








Dinámica poblacional y modelación del crecimiento de *Oreochromis aureus* en la presa Josefa Ortiz de Domínguez, Sinaloa, México

Population dynamics and growth modelling of *Oreochromis aureus* in the Josefa Ortiz de Domínguez reservoir, Sinaloa, Mexico

Hernández-Sandoval, P.¹ , Ruíz-García, J.D.¹ , Díaz-Camacho, S.P.² , Ávila-Díaz, J.A.³ ,
Moreno -Rentería, K.J.⁴ , Padilla-Serrato, J.G.^{5,6} , Magaña-Correa, J.D.⁷,
Rábago-Quiroz, C.H.⁸ *.

¹ Departamento Académico de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad Autónoma de Occidente, Unidad Regional Los Mochis, Boulevard Macario Gaxiola s/n, 81217, Sinaloa, México. ² Unidad de investigación en Ambiente y Salud, Universidad Autónoma de Occidente, Los Mochis, Sinaloa, México. ³ Departamento Académico de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Occidente, Unidad Regional Los Mochis, Boulevard Macario Gaxiola s/n, 81217, Sinaloa, México. ⁴ Departamento Académico de Ciencias Económico Administrativas, Universidad Autónoma de Occidente, Unidad Regional Los Mochis, Boulevard Macario Gaxiola s/n, 81217, Sinaloa, México. ⁵ Facultad de Ecología Marina, Universidad Autónoma de Guerrero (UAGro), C.P. 39390, Acapulco, Guerrero, México. ⁶ Investigadoras e Investigadores por México-CONACYT, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. ⁷ University of Belize, Belmopan Campus, P.O. Box 340, Cayo, Belize. ⁸ Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura. Centro Regional de Investigación Acuícola y Pesquera, C.P. 23020. La Paz, Baja California Sur, México.



Please cite this article as/Como citar este artículo: Hernández-Sandoval, P., Ruíz-García, J. D., Díaz-Camacho, S. P., Ávila-Díaz, J. A., Moreno-Rentería, K. J., Padilla-Serrato, J. G., Magaña-Correa, J.D., Rábago-Quiroz, C. H. (2023). Population dynamics and growth modelling of *Oreochromis aureus* in the Josefa Ortiz de Domínguez reservoir, Sinaloa, Mexico. *Revista Bio Ciencias*, 10 e1454. <https://doi.org/10.15741/revbio.10.e1454>

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: January 20th 2023.

Accepted/Aceptado: May 18th 2023.

Available on line/Publicado: May 25th 2023.

RESUMEN

La tilapia *Oreochromis aureus* es la principal fuente de ingresos del sector pesquero en la presa Josefa Ortiz de Domínguez, Sinaloa, México. Es de suma importancia aportar información biológico-pesquera, con la finalidad de sentar las bases para un adecuado manejo de esta especie. Con información de muestreos mensuales de la pesca comercial realizados de octubre de 2011 a abril 2012 en dicho embalse, se realizó la modelación del crecimiento a través del modelo de Schnute y se eligió al mejor submodelo (casos) según el criterio de información de Akaike (AIC). La talla de madurez para las hembras y la selectividad para el total de los organismos fue estimada con el modelo logístico. De 1,689 tilapias analizadas, las tallas fluctuaron de 125-305 mm de longitud total (TL) para las hembras y de 125-370 TL para machos. Los mejores casos del modelo de Schnute fueron el 2 y 5 de acuerdo al AIC. La talla de madurez estimada para hembras fue de 197 mm de TL. De acuerdo a los estimados de crecimiento, talla de madurez y selectividad, podemos deducir que la pesca comercial puede estar causando un impacto negativo, directamente a los reproductores y juveniles de la tilapia *O. aureus* en este embalse.

PALABRAS CLAVE: Tilapia azul, presa el sabino, talla de madurez, selectividad, Akaike.

*Corresponding Author:

Carlos H. Rábago-Quiroz. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura. Centro Regional de Investigación Acuícola y Pesquera, C.P. 23020. La Paz, Baja California Sur, México. Teléfono: (55) 387 9500 Ext. 55720. E-mail: carlos.rabago@inapesca.gob.mx

ABSTRACT

Tilapia fish *Oreochromis aureus* represents the main source of income for the fishing sector in the Josefa Ortiz de Domínguez reservoir, Sinaloa, Mexico. It is of utmost importance to provide biological-fishery information to lay the foundation for the proper management of this species. Based on information from monthly commercial fishery samples collected from October 2011 to April 2012 in this reservoir, growth was modeled using the Schnute growth model, and the best submodel (cases) was selected according to the Akaike Information Criterion (AIC). The maturity size for females and selectivity for total organisms was estimated with the logistic model. From the 1,689 tilapia analyzed, sizes ranged from 125-305 mm total length (TL) for females and 125-370 TL for males. The best cases of the Schnute growth model were 2 and 5 according to the AIC. The estimated mature length for females was 197 mm TL. Based on the assessments of growth, size at maturity, and selectivity, data suggest that the commercial fishery may be having a direct negative impact on the *O. aureus* tilapia broodstock and juveniles in this reservoir.

KEY WORDS : Blue tilapia, El Sabino reservoir, maturity size, selectivity, Akaike.

Introducción

Las tilapias o mojarra (género *Oreochromis*) son un grupo de peces conocidos por su rápido crecimiento, reproducción durante todo el año (con cuidado parental) y talla de maduración sexual alcanzada en un corto tiempo. Estas características las hace exitosas para establecerse y proliferar en casi cualquier tipo de ecosistema acuático (Küçük *et al.*, 2013; Al-Wan & Mohamed, 2019). Las tilapias han sido introducidas en cuerpos de agua (estanques, ríos, lagos, reservorios, embalses, etc.) de casi todas partes del mundo, se cultivan de manera generalizada en los trópicos y las zonas subtropicales (Norato, 2005; Gómez-Ponce *et al.*, 2011). Presentan un alto índice reproductivo y, por ende, un rápido crecimiento y una fácil comercialización, por lo que son considerados como productos de bajo costo y de fácil adquisición (FAO, 2009; Gómez-Ponce *et al.*, 2011).

En México, estas especies exóticas fueron introducidas en la década de los 60's (Cantor, 2007). Desde entonces, la mayoría de las presas o reservorios artificiales en México y en el estado de Sinaloa, han permitido el establecimiento de importantes pesquerías basadas en la explotación de las tilapias del género *Oreochromis*. Esta situación ha mejorado los estándares de vida de las comunidades rurales aledañas a estos cuerpos de agua, convirtiendo a esta pesquería de agua dulce en una de las más importantes (ocupando la quinta posición pesquera y acuícola) en México (Beltrán-Álvarez *et al.*, 2009; Gómez-Ponce *et al.*, 2011; Vázquez-Vera & Chávez-Carreño, 2022). En lo regional, el estado de Sinaloa se posiciona como una de las principales entidades productoras del país, con más de 6,000 toneladas (t) anuales (Beltrán-Álvarez *et al.*, 2009; Vázquez-Vera & Chávez-Carreño, 2022).

En el norte de Sinaloa, particularmente en el municipio de El Fuerte, se ubica la presa Josefa Ortiz de Domínguez (El Sabino), donde la producción promedio por pesca de tilapia es de 500 t anuales (Beltrán-Álvarez *et al.*, 2015). En este embalse la captura y comercialización de la tilapia es la principal actividad desarrollada por las comunidades aledañas (301 pescadores y 299 embarcaciones), ayudando a mantener los estándares de calidad de vida de éstas.

Algunas presas (en Sinaloa solo la Luis Donaldo Colosio “Huites”) cuentan con una publicación de Norma Oficial Mexicana (NOM) para la regulación de estos embalses, donde se protegen ciclos reproductivos de las principales especies comerciales, se establecen acuerdos de periodos de veda, artes de pesca, etc. A pesar de ello, solo dos (Presa Ignacio Allende, San Miguel de Allende, Guanajuato y Presa Cebolletas, Coroneo, Guanajuato) cuentan con un plan de manejo integral, basado en aspectos técnicos de los ámbitos biológico-pesquero, limnológico y socioeconómico, cuyo fin es el de proveer de un instrumento que permita regular la actividad pesquera en los embalses (INAPESCA, 2021).

Entre los aspectos técnicos del ámbito biológico-pesquero, las estimaciones del crecimiento son uno de los principales aspectos a tomar en cuenta en las evaluaciones poblacionales (la biomasa de la población está relacionada con el crecimiento individual) (Curiel-Bernal *et al.*, 2021). Actualmente existen diferentes estudios donde se ha estimado el crecimiento de la tilapia en diversos cuerpos de agua dulce de México, basados en métodos directos como la interpretación de capas en las partes duras del pez (escamas y otolitos) (Jiménez-Badillo, 2006; Ramírez, 2007; Valdez-Leyva, 2008; Beltrán-Álvarez *et al.*, 2009; Ortega-Lizárraga, 2010; Gómez-Ponce *et al.*, 2011), o en métodos indirectos como el análisis de la frecuencia de tallas de una población (Ramos-Cruz, 1995; Hernández-Montaña, 2006; Peña-Messina *et al.*, 2010; Arellano-Torres *et al.*, 2013). Sin embargo, en la mayoría de los estudios antes mencionados, las estimaciones del crecimiento han sido obtenidas por un solo método o modelo, sin una cuantificación de la incertidumbre asociada a dichas estimaciones.

El objetivo de este trabajo fue determinar la estructura de tallas, relación longitud-peso, madurez sexual y modelación del crecimiento de la población de tilapia azul *Oreochromis aureus* (Steindachner, 1864), en la presa Josefa Ortiz de Domínguez de El Fuerte, Sinaloa, con el fin de aportar información de estos parámetros poblacionales y cuantificando la incertidumbre asociada a la estimación de estos, en vías de una evaluación adecuada para la población explotada.

Material y Métodos

Área de estudio

La presa Josefa Ortiz de Domínguez se localiza a 15 Km al oeste de la ciudad de El Fuerte, Sinaloa y a 90 Km al Noroeste de la ciudad de Los Mochis, Sinaloa. Geográficamente se ubica en los 26° 26' N y 108° 42' W, a 101 metros sobre el nivel del mar. El vaso de esta presa tiene una capacidad de almacenamiento de 590,000,000 m³ (variación del volumen entre 100 y 500 millones de m³), y una capacidad para azolves de 37,000,000 m³. La longitud de su “corona” es de

2,730 m y una altura máxima de 44 m. Es alimentada por aguas del Río Álamos y del Río Fuerte, y a su vez también recibe aguas sobrantes de la presa Miguel Hidalgo (CONAGUA, 2014). De acuerdo a Beltrán-Álvarez *et al.* (2015), los valores más bajos de la temperatura del agua en esta presa se presentan de diciembre a febrero (invierno 18.2 °C) y los más altos en agosto (verano 33.8 °C). El registro de la temperatura del agua en esta presa en diciembre y febrero fue de 20.5 °C en la superficie y en el fondo (20 m), la temperatura fue 1 °C menor a la superficie en ambos meses. En abril, junio y octubre se registró en superficie 23.2, 28.0 y 28.5 °C respectivamente. En abril se presentó un gradiente térmico entre ocho y catorce metros, con una capa de mezcla que se extiende de la superficie hasta los ocho metros. En junio y octubre la capa de mezcla se localiza de la superficie a los 15 metros.

Toma de muestras y medidas biométricas

De octubre del 2011 a abril del 2012 se realizaron seis muestreos mensuales (2 días de muestreo cada mes, durante octubre, noviembre, enero, febrero, marzo y abril), directamente de las capturas comerciales de los pescadores activos en distintos puntos del embalse. Las embarcaciones menores (lanchas) utilizadas, en general midieron alrededor de 10 m de eslora, con motor fuera de borda de 75 HP. Las artes de pesca fueron redes agalleras o de enmalle (chinchorros) de 100 a 200 m de longitud, con diferente luz de malla: $2^{7/8}$ (7.3 cm), $3^{1/8}$ (7.9 cm), $3^{1/4}$ (8.3 cm) y $3^{1/2}$ (8.9 cm) pulgadas. La utilización de diversos tamaños de luz de malla por los pescadores nos garantizó la representatividad de las muestras tanto en tallas como sexos de los organismos.

Se llevaron a cabo mediciones a 1,689 ejemplares de la tilapia *O. aureus*, procedentes de las capturas comerciales. Las biometrías consistieron en el registro de la longitud total (TL) y peso total (TW), mediante un ictiómetro de 1mm de precisión y una balanza digital de 5,000 g de capacidad y 1 g de precisión (Ohaus, modelo ys2101), respectivamente.

Relación Longitud Total-Peso Total

La relación longitud total-peso total (TL-TW) fue estimada para el total de los organismos analizados, por cada sexo y por mes, ajustando la información (talla-peso) al modelo potencial (Ricker, 1975): $TW = a * (TL)^b$, donde TW es peso total, TL la longitud total, a es el intercepto y b la pendiente (coeficiente de alometría). Se utilizó como criterio de ajuste el grado de asociación r . Se estimó un nivel de confianza del 95 % para b , y una prueba t de Student (Zar, 1999) fue realizada para determinar isometría ($H_0: b = 3, \alpha = 0.05$). Si el valor de la pendiente es igual a 3 se considera crecimiento isométrico y si es diferente de 3 se considera alométrico (Ricker, 1975; Bagenal & Tesch, 1978).

Seguimiento modal y modelación del crecimiento

Las tallas de los organismos medidos fueron comparadas y para establecer si existía diferencia en las tallas entre sexos por mes y de manera general, se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov (Gotelli & Ellison, 2004).

Tomando las frecuencias de tallas en intervalos de 10 mm por sexos en cada campaña de muestreo, se realizó un análisis multinomial para identificar los grupos modales. El análisis se basó en la distribución observada de los histogramas de frecuencias, de tal manera que la estimación de cada grupo modal (a) fue calculado usando una función de densidad probabilística normal, de acuerdo con lo siguiente:

$$F_i = \sum_{a=1}^n \left[\left(\frac{1}{\sigma_a \sqrt{2\pi}} \right) e^{-\frac{(x_i - \mu_a)^2}{2\sigma_a^2}} \right] * P_a$$

donde F_i es la frecuencia esperada del intervalo de talla i para toda la muestra; (x_i) es el punto medio del intervalo de talla i ; μ_a es la talla media del grupo a y P_a es el factor de peso de la cohorte a . El análisis se ajustó utilizando el método de máxima verosimilitud:

$$-LL_{\{x|\mu_a, \sigma_a, P_a\}} = \sum_{i=1}^n f_i \ln \left(\frac{F_i}{\sum F_i} \right) - \left(\sum f_i - \sum F_i \right)^2$$

donde $-LL_{\{x|\mu_a, \sigma_a, P_a\}}$ es la verosimilitud negativa de los datos para los parámetros μ_a , σ_a y P_a , F_i es la frecuencia total esperada para el grupo de longitud i de acuerdo con el modelo multinomial (Montgomery et al., 2010; Haddon, 2011). Finalmente, los grupos modales fueron separadas por dos métodos: el índice de separación (SI) usando la siguiente ecuación (Sparre & Venema, 1997):

$$SI = 2 * \frac{(\mu_n - \mu_i)}{(\sigma_n + \sigma_i)}$$

donde μ_n y μ_i son la LC de los grupos modales n e i , respectivamente; σ_n y σ_i son las desviaciones estándar de los grupos modales n e i , respectivamente. Por lo tanto, si $SI > 2$, entonces es viable separar los componentes normales de las frecuencias observadas (Sparre & Venema, 1997). El otro método fue el criterio de información de Akaike (AIC), donde a menor AIC_c se seleccionó el mejor ajuste de número de grupos de talla; a partir de la siguiente fórmula:

$$AIC_c = AIC + \frac{2k(k+1)}{n-k-1}$$

$$AIC = 2(k - LL)$$

donde: k es el número de parámetros de cada modelo, n es el número de observaciones y LL es la función de máxima verosimilitud logarítmica.

Las tallas medias de cada uno de los grupos modales identificados se trazaron en una escala temporal. El número probable de cohortes que apoyaban el crecimiento se obtuvo por progresión modal a través del tiempo en una secuencia ordenada (Montgomery *et al.*, 2010). Lo anterior permitió una comparación visual a través del tiempo, y fue posible generar hipótesis alternativas sobre la progresión modal exacta.

Posteriormente, con las mismas progresiones modales se estimaron los parámetros de crecimiento con los cinco casos separados del modelo de Schnute (Schnute, 1981), uno de estos (caso 5), es un caso especial basado en la función de crecimiento de von Bertalanffy, que fue descrito por Baker *et al.* (1991). Los derivados de Baker son equivalentes a circunstancias en las que no se cuenta con información directa sobre la longitud a una edad específica (Quinn & Deriso, 1999). Los cinco casos son los siguientes:

Case 1 (asumiendo $a \neq 0$ y $b \neq 0$)

$$Y_2 = [Y_1^b * \exp^{-a\Delta t} \varepsilon^b (1 - \exp^{-a\Delta t})]^{1/b}$$

Case 2 (asumiendo $a \neq 0$ y $b = 0$)

$$Y_2 = \exp[\ln(Y_1) * \exp^{-a\Delta t} * \ln(\varepsilon)(1 - \exp^{-a\Delta t})]$$

Case 3 (asumiendo $a = 0$ y $b \neq 0$)

$$Y_2 = (Y_1^b + \varepsilon^b \Delta t)^{\frac{1}{b}}$$

Case 4 (asumiendo $a = 0$ y $b = 0$)

$$Y_2 = Y_1 * \varepsilon^{\Delta t}$$

Case 5 (asumiendo $a > 0$ y $b = 1$)

$$Y_2 = [Y_1 * \exp^{-a\Delta t} + \varepsilon(1 - \exp^{-a\Delta t})]$$

En los cinco casos Y_1 y Y_2 son las longitudes medias para la misma cohorte en los tiempos analizados t_1 y t_2 , a es la tasa de crecimiento relativa inicial teórica a la edad cero (unidades de año⁻¹), b está relacionada con el punto de inflexión en la forma “S” de la curva de crecimiento, Δt es el tiempo transcurrido entre t_1 y t_2 , y ε es una longitud asintótica o longitud máxima teórica (L_∞), que es equivalente al modelo de crecimiento de von Bertalanffy.

Los casos del modelo de Schnute fueron ajustados utilizando la función de máxima verosimilitud LL (Haddon, 2011), considerando error aditivo y multiplicativo:

$$LL(\Phi | data) = \left(-\frac{n}{2}\right) * [\ln(2\pi) + 2 * \ln(\sigma) + 1] \quad \text{para error aditivo y para error multiplicativo}$$

$$LL(\Phi | data) = \left(-\frac{n}{2}\right) * [\ln(2\pi) + 2 * \ln(\sigma) + 1] - \sum_{i=1}^n \ln(x_i)$$

Donde Φ representa los parámetros del modelo, n el número de observaciones y σ la desviación estándar estimada a partir de los datos y se calculó de la siguiente manera:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(TL_{obs} - TL_{cal})^2}{n}}$$
 considerando error aditivo o

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(\ln TL_{obs} - \ln TL_{cal})^2}{n}}$$
 para error multiplicativo,

donde TL_{obs} es la longitud total observada, TL_{cal} es la longitud total calculada y n es el número de datos de TL observados.

Para la comparación de los casos del modelo de Schnute y para seleccionar el mejor caso que describiera TL en función del tiempo, se realizaron las puntuaciones de la forma corregida de Akaike (AICc). El puntaje más bajo de AICc es el que nos definirá el mejor caso del modelo (Burnham & Anderson, 2002; Katsanevakis, 2006) y se expresa por:

$$AIC_c = AIC + \frac{2k(k+1)}{n-k-1}$$

$$AIC = 2(k - LL)$$

donde k es el número de parámetros de cada modelo, n es el número de observaciones y LL es la función de máxima verosimilitud.

La diferencia (Δi) en el AICc de un modelo dado con respecto a AICmin del mejor modelo se estimó de la siguiente manera:

$$\Delta i = AIC_c - AIC_{min}$$

Existen tres resultados posibles. Si $\Delta i > 10$, el modelo candidato debe descartarse porque no describe el crecimiento observado y no es compatible con los datos. En segundo lugar, si $4 < \Delta i < 7$, el modelo soporta parcialmente y explica débilmente los datos de crecimiento. Tercero, si $\Delta i < 2$, entonces el modelo candidato describe adecuadamente los datos de crecimiento colectados (Burnham & Anderson, 2002).

Los pesos normalizados de cada modelo fueron estimados (Akaike, 1983; Burnham & Anderson, 2002) utilizando los pesos de Akaike (ω_i). Este índice toma una forma proporcional y está dado por:

$$\omega_i = \frac{e^{(-0.5\Delta_i)}}{\sum_{k=1}^4 e^{(-0.5\Delta_i)}}$$

Se estimaron los intervalos de confianza (L_{inf} y L_{sup}) de los parámetros de crecimiento de todos los casos, esto con base en los perfiles de verosimilitud y la distribución χ^2 (Venzon & Moolgavkar, 1988). El intervalo de confianza se definió como todos los valores de θ que satisfacen la siguiente desigualdad:

$$2(L(Y|\theta_{best})) < \chi^2_{1,1-\alpha}$$

donde: $L(Y|\theta_{best})$ es la log verosimilitud negativa del valor más probable de θ y $\chi^2_{1,1-\alpha}$ es el valor de χ^2 con un grado de libertad al nivel de confianza $1 - \alpha$. El intervalo de 95 de confianza para θ abarca todos los valores θ que son dos veces la diferencia entre la verosimilitud negativa de θ y la verosimilitud negativa de la mejor estimación de θ que sea menor a 3.84 (Haddon, 2001), utilizándose el siguiente estimador:

$$L(Y|\theta) = L(Y|\theta_{best}) - \frac{\chi^2_{1,1-\alpha}}{2}$$

Con los valores de los parámetros de los casos ganadores se estimaron las diferentes curvas de crecimiento.

Proporción sexual y talla de madurez

La identificación del sexo de cada organismo se realizó por medio de observación directa de la morfología externa. La proporción macho:hembra (M:H) se estimó por mes y en general para todo el periodo de estudio. Se aplicó una prueba de chi-cuadrado (χ^2) para determinar si existía alguna diferencia estadística entre la proporción de sexos, a partir de la hipótesis nula de la proporción 1:1.

Para determinar la talla en el que el 50 % de las hembras estaban maduras (talla de madurez o L_{50}), se tomaron en cuenta las etapas de madurez sexual de acuerdo a la escala modificada de Holden & Raitt (1975): Etapa I (inmaduras), órganos sexuales muy pequeños cerca de la columna vertebral, transparentes, incoloros o grises, ovocitos no visibles a simple vista; Etapa II (madurando), ovarios translucidos u opacos con capilaridad sanguínea, ocupando cerca de la mitad de la cavidad abdominal, ovocitos visibles como materia granulosa; Etapa III (madura), ovarios ocupan 2/3 a toda la longitud de la cavidad abdominal, de color naranja rosáceo con vasos sanguíneos superficiales visibles; Etapa IV (Desovada), ovarios contraídos cerca de la mitad de la longitud de la cavidad abdominal. Los ovarios pueden contener restos de huevos opacos, maduros, en desintegración, oscurecidos a traslúcidos.

La estimación de la talla de madurez o L_{50} se realizó calculando la frecuencia relativa acumulada por intervalo de longitud, esta se ajustó al modelo utilizado por Brouwer & Griffiths (2005) con la siguiente ecuación: $P_i = \frac{1}{1 + \exp^{-(L_i - L_{50})/a}}$, aquí P_i es la proporción de (hembras maduras, etapa III y IV) / (el número total de hembras de un tamaño dado); L_i es la longitud total en mm y L_{50} es la longitud que corresponde al 50 % de los individuos maduros y a es el ancho de la ojiva. El modelo se ajustó maximizando el logaritmo de probabilidad negativa (-Log verosimilitud):

$$-LL = \sum_{i=1}^n \left[m_i \ln \left(\frac{pm_i}{1 - pm_i} \right) + n_i \ln(1 - pm_i) + \ln \left(\frac{n_i}{m_i} \right) \right]$$

donde: n es el número total de hembras de la clase i y m es el número de hembras maduras en la clase i . Se estimaron los intervalos de confianza para el tamaño en la madurez con base en los perfiles de probabilidad.

Curva de Selectividad

El cálculo de la curva de selectividad se obtuvo con las tallas del total de los organismos analizados, mediante el ajuste a la ecuación logística (Gulland, 1983):

$$S(L_t) = \frac{1}{1 + e^{S_1 - S_2(L_t)}}$$

donde: S es la selectividad, L_t es la longitud del organismos o clase de talla, S_1 y S_2 son las constantes de la ecuación lineal que relaciona el tamaño de la red y de los organismos capturados. El resultado se presenta como una probabilidad (o porcentaje) de que el organismo escape de la red a través de la malla por su talla (Sparre & Venema, 1997).

Resultados

De octubre de 2011 a abril de 2012 se analizaron 1,689 ejemplares de *O. aureus*, de los cuales 1,044 fueron machos y 645 hembras (Figura 1a). La relación longitud-peso para ambos sexos durante todo el estudio, en general mostró un alto grado de asociación ($r = 0.98$, $p < 0.001$, Tabla 1 y Figura 1b). El valor de la pendiente (b) para ambos sexos durante todo el estudio, expresa un crecimiento de tipo isométrico ($p > 0.05$, Tabla 1 y Figura 1b). De igual forma, la relación longitud-peso por sexos separados (hembras y machos) durante todo el estudio, mostró un alto grado de asociación ($r > 0.98$, $p < 0.001$, Tabla 1). El valor de la pendiente (b) para machos, expresa un crecimiento de tipo isométrico ($p > 0.05$, Tabla 1), en tanto que para las hembras el valor de la pendiente (b) fue diferente de 3 ($p < 0.05$, Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros de la relación longitud-peso por mes para hembras y machos de *Oreochromis aureus* en la presa Josefa Ortiz de Domínguez, el Fuerte Sinaloa, México.

Muestreo	Sexo	N	a	b	r	p (t-student)
Oct 2011	Hembras	89	0.000005	3.186 ± 0.222	0.943	0.125
	Machos	170	0.000001	3.449 ± 0.139	0.941	0.030*
Nov 2011	Hembras	177	0.000011	3.080 ± 0.064	0.989	0.077
	Machos	283	0.000025	2.939 ± 0.061	0.984	0.100
Ene 2012	Hembras	107	0.000007	3.191 ± 0.117	0.970	0.101
	Machos	184	0.000013	3.068 ± 0.061	0.977	0.236
Feb 2012	Hembras	71	0.000003	3.331 ± 0.076	0.993	0.017*
	Machos	144	0.000034	2.876 ± 0.064	0.988	0.050
Mar 2012	Hembras	141	0.000011	3.093 ± 0.052	0.993	0.076
	Machos	163	0.000014	3.050 ± 0.063	0.988	0.196
Abr 2012	Hembras	60	0.000011	3.077 ± 0.173	0.952	0.363
	Machos	100	0.000009	3.123 ± 0.081	0.983	0.141
Total	Hembras	645	0.000007	3.170 ± 0.037	0.984	0.014*
	Machos	1044	0.000016	3.011 ± 0.028	0.98	0.356
	Ambos	1689	0.000015	3.029 ± 0.022	0.981	0.140

* indica diferencias significativas en el valor de la pendiente b ($p < 0.05$) * indicates significant differences of slope b ($p < 0.05$)

La relación longitud-peso por mes para las hembras de la tilapia *O. aureus*, mostró un alto grado de asociación ($r > 0.94$, $p < 0.001$), con los valores más altos de correlación en febrero y marzo ($r = 0.99$, $p < 0.001$) y los valores más bajos en octubre ($r = 0.94$, $p < 0.001$) y abril ($r = 0.95$, $p < 0.001$, Tabla 1). Así mismo los valores de la pendiente (b) para las hembras por mes, mostraron un crecimiento de tipo isométrico en octubre, noviembre, enero, marzo y abril ($p > 0.05$, Tabla 1); durante febrero el valor de la pendiente (b) fue diferente de 3 ($p < 0.05$, Tabla 1).

La relación longitud-peso por mes para los machos de la tilapia *O. aureus*, mostró un alto grado de asociación ($r > 0.94$, $p < 0.001$), con los valores más altos de correlación en febrero y marzo ($r = 0.98$, $p < 0.001$) y los valores más bajos en enero ($r = 0.97$, $p < 0.001$) y octubre ($r = 0.94$, $p < 0.001$). Los valores de la pendiente (b) para machos por mes, mostraron un crecimiento de tipo isométrico en noviembre, enero, febrero, marzo y abril ($p > 0.05$, Tabla 1); el valor de la pendiente (b) fue diferente de 3 durante octubre ($p < 0.05$, Tabla 1).

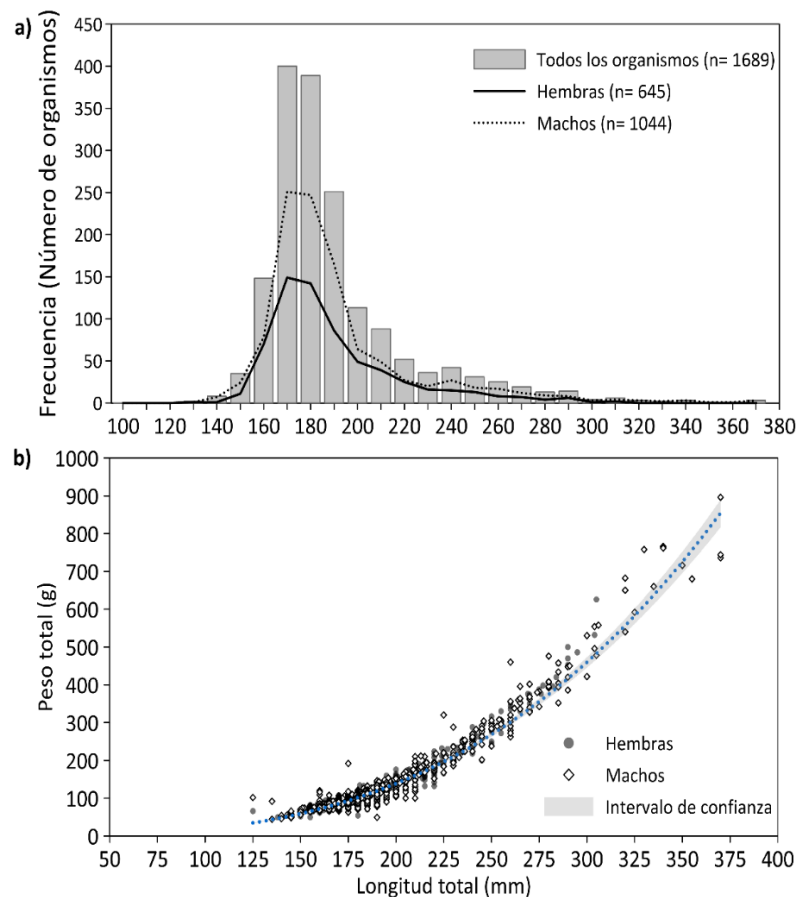


Figura 1. Estructura de tallas mensual (a) para hembras, machos y ambos sexos y relación longitud peso (b) para *Oreochromis aureus* en la presa Josefa Ortiz de Domínguez, El Fuerte, Sinaloa, México.

La distribución de frecuencia en peso por sexos separados de la tilapia *O. aureus*, mostró un intervalo de 44 a 896 g en machos (\bar{X} 129 \pm 99.7) y para las hembras de 50 a 626 g (\bar{X} 124 \pm 74.4). No se encontraron diferencias significativas entre los pesos de ambos sexos, a pesar de que los machos tuvieron un peso mayor que las hembras (Tabla 2). En las hembras las tallas fluctuaron de 125 a 305 mm de TL (\bar{X} 186.7 \pm 28.5) y en los machos de 125 y 370 mm de TL (\bar{X} 188.3 \pm 33.7) (Tabla 2 y Figura 1a). No se encontraron diferencias significativas en la comparación de la distribución de tallas entre machos y hembras (Kolmogorov-Smirnov $p = 0.673$). La comparación entre los meses de la distribución de frecuencias para hembras respecto a los machos, mostró que solo en octubre existieron diferencias significativas ($p = 0.009$).

El análisis multinomial aplicado a las estructuras de tallas en hembras de la tilapia *O. aureus*, mostró grupos modales desde uno a tres por mes y cuatro grupos en marzo de 2012 (Figura 2). Para los machos, se observó un comportamiento multimodal con dos y cuatro grupos por mes y cinco grupos modales en marzo de 2012. La progresión modal identificó cuatro cohortes para hembras y seis cohortes para machos (Figura 2).

Los mejores modelos para estimar los parámetros de crecimiento de la tilapia *O. aureus* (como lo indican los estimadores de calidad AIC_c , Δ_i y ω_i) con error aditivo fueron: el caso 2 y 5 para ambos sexos (Tabla 3). En hembras, con el caso 2 se estimó una $L_\infty = 310.7$ mm de TL y un valor del parámetro $a = 1.7$; con el caso 5, se estimó una $L_\infty = 328.8$ mm de TL y un valor de $a = 1.2$. En machos, con el caso 2 se estimó una $L_\infty = 362.9$ mm de TL y un valor del parámetro $a = 2.2$; con el caso 5, se estimó una $L_\infty = 410.6$ mm de TL y el valor del parámetro $a = 1.2$. En la tabla 3 pueden observarse de los valores de cada caso para hembras y machos con sus respectivos intervalos de confianza.

Tabla 2. Estadísticas de tallas y pesos para hembras, machos y ambos sexos de *Oreochromis aureus* en la presa Josefa Ortiz de Domínguez, El Fuerte Sinaloa, México.

	Machos	Hembras	Ambos
TL mm (Min-Max)	125 - 370	125 - 305	125 - 370
Media	188.3	186.7	187.6
Desv estándar	33.7	28.5	31.8
TW g (Min-Max)	44 - 896	50 - 626	44 - 896
Media	129.0	124.3	127.2
Desv estándar	99.6	74.3	90.8

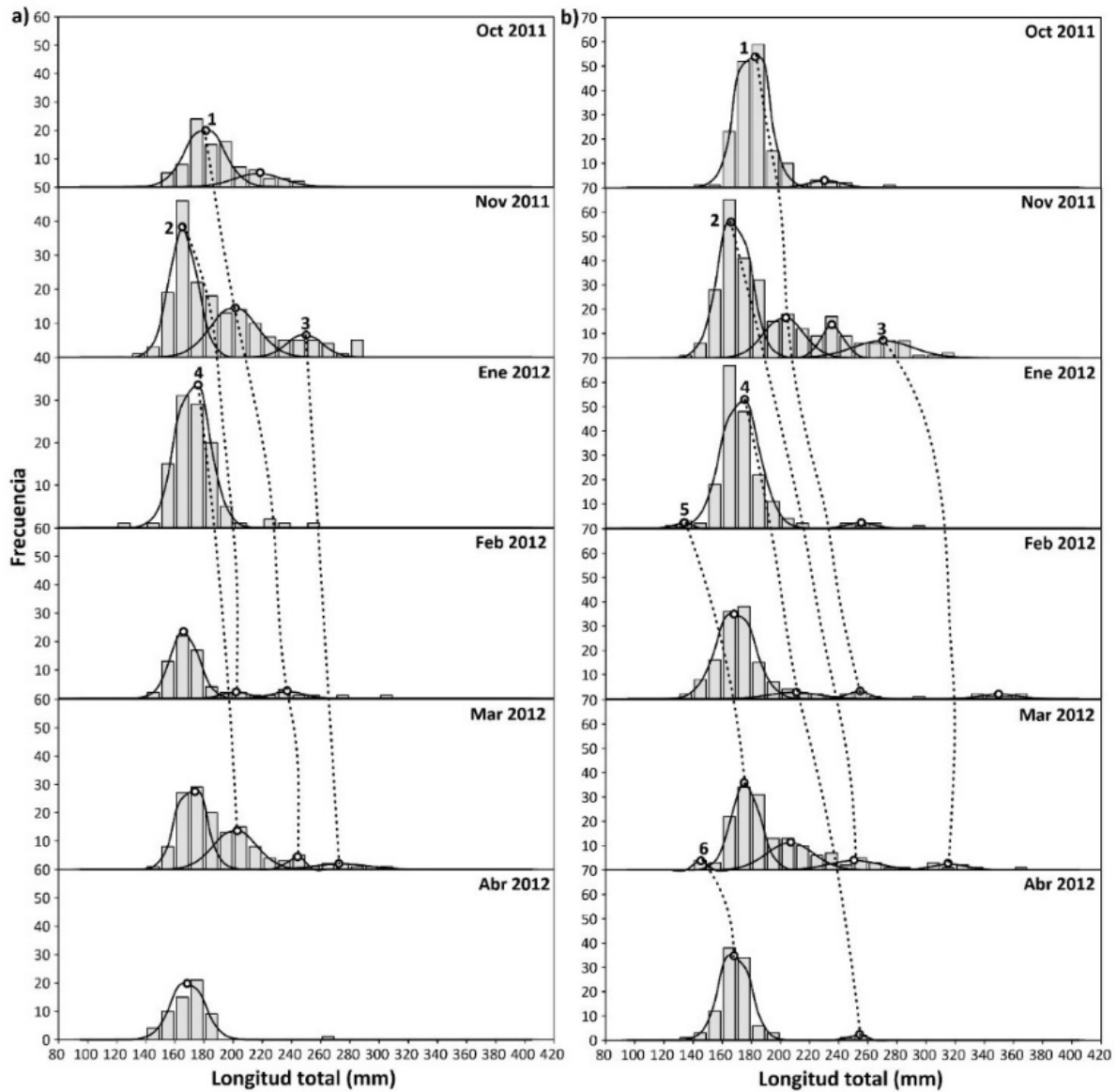


Figura 2. Estructura de tallas mensual (barras), grupos modales (círculos blancos centrados en cada curva) y progresión modal de las cohortes individuales (línea punteada etiquetadas numéricamente en orden cronológico de ocurrencia) para hembras (a) y machos (b) de *Oreochromis aureus* en la presa Josefa Ortiz de Domínguez, El Fuerte, Sinaloa, México.

Tabla 3. Estimadores de la calidad del modelo (AIC_c , Δi y ω_i) y parámetros de crecimiento estimados (a , b y $L_\infty(\epsilon)$) para los cinco casos analizados del modelo de Schnute para hembras y machos de *Oreochromis aureus*.

Modelo	AIC_c	Δi	ω_i	a (IC)	b (IC)	$L_\infty(\epsilon)$ (IC)
<i>Hembras</i>						
Caso 1	51.6	9.7	0.00	2.9 (2.48-3.37)	-1.99 (-1.14- -3.0)	292.9 (278.8-308.3)
Caso 2*	41.9	0.0	0.43	1.7 (1.46-2.01)		310.7 (294.2-327.8)
Caso 3	43.4	1.4	0.21		3.1 (2.3-4.84)	259.5 (243.1-274.6)
Caso 4	51.1	9.2	0.00			1.6 (1.28-2.05)
Caso 5**	42.3	0.4	0.36	1.2 (0.98-1.37)		328.8 (310.4-347.2)
<i>Machos</i>						
Caso 1	62.3	5.6	0.03	2.1 (1.92-2.38)	0.06 (0.04-0.07)	364.8 (347.6-382.4)
Caso 2*	56.7	0.0	0.52	2.2 (1.97-2.45)		362.9 (345.8-380.5)
Caso 3	60.1	3.4	0.09		2.2 (1.67-2.9)	314.0 (293.9-333.3)
Caso 4	75.3	18.6	0.00			2.3 (1.63-3.02)
Caso 5**	57.5	0.8	0.36	1.2 (1.09-1.36)		410.6 (389.7-431.5)

Los mejores modelos están indicados en negritas. * indica mejor modelo y ** segundo mejor modelo.

La modelación del crecimiento (curvas de crecimiento) tanto para hembras y machos de la tilapia *O. aureus*, pueden observarse en la figura 3 para ambos casos y los intervalos de confianza de L_∞ y a de los mejores modelos se observan en la figura 4. Un modelo promedio fue estimado debido a que los dos mejores casos no alcanzaron un $\omega_i = 0.90$, por lo que no se puede declarar como el mejor modelo.

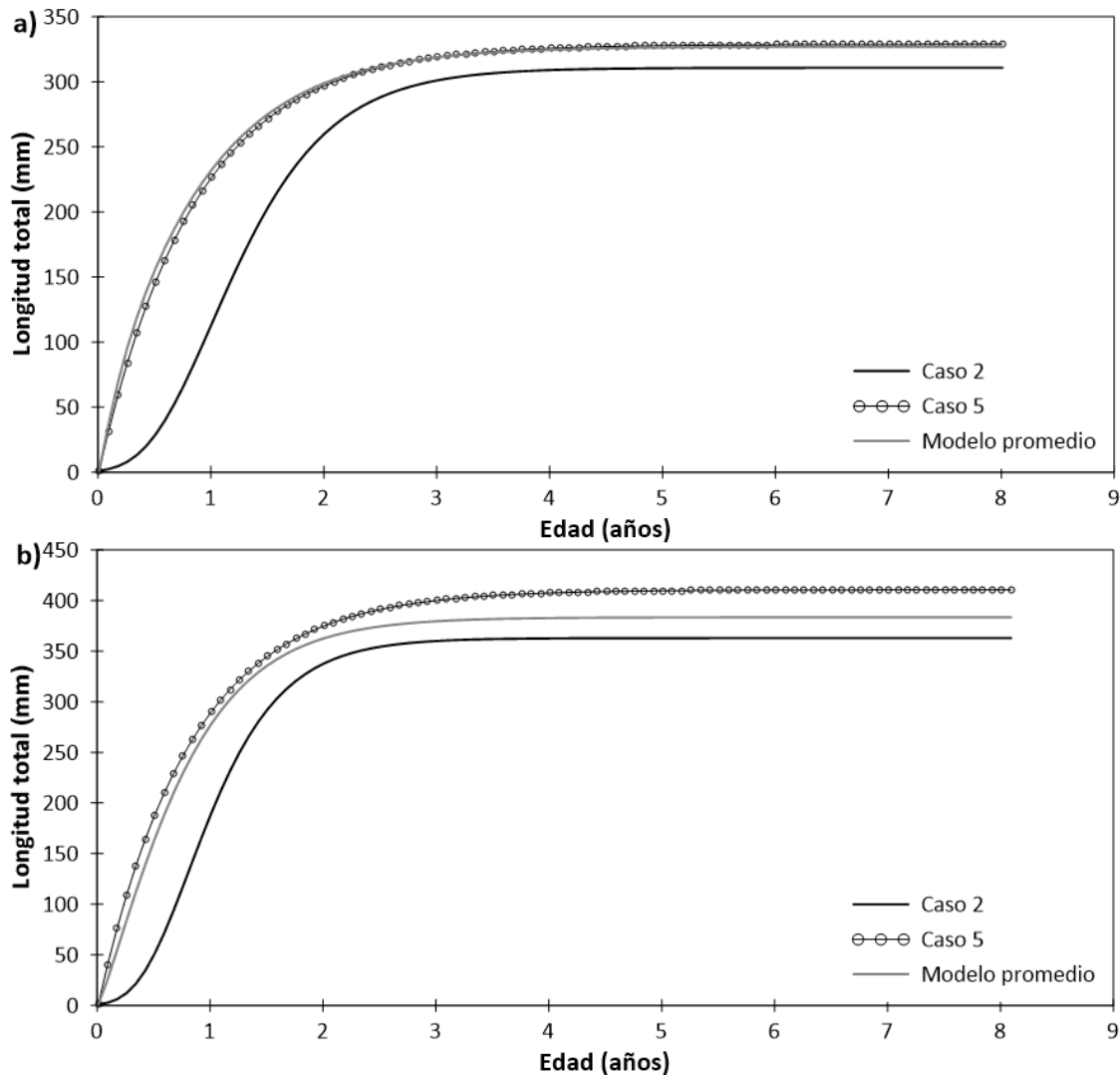


Figura 3. Curvas de crecimiento para hembras (a) y machos (b) ajustadas con los casos 2, 5 y promedio del modelo de Schnute, en *Oreochromis aureus* de la presa Josefa Ortiz de Domínguez, El Fuerte, Sinaloa, México.

La proporción sexual para la tilapia *O. aureus* en general fue de 1.6 M:1 H, presentando diferencias significativas ($p < 0.05$), con una dominancia por parte de los machos. El comportamiento mensual de la proporción sexual únicamente en marzo de 2012 no mostró diferencias significativas ($\chi^2 = 1.6$ y $p > 0.05$, Tabla 4).

La talla de madurez o L_{50} estimada para las hembras de la tilapia *O. aureus* fue de 197.2 mm de TL (Figura 5a). Los intervalos de confianza estimados por medio de perfiles de

verosimilitud indican que hembras de tilapia *O. aureus* pueden madurar entre 191.8-203 mm de TL (Figura 5b).

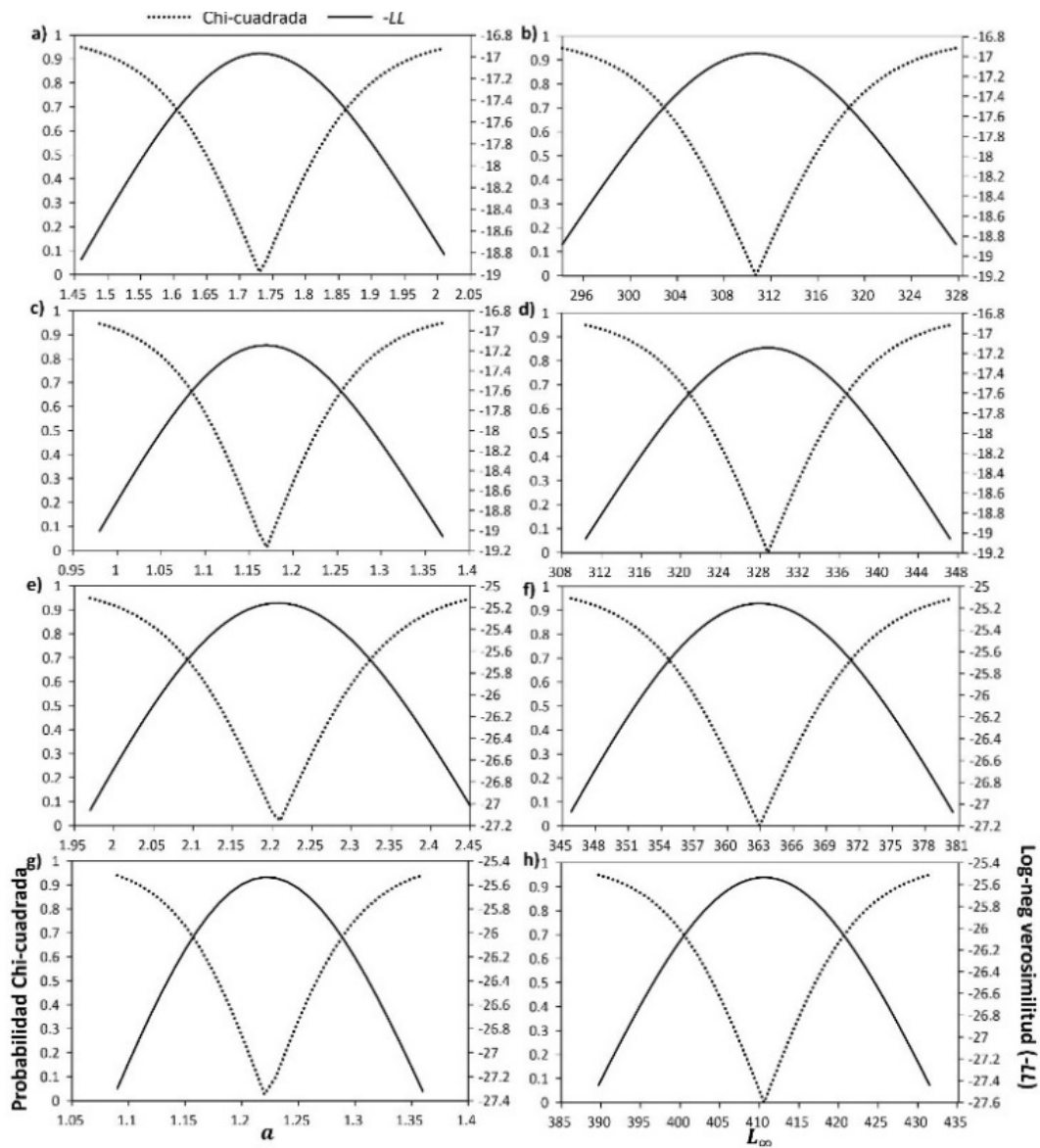


Figura 4. Intervalos de confianza de L_{∞} y a estimados por medio de perfiles de verosimilitud para los casos 2 y 5. Hembras caso 2 (a-b) y caso 5 (c-d), machos caso 2 (e-f) y caso 5 (g-h).

Tabla 4. Proporción sexual de tilapia *Oreochromis aureus* por mes y total en la presa Josefa Ortiz de Domínguez, el Fuerte Sinaloa. México.

Muestreo	Hembras	Machos	Total	Proporción (M:H)	χ^2	Probabilidad
Oct 2011	89	170	259	1.9:1	25.3	< 0.05
Nov 2011	177	283	460	1.6:1	24.4	< 0.05
Ene 2012	107	184	291	1.7:1	20.4	< 0.05
Feb 2012	71	144	215	2.0:1	24.8	< 0.05
Mar 2012	141	163	304	1.2:1	1.6	0.2*
Abr 2012	60	100	160	1.7:1	10.0	0.002
Total	645	1044	1689	1.6:1	94.3	< 0.05

* Indica no diferencias significativas entre la proporción Macho:Hembra.

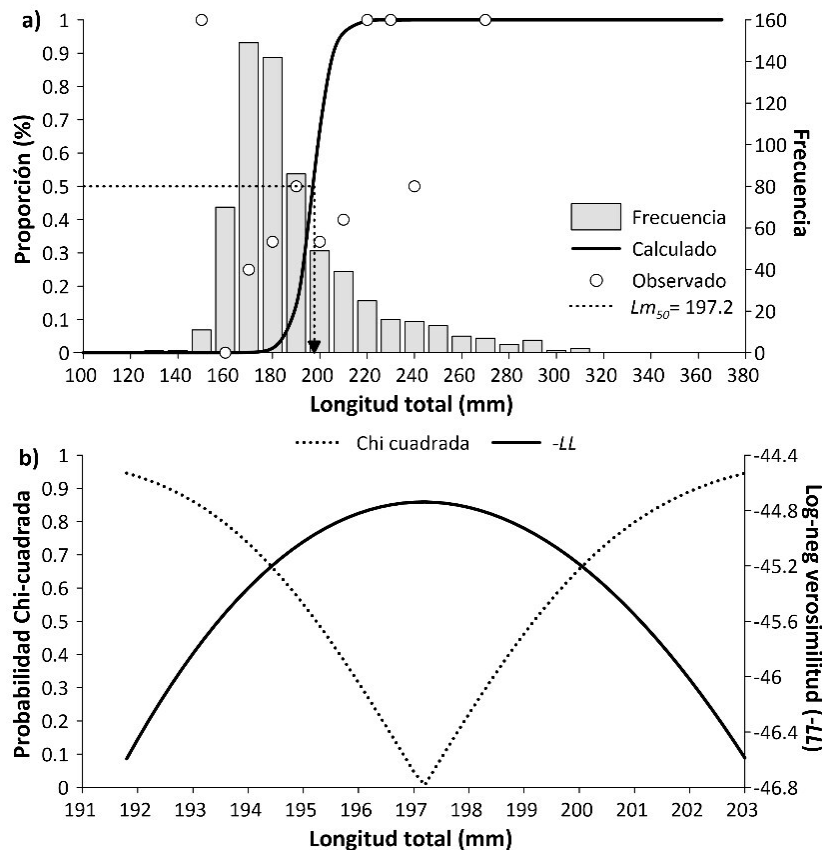


Figura 5. Talla de madurez o L50% (a) y perfiles de verosimilitud de la talla media de madurez (b) para las hembras de *Oreochromis aureus* en la presa Josefa Ortiz de Domínguez, El Fuerte, Sinaloa, México.

Se estimó la talla a la que el 50 % de los organismos fueron capturados de 175 mm de TL. Así mismo, se determinó que más del 75 % de las capturas totales fueron tallas menores a los 200 mm de TL, como consecuencia de la selectividad de las redes utilizadas en la captura comercial (Figura 6).

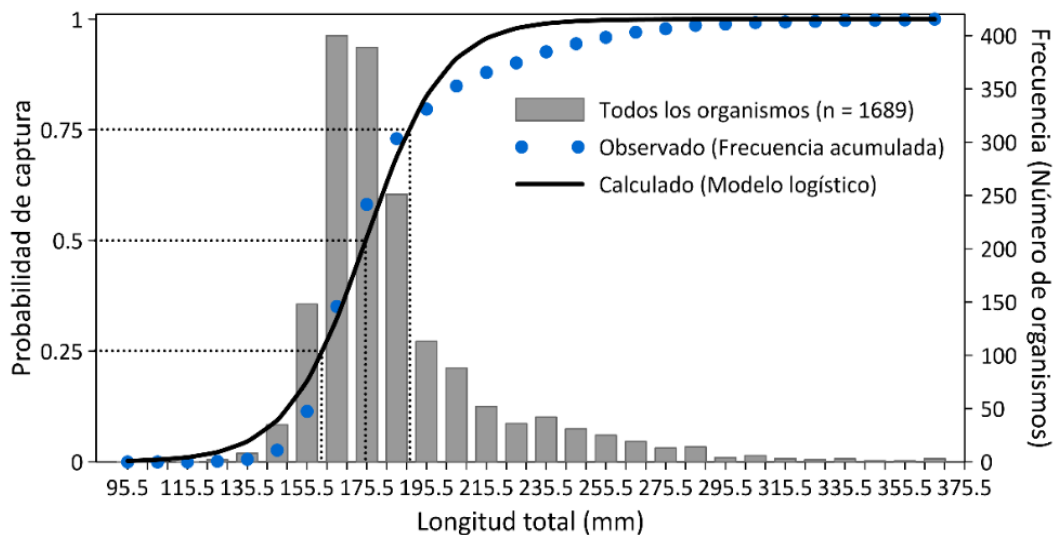


Figura 6. Probabilidad de captura (curva de selectividad) de las tallas para *Oreochromis aureus* en la presa Josefa Ortiz de Domínguez, El Fuerte, Sinaloa, México.

Discusión

El uso primordial del agua de la presa Josefa Ortiz de Domínguez es para riego agrícola de los valles de El Fuerte y El Carrizo, Sinaloa, y en menor grado, para el abastecimiento de agua potable de las poblaciones aguas abajo de la presa. Dichos usos del agua en este embalse no han impedido el establecimiento de pesquerías como la del bagre, carpa, lobina y tilapia, esta última de la más importantes, con una producción promedio por pesca de 500 t (Beltrán-Álvarez et al., 2015). La captura (de enero a abril y de agosto a diciembre) y comercialización de la tilapia, es la principal actividad desarrollada en las comunidades a las orillas del embalse, ayudando a mantener los estándares de calidad de vida, proporcionando una fuente de alimento y empleo a más de 300 pescadores y sus familias, asentados en comunidades a las orillas de este embalse (Álvarez-Anaya, 2008).

En este estudio, el rango de tallas para ambos sexos de la tilapia *O. aureus* fue de 125 a 370 mm de TL, similar al reportado por algunos autores, para esta misma especie en diferentes presas de Sinaloa: Sánchez (2000) en la presa Luis Donald Colosio (170-320 mm TL), Beltrán-Álvarez et al. (2006) en la presa Gustavo Díaz Ordaz (120-350 mm de TL), Álvarez-Anaya (2008)

en la presa Josefa Ortiz de Domínguez (87-336 mm de TL), Beltrán-Álvarez *et al.* (2009), en la presa Sanalona (125-345 mm de TL), y Beltrán-Álvarez *et al.* (2014), en la presa Eustaquio Buelna (90-272 mm de TL). A pesar de lo anterior, y con base en el análisis de selectividad realizado (Figura 6) al total de organismos en este estudio, podemos observar que el 75 % de las tallas se encontró entre 125 a 194 mm de TL. Esto mismo fue observado por Álvarez-Anaya (2008), donde más del 75 % de los organismos de la tilapia *O. aureus* capturados con chinchorros de diferente luz de malla (21/2, 23/4, 3, 31/8, 31/4, 31/2 pulgadas) y red de arrastre, correspondieron a tallas menores a 225 mm de TL.

A pesar de que se tiene una recomendación de talla mínima de captura de 260 mm TL y el uso de chinchorros de luz de malla de 3 pulgadas para la captura de tilapia en este embalse (Beltrán-Álvarez *et al.*, 2015), no se respeta el cumplimiento de dichas recomendaciones. Ya que según lo documentado por Beltrán-Álvarez *et al.* (2015) y lo evidenciado en el presente estudio, las capturas comerciales son realizadas con chinchorros de diversos tamaños de luz de malla de 21/2, 2 3/4, 27/8, 31/8, 31/4 y 31/2 pulgadas. Así mismo, Álvarez-Anaya (2008) y en el presente estudio, se determinó que, debido a la selectividad de las artes de pesca utilizadas, más del 75 % de las capturas son de tallas menores a los 225 mm de TL (menor a la talla mínima recomendada), lo que puede estar ocasionado esta disminución en las tallas de los organismos capturados cada temporada de pesca y, por lo tanto, la disminución en el volumen de capturas de la tilapia *O. aureus* en este embalse.

La talla de madurez o L_{50} estimada para las hembras de la tilapia *O. aureus* en este trabajo fue de 197.2 (191.8-203) mm de TL, la cual se alcanza al año de edad, similar y dentro del rango de la estimada por algunos autores para esta misma especie en diferentes presas de Sinaloa: 197 mm TL (139.4 g) por Belmont (2003) en la presa Aurelio Benassini Vizcaíno "El Salto", 195 mm de TL (124.2 g) por Guardado (2006) en la presa José López Portillo "El Comedero" y 195 mm TL (147 g) por Álvarez-Anaya (2008) en la presa Josefa Ortiz de Domínguez. Otros estudios realizados en diferentes embalses de México para esta misma especie registran tallas de madurez mayores a la estimada en el presente estudio: de 235 mm de TL por Ramos-Cruz (1995), en el embalse Benito Juárez (Oaxaca), de 236.7 mm por Hernández-Montaña & Orbe (2002), en la "Zimapán", Hidalgo-Querétaro, y de 251 mm de TL por Orbe *et al.* (2002), en la presa Aguamilpa, Nayarit.

Con el análisis de selectividad realizado para el total de organismos analizados en el presente estudio, se estimó una talla media de captura (talla a la que el 50 % de los organismos fueron capturados) de 175 mm de TL. Si comparamos esta, con la talla de madurez para las hembras de la tilapia *O. aureus* de 197.2 (192-203) mm de TL, podemos deducir que se está capturando más del 50 % de los organismos (hembras), por debajo de su talla de primera madurez. Esto, aunado a que más del 75 % de las capturas totales son tallas menores a los 200 mm de TL (como consecuencia de la selectividad de las redes de luz de malla pequeñas utilizadas en la captura comercial), se estaría impactando directamente por parte de la pesca a la población reproductora y juvenil, lo que ocasionaría un efecto negativo sobre la población y, por lo tanto, en la sustentabilidad de la pesca de este recurso.

A pesar de estos impactos negativos observados en este trabajo y que son causados por la pesca, se debe tener en cuenta los programas de siembra de alevines de tilapia que se realizan con frecuencia anual-bianual o trianual, en los reservorios del estado de Sinaloa. Este tipo de programas de repoblamiento (siembra de alevines) realizado por las autoridades federales y estatales, aparentemente dan un respiro a la presión por pesca que se ejerce temporada tras temporada a las especies comerciales en estos reservorios (Beltrán-Álvarez *et al.*, 2015). Sin embargo, a la fecha en este embalse no existe una evaluación formal del estado que guarda el recurso tilapia, ni de las mejoras o aumentos de la población por los programas de repoblamiento.

Otros de los aspectos que pudieran estar contrarrestando los impactos negativos observados en este trabajo (principalmente causados por la pesca), son el rápido crecimiento, reproducción durante todo el año (con cuidado parental) y talla de maduración sexual alcanzada en un corto tiempo, de la tilapia *O. aureus*. Estas características hacen exitosa a esta especie para establecerse y proliferar en casi cualquier tipo de ecosistema acuático (Küçük *et al.*, 2013; Beltrán-Álvarez *et al.*, 2015; Al-Wan & Mohamed 2019).

Obtener las mejores estimaciones posibles de parámetros de crecimiento individual es esencial en los estudios de manejo pesquero y acuicultura, ya que el crecimiento es un componente clave de la dinámica de la poblacional. La biomasa de la población está relacionada con el crecimiento individual, debido a que los peces crecen en respuesta a las condiciones estacionales y ambientales locales en un tiempo o ubicación (Curiel-Bernal *et al.*, 2021). La importancia se refleja en la gran cantidad de literatura científica sobre el crecimiento individual en pesca y acuicultura.

Con el análisis multinomial realizado en este estudio, se estimaron de 2 a 6 grupos modales (cohortes), en las frecuencias de tallas mensuales, obtenidas de las capturas comerciales de la tilapia *O. aureus* en la presa Josefa Ortiz de Domínguez (Figura 2). Jiménez-Badillo (2006), encontró de 3 a 6 cohortes de la tilapia *O. aureus* en la presa Infiernillo, Michoacán. Leonce-Valencia & Defeo (1997) y Jiménez-Badillo (2006), mencionan que en poblaciones de peces (como la tilapia), es común observar una mezcla de cohortes, como consecuencia de los múltiples desoves y reclutamientos continuos que presenta esta especie a lo largo del año. Por lo anterior es de suma importancia el determinar la influencia que tiene cada grupo de datos mensuales en la estimación de los parámetros de crecimiento.

El modelo Schnute utilizado para la estimación del crecimiento en nuestra investigación, consiste en una ecuación diferencial que forma ocho familias de curvas en función de los valores de los parámetros. Es un modelo de crecimiento general de cuatro parámetros cuyas soluciones alternativas contiene a los modelos precedentes como casos especiales. Se utilizó como criterio la máxima verosimilitud, debido a que el uso de ésta representa una mejor solución para estimar adecuadamente los parámetros de crecimiento, por ser una prueba más robusta que métodos tradicionales (Katsanevakis, 2006). Además, la selección del modelo o caso más adecuado, basado en la teoría de la información ha sido recomendado como una mejor y más robusta alternativa que los enfoques tradicionales (Katsanevakis, 2006; Cerdaneres-Ladrón de Guevara *et al.*, 2011). La ventaja de utilizar los estimadores de la calidad del modelo (AIC_c , Δi y ωi) es que los casos (modelos) probados, pueden ordenarse jerárquicamente según su ajuste a los datos y pueden obtenerse los parámetros promedio para un modelo de crecimiento.

El rango del valor estimado de L_{∞} en el presente estudio, tanto para hembras y machos de la tilapia *O. aureus*, es similar o con ligeras diferencias al reportado por Beltrán-Álvarez *et al.* (2014), en la presa Eustaquio Buelna, Sinaloa, donde estimaron un valor de L_{∞} = 357 para hembras y 294 mm TL para machos, y al reportado por Beltrán-Álvarez *et al.* (2009), en la presa Sanalona, Sinaloa, donde estimaron un valor de L_{∞} = 428 para hembras y 414 mm TL para machos.

La variación de los parámetros de crecimiento que pudiera presentarse se debe principalmente al rango de tallas (como consecuencia de la selectividad de las redes utilizadas en la captura comercial), tamaño de la muestra utilizado y a la confiabilidad del muestreo. Los diferentes métodos y criterios para determinar el crecimiento pueden también afectar los resultados de cada estudio (Álvarez-Anaya, 2008; Beltrán-Álvarez *et al.*, 2009; Beltrán-Álvarez *et al.*, 2014; Curiel-Bernal *et al.*, 2021). Las curvas de crecimiento estimadas con los casos 2 y 5, nos indican que los machos a comparación de las hembras de la tilapia *O. aureus*, alcanzan en un menor tiempo una talla cercana a su longitud máxima teórica.

De igual forma al realizar la comparación de las pendientes en la relación longitud-peso de hembras y machos, se encontraron diferencias significativas. Esto mismo fue registrado para la de la tilapia *O. aureus* por Sánchez (2000) en la presa Huites, Ramírez (2007) en la presa el Varejonal y Valdez-Leyva (2008) en la presa Sanalona, donde machos fueron significativamente mayores que las hembras. En contraparte, Beltrán-Álvarez *et al.* (2009), y Beltrán-Álvarez *et al.* (2014), en la presa Sanalona y Eustaquio Buelna, encontraron que las hembras alcanzan en un menor tiempo una talla cercana a su longitud máxima teórica. Las posibles causas de la diferencia en el crecimiento de la tilapia *O. aureus* pudieran ser, la disponibilidad de alimento, temperatura del agua, oxígeno disuelto, Ph, transparencia de los diferentes embalses; aunado esto, a las variables intrínsecas de la especie, como los son la capacidad genética para soportar o adaptarse a cambios en el ambiente o pool genético, la fisiología, etapa de reproducción, etc.

Así como se determinó en el presente estudio, que los machos de la tilapia *O. aureus* alcanzan en un menor tiempo una talla cercana a su longitud máxima teórica, también se estimó una proporción sexual de 1.6 M:1 H, estadísticamente diferente a la relación teórica de 1:1. Meza *et al.* (1998), Álvarez-Anaya (2008) y Valdez-Leyva (2008), en la presa Bacurato, Josefa Ortiz de Domínguez y Sanalona respectivamente, mencionan que los machos dominaron sobre las hembras. Peña-Messina *et al.* (2010) mencionan que las hembras de algunos peces como la tilapia, después de la fertilización suelen desplazarse a sitios más profundos y a lugares con vegetación para la incubación y protección de la descendencia, mientras que los machos se desplazan a área de alimentación más someros, por lo que aumenta la posibilidad de ser capturados.

Conclusiones

De acuerdo con los análisis aquí realizados (selectividad, talla de primera madurez y crecimiento) podemos deducir que la captura comercial de *O. aureus* durante el estudio, estuvo compuesta en un alto porcentaje (>75 %) de juveniles y reproductores, este hecho pudiera ocasionar un efecto negativo sobre la población y, por lo tanto, en la sustentabilidad del recurso. A pesar de estos impactos negativos observados sobre la población, en esta presa existen programas de repoblamiento (siembra de alevines), que aparentemente dan un respiro a la presión por pesca.

Así mismo, debido a las características de *O. aureus* como: rápido crecimiento, reproducción durante todo el año y talla de maduración sexual alcanzada en un corto tiempo, hacen muy exitosa y prolifera a esta especie.

Aun cuando la información con la que se realizaron los análisis en este trabajo no son recientes, aportan información biológica-pesquera de la tilapia en esta presa, donde no se cuenta con una evaluación formal de la población explotada y mucho menos con un plan de manejo que defina aspectos técnicos de los ámbitos biológico-pesquero, limnológico y socioeconómico, que permita regular la actividad pesquera, la cual es de gran importancia para el sustento de las comunidades aledañas a esta presa.

Contribución de los autores

Propuesta del proyecto, organización, preparación y realización de los muestreos, toma de datos biométricos en campo y para análisis en laboratorio, participación en análisis de datos, análisis de frecuencia de tallas, cálculo de relación longitud total-peso total y principales redactores de manuscrito, P Hernández-Sandoval y CH Rábago-Quiroz; Organización, preparación y realización de los muestreos, toma de datos biométricos en campo y toma de muestras para análisis en laboratorio, análisis de datos biométricos para determinación de edad y crecimiento, uso de software especializado, JG Padilla-Serrato y JD Ruiz-García; Análisis de datos para la determinación de proporción sexual, madurez gonádica y talla de primera madurez sexual, análisis de datos, redacción y revisión de manuscrito, SP Díaz-Camacho, JD Magaña-Correa, KJ Moreno-Rentería y JA Ávila-Díaz .

Todos los autores de este manuscrito han leído y aceptado la versión publicada del mismo.

Financiamiento

Esta investigación fue financiada con fondos propios, se agradece por el uso de laboratorio de acuicultura y vehículo oficial de la Universidad Autónoma de Occidente.

Agradecimientos

A David Felipe Rendón Luna, por su participación activa en la realización de los muestreos, y a Gilberto Manzanares Ruiz por los medios proporcionados para la toma de datos en campo. Del mismo modo se agradece a estudiantes del Programa Educativo de Licenciatura en Biología de la Universidad Autónoma de Occidente por su apoyo en el trabajo de campo. Los autores agradecen al Sistema Nacional de Investigadores (SNI) por el apoyo otorgado.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Referencias

- Akaike, H. (1983). Information measures and model selection. *Proceedings of the 44th Session of the International Statistical Institute*, 1, 277-291.
- Al-Wan, S. M., & Mohamed, A. R. M. (2019). Analysis of the Biological Features of the Blue Tilapia, *Oreochromis aureus* in the Garmat Ali River, Basrah, Iraq. *Asian Journal of Applied Sciences*, 7(06), 776-787. <https://doi.org/10.24203/ajas.v7i6.6037>
- Álvarez-Anaya, W. E. (2008). Aspectos poblacionales y reproductivos de *Oreochromis aureus* (Steindachner, 1864) en un ciclo anual en la presa Josefa Ortiz de Domínguez, Sinaloa, México [Tesis de Licenciatura, Facultad de ciencias del mar, Universidad Autónoma de Sinaloa].
- 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. <https://doi.org/10.15517/rbt.v61i3.11960>
- Bagenal, B., & Tesch, F. (1978). Age and growth. In: T.B. Bagenal (Ed.). *Methods for assessment of fish production in freshwaters*. ibp Handbook No. 3. (pp 101-136). Oxford: Blackwell Scientific publication.
- Baker, T. T., Lafferty, R., & Quinn II, T. J. (1991). A general growth model for mark-recapture data. *Fisheries Research*, 11(3-4), 257-281. [https://doi.org/10.1016/0165-7836\(91\)90005-Z](https://doi.org/10.1016/0165-7836(91)90005-Z)
- Belmont, J. J. F. (2003). Algunos aspectos poblacionales y reproductivos de *Oreochromis aureus* (Steindachner, 1864) (Pisces; Cichlidae) en la presa Aurelio Benassini Vizcaino "El Salto", Sinaloa, México [Tesis de Licenciatura, Facultad de ciencias del mar, Universidad Autónoma de Sinaloa].
- Beltrán-Álvarez, R., Sánchez-Palacios, J., & Ramírez, J. P. (2006). Informe final del proyecto "Estudio Hidrológico, Biológico y Pesquero de la Presa Gustavo Díaz Ordaz", Bacurato, Sinaloa, México. 101 p.
- Beltrán-Álvarez, R., Sánchez-Palacios, J., Valdez, G. L., & Ortega-Salas, A. (2009). Edad y crecimiento de la mojarra *Oreochromis aureus* (Pisces: Cichlidae) en la Presa Sanalona, Sinaloa, México. *Revista de Biología Tropical*, 58(1), 325-338. <https://doi.org/10.15517/rbt.v58i1.5213>
- Beltrán-Álvarez, R., Sánchez-Palacios, J., Ramírez-Lozano, J. P., & Santiago-Amaya, J. A. (2014). Edad y crecimiento de la tilapia *Oreochromis aureus* (Cichlidae) en el embalse Eustaquio Buelna, Sinaloa, México. *Ciencia Pesquera*, 22(2), 37-46. <https://docplayer.es/86574607-Edad-y-crecimiento-de-la-tilapia-oreochromis-aureus-cichlidae-en-el-embalse-eustaquio-buelna-sinaloa-mexico.html>
- Beltrán-Álvarez, R., Sánchez-Palacios, J., & Arroyo-Bustos, G. (2015). Diagnóstico Limnológico y pesquero de los principales embalses de Sinaloa. Colección: Situación, Retos y Tendencias para el Desarrollo Rural Sustentable. CEDRSSA. Cámara de Diputados LXII Legislatura, México, D.F., México. http://biblioteca.diputados.gob.mx/janium/bv/cedrssa/lxii/diag_limpes_prinemb_sin.pdf
- Brouwer, S. L., & Griffiths, M. H. (2005). Reproductive biology of carpenter seabream (*Argyrozona argyrozona*) (Pisces: Sparidae) in a marine protected area. *Fishery Bulletin*, 103(2), 258-269.

- <https://aquadocs.org/bitstream/handle/1834/26221/brouwer.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Burnham, K.P., & Anderson, D. R. (2002). Model selection and multimodel inference: a practical information theoretic approach. New York. Springer. <https://doi.org/10.1007/b97636>
- Cantor, A. F. (2007). Manual de producción de tilapia. Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Puebla. Puebla, México. <https://docplayer.es/35165080-Manual-de-produccion-de-tilapia.html>
- Cerdenares-Ladrón de Guevara, G., Morales-Bojórquez, E., & Rodríguez-Sánchez, R. (2011). Age and growth of the sailfish *Istiophorus platypterus* (Istiophoridae) in the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *Marine Biology Research*, 7(5), 488-499. <https://doi.org/10.1080/17451000.2010.528201>
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2014). Atlas del agua en México. Coordinación General de Comunicación y Cultura del Agua de la Comisión Nacional del Agua. México, D.F. 142p. <https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/ATLAS2014.pdf>
- Curiel-Bernal, M. V., Aragón-Noriega, E. A., Cisneros-Mata, M., Sánchez-Velasco, L., Jiménez-Rosenberg, S. P. A., & Parés-Sierra, A. (2021). Using Observed Residual Error Structure Yields the Best Estimates of Individual Growth Parameters. *Fishes*, 6(3), 35. <https://doi.org/10.3390/fishes6030035>
- Díaz-López, M. (1985). Contribución al conocimiento de edad y crecimiento de *Sarotherodon aureus* (mojarra) de la presa “El bosque” la Encarnación, Michoacán [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/3475716>
- Food and Agriculture Organization [FAO]. (2009) The State of the World Fisheries and Aquaculture 2008. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Gómez-Ponce, M., Granados-Flores, K., Padilla, C., López-Hernández, M., & Núñez-Nogueira, G. (2011). Edad y crecimiento del híbrido de tilapia *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* (Perciformes: Cichlidae) en la represa “Zimapán” Hidalgo, México. *Revista de Biología Tropical*. 59(2), 761-770. <https://doi.org/10.15517/rbt.v0i0.3138>
- Gotelli, N. J., & Ellison, A. (2004). A Primer of Ecological Statistics. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts, U.S.A. <https://www.journals.uchicago.edu/doi/epdf/10.1086/433126>
- Guardado, G. J. (2006). Contribución al estudio biológico y pesquero de la mojarra *Oreochromis aureus* en la presa José López Portillo “el comedero”, Sinaloa México [Tesis de Licenciatura, Facultad de ciencias del mar, Universidad Autónoma de Sinaloa].
- Gulland, J. A. (1983). Fish stock assessment. A manual of basic methods. FAO/Wiley Series, Chichester, 223 p.
- Haddon, M. (2011). Modelling and Quantitative Methods in Fisheries (2nd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781439894170>.
- Hernández-Montaño, D. (2006). Lago de Chapala. In F. Arreguín-Sánchez, L. Bélendez Moreno, I. Méndez Gómez-Humaran, R. Solana Sansores & C. Rangel Dávalos (Eds.). Sustentabilidad y pesca responsable en México (pp. 367-388). Evaluación y Manejo. Instituto Nacional de la Pesca, México, D.F., México. https://www.inapesca.gob.mx/portal/documentos/publicaciones/pelagicos/libro_Rojo.pdf
- Hernández-Montaño, D., & Orbe, A. (2002). Documento Técnico. Evaluación pesquera de la presa Fernando Hiriart Balderrama (Zimapán) Hidalgo-Querétaro, México. Centro Regional de Investigación Pesquera. Pátzcuaro. Instituto Nacional de la Pesca, México D.F., México.
- Holden, M. J., & Raitt, D. F. S. (1975). Manual de ciencia pesquera. Parte 2-métodos para investigar los recursos y su aplicación. Doc. Téc. FAO Pesca. (115) Rev. 1, 211. <https://www.fao.org/3/f0752s/F0752S00.htm>
- Instituto Nacional de Pesca y acuicultura [INAPESCA]. (2021). Planes de Manejo Pesquero en

- México. <https://www.gob.mx/inapesca/acciones-y-programas/planes-de-manejo-pesquero>
- Jiménez-Badillo, L. (2006). Age-growth models for tilapia *Oreochromis aureus* (Perciformes, Cichlidae) of the Infiernillo reservoir, México and reproductive behavior. *Revista de Biología Tropical*, 54(2), 577-588. <https://doi.org/10.15517/rbt.v54i2.13923>.
- Katsanevakis, S. (2006). Modelling fish growth: Model selection, multi-model inference and model selection uncertainty. *Fisheries Research*, 81(2-3), 229-235. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2006.07.002>.
- Küçük, S., Karul A., Yildirim Ş., & Gamsiz K. (2013). Effects of salinity on growth and metabolism in blue tilapia (*Oreochromis aureus*). *Academic Journals*, 12(19), 2715-2721. <https://doi.org/10.5897/AJB12.1296>
- Leonce-Valencia, C., & Defeo, O. (1997). Evaluation of three length-based methods for estimating growth in tropical fishes: the red snapper *Lutjanus campechanus* of the Campeche Bank (Mexico). *Scientia Marina*, 61(3), 297-303. <https://scimar.icm.csic.es/index.php/seclid/7/IdArt/2820/>
- Meza, M. M., Lorenzo, O. V., Yáñez, S. G., & Valenzuela, L. E. (1998). Evaluación de algunos aspectos biológicos-pesqueros de la mojarra *Oreochromis aureus* (Steindachner, 1864), de la Presa Gustavo Díaz Ordaz, Bacurato, Sinaloa, México [Tesis de Licenciatura, Facultad de ciencias del mar, Universidad Autónoma de Sinaloa].
- Montgomery, S. S., Walsh, C. T., Haddon, M., Kesby, C. L., & Johnson, D. D. (2010). Using length data in the Schnute Model to describe growth in a metapenaeid from waters off Australia. *Marine and Freshwater Research*, 61(12), 1435-1445. <https://doi.org/10.1071/MF10060>.
- Norato-Juarez, E. S. (2005). Cultivo y comercialización de tilapia en estanques [Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales Departamento De Administración, Universidad Rafael Landívar, Guatemala].
- Orbe-Mendoza, A. A., Hernández-Montaña, D., Acevedo-García, J., & Guzmán-Arroyo, M. (2002). Presa Aguamilpa, Nayarit, México. In G. de la Lanza-Espino & J.L. García-Calderón (Eds.). Lagos y Presas de México. (pp. 402-420) AGT, México D.F., México.
- Ortega-Lizárraga, G. G. (2010). Edad y crecimiento de la mojarra *Oreochromis aureus* (Steindachner, 1864) en el río Santiago, Nayarit, México, entre las presas El Cajón y Aguamilpa [Tesis de Licenciatura, Facultad de ciencias del mar, Universidad Autónoma de Sinaloa]. https://www.researchgate.net/publication/307464372_Edad_y_crecimiento_de_la_mojarra_Oreochromis_aureus_Steindachner_1864_en_el_rio_Santiago_Nayarit_Mexico_entre_las_presas_El_Cajon_y_Aguamilpa
- Peña-Messina, E., Tapia-Varela, R., Velázquez-Abunader, I. J., Orbe-Mendoza, A. A., & Ruiz-Velazco, J. M. J. (2010). Growth, mortality and reproduction of the blue tilapia *Oreochromis aureus* (Perciformes: Cichlidae) in the Aguamilpa Reservoir, Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 58(4), 1577-1586. <https://doi.org/10.15517/rbt.v58i4.5432>
- Quinn, J. T., & Deriso, R. B. (1999). Quantitative fish dynamics. Oxford University Press, New York. <https://global.oup.com/academic/product/quantitative-fish-dynamics-9780195076318?cc=us&lang=en&>
- Ramírez, T. J. H. (2007). Edad y crecimiento de la mojarra *Oreochromis aureus* (Steindachner, 1864), de la Presa Adolfo López Mateos "El Varejonal" Badiraguato Sinaloa, México [Tesis de Licenciatura, Facultad de ciencias del mar, Universidad Autónoma de Sinaloa].
- Ramos-Cruz, C. (1995). Reproducción y crecimiento de la mojarra tilapia (*Oreochromis aureus*) en la presa Benito Juárez, Oaxaca, México. *Ciencia Pesquera*, 11(1), 54-61. <https://www.inapesca.gob.mx/portal/documentos/publicaciones/cienciapesquera/CP11/CP11-09.pdf>
- Ricker, W. E. (1975). Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada*, 191, 1-382. <https://doi.org/10.1086/409405>

- Sánchez, P. J. (2000). Determinación de la edad y crecimiento de la mojarra *Oreochromis aureus* (Steindachner, 1864) pisces; cichlidae en la Presa Luís Donaldo Colosio, Choix, Sinaloa, México [Tesis de Maestría, Facultad de ciencias del mar, Universidad Autónoma de Sinaloa].
- Schnute, J. (1981). A versatile growth model with statistically stable parameters. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 38(9), 1128-1140. <https://doi.org/10.1139/f81-153>
- Sparre, P., & Venema, S. C. (1997). Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. Parte 1. Manual. FAO, Roma, Italy. <https://www.fao.org/documents/card/fr/c/88c572ae-835d-5f1a-ac64-cb06864dbe81/>
- Valdez-Leyva, G. L. (2008). Edad y crecimiento de la mojarra *Oreochromis aureus* (Steindachner 1864) en el embalse "Sanalona", Sinaloa, México, durante en el ciclo anual [Tesis de Licenciatura, Facultad de ciencias del mar, Universidad Autónoma de Sinaloa].
- Vázquez-Vera, L., & Chávez-Carreño, P. (2022). Diagnóstico de la acuicultura en México. Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A.C. México. 351 p. https://fmcn.org/uploads/publication/file/pdf/Libro%20Acuicultura_2022.pdf
- Venzon, D. J., & Moolgavkar, S. H. (1988). A Method for Computing Profile-Likelihood-Based Confidence Intervals. *Applied Statistics*, 37(1), 87. <https://doi.org/10.2307/2347496>.
- Zar, J. H. (1999). Bioestadistical Analysis. 4th ed. Prentice-Hall; New Jersey, USA.