



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA
CARRERA DE BIOLOGÍA
LIMNOLOGÍA

BIOLOGÍA REPRODUCTIVA DE *OREOCHROMIS NILOTICUS*

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADA EN BIOLOGÍA

PRESENTA:

DAFNE GARCÍA MARTÍNEZ

DIRECTOR: DR. JOSÉ LUIS GÓMEZ MÁRQUEZ

ASESORA: DRA. VERÓNICA MITSUI SAITO QUEZADA

ASESOR: BIOL. JOSÉ LUIS GUZMÁN SANTIAGO

SINODAL: M. EN B. GABRIELA SELENE ORTÍZ BURGOS

SINODAL: M. EN C. ERNESTO MENDOZA VALLEJO



CIUDAD DE MÉXICO

MAYO 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

A mis padres María Leonides Martínez Jiménez y Luis Manuel García del Toro que han estado en todo momento sosteniéndome y guiándome

A mi hermano Irving David García Martínez que me ha dado el ejemplo de perseguir mis sueños.

AGRADECIMIENTOS

- A la máxima casa de estudios Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) por haberme brindado un lugar lleno de conocimientos.
- A la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza (FESZ) por abrirme las puertas y haberme formado como bióloga
- A mis guías Dr. José Luis Gómez Márquez, Biol. José Luis Guzmán Santiago, Dra. Mitsui Saito Quezada, M.en B. Selene Ortiz Burgos y M. en C. Ernesto Mendoza Vallejo que sin ellos esta tesis no hubiera sido posible realizarla.
- A todos mis profesores que durante mi estancia me brindaron todos sus conocimientos y consejos.
- A mi compañero de laboratorio Sergio Limón por compartir conmigo sus conocimientos.
- A Estefanía Sandoval por ayudarme en mi trayecto de laboratorio y salidas a campo.
- A Brenda Isabel Camacho Flores y a María Alejandra Osorio Aguirre por estar en mis momentos más oscuros y llenos de luz sin soltarme la mano ni un minuto, así como alentarme a seguir adelante y no retroceder.
- A todas las personas que han llegado a mi vida por corto o largo tiempo, pero me han dejado un pedacito de ellos y me han hecho crecer en todos los aspectos de mi vida.

ÍNDICE

➤ Resumen.....	1
➤ Abstract.....	2
➤ Introducción.....	3
➤ Antecedentes.....	7
➤ Pregunta de investigación.....	13
➤ Hipótesis.....	13
➤ Justificación	13
➤ Objetivo general.....	14
➤ Objetivos particulares.....	14
➤ Zona de estudio.....	15
➤ Material y método.....	17
➤ Resultados.....	24
➤ Discusión.....	35
➤ Conclusiones.....	44
➤ Referencias.....	45

RESUMEN

Con datos recabados durante el periodo de agosto del 2017 a julio del 2018, en el microreservorio "Amate amarillo" en el estado de Morelos, se trabajó con un total de 364 ejemplares.

Se analizaron los aspectos reproductivos de la especie *Oreochromis niloticus*. En el parámetro de biometría se obtuvo en los machos (M) una longitud total de 25 cm y un peso máximo de 290.9 g, para las hembras (H) se obtuvo una longitud total de 20.5 cm y un peso de 154.4 g, en cuanto a la proporción sexual se encontró una relación (2:1) (M:H) con un total de 223 machos y 141 hembras. En lo que respecta a la Relación Longitud-Peso la población total, hembras y machos presentaron un crecimiento alométrico negativo.

Para la maduración sexual de esta especie, los machos muestran que en los meses de septiembre, enero y marzo hay una proporción significativa de estadios III y IV que representa la época reproductiva, para las hembras los meses de octubre y mayo hay un aumento de estadios III y IV por lo que los índices gonadosomático y hepatosomático que están estrechamente relacionados muestra que en el índice gonadosomático para las hembras hay un aumento en los meses de octubre, enero y mayo mientras que en los machos en octubre, febrero y mayo, en cuanto al índice hepatosomático existe una baja en los meses de noviembre, febrero y abril, para las hembras y en los machos en septiembre y abril.

Analizando el factor de condición K de estos ejemplares se observa una oscilación entre 3.2 y 3.5 la cual se interpreta como una buena condición, la talla de primera madurez sexual se encontró que, para las hembras como para machos es de 18.34 cm. En lo que se refiere al análisis del agua se encontró que el sistema se clasifica como polimítico cálido continuo, con aguas cálidas y buena oxigenación

ABSTRACT

With data collected during the period from August 2017 to July 2018, in the microreservoir "Amate amarillo" in the state of Morelos, we worked with a total of 364 specimens.

The reproductive aspects of the species *Oreochromis niloticus* were analyzed. In the biometry parameter, a total length of 25 cm was obtained for males (M) and a maximum weight of 290.9 g, for females (F) a total length of 20.5 cm and a weight of 154.4 g were obtained, regarding the sexual proportion, a ratio (2:1) (M:F) was found with a total of 223 males and 141 females. Regarding the Length-Weight Ratio, the total population, females and males presented a negative allometric growth.

For the sexual maturation of this species, the males show that in the months of September, January and March there is a significant proportion of stages III and IV that represents the reproductive season, for the females the months of October and May there is an increase of stages III and IV so the gonadosomatic and hepatosomatic indexes that are closely related show that in the gonadosomatic index for the females there is an increase in the months of October, January and May while for the males there is an increase in the months of October, January and May, January and May while the males in October, February and May, as for the hepatosomatic index there is a decrease in the months of November, February and April for the females and in the males in September and April.

Analyzing the K condition factor of these specimens, we observed an oscillation between 3.2 and 3.5, which is interpreted as a good condition; the size at first sexual maturity was found to be 18.34 cm for females and males. Regarding the water analysis, it was found that the system is classified as continuous warm polymictic, with warm water and good oxygenation.

INTRODUCCIÓN

En México, la acuicultura nace como una actividad complementaria en apoyo social a las comunidades rurales, con la finalidad de incrementar el consumo de proteína animal para mejorar los niveles nutricionales de la población (Juárez, 1987). De esta manera la acuicultura rural, empezó a practicarse desde hace más de 20 años (Arredondo y Lozano, 2003).

La acuicultura en la actualidad es una fuente importante de producción de alimento para satisfacer la creciente demanda mundial. En muchas partes del mundo, especialmente en los países en vías de desarrollo, los organismos acuáticos pueden ser una contribución importante para la nutrición, por su gran contenido de proteínas de alta calidad, lo que hace una alternativa alimenticia, debido a que la cantidad de alimentos obtenidos por la agricultura y ganadería es insuficiente para satisfacer a la población humana (FAO, 2011).

El Comité Estatal de Sanidad Acuícola del Estado de Morelos (CESAEM), reportó en el año 2019 que la producción de tilapia en Morelos ascendió a 236 toneladas.

A nivel nacional la Comisión Nacional de Pesca (CONAPESCA), registró en materia de acuicultura el volumen de la producción de mojarra-tilapia que en 2017 la producción de mojarra fue de 113,919 toneladas con un valor de 3,179,306 miles de pesos ocupando el quinto lugar de producción pesquera, CONAPESCA (2019).

En los últimos años la creciente demanda nutricional que ha presentado nuestro país ha propiciado que la pesca en aguas continentales tenga una mayor importancia, no solo por la intención de alimento alto en contenido proteico, sino además por la creación de fuentes de empleo (Orozco, 2013).

Los ecosistemas acuáticos soportan una extraordinaria variedad de especies, muchas de las cuales se están perdiendo, por la degradación de sus hábitats, aún antes de ser descritas (Gómez-Márquez *et al.*, 2020). Particularmente los embalses artificiales como las presas, los microreservorios o bordos, se utilizan mucho en actividades piscícolas mediante la introducción de especies dulceacuícolas exóticas como la tilapia (*Oreochromis* spp.) en los que ha encontrado condiciones favorables

que han permitido su introducción en diferentes cuerpos de agua (Bolívar *et al.*, 2004).

En casi todos los animales la reproducción ocurre durante el periodo de crecimiento máximo, el proceso de reproducción está sujeto a la cantidad de variables extrínsecas e intrínsecas. Como variables extrínsecas se encuentra la relación entre el periodo de luz y oscuridad (fotoperiodo), alimentación, temperatura, corrientes, respuesta inducida por la presencia del sexo opuesto y algunos otros factores ambientales. Como variables intrínsecas se consideran las características genéticas, metabólicas y en forma determinada el mecanismo endocrino reproductor (Daza *et al.*, 2005). Se ha reportado que la temperatura y el fotoperiodo son importantes debido a: 1) la acción directa sobre la gametogénesis, 2) la secreción de las gonadotropinas de la hipófisis, 3) la liberación metabólica de las hormonas, 4) respuesta del hígado a la producción de estrógenos durante la producción de vitelogeninas y 5) respuesta de las gónadas a la estimulación hormonal (Lam, 1983; Salgado-Ugarte *et al.*, 2005).

Cuando se pretende tipificar los distintos aspectos que forman parte de las estrategias reproductivas de las especies, es necesario realizar una serie de aproximaciones, ya que la reproducción es el proceso biológico por el cual las especies se perpetúan y en combinación con los cambios genéticos aparecen por primera vez características para las nuevas especies (Lagler *et al.*, 1990), dentro de los que resaltan por su importancia:

- **Desarrollo reproductivo:** Se debe de tomar en cuenta la maduración de las gónadas (ovarios y testículos) para conocer las épocas de máxima maduración y con esto, la etapa de reproducción.
- **Índice Gonadosomático:** Constituye la expresión más utilizada en el estudio del desarrollo de las gónadas y se utiliza para descubrir el ciclo reproductivo en peces, al relacionar el peso de la gónada con aspectos al peso eviscerado del animal, debido a que la conducta reproductora en la mayoría de los animales es cíclica, en periodos más o menos regulares (King, 2007).

- **Fecundidad:** Expresada como el número de óvulos producidos, parámetro de gran interés no sólo característico de la población sino también como término fundamental en los modelos de dinámica poblacional (Granado, 2002). Que varía de acuerdo con muchos factores entre los que se incluyen la edad, el tamaño, la especie, las condiciones ambientales (disponibilidad de alimento, temperatura del agua, temporada del año) (Lagler *et al.*, 1990, Moyle y Cech, 2000).

La tasa de crecimiento influye en la supervivencia, maduración y la fecundidad. Generalmente los peces que crecen rápidamente tienen mayor oportunidad de sobrevivir, debido a que alcanzan una talla grande tempranamente, por lo cual son capaces de nadar más rápido, escapar de depredadores fácilmente y ser altamente capaces de conseguir su alimento. Para los peces adultos, los individuos que crecen más rápido son sexualmente maduros más temprano, por lo que potencialmente se pueden reproducir por el resto de su vida, lo que se refleja en la fecundidad, la cual a su vez incrementa con la talla (Jones, 2002).

Los peces han desarrollado estrategias reproductivas que han favorecido la creación y el cobijo de necesidades bioquímicas y fisiológicas que los gametos necesitan para unirse y desencadenar el desarrollo del embrión (Wootton y Smith, 2014a, b; Wootton y Carl 2014; Mylonas *et al.* 2010; Schulz *et al.* 2010; Patzner, 2008; Schreck y Moyle, 1990; Zohar y Mylonas, 2001). En las formas de diferenciación gonadal reconocidas para los peces, es bien distinguido el gonocorismo o separación de sexos en hembras y machos, con capacidad gonádica individual para producir óvulos o espermatozoides respectivamente; en el hermafroditismo, las gónadas del mismo espécimen tienen capacidad para producir ambos gametos (Wootton y Carl, 2014; Wootton y Smith, 2014a; Schulz *et al.* 2010).

En los peces las estrategias reproductivas son variadas y complejas y la reproducción sexual es el modo típico y más común (Coward *et al.* 2002). En dicho sentido, se presentan dos tipos de reproducción, la externa que está presente en el 94% de las especies de peces y la interna en tan solo el 6% (Patzner, 2008).

Los hábitos reproductivos y la organización social de *Oreochromis niloticus* tiene grandes implicaciones en su cultivo, pues estos factores guardan estrecha relación con su madurez sexual. El tipo de reproducción y el sistema endocrino juega un papel importante en regulación de la reproducción, la diferenciación de las gónadas ocurre en etapas tempranas entre los 16 y 20 días de edad, sí se toma como referencia el primer día que deja de ser alevín. Posteriormente, las gónadas empiezan a definirse como masculinas o femeninas, alcanzan la madurez sexual a partir de 2 o 3 meses de edad con una longitud entre 8 y 18 cm. El fotoperiodo, la temperatura (la cual debe permanecer arriba de 24°C durante el periodo de maduración) y la presencia del sexo opuesto, son factores que influyen en la maduración sexual (Cantor, 2007).

La fecundación de la tilapia es externa y el número de óvulos producidos por hembra varía según la especie, la talla y peso de los reproductores. La frecuencia varía considerablemente dependiendo de los factores climáticos, pudiendo ser de 6 a 16 veces al año (Morales, 1991; Arredondo y Lozano, 2003).

El macho desarrolla una coloración muy marcada en la época de reproducción y fija su territorio, tiene un período prenupcial corto, el macho es polígamo y usa el nido como un sitio temporal para el cortejo y la fertilización de los óvulos, tienen la forma de cráteres circulares ligeramente más grandes que la longitud de la hembra (Morales 1991; Baltazar 2007)

De acuerdo con (Salgado *et al.* 2005), el crecimiento puede estar siempre dentro de los límites del factor ambiental considerado y (Fry 1971; citado en Brett, 1979) menciona cuatro factores:

- **Factores controladores**, los cuales gobiernan las tasas de reacción por influenciar el estado de actividad molecular de los metabolitos (temperatura, pH)
- **Factores limitantes**, restringen el suministro o remoción de metabolitos, como conectores en la cadena de metabolismo (oxígeno, luz).

- **Factores enmascaradores**, quienes modifican o previenen el efecto de un factor ambiental por medio de dispositivos reguladores (humedad influenciando la temperatura corporal por afectar la pérdida de calor, o por regular la temperatura por flujo de calor en contracorriente como en los peces de sangre caliente o salinidad).
- **Factores directrices**, los cuales indican o señalan al animal para seleccionar o responder a características particulares del ambiente (temperatura preferida, fotoperiodo)

La mayoría de estos factores operan libremente y varios afectan el cambio en tamaño de todo el animal en tanto que otros en la forma de este. Entre los factores más comunes se encuentran la cantidad, calidad y el tamaño del alimento disponible, el número de peces usando la misma fuente de alimento; la temperatura, el oxígeno y otros factores de calidad de agua, el tamaño, edad y madurez sexual del pez (Everhart y Youngs, 1981).

Por lo tanto, evaluar las condiciones de la biología reproductiva de las especies en sistemas acuáticos de alta productividad como los bordos y otros reservorios, es importante para poder establecer un adecuado manejo del recurso, así como una mejor conservación del mismo de una manera sustentable.

ANTECEDENTES

La tilapia fue introducida a México en 1964 procedente de Alabama, E.U.A, los ejemplares fueron depositados en la Estación Piscícola de Temascal, Oaxaca. Las especies que se incluyeron en esta introducción fueron reportadas como *Tilapia aurea*, *Tilapia melanopleura* y *Tilapia mossambica*. (Morales, 1991). Sin embargo, Trewavas en 1975 determinó que las especies presentes en México pertenecían a varios géneros: *Sarotherodon aureus*, *Tilapia rendalli* y *Sarotherodon mossambicus* respectivamente (Jiménez, 1999).

En 1979 llegaron a México los primeros ejemplares de *Tilapia nilotica* (*Oreochromis niloticus*) procedentes de Panamá y fueron depositados en el Centro Acuícola de Tezontepec de Aldama, Hidalgo, de donde se enviaron al Centro Acuícola de Temascal Oaxaca. A principios de 1981, la Secretaría de Pesca importó de Palmeto Florida, E.U.A dos especies: *Oreochromis urolepis hornorum* y *Oreochromis mossambicus*, esta última especie de una línea genética roja, siendo depositadas en el Centro Acuícola el Rodeo, Morelos, las que al igual que las especies anteriores fueron distribuidas en todo el territorio nacional. El potencial biológico que presentan las especies del género *Oreochromis* les ha permitido una gran adaptabilidad a diversos ambientes a donde se les ha trasladado ya sea con fines pesqueros o bien de cultivo, especialmente en climas cálidos lo que ha propiciado una gran dispersión fuera de su área natural y hoy en día con la excepción de la carpa común, ninguna otra especie es tan cultivada en el mundo (Arredondo y Guzmán, 1986)

Trewavas (1973), en forma radical determinó dos géneros distintos *Tilapia* y *Sorotherodon* basando sus diferencias fundamentales en los hábitos reproductivos y alimenticios de las especies de estos géneros. Trewavas (1982), decidió separar la tribu Tilapiini en 4 géneros: *Tilapia*, *Sarotherodon*, *Oreochromis* y *Dankilia* partiendo de los nuevos conocimientos sobre la conducta y el desarrollo de los incubadores bucales maternos, nombre que fue asignado prioritariamente *Oreochromis hunterii* por Günther en 1889 (Arredondo, 1986; García, 2011).

Mendieta (1985), asentó un estudio preliminar del índice gonadosomático de tilapia aurea donde registró que el periodo de mayor producción se lleva a cabo en los primeros 6 meses del año; decayendo paulatinamente en los últimos meses en el que la mayoría de la población se encuentra en reposo en la maduración.

Shackell y Doyle (1991), presentaron un método para estimar el desarrollo y la estabilidad del crecimiento de *Oreochromis niloticus*, a través de la medida de rasgos morfológicos de las escamas. Tomaron en cuenta que la parte anterior de la escama no cambia después de su formación, y consideraron que dicha estructura sirve como un registro del desarrollo y crecimiento pasado. El crecimiento de la

escama ha sido frecuentemente usado como un estimador del cambio en la longitud del pez.

Gómez-Márquez *et al.* (1993), reconocieron tres épocas reproductivas para la especie (primavera verano e invierno) con máxima intensidad en verano (julio); Asimismo, reportan que el intervalo de longitud patrón de los organismos fluctuó entre 0.4 a 13 cm. Además, mencionan que la fecundidad en las hembras está relacionada con la longitud patrón y que el número de óvulos por desove individual fue menor a 500.

Peña y Domínguez (1999), estudiaron el efecto de 3 condiciones de fotoperiodo (12:12 luz /oscuridad, 24/0 luz/oscuridad y 0/24 luz/oscuridad) sobre el crecimiento en longitud patrón, peso total, desarrollo gonadal y concentración de monoaminas en el hipotálamo de *Oreochromis niloticus*. Los resultados muestran que no existen diferencias en el crecimiento de la tilapia sometida a diferentes fotoperiodos. El índice gonadosomático de las hembras expuestas a condiciones de oscuridad continúa fue mejor para aquellas que se encontraban en fotoperiodo de 12 horas luz 12 horas oscuridad. Los resultados apoyan que existe diferencia sexual y por exposición a los diferentes fotoperiodos en el mecanismo neuroendocrino que regula la maduración sexual de tilapia.

Barbieri *et al.* (2000), al trabajar con *Oreochromis niloticus*, mencionan que la talla de primera madurez sexual fue estimada en 76 mm y que el periodo de mayor intensidad de desove fue en los meses de octubre y noviembre, ya que en ese periodo se presentaron mayores temperaturas, así como factores exógenos que desencadenan la reproducción.

Tovar (2005), realizó un estudio de edad y crecimiento de *Oreochromis niloticus* por medio de estructuras duras (otolitos y escamas) en la presa de "Emiliano Zapata", Morelos. La proporción sexual fue de 1:6.16 (hembras:machos); respecto a la relación peso total-longitud total para la población total y los machos, registró un crecimiento alométrico negativo y las hembras presentaron una tendencia a la isometría. Registro 4 anillos de crecimiento. La validación de la formación de los

anillos de crecimiento se realizó a través de índice de incremento marginal, la formación de estas marcas ocurre dos veces al año (julio y enero-febrero), coinciden con la época de reproducción.

Wessels y Hörstgen (2007) realizaron diferentes tratamientos de temperatura para observar el comportamiento de la diferenciación sexual, después de dos generaciones en *Oreochromis niloticus*. Consistió en un grupo control (28°C) y el experimental (36°C), mostrando mayores proporciones de machos en aquellos que se encontraron expuestos a temperaturas altas, sugiriendo este método como alternativa en la producción de alevines para cultivos monosexo.

García (2011), en su estudio de la reproducción de tilapia en el estado de Morelos reportó tallas de 15 a 25.5 cm de longitud total y 67.1 a 252.6 gramos de peso total para el caso de los machos, mientras que para las hembras 9.2 a 20.8 cm de longitud total y 15 a 14.7 g de peso total. La proporción sexual fue de 3.9:1 (macho:hembra), la población presentó crecimiento de tipo alométrico negativo. La talla de primera madurez por hembra es de 17.2 cm y para los machos de 16.8 cm. De acuerdo a los índices gonadosomático y hepatosomático *Oreochromis niloticus* presenta picos de reproducción: de diciembre-enero y otro de abril-junio. La fecundidad media fue de 718 ovocitos con diámetros que van de 300 a 3200 μm .

Costa y Carvalho (2012), tomaron muestras mensuales y se analizó un total de 1,715 animales desde julio-2004 a junio-2005 La población de *Oreochromis niloticus* presentó una proporción sexual 1.3:1 (M:H). Los parámetros estimados del crecimiento fueron los siguientes: $L_{\infty}=33.60$ cm, $k=0.63/\text{año}$. Estos resultados indican que la población de *Oreochromis niloticus* está bien establecida en el embalse de Barra Bonita. Además, su reproducción ocurre durante todo el año, pero es más intensa en el invierno y primavera; su dieta tiene como base el fitoplancton. Los resultados indican que no está ocurriendo sobrepesca de *Oreochromis niloticus*.

Paredes (2013), realizó un estudio en el bordo Huitchila Morelos, de septiembre de 2010 a agosto 2011, en donde los machos presentaron tallas de 13.7 a 24 cm de longitud total y peso total de 35.8 a 168 g. Para las hembras las tallas se registraron

de 13.3 a 18.6 cm, un peso total de 34.3 a 102.3 g. La proporción sexual fue de 6.2:1 (macho: hembra) ($\chi^2= 180.63$; $p<0.05$). Registro una época de reproducción de mayo a agosto.

Alcalá y Alvarado (2014), estudiaron la dinámica de la reproducción *Oreochromis niloticus* en dos bordos de Morelos de agosto de 2012 a agosto de 2013. Los intervalos de tallas que registraron fueron de 15.4 a 30 cm de longitud total para Amate de 12.3 a 19 cm longitud total para Huitchila, con pesos que fueron desde los 30 a 300 g, el tipo de crecimiento obtenido para ambos bordos es alométrico negativo. La proporción sexual fue de 1.65:1 para Amate y de 13.88:1 para Huitchila favoreciendo a los machos. La talla de primera madurez sexual fue de 14.3 cm y 14 cm para hembras y machos respectivamente. Los índices gonadosomático y hepatosomático, muestran dos periodos de reproducción de mayo a agosto para Amate y de abril a junio para Huitchila. La fecundidad media fue de 262 ovocitos por pez con diámetros de 300-2500 μm para Amate y de 389 ovocitos por pez con un diámetro de 400-1,300 μm para Huitchila.

CARACTERÍSTICAS DE *Oreochromis niloticus*

La tilapia se cultiva en 31 estados del país, siendo los mejores sitios de producción a nivel nacional para su desarrollo las zonas tropicales de los estados de Jalisco, Chiapas, Michoacán y Sinaloa (CONAPESCA, 2017).

A través de estructuras como el hueso faríngeo, se puede demostrar una diferencia entre los géneros y especies que han sido introducidas al país. En este caso *Oreochromis niloticus*, en la parte frontal del hueso faríngeo presenta un área dentada con una menor cantidad de dientes que la que presenta *Oreochromis aureus*. Se puede apreciar la presencia de dientes bicúspides y de monocúspides curvados hacia atrás. Los lóbulos superiores del hueso faríngeo inferior están poco desarrollados, el área dentada no está cubierta por completo por los dientes y su densidad es irregular. No se observa diferencias en la longitud del tallo con respecto al tamaño del diente. La pigmentación sólo está presente en la parte superior del área dentada. Y finalmente, la forma de la parte superior del hueso faríngeo es casi recta (Arredondo y Tejada 1989).

Las tilapias presentan un solo orificio nasal a cada lado de la cabeza, que sirve simultáneamente como entrada y salida de la cavidad nasal. El cuerpo es generalmente comprimido, a menudo discoidal, raramente alargado; en muchas especies la cabeza del macho es invariablemente más grande que la hembra; algunas veces con la edad y el desarrollo se presentan en el macho tejidos grasos en la región anterior dorsal de la cabeza (dimorfismo sexual). La línea lateral en los cíclidos está interrumpida en dos partes; la porción superior se extiende desde el opérculo hasta los últimos radios de la aleta dorsal, en la porción inferior, aparecen varias escamas por debajo de donde termina la línea lateral superior hasta el final de la aleta caudal (Arredondo-Figueroa y Guzmán-Arroyo, 1986; Morales, 1991).

Las especies de tilapia pueden ser distinguidas por otras características de tipo biológico, tales como sus patrones de coloración, particularmente durante la época de reproducción, su conducta, la forma de los nidos y el tamaño y color de los huevos. Estos organismos presentan de 19 a 22 branquiespinas en la parte inferior

del primer arco branquial; de 30 a 32 escamas en una serie longitudinal, la coloración del cuerpo es rosado o morado oscuro con el filo de la aleta dorsal de color negro la cabeza rojo púrpura el vientre rojo o morado y la aleta dorsal presenta líneas negras verticales finas el color de los ojos es rosado claro y el perfil frontal es convexo (Arredondo-Figueroa y Guzmán-Arroyo, 1986).

Son peces de rápido crecimiento, sumamente fértiles, adaptables a condiciones ambientales muy diversas y de gran resistencia al manejo. Aunque pueden rebasar los 30 cm de longitud, alcanza la madurez sexual a los 11 o 12 cm; esta precocidad se da en condiciones de sobrepoblación, puede acarrear enanismo. Existen herbívoras, zooplanctófagas y omnívoras (Morales, 1991). Son altamente tolerantes a las altas temperaturas, bajas concentraciones de oxígeno y altos niveles de amoníaco; resistiendo, además, las altas salinidades.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo afecta los factores ambientales en la reproducción de los individuos?

HIPÓTESIS

Oreochromis niloticus tiene un mejor desarrollo en los climas cálidos por lo que se espera que los organismos en los meses de agosto-septiembre presenten una alta tasa de reproducción y una talla promedio de primera madurez sexual mayor a 15 cm.

JUSTIFICACIÓN

En el estado de Morelos existen muchas comunidades rurales que dependen económicamente de la producción pesquera, agrícola y ganadera, por lo que la producción y el aprovechamiento de *Oreochromis niloticus* brinda apoyo económico además de proporcionar proteína animal de alta calidad necesaria para la población rural, debido a que la especie es adaptable a diversos hábitats y distintos factores ambientales como los sistemas artificiales (bordos o microreservorios), el monitoreo

constante de estos lugares y el bienestar de los individuos es de suma importancia para su mejor aprovechamiento y buen manejo del recurso, ya que dependen económicamente de esta actividad.

OBJETIVO GENERAL

Analizar las características reproductivas de *Oreochromis niloticus* y su relación con los factores ambientales

OBJETIVOS PARTICULARES

- Obtener el tipo de crecimiento para la especie por medio de la relación longitud-peso, así como el factor de condición como indicador de bienestar.
- Determinar la proporción sexual para la población de manera mensual y total.
- Determinar el Índice gonadosomático (IGS), índice hepatosomático (IHS) y el factor de condición de manera temporal como índices de la época de reproducción.
- Determinar la talla de primera madurez sexual para la especie en estudio.
- Relacionar los parámetros de la temperatura y oxígeno disuelto en agua con los indicadores morfofisiológicos de *Oreochromis niloticus*

ZONA DE ESTUDIO

El Municipio de Ayala se encuentra en la parte centro Oriente del Estado y se ubica entre los 18° 46´ norte y los 98° 59´ oeste. Limita al norte con los municipios de Yautepec, Cuautla, y Yecapixtla, al sur con Telpancingo y Tlaquiltenango; al este con Temoac, Jantetelco, y Jonacatepec, y al oeste con Tlatizapán, y Yautepec. Tiene una extensión territorial de 345.688 km² y representa el 6.97% con respecto a la superficie del Estado. El bordo Amate amarillo se encuentra en el municipio de Ayala en la parte central de estado a 1,220 metros sobre el nivel del mar (Figura 1).

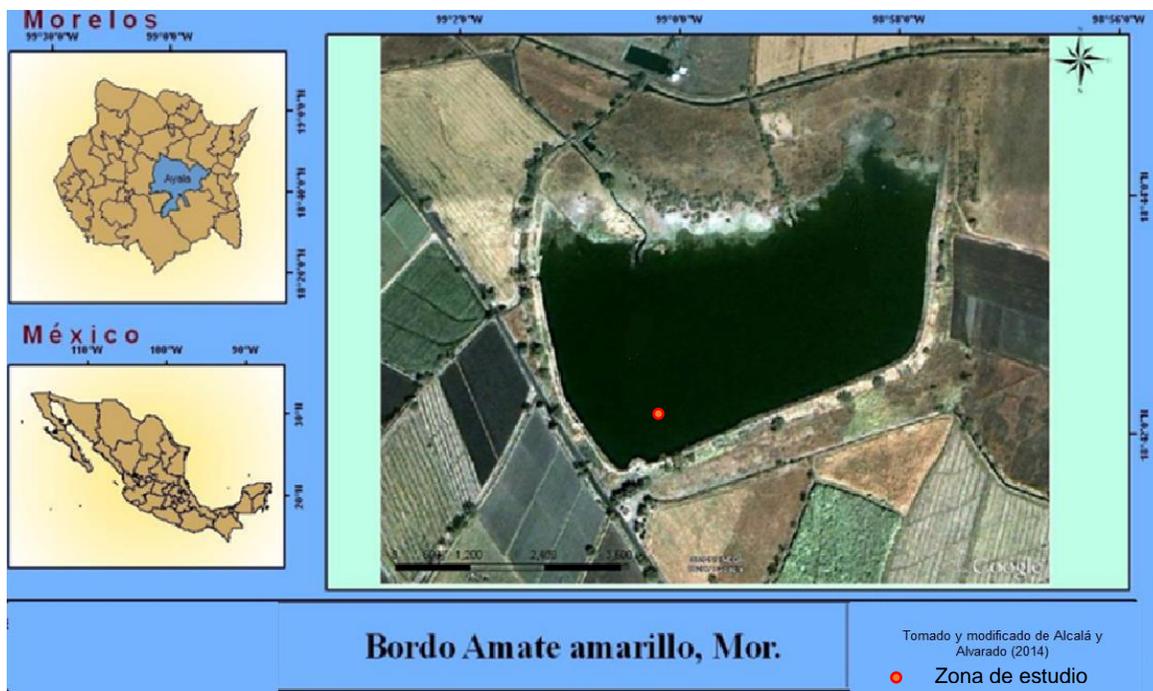


Figura 1. Mapa del lugar del muestreo

De acuerdo con la clasificación de Köppen, modificado por (García 2004), el clima predominante del municipio es cálido subhúmedo (Awo(w)(i)g) que es característico de los lugares que se localizan en altitudes menores a 1,400 msnm, con precipitación media anual de 800 mm y una temperatura media anual de 24°C, el periodo de lluvias se presenta durante los meses de junio a octubre y el viento tiene una dirección de norte a sur (INEGI, 2009).

GEOLOGÍA

Presenta rocas sedimentarias conformadas por arenisca-conglomerado (20.72%), caliza (19.8%), conglomerado (18.29%) y lutita-arenisca (2.39%); ígnea extrusiva: andesita-toba intermedia (8.11%), toba ácida (4.85%), toba básica-brecha (0.29); ígnea intrusivo: pórfido andesítico (0.49%) metamórficas (1.32%) (INEGI, 2007).

Presenta suelos aluviales (17.63%), Vertisol pélico (34.55%), Leptosol (33.45%), Kastañozem (12.15%), Phaezem háplico (10.03%), Chernozem (4.8%) y Regosol (1.28%).

HIDROLOGÍA

Este municipio se encuentra dentro de la región hidrográfica del Balsas (100%), en la Cuenca Río Grande de Amacuzac (100%), Subcuencas Río Cuautla (68.98%), Río Yautepec (30.89%) y Río Bajo Amacuzac (0.13%) (INEGI, 2009). La fuente de abastecimiento de mayor importancia que tiene el municipio es el Río Ayala que nace en el ojo de agua de Casasano y la Barranca de Xochimilcatzingo, además de alimentarse de los escurrimientos de otras barrancas y posteriormente unirse al Río Cuautla. De igual manera cuenta con algunos manantiales como el Axocoche, El Colibrí, El Platanal, así como vasos de agua en Anenecuilco, Xalostoc, Moyotepec y la presa Palo Blanco (INEGI, 2009).

VEGETACIÓN

La vegetación predominante es selva baja caducifolia, principalmente se registra cubatas (*Acacia spp.*), casahuates (*Ipomoea arborescens*), tulipanes, amates (*Ficus insípida*), framboyanes (*Delonix regia*), guamúchil (*Pithecellobium dulce*), guaje colorado (*Leucaena leucocephala*), mezquite, palo dulce (*Eysenhardtia polystachya*), bonete (*Pileus mexicanus*), tepeguaje (*Lysiloma acapulcense*), frutales tales como anono (*Annona squamosa*), chirimoyo (*Annona cherimola*), mamey (*Pouteria sapota*), ciruelo (*Prunus domestica*) y guayabo (*Psidium guajava*) (INAFED, 2010).

FAUNA

La fauna es muy variada, entre ellos tenemos al mapache, conejo (*Oryctolagus cuniculus*), zorrillo (*Mephitidae*), armadillo (*Dasybus novemcinctus*), tlacuache (*Didelphis marsupialis*), coyote (*Canis latrans*), urraca (*Aphelocoma wollweberi*), zopilote (*Coragyps atratus*), lechuza (*Tyto alba*), gavilán (*Accipiter nisus*), iguana (*Iguana iguana*) y escorpión (*Scorpiones*). Entre los peces se cuenta con bagre (*Ictalurus punctatus*) y mojarra (*Oreochromis niloticus*) (INAFED, 2010).

MATERIAL Y MÉTODO

FASE DE CAMPO

CALIDAD DE AGUA

Debido a la contingencia sanitaria de SARS-CoV-2 (COVID-19) para el análisis de los parámetros de calidad de agua y biometría de los organismos, estos se obtuvieron a partir de una base de datos del laboratorio de Limnología, de la FES Zaragoza; sin embargo, en marzo de 2020 se pudo realizar un muestreo de reconocimiento del lugar y las actividades realizadas.

En el sistema, se registró la hora del día, porcentaje de nubosidad y se georreferenció, se tomó la base de datos del muestreo mensual de agua de agosto 2017 a julio del 2018, se obtuvieron las muestras de agua con una botella Van Dorn de dos litros de capacidad, estas fueron tomadas a 0.3 m, 0.5 m, 1.0 m, 1.5 m, 2.0 m, 2.5 m, 3.0 m y 3.5 m de profundidad; las muestras se almacenaron en botellas de polietileno de un litro de capacidad con hielo a una temperatura aproximada de 4°C y se transportaron al laboratorio para su posterior procesamiento. Se determinó la transparencia y profundidad máxima del sistema con el disco de Secchi, la temperatura ambiental y del agua con un termómetro de $\pm 1^\circ\text{C}$; el oxígeno disuelto por medio de un oxímetro (HANNA HI9146), pH, sólidos totales disueltos y conductividad con un multiparámetro (HANNA modelo HI 991300), alcalinidad por el método de indicadores y la dureza total por el método complejométrico (Wetzel y Likens, 2000; APHA, AWWA Y WPCF, 1998).

MUESTREO BIOLÓGICO

Se recolectaron 30 organismos mensuales, los peces fueron obtenidos por los pescadores utilizando un atarraya de 5.6 cm de luz de malla, y a cada uno de los organismos se les realizó la siguiente biometría (Figura 2): longitud total (Lt), longitud patrón (Lp) y altura (A) con un ictiómetro, peso total con una balanza digital (marca Ohaus Triple Beam, con precisión de ± 0.1 g), el sexo por medio de la exposición directa de las gónadas, lo cual se hizo mediante un corte ventral desde la apertura anal hasta la cintura escapular del organismo; asimismo se obtuvo el peso de las gónadas, el hígado, el tracto digestivo, el peso eviscerado con una balanza digital y se determinó el estado gonádico con base en la escala de madurez propuesta por (Peña-Mendoza *et al.* 2011). Las gónadas se almacenaron en frascos de plástico con formol neutro amortiguado (Estrada *et al.*, 1982).

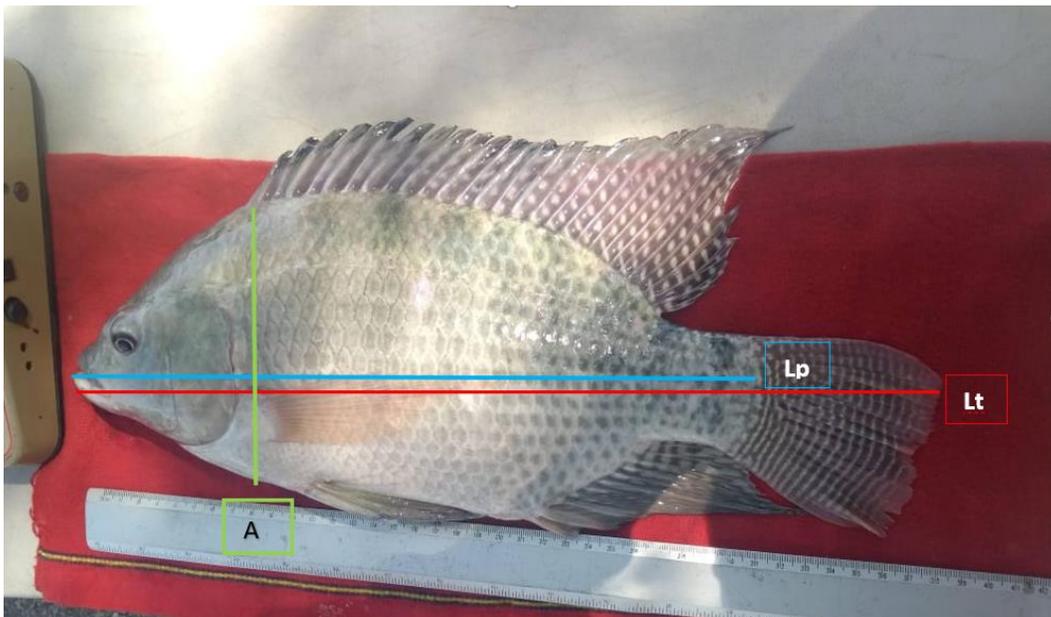


Figura 2. Biometría de *Oreochromis niloticus*

- longitud total
- longitud patrón
- altura

FASE DE GABINETE

Proporción sexual

Con el número total de los individuos y de hembras y macho, se calculó la proporción de sexos de manera mensual y total, utilizando la prueba estadística de distribución χ^2 ($p < 0.05$) con la aplicación de la corrección de Yates (Zar, 1974).

$$\chi^2 = \sum \frac{(\text{observada} - \text{teórica} - 0.5)^2}{\text{teórica}}$$

Relación Longitud-peso

Se analizó la relación Longitud-Peso mediante la ecuación de tipo potencial:

$$P = aL^b$$

Donde:

P= peso total del individuo en gramos.

L= longitud del organismo en cm.

a y b= son constantes las cuales se estiman mediante análisis de regresión lineal. Esta ecuación puede transformarse en forma lineal mediante el uso de logaritmos (base 10) donde b es la pendiente que determina la proporcionalidad de los incrementos de la longitud con respecto al peso y a es el intercepto (Gómez-Márquez *et al.*, 2016).

$$\text{Log } P = \log a + b \log L$$

Debido a que la longitud es una magnitud lineal y el peso es igual al cubo de la talla, si un individuo mantiene su forma al crecer, entonces el crecimiento se considera como isométrico ($b=3$). Cuando $b>3$, los individuos de mayor talla han incrementado

su peso en mayor proporción que su longitud, presentando crecimiento alométrico positivo. En cambio, cuando $b < 3$, los individuos incrementan preferencialmente su longitud relativa más que su peso lo cual indica que es un crecimiento alométrico negativo y esto mayoritariamente ocurre en organismos de tallas pequeñas que crecen más en talla antes de poder ganar peso (Cifuentes *et al.* 2012). El tipo de crecimiento (alométrico o isométrico), se obtuvo con el valor de la pendiente de la relación peso-longitud, y para saber si este valor tiene diferencia estadística, se realizó una comprobación utilizando el estadístico de t-Student (Salgado *et al.*, 2005):

$$t = \frac{d.e. \log(x)}{d.e. \log(y)} * \frac{b - 3}{\sqrt{1 - r^2}} * \sqrt{n - 1}$$

Donde:

d.e log(x)= desviación estándar de log 10 de longitud

d.e log(y)= desviación estándar de log 10 de peso

n= número de organismos

r²= coeficiente de determinación

b= valor de la pendiente

Estadíos de maduración

Se refiere al grado de maduración de los ovarios y testículos, los cuales se identificaron por medio de la escala de madurez propuesta por (Peña-Mendoza *et al.* 2011). Se graficó la proporción de estadíos gonádicos por mes y por sexo para observar el comportamiento de este proceso.

Índices gonadosomático y hepatosomático

El índice gonadosomático (IGS) es una forma de determinar la época de reproducción de los peces, este es frecuentemente utilizado para seguir el ciclo reproductivo de una especie en un año a intervalos mensuales o de menor tiempo. Este índice, asume que las gónadas (ovario o testículo) incrementan en tamaño conforme aumenta el desarrollo y se compara la masa de gónada (PG) con la masa del animal eviscerado (PE) (King, 2007; Vlaming *et al.*, 1982).

$$IGS = \frac{PG}{PE} * 100$$

Donde:

IGS: Índice gonadosomático

PG=peso de la gónada.

PE=peso del pez eviscerado.

El Índice hepatosomático (IHS) es la relación que existe entre el peso del hígado (PH) y el peso eviscerado del pez. Es específico para hembras, ya que el hígado segrega vitelogeninas exógenas que van a ser captadas por el óvulo en desarrollo. Es directamente proporcional al ciclo reproductivo y decae justo antes del desove, siendo un indicador de la puesta (Rodríguez, 1992).

$$IHS = \frac{PH}{PE} * 100$$

Donde:

IHS= índice hepatosomático

PH=peso del hígado.

PE=peso del pez eviscerado.

Factor de condición

Es una herramienta importante indicadora del bienestar o robustez de la población de peces. El factor de condición fue expresado matemáticamente por Clark (1928) el cual sugiere el cálculo a partir del peso eviscerado (Nikolsky, 1963).

$$k = \frac{Pe}{L^b} * 100$$

Dónde:

K=Factor de condición

Pe= peso eviscerado

L= longitud total o patrón

b= pendiente de relación peso longitud

El valor del factor de condición de Clark define la verdadera condición del pez sin el efecto del peso de la gónada y el contenido intestinal que puedan enmascarar la verdadera dinámica de la condición del pez, de ahí que se recomienda utilizar este factor de condición (Nikolsky, 1963).

Distribución de frecuencia de tallas

Para determinar la estructura de tallas de la población, mes a mes se realizó un histograma de distribución de frecuencia de tallas, en el cual se pueden identificar el número de modas (clases de talla) que hacen inferencia en el reclutamiento de organismos. Para realizar el cálculo adecuado de intervalos de tallas que hay en la población, se utilizó la regla de Sturges (Wayne, 1987) que propone la siguiente expresión:

$$k = 1 + 3.322 * \log(10)(n)$$

Donde:

n= total de individuos

El recorrido (R) = valor máximo – valor mínimo, se aplicó con el fin de definir el tamaño adecuado de cada intervalo para las clases de tallas.

$$\text{Amplitud de clases} = \text{recorrido (R)/k}$$

Primera talla de madurez sexual

La primera madurez sexual se entiende por la capacidad de alcanzar la talla que tienen los peces para empezar a reproducirse. Se les considera sexualmente maduros, cuando las gónadas salen de su latencia y empiezan a desarrollarse, lo cual es evidente con la aparición de los ovocitos y espermatocitos en diferentes fases de desarrollo, así como cambios morfológicos de las gónadas; ésta representa la longitud a la cual el 50% de todos los individuos son sexualmente maduros (Cailliet *et al.*, 1986; King, 1995).

$$P = \frac{1}{(1 + \exp^{-r(L-Lm)})}$$

Donde:

P= proporción de peces maduros

r= pendiente de la relación

L= longitud patrón o total

Lm= longitud media

Parámetros físicos y químicos

Para conocer el comportamiento de los factores ambientales durante el estudio, principalmente en el momento de la reproducción se realizó un análisis exploratorio de datos (Salgado, 1992), posteriormente se realizaron graficas de la temperatura ambiental y del agua, oxígeno disuelto, contra el tiempo.

RESULTADOS

PARÁMETROS FISICO-QUÍMICOS

Debido a la emergencia sanitaria de SARS-CoV-2 (COVID-19) este trabajo se realizó con ayuda de una base de datos previamente capturada, los meses utilizados fueron de agosto 2017 a julio 2018, esto con el fin de observar la interacción de la temperatura y el oxígeno con la reproducción de los individuos.

El sistema registró una profundidad máxima de 3.5 m en el mes de octubre (época de lluvias) y la profundidad mínima registrada fue de 2.0 m (época de secas), con una temperatura máxima de 26.9 °C en el mes de octubre y una mínima de 19.1 °C en el mes de febrero, la (Figura 3) muestra que la temperatura disminuye conforme aumenta la profundidad.

De acuerdo con Rivera y Herrera (2011) el sistema se clasifica como polimíctico cálido continuo esto se atribuye a que el cuerpo de agua presenta varias mezclas y nunca hay una estratificación a lo largo del año.

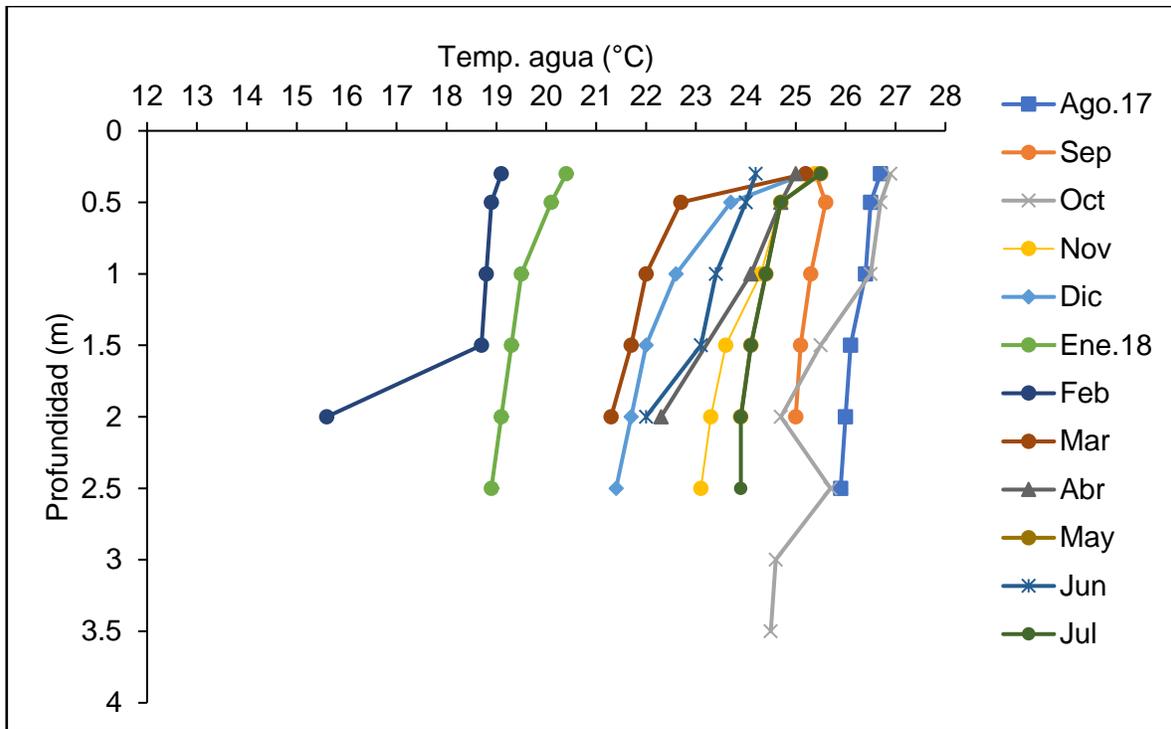


Figura 3. Comportamiento de temperatura del sistema.

En cuanto a la concentración de oxígeno disuelto, el valor más alto registrado fue de 15.9 mg/L en el mes de abril y con un mínimo de 3.5 mg/L en el mes de octubre, por lo que se observa una relación estrecha entre concentración y profundidad, ya que como se observa en la (Figura 4), el oxígeno disminuye conforme va aumentando la profundidad, por lo que la gráfica nos muestra un comportamiento de tipo clinógrada.

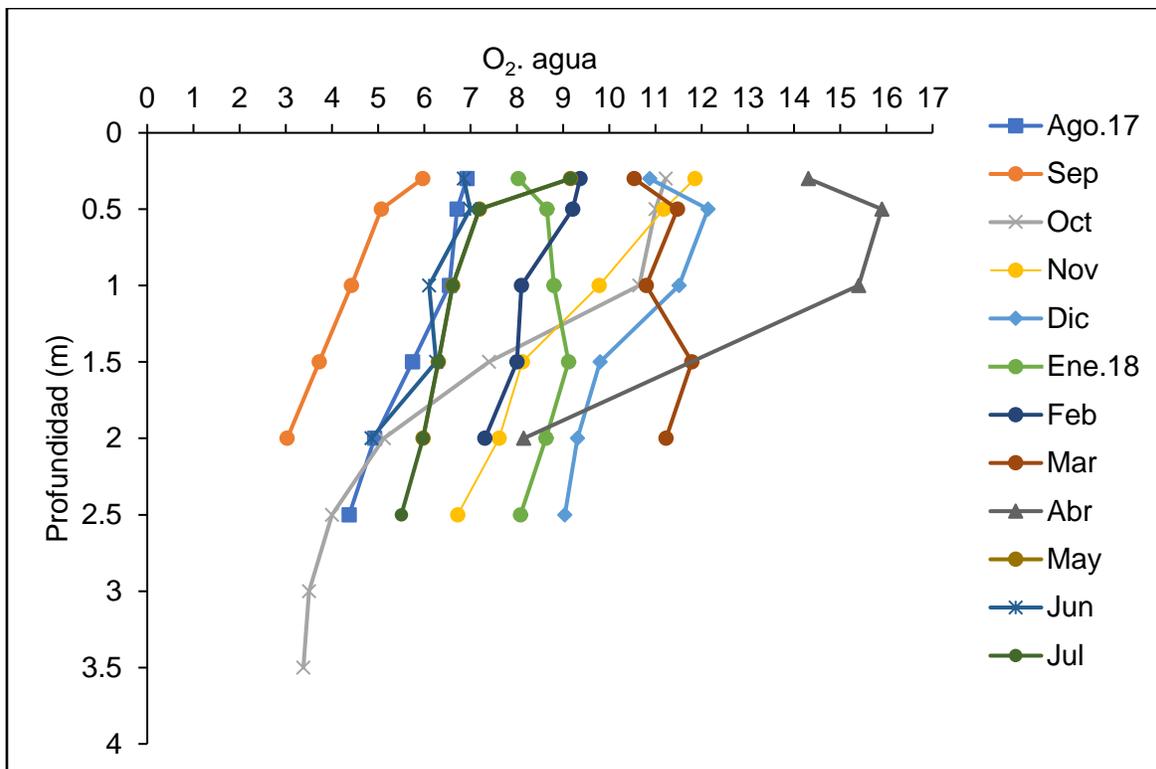


Figura 4. Comportamiento de oxígeno en el sistema

BIOMETRÍA DE LA ESPECIE

El total de peces capturados de agosto 2017 a julio 2018 fue de 364 individuos, en cuanto a la biometría general de los peces, se observó que la máxima longitud total fue de 25 cm con un peso de 290.2 g correspondiente a los machos, por el contrario, los valores mínimos registrados fueron para las hembras con una longitud total de 20.5 cm y un peso de 154.4 g.

	MACHOS		HEMBRAS		TOTAL	
	Lt (cm)	Peso (g)	Lt (cm)	Peso (g)	Lt (cm)	Peso (g)
Máximo	25	290.2	20.5	154.4	25	290.2
Mínimo	15.4	64.7	15	60.9	15	60.9
Promedio	20.2	177.4	17.7	107.6	20	175.5

Tabla 1. Resumen de la biometría para la población.

PROPORCIÓN SEXUAL

En cuanto a la proporción sexual de los individuos recolectados, se obtuvo una relación (2:1) machos:hembras (M:H), de los cuales 223 fueron machos y 141 hembras.

La (Figura 5), muestra que existe una diferencia significativa entre los sexos que se alejan de la proporción 1:1, ya que el $p < 0.05$ en los meses de agosto, septiembre, octubre, junio y julio predominaron los machos y en los meses de noviembre, enero, febrero, marzo y abril predominan las hembras.

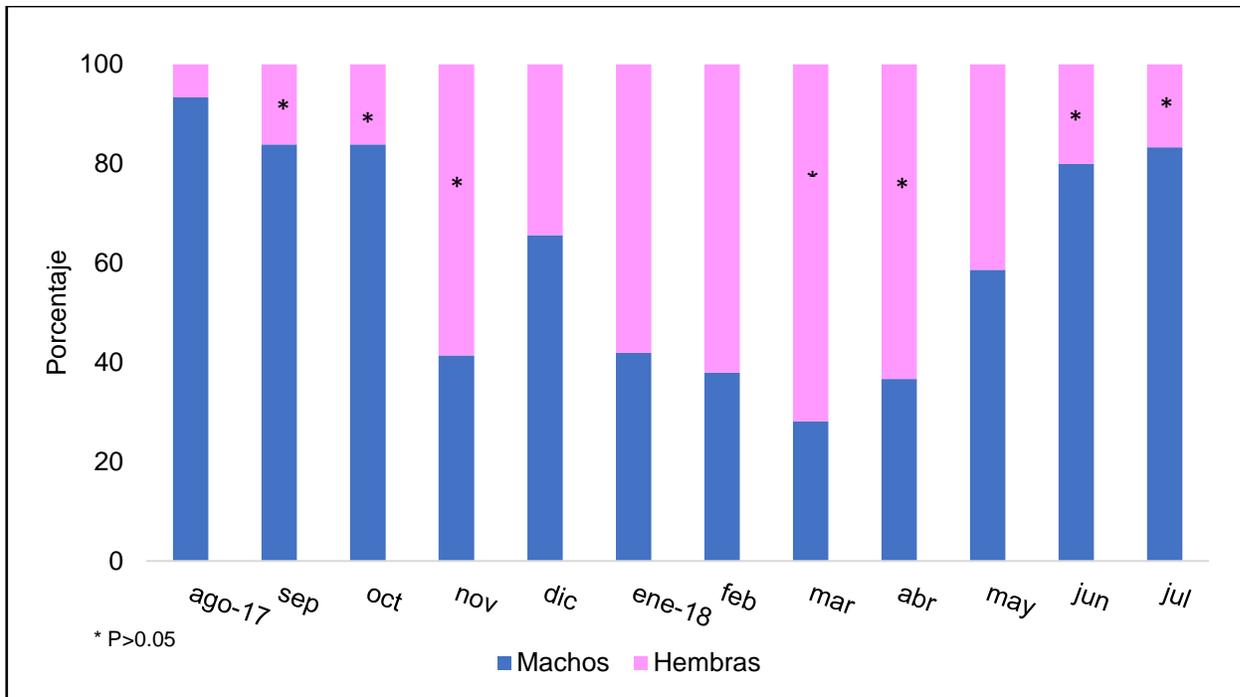


Figura 5. Proporción sexual para la población de *Oreochromis niloticus*.

RELACIÓN LONGITUD-PESO

Se estimó el tipo de crecimiento de la población, machos y hembras por medio de la relación potencial entre la talla y el peso, utilizando el método de regresión lineal.

La población mostró un valor de pendiente de $b = 2.7186$, el resultado nos indica que el crecimiento de la población es alométrico negativo, esto es, que los organismos incrementan preferencialmente su longitud más que su peso (Figura 6).

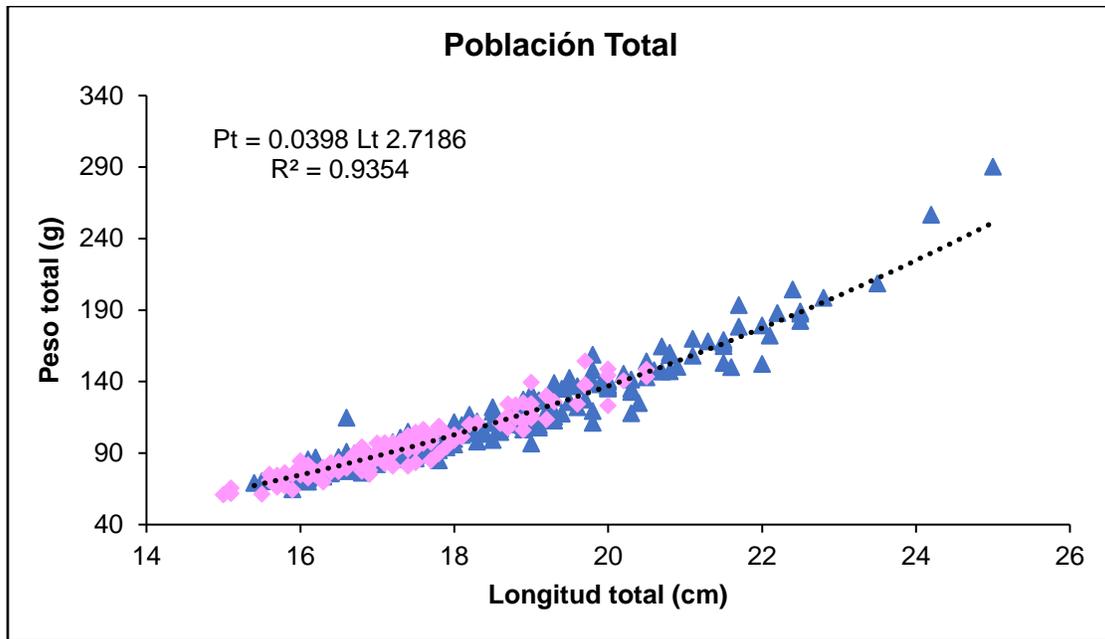


Figura 6. Relación longitud-peso para toda la población.

Los machos mostraron un crecimiento alométrico negativo, esto se atribuye a un valor de $b=2.7186$ por lo que nos indica que los individuos incrementan su longitud más que su peso (Figura 7).

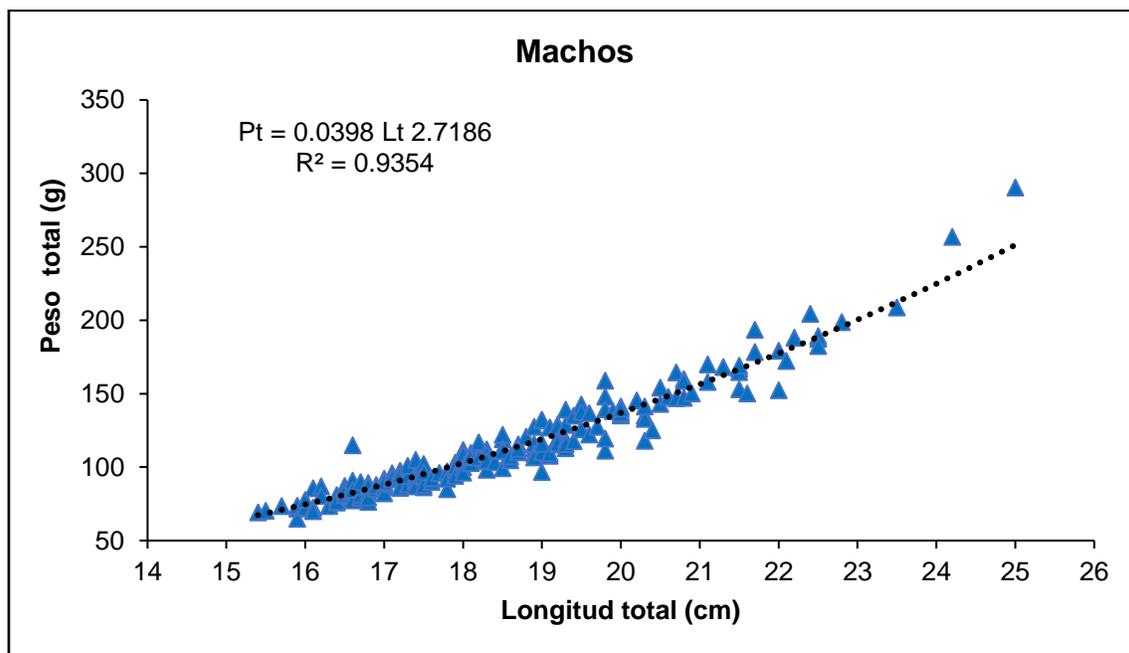


Figura 7. Relación longitud-peso para los machos.

En las hembras se obtuvo una pendiente de $b = 2.8064$ la cual indica que el crecimiento de las hembras es alométrico negativo (Figura 8).

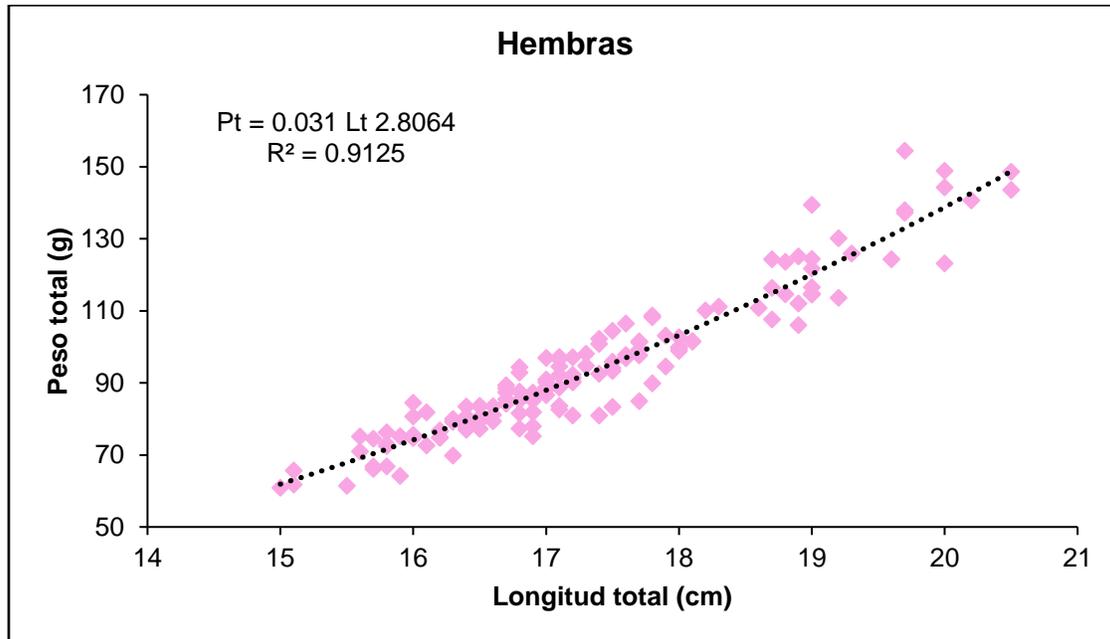


Figura 8. Relación longitud-peso en hembras

MADURACIÓN SEXUAL

En cuanto a la maduración gonádica, como se muestra en la (Figura 9 y 10), los meses en los cuales se lleva a cabo la reproducción, se realiza en casi todos los meses, ya que la mayor parte de la población mostró organismos en estadio II (inmaduro).

En los machos se muestra que en los meses de septiembre, enero y marzo hay una proporción significativa de estadio (III) maduro, (IV) están en época reproductiva y (V) en recuperación (ya que hubo una reproducción); sin embargo, existe reproducción todo el año (Figura 8).

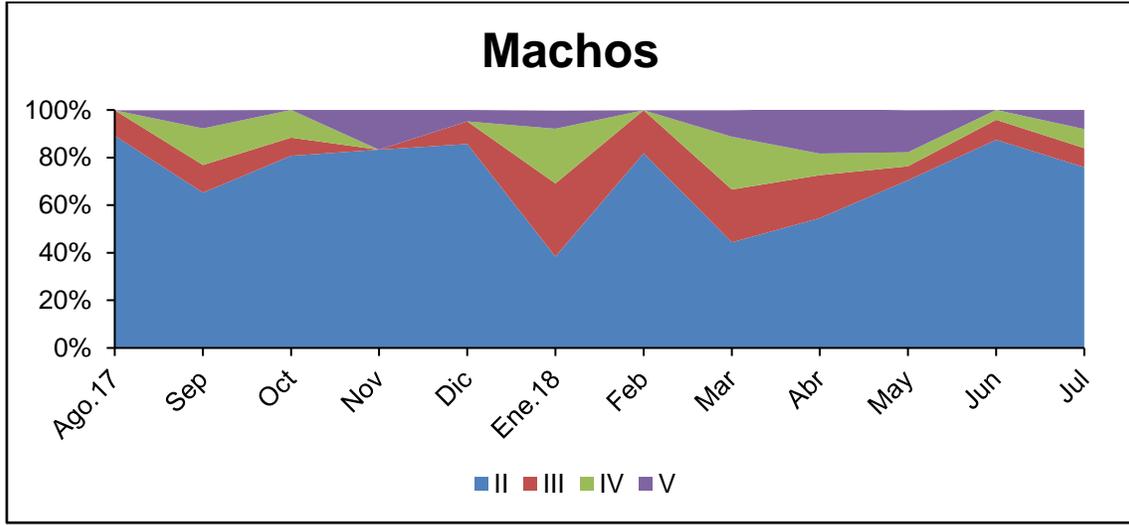


Figura 9. Maduración gonádica para los machos.

Para las hembras se observa que en los meses de octubre y mayo la mayor parte de la población se encuentra en reproducción; sin embargo, se puede observar que todo el año existe una reproducción, esto por la presencia de los estadios (III), (IV) y (V) casi durante todo el año, desde octubre hasta julio con mayor proporción de estadios IV en mayo (Figura 9).

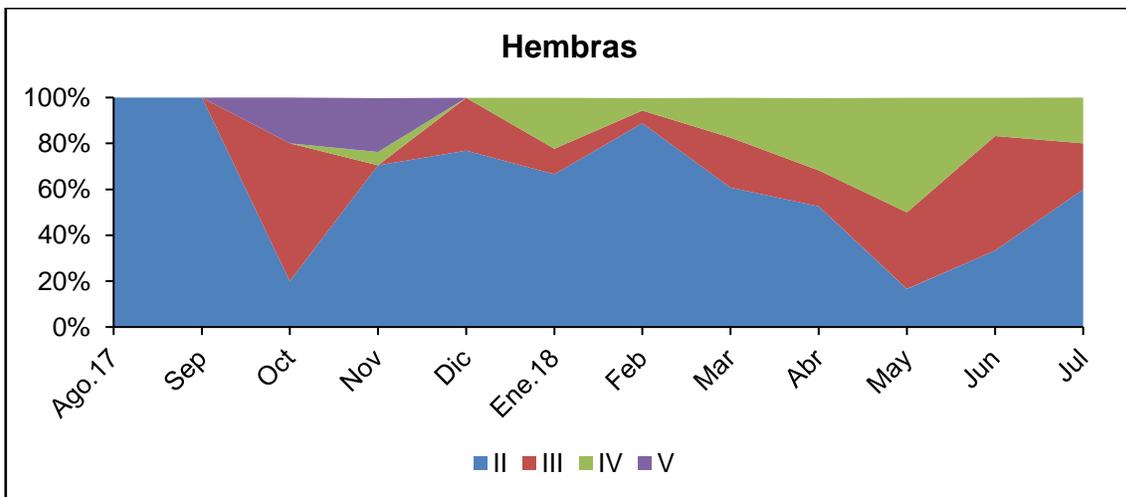


Figura 10. Maduración gonádica para las hembras

ÍNDICE GONADOSOMÁTICO Y HEPATOSOMÁTICO

Estos índices nos ayudan en la determinación de la época reproductiva de la población, ya que tienen una alta relación, por lo que son buenos indicadores morfofisiológicos.

Índice gonadosomático (IGS)

La (Figura 11) muestra que las hembras presentan tres meses de máximo índice en octubre, enero y mayo, mientras que los machos se mantienen estables todo el año; sin embargo, existe aumento notable en los meses de septiembre, febrero y mayo.

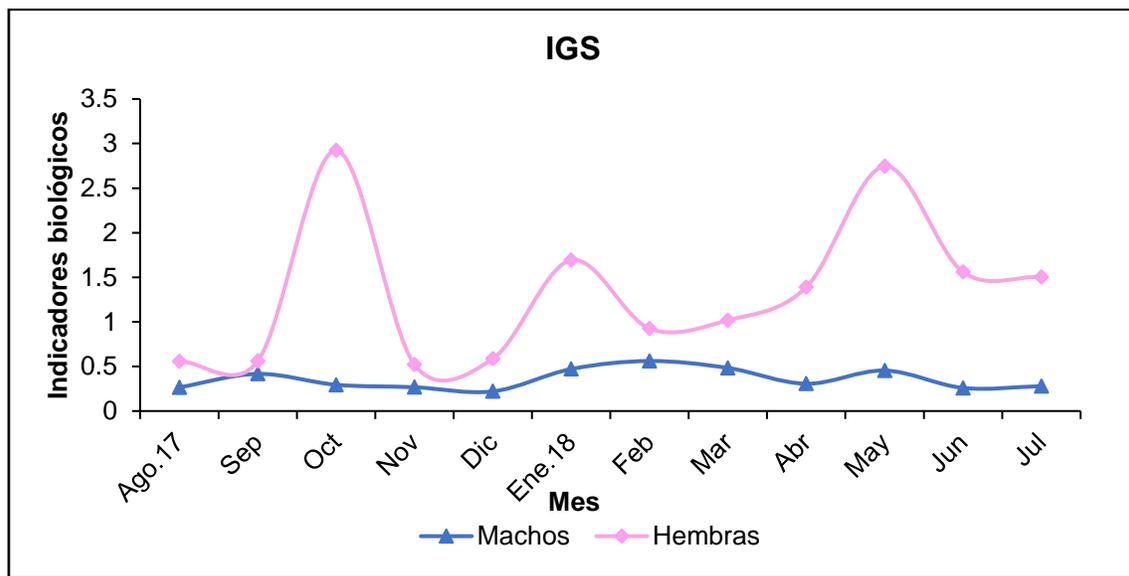


Figura 11. Variación temporal del Índice gonadosomático para hembras y machos

Índice hepatosomático (IHS)

Para el índice hepatosomático IHS se puede observar que en la (Figura 12) existe una baja en las hembras en los meses de noviembre, febrero y abril, en cuanto a los machos existen 2 bajas en los meses de septiembre y abril

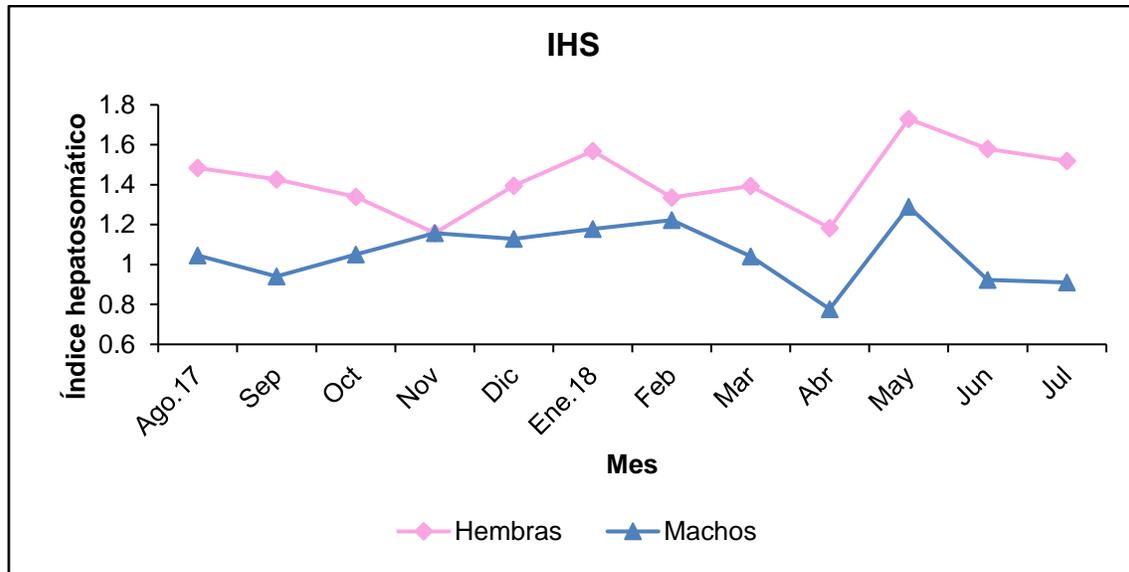


Figura 12. Comportamiento temporal del Índice hepatosomático para las hembras y los machos

FACTOR DE CONDICIÓN

El factor de condición de Clark es utilizado para observar el bienestar y la condición de los peces, por lo que en la (Figura 13) se observa que los peces tienen muy buena condición ya que oscilan entre 3.2 y 3.5 tanto para machos como para hembras; sin embargo, al graficarlo con la temperatura del agua, se muestra que en el mes de febrero hay una ligera baja del factor de condición y esto puede ser atribuido a la baja de temperatura.

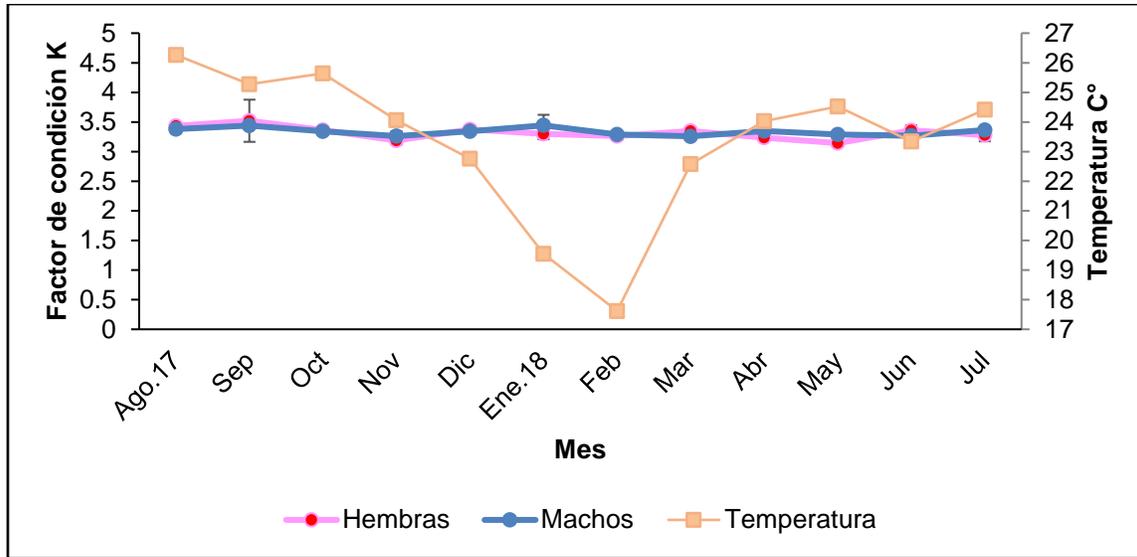


Figura 13. Variación del factor de condición para machos y hembras y su relación con la temperatura °C del agua del sistema

TALLA DE PRIMERA MADUREZ SEXUAL

En cuanto a la primera talla de madurez sexual, se obtuvo que tanto para las hembras como para los machos la población madura a los 18.34 cm (Figura14).

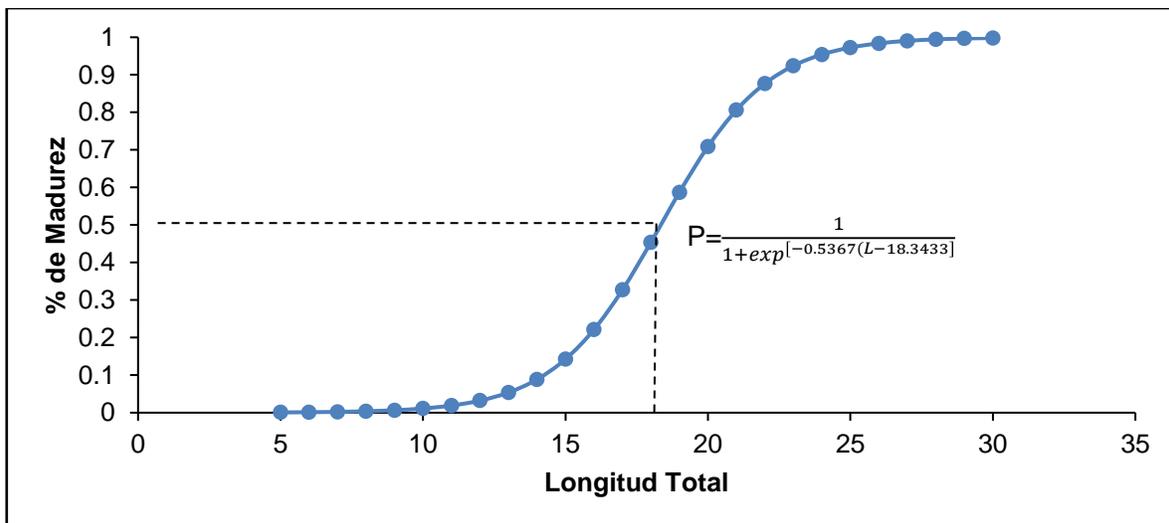


Figura 14. Primera talla de madurez sexual para la población de *Oreochromis niloticus*

DISCUSIÓN

En los últimos años la construcción de bordos ha sido de suma importancia ya que en la mayoría de los casos son utilizados para el almacenamiento de agua, que son utilizados para uso agrícola, como abrevaderos y en los últimos años como producción pesquera, estos bordos representan una gran ayuda económica a las poblaciones aledañas (Arredondo-Figueroa y Flores Nava, 1992).

Estos “microembalses” son llamados así debido a la poca extensión que tienen (Hernández-Avilés *et al.*, 2007), la mayoría de estos son utilizados para la captación de agua y posteriormente utilizada para riego de cultivos como caña, maíz, frijol etc., así como abrevaderos. Estos “microembalses” mayormente son intermitentes, esto se debe a que se llenan en la temporada de lluvias a principios de junio y sus niveles bajan en la temporada de secas a principio de octubre (Arredondo-Figueroa y Flores-Nava, 1992). Debido a este comportamiento presenta dos etapas, la primera en la que presenta una dilución de los materiales en solución y suspensión, con el decremento en la alcalinidad, dureza y conductividad y la otra considerada como fase de concentración durante la época de secas, en la cual se incrementa estos componentes, al reducirse el volumen por evaporación, infiltración, uso del agua para riego (Hernández-Avilés *et al.*, 2007; Arredondo-Figueroa y Flores-Nava, 1992; Granados-Ramírez *et al.*, 2014).

En la (Figura 3) se muestra la gráfica de temperatura del sistema Amate amarillo, analizando la gráfica se muestra una ligera estratificación en los primeros 0.5 m este efecto se puede atribuir a las condiciones y la hora del muestreo, el sistema muestra una temperatura máxima de 27°C, (Schindler 1991) menciona que los lagos someros pueden estratificarse y romper la estratificación varias veces en el verano, esto debido a los vientos.

El bordo Amate amarillo se encuentra en una zona de clima cálido subhúmedo, por lo que su temperatura media anual es de 24°C reportado por INEGI (2009), por lo que Rivera y Hernández en el 2011 clasifican el sistema como polimíctico cálido

continuo, ya que registró diversos periodos de mezcla en el atardecer y durante la noche y esta estratificado por un periodo de tiempo corto durante el día.

De acuerdo con el comportamiento mostrado en el muestreo no se observa ningún cambio en comportamiento por lo que el sistema se sigue considerando como polimíctico cálido continuo, este comportamiento es corroborado por Muñoz (2020).

Los principales parámetros de producción en sistemas acuícola corresponden aquellos que regulan el crecimiento y la supervivencia de los individuos criados en cautiverio. Algunos son abióticos, o también llamados ambientales (Imsland *et al.*, 2001; Tucker *et al.*, 2006); mientras que otros son bióticos, o sea dependen de los atributos biológicos de la especie seleccionada para el cultivo (Lambert y Dutil, 2001; Morimoto *et al.*, 2006). Así pues, si la combinación de estos parámetros es óptima entonces el crecimiento y la supervivencia de los individuos criados en cautiverio es maximizado y la producción garantizada. Un parámetro ambiental determinante para el crecimiento del pez en cautiverio es la temperatura, la cual incrementa proporcional y positivamente la tasa de crecimiento hasta alcanzar su nivel óptimo, después de los cual tiene efectos negativos (Corey *et al.*, 1983; Jobling, 1993).

De acuerdo con Arredondo y Ponce (1998), para que las tilapias tengan un buen desarrollo y crecimiento, la temperatura del agua necesita estar entre los 29°C y 21°C, y si a esto se le adiciona alimentación a saciedad, el crecimiento se manifestará tres veces superior a aquel que se obtiene en el intervalo de los 20°C y 22°C. Sin embargo, se debe de tomar en cuenta que a temperaturas menores de 15°C y superiores de 40°C, su crecimiento cesa y se reduce el proceso de la reproducción por efecto del estrés y algunas veces los organismos mueren. Además, también se ha reportado que durante los meses fríos los peces dejan de crecer y el consumo de alimento disminuye (Arredondo, 1986) de acuerdo con estos autores la temperatura del sistema es adecuado para el desarrollo de estos individuos.

El oxígeno disuelto, así como la temperatura son dos de los parámetros importantes de los sistemas acuáticos, ya que son esenciales para el metabolismo de todos los organismos (Contreras, 1994, Wetzel, 2001;). Existe una relación importante entre la temperatura y la concentración de oxígeno disuelto que de acuerdo con Gómez-Márquez *et al.* (2013), mencionan que estas dos variables tienen una relación significativamente inversa, para un microreservorio en el estado de Morelos. Como se puede observar en la (figura 4) el bordo Amate amarillo presentó niveles de oxigenación de 15.9 mg/L en el mes de abril como máximo y 3.03 mg/L en el mes de septiembre como mínimo, lo que significa que el sistema presenta una buena oxigenación aunque presentó una curva de tipo clinógrada, es decir, valores altos en la superficie y valores bajos hacia el fondo esto se debe por el efecto de la disminución de la producción fotosintética, la degradación de la materia orgánica y los procesos respiratorios; además, por efecto de la carga de materia orgánica que es descargada durante la época de lluvias al sistema (Roldán y Restrepo, 2008).

Durante el estudio no se detectaron condiciones de anoxia, lo cual puede ser posible porque la apertura y cierre de la compuerta se realiza durante 10 horas al día, así como por el aporte de agua continuo por medio del afluente y por el efecto del viento por las tardes, que permite que el cuerpo de agua presente procesos de mezcla y además permite la aireación del ecosistema acuático, como también es reportado por González (2021).

En cuanto a los resultados de la población total mostrados en la (Tabla 1) de 364 individuos, la longitud total fue dada por los machos con 25 cm y un peso de 290.2 g y para las hembras un máximo de 20.5 cm con un peso registrado de 154.4 g, estos resultados fueron superiores comparado con las tallas registradas por Gómez-Márquez *et al.* (2003) quienes citan tallas entre 11.7 y 20.6 cm de longitud total para los organismos del lago Coatetelco para *Oreochromis niloticus*, mientras que Sandoval (2021) registra en el sistema “La Papala” valores ligeramente superiores con un registro de longitud total en machos es de 25.5 cm y un peso de 286.1 g y para hembras 24.8 cm con un peso de 231.6 g.

Fryer y Iles (1972), Oliveira y Almada (1995), García (2011), González (2021) y Sandoval (2021), mencionan que los machos tienen mayor talla que las hembras debido a factores como la temperatura que juega un papel importante desde el punto metabólico en cuanto a crecimiento y desarrollo de la especie, además de ser una consecuencia de las estrategias que utilizan los organismos para la reproducción, ya que para que los machos sean aceptados por las hembras deben de ser más grandes que éstas.

En cuanto a la proporción sexual (Figura 5) para el bordo Amate amarillo en este trabajo se encontró una relación 2:1 macho:hembra (M:H) en los meses de agosto, septiembre, octubre, junio y julio hay una diferencia significativa con los machos predominando, mientras que en los meses de noviembre, marzo y abril hay una proporción mayor de hembras. Comparando estos resultados contra los reportados por Nikolsky (1963) en general, se espera que la proporción de sexos sea aproximadamente 1:1; sin embargo, Pérez y Patlani (2002) y Yongo *et al.* (2018), reportaron para *Oreochromis niloticus* una proporción sexual en donde los machos se presentaron en mayor número, a diferencia de González (2021) y Sandoval (2021) quienes mencionan que la proporción sexual favoreció a las hembras.

Este comportamiento se puede deber a que los machos después de la fertilización, no se dedican al cuidado de los huevos y se quedan en los nidos con la finalidad de seguir reproduciéndose, lo que los convierte en presa fácil para las redes en las zonas someras, mientras que las hembras suelen alejarse del nido y desplazarse a zonas probablemente más profundas o con mayor protección, en las que difícilmente pueden ser capturadas (Gómez-Márquez *et al.*, 2003).

Así mismo, Jiménez (1999) reporta para *Oreochromis aureus* una proporción sexual con dominancia de los machos sobre las hembras y señala que esta situación puede deberse al efecto de la sobre pesca a la que es sometida la tilapia. Las tilapias forman cardúmenes en los que probablemente predominan siempre los machos, razón por la cual, al ser capturados, las muestras nos indican la predominancia de los machos.

Conover y Kynard (1981), Devlin y Nagahama (2002) y Ospina y Piferrer (2008), citan que la determinación del sexo en los peces está influenciada por factores genéticos, fisiológicos y ambientales tales como temperatura, pH, fotoperiodo, etc.

En cuanto al crecimiento de los individuos puede interpretarse mediante la relación de los procesos anabólicos y catabólicos, el individuo crece a medida que los procesos anabólicos sobrepasan a los procesos catabólicos y se detiene cuando ambos se equilibran, por consiguiente, el crecimiento del pez es el resultado de su alimentación, su asimilación y la capacidad de construir tejidos en su cuerpo (Voet y Voet, 2006).

Los resultados mostrados para la relación longitud–peso la población total (Figura 4) muestra un crecimiento alométrico negativo al igual que por sexos separados, datos que reflejan un comportamiento potencial.

Este tipo de crecimiento ha sido reportado por Garduño y Avelar (1996), Gómez-Márquez (2002), Manríquez-Ledezma (2005) para el lago de Coatetelco, Morelos, Yongo *et al.* (2018) para el Lago Victoria, África, Sandoval (2021) y González (2021) para Morelos. Desde el punto de vista ecológico el que las especies presenten crecimiento alométrico negativo se debe a que los peces en condiciones naturales para evitar la depredación por otras especies deben de crecer más en longitud que en peso, el crecimiento también se ve influenciado por los factores ambientales como la temperatura (Pauly, 1984; Aguilar, 2011).

La relación longitud-peso es una característica que resulta ser importante dentro del análisis de la pesquería, ya que proporciona información sobre la condición de una población. Además, permite establecer el peso como una potencia de la longitud, es decir la forma del cuerpo como reflejo de los cambios fisiológicos que surge a través de su vida (Jiménez, 2006).

Morales (1991), Granado (2002) y Froese (2006) señalan que el valor de la pendiente (b) bajo condiciones naturales, oscila entre 2.5. y 3.5 (algunas veces 4 como lo marca King, 2007) siendo en muy raras ocasiones igual a 3, lo cual ha sido

realizado en diversos estudios en distintas especies en diferentes ambientes acuáticos.

El registro de los estudios de maduración de los peces es necesario para muchos propósitos, ya que se utiliza para determinar la proporción del stock que está maduro o para establecer la talla de primera madurez. Para establecer los estadios de maduración es frecuente encontrar que, en los trabajos de pesquería, los ovarios son los órganos más adecuados para estos estudios, ya que estos son más grandes y fácilmente examinados en comparación a los testículos, se asume que el desarrollo de ambas estructuras sexuales es sincrónico. Asimismo, los ovarios pueden ser examinados microscópicamente y clasificados en varios estadios de desarrollo (King, 2007).

Con respecto a la variación de los diferentes estadios de madurez gonádica de las hembras (Figura 10) de *Oreochromis niloticus* durante el periodo de un año, Aguilar (2011) y Sandoval (2021) reportan que el estadio II se encuentra en mayor porcentaje, ya que se presenta durante todos los meses del año. En los resultados obtenidos en el presente trabajo, se confirma este comportamiento mencionado por Aguilar (2011); sin embargo, también se presenta en ambos sexos los estadios III, IV, V, durante todo el año, lo que indica que la población se reproduce todo el año, y con mayor fuerza para los machos en los meses de septiembre, enero y marzo, y para las hembras en los meses de octubre y mayo.

Aunque Babiker e Ibrahim, (1979) y Admassu, (1996), han reportado que las tilapias desovan más de una vez en una estación reproductiva, la mayoría de ellos solo mencionan dos periodos, lo que podría implicar que dentro de este tiempo las hembras podrían desovar en varias ocasiones o que al no iniciar todas las hembras al mismo tiempo su maduración, lo alcanzan en el transcurso de esos dos periodos (época de lluvias y secas), lo que podría indicar que la especie es un desovante sincrónico por grupos (Gómez-Márquez *et al.*, 2016).

En México se reporta que la tilapia puede desovar de una a diez veces durante el año, y mencionan también que la cantidad de desoves pueden llegar a verse

influidos por varios factores ambientales (Morales 1991). Kolding (2006), menciona que la frecuencia con la que se obtienen los diferentes estados de madurez gonadal, indica que los cíclidos son peces con características de desoves parciales, es decir que las hembras tienen patrones individuales de desarrollo de los ovarios, por lo que en el periodo de reproducción las hembras tienden a desovar de forma asincrónica cada 3 a 4 semanas, dependiendo ello de las condiciones ambientales.

El índice gonadosomático y el índice hepatosomático son indicadores de movilización de reservas energéticas del hepatopáncreas hacia las gónadas, con los cuales se estima la actividad reproductiva (Rodríguez-González *et al.*, 2006; Revathi *et al.*, 2012), ya que el hígado es un órgano de almacenamiento de grasas y glucógeno que participa directamente en la formación de la vitelogenina exógena a medida que avanza la maduración de los ovarios (Lam, 1983).

Los resultados del índice hepatosomático (Figura 12) para los machos muestra que hay dos variaciones muy notorias en el mes de septiembre y abril con una disminución, para las hembras hay una tendencia a disminuir en los meses de noviembre y abril; en cuanto al índice gonadosomático (Figura 11) las hembras presentan tres picos muy importantes en los meses de octubre, enero y mayo, en cuanto a los machos no muestra tanta diferencia, sin embargo hay una alza en los meses de septiembre, febrero y mayo, por lo que se concluye que hay una relación directa. Estos resultados difieren en otros trabajos como el reportado por Ramírez y Cruz (2002) para *Oreochromis niloticus*, donde muestran su valor máximo del índice hepatosomático en el mes de agosto, pero son similares a lo reportado por Peterson *et al.* (2004)

El estudio del factor de condición ayuda a conocer el bienestar o robustez de una población de peces, el cual sirve de base para inferir los cambios en la condición de los organismos al aumentar la talla, edad, variaciones estacionales en el balance metabólico ocasionado por la disponibilidad del alimento, así como la condición sexual antes y después del desove (Lagler *et al.*, 1990; Granado, 2002), esto basándose en que los peces de mayor peso, a una determinada longitud, presentan una mejor condición (Froese, 2006).

En este estudio se utilizó el factor de condición de Clark (1982), que utiliza como variable el peso eviscerado del pez, de esta manera se evita el efecto de las gónadas y las vísceras que pueden llegar a representar una variación del 15 y 30% respectivamente del peso total del pez, lo que puede enmascarar la verdadera dinámica de la condición del pez (Nikolsky, 1963).

Se observa que tanto machos como hembras (Figura 13), el factor de condición no tiene gran variación ya que oscila entre 3 y 3.5; sin embargo, en los meses de enero y febrero los machos presentan un alza notoria mientras que las hembras presentan una baja en el factor de condición en el mes de enero, esto se infiere por la baja de temperatura en el sistema ya que los organismos gastan mayor energía.

Admassu en (1996), reporto un comportamiento similar en el reportado en el presente trabajo, sin embargo, hay reportes de otros autores que difieren como el reportado por García (2006), para los peces de la presa Emiliano Zapata y el Lago Coatetelco, en que los machos de ambos presentan dos etapas de bienestar: una de baja condición durante la época de secas y la segunda de buena condición de julio a diciembre y corresponde a la época de lluvias. Las hembras presentan también dos etapas: la primera de enero a marzo y la segunda de septiembre a enero; Peña-Mendoza *et al.* (2005) reportaron un pico máximo en el mes de febrero (época de secas) en la Presa Emiliano Zapata. Por el contrario, Barbieri (2000) reporta para *Oreochromis niloticus* en la Presa Guarapiranga que el pico de reproducción es de septiembre a diciembre (época de lluvias).

Esto se puede explicar por reflejo de las condiciones estacionales, ya que durante la época de lluvias se acarrea material orgánico alóctono y restos de fertilizantes provenientes de los campos de cultivo que se encuentran alrededor de los sistemas, aumenta la productividad primaria del sistema; provee de mayor espacio a los organismos y por consecuencia una menor concentración de sólidos, mayor profundidad, así como al aumento de la temperatura, y por lo tanto, los organismos presentan menor condición somática (Arredondo y Ponce, 1998; Cifuentes *et al.*, 2012; Paredes, 2013).

El incremento del factor de condición observado durante la estación de lluvias podría atribuirse al desarrollo de material gonadal justo antes de la temporada de cría (Njiru *et al.*, 2006), aunque el factor de condición puede depender de varios factores como la disponibilidad de alimento o la estacionalidad (Froese, 2006), así como los altos grados de contaminación en el sistema, los cuales pueden llegar a influir en los valores del parámetro (El-Sayed *et al.*, 2003).

Por otra parte, la primera talla de madurez sexual reportada en este trabajo para machos y hembras es de 18.34 cm. (Figura14) resultado superior a otros trabajos como el reporte de Gómez-Márquez *et al.*, (2003) ya que la talla de primera madurez para los organismos del lago Coatetelco fue de 11.7 cm y 12.0 cm de longitud total, hembras y machos respectivamente. Sastré (2008) reportó talla de 17.7 cm para machos en la presa Emiliano Zapata, Morelos, Peña-Mendoza *et al.* (2005) señalan que *Oreochromis niloticus* alcanza la primera talla de maduración a los 15.13 cm (hembras) y a los 15.20 cm (machos) de longitud total. García (2011) para *Oreochromis niloticus*, en el bordo “La Palapa” cita que la talla de primera madurez fue de 17.2 cm para hembras y para machos de 16.8 cm; sin embargo, Sandoval (2021) reporta que *Oreochromis niloticus* alcanza una mayor talla de primera madurez sexual en el bordo La Palapa, Morelos.

Las diferencias que presentaron las tallas entre los diferentes trabajos pueden deberse al efecto de las condiciones ambientales, así como a factores internos de la población, como son la denso-dependencia, disponibilidad de recursos no detectados que, no obstante, deben tener también una cierta influencia en el ciclo reproductivo (Njiru *et al.*, 2006; Kolding, 2006).

Peña-Mendoza *et al.* (2005), citan que los incrementos de la biomasa de fitoplancton también se relacionan con los incrementos del índice gonadosomático debido a que este aumento de la biomasa de fitoplancton puede jugar como una señal ambiental de una temporada favorable para la próxima cría, un mejor crecimiento y una alta supervivencia, ya que existe mayor disponibilidad de alimento

Esta información, no solo brinda aportaciones para la parte biológica de la especie sino también beneficia a la sociedad de pescadores ya que, al obtener este parámetro de índice gonadosomático, mejora la parte económica de la producción de esta especie.

Por lo tanto, la información obtenida en este trabajo es una aproximación al comportamiento biológico de la especie, bajo las condiciones ambientales prevalecientes durante la evaluación del recurso, lo cual es posible cambie posteriormente y así modificar las características biológico-pesqueras y de producción del recurso para la comunidad de Xalostoc.

CONCLUSIONES

- El cuerpo de agua se clasifica como polimíctico cálido continuo con aguas cálidas y presenta buena oxigenación por lo que son condiciones adecuadas para el desarrollo de *Oreochromis Niloticus*.
- Los meses de reproducción se observan en los meses de octubre, mayo y junio, aunque la especie se puede reproducir todo el año.
- La proporción sexual es 2:1, favoreciendo a los machos durante la mayor parte del estudio y la talla de primera madurez sexual es de 18.34 cm para ambos sexos.
- Los organismos de ambos sexos presentan un crecimiento alométrico negativo y buena condición, aunque presenta una pequeña variación debido a la baja de temperatura.
- Las condiciones del sistema son favorables para el uso y aprovechamiento de la actividad pesquera de *Oreochromis niloticus*

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Admassu D. (1996). The breeding season of tilapia, *Oreochromis niloticus* L. in lake Awassa (Ethiopian rift valley). *Hidrobiología*. 337 (1) 77-83.
- Aguilar, L.E.A., (2011). Algunos aspectos reproductivos de la tilapia en el Bordo Amate Amarillo, Morelos. Tesis de Licenciatura FES Zaragoza, UNAM. México. 85 p.
- Anguas V.B., Civera C.R. y Goytortua B.E., (2003). *Efecto de la temperatura y la densidad de cultivo sobre el crecimiento de juveniles de la cabrilla arenera, Paralabrax maculatofasciatus*. México: Universidad Autonoma Metropolitana. *Hidrobiológica*, 13(4), 309-315.
- Anónimo, (2008). Anuario Estadístico de Pesca. CONAPESCA, SAGARPA. 256 p. <http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/> Ultima fecha de consulta, 15/06/2011.
- APHA AWWA y WPCF. (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18ed. American Public Health Association, EE.UU. 1100p.
- Arredondo F.J. L. y M. Tejeda S. (1989). El hueso Faríngeo, una estructura útil para la identificación de especies de la tribu Tilapini (Pisces: Cichlidae) introducida en México. *Ciencia. del Mar y Limnología. UNAM*, 16, 59-68
- Arredondo F.J. L., y Guzmán A.M. (1986). Situación taxonómica actual de la tribu Tilapiini (Pisces: Cichlidae): con énfasis en las especies introducidas en México In Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología (Vol. 2, pp. 555-572).
- Arredondo F.J.L. y Flores N.A. (1992). Características limnológicas de pequeños embalses epicontinentales, su uso y manejo en la acuicultura. *Hidrobiológica*, 3/4: 1-10.
- Arredondo F.J.L. y Lozano G.S., (2003). *La acuicultura en México*. México, D.F.: UAM, Unidad Iztapalapa, División Ciencias Biológicas y de la Salud, Departamento de Hidrobiología, Planta experiemntal de Producción Acuícola. 135p.

- Arredondo, F.J. L. (1986). Breve descripción de los criterios y técnicas para el manejo de la calidad de agua en estanques de piscicultura intensiva. *Secretaría de Pesca. México.*
- Arredondo, F.J.L. y Ponce J.T.P. (1998). Calidad del agua en acuicultura: conceptos y aplicaciones. 222 p.
- Babiker, M. M., y Ibrahim, H. (1979). Studies on the biology of reproduction in the cichlid *Tilapia nilotica* (L.): gonadal maturation and fecundity. *Journal of Fish Biology*, 14(5), 437–448.
- Baltazar, P.M. (2007). La Tilapia en el Perú: acuicultura, mercado, y perspectivas. *Revista Peruana de Biología*, 13(3), 267-273. Recuperado en 04 de noviembre de 2021.
- Barbieri, G., Giamas, M. T. D., Teixeira Filho, A. R., Campos, E. C., y Vermulm jr, h. (2000). Biología populaconal da tilápia, *Oreochromis niloticus*, da represa de Guarapiranga, São Paulo–ii. Dinâmica da reprodução. *Boletim do Instituto de Pesca*, 26(1), 9-13.
- Beltrán Á.R., Sánchez P. J., Valdez, G. L., y Ortega S.A.A. (2010). Edad y crecimiento de la mojarra *Oreochromis aureus* (Pisces: Cichlidae) en la Presa Sanalona, Sinaloa, México. *Revista de biología tropical*, 58(1), 325-338.
- Bolívar, R., Mari, G. y Fitzsimmons, K. (2004). New Dimensions un formed tilapia. Proceedings from the sixth international symposium on tilapia in aquaculture. Creative unlimited. Manila, Filipinas. 339 p.
- Brett, J.R. (1979). Environmental Factors and Growth: 599-675. En: Hoar, W.S., D.J. Randal y J.R. Brett (Ed). “ Fish Physiology”. Vol. VIII. Academic Press, New York.
- Cailliet, G.M. (1993). Fishes A fiel and laboratory manual on their structure, identification and natural history. Wadsworth Publising Company. Belmont, California. Primer Edition. 194 p.
- Cantor A.F. (2007). Manual de producción de Tilapia. Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Puebla. 135 p.
- CESAEM (2019) Boletines del Comité Estatal de Sanidad Acuícola del Estado de Morelos

- Cifuentes, R., González, J., Montoya, G., Jara, A., Ortiz, N., Piedra, P., y 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.
- CONAPESCA (2019). La Conapesca promueve la producción y consumo de tilapia
- Conover, O.D. y Kynard, E.B. (1981). Environmental sex determination: interaction of temperature and genotype in a fish. *Nature* No. 326: 496-498.
- Contreras, F. E. (1994). Manual de técnicas microbiológicas. UNAM-Iztapalapa. Ed. Trillas, México. 149 p.
- Corey M.J.L., Castillo A.R.M., Fabila G.M.A y Zamora D.V.A, (1993). Reproducción de la tilapia en la Laguna “El Rodeo”, Estado de Morelos, México. *Revista Tópicos de Investigación y Posgrado* 1: 16-22.
- Costa, N.J.L., y Carvalho E.D. (2012). Reproduction, food dynamics and exploitation level of *Oreochromis niloticus* (Perciformes: Cichlidae) from artisanal fisheries in Barra Bonita Reservoir, Brazil. *Revista de Biología Tropical*, 60(2), 721-734. Retrieved October 30, 2021.
- Coward, K., Bromage, N. R., Hibbitt, O. y Parrington, J. (2002). Gamete physiology, fertilization and egg activation in teleost fish. *Rev. Fish Biol. Fish.*,12, 33-58.
- Daza, P.V., Ladines P.M.A. y Sanabria. O.A.I. (2005). Reproducción de peces en el trópico. Universidad Nacional de Colombia. 246 p.
- Devlin, R. y Nagahama Y. (2002). Sex determination and differentiation in fish: an overview of genetic physiological, and environmental influences. *Aquaculture*, 208: 191-364.
- El-Sayed, A. K., Mansour G. y Mohammad A. (2003). The Biology of *Oreochromis niloticus* in a Polluted Canal. *Ecotoxicología*. Vol. 12, Issues 5: 405-416.
- Estadístico de Acuicultura y Pesca (2019). Dirección General de Planeación, Programación y Evaluación. México, D.F. 290 p.

- Estrada F. E., Peralta Z. L. y Rivas. M. P. (1982). Manual de técnicas de histología. AGT Editor, S.A. México, 140 p.
- Everhart, W.H. y Youngs W.D., (1981). *Principles of fishery science*. Segunda edición. Cornell University Press. 350 p.
- FAO. (2011). Desarrollo de la acuicultura, enfoque sistémico a la acuicultura. Roma ISSN 1020-5324.
- Froese, R. (2006). Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology* 22:241-253.
- Fryer, G. e Iles T.D. (1972). The Cichlid fishes of the great lakes of Africa. Their Biology and Evolution. Oliver and Boyd, Edinburgh. 641 p.
- García E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Quinta edición. Instituto de Geografía. UNAM. México. 90 p.
- García, G.M.A. (2011). "Reproducción de *Oreochromis niloticus* en el bordo La palapa, Morelos, Méx.". (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, México. Recuperado de <https://repositorio.unam.mx/contenidos/207975> 105p.
- García, M. (2010). Estudio y análisis del pescado tilapia propuesta gastronómica. Universidad tecnologica equinoccial. Quito-Ecuador. 38p.
- Garduño, P. M., y Avelar, E. J. (1996). *Edad y crecimiento de la mojarra (Oreochromis niloticus) en la laguna de Coatetelco, Morelos* (Doctoral dissertation, Tesis profesional. Facultad de estudios superiores Zaragoza. Universidad Nacional Autónoma de México. México DF, México). 71p.
- Gómez M. J. L., Castillo, R. M. A., Fabila, M. J. G. y Zamora, V. A. D. (1993). Reproducción de la tilapia en la laguna El Rodeo, Estado de Morelos, México. *Tópicos de Investigación y Posgrado*, 3(1), 16-22.
- Gómez M.J. L., Peña M.B., Guzmán S.J. L. y Gallardo P.V. (2013). Composición, abundancia del zooplancton y calidad de agua en un microreservorio en el estado de Morelos. *Hidrobiológica* 23 (2):227-240.

- Gómez M.J. L., Peña M.B., Salgado U.I. H. y Guzmán A.M. (2003). Reproductive aspects of *Oreochromis niloticus* (Perciformes: Cichlidae) at Coatetelco lake, Morelos, México. *Revista de Biología Tropical* 51: 221-228.
- Gómez M.J. L., Peña M.B., Salgado U.I.H., y Arredondo F.J. L. (2008). Age and growth of the tilapia, *Oreochromis niloticus* (Perciformes: Cichlidae) from a tropical shallow lake in Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 56(2), 875-884.
- Gómez M.J.L., Cervantes S.A., Salgado U.I., Peña M.B., Alejo P.M. D., Guzmán S.J., Mendoza V.E. y Machuca R.C. (2016). Temas selectos de biología pesquera. *Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM*. 1ra ed. Editorial Torres SA de CV. 337p
- Gómez, M.J.L. (2002). Estudio Limnológico Pesquero del Lago de Coatetelco, Morelos, México. Tesis de Doctorado. Posgrado en Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 181 p.
- González, B.M. (2021). Ciclo reproductivo de *Oreochromis niloticus*, en el bordo La Palapa, Morelos. Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza, UNAM. México. 64 p.
- Granado L.C. (2002). Ecología de Peces. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla España. *Serie Ciencia*, Núm. 45: 354 p.
- Guzmán U. A. (1994). *Parámetros Biológicos de Tilapia (Oreochromis aureus Steindachner, 1864) de la presa Adolfo López Mateos" El Infiernillo" Michoacán–Guerrero, México*, (Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias UNAM. Mexico. 33 p).
- Hernández A. J. S., García C.J. L., Galindo de Santiago M. C. y Loera L. J. (2007). *Microembalses: una alternativa de la limnicultura. En: De la Lanza Espino, G. (compiladora). Las Aguas Interiores de México: Conceptos y Casos*. AGT Editor, S.A. México, D.F., pp. 597-620.
- Imsland, A. K.; Foss, A., Gunnarsson, S., Berntssen, M. H. G., FitzGerald, R., Bonga, S. W., Ham, E., Naevdal, G. y Stefansson, S. O. (2001) The

interaction of temperature and salinity on growth and food conversion in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). *Aquaculture*, 198(3):353-67.

- INAFED. (2010). *Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México*: Ayala Morelos. México.
- INAPESCA. (2003). Instituto Nacional de Pesca de la reunión nacional de tilapia. Primer Foro Internacional de Acuicultura, un encuentro con el mercado.
- INEGI, (2000). Anuario Estadístico del Estado de Morelos. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.
- INEGI, (2007). Anuario Estadístico del Estado de Morelos. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.
- INEGI, (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos
- Jimenez B.M. L. (2006) Age-growth models for tilapia *Oreochromis niloticus* (Peciformes: Cichlidae) of the infiernillo reservoir, Mexico and reproductive behavior. *Rev. Biol. Trop.* 54(2): 577-588.
- Jiménez, B.M.L. (1999). "Análisis de la pesquería de tilapia *Oreochromis* spp. (Pisces: Cichlidae) en la Presa Adolfo Lopez Mateos, Michoacán-Guerrero". (Tesis de Doctorado). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Jones, C. M. (2002). Age and Growth. In Fuiman Lee A., y R. G. Werner (Eds). *Fishery Science: The unique contributions of early life stages*. Blackwell Publishing. Oxford. 326 págs
- Juárez P. R. R. (1987). La acuicultura en México, importancia social y económica. *Desarrollo Pesquero Mexicano 1986-1987*. Secretaría de Pesca. México Pp-219-232
- King M. (2007). *Fisheries biology, assessment and management*. Blackwell Science, London. 341 p.
- Kolding J. (2006). Population dynamics and life-history styles of Nile Tilapia *Oreochromis niloticus*, in Ferguson's Gulf, Lake Turkana. Kenya. *Environmental Biology of Fishes*. 37: 25-46.

- Lagler K. F., Bardach J. E., Miller R. R. y., Passino D. R. M. (1990). Ictiología. AGT Editor, S. A., México. 489 p.
- Lam, T.J. (1983). Environmental influences on gonadal activity in fish: 65-116. En: Hoar W.S., D.J. Handdal y E. M. Donaldson (ed.), Fish Physiology. Vol. IX-A. Academic Press Inc.
- Lambert, Y. y Dutil, J. Food intake and growth of adult Atlantic cod *Gadus morhua* L. reared under different conditions of stocking density, feeding frequency and size-grading. *Aquaculture*, 192(2-4):233-47, 2001.
- Manríquez L.Y., (2005). Edad y crecimiento de *Oreochromis niloticus* por medio de otolitos en el lago de Coatetelco, Morelos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. 111 p
- Maroñas, M. (2006). Crecimiento individual en peces. *Cátedras de Ecopoblaciones*. 9p
- Márquez, J. L. G., Mendoza, B. P., Santiago, J. L. G., Ugarte, I. H. S., Sandoval, A. C., Reyes, C. B., & Plata, M. D. C. A. Determinación de la edad y crecimiento de organismos acuáticos con énfasis en peces.
- Mendie, H., (1985). Estudio Preliminar del índice Gonadosomático de *Tilapia aurea*. *Revista Latinoamericana de Acuicultura* 10: 6-12.
- Morales D. A. (1991). *La tilapia en México: biología, cultivo y pesquerías*. AGT., Editor, S.A., 190 p.
- Morales N. B. (1991). *Determinación del crecimiento de peces óseos en base a la microestructura de los otolitos* (Vol. 322). Food & Agriculture Org. Documento Técnico de Pesca. No. 322. Roma
- Morimoto, P.; Hosokawa, H. y Masumoto, T. (2006) Effects of dietary supplementation with feeding stimulants on yellowtail *Seriola quinqueradiata* (Temminck & Schlegel; Carangidae) protein digestion at low water temperatures. *Aquaculture Res.*, 37(4):366-73.
- Moyle, P.B. y Cech J.J., Jr., (2000). *Fishes. An Introduction to Ichthyology*. Cuarta edición. Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. México. 612 p.

- Muñoz, R.V.A., (2020). Edad y Crecimiento de *Poeciliopsis Gracilis* en el Bordo Amate Amarillo, Morelos. Tesis de Licenciatura FES Zaragoza, UNAM. México. 87 p.
- Mylonas, C. C., Fostier, A. y Zanuy, S. (2010). Broodstock management and hormonal manipulations of reproduction. *Gen. Comp. Endoc.*, 165 (3),516-534.
- Nikolsky, D.V. (1963). The ecology of fishes. Part. II. Academic Press, London. 145-187.
- Njiru, M., J.B. Okeyo O.M. M., Ntiba M.J. y Cowx I.G. (2006). Some biological aspects and life history strategies of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) in Lake Victoria, Kenya. *East African. African Journal Ecol.*, 44. 30-37.
- Oliveira, R.F. y Almada, V.C. (1995).Sexual dimorphism and allometry of external morphology in *Oreochromis mossambicus*. *J. Fish. Biol.* 46: 1055-1064.
- Orozco B.E.A. (2013). Edad y crecimiento de *Oreochromis niloticus* en el bordo "la palapa", Morelos, México. Tesis de licenciatura. FES Zaragoza, UNAM. México.
- Ospina, A.N. y Piferrer F. (2008). Temperature-Dependent sex determination in fish revisited: Prevalence, a single sex ratio response pattern, and possible effects of climate change. *PlosOne* 3(7):e2837.
- Paredes M. A. E. (2013). Aspectos reproductivos de *Oreochromis niloticus* en el bordo Huitchila, Morelos, México. Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza UNAM. México. 98 p.
- Patzner, R. A. (2008). Reproductive strategies of fish. In M. R. Rocha., A. Arukwe y B. G. Kapoor (Eds.), *Fish reproduction* (pp. 311-351). New Hampshire, EE.UU.: Science Publishers.
- Pauly, D. (1984). *Fish population dynamic in tropical Waters: a manual for use with programmable calculators*. International Center for Living Aquatic Resources Management. Manila, Filipinas. 325 p.
- Peña M. B., Gómez M. J.L., Salgado U. I.H. y Ramírez N. D. (2005). Reproductive biology of *Oreochromis niloticus* (Perciformes: Cichlidae) at

Emiliano Zapata dam, Morelos, México. *Revista de Biología Tropical*. 53 (3-4): 515-522.

- Peña M. B., Gómez M.J.L. y García A.G. (2011). Ciclo reproductor e histología de las gónadas de tilapia *Oreochromis niloticus* (Perciformes: Cichlidae). *Ciencia Pesquera* Vol. 19 (2): 23-36
- Peña, M. B. y Domínguez B. R. (1999). The effects of different photoperiods on body growth and hypothalamic monoamine content in juvenile *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1757). *Hidrobiológica*, 9(1): 63-70.
- Pérez, O.G. y Patlani S.J. (2002). Edad y crecimiento de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) de la presa "Emiliano Zapata", Morelos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. 84 p.
- Peterson, M.S., Slack W.T., Brown-Peterson N.J y McDonald J.I.. (2004). Reproduction in nonnative environments: Establishment of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, in coastal Mississippi Watershed. *Copeia*. N° 4: 842-849.
- Ramírez N. D. y Cruz M. C. L. (2002). Aspectos reproductivos de *Oreochromis niloticus* en la presa Emiliano Zapata, Morelos. Tesis de Licenciatura, FES Zaragoza, UNAM. México. 53 p.
- Rodríguez G. H., Hernández LI. A., Villarreal H, Saucedo P, García U. M., Rodríguez J.C. (2006). Gonadal development and biochemical composition of female crayfish *Cherax quadricarinatus* (Decapoda: Parastacidae) in relation to gonadosomatic index at first maturation. *Aquaculture* 254: 637-645.
- Rodríguez G. M. (1992). *Técnicas de evaluación cuantitativa de la madurez gonádica en peces* (No. 04; FOLLETO, 3803.).
- Roldán, P.G. y Restrepo, J.J.R. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. 2° Edición. Universidad de Antioquia, Sevilla. 231 p.
- Saíto, Q.V. M., (2004). Edad y crecimiento por lectura medio de otolitos de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) en la presa Emiliano Zapata, Morelos. Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza, UNAM, México. 87 p.

- Salgado C., L., (2015). Edad y crecimiento de *Lutjanus argentiventris* (Peters, 1869) y *L. inermispeters*, (1869) (Peciformes: *Lutjanidae*) en la costa de Oaxaca. Tesis de Maestría, CICIMAR Instituto Politécnico Nacional, La paz, B.C.C., 61p
- Salgado, U.I.H., Gómez, M.J.L. y Peña, M.B. (2005). Métodos actualizados para análisis de datos biológico–pesqueros., FES Zaragoza – DGAPA, UNAM, (PAPIME IN221403). México, D. F., 240 p.
- Sandoval, C.A.E. (2021). Reproducción de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) en el microembalse La Palapa, en el estado de Morelos, México. Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza, UNAM, México. 96 p.
- Schindler, D.W. (1991). Lakes and Oceans as Functional Wholes : 91-122 In : Barnes RSK. And K.H. Mann (Edited). Fundamentals of Aquatic Ecology. Second Edition, Blackwell Scientific Publ.
- Schreck, C. B. & Moyle, P. B. (1990). Methods for Fish Biology. Maryland, EE. UU.: American Fisheries Society.
- Schulz, R. W., França, L. R., Lareyre, J. J., LeGac, F., Chiarini-Garcia, H., Nobrega, R. H. y Miura, T. (2010). Spermatogenesis in fish. Gen. Comp. Endocr., 165(3), 390-411.
- Shackell, N. L., y Doyle, R. W. (1991). Scale morphology as an index of developmental stability and stress resistance of tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 48(9), 1662-1669.
- Torres Orozco., B. R. (1991). Los peces de México Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza, UNAM, México. AGT Editor, S.A, México. 198 p.
- Tovar, G. A., (2005). Edad y crecimiento de (*Oreochromis niloticus*) por medio de estructuras duras. Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza, UNAM, México. 74 p.
- Trewavas E. (1973). On the cichlid fishes of the genus with proposal of a new genus *Palmeochromis* for *P. congicus*, on the relationship between *Pelatochromis* and *Tilapia* and the recognition of *Sarotherodon* as a distinct genus. Bulletin of the British Museum (Natural History) Zoology 25: 1-26.

- Trewavas E. (1982). Generic grouping of *Tilapiini* used in aquaculture. *Aquaculture*; 27: 79-81
- Tucker, B.; Booth, M.; Allan, G.; Booth, D. y Fielder, S (2006). Effects of photoperiod and feeding frequency on performance of newly weaned Australian snapper *Pagrus auratus*. *Aquaculture*, 258(1-4):514-20.
- Wessels, S. y Hörstgen G. (2007). Selection experiments to increase the proportion of males in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by means of temperature treatment. *Aquaculture*, 272S1: S80–S87.
- Wetzel, R. G. (2001). *Limnology. Lakes and Rivers Ecosystem*. Third edition. Academic Press. 1006 p.
- Wetzel, R.G. (1981). *Limnología*. Ediciones Omega. Barcelona, España. 679 p.
- Wetzel, R.G. y Likens G.E. (2000). *Limnological analyses*. W.B. Saunders Company, Philadelphia, 421 p.
- Wootton, R. J. y Carl, S. (2014). *Reproductive Biology of Teleost Fishes*. In R.J. Wootton y C. Smith (Eds.), *Gametogenesis* (pp. 45-80). Chichester, England: John Wiley & Sons, Ltd.
- Wootton, R. J. y Smith, C. (2014a). *Reproductive Biology of Teleost Fishes*. In R. J. Wootton y C. Smith (Eds.). *Mating systems and sexual selection* (pp 201-249). Chichester, England: John Wiley & Sons, Ltd.
- Wootton, R. J. y Smith, C. (2014b). *Reproductive Biology of Teleost Fishes*. In R. J. Wootton y C. Smith (Eds.), *Endocrinology of reproduction* (pp. 81-126). Chichester, England: John Wiley y Sons, Ltd.
- Wootton, R. J. y Carl, S. (2014). *Reproductive Biology of Teleost Fishes*. In R. J. Wootton y C. Smith (Eds.), *Gametogenesis* (pp. 45-80). Chichester, England: John Wiley y Sons, Ltd.
- Yongo, E., Outa N., Kito K. y Y. Matsushita (2018). Studies on the biology of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in Lake Victoria, Kenya: in light of intense fishing pressure. *African Journal of Aquatic Science*, 43 (2): 195-198.

- Zar, J. H. (1974) Biostatistical analysis. (Department of Biological Sciences. Northern Illinois University, De Kalb, IL) Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall. 620p.
- Zohar, Y. & Mylonas, C. C. (2001). Endocrine manipulations of spawning in cultured fish: from hormones to genes. *Aquaculture*, 197(1-4), 99-136.