina, Biol. Mar. Gustavo Oviedo Piamonte, Biol. Mar. Nancy Elizabeth Ruiz Pérez, Biol. Adriana Sandoval, M en C. Tania Ortiz, M. en C. Dora Liney López Herrera, Dra. Sofía Rodiles Hernández, Jesús Mendoza, Elizabeth Gutiérrez Sánchez, Edgar Alejandro Chuc Zarate, Biol. Mar. Sandra Rosas Narváez. El trabajo de laboratorio fue muy ameno, Ezequiel Estrada Alemán y Ada Guadalupe González Franco, con sus sonrisas y comentarios, me siento profundamente agradecido con ustedes por que hicimos un buen trabajo. A los tesisistas del Laboratorio de Ictiología y Biología Pesquera de la Universidad del Mar: Pas. Biol. Mar. Víctor Hugo Alvarado Ruiz, Pas. Biol. Mar. Emmanuel Lazo Zúñiga y Pas. Biol. Mar. Paulina Ruiz Rosales, muchas gracias por sus observaciones sobre mi trabajo, fueron muy importantes para las ponencias en los congresos asistidos.

De manera generosa quiero agradecer al Dr. Enrique Morales Bojórquez investigador del CIBNOR, al Dr. Hugo Aguirre Villa Señor investigador del INAPESCA, a la Dra. Silvia Salas Márquez investigadora del CINVESTAV y a la Dra. Ratana Chuenpagdee investigadora de la Memorial University of Newfoundland, por todos sus consejos y sus trabajos, siempre tan profesionales, elegantes y de calidad internacional. De manera especial agradezco al M. en C. Jesús Bautista Romero, al M. en C. José Ángel Hidalgo de la Toba, por sus comentarios tan valiosos para enriquecer la discusión de la tesis. Al Biólogo Marino y canta-autor José de Jesús Hernández Guillen y al Biólogo Marino Gustavo Oviedo Piamonte, muchas gracias por su esfuerzo, dedicación y ejemplo durante nuestra carrera, con su ayuda en esta tesis me trajeron esperanza, para ustedes, mi más sincera admiración amigos míos.

Agradezco a todos los pescadores de Puerto Ángel, Puerto Escondido y Bahías de Huatulco, autores de las capturas y facilitadores de su información, de verdad, espero que algún día les pueda beneficiar el trabajo que se realiza a partir de la ciencia pesquera.

**Reconozco que sin todos ustedes no hubiera alcanzado la meta,  
mil gracias =)**

## Índice general

<b>Índice de figuras</b> .....	viii
<b>Índice de tablas</b> .....	xi
<b>Introducción</b> .....	1
<b>Antecedentes</b> .....	5
<i>Revisión del crecimiento relativo, edad y crecimiento individual del género Euthynnus</i> .....	5
<i>Revisión de los estudios de edad y crecimiento que utilizan la teoría de la información</i> .....	12
<b>Hipótesis de trabajo</b> .....	15
<b>Justificación</b> .....	16
<b>Objetivos</b> .....	17
<i>Objetivo general</i> .....	17
<i>Objetivos específicos</i> .....	17
<b>Material y métodos</b> .....	18
<i>Área de estudio</i> .....	18
<i>Colecta de datos y muestras</i> .....	23
<i>Estructura de tallas, pesos y proporción sexual</i> .....	23
<i>Análisis del crecimiento relativo y condición</i> .....	26
<i>Estimaciones de edad</i> .....	27
<i>Validación de la periodicidad de formación de anillos</i> .....	36
<i>Crecimiento individual</i> .....	38
<i>Técnicas de modelación e inferencia aplicada</i> .....	41
<b>Resultados</b> .....	45
<i>Colecta de datos y muestras</i> .....	45
<i>Estructura de tallas, pesos y proporción sexual</i> .....	46
<i>Análisis del crecimiento relativo y condición</i> .....	50
<i>Estimaciones de edad</i> .....	54
<i>Validación de la periodicidad de formación de anillos</i> .....	61
<i>Crecimiento individual</i> .....	63

<b>Discusión</b> .....	<b>73</b>
<i>Estructura de tallas, pesos y condición</i> .....	<b>73</b>
<i>Análisis del crecimiento relativo y la proporción sexual</i> .....	<b>75</b>
<i>Estimaciones de edad</i> .....	<b>79</b>
<i>Validación de la periodicidad de formación de anillos</i> .....	<b>85</b>
<i>Crecimiento individual</i> .....	<b>89</b>
<i>Técnicas de modelación e inferencia aplicada</i> .....	<b>94</b>
<b>Conclusiones</b> .....	<b>95</b>
<b>Literatura citada</b> .....	<b>96</b>
<b>Anexos</b> .....	<b>127</b>
<i>Anexo A: Recomendaciones para la asignación de edades previas</i> .....	<b>127</b>
<i>Anexo B: Glosario de términos para la asignación de edad</i> .....	<b>128</b>
<i>Anexo C: Imágenes de las secciones de espinas del barrilete negro</i> .....	<b>132</b>

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Área de estudio, costa chica de Oaxaca, Puerto Escondido, Puerto Ángel y Bahías de Huatulco.-----	<b>18</b>
<b>Figura 2.</b> Marcado de la primera espina de la aleta dorsal de <i>Euthynnus lineatus</i> , sobre una cruceta. La marca negra en la espina representa el 100% de la distancia entre los cóndilos superiores. -----	<b>28</b>
<b>Figura 3.</b> Espinas dorsales de <i>Euthynnus lineatus</i> incluidas de manera horizontal en resina sintética. -----	<b>28</b>
<b>Figura 4.</b> Estrategia empírica para la estandarización del método de corte. En A se muestran las marcas en dos diferentes niveles de la espina, B muestra el sentido de los primeros cortes y C muestra el sentido de los últimos cortes. -----	<b>29</b>
<b>Figura 5.</b> Bolsa de tipo Glassine, etiquetadas para el almacenamiento de secciones de espinas.-----	<b>30</b>
<b>Figura 6.</b> Sección de la primera espina dorsal de <i>Euthynnus lineatus</i> , muestra las medidas obtenidas, diámetro total ( $D_T$ ), diámetro de anillo ( $d_a$ ) y el centro. -----	<b>34</b>
<b>Figura 7.</b> Histograma de frecuencias de la longitud furcal (barras) y su polígono de ajuste a la función multinomial (línea continua) para <i>Euthynnus lineatus</i> capturado durante el periodo octubre 2013-noviembre 2014 en la costa chica de Oaxaca, México.-----	<b>46</b>
<b>Figura 8.</b> Variación mensual de longitud furcal de <i>Euthynnus lineatus</i> capturado por la flota artesanal en la costa chica de Oaxaca. -----	<b>47</b>
<b>Figura 9.</b> Histograma de frecuencias de pesos totales de <i>Euthynnus lineatus</i> capturado por la flota artesanal en la costa chica de Oaxaca. La línea continúa representa la función multinomial.-----	<b>48</b>
<b>Figura 10.</b> Variación mensual del peso total de <i>Euthynnus lineatus</i> capturado por la flota artesanal en la costa chica de Oaxaca.-----	<b>49</b>
<b>Figura 11.</b> Arriba, relación Longitud furcal-Peso total para sexos combinados de <i>Euthynnus lineatus</i> capturados en la costa chica de Oaxaca, representada por la función potencial indicada en la gráfica, n es la cantidad de datos usados. Abajo, grafica de residuos (observados-calculados=errores del peso). -----	<b>50</b>

**Figura 12.** Perfiles de verosimilitud de los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  de la función potencial ( $X^2, p < 0.05$ ) ajustada a datos  $LF-P_t$  de *Euthynnus lineatus* capturado en la costa chica de Oaxaca. La línea azul representa el logaritmo negativo de la verosimilitud y la línea roja el valor de probabilidad de  $X^2$ . -----52

**Figura 13.** Tendencia de los valores de las medianas del factor de condición de sexos combinados de *Euthynnus lineatus* durante el periodo muestreado.-----53

**Figura 14.** Sitio adecuado para realizar los cortes transversales en las espinas de *Euthynnus lineatus*, la flecha muestra el sitio correcto.-----54

**Figura 15.** Sección transversal de la primera espina de la aleta dorsal de *Euthynnus lineatus* para lectura y asignación de edad preliminar. Donde CA es el canal anterior, EC es el eje central, ZV es la zona vascularizada, N es el núcleo o centro teórico, SP es el surco posterior, BO es la banda oscura, BC es la banda clara. El número de anillos se encuentra en los círculos blancos, nótese que 1 y 2 son bandas dobles y 3 es una banda simple; B indica el borde (oscuro). -----56

**Figura 16.** Histograma de frecuencia de edad preliminar para los organismos de la especie *Euthynnus lineatus* capturados en la costa Oaxaqueña. -----57

**Figura 17.** Gráficos de desviación, muestran las edades preliminares con mayor dificultad para asignar edad en las secciones de espinas de *Euthynnus lineatus*. -----58

**Figura 18.** Histograma de frecuencia del nivel de legibilidad de las secciones de espinas de *Euthynnus lineatus* de la costa Oaxaqueña. -----59

**Figura 19.** Tendencia del % de CV con respecto a la edad preliminar de los organismos de *Euthynnus lineatus*.-----59

**Figura 20.** Histograma de frecuencia de edades estimadas con base en el método de localización.-----60

**Figura 21.** Tendencia del tipo de borde de las secciones de espinas de *Euthynnus lineatus* con respecto a los meses muestreados.-----61

**Figura 22.** Modelo sinusoidal simétrico ajustado a una serie duplicada de datos promedio de la PIM estimada para los anillos de crecimiento de *Euthynnus lineatus*.-----62

**Figura 23.** Arriba función exponencial ajustada a los datos observados de longitud furcal versus el diámetro de la espina. Abajo dispersión de los errores calculados. -----64

<b>Figura 24.</b> Perfiles de verosimilitud de los parámetros $\alpha$ y $\beta$ de la función exponencial ajustada a los datos de Longitud furcal-Diámetro de la espina ( $X^2, p < 0.05$ ). La línea azul representa el logaritmo negativo de la verosimilitud y la línea roja el valor de probabilidad de $X^2$ . -----	<b>65</b>
<b>Figura 25.</b> Datos Longitud furcal-Edad obtenidos por retrocálculo, a partir de un modelo de relación exponencial.-----	<b>66</b>
<b>Figura 26.</b> Datos Longitud furcal-Edad observados en las muestras de <i>Euthynnus lineatus</i> , capturado por la pesca ribereña de Oaxaca. -----	<b>67</b>
<b>Figura 27.</b> A) Datos talla-edad y curva de crecimiento logístico ajustada para el barrilete negro <i>Euthynnus lineatus</i> capturado en la costa chica de Oaxaca. B) Dispersión de los errores (observados-calculados).-----	<b>69</b>
<b>Figura 28.</b> Contornos de verosimilitud conjuntos para $LF_{\infty}$ y $k$ , la elipse central en color azul muestra la región de confianza al 95% ( $X^2, p < 0.05$ ). -----	<b>70</b>
<b>Figura 29.</b> Perfil de verosimilitud del parámetro $t_0$ del modelo Logístico ajustado a datos de <i>Euthynnus lineatus</i> ( $X^2, p < 0.05$ ). La línea azul representa el logaritmo negativo de la verosimilitud y la línea roja el valor de probabilidad de $X^2$ .-----	<b>71</b>
<b>Figura 30.</b> Secciones transversales de la primera espina de la aleta dorsal de <i>Euthynnus lineatus</i> . Los puntos negros indican los anillos observados (edad preliminar) en cada sección. -----	<b>132</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla I.</b> Set de funciones para describir la relación entre el Diámetro de la espina versus la Longitud furcal.....	<b>38</b>
<b>Tabla II.</b> Set de modelos candidatos para describir el crecimiento individual del barrilete negro <i>Euthynnus lineatus</i> .....	<b>40</b>
<b>Tabla III.</b> Datos de los modelos ajustados a la relación $LF - P_t$ obtenidos con la inferencia de múltiples modelos. ....	<b>51</b>
<b>Tabla IV.</b> Valores óptimos de los parámetros de las funciones ajustadas. ....	<b>51</b>
<b>Tabla V.</b> Marcas completas observadas y porcentajes de los cortes realizados a diferentes grosores. ....	<b>55</b>
<b>Tabla VI.</b> Distancias máximas y mínimas de los anillos identificados (mm), IC= intervalos al 95% de confianza. ....	<b>60</b>
<b>Tabla VII.</b> Valores de ajuste para diversos modelos que describen la relación Diámetro de la espina-Longitud furcal y viceversa de <i>Euthynnus lineatus</i> .....	<b>63</b>
<b>Tabla VIII.</b> Valores óptimos de los parámetros y de verosimilitud para el set de modelos utilizado en la descripción del crecimiento de <i>Euthynnus lineatus</i> . *Parámetros calculados posterior al ajuste. ....	<b>68</b>
<b>Tabla IX.</b> Valores de la selección de modelos de crecimiento aplicados a datos de Longitud furcal-Edad del barrilete negro <i>Euthynnus lineatus</i> . ....	<b>70</b>
<b>Tabla X.</b> Clave Longitud furcal-Edad para <i>Euthynnus lineatus</i> capturado en la costa de Oaxaca, México, durante octubre 2013-noviembre 2014.....	<b>72</b>