

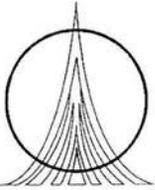


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA

EDAD Y CRECIMIENTO POR LECTURA DE OTOLITOS
DE LA TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) EN LA PRESA
EMILIANO ZAPATA, MORELOS.

T E S I S
PARA OBTENER EL TÍTULO DE :
B I O L O G A
P R E S E N T A :
VERONICA MITSUI SAITO QUEZADA



FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES ZARAGOZA

DIRECTOR: DR. ISAIAS H. SALGADO UGARTE

MEXICO, D.F.

NOVIEMBRE DE 2004



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

DEDICATORIAS

A Dios, a San Judas Tadeo, a la Virgen, por todo lo que han hecho y hacen por mí.

A mi papá Jairo† y mamá Esperanza, por estar siempre y por el apoyo incondicional que de ellos siempre he recibido, así como también por el ejemplo que me han dado de perseverancia, trabajo y por no escatimar en mi educación. Los quiero mucho.

A mi esposo Isaías, por su apoyo y comprensión en todos los proyectos que he tenido a la largo de nuestro matrimonio y por todo lo bello que compartimos y nos hace falta compartir, a nuestras hijas Mila y Mayu por el tiempo que les he quitado por realizarme como profesionalista y por que cuando veo sus caritas se me llena el alma y por que los quiero mucho a los tres.

A mi mamá Diquei, por quererme tanto y compartir conmigo este proyecto.

A mi suegra Myrna y suegro Isaías †, por su ayuda y amistad.

A mis hermanos: Kanako, Kikuko, Yuri, Sachie, Tadzo, Erika y Katsuo, por toda la ayuda incondicional que me han brindado a lo largo de mi vida. "Los quiero mucho".

A mis sobrinos: Raúl, Kanako, Mohamed, Karumi, Teresita, Midori, Yurita, Taro, Masaru, Kaori y al bebé por llegar, por la ternura que me inspiran.

A mi cuñado Raúl, por su apoyo incondicional.

A mi amiga patito, por su amistad y ayuda a lo largo de mi carrera.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, por brindarme la oportunidad de ser parte de ella.

Al Doctor Isaías H. Salgado Ugarte, director del presente trabajo, por el interés, comprensión y asesorías a lo largo de este trabajo.

M. en C. Ernesto Mendoza Vallejo, por sus valiosos comentarios tan acertados durante la revisión de este estudio.

Al Doctor José Luis Gómez Márquez, por su amistad, colaboración y enseñanzas, que fueron muy importantes para llevar a cabo la presente tesis.

A la Doctora Bertha Peña Mendoza, que al igual que al Doctor José Luis, no sólo por su valiosa amistad si no también por su apoyo, ayuda, facilidades y consejos que llevaron al término de este trabajo recepcional, que también es de ellos.

A la Bióloga Eloísa A. Guerra Hernández, por su valiosas observaciones durante la revisión del manuscrito de esta investigación.

Al todo el personal (estudiantes y colaboradores) del laboratorio de Limnología de la FES ZARAGOZA que siempre estuvieron dispuestos a auxiliarme durante todas las etapas de realización de este trabajo.

A todos los Profesores que a lo largo de mi carrera me instruyeron.

Este trabajo recibió apoyo de varios proyectos: PAPIIT IN217596, PAPIME 192031 y EN221403.

CONTENIDO

| | |
|---|-----|
| DEDICATORIAS | ii |
| AGRADECIMIENTOS | iv |
| CONTENIDO | v |
| RESUMEN | vii |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| ANTECEDENTES | 5 |
| DIAGNOSIS DE LA FAMILIA | 7 |
| CLASIFICACIÓN DE <i>Oreochromis niloticus</i> | 8 |
| ZONA DE ESTUDIO | 9 |
| OBJETIVO GENERAL | 12 |
| OBJETIVOS PARTICULARES | 12 |
| MÉTODO | 13 |
| Campo | 13 |
| Laboratorio | 15 |
| Gabinete | 17 |
| RESULTADOS | 20 |
| Material de estudio | 20 |
| Relación longitud patrón - longitud total | 23 |
| Relación peso – longitud | 26 |
| Determinación de edad | 29 |
| Relación longitud patrón – radio del otolito | 29 |
| Validación de la periodicidad de marcas | 38 |
| a) Análisis de bordes | 38 |
| b) Análisis del incremento marginal | 39 |
| Edad y crecimiento | 42 |
| Estimación del crecimiento por retrocálculo | 42 |

| | |
|--|----|
| Crecimiento en peso | 51 |
| Composición por edades | 54 |
| DISCUSIÓN | 56 |
| Material de estudio | 56 |
| Proporción sexual | 56 |
| Relación longitud patrón – longitud total | 57 |
| Relación peso – longitud | 57 |
| Determinación de edad | 59 |
| Relación longitud patrón – radio del otolito | 59 |
| Validación de la periodicidad de marcas | 59 |
| c) Análisis de bordes | 59 |
| d) Análisis del incremento marginal | 59 |
| Edad y crecimiento | 62 |
| Estimación del crecimiento por retrocálculo | 62 |
| Crecimiento en peso | 66 |
| Composición por edades | 67 |
| CONCLUSIONES | 70 |
| RECOMENDACIONES | 72 |
| BIBLIOGRAFÍA | 73 |
| APÉNDICE 1 | 81 |
| APÉNDICE 2 | 82 |

RESUMEN

Se llevaron a cabo muestreos mensuales de enero de 1998 a febrero de 1999 a partir de la captura comercial de *Oreochromis niloticus* en la Presa Emiliano Zapata, Morelos con atarrayas de 6.5 cm de luz de malla. En total se consideraron 444 individuos, de los cuales 147 fueron hembras, 293 machos y 4 fueron de sexo indeterminado con tallas de 8.9 a 18.5 y de 10.4 a 21 cm de longitud patrón para hembras y machos respectivamente. La proporción macho:hembra total fue de dos machos por hembra aunque osciló de 29 machos por hembra hasta casi dos hembras por macho. Se encontró una diferencia significativa entre machos y hembras en la relación longitud total – longitud patrón. Las pendientes mayores a la unidad indicaron un mayor aumento en longitud total por unidad de longitud patrón. La potencia de la relación peso total – longitud patrón indicó un crecimiento alométrico negativo. Los otolitos fueron estructuras duras apropiadas para el estudio del crecimiento de *O. niloticus* (un poco más del 82 % de los especímenes fueron legibles). El análisis de bordes de otolitos para validación de periodicidad de marcas, sugirió la formación de una marca en meses de secas (diciembre a febrero) y otra en meses cálidos de lluvias (mayo y junio). Lo anterior concordó en términos generales con lo obtenido por el análisis del incremento marginal, el cual indicó un periodo de formación de marcas de noviembre a enero (meses secos) y otro menor en julio (mes de la estación lluviosa). Por lo tanto, las marcas periódicas en los otolitos parecen formarse aproximadamente cada seis meses. Las hembras mostraron cinco marcas periódicas (edad estimada de 2.5 años) mientras que en los machos sólo se identificaron cuatro (2 años). Las expresiones para la función de crecimiento longitudinal de von Bertalanffy por métodos lineales tradicionales para hembras y población fueron, respectivamente:

$$L_t = 16.38[1 - \exp\{-0.70(t + 0.24)\}] \text{ y } L_t = 15.88[1 - \exp\{-0.82(t + 0.37)\}].$$

Por regresión no lineal ponderada para hembras y población fueron, respectivamente:

$$L_t = 14.60[1 - \exp\{-0.97(t + 0.13)\}] \text{ y } L_t = 15.65[1 - \exp\{-0.87(t + 0.34)\}].$$

Las expresiones para el crecimiento en peso derivadas por métodos lineales tradicionales para hembras y población fueron, respectivamente:

$$P_t = 154.05[1 - \exp\{-0.70(t + 0.24)\}]^{2.80} \text{ y } P_t = 139.93[1 - \exp\{-0.82(t + 0.37)\}]^{2.77}.$$

Por regresión no lineal ponderada para hembras y población fueron, respectivamente:

$$P_t = 110.10[1 - \exp\{-0.97(t + 0.13)\}]^{2.80} \text{ y } P_t = 134.38[1 - \exp\{-0.87(t + 0.34)\}]^{2.77}.$$

Los resultados obtenidos indican que las tallas pequeñas capturadas condujeron a estimaciones de valores pequeños de L_∞ y a valores elevados de K . Los valores para L_∞ recuperados de FISHBASE para expresiones de crecimiento sin especificar sexo presentan una distribución con sesgo positivo y modas a los 13.64, 38 y 52.08 cm de longitud estándar (=patrón). Los valores de L_∞ de este estudio son algo mayores que la moda principal arriba citada (13.64) valor que parece propio para sistemas de cultivo extensivo. En las capturas predominaron especímenes con dos marcas de crecimiento (de hasta un año de edad). A edades menores los machos predominan y a edades mayores la proporción de hembras en las capturas se incrementa. Con el fin de garantizar un reclutamiento continuo y aumentar la talla y biomasa de la captura se recomienda aumentar la abertura de malla del arte de pesca utilizado por los pescadores de la zona.

INTRODUCCIÓN

La captura de peces sin planeación adecuada, la perturbación del medio ambiente, especialmente sobre la captación del agua y la creciente contaminación, han dado como resultado la merma o incluso el agotamiento de las poblaciones ícticas silvestres. Aunado a esto, considerando además, las características ambientales, los problemas y necesidades del país (Morales, 1991), se puede decir que una de las contribuciones más importantes de la acuicultura es el cultivo de peces o piscicultura, la cual involucra particularmente el control de crecimiento y reproducción de los mismos (Lagler, 1956).

Por eso, el conocimiento de las especies acuáticas que habitan actualmente en nuestros embalses, permite entre otras cosas, proponer estrategias de explotación encaminadas a su conservación y con esto, generar fuentes de proteínas de origen animal para el consumo humano, así como el incrementar las fuentes de trabajo derivadas del establecimiento de pesquerías (Arredondo, 1993).

En México la presa Emiliano Zapata, Morelos es un cuerpo de agua que es aprovechado no únicamente para la agricultura sino también para la acuicultura, donde se realiza de manera extensiva el cultivo de la tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1757) (Gómez-Márquez y Peña-Mendoza, 1995) y se mantiene a través de programas de repoblamiento por parte de la Secretaría de Pesca del Estado. Así se resuelve de alguna manera la demanda de la producción alimenticia para la población local y regional.

Esta presa fue construida por el gobierno del Estado de Morelos en 1969 y 1970, para el aprovechamiento de las aguas de varios arroyos que fluyen al vaso, siendo los más importantes "La Joya", "La Piraña" y "El Grillo" y, de esta manera incorporar al riego 83 hectáreas de cultivo de propiedad ejidal (SARH, 1992).

Entre los aspectos biológicos más importantes que se requieren para conseguir un manejo adecuado de una población de peces está la determinación de la edad y el crecimiento. Estas características son determinantes para la propuesta de tamaños de malla de las redes que garanticen la captura de animales adultos con crecimiento lento y evitar el retirar de la población a los organismos antes de que se reproduzcan.

Existen dos métodos para determinar la edad de los peces: **directos**, que incluyen marcaje y recaptura, colocación de los peces con edad conocidas en cuerpos de aguas experimentales y la lectura e interpretación de marcas de crecimiento en estructuras óseas tales como escamas, otolitos hueso opercular, vértebras espinas radios de aletas y cleitrum, entre otros; e **indirectos**, los cuales se

basan en la distribución de frecuencia de tallas en la población de peces. La lectura de estructuras duras se basa en la formación de marcas periódicas que permiten, mediante su conteo, la asignación de edades a los organismos. Estas marcas periódicas están influenciadas por los cambios estacionales del ambiente (Gómez-Márquez, 1994).

En los climas tropicales donde los peces cíclidos (grupo al que pertenecen las tilapias) se encuentran predominantemente, los cambios estacionales no son muy marcados y el crecimiento de las especies tiende a ser continuo. Asimismo, la reproducción de las especies suele abarcar buena parte del año. Esto implica cierta desventaja en la aplicación de los métodos de análisis de frecuencia de tallas para la determinación de edad, ya que no se definen los grupos de peces con edad semejante por haber nacido en un lapso corto de tiempo una vez al año. Por otra parte, la uniformidad de las condiciones puede resultar en un atenuamiento de las marcas en las estructuras duras. No obstante, éstas pueden ser de utilidad si se define claramente su periodicidad en conexión con factores ambientales o endógenos, aunque no siempre se formen una sola vez al año como ocurre en especies de lugares templados (Weatherley y Gill, 1987; Morales-Nin, 1989).

El estudio las partes duras del cuerpo de los peces (por ejemplo los otolitos), por lo general revela la presencia de anillos depositados como incrementos (a escala diaria, mensual y anual). Estas estructuras proveen un significado de envejecimiento del pez para las especies tropicales (Pilling *et al.*, 2000).

La base fisiológica para la formación de distintas marcas en estructuras calcificadas de las especies tropicales ha sido asociada a factores bióticos, tales como las estaciones regulares variando en temperatura y clima (Karlou-Riga, 2000), fotoperiodo, alimentación, reproducción y periodo de reproducción (Morales-Nin, 1989).

Los otolitos probablemente contienen el mejor registro permanente del crecimiento ya que la reabsorción del hueso no se conoce que ocurra en el otolito y alguna depositación parece ocurrir cada año (Chilton y Beamish, 1982) (sin embargo ver Mugiya y Uchimura, 1989).

La función principal de los otolitos es el equilibrio, además de intervenir en la percepción de ondas sonoras. Existen tres pares de otolitos en los teleósteos y cada uno de ellos difiere en localización, función, tamaño, forma y ultraestructura. Estos pares son los lapilli ó utricular, sagita o sacular y asterisci ó lagenar (Secor *et al.*, 1991).

Los otolitos sagita se localizan dentro del cráneo del pez de manera simétrica bilateral a excepción de algunos peces. El aparato vestibular que contiene a los otolitos, esta dividido en sacos dorsales (parte superior) y sacos ventrales (parte inferior); los otolitos sagita ocupan el vestíbulo sacular de la parte inferior y por lo general son los otolitos más grandes (Secor *et al.*, 1991).

La mojarra tilapia, en México tiene una importancia en biomasa ya que en 1999 se produjeron 70,719 toneladas, lo que la sitúa en el cuarto lugar de producción de las especies acuáticas (SEMARNAP, 2000).

La tilapia se distribuye naturalmente en el Río Yarkon, Tel Aviv, el Nilo, Jebel Marra, la Cuenca del Río Chad, sistema Niger, Río Senegal, Lago Alberto, lago Eduardo, Kivu y en algunas partes del lago Tanganika; en el Lago Tuna (Tsana) y otros lagos de Etiopía, Río Ergino, Lago Turkana (Rodolfo), Río Suguta, Lago Baringio. No se localiza desde la Sierra Leona y Liberia desde Costa de Marfil excepto los tributarios superiores del Níger y Volta. Ausente desde Camerún excepto desde las partes de Camerún de la cuenca del Río Chad y el sistema Benue, ausente desde el oeste del Río Gabón, Río Muní, Zaire y hacia el sur y desde toda la corriente del Río de África en los lagos Victoria y Kioga hasta que fue introducida cerca del año de 1951-1953 (Morales, 1991).

Las investigaciones sobre tilapia, fueron iniciadas en África a principios del siglo pasado (1900), época en que Cunnington preparó un inventario de las aguas continentales africanas, abriendo con ello el camino a la labor de Boulenger, quién en 1915 estableció las características sistemáticas de 96 especies. (Morales, 1991).

Posteriormente en 1927 se despierta el interés por la ecología de este grupo tan interesante de peces. La labor taxonómica ha seguido verificando los resultados anteriores, así como registrando las nuevas especies endémicas. Como resultado de estas investigaciones, ha sido posibles la publicación de una monografía acerca de la biología de la tilapia en 1982 (Morales, 1991).

Además de las instituciones científicas Europeas. (Museos Británico y de París) existen actualmente numerosas estaciones de investigación piscícola en varios países del mundo. Se han celebrado ya varias conferencias sobre piscicultura en África, acerca de estas especies, la primera en Elisabethville, en 1949, (hoy Lubumbashi, República de Zaire), las demás en diferentes países del mundo. A partir de entonces, gran cantidad de trabajos se ha desarrollado sobre el conocimiento de estas especies de los cuales vale la pena mencionar a los realizados por la Dra. Trewavas, excelente investigadora quien ha dedicado su vida al estudio de los cíclidos africanos de 1928 a 1983, en trabajos e taxonomía como asistente del Dr. Regan, quien en realidad fue el primero en hacer una diagnosis genérica de la tilapia en 1920 (Morales, 1991).

Posteriormente en 1938-39 la Dra. Trewavas analiza y describe las especies de ciclidos africanos descubiertas. En 1973, describe dos géneros distintos, basándose en los hábitos reproductivos y alimenticios de estos peces llamados *Tilapia* y *Sarotherodon* (Morales, 1991).

En 1982 la Dra. Trewavas, basándose en los estudios realizados sobre los hábitos reproductivos, así como la incubación bucal, relegado a las hembras, machos y a ambos, decide separar a las tilapias en seis géneros: *Tilapia*, *Tristamella*, *Danakilia*, *Sarotherodon*, *Oreochromis* y *Pelmatochromis*. La Dra. Trewavas realizó una labor excelente en cuanto a taxonomía de ciclidos se refiere, habiéndosele reconocido ampliamente en el ámbito mundial (Morales, 1991).

La tilapia o mojarra africana fue introducida en México el 1º de julio de 1964, con ejemplares procedentes de Auburn, Alabama, E.U.A., los cuales fueron depositados, en la Estación Piscícola de Temascal, Oax. En 1978 se introdujo la *T. nilotica* (= *Oreochromis niloticus*) en el mismo sitio procedente de Panamá. En 1986 nuevamente se hace otra introducción de tilapia roja de la especie *T. nilotica*, procedente de la Universidad de Stirling en Inglaterra, con dos variedades: negra y roja, depositándose en Zacatepec, Mor. (Morales, 1991).

El presente estudio se justifica si se considera que el conocimiento de la edad y el crecimiento de las poblaciones de los peces, aunado al análisis de las capturas y otras características como la mortalidad, es un requisito indispensable para realizar propuestas encaminadas hacia un manejo adecuado sostenible de dichas poblaciones como recursos pesqueros. Aunque existen varios reportes sobre la edad y el crecimiento de *O. niloticus* en cuerpos de agua cercanos (Garduño-Paredes y Avelar-Esquivel, 1996; Pérez-Ortiz y Patlani-Santiago, 2002; Gómez-Márquez, 2002) no existen estudios previos sobre la lectura de otolitos para estimar la edad de los organismos de esta especie en la Presa Emiliano Zapata.

ANTECEDENTES

Fagade (1974), por medio de la lectura de anillos en opérculo, determinó la edad y crecimiento de *Tilapia melanotheron* de la laguna Lagos de Nigeria. Este autor encontró que los anillos leídos se relacionaban con los eventos de reproducción una vez al año de junio a octubre y que los organismos raramente pasaban los cuatro años de edad.

Jaramillo-Salazar y Sánchez-Vázquez (1991) hicieron la evaluación del crecimiento de la carpa (*Cyprinus carpio rubrofusca*) y la tilapia (*Oreochromis urolepis hornorum*) bajo condiciones de policultivo en el bordo de temporal Chavarría, Morelos. Para la tilapia, analizando la frecuencia de tallas y por medio de los métodos de Petersen y de Bhattacharya, estos autores determinaron las constantes de la función de crecimiento de von Bertalanffy (FCVB): $L_{\infty} = 148$ mm, $K = 0.4471$ y $t_0 = -0.3201$.

Ramos-Cruz (1995), presentó resultados sobre reproducción y crecimiento en *O. aureus* en la presa Benito Juárez, Oaxaca, México, reportó que los machos conformaban el 72.2% de la población y la madurez sexual la alcanzaban a los 235 mm de longitud total y los periodos de desove se registraron, de febrero a marzo, junio y julio y octubre. Para las constantes del modelo de von Bertalanffy reportó que para ambos sexos $L_{\infty} = 296$ mm, $K = 0.218$, $t_0 = -0.904$ y $W_{\infty} = 500$ g.

Flores (1994), para *O. niloticus*, determinó el crecimiento con fertilización inorgánica y orgánica en estanques de concreto en la ciudad de México. Las constantes de la función de crecimiento de von Bertalanffy durante el período de estudio fueron $L_{\infty} = 20.17$ cm, $K = 0.2038$, $t_0 = 0.1194$ y $L_{\infty} = 17.5$ cm, $K = 0.2139$, $t_0 = -0.5913$ para estanques con fertilización química y orgánica respectivamente.

Guzmán (1994), basándose en la lectura de anillos en escamas de *O. aureus* con organismos obtenidos de captura comercial de agosto de 1991 a julio de 1992 encontró seis edades. Así determinó la edad de esta especie en la presa "El Infiernillo" Michoacán-Guerrero y reportó las constantes de crecimiento para el modelo de von Bertalanffy: $L_{\infty} = 406.41$ mm, $K = 0.111$ y $t_0 = -1.121$.

Palacios (1995), por tres métodos indirectos (Petersen, Cassie y Bhattacharya), determinó la edad de *O. aureus*, reportando seis clases de tallas para cada sexo (Bhattacharya) en la presa Adolfo López Mateos (El Infiernillo). Encontró que las hembras presentan una K de 0.1309 menor que la de los machos de 0.1724, pero alcanzan una mayor longitud.

Garduño-Paredes y Avelar-Esquivel (1996) estudiaron la edad y el crecimiento de *Oreochromis niloticus* en la Laguna de Coatetelco Morelos mediante el análisis de la frecuencia de tallas y la lectura de escamas y opérculos. Encontraron que las constantes de la función de crecimiento de von Bertalanffy por frecuencia de tallas ($L_{\infty} = 27.81$, $K = .0665$ y $t_0 = -0.5225$) y por escamas ($L_{\infty} = 27.76$, $K = 0.0727$ y $t_0 = -0.5070$) fueron similares, y que las estimaciones por hueso opercular ($L_{\infty} = 24.40$, $K = 0.0560$ y $t_0 = -1.3574$) resultaron en crecimientos menores (longitudes en cm).

Santiago-López y Jardón-Olvera (1997) llevaron a cabo un estudio biológico pesquero de cuatro especies de cíclidos en la presa “Cerro de Oro”, Oaxaca. La edad y el crecimiento fueron estimados a partir de la lectura de escamas y en relación a *O. niloticus* encontraron que las constantes de la FCVB fueron: $L_{\infty} = 42.02$ cm, $K = 0.1497$ y $t_0 = -0.1044$.

Recientemente, en su informe recepcional, Pérez-Ortiz y Patlani-Santiago (2002) reportan estimaciones sobre la edad y crecimiento de *O. niloticus* en la Presa “Emiliano Zapata” basadas en la lectura de escamas. Estos autores reportan periodicidad semestral para formación de anillos coincidente con eventos reproductivos (en diciembre y julio). Las medidas correspondientes a los cinco anillos fueron utilizadas para estimar las constantes de la función de crecimiento de von Bertalanffy por medio de métodos tradicionales de linearización.

Como ejemplos de estudios más detallados sobre el crecimiento de estos cíclidos y sus otolitos pueden citarse a Tanaka *et al.* (1981) quienes reportan que para juveniles de *Tilapia nilotica* los incrementos diarios de otolitos muestran un ritmo de crecimiento bajo fotoperiodo de 24 horas (12 luz, 12 oscuridad) que tarda 6 días en recuperarse cuando se invierte. Cambios menores en la duración de luz-oscuridad o en las horas de alimentación no afectaron la formación de incrementos diarios. Zhang y Runham (1992a, 1992b y 1992c) estudiaron en detalle la microestructura de los otolitos de *O. niloticus*, encontrando que se forma una marca al eclosionar, un incremento cada día (zona discontinua en oscuridad y zona de incremento con luz) e influencia de la alimentación y temperatura en la formación de los incrementos diarios. Panfili y Tomás (2000) validaron la estimación de la edad y la longitud retro-calculada a partir de microestructuras de *Sarotherodon melanotheron* y *O. niloticus*. Estos autores confirmaron que en ambas especies, los microincrementos tuvieron una periodicidad de un día y que el retro-cálculo sobreestima la longitud cuando el crecimiento de individuos y otolitos no está acoplado.

DIAGNOSIS DE LA FAMILIA

La especie estudiada en la presente investigación, *Oreochromis niloticus*, pertenece a la familia Cichlidae. Esta es una gran familia de peces nativos de los ríos de África, América Central y del Sur, México, la porción sur-occidental de los E.U.A. y con un género (*Etilapia*) que se encuentra en Asia. Los cíclidos son peces de acuario muy populares debido a su comportamiento reproductivo y a sus brillantes colores (Eddy y Underhill, 1984; Axelrod y Schultz, 1990). La mayoría de las especies son de agua dulce y unas pocas viven en aguas salobres y actualmente se reconocen cerca de 680 especies (Page y Burr, 1991).

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 boca protráctil generalmente ancha, a menudo bordeada por labios gruesos; la mandíbula presenta dientes cónicos y en algunas ocasiones incisivos. Pueden o no presentar un puente carnoso (freno) que se encuentra en el maxilar inferior, en la parte media, debajo del labio. Presentan membranas branquiales unidas por cinco o seis radios branquiostegos y un número variable de branquispinas, según las diferentes especies. La parte anterior de la aleta dorsal y anal es corta siempre, y consta de varias espinas y la parte terminal de radios suaves, que en los machos suelen estar fuertemente pigmentados. La aleta caudal está redondeada, trunca o más raramente escotada.

La línea lateral en los cíclidos está interrumpida y se presenta generalmente dividida en dos partes; la porción superior se extiende desde el opérculo hasta los últimos radios de la aleta dorsal, mientras que la porción inferior, aparece varias escamas por debajo de donde termina la línea lateral superior hasta el final de la aleta caudal. Presenta escamas tipo cicloideo. El número de vértebras aumenta con la edad y puede ser de 8 a 40 (Morales, 1991).

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 ó 12 cm; esta precocidad se da en condiciones de sobre población, puede acarrear enanismo. Existen herbívoras, zooplánctófagas y omnívoras (Torres-Orozco, 1991).

CLASIFICACIÓN DE *Oreochromis niloticus*

La especie objeto del presente estudio (Figura 1) se clasifica de acuerdo a la clasificación propuesta por Berg y modificada por Trewavas (1983) para las tilapias existentes en México, quedando situada de la siguiente manera:

PHYLUM: CHORDATA

SUBPHYLUM: VERTEBRATA

SUPERCLASE: GNATHOSTOMATA

SERIE: PISCES

CLASE: ACTINOPTERYGII

ORDEN: PERCIFORMES

SUBORDEN: PERCOIDEI

FAMILIA: CICHLIDAE

GENERO: *Oreochromis*

ESPECIE: *O. niloticus*

(Morales, 1991).

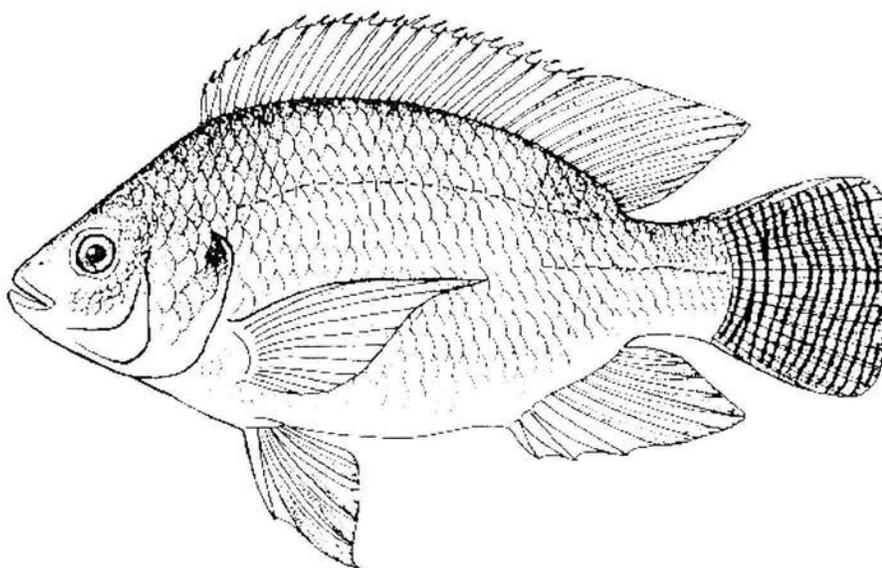


Figura 1. Dibujo de *Oreochromis niloticus* tomado de Fishbase, <http://www.fishbase.org>, (Froese y Pauly, 2001)

ZONA DE ESTUDIO

La presa Emiliano Zapata se encuentra localizada en el ejido de Tilzapotla, perteneciente al municipio del Puente de Ixtla, en el extremo suroeste del estado de Morelos, situada entre los 18°30'00" latitud norte y 99°16'34" longitud oeste a una altitud de 899 msnm. (Figura 2). Tiene una cortina de tipo gravedad de sección semitrapezoidal con una capacidad de almacenamiento de 1,560,000 m³, la capacidad de azolve de 10,000 m³ y capacidad útil para riego de 1550 000 m³. El vaso tiene una pendiente media aproximada de 0.018 m (Anónimo, 1981).

Clima

El clima de la región de acuerdo con Köppen modificado por García (1981) es *Aw₀'w(i)g*, es decir, cálido subhúmedo con cociente Precipitación/Temperatura < 43.2, porcentaje de lluvia invernal menor a 5, con canícula, poca oscilación térmica (entre 5 y 7) y marcha de temperaturas tipo Ganges (temperatura mayor del año antes del solsticio de verano). La precipitación media anual es de 923 mm y la temperatura media anual es de 25.8 °C. La precipitación máxima se registra en junio (206.1 mm), disminuyendo en julio (189 mm) y agosto durante la canícula (176.5) y se incrementa nuevamente en septiembre (187.6). Las mínimas precipitaciones (temporada seca) ocurren en febrero (0.5 mm) y marzo (0.3 mm). Las temperaturas más altas se registran en abril y mayo (29.1 y 28.9 °C respectivamente) y las más bajas en diciembre y enero (23.2 °C) (datos de la estación Tilzapotla con registros de 18 años y tomados de García, 1981; Apéndice 1).

Geología

El vaso está circundado desde el lado poniente hasta el sureste por formación de rocas sedimentarias que han originado suelos consistentes de areniscas y conglomerados. Desde el extremo noroeste hacia el sureste se extienden formaciones de rocas ígneas extrusivas ácidas, pertenecientes a la edad Cenozoica del periodo Cuaternario.

Suelo

El tipo de suelo que constituye el vaso es de tipo aluvial, la unidad de suelo que se encuentra alrededor de la presa es Feozem háplico de textura media y Regosol eútrico, siendo sus principales usos: la agricultura temporal, permanentemente anual, paltizal inducido y potrero.

Vegetación

La vegetación circundante puede clasificarse como selva baja subcaducifolia, y las plantas que se presentan en la zona pertenece a *Bursera* sp., *Cassia* sp., *Ipomea* sp., *Aristida* sp.- *Stevia* sp., *Sporobolus* sp., *Leucaena* sp., y también matorrales de *Opuntia* sp. entre otras.

Hidrología

La presa tiene como principales afluentes a los arroyos El Grillo, La Piraña, La Joya y el Ranchito.

Desde un punto de vista ecológico (trófico) la presa puede clasificarse como un sistema eutrófico con tendencia a la hipertrofia, ya que de acuerdo a Dorantes-Gómez y Zavala-Montero (2003), presenta características eutróficas durante la temporada de secas y se hace hipertrófico durante las lluvias.

La información de este apartado se obtuvo de diversas fuentes: INEGI (1998), Anónimo (1981), González-Ramírez y López-García (1997), Dorantes-Gómez y Zavala-Montero (2003).

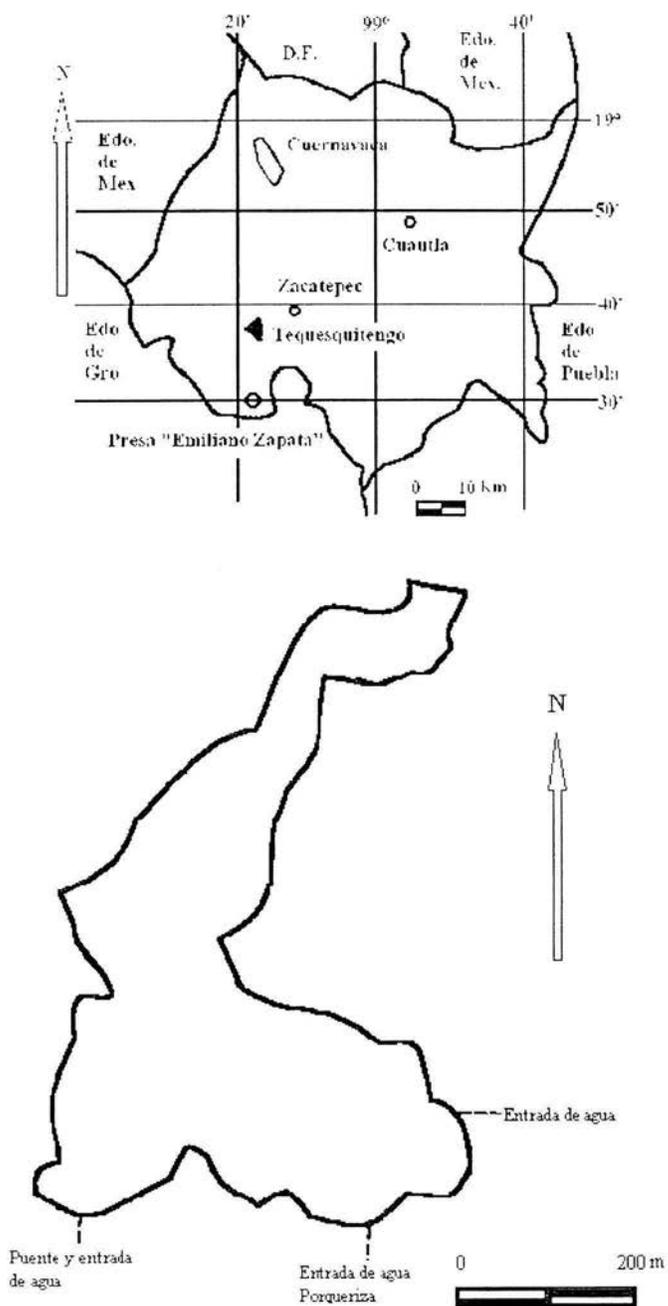


Figura 2. Ubicación de la zona de estudio y Mapa de la Presa "Emiliano Zapata" (Adaptado de González-Ramírez y López-García, 1997)

OBJETIVO GENERAL

Estimación de la edad por medio de la lectura de otolitos y de la función de crecimiento de von Bertalanffy de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) en la presa Emiliano Zapata, Mor.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Obtener la relación peso-longitud para conocer el tipo de crecimiento (isométrico, alométrico) de la especie.
- Obtener las estructuras óseas para estimación de edad (otolitos sagita).
- Medir el peso y la longitud de los otolitos para el establecimiento de la relación cuerpo-otolito.
- Preparar (pulir) a los otolitos y leer los anillos de crecimiento para estimación de la edad.
- Estimar las longitudes a cada edad por medio de la relación cuerpo-otolito y retrocálculo.
- Estimar la función de crecimiento de von Bertalanffy y compararla por sexos.
- Analizar la formación de los anillos en relación con algunas condiciones ambientales del embalse.

MÉTODO

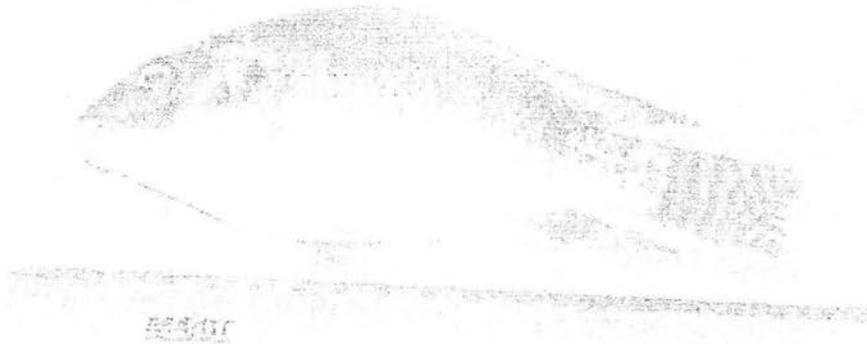
Campo

1.- Colecta

Los especímenes se obtuvieron de la captura comercial efectuada por los lugareños, la cual se realiza con atarraya de 6.5 cm luz de malla. La colecta de organismos se llevó a cabo mensualmente de enero de 1998 a febrero de 1999.

2.- Biometría de especímenes

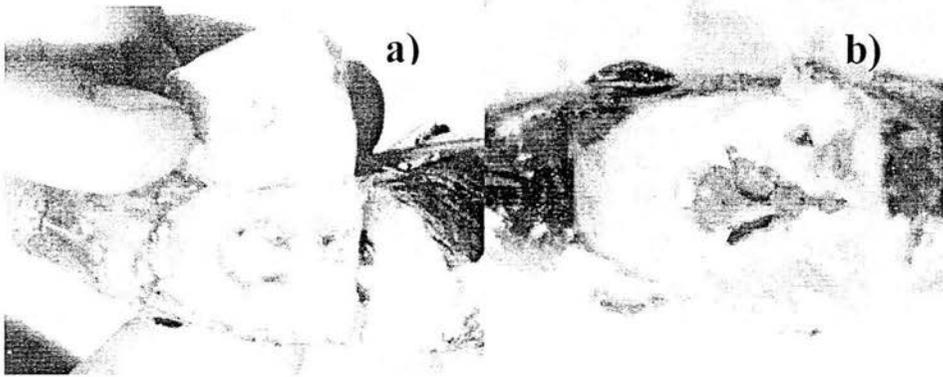
Una muestra de aproximadamente 100 organismos de la captura comercial fue medida y sexada. Posteriormente se obtuvo otra muestra de 30 organismos, los cuales fueron procesados en mayor detalle: se midieron (longitud total, longitud patrón y altura en $\text{cm} \pm 0.1$) se pesaron (balanza Ohaus Triple Beam ± 0.1 g) y se les determinó el sexo. A estos organismos se les extrajeron las vísceras, las cuales fueron separadas (gónadas, hígado y tracto digestivo), pesadas (balanza digital con precisión de 0.1 g) y fijadas (formol 10 %) para realizar estudios posteriores.



Fotografía 1. Medición de especímenes.

3.-Extracción de los otolitos

Para extraer los otolitos de la colecta adicional de 30 individuos se hizo la disección de la cabeza de los peces. Para esto, se hacen dos cortes, uno en dirección dorso-ventral a la altura del borde posterior de los opérculos y hasta la altura de los ojos y otro en dirección antero-posterior desde arriba de los ojos hasta el corte anterior, el cual corta la parte superior del cráneo, dejando expuesto el cerebro (Fotografía 2a). Se quita la masa encefálica para descubrir el oído interno y las cápsulas que se encuentran en el post-encéfalo inmediatamente por delante de la articulación de la primera vértebra con el cráneo (Fotografía 2b), quedando una a cada lado del cordón nervioso (Escoto, 1988). Con cuidado se procedió a sacar los otolitos, desprendiéndolos de la membrana transparente (sáculo) que los envuelve, así como la materia orgánica que los acompaña; se enjuagaron, se secaron con papel absorbente, se almacenaron en frascos de plástico y se etiquetaron para su análisis posterior en laboratorio.



Fotografía 2. a) Corte de la cabeza de un espécimen exponiendo el cerebro y b) corte con el cerebro removido para poder observar los otolitos (señalados por las flechas).

Laboratorio

Los otolitos se limpiaron y secaron durante 24 horas en una estufa Riossa a 60 °C, para después pesarlos en una balanza analítica Bosch S2000. Además se los tomaron las siguientes medidas (microscopio estereoscópico con un ocular micrométrico marca Nikkon):

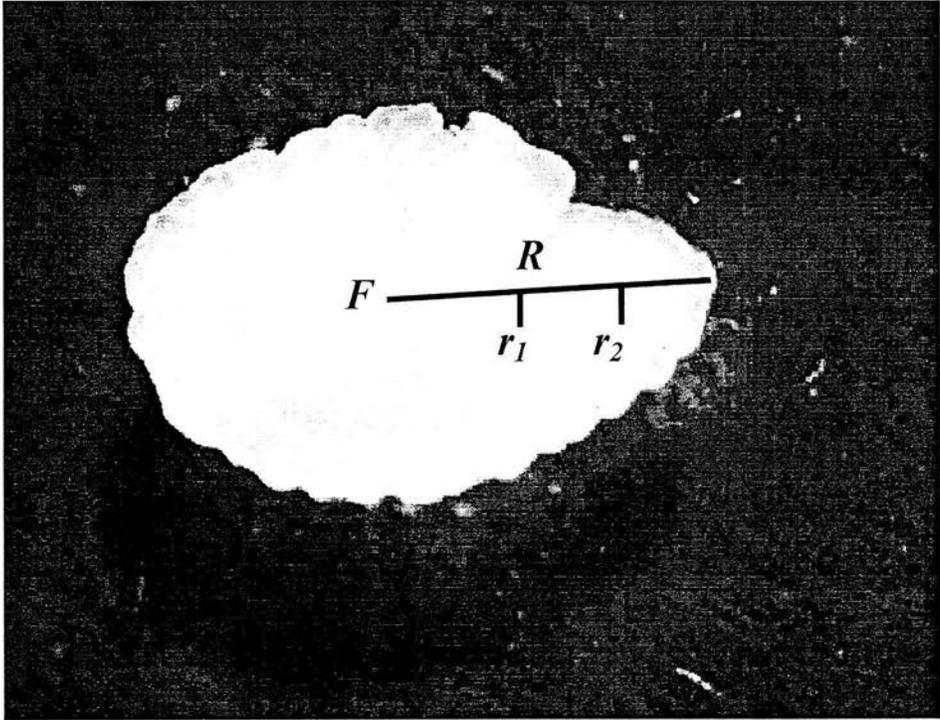
Largo.- distancia desde el extremo anterior del rostro hasta el borde del margen posterior.

Ancho.- distancia entre el margen dorsal y el margen ventral.

Un análisis preliminar mostró que no había diferencias significativas en tamaño y peso de otolitos derecho e izquierdo. Considerando lo anterior y para la lectura de los anillos, se eligió el otolito derecho y solamente en caso de su rotura o cristalización se utilizó el otolito izquierdo.

El otolito se talló ligeramente con el dedo presionando en un ladrillo abrasivo, con inspecciones en microscopio hasta llegar al nivel apropiado (esclarecimiento de marcas periódicas). Debido a la forma curva y al grosor de los otolitos pulidos, no fue posible colocarlos sobre un porta objetos de acuerdo a la recomendación de Brothers (1987), sino que se almacenaron en bolsas plásticas debidamente rotuladas. Los otolitos preparados debidamente fueron sumergidos en una caja petri con agua (índice de refracción semejante al de las zonas hialinas de los otolitos) con el lado cóncavo hacia arriba y observados con luz reflejada sobre un fondo oscuro. De esta forma las zonas hialinas se distinguían como oscuras de las opacas blanquecinas. El radio total (a la captura) R y los radios a cada uno de los anillos r_i se midieron a partir del foco (núcleo) en dirección al extremo anterior del otolito (Fotografía 3).

Para validar el tiempo de formación de los anillos se registró en cada medida, el tipo de margen (opaco o translúcido). Como un criterio de validación adicional se midió el incremento marginal (Casselman, 1987). Siguiendo las sugerencias de Hyndes, *et al.* (1992) y de este incremento se consideró como la distancia entre el borde externo de la última zona translúcida (hialina) y el margen del otolito. Este valor se expresó de dos formas: a) como una proporción de la distancia entre el foco y el borde externo de la zona translúcida cuando sólo una sola zona translúcida estaba presente y b) como la proporción de la distancia entre los bordes externos de las dos zonas translúcidas más exteriores cuando dos ó más zonas translúcidas estaban presentes. Esta división del incremento marginal entre el largo de la última banda de crecimiento ha sido denominado *razón de incremento marginal* Conrath, *et al.* (2002)



Fotografía 3. Medición de otolitos: F = foco del otolito, R = radio total (a la captura), r_1 y r_2 radios de los anillos respectivos. La razón de incremento marginal se calculó como $(F - r_2) / (r_2 - r_1)$.

Gabinete

El número de machos y hembras fue considerado para calcular la proporción sexual. Esta proporción fue sometida a una prueba de bondad de ajuste de χ^2 ($\alpha= 0.05$), contra una distribución uniforme (proporción 1:1) con la corrección de Yates (Marques de Cantú, 2004).

En la estimación de la relación peso-longitud se aplicó la siguiente formula:

$$P=aL^b$$

Donde:

P = Peso total (g)

L = Longitud patrón (cm)

a y b = constantes

Para analizar esta relación se aplican logaritmos, y así la ecuación se transforma en:

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

Esta expresión lineal puede someterse a un análisis de regresión lineal simple por el método de mínimos cuadrados (Marques de Cantú, 1991) para obtener los valores de las constantes a y b . Cuando $b = 3$ se tiene un crecimiento isométrico, mientras que si es diferente de 3 el crecimiento es alométrico, negativo si $b < 3$, positivo si $b > 3$. (Ricker, 1975). Para probar estadísticamente la igualdad de las pendientes estimadas con el valor de tres se consideraron las pruebas correspondientes de la regresión con el estadígrafo t de Student ($\alpha= 0.05$).

El análisis de la frecuencia de tallas se llevó a cabo por medio de histogramas suavizados ó estimadores de densidad por kernel (EDKs). Los EDKs son estimadores no paramétricos de la frecuencia que resuelven los problemas de punto de origen y discontinuidad presentados por los histogramas tradicionales (Chambers, *et al.*; Silverman, 1986; Härdle, 1991; Scott, 1992; Salgado-Ugarte, *et al.*, 1993). Para las estimaciones se utilizó el ancho de banda óptimo propuesto por Silverman (1986) para kernel gaussiano y los programas para el paquete estadístico Stata (StataCorp, 2001) escritos por Salgado-Ugarte, 1993, 1995a, 1995b y 1997). Detalles de estos estimadores y sobre la fórmula de amplitud de banda óptima se encuentran en Salgado-Ugarte (2002).

Para el retro-cálculo se siguieron las recomendaciones de Francis (1990) y Ricker (1992). Se calculó la regresión geométrica media (GMR) de la longitud patrón a la captura con el radio del otolito. Las longitudes retro-calculadas para cada edad se derivaron de la siguiente fórmula (Fraser, 1916 y Lee, 1920 citados en Bagenal y Tesch, 1978; Ricker, 1992):

$$L_i = \left(\frac{L_c - b}{O_c} (O_i) \right) + b$$

Donde L_i = estimación de la longitud a la edad i

L_c = longitud a la captura (cm)

O_c = radio del otolito a la captura (mm)

O_i = radio del otolito a la edad i (mm)

b = la intersección de la GMR calculada con el procedimiento de Ricker.

Por otra parte, también se usó la fórmula recomendada por Francis (1990) propuesta originalmente por Whitney y Carlander (1956), (Salgado-Ugarte, 1995).

$$L_i = [g(S_i)/g(S_c)]L_c$$

Donde:

L_i = Longitud retrocalculada para la edad i (cm)

g = función de la longitud del cuerpo con el radio del otolito

S_i = es el radio a la edad i (mm)

S_c = largo del otolito a la captura (mm)

L_c = longitud del pez a la captura (cm)

El crecimiento se expresó por medio de la función de crecimiento de von Bertalanffy (1938), cuya expresión es (Ricker, 1975):

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

La ecuación ponderal es:

$$P = P_{\infty} (1 - e^{-K(t-t_0)})^b$$

Donde:

L_{∞} = Longitud asintótico del pez (longitud promedio máxima para la especie).

P_{∞} = Peso asintótico del pez (peso promedio máximo para la especie).

K = Parámetro de curvatura (determina que tan rápido se alcanza el valor de L_{∞}).

t = Edad.

t_0 = Tiempo teórico de inicio de crecimiento cuando $L_t = 0$ y $W_t = 0$

b = Exponente de la relación potencial de peso-longitud.

L_{∞} , P_{∞} , k y t_0 se calcularon por los métodos tradicionales de linearización, Ford (1933)-Walford (1946), Gulland (1969) y Beverton y Holt (1957) de acuerdo a lo indicado por diferentes autores (Gómez-Márquez, 1994; Gulland, 1971; Salgado-Ugarte, 1985; Sparre y Venema, 1992; King, 1995; Salgado-Ugarte *et al.* 2000). Asimismo, se empleó una rutina de regresión no lineal ponderada para obtener, en un solo paso, las constantes de la FCVB y todo el conjunto de valores estadísticos asociados (Salgado-Ugarte *et al.* 2000).

Las estimaciones de los parámetros de la FCVB fueron comparadas con la información contenida en la base de datos FISHBASE (Froese y Pauly, 2001). Los valores reportados en FISHBASE fueron analizados en su distribución por medio de EDKs con amplitud óptima de Silverman y función ponderal (kernel) gaussiana.

RESULTADOS

Material de estudio

En el cuadro 1 se presenta un resumen de los organismos considerados clasificados por fecha de muestreo y por sexo. En total se consideraron 444 individuos, de los cuales 147 fueron hembras, 293 machos y sólo 4 fueron indeterminados. Los tamaños variaron de 8.9 a 18.5 y de 10.4 a 21 cm de longitud patrón para hembras y machos respectivamente. En general, los machos fueron más abundantes que las hembras. La proporción macho:hembra total fue de casi dos machos por hembra aunque pudo variar de 29 machos por hembra (octubre de 1998) hasta unas dos hembras por macho en enero de 1998 (si bien este último valor no fue estadísticamente significativo) (Cuadro 2).

Cuadro 1. Número de individuos por sexo y fecha de colecta. Se incluye la proporción sexual y su significancia estadística (χ^2 con corrección de Yates).

| Fecha de colecta | Sexo | | | | Proporción Macho:Hembra | χ^2 (Yates) | P |
|------------------|-------|----------------|---------|--------|-------------------------|------------------|----|
| | Total | Indeterminados | Hembras | Machos | | | |
| 10/ENE/98 | 28 | 0 | 18 | 10 | 1.00 : 1.80 | 1.75 | Ns |
| 14/FEB/98 | 30 | 0 | 19 | 11 | 1.00 : 1.73 | 1.63 | Ns |
| 14/MAR/98 | 30 | 1 | 16 | 13 | 1.00 : 1.23 | 0.14 | Ns |
| 18/ABR/98 | 30 | 0 | 10 | 20 | 2.00 : 1.00 | 3.33 | Ns |
| 23/MAY/98 | 30 | 0 | 19 | 11 | 1.00 : 1.73 | 1.63 | Ns |
| 12/JUN/98 | 30 | 0 | 17 | 13 | 1.00 : 1.31 | 0.30 | Ns |
| 10/JUL/98 | 30 | 0 | 6 | 24 | 4.00 : 1.00 | 9.63 | S |
| 13/AGO/98 | 30 | 1 | 2 | 27 | 13.50 : 1.00 | 19.86 | S |
| 18/SEP/98 | 49 | 1 | 5 | 43 | 8.60 : 1.00 | 28.52 | S |
| 17/OCT/98 | 30 | 0 | 1 | 29 | 29.00 : 1.00 | 24.3 | S |
| 14/NOV/98 | 30 | 0 | 6 | 24 | 4.00 : 1.00 | 9.63 | S |
| 11/DIC/98 | 27 | 0 | 5 | 22 | 4.40 : 1.00 | 9.48 | S |
| 16/ENE/99 | 30 | 0 | 8 | 22 | 2.75 : 1.00 | 5.63 | S |
| 16/FEB/99 | 40 | 1 | 15 | 24 | 1.60 : 1.00 | 1.64 | Ns |
| Total | 444 | 4 | 147 | 293 | 1.99 : 1.00 | 47.78 | S |

Cuadro 2. Resumen estadístico de longitud patrón (cm) por sexo

| Sexo | No. de individuos | Media | Desviación estándar | Mínimo | Máximo |
|----------------|-------------------|-------|---------------------|--------|--------|
| Hembras | 147 | 13.53 | 1.706 | 8.9 | 18.5 |
| Machos | 293 | 13.04 | 1.560 | 10.4 | 21.0 |
| Indeterminados | 4 | 10.63 | 2.361 | 7.2 | 12.6 |
| Total | 444 | 13.18 | 1.650 | 7.2 | 21.0 |

Una mejor vista de la distribución de tamaños de los individuos capturados se presenta en las Figuras 3 y 4 que muestran los estimadores de densidad por kernel (EDKs) ó histogramas suavizados utilizando amplitudes de banda óptimos (Salgado-Ugarte, *et al.* 1993; 1995a y 1995b).

Para las hembras puede observarse una moda principal a los 13 cm y la indicación de otra menor a los 16 cm de *LP*. En los machos se tiene una moda principal a los 12 cm y otra originada por lo que parece ser un caso extraordinario a los 21 cm de *LP* (valor máximo para los machos de 21 cm).

La Figura 5 muestra el EDK para el total de individuos capturados, el cual muestra una distribución con sesgo positivo con una moda principal a los 12 cm y otras que marcan los valores mínimo (7) y máximo (21); existen “hombros” que sugieren la presencia de grupos de organismos a los 14 y 15 cm de *LP*.

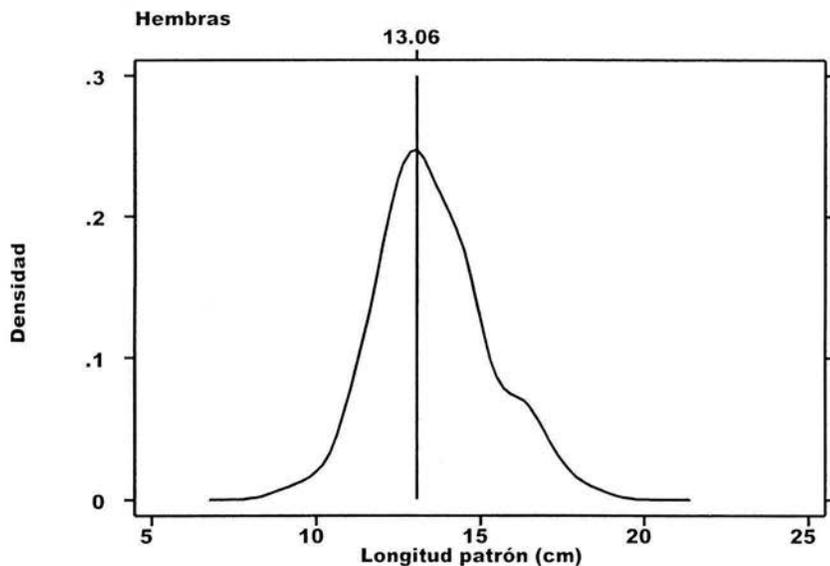


Figura 3. Estimador de densidad por kernel con banda óptima de Silverman $h = 0.51$ para hembras de *Oreochromis niloticus*. La línea vertical indica la posición de la moda de la distribución.

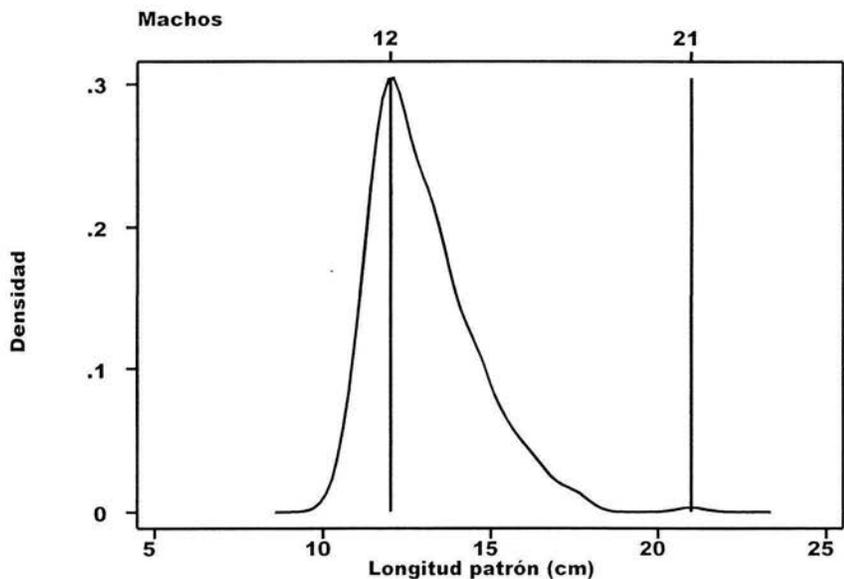


Figura 4. Estimador de densidad por kernel con banda óptima de Silverman $h = 0.42$ para machos de *Oreochromis niloticus*. Las líneas verticales indican la posición de las modas de la distribución.

Relación longitud patrón – longitud total

Con fines comparativos y para conversión entre una medida y la otra, se incluye la relación entre las longitudes tomadas a los especímenes. De esta forma es posible realizar comparaciones entre los tamaños reportados en el presente estudio con otros sobre la misma especie o similares. Un análisis de covarianza mostró que existieron diferencias entre machos y hembras ($F_{2,400} = 2.35, P < 0.1$), por lo que se consideró conveniente especificar las relaciones por sexo.

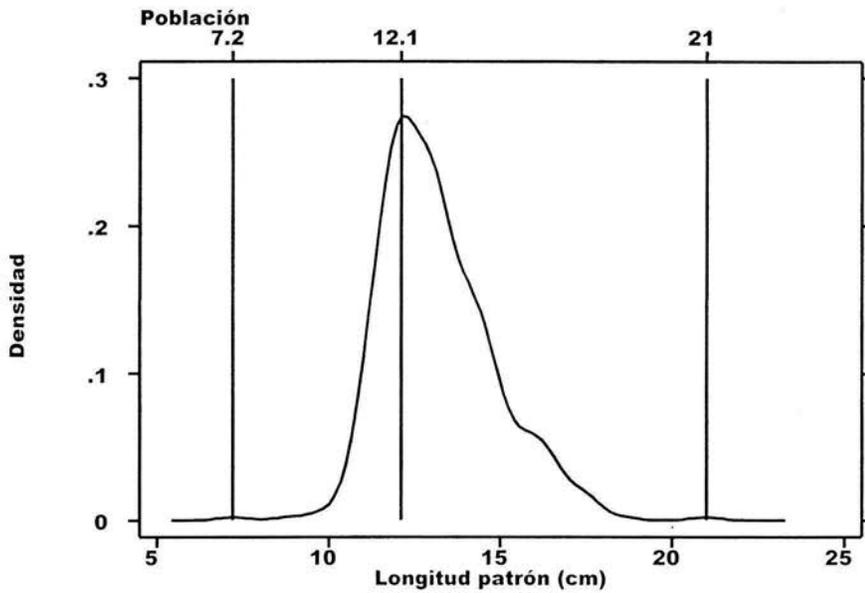


Figura 5. Estimador de densidad por kernel con banda óptima de Silverman $h = 0.41$ la población de *Oreochromis niloticus*. Las líneas verticales indican la posición de las modas de la distribución.

Cuadro 3. Parámetros de las regresiones de longitud total – longitud patrón por sexo y sus valores estadísticos (valores ajustados de r^2)

| Sexo | Coefficiente | Error estándar | Valor de t | Prob. > $ t $ | Intervalo de confianza del 95 % | |
|--------------------------------------|--------------|----------------|--------------|---------------|---------------------------------|--------|
| Hembras; $N = 132$ $r^2 = 0.97$ | | | | | | |
| <i>B</i> | 1.2077 | 0.0173 | 69.83 | 0.000 | 1.1735 | 1.2419 |
| <i>A</i> | 0.8731 | 0.2349 | 3.72 | 0.000 | 0.4084 | 1.3378 |
| Machos; $N = 269$ $r^2 = 0.94$ | | | | | | |
| <i>B</i> | 1.2265 | 0.0182 | 67.46 | 0.000 | 1.1907 | 1.2623 |
| <i>A</i> | 0.7174 | 0.2341 | 3.06 | 0.002 | 0.2565 | 1.1782 |
| Población; $N = 404$ $r^2 = 0.96$ | | | | | | |
| <i>b</i> | 1.2119 | 0.0126 | 96.31 | 0.000 | 1.1872 | 1.2367 |
| <i>a</i> | 0.8754 | 0.1649 | 5.31 | 0.000 | 0.5513 | 1.1995 |

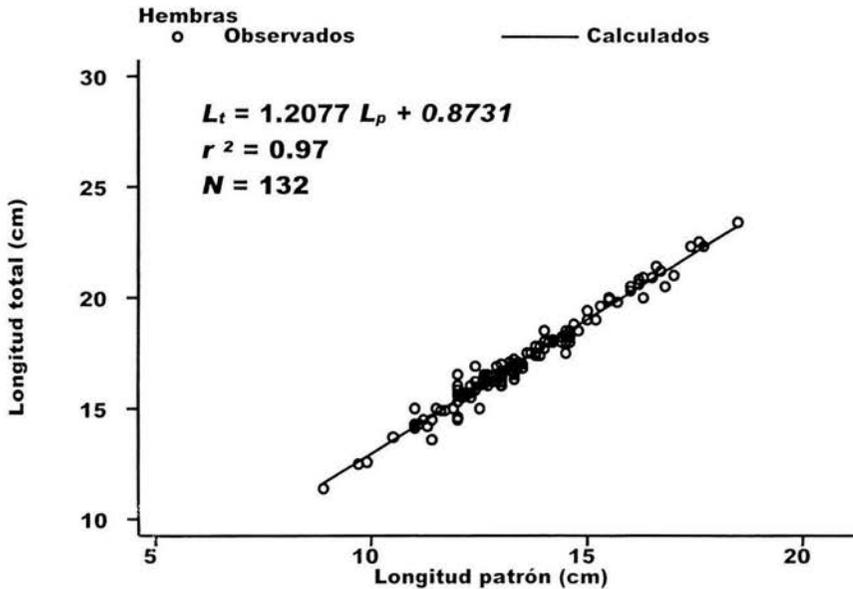


Figura 6. Regresión longitud total – longitud patrón para las hembras de *Oreochromis niloticus*

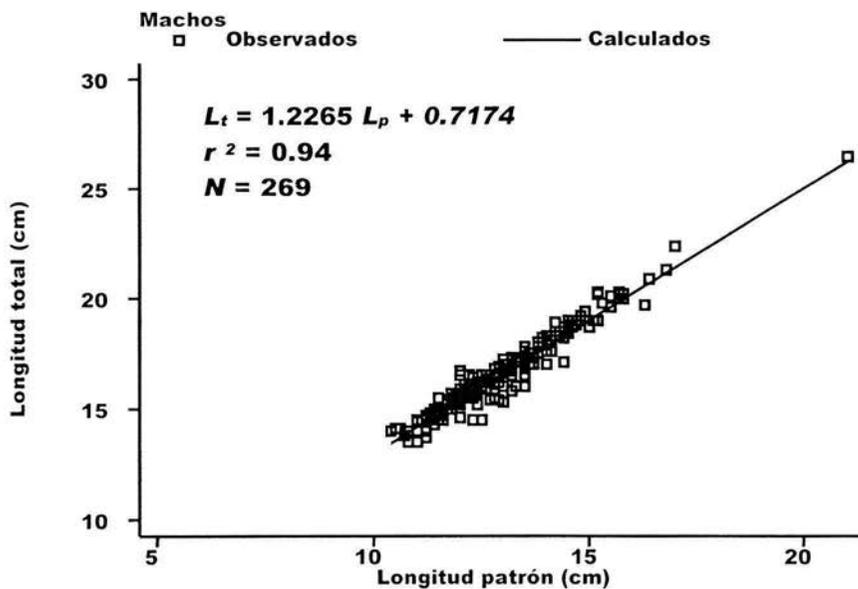


Figura 7. Regresión longitud total – longitud patrón para los machos de *Oreochromis niloticus*

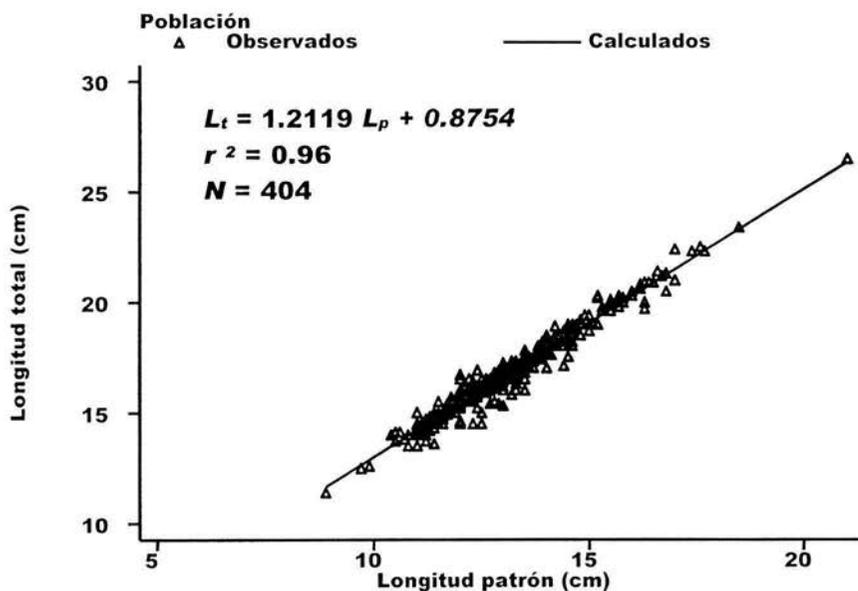


Figura 8. Regresión longitud total – longitud patrón para la población de *Oreochromis niloticus*

Relación peso-longitud

Para establecer esta relación se utilizó el peso total y la longitud patrón. Esta última se prefirió debido a que en no pocas ocasiones, durante el manejo de los especímenes, la aleta caudal resultó dañada, introduciendo un error para la medición de longitud total. Un análisis de covarianza no mostró diferencias para las regresiones entre sexos ($F_{2,400} = 0.41$, $P = 0.66$). Sin embargo, para fines comparativos y considerando los resultados de la sección anterior así como el dimorfismo sexual de la especie se reportan las ecuaciones por sexo. Los ajustes para valores de logaritmo natural de las variables se presentan en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Parámetros de las regresiones para logaritmo natural de peso total – longitud patrón por sexo y sus valores estadísticos (valores ajustados de r^2)

| Sexo | Coefficiente | Error estándar | Valor de t | Prob. > $ t $ | Intervalo de confianza del 95 % | |
|--------------|--------------|----------------|--------------|---------------|---------------------------------|---------|
| Hembras | | | | | | |
| $N = 132$ | | | | | | |
| $R^2 = 0.95$ | | | | | | |
| b | 2.8044 | 0.0580 | 48.36 | 0.000 | 2.6897 | 2.9192 |
| a | -2.8040 | 0.1505 | -18.63 | 0.000 | -3.1017 | -2.5062 |
| Machos | | | | | | |
| $N = 269$ | | | | | | |
| $R^2 = 0.91$ | | | | | | |
| B | 2.7457 | 0.0518 | 53.02 | 0.000 | 2.6437 | 2.8477 |
| A | -2.6599 | 0.1319 | -20.17 | 0.002 | -2.9195 | -2.4002 |
| Población | | | | | | |
| $N = 404$ | | | | | | |
| $R^2 = 0.93$ | | | | | | |
| b | 2.7753 | 0.0377 | 73.60 | 0.000 | 2.7012 | 2.8494 |
| a | -2.7327 | 0.0966 | -28.29 | 0.000 | -2.9226 | -2.5428 |

Con los parámetros estimados del cuadro 4 se construyeron las Figuras 9, 10 y 11 una vez transformados a su escala original.

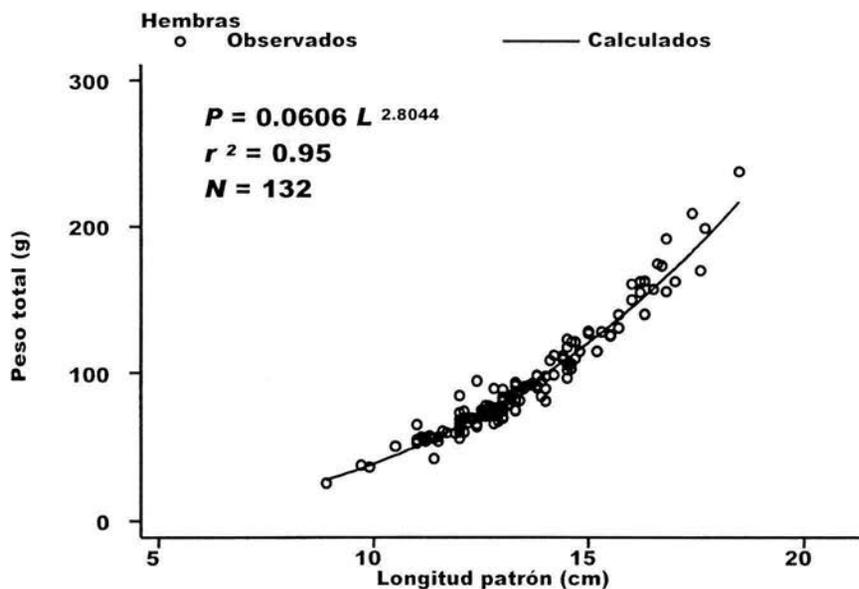


Figura 9. Relación peso total – longitud patrón para las hembras de *Oreochromis niloticus*

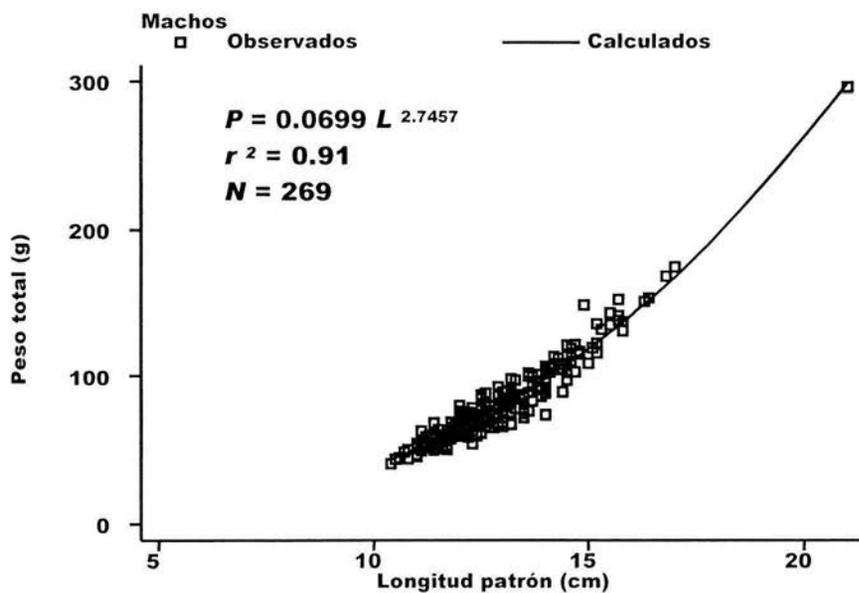


Figura 10. Relación peso total – longitud patrón para los machos de *Oreochromis niloticus*

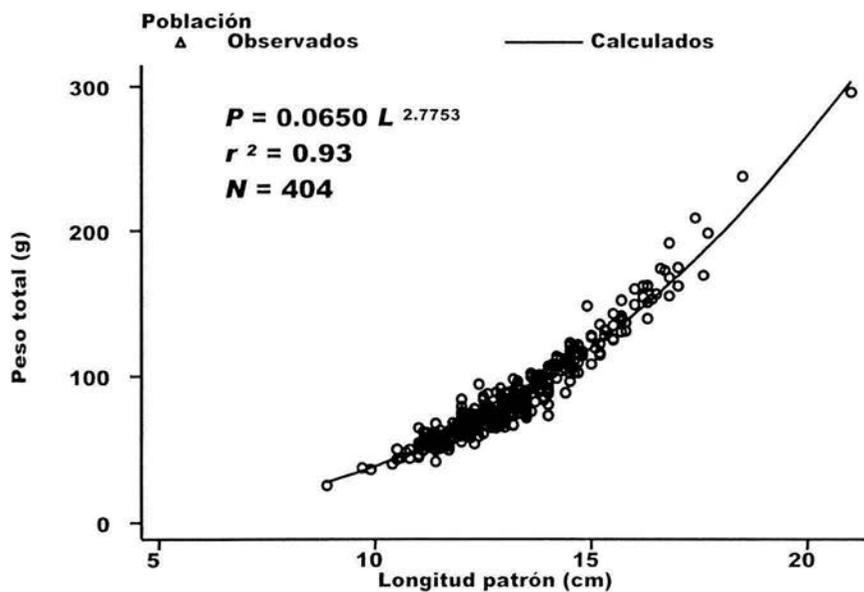


Figura 11. Relación peso total – longitud patrón para la población de *Oreochromis niloticus*

Determinación de edad

Relación longitud patrón – radio del otolito

De los 444 individuos capturados en el periodo de estudio, 384 fueron examinados en sus otolitos ya que no se pudieron recuperar los otolitos de los meses de marzo de 1998 y enero de 1999. De los 384 especímenes con otolitos, 316 proporcionaron otolitos legibles (aproximadamente el 82.3 %); 108 fueron de hembras y 206 de machos. Tan sólo dos otolitos fueron de organismos de sexo indeterminado. El otolito menor midió 2.40 mm y el mayor 4.68 (ambas hembras) (Cuadro 5).

La distribución de los tamaños de otolito resultó ser sesgada positivamente, con una moda a los 3.45 mm y un “hombro” a los 4 mm en las hembras y dos modas (a los 3.06 y 4.35 mm) con un hombro a los 3.3 mm en los machos (Figuras 12 y 13).

Cuadro 5. Tamaños de otolito (radio) en mm por sexo y valores estadísticos

| Sexo | No. de individuos | Media | Desviación estándar | Mínimo | Máximo |
|----------------|-------------------|-------|---------------------|--------|--------|
| Hembras | 108 | 3.50 | 0.468 | 2.40 | 4.68 |
| Machos | 206 | 3.22 | 0.321 | 2.45 | 4.39 |
| Indeterminados | 2 | 2.95 | 0 | 2.95 | 2.95 |
| Total | 316 | 3.31 | 0.401 | 2.40 | 4.68 |

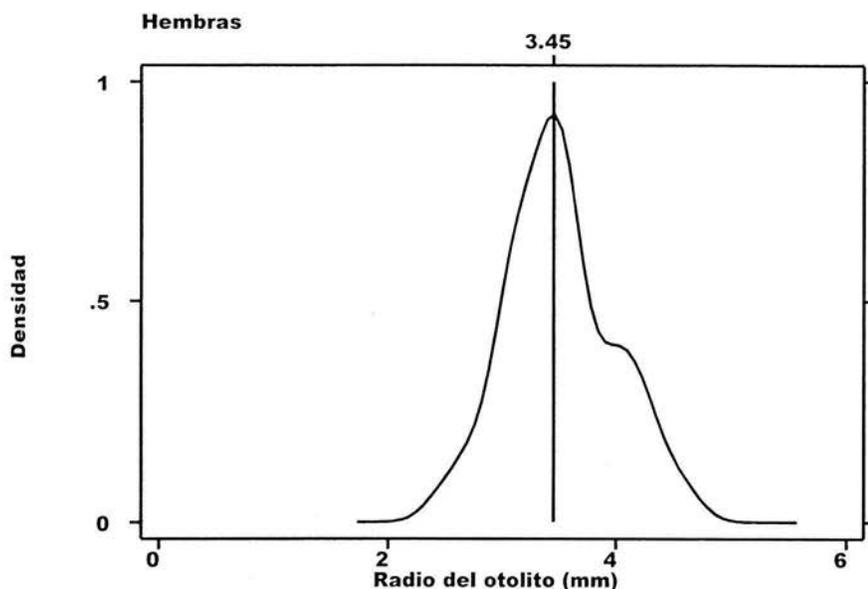


Figura 12. Estimador de densidad por kernel con banda óptima de Silverman $h = 0.16$ para hembras de *Oreochromis niloticus*. La línea vertical indica la posición de la moda de la distribución.

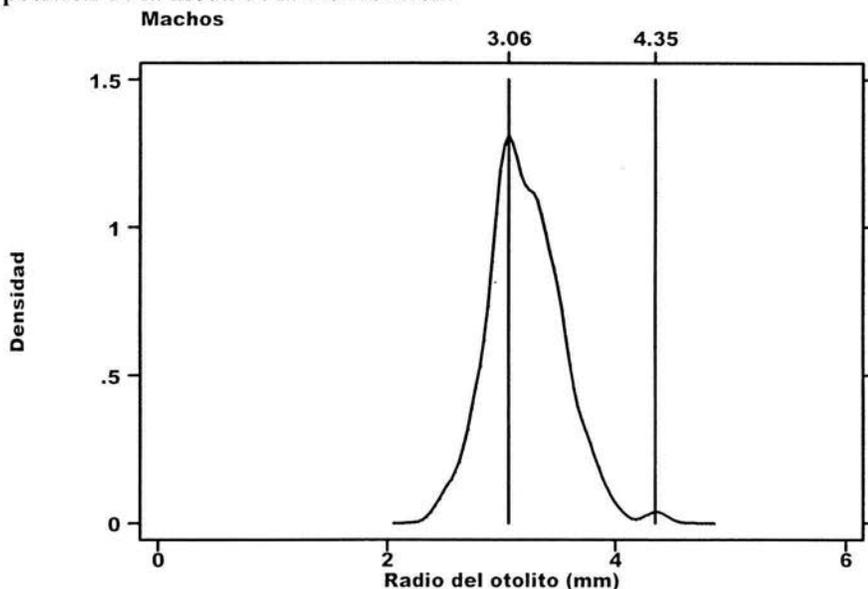


Figura 13. Estimador de densidad por kernel con banda óptima de Silverman $h = 0.09$ para machos de *Oreochromis niloticus*. Las líneas verticales indican la posición de las modas de la distribución.

Cuadro 6. Media, desviación estándar y frecuencia para tamaños de otolitos por fecha y sexo

| Fecha | Indeterminados | Hembras | Machos | Total |
|------------|----------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 10/01/1998 | - - 0 | 3.5167 0.3039 18 | 3.2575 0.3332 8 | 3.4369 0.3298 26 |
| 14/02/1998 | - - 0 | 3.6584 0.3395 19 | 3.3810 0.4543 10 | 3.5627 0.3981 29 |
| 18/04/1998 | - - 0 | 3.3320 0.5049 10 | 3.2075 0.2043 16 | 3.2554 0.3473 26 |
| 23/05/1998 | - - 0 | 3.5553 0.4797 17 | 3.2050 0.1963 10 | 3.4255 0.4297 27 |
| 12/06/1998 | - - 0 | 3.6723 0.7076 17 | 3.4677 0.2310 13 | 3.5837 0.5558 30 |
| 10/07/1998 | - - 0 | 3.4883 0.4078 6 | 2.9648 0.1826 21 | 3.0811 0.3269 27 |
| 13/08/1998 | 2.95 0 1 | 3.05 0 1 | 3.2213 0.3787 23 | 3.2036 0.3680 25 |
| 18/09/1998 | 2.95 0 1 | 3.1533 0.2237 3 | 2.8623 0.2368 22 | 2.8992 0.2452 26 |
| 17/10/1998 | - - 0 | 3.4300 0 1 | 3.1819 0.2730 21 | 3.1932 0.2717 22 |
| 14/11/1998 | - - 0 | 3.0675 0.2571 4 | 3.2653 0.2045 19 | 3.2309 0.2216 23 |
| 11/12/1998 | - - 0 | 3.3860 0.3061 5 | 3.3729 0.2269 21 | 3.3754 0.2371 26 |
| 12/02/1999 | - - 0 | 3.3057 0.4786 7 | 3.4286 0.2974 22 | 3.3990 0.3439 29 |
| Total | 2.95 0 2 | 3.5019 0.4684 108 | 3.2173 0.3212 206 | 3.3129 0.4009 316 |

Un resumen estadístico del tamaño de los otolitos por fecha de muestreo se presenta en el cuadro 6. Para las hembras, en agosto y octubre de 1998 sólo se pudo medir un otolito, mientras que en febrero del mismo año se analizaron 19. De los machos, el mínimo de otolitos (8) se midió en enero de 1998 y el mes con mayor abundancia de otolitos medidos fue agosto de 1998 con 23, si bien la gran mayoría de los meses, el número de estas estructuras analizadas fue muy cercano (19 a 22).

Las regresiones para la relación cuerpo – otolito se muestran en el cuadro 7 y los datos con sus respectivos ajustes se incluyen en las Figuras 14, 15 y 16.

Cuadro 7: Parámetros de las regresiones lineales para longitud patrón – radio del otolito, por sexo y sus valores estadísticos (valores ajustados de r^e)

| Hembras $N = 108$ $r^2 = 0.65$ | Coficiente | Error estándar | Valor de t | Prob. $> t $ | Intervalo de confianza del 95 % | |
|--|------------|----------------|--------------|---------------|---------------------------------|--------|
| B | 3.1689 | 0.2218 | 14.29 | 0.000 | 2.7293 | 3.6086 |
| A | 2.2942 | 0.7835 | 2.93 | 0.004 | 0.7409 | 3.8475 |
| Machos $N = 206$ $r^2 = 0.27$ | | | | | | |
| B | 2.4759 | 0.2832 | 8.74 | 0.000 | 1.9174 | 3.0343 |
| a | 5.1248 | 0.9157 | 5.60 | 0.000 | 3.3193 | 6.9302 |
| Población $N = 316$ $r^2 = 0.42$ | | | | | | |
| b | 2.6500 | 0.1758 | 15.07 | 0.000 | 2.3040 | 2.9960 |
| a | 4.4031 | 0.5867 | 7.50 | 0.000 | 3.2487 | 5.5576 |

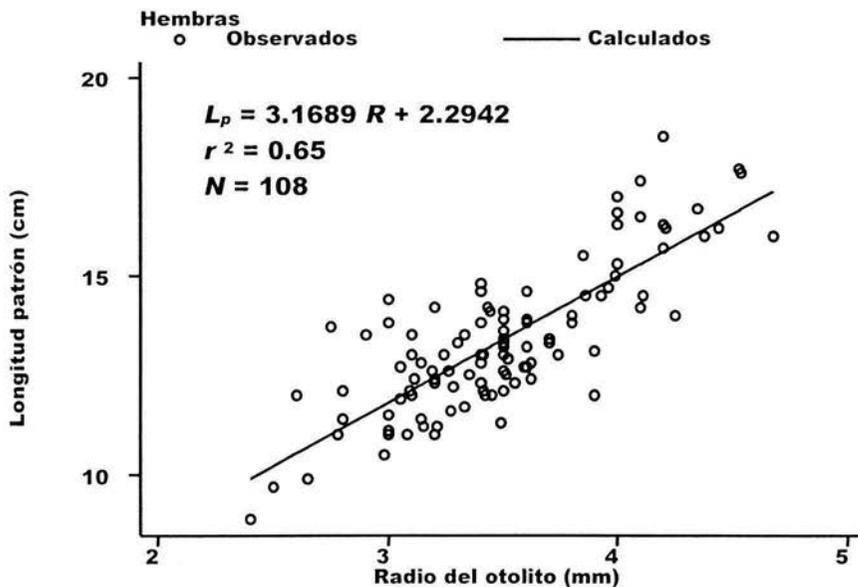


Figura 14. Relación longitud patrón – radio del otolito para hembras de *Oreochromis niloticus*.

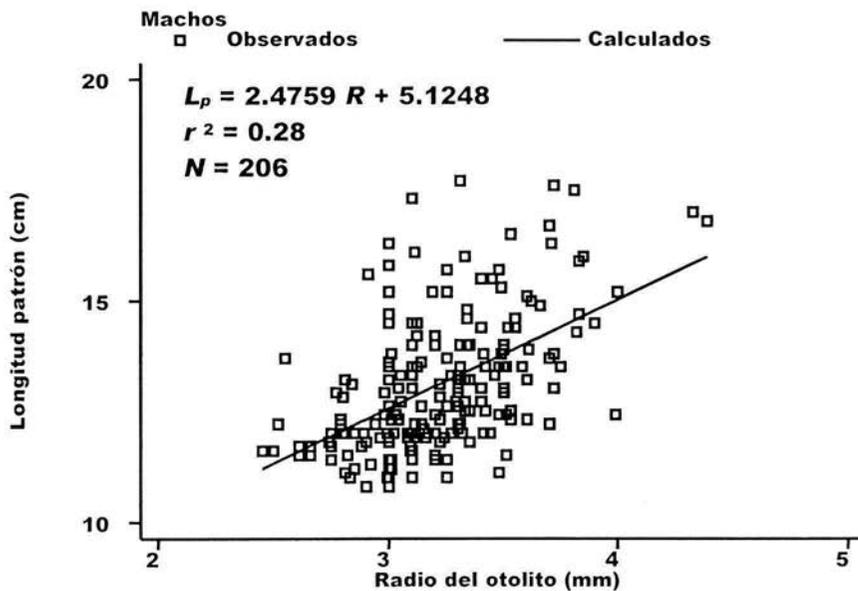


Figura 15. Relación longitud patrón – radio del otolito para machos de *Oreochromis niloticus*.

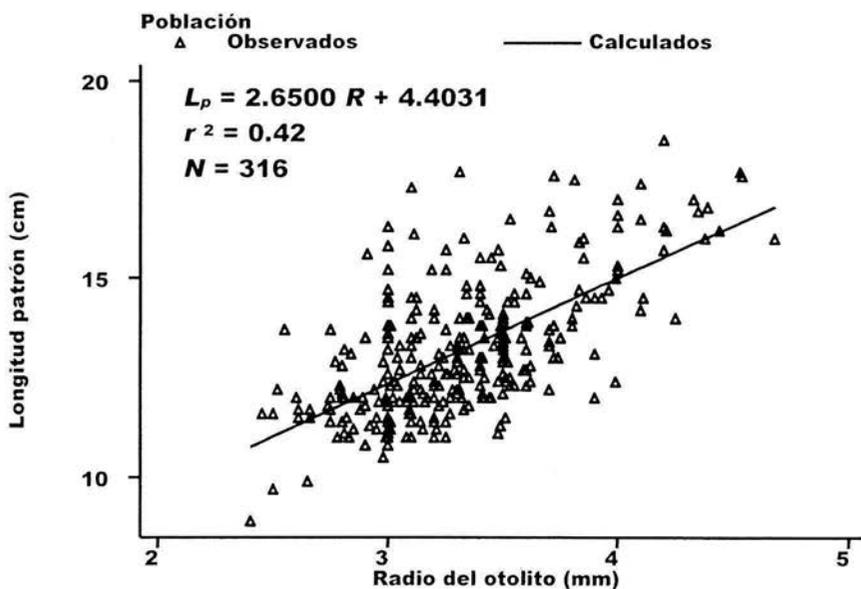


Figura 16. Relación longitud patrón – radio del otolito para la población de *Oreochromis niloticus*.

Los radios de los otolitos se resumen en los cuadros 8, 9 y 10. Asimismo se presentan los diagramas de caja para las medidas correspondientes en las figuras 17, 18 y 19. Tanto en los cuadros como en los gráficos de caja, puede observarse claramente la tendencia al incremento, primero en forma marcada y menor en los radios mayores.

Los diagramas de caja (Figuras 17 a 19) indican distribuciones más o menos simétricas, excepto para el primer radio el cual mostró una tendencia hacia el sesgo positivo. Los machos no presentaron otolitos con cinco anillos. El quinto radio de los otolitos de las hembras tan sólo estuvo representado por 3 especímenes, lo que se aprecia claramente en las cajas sin bigotes para ese anillo en las Figuras 18 y 19 (hembras y población, respectivamente).

Cuadro 8. Resumen estadístico (media, desviación estándar y frecuencia) de valores de radios por edad para hembras de *Oreochromis niloticus*.

| Edad | n | Anillo | | | | |
|-------|-----|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | 9 | 1.75 0.354 9 | | | | |
| 2 | 61 | 1.40 0.284 58 | 2.47 0.403 61 | | | |
| 3 | 26 | 1.38 0.305 26 | 2.25 0.280 26 | 3.16 0.398 26 | | |
| 4 | 9 | 1.15 0.241 9 | 1.96 0.174 8 | 2.66 0.286 9 | 3.42 0.380 9 | |
| 5 | 3 | 1 0 3 | 1.82 0.325 3 | 2.23 0.226 3 | 3.04 0.437 3 | 3.8 0.265 3 |
| Total | 108 | 1.39 0.318 105 | 2.35 0.398 98 | 2.97 0.471 38 | 3.32 0.410 12 | 3.8 0.265 3 |

Cuadro 9. Resumen estadístico (media, desviación estándar y frecuencia) de valores de radios por edad para machos de *Oreochromis niloticus*.

| Edad | n | Anillo | | | |
|-------|-----|----------------------|-----------------------|---------------------|--------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 69 | 1.54 0.294 69 | | | |
| 2 | 113 | 1.29 0.231 97 | 2.43 0.339 113 | | |
| 3 | 22 | 1.29 0.231 21 | 2.13 0.289 22 | 2.98 0.288 22 | |
| 4 | 2 | 1.5 0 1 | 2.19 0.262 2 | 3.06 0.127 2 | 3.46 0.057 2 |
| Total | 206 | 1.38 0.280 188 | 2.375 0.347 137 | 2.98 0.278 24 | 3.46 0.056 2 |

Cuadro 10. Resumen estadístico (media, desviación estándar y frecuencia) de valores de radios por edad para la población de *Oreochromis niloticus*.

| Edad | n | Anillo | | | | |
|-------|-----|----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | 79 | 1.56 0.307 79 | | | | |
| 2 | 175 | 1.33 0.256 156 | 2.44 0.363 175 | | | |
| 3 | 48 | 1.34 0.275 47 | 2.20 0.288 48 | 3.08 0.362 48 | | |
| 4 | 11 | 1.19 0.252 10 | 2.01 0.203 10 | 2.73 0.305 11 | 3.42 0.341 11 | |
| 5 | 3 | 1 0 3 | 1.82 0.325 3 | 2.23 0.226 3 | 3.04 0.437 3 | 3.80 0.264 3 |
| Total | 316 | 1.39 0.293 295 | 2.365 0.369 236 | 2.97 0.405 62 | 3.34 0.381 14 | 3.80 0.265 3 |

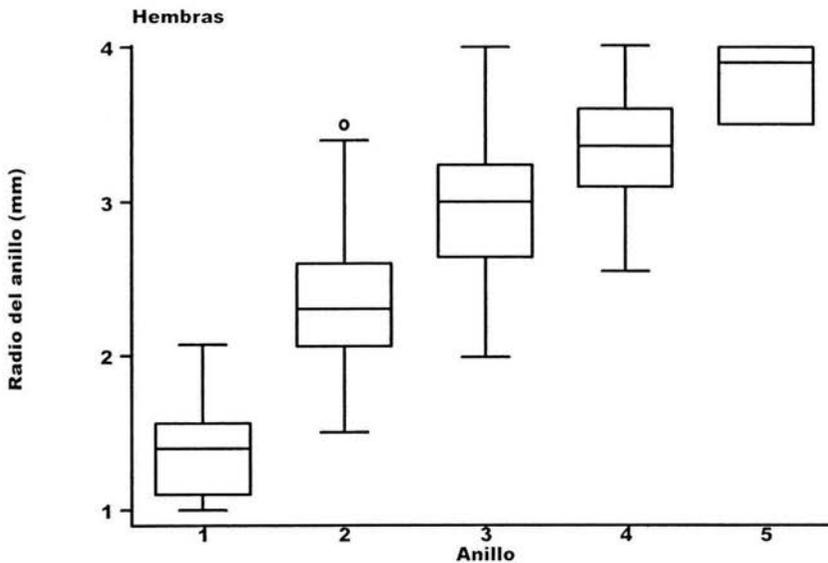


Figura 17. Diagrama de cajas para radios de anillos de los otolitos de hembras de *Oreochromis niloticus*

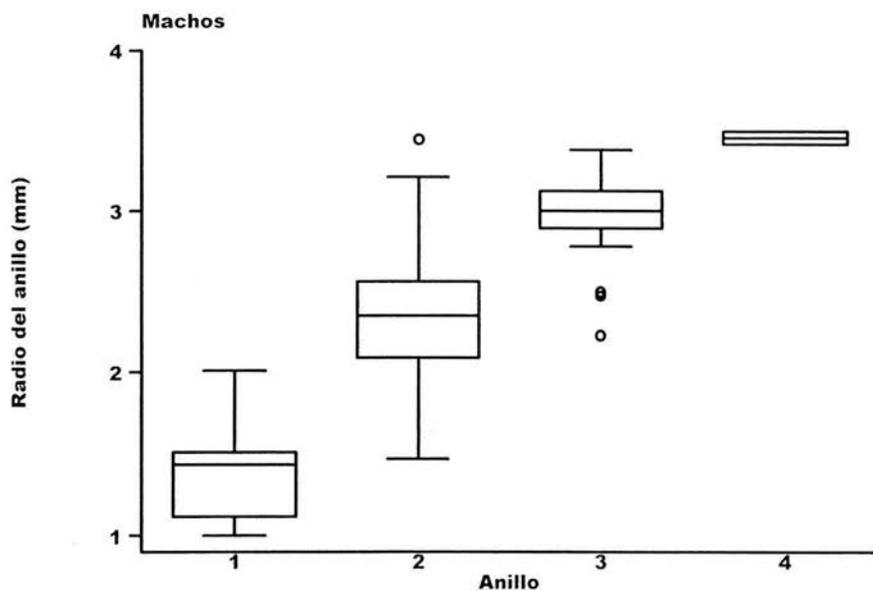


Figura 18. Diagrama de cajas para radios de anillos de los otolitos de machos de *Oreochromis niloticus*

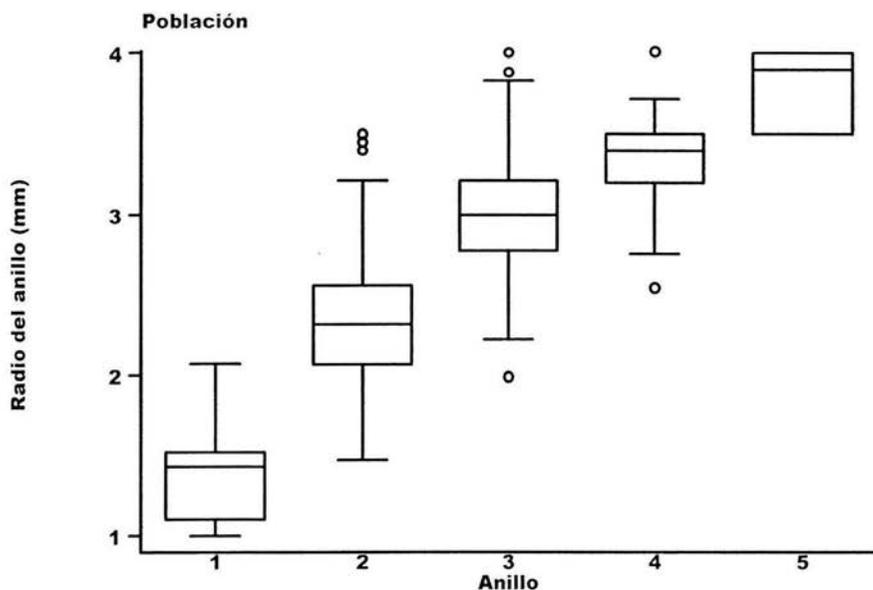


Figura 19. Diagrama de cajas para radios de anillos de los otolitos de la población de *Oreochromis niloticus*

Validación de la periodicidad de marcas

a) Análisis de bordes

Con el fin de validar la periodicidad de la formación de las marcas encontradas en los otolitos se hicieron dos tipos de estudios. El primero involucró el registro de tipo de borde (opaco o hialino) de los otolitos. Los resultados para los individuos capturados se presentan en el Cuadro 11 y gráficamente en la Figura 20. En ella, puede distinguirse un periodo predominante de formación de marcas (alto porcentaje de otolitos con borde opaco y bajo con bordes hialinos) durante los meses de secas (de noviembre a febrero) y uno secundario durante los meses de lluvias, particularmente junio.

Cuadro 11. Porcentaje de otolitos con borde opaco por fecha de muestreo

| Fecha de muestreo | Porcentaje de otolitos con borde opaco | Frecuencia |
|-------------------|--|------------|
| 10/ENE/98 | 56.0 | 26 |
| 14/FEB/98 | 75.9 | 29 |
| 18/ABR/98 | 8.0 | 26 |
| 23/MAY/98 | 28.0 | 27 |
| 12/JUN/98 | 31.0 | 30 |
| 10/JUL/98 | 24.0 | 27 |
| 13/AGO/98 | 4.0 | 25 |
| 18/SEP/98 | 23.1 | 26 |
| 17/OCT/98 | 25.0 | 22 |
| 14/NOV/98 | 57.1 | 23 |
| 11/DIC/98 | 31.0 | 26 |
| 16/FEB/99 | 72.0 | 29 |
| Total | 43.2 | 316 |

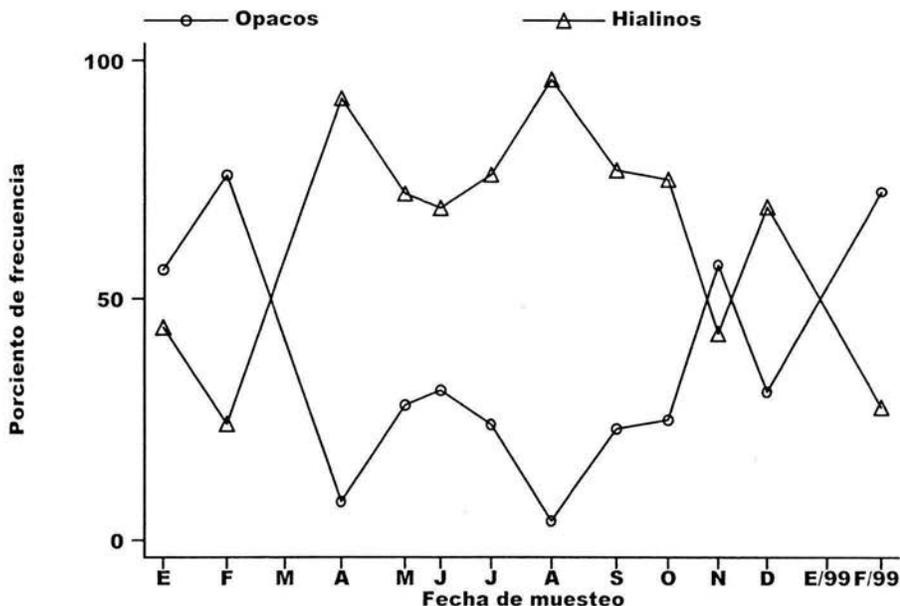


Figura 20. Porcentaje de otolitos con bordes hialinos y opacos por fecha de muestreo para la población de *Oreochromis niloticus*

b) Análisis del incremento marginal

El segundo enfoque utilizado para establecer la periodicidad de la formación de las marcas encontradas en los otolitos consistió en un análisis detallado de las medidas marginales obtenidas en la lectura de otolitos. Para esto se analizó la distribución de las medidas marginales por medio de histogramas mejorados (estimadores de densidad por kernel) para identificar a las modas predominantes y utilizarlas como representantes por fecha de muestreo. Los valores modales por fecha de muestreo se presentan en la Figura 21a. En ella pueden apreciarse un mínimo absoluto en los meses de secas (de noviembre a febrero) y otro menos marcado durante las lluvias (julio).

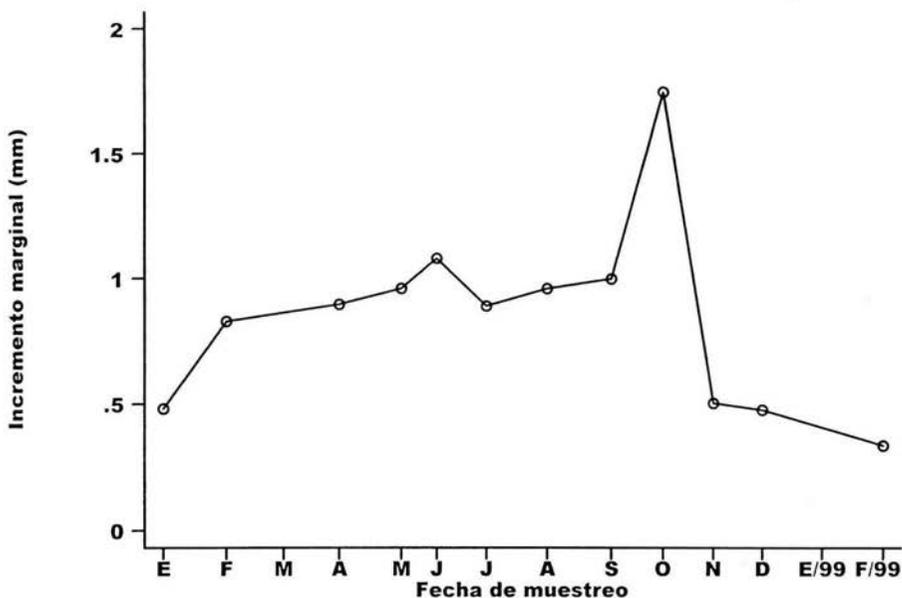


Figura 21a. Valores modales por fecha de muestreo para los valores de incremento marginal, población de *Oreochromis niloticus*

Además del estudio de las medidas directas del incremento marginal, se analizó la *Razón de Incremento Marginal*, definida como la división del incremento entre la longitud de la banda de crecimiento anterior (o la distancia del foco al anillo en los individuos con un solo anillo). Como en el caso anterior, la distribución de estos valores en cada mes se analizó y se tomó la moda dominante como representante mensual. La figura 21b muestra de manera más clara las oscilaciones y de nuevo puede apreciarse que valores bajos ocurren en los meses de secas (noviembre a febrero) y a la mitad de la temporada de lluvias (julio).

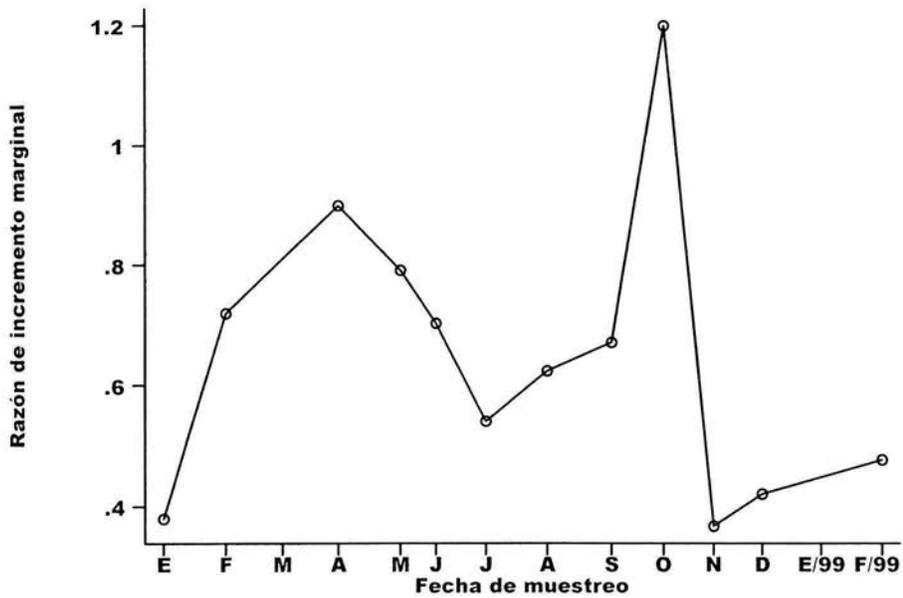


Figura 21b. Valores modales por fecha de muestreo para los valores de razón de incremento marginal, población de *Oreochromis niloticus*

Edad y crecimiento

El cuadro 12 muestra los porcentajes de concordancia en la identificación de anillos entre las lecturas realizadas para el presente estudio. Cerca del 70 % de las lecturas coincidieron de manera exacta. El segundo lector en general determinó una cuenta menor a las de la autora del presente estudio con porcentajes aproximados de 19 y 3.8 para diferencias negativas de uno y dos anillos, respectivamente. Tan sólo un siete por ciento estuvieron por arriba de un anillo y no se tuvieron diferencias positivas mayores.

Cuadro 12. Porcentajes de concordancia entre lecturas de otolitos

| Diferencia entre lecturas | Porcentaje |
|---------------------------|------------|
| -2 | 3.8 |
| -1 | 19.6 |
| 0 | 69.3 |
| 1 | 7.3 |
| 2 | 0 |

El criterio utilizado finalmente para las estimaciones de edad fueron las medidas de los radios para cada anillo, es decir que se asignaba la edad de acuerdo con su semejanza con los valores medios de los radios a cada edad.

Estimación del crecimiento por retrocálculo

A continuación se presentan los tamaños retro-calculados por la expresión de proporcionalidad corporal (Francis, 1990) propuesta por Whitney y Carlander (1956) en los Cuadros 13 (hembras), 14 (machos) y 15 (población). Puede notarse que la frecuencia es mayor al total de otolitos debido a que se tomó en cuenta todos los anillos de cada edad. Es decir el renglón del anillo 1 contiene las medidas (para el anillo 1) de los otolitos con 1 a 5 anillos, el renglón del anillo 2 contiene medidas para el anillo 2 de los otolitos con 1 a 4 anillos, etc.

Cuadro 13. Resumen estadístico de longitudes retro-calculadas por la ecuación de proporcionalidad corporal (Hembras)

| Anillo | Media de LP (cm) | Desviación estándar | Frecuencia |
|--------|------------------|---------------------|------------|
| 1 | 6.71 | 1.218 | 105 |
| 2 | 9.78 | 1.619 | 98 |
| 3 | 11.58 | 1.804 | 38 |
| 4 | 12.55 | 1.639 | 12 |
| 5 | 14.19 | 0.825 | 3 |

Cuadro 14. Resumen estadístico de longitudes retro-calculadas por la ecuación de proporcionalidad corporal (Machos)

| Anillo | Media de LP (cm) | Desviación estándar | Frecuencia |
|--------|------------------|---------------------|------------|
| 1 | 8.56 | 1.079 | 188 |
| 2 | 11.14 | 1.556 | 137 |
| 3 | 13.39 | 1.664 | 24 |
| 4 | 16.63 | 0.419 | 2 |

Cuadro 15. Resumen estadístico de longitudes retro-calculadas por la ecuación de proporcionalidad corporal (Población)

| Anillo | Media de LP (cm) | Desviación estándar | Frecuencia |
|--------|------------------|---------------------|------------|
| 1 | 8.08 | 1.110 | 295 |
| 2 | 10.73 | 1.571 | 236 |
| 3 | 12.52 | 1.745 | 62 |
| 4 | 13.45 | 1.979 | 14 |
| 5 | 14.42 | 0.813 | 3 |

Con los valores medios retro-calculados para cada edad y por sexo, se estimaron los parámetros de la función de crecimiento de von Bertalanffy. Primeramente por medio de los procedimientos tradicionales, es decir, los métodos basados en los gráficos de Ford-Walford y Gulland para estimar la longitud infinita y la constante de crecimiento; posteriormente y considerando que la periodicidad de los anillos es de dos al año, por medio del método de Beverton y Holt se estimó el valor de t_0 .

Para los machos no fue posible calcular la FCVB debido a que las medias retrocalculadas no se ajustaron a los requerimientos impuestos por esta función. En particular, el problema estuvo originado por los escasos individuos de edades mayores. En el caso de los machos no se obtuvieron estimaciones de peces con cinco anillos (como en las hembras). Por otra parte, el incremento de longitud de los peces de edad estimada de tres a cuatro anillos fue mayor que el de dos a tres anillos, con lo que se violaron las condiciones impuestas por la FCVB al requerir que los incrementos cada vez sean menores. Ni los métodos tradicionales, ni la regresión no paramétrica condujeron a resultados razonables.

A continuación se presentan los resultados para hembras y población.

Para las hembras, los gráficos tradicionales mencionados se presentan en las Figuras 22 a 24 y la FCVB se muestra en la Figura 25 y se incluye en la ecuación 1:

$$L_t = 16.38 \left[1 - e^{-0.70(t+0.24)} \right] \quad (1)$$

La regresión no lineal ponderada proporcionó un ajuste un poco más conservador en cuanto al tamaño asintótico para la especie (ecuación 2), el cual se presenta gráficamente en la Figura 26.

$$L_t = 14.60 \left[1 - e^{-0.97(t+0.13)} \right] \quad (2)$$

Por los métodos tradicionales (Figuras 27, 28 y 29), la FCVB estimada para la población se muestra en la Figura 30 y se expresa de acuerdo a la ecuación 3:

$$L_t = 15.88 \left[1 - e^{-0.82(t+0.37)} \right] \quad (3)$$

La regresión no lineal ponderada aplicada a los datos de la población, proporcionó un ajuste muy semejante (ecuación 4) el cual se presenta gráficamente en la Figura 31.

$$L_t = 15.65 \left[1 - e^{-0.87(t+0.34)} \right] \quad (4)$$

Los cuadros 16 y 17 muestran los parámetros estimados por los métodos tradicionales y regresión no lineal ponderada, respectivamente. Su representación gráfica se incluye en las Figuras 25, 26, 30 y 31.

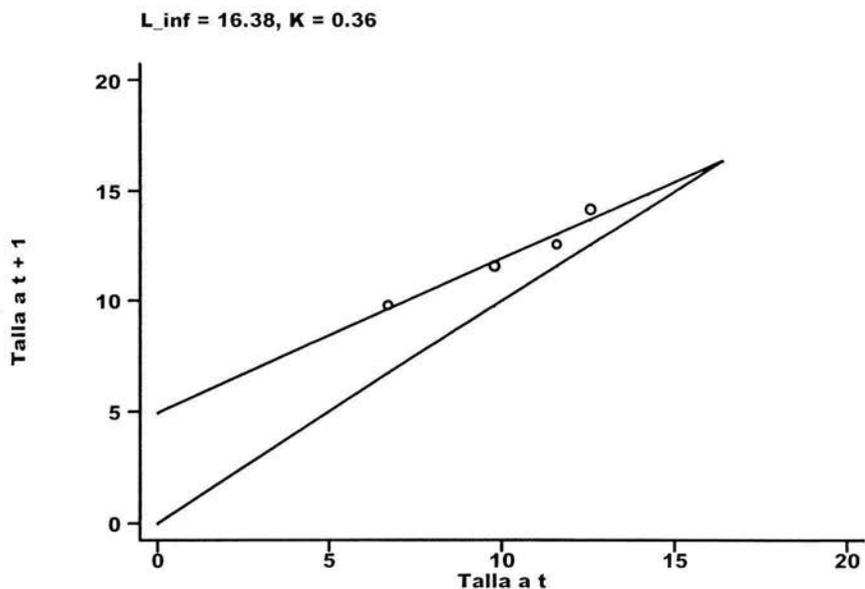


Figura 22. Gráfico de Ford-Walford para las medias retro-calculadas de las hembras de *Oreochromis niloticus*

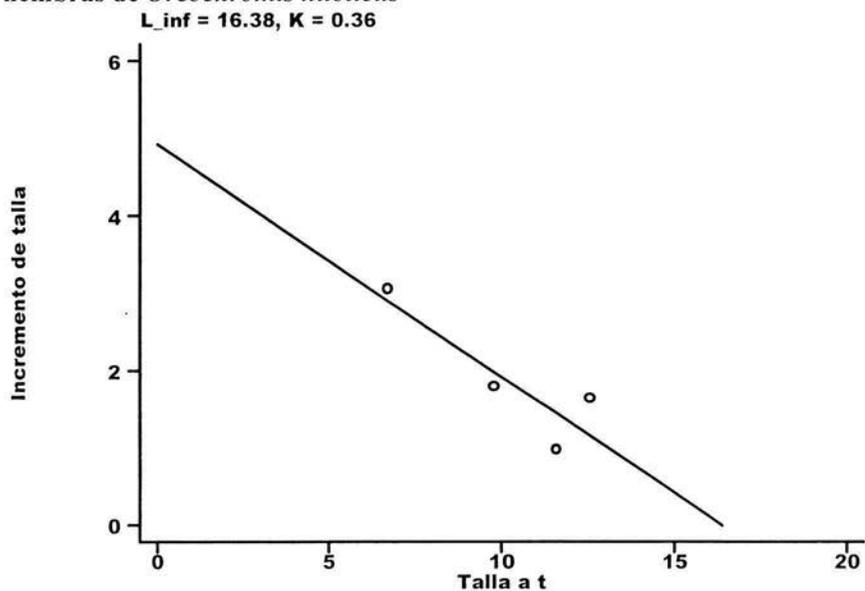


Figura 23. Gráfico de Gulland para las medias retro-calculadas de las hembras de *Oreochromis niloticus*

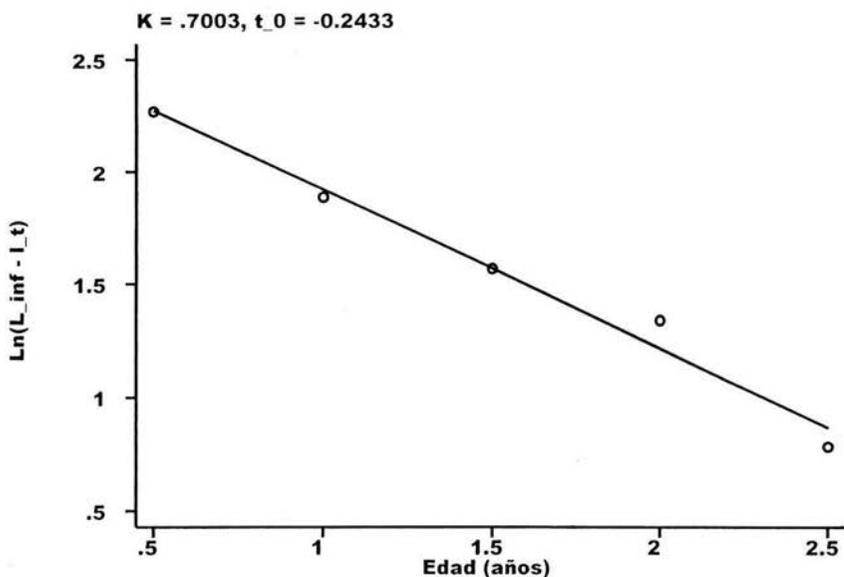


Figura 24. Gráfico de Beverton y Holt para medias retro-calculadas de las hembras de *Oreochromis niloticus* utilizando el valor estimado de L_{∞} por Ford-Walford y Gulland.

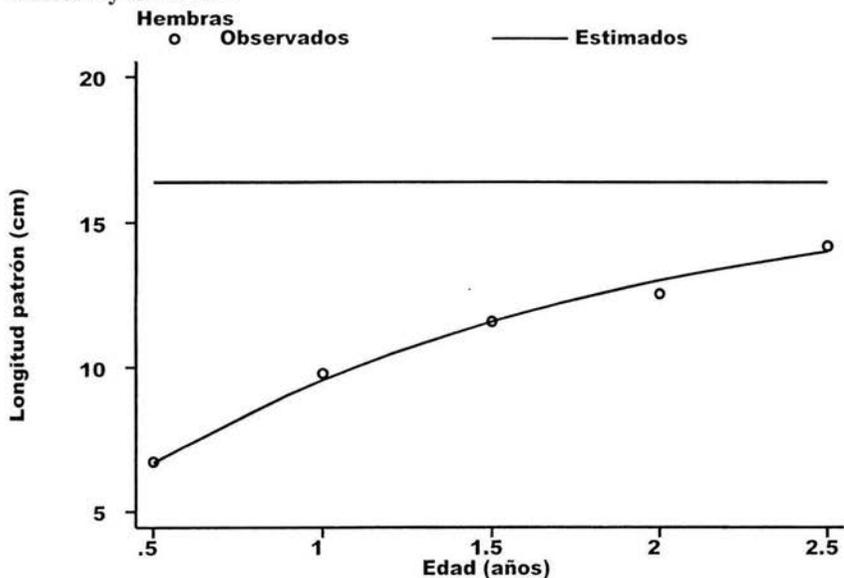


Figura 25. Función de crecimiento de von Bertalanffy estimada por métodos tradicionales a partir de las medias retrocalculadas para hembras de *Oreochromis niloticus*.

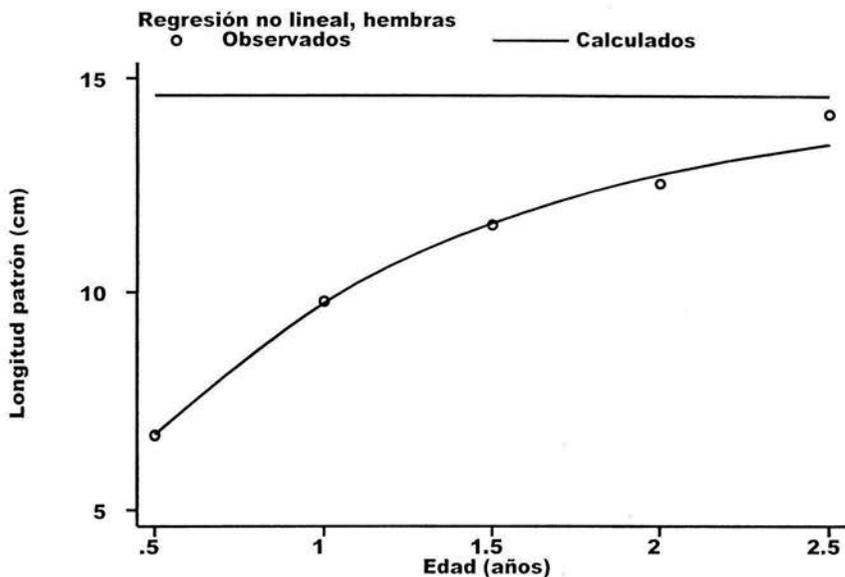


Figura 26. Función de crecimiento de von Bertalanffy estimada por regresión no lineal ponderada a partir de las medias retrocalculadas para hembras de *Oreochromis niloticus*.

$L_{inf} = 15.88, K = 0.41$

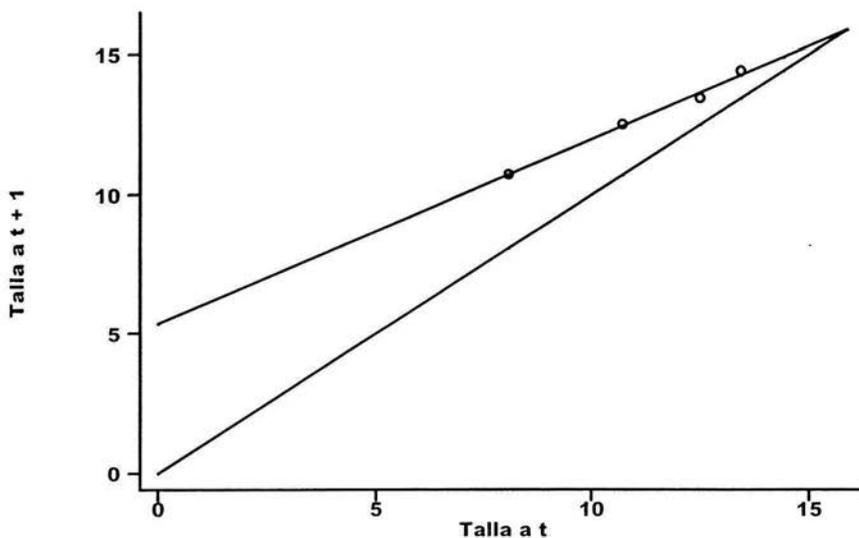


Figura 27. Gráfico de Ford-Walford para las medias retro-calculadas de la población de *Oreochromis niloticus*

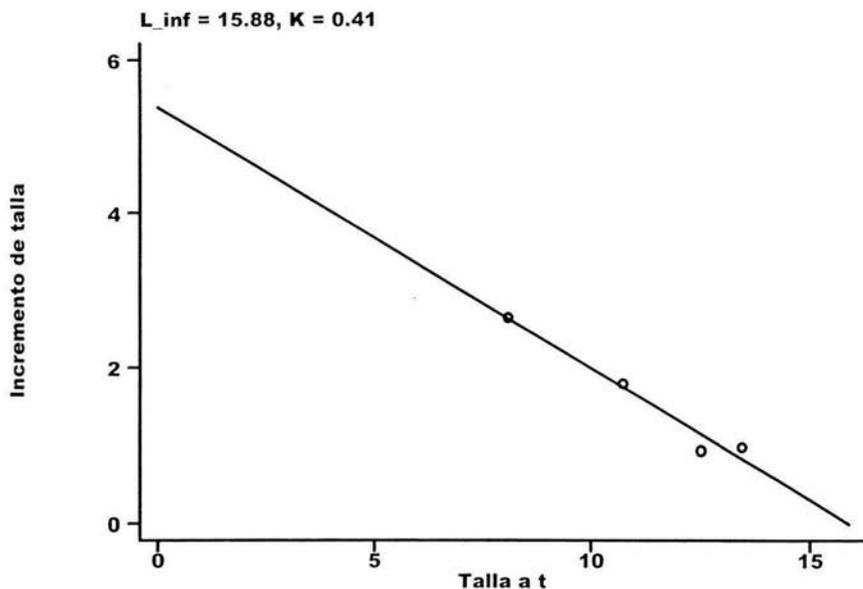


Figura 28. Gráfico de Gulland para las medias retro-calculadas de la población de *Oreochromis niloticus*

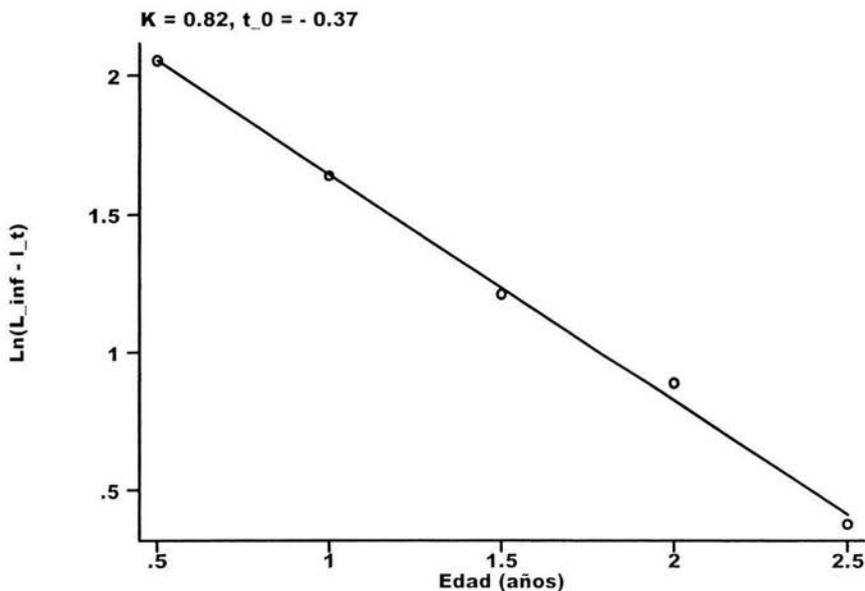


Figura 29. Gráfico de Beverton y Holt para medias retro-calculadas de la población de *Oreochromis niloticus* utilizando el valor estimado de L_{∞} por Ford-Walford y Gulland.

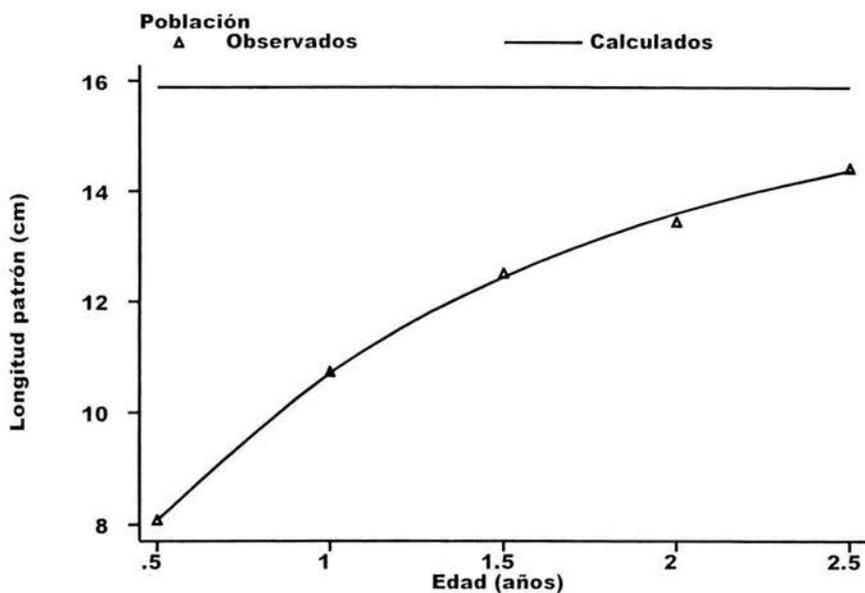


Figura 30. Función de crecimiento de von Bertalanffy estimada por métodos tradicionales a partir de las medias retrocalculadas para la población de *Oreochromis niloticus*.

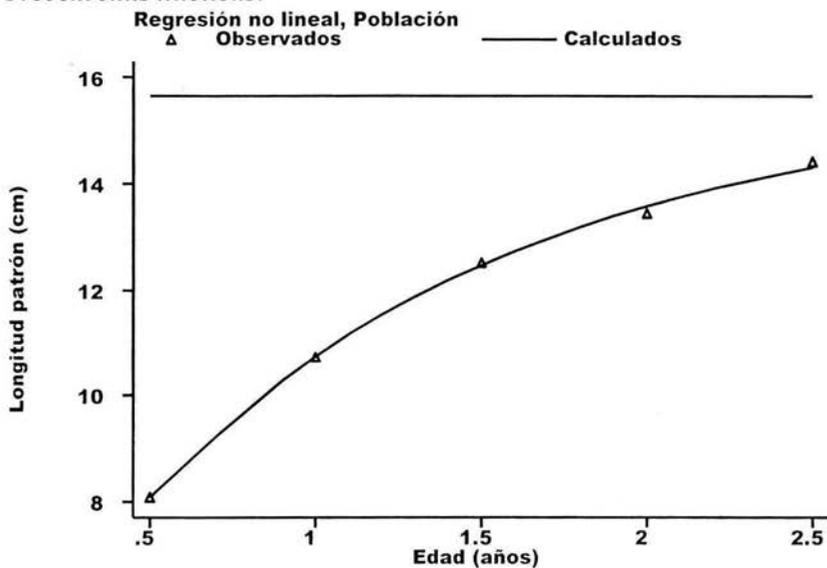


Figura 31. Función de crecimiento de von Bertalanffy estimada por regresión no lineal ponderada a partir de las medias retrocalculadas para la población de *Oreochromis niloticus*.

**Cuadro 16. Parámetros de la función de crecimiento de von Bertalanffy
estimados por métodos tradicionales**

| | Hembras | Población |
|--------------|---------|-----------|
| L_{∞} | 16.38 | 15.88 |
| K | 0.70 | 0.82 |
| T_0 | - 0.24 | - 0.37 |

**Cuadro 17. Parámetros de la FCVB estimados por regresión no lineal
ponderada y sus valores estadísticos**

| | Parámetro | Error estándar | t | $P>t$ | [Intervalo de confianza del 95%] | |
|--------------|-----------|-------------------|----------|-------|-------------------------------------|--------|
| Hembras | | | | | | |
| $r^2 = 0.99$ | | | | | | |
| L_{∞} | 14.60 | 0.069 | 212.38 | 0.000 | 14.47 | 14.74 |
| K | 0.97 | 0.014 | 70.59 | 0.000 | 0.94 | 0.99 |
| T_0 | - 0.13 | 0.006 | - 23.72 | 0.000 | - 0.15 | - 0.12 |
| Población | | | | | | |
| $r^2 = 0.99$ | | | | | | |
| L_{∞} | 15.65 | 0.021 | 754.31 | 0.000 | 15.61 | 15.69 |
| K | 0.87 | 0.003 | 249.17 | 0.000 | 0.86 | 0.87 |
| T_0 | - 0.34 | 0.002 | - 178.63 | 0.000 | - 0.34 | - 0.33 |

Crecimiento en peso

Las funciones de crecimiento en peso se presentan a continuación para hembras derivadas de métodos tradicionales y regresión no lineal (ecuaciones 5 y 6), y para la población (ecuaciones 7 y 8). Su gráfica se incluye en las figuras 32 a 35.

Hembras:

Por métodos tradicionales (Ford-Walford, Gulland, Beverton y Holt):

$$P_t = 154.05 \left[1 - e^{-0.70(t+0.24)} \right]^{2.80} \quad (5)$$

Por regresión no lineal ponderada:

$$P_t = 110.10 \left[1 - e^{-0.97(t+0.13)} \right]^{2.80} \quad (6)$$

Población

Por métodos tradicionales:

$$P_t = 139.93 \left[1 - e^{-0.82(t+0.36)} \right]^{2.77} \quad (7)$$

Por regresión no lineal ponderada:

$$P_t = 134.38 \left[1 - e^{-0.87(t+0.34)} \right]^{2.77} \quad (8)$$

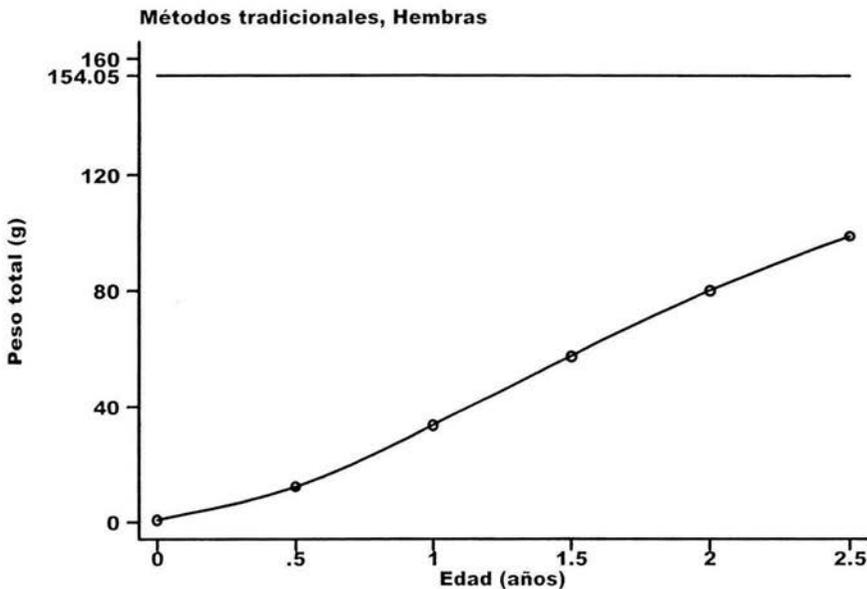


Figura 32. Función de crecimiento ponderal de von Bertalanffy estimada por métodos tradicionales a partir de las medias retrocalculadas y la relación peso-longitud para las hembras de *Oreochromis niloticus*.

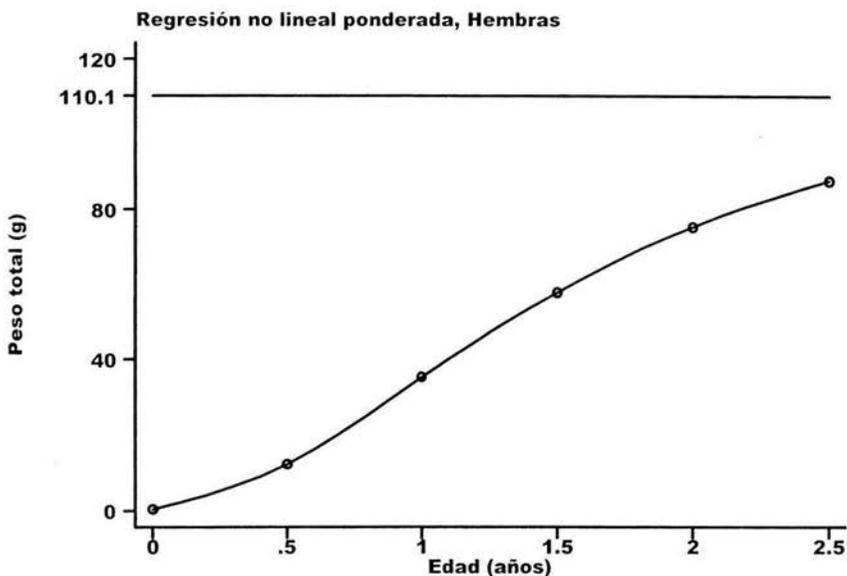


Figura 33. Función de crecimiento ponderal de von Bertalanffy estimada por regresión no lineal ponderada a partir de las medias retrocalculadas y la relación peso-longitud para las hembras de *Oreochromis niloticus*.

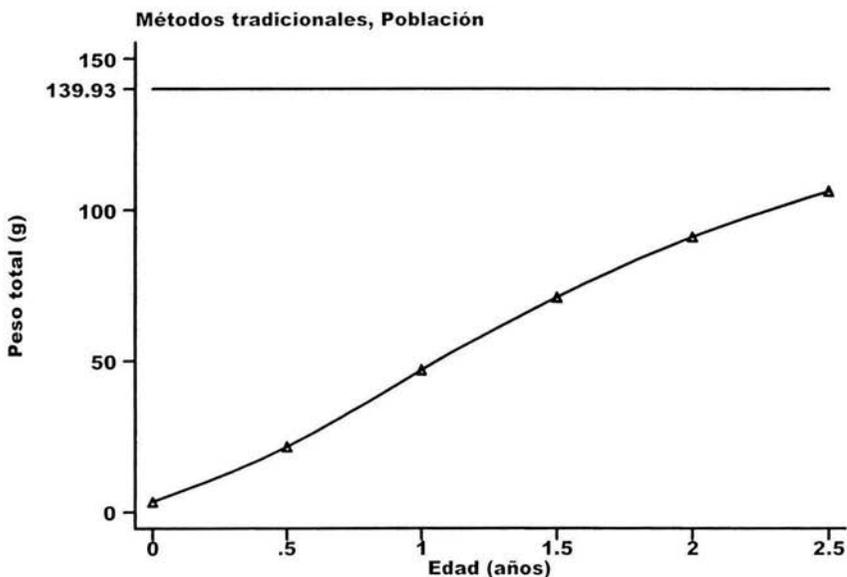


Figura 34. Función de crecimiento ponderal de von Bertalanffy estimada por métodos tradicionales a partir de las medias retrocalculadas y la relación peso-longitud para la población de *Oreochromis niloticus*.

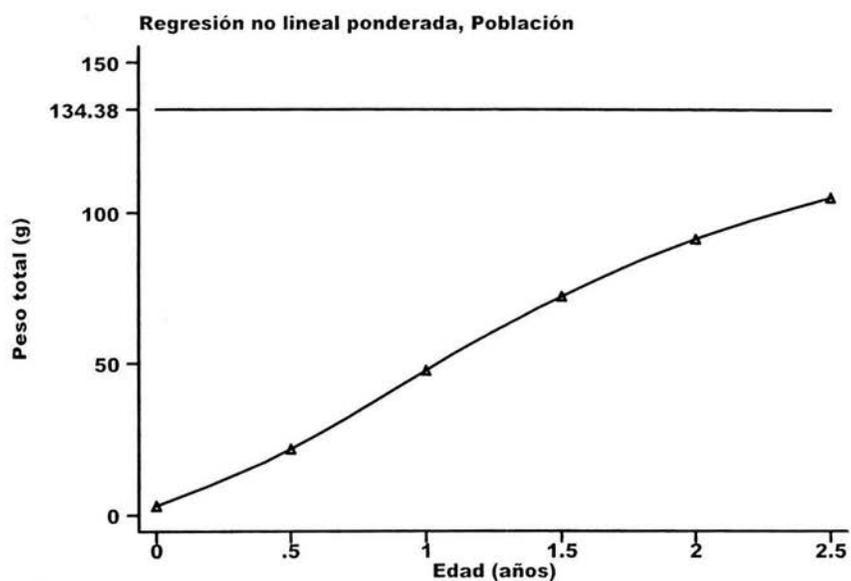


Figura 35. Función de crecimiento ponderal de von Bertalanffy estimada por regresión no lineal ponderada a partir de las medias retrocalculadas y la relación peso-longitud para la población de *Oreochromis niloticus*.

Composición por edades

En el Cuadro 18 y la Figura 36 se muestra la composición por edades para hembras, machos y total de individuos estudiados. Es evidente que predominan los individuos de un año de edad (2 anillos) en ambos sexos. En segundo término se tienen a los ejemplares de 1.5 años en las hembras y de medio año en los machos. La Figura 37 presenta los porcentajes de machos y hembras para cada edad. Puede notarse que las hembras se hacen predominantes a edades mayores.

Cuadro 18. Composición por edades por sexo para individuos de *Oreochromis niloticus*

| Edad | Sexo | | | Total |
|-------|------|-----|-----|-------|
| | 0 | 1 | 2 | |
| 0.5 | 1 | 9 | 69 | 79 |
| 1 | 1 | 61 | 113 | 175 |
| 1.5 | 0 | 26 | 22 | 48 |
| 2 | 0 | 9 | 2 | 11 |
| 2.5 | 0 | 3 | 0 | 3 |
| Total | 2 | 108 | 206 | 316 |

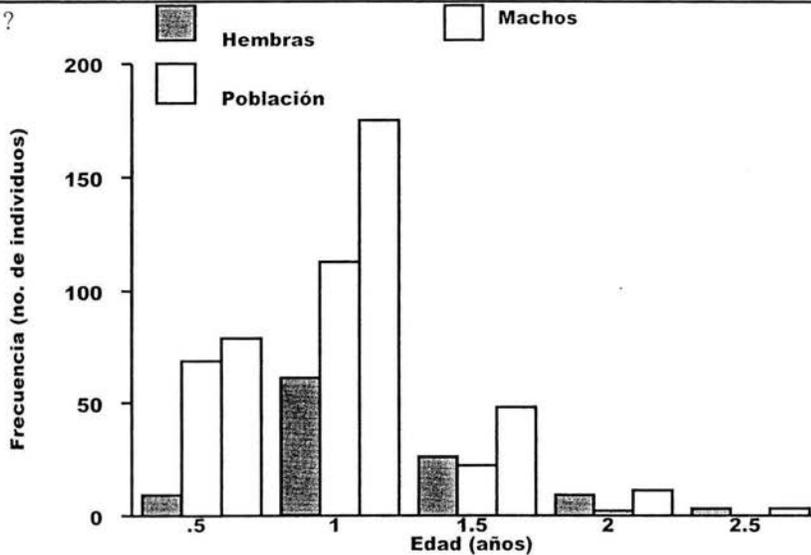


Figura 36. Composición por edades para hembras, machos y población de *Oreochromis niloticus*

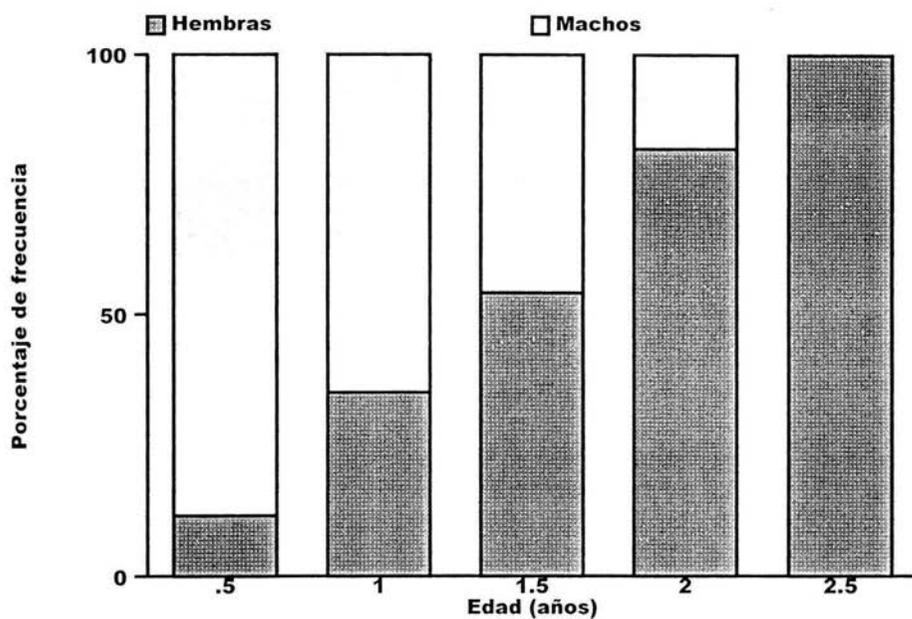


Figura 37. Porcentaje de individuos de cada sexo por edad. Los números de individuos para cada sexo y edad son los del Cuadro 18.

DISCUSIÓN

Material de estudio

En promedio, las hembras resultaron mayores que los machos. Sin embargo, al observar la distribución de tamaños en los histogramas mejorados (EDK's), puede notarse que las modas representarían mejor a los datos. Los tamaños de las hembras mostraron un ligero sesgo positivo, mientras que la distribución de los machos manifestó un sesgo positivo marcado con la existencia de casos extraordinarios. Los valores modales principales sugieren que las hembras en general son mayores que los machos, si bien, hubo la presencia de un macho muy grande (21 cm de longitud patrón). No obstante lo anterior, se tiene evidencia de que las tallas colectadas corresponden al intervalo de captura con el arte de pesca y su tamaño de malla (de 10 a 20 cm de longitud patrón).

Proporción sexual

En general los machos fueron más abundantes que las hembras. Cuando esto ocurrió, siempre se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas. Por otra parte, cuando las hembras llegaron a sobrepasar a los machos en número, estas diferencias no fueron significativas. Aunque variable de especie a especie, en general, se espera que la proporción de sexos sea aproximadamente 1:1 (Nikolsky, 1963). Para *O. niloticus* un mayor número de machos también fue detectado por Pérez-Ortiz y Patlani-Santiago (2002). Respecto a otra especie del mismo género (*O. aureus*), Ramos-Cruz (1995) afirma que la predominancia de machos en las capturas de algunos meses puede representar un mecanismo regulador de la proporción sexual (al removerse individuos de un solo sexo). La forma de crianza de *O. niloticus* puede explicar esta diferencia si se considera (de manera análoga al razonamiento de Ramos-Cruz, 1995) la posibilidad de que posterior a la fertilización de los huevos, los machos se quedan en las vecindades del nido en donde son capturados con las atarrayas mientras que las hembras emigran hacia otras zonas de la presa donde resultan menos susceptibles de ser capturadas. Por otra parte, otras fuentes señalan que la predominancia de machos en los cíclidos se considera como normal y no afecta a las pesquerías (Fryer e Iles, 1972 citado en Gómez-Márquez, 2002).

Relación longitud patrón – longitud total

Las regresiones para estas variables (Cuadro 3) todas fueron altamente significativas con elevados coeficientes de determinación, y los parámetros tuvieron valores bajos de dispersión (errores estándar), alta significancia estadística e intervalos de confianza angostos. Con estas expresiones es posible convertir cualquier longitud patrón incluida en el presente trabajo a longitud total para compararlo con los valores que pudieran encontrarse en la literatura. Este procedimiento se utilizó para hacer las comparaciones necesarias de lo aquí reportado con lo citado en otros estudios. Como se mostró anteriormente es claro que el incremento en LT por unidad de LP siempre fue mayor a 1 lo que indica que los individuos de *O. niloticus* aumentan más en su longitud total (con la aleta caudal incluida) que en la longitud de la parte carnosa del cuerpo.

Relación peso-longitud

Tanto machos como hembras mostraron una tendencia hacia el crecimiento alométrico negativo. El exponente de la relación peso-longitud siempre fue menor que 3 y este valor no quedó incluido en los intervalos de confianza del 95 % en ningún caso. La curva de esta relación para los machos muestra un claro caso influyente en la regresión (por ser de gran tamaño y peso). Mientras la mayor parte de los machos midieron entre 10 y 18 cm, un individuo alcanzó los 21 cm de longitud patrón. Crecimiento alométrico negativo para *O. niloticus* ha sido reportado previamente por Flores (1994) en condiciones de cultivo en estanques bajo condiciones de clima templado, por Garduño-Paredes y Avelar-Esquivel (1996) en la Laguna de Coatetelco, así como por Pérez-Ortiz y Patlani-Santiago (2002) para las hembras en el cuerpo de agua de la presente investigación (presa “Emiliano Zapata”, Mor.).

Para esta especie, crecimiento de tipo isométrico ha sido reportado por Córdova (1994) para individuos juveniles bajo condiciones de laboratorio, lo que sugiere que la reproducción puede, en parte, explicar la alometría en general para la población. Pérez-Ortiz y Patlani-Santiago (2002) también encontraron que la población y los machos presentaron un crecimiento isométrico. Indicando la posibilidad de que el ambiente pudiera haber sido más favorable durante el tiempo de su estudio.

Por otra parte, se ha reportado para la especie en la presa Cerro de Oro, Oax. un crecimiento alométrico positivo (Santiago y Jardón, 1997). Estos autores atribuyen la diferencia con el estudio de Garduño-Paredes y Avelar-Esquivel (1996), quienes reportan crecimiento alométrico negativo, a que estos autores obtuvieron tallas de hasta 16 cm, mientras que en Cerro de Oro, se capturaron individuos de más de 30 cm de longitud patrón, lo cual puede aplicarse también al presente estudio.

Respecto a otras especies del mismo género, Guzmán (1994) y Palacios (1995) determinaron un crecimiento alométrico negativo para *O. aureus* en la Presa Infiernillo, Michoacán-Guerrero.

Por otra parte, no existe diferencia significativa entre los parámetros de esta relación por sexos. Esto puede apreciarse en el Cuadro 4 y en la Figura 38, donde los valores puntuales quedan incluidos en los intervalos de confianza y el traslape de puntos de las curvas. Es hasta los 15 cm de longitud patrón que las hembras empiezan a tener pesos ligeramente mayores a los de los machos del mismo tamaño, debido probablemente al incremento del peso de los ovarios.

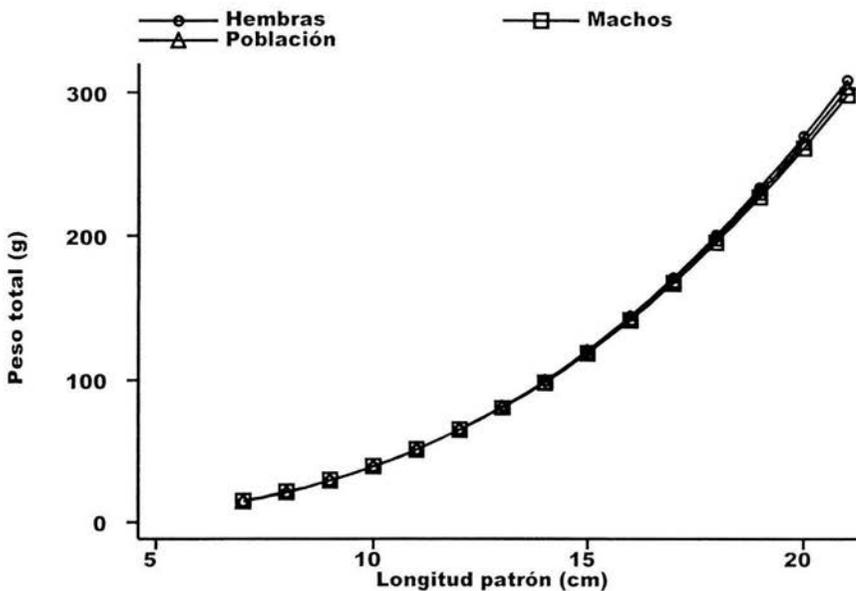


Figura 38. Comparación de las curvas de la relación peso-longitud para machos, hembras y población.

Determinación de edad

Así como la distribución de los tamaños (longitud patrón), los radios de los otolitos tuvieron un sesgo positivo e indicación de algunas modas a valores mayores. Sólo dos otolitos fueron de individuos de sexo indeterminado por lo que la discusión se centrará en los otolitos de machos y hembras.

Relación longitud patrón – radio del otolito

En general, las regresiones entre el tamaño del pez con el radio de los otolitos presentaron valores bajos para el coeficiente de determinación. La dispersión de los puntos es apreciable en los diagramas bivariados, sobre todo en los machos. Esta gran variabilidad en los tamaños relativos de los especímenes y sus otolitos provocó el valor bajo de las r^2 . No obstante, es posible apreciar la tendencia al aumento paulatino de los radios de las marcas periódicas, si bien, en el caso de los machos puede notarse que tan sólo se pudieron caracterizar cuatro anillos.

Validación de la periodicidad de marcas

a) Análisis de bordes

La ocurrencia de bordes opacos en los otolitos no presenta una tendencia clara como suele ser el caso en latitudes templadas con estacionalidad marcada. No obstante, es posible notar la predominancia de bordes opacos durante la temporada de estiaje (diciembre a febrero) y un incremento de frecuencia menor durante los meses calientes (mayo y junio).

b) Análisis del incremento marginal

El incremento marginal está en concordancia aproximada con los resultados del apartado anterior. Durante los meses fríos del año se registraron los valores más bajos; de febrero a junio puede notarse un incremento, seguido por una disminución en julio, para alcanzar un máximo pronunciado en octubre y de nuevo disminuir drásticamente en noviembre y gradualmente hasta febrero del año siguiente. La razón de incremento marginal muestra un comportamiento parecido: valores bajos en la temporada seca (noviembre a febrero) y a la mitad de la temporada lluviosa (julio), valores altos en abril, pero sobre todo en octubre. Esta tendencia en ambos criterios sugiere la formación de los anillos durante el período seco del año (noviembre a febrero) y de manera menos marcada a mitad de la temporada lluviosa (julio).

Las evidencias de los apartados anteriores sugieren que la periodicidad de los anillos es de dos por año, uno muy claro formado en los meses de invierno (secos), y otro menor durante los meses calientes (lluvias).

Es interesante notar que el indicio de formación principal de los anillos coincide con la temporada de secas (noviembre a febrero). Durante estos meses, la temperatura es baja y el oxígeno disuelto se encuentra en concentraciones relativamente elevadas. Durante la parte caliente del año, se registró otro indicio de formación de anillo, comportamiento que coincide con el periodo de reproducción para la especie en la presa reportado por Cruz-Miguel *et al.* (2000). Estos autores reportan que *O. niloticus* se reproduce con mayor intensidad de julio a agosto y en menor escala de enero a febrero. Es posible entonces que el anillo se forme por la interacción de las variables fisicoquímicas del ambiente con los requerimientos de la temporada reproductiva (enfoco de energía para el desarrollo de gónadas y comportamiento territorial) en los meses cálidos de lluvias y la reproducción con las condiciones ambientales durante la época de secas. Al comparar las propiedades estadísticas del ambiente de la región (clima), es también notorio que tanto de noviembre a febrero como en julio-agosto, se tienen periodos secos (Apéndice 1). El primero es el principal del año y el segundo la canícula, es decir la temporada seca corta que ocurre en la mitad caliente del año, a la mitad de la temporada lluviosa.

Otro reporte de interés es el de Flores-Maldonado *et al.* (2000) quienes estudiaron a través de medias ajustadas por tamaño (longitud patrón) el contenido alimenticio, las gónadas, el hígado y el peso eviscerado. Observaron que el peso del contenido alimenticio bajó en junio y enero. Ellos atribuyen el primero al aumento del volumen del embalse que trae consigo una dilución que disminuye la disponibilidad de alimento. Un efecto relacionado con lo anterior es manifestado por Pérez-Ortiz y Patlani-Santiago (2002) al mencionar que durante los meses secos el volumen de la presa disminuye considerablemente, lo que podría provocar un crecimiento disminuido porque a pesar de la concentración el forrajeo continuo por los organismos provoca una disminución neta del alimento.

En latitudes tropicales o subtropicales no existe una estacionalidad marcada como la que ocurre en latitudes mayores. Por esto, en ocasiones no se forman marcas anuales en las estructuras óseas (Sparre y Venema, 1992). Sin embargo, los peces, en la zona intertropical, siguen ciclos de otra naturaleza. En particular, la formación de marcas se ha asociado con los eventos reproductivos, los cuales a su vez están en relación con variaciones ambientales como las lluvias, sequía y estas con la productividad de los cuerpos acuáticos y la disponibilidad de alimento (King, 1995). Gómez-Márquez (2002) señala la posibilidad de que para *O. niloticus* en Coatetelco, Mor. una de las marcas se atribuya a condiciones ligeramente desfavorables durante los meses fríos (secos) del año y la otra se deba

principalmente a la inversión energética para la reproducción durante los meses calientes y con lluvia. Este razonamiento puede aplicarse también al presente estudio.

En especies de la misma familia, Fagade (1974) para *Tilapia melanotheron* reportó que la formación de anillos coincidió con los eventos reproductivos durante secas y lluvias. La atribución de formación de marcas en escamas por eventos reproductivos también ha sido reportado por otros autores para cíclidos en localidades diversas: Garrod (1959); Holden (1995) citado en Blake y Blake (1978) (citado en Gómez-Márquez, 2002); Alejo-Plata *et al.* (1989) y Guzmán (1994).

Edad y crecimiento

Los porcentajes de concordancia entre lectores de marcas no fueron muy altas. Sin embargo, la concordancia exacta ocurrió en casi el 70 % de los casos. El segundo lector fue más conservador en sus apreciaciones, lo que explica el 19.6 % de lecturas con diferencia de -1 . Estas dos categorías abarcan un poco menos del 90% de las lecturas realizadas.

Estimación del crecimiento en longitud por retrocálculo

Se retro-calcularon las longitudes con base en el número de marcas identificadas en los otolitos por los dos métodos indicados en la sección de material y métodos. Ambas estimaciones fueron prácticamente idénticas por lo que se optó por presentar sólo las obtenidas por la proporcionalidad corporal (Francis, 1990; Whitney y Carlander, 1956).

Las medias retrocalculadas de machos no permitieron estimar los parámetros de la FCVB. La causa fue el elevado incremento en longitud entre las edades 3 y 4. Este valor elevado no se ajusta a los supuestos de la función de crecimiento de von Bertalanffy y debido a esto, ni por los métodos tradicionales ni por la regresión no lineal fue posible obtener estimaciones de los parámetros.

Tanto para hembras como para la población, los valores de longitud infinita fueron conservadores, siendo menores siempre los estimados por regresión no lineal. En el caso de las hembras se observa que la diferencia en los valores estimados por ambos métodos fue mayor (cerca de dos centímetros), mientras que para la población, ambas estimaciones fueron muy similares (diferencia de menos de una décima de centímetro).

Resulta interesante comparar estos valores con los reportados en otros trabajos. A continuación, en el cuadro 19, se presentan los valores incluidos en la base de datos Fishbase (Froese y Pauly, 2001). A primera vista, parece conveniente comparar los valores promedios de dicho cuadro con las estimaciones obtenidas. Esta comparación resalta el carácter conservador de las estimaciones obtenidas en el presente trabajo. Sin embargo, un análisis más detallado de los valores muestra un panorama distinto. La figura 38, muestra un EDK para los valores de L_{∞} (longitud estándar) reportados sin especificar sexo en dicha base de datos. Es muy claro el sesgo positivo en los valores de longitud infinita con una moda predominante a los 13.64 cm y la otra, mucho menor a los 52.08 cm de longitud estándar, con indicación de una moda intermedia alrededor de los 38 cm. Claramente, el valor promedio de 20.37 no es representativo de los valores estimados en la literatura, sino que está afectado por los casos extraordinarios existentes por el sesgo positivo. Los

valores obtenidos en el presente trabajo son algo mayores que la moda principal. Resulta evidente que los trabajos incluidos en la citada base de datos ictiológicos, han mostrado en la mayoría de los casos peces con crecimiento reducido, seguidos por algunos con crecimiento intermedio y unos pocos con crecimiento acentuado.

En el cuadro 20 se tiene un resumen numérico del cual podría interpretarse que los valores aquí reportados para la población son muy pequeños en comparación con el promedio total de las estimaciones (5.8). Sin embargo, el análisis detallado de la distribución (Figura 39) de estos valores muestra una repartición con tres modas: una moda con valores apenas mayores a cero, otra moda (la dominante en frecuencia) cerca de 10, y una moda pequeña cerca de 20. Los valores obtenidos en la presente investigación caen en la primera moda de valores pequeños. Lo anterior resulta entendible si se toma en cuenta que tamaños mayores y tasas de crecimiento aceleradas son obtenidos en cultivos intensivos de esta especie, y de que la presente investigación se enfocó en una población con sistema de cultivo extensivo.

Cuadro 19. Resumen estadístico (media, desviación estándar y frecuencia) de valores estimados para L_{∞} reportados en Fishbase (Froese y Pauly, 2001).

| Sexo \ Tipo de longitud | Total | Estándar |
|-------------------------|-----------|-----------|
| No especificado | 33.1111 | 20.3773 |
| | 16.067867 | 10.3824 |
| | 18 | 53 |
| Hembras | 33.2999 | 29.4111 |
| | 0 | 12.9699 |
| | 1 | 9 |
| Machos | 30.6000 | 21.9824 |
| | 7.2125 | 5.1904 |
| | 2 | 17 |
| Ambos sexos | 32.880952 | 21.751899 |
| | 14.9207 | 10.1344 |
| | 21 | 79 |

Cuadro 20. Resumen estadístico (media, desviación estándar y frecuencia) de valores estimados para K reportados en Fishbase

| Tipo de longitud | Total | Estándar |
|------------------|-----------|-----------|
| Sexo | | |
| No especificado | 1.2686667 | 5.8239245 |
| | 2.044785 | 4.2529265 |
| | 18 | 53 |
| Machos | .53799999 | 1.6048889 |
| | 0 | 1.6340804 |
| | 1 | 9 |
| Hembras | 1.444 | 5.965647 |
| | 1.3336035 | 4.0008939 |
| | 2 | 17 |
| Ambos sexos | 1.2505714 | 5.3737721 |
| | 1.9163305 | 4.1795528 |
| | 21 | 79 |

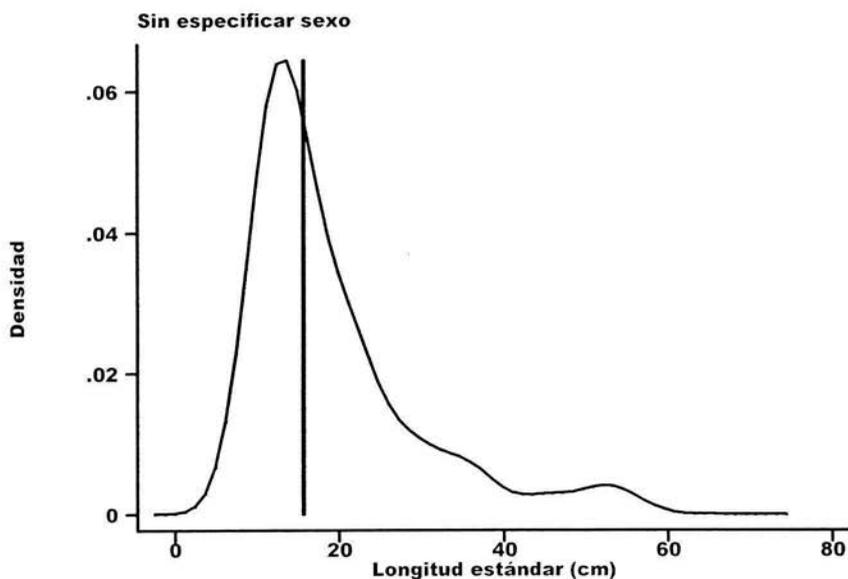


Figura 38. Estimador de densidad por kernel para los valores de L_{∞} , sin especificar sexo reportados en Fishbase para *O. niloticus*. Las líneas verticales presentan los valores obtenidos en el presente trabajo para la población por métodos tradicionales (15.88 cm) y regresión no lineal ponderada (15.65 cm).

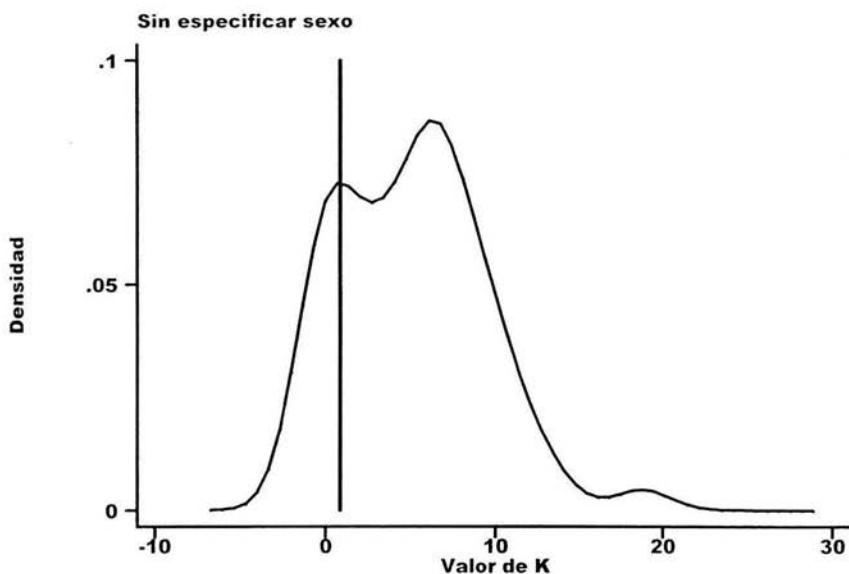


Figura 39. Estimador de densidad por kernel para los valores de K , sin especificar sexo reportados en Fishbase para *O. niloticus*. Las líneas verticales presentan los valores obtenidos en el presente trabajo para la población por métodos tradicionales (0.82) y regresión no lineal ponderada (0.87).

En el cuadro 21 se han incluido los valores de las constantes de la FCVB obtenidas por otros autores para *O. niloticus*. En este cuadro puede observarse que ningún estudio anterior ha tomado en cuenta a los otolitos para las estimaciones de edad. En general puede apreciarse que los estimados en el presente estudio son menores. Los valores más cercanos son los reportados para las hembras por Pérez-Ortiz y Patlani-Santiago (2002). Esto sugiere que la muestra del presente estudio estuvo dominada por organismos de talla pequeña y edad corta. Lo anterior se refuerza por el hecho de que no se obtuvieron machos de edad cinco. La tendencia encontrada con estos organismos llevó a un ajuste conservador en los valores de L_{∞} y valores altos de K . Estos valores elevados para el parámetro de curvatura de la FCVB (K) se aprecian claramente, ya que en general los valores para esta constante fueron menores a 0.3, mientras que en el presente estudio se tuvieron valores de 0.7 a 0.97, con excepción del trabajo de Huerta-Badillo y Navarro-Castro (2001) que reportan para la población una $K = 0.93$ si bien hay que considerar que este último estudio se hizo bajo condiciones de cultivo intensivo en jaulas con alimentación suplementaria.

La comparación con especies del mismo género se presenta de manera sintética en el cuadro 22. Como en el cuadro anterior, ningún estudio previo se basa en la lectura de otolitos para la estimación de la edad. En este cuadro puede apreciarse claramente que valores semejantes fueron obtenidos para *O. urolepis hornorum* en los trabajos de Guerra-Hernández y Peña-Mendoza (1985) y Jaramillo-Salazar y Sánchez-Vázquez (1991) y para *O. mossambicus* (Alejo-Plata *et al.* 1989). Definitivamente, las tallas asintóticas para *O. aureus* son mayores de 40 a 57 cm de LP y 746 a 1924 gr de PT (Blanco, 1990; Morales, 1991; Ramos-Cruz, 1995; Guzmán, 1994 y Palacios, 1995).

Crecimiento en peso

La inclusión del valor exponencial de la relación longitud-peso en las expresiones de crecimiento longitudinal resultó en ecuaciones para el crecimiento ponderal de hembras y de la población. El valor de peso asintótico (P_{∞}) de las hembras obtenido por métodos tradicionales resultó ser mayor que aquél por regresión no lineal. Para la población los valores del peso asintótico fueron más semejantes, si bien resulta mayor el obtenido por métodos tradicionales de transformación lineal de la FCVB.

Los valores aquí obtenidos fueron menores que los reportados para la especie por Pérez-Ortiz y Patlani-Santiago (2002) e incluidos en el Cuadro 21. Estos autores encontraron valores de 156.8966 y 392.4661 para hembras y población respectivamente, en las muestras de febrero de 1999 a enero de 2000. Los métodos de colecta fueron semejantes, pero pudieron obtener peces de mayor talla y con mayor número de marcas en estructuras duras (escamas). No obstante, el elevado valor para el peso asintótico poblacional puede deberse a una sobre-estimación de los valores asintóticos para los machos (2,972.54 gr).

En general, del Cuadro 21, puede notarse que los pesos asintóticos reportados en otros estudios de la misma especie fueron mayores (de 200 a 500), pero el estudio de Santiago-López y Jardón-Olvera (1997) reportan un peso asintótico promedio de 3,471 gr.

Composición por edades

Considerando que la información obtenida de la lectura de otolitos sugiere una periodicidad de 6 meses, observando el cuadro 18 y la Figura 36, puede notarse que las capturas contienen predominantemente organismos de hasta un año de edad (2 anillos). Si se sabe, además, que los organismos de esta especie se reproducen por primera vez a tallas y edades pequeñas, un poco menores a 10 cm lo que implica una edad de 0.5 a 1 año (en condiciones de laboratorio, reportado por Peña-Mendoza y Domínguez-Casalá, 1999). Esto indica que la explotación se enfoca a los individuos que apenas se están reclutando a la población reproductora. Estos individuos pequeños, si bien pueden capturarse en cantidades considerables, individualmente tienen un precio bajo, por lo que sería recomendable capturar peces mayores que puedan alcanzar un mejor precio en el mercado.

Lo anterior permite proponer (en concordancia con lo propuesto por Ramos-Cruz, 1995, para *O. aureus* en la Presa Benito Juárez y por Gómez-Márquez, 2002 para *O. niloticus* en Coatetelco) que se aumente la abertura de malla de las redes que se utilizan para la captura con el fin de aumentar la talla y edad de los individuos capturados, asegurar que éstos se hayan reproducido y elevar el rendimiento en biomasa.

La captura, por otro lado, se enfoca en los machos y es hasta edades mayores que las hembras aumentan en la proporción de capturas. Pudiera sugerirse además el uso de artes de pesca y zonas diferentes de la presa.

Cuadro 21. Valores de crecimiento en longitud y peso para *O. niloticus* obtenidos por diferentes autores. Las significados de las abreviaciones son: L = tipo de longitud; LP = longitud patrón; LT = longitud total; H = hembras; M = machos; P = población; F = análisis de frecuencia de tallas; E = lectura de escamas; Op = lectura de opérculos; OT = lectura de otolitos, ajuste tradicional; ORNL = lectura de otolitos, ajuste por regresión no lineal.

| Autor | Especie | L | Año | Sexo | Método | L_{∞} (cm); P_{∞} (gr) | K | t_0 |
|-------------------------------------|------------------------------|----|------|------|---------------|---|---------|---------|
| Garduño-Paredes y Avelar-Esquivel | <i>Oreochromis niloticus</i> | LP | 1996 | H | F | 20.99; 203.15 | 0.1109 | -0.2897 |
| | | | | M | F | 26.54; 366.80 | 0.0736 | -0.6965 |
| | | | | P | F | 27.81; 404.97 | 0.0665 | -0.5525 |
| | | | | H | E | 20.09; 183.03 | 0.1235 | -0.0250 |
| | | | | M | E | 26.35; 360.36 | 0.0828 | -0.0913 |
| | | | | P | E | 27.76; 403.21 | 0.0727 | -0.5070 |
| | | | | H | Op | 21.40; 212.47 | 0.0683 | -0.8982 |
| | | | | M | Op | 21.34; 218.45 | 0.0736 | -0.8126 |
| | | | P | Op | 24.40; 296.96 | 0.0560 | -1.3574 | |
| Santiago-López y Jardón-Olvera | <i>Oreochromis niloticus</i> | LP | 1997 | P | E | 42.02; 3,471.03 | 0.1497 | -0.1044 |
| Huerta-Badillo y Navarro-Castro (*) | <i>Oreochromis niloticus</i> | LP | 2001 | P | C | 30.00; 815.67 | 0.929 | -0.150 |
| Pérez-Ortiz y Patlani-Santiago | <i>Oreochromis niloticus</i> | LT | 2002 | H | E | 21.16; 156.90 | 0.2865 | -0.6170 |
| | | | | M | E | 56.56; 2,972.54 | 0.0478 | -0.0178 |
| | | | | P | E | 28.82; 392.47 | 0.1365 | -0.1295 |
| Gómez-Márquez | <i>Oreochromis niloticus</i> | LP | 2002 | H | F | 23.04; 300.15 | 0.0848 | -0.3050 |
| | | | | M | F | 26.54; 420.82 | 0.0741 | -0.6965 |
| | | | | P | F | 27.80; 421.36 | 0.0649 | -0.5225 |
| | | | | H | E | 24.27; 340.49 | 0.0871 | -0.3409 |
| | | | | M | E | 26.24; 425.99 | 0.0835 | -0.0657 |
| | | | | P | E | 29.19; 552.36 | 0.0692 | -0.4249 |
| | | | | H | Op | 25.72; 392.27 | 0.0427 | -0.1914 |
| | | | | M | Op | 26.79; 447.98 | 0.0492 | -0.8904 |
| | | | P | Op | 25.75; 406.73 | 0.0509 | -0.7451 | |
| Saito – Quezada (este estudio) | <i>Oreochromis niloticus</i> | LP | 2004 | H | OT | 16.38; 154.05 | 0.7000 | -0.24 |
| | | | | H | ORNL | 14.60; 110.10 | 0.97 | -0.13 |
| | | | | P | OT | 15.88; 139.93 | 0.82 | -0.37 |
| | | | | P | ORNL | 15.65; 134.38 | 0.87 | -0.34 |

(*) Nota: todos los trabajos incluidos en este cuadro se realizaron con individuos en cultivos extensivos, excepto el de Huerta-Badillo y Navarro-Castro que lo hicieron en cultivo intensivo.

Cuadro 22. Valores de crecimiento en longitud y peso para otras especies de *Oreochromis* obtenidos por diferentes autores. Las significados de las abreviaciones son: L = tipo de longitud; LP = longitud patrón; LT = longitud total; H = hembras; M = machos; P = población; F = análisis de frecuencia de tallas; E = lectura de escamas; N = no especificado.

| Autor | Especie | L | Año | Sexo | Método | L_{∞} (cm ó mm); P_{∞} (gr) | K | t_0 |
|-------------------------------------|--------------------------------------|-----|------|------|--------|--|---------|---------|
| Guerra-Hernández y Peña-Mendoza | <i>Oreochromis urolepis hornorum</i> | LP | 1985 | H | F | 13.80; 84.46 | -0.4471 | -0.4766 |
| | | | | M | F | 14.31; 91.08 | -0.3705 | -0.4363 |
| Alejo-Plata, et al. | <i>Oreochromis mossambicus</i> | LP | 1989 | H | F | 13.96; 79.86 | -0.1898 | 0.2969 |
| | | | | M | F | 14.06; 87.79 | -0.1518 | 0.0627 |
| Blanco (en Palacios) | <i>Oreochromis aureus</i> | LT* | 1990 | P | N | 37.25; 746.20 | -0.3900 | -0.36 |
| Jaramillo-Salazar y Sánchez-Vázquez | <i>Oreochromis urolepis hornorum</i> | LP | 1991 | P | F | 14.80; 123.50 | -0.4470 | -0.3201 |
| Morales (en Palacios) | <i>Oreochromis aureus</i> | LT* | 1992 | P | E | 41.85 | -0.3365 | -1.95 |
| Ramos-Cruz | <i>Oreochromis aureus</i> | LT | 1993 | P | F | 29.60; 500.00 | -0.2180 | -0.904 |
| Guzmán | <i>Oreochromis aureus</i> | LP | 1994 | P | E | 40.64; 1,172.23 | -0.1110 | 1.121 |
| Palacios | <i>Oreochromis aureus</i> | LT | 1995 | H | F | 56.84; 1,924.22 | -0.1309 | -0.2265 |
| | | | | M | F | 49.25; 1,496.19 | -0.1724 | -0.6155 |
| Saito – Quezada (este estudio) | <i>Oreochromis niloticus</i> | LP | 2004 | H | OT | 16.38; 154.05 | 0.7000 | -0.24 |
| | | | | H | ORNL | 14.60; 110.10 | 0.97 | -0.13 |
| | | | | P | OT | 15.88; 139.93 | 0.82 | -0.37 |
| | | | | P | ORNL | 15.65; 134.38 | 0.87 | -0.34 |

Nota: todos los trabajos incluidos se llevaron a cabo bajo condiciones de cultivo extensivo.

CONCLUSIONES

- Los machos predominaron en número sobre las hembras con una proporción sexual total de 2:1 ($\chi^2 = 47.78, P < 0.05$).
- Machos y hembras son diferentes en la relación longitud total – longitud patrón ($F_{2,400} = 2.35, P < 0.1$). Pendientes mayores a la unidad indican un mayor aumento en longitud total por unidad de longitud patrón (mayor aumento de tamaño de la aleta caudal que la parte carnosa del cuerpo).
- La potencia de la relación peso total – longitud patrón indicó un crecimiento alométrico negativo.
- Los otolitos fueron estructuras duras apropiadas para el estudio del crecimiento de *O. niloticus* (un poco más del 82 % de los especímenes fueron legibles).
- El análisis de bordes de otolitos para validación de periodicidad de marcas, sugirió la formación de una marca en meses de secas (diciembre a febrero) y otra en meses cálidos de lluvias (mayo y junio).
- El análisis del incremento marginal sugirió un periodo de formación de marcas claramente en enero y febrero (meses secos) y otro menor en julio (mes de la estación lluviosa).
- La periodicidad sugerida por el análisis de bordes e incremento marginal para la formación de marcas periódicas en los otolitos es de aproximadamente 6 meses.
- El porcentaje de concordancia entre los dos lectores de otolitos fue de aproximadamente 70 %. Las estimaciones del segundo lector fueron más conservadoras y se tomó como criterio final las medidas de los radios para definir las estimaciones diferentes.
- Las hembras mostraron cinco marcas periódicas mientras que en los machos sólo se identificaron cuatro.
- Los valores medios retro-calculados para cada edad y para hembras y población permitieron determinar las expresiones para la función de crecimiento longitudinal de von Bertalanffy por métodos tradicionales de linealización (Ford-Walford; Gulland, Beverton y Holt) y regresión no lineal (ponderada).

- Las expresiones para la función de crecimiento longitudinal de von Bertalanffy por métodos lineales tradicionales para hembras y población fueron, respectivamente:

$$\circ L_t = 16.38 \left[1 - e^{-0.70 (t+0.24)} \right]$$

$$\circ L_t = 15.88 \left[1 - e^{-0.82 (t+0.37)} \right]$$

- Las expresiones para la función de crecimiento longitudinal de von Bertalanffy por regresión no lineal ponderada para hembras y población fueron, respectivamente:

$$\circ L_t = 14.60 \left[1 - e^{-0.97 (t+0.13)} \right]$$

$$\circ L_t = 15.65 \left[1 - e^{-0.87 (t+0.34)} \right]$$

- Las expresiones correspondientes para el crecimiento ponderal derivadas por métodos lineales tradicionales para hembras y población fueron, respectivamente:

$$\circ P_t = 154.05 \left[1 - e^{-0.70 (t+0.24)} \right]^{2.80}$$

$$\circ P_t = 139.93 \left[1 - e^{-0.82 (t+0.37)} \right]^{2.77}$$

- Las expresiones correspondientes para el crecimiento ponderal derivadas por regresión no lineal ponderada para hembras y población fueron, respectivamente:

$$\circ P_t = 110.10 \left[1 - e^{-0.97 (t+0.13)} \right]^{2.80}$$

$$\circ P_t = 134.38 \left[1 - e^{-0.87 (t+0.34)} \right]^{2.77}$$

- Los valores obtenidos de L_∞ en este estudio son algo mayores que la moda principal encontrada en FISHBASE, propia de estudios efectuados en sistemas de cultivo extensivo.
- Los resultados obtenidos indican que las tallas pequeñas capturadas condujeron a estimaciones de valores pequeños de L_∞ y a valores elevados de K .
- En las capturas predominan especímenes con dos marcas de crecimiento (de hasta un año de edad). A edades menores los machos predominan y a edades mayores la proporción de hembras en las capturas se incrementa.

RECOMENDACIONES

Con base en la experiencia obtenida, es posible hacer las siguientes recomendaciones para estudios posteriores:

- En lo posible, para tener una mayor representatividad de la población y mejorar las estimaciones de los parámetros biológicos de estudio, utilizar diferentes tamaños de malla y diferentes artes de pesca.
- Analizar aspectos biológicos complementarios a la edad y crecimiento de los individuos tales como la condición, la madurez gonádica y los aspectos tróficos más importantes.
- Para mejorar las estimaciones de edad se hace imprescindible la obtención organismos de mayor talla.
- Se sugiere también que para mejorar las estimaciones de edad se lleven a cabo estudios en mayor detalle como por ejemplo secciones de otolitos.
- Para una validación adicional de la periodicidad de formación de anillos se recomienda un estudio de la microestructura de otolitos y el conteo de bandas de incremento.
- La composición por tallas lleva a recomendar el uso de una abertura mayor de malla del arte de pesca con el fin de garantizar un reclutamiento continuo y para aumentar talla y biomasa de la captura.

BIBLIOGRAFÍA

- Alejo-Plata, M. del C., M.E. Laguna-Marín y P. Ramírez-Tlalpan, 1989. Estudio de algunos aspectos biológicos de *Oreochromis mossambicus* (Osteichthyes: Cichlidae) en la laguna "El Rodeo" Estado de Morelos. Tesis de licenciatura, F.E.S. Zaragoza U.N.A.M, México. 130 p.
- Anónimo, 1981. *Síntesis geográfica del estado de Morelos*, Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática, S.P.P. México, 110 p.
- Arredondo, F.J.L., 1993. *Fertilización y fertilizantes. Su uso y manejo en la acuicultura*. UAM Iztapalapa, México, 202 p.
- Axelrod, H.R. y L.P. Schultz. *Handbook of tropical aquarium fishes*. T.F.H. Publications, Neptune City, 718 p.
- Bagenal, T.B. y H.W. Tesch, 1978. Age and growth. In: Ricker, W.E. (Ed.), *Methods for assessment of fish production in freshwaters*. 3a. ed. Blackwell Scientific Publications. Oxford: 101-136.
- Beverton, R.J.H. y S.J. Holt, 1957. On the dynamics of the exploited fish populations. In: *Fisheries Investigation of Ministry of Agriculture, Fisheries and Food*, Great Britain (2 Sea Fisheries), vol. 19. 533 p.
- Brothers, E.B. 1987. Methodological approaches to the examination of otoliths in aging studies. In: Summerfelt, R.C. y G.E. Hall (Eds.), *The age and growth of fish*. Iowa State University Press, Ames Iowa, E.U.A. 319-330.
- Casselman, J.M. 1987. Determination of age and growth. In: Weatherly, A.H. y H.S. Hill (Eds.), *The biology of fish growth*: 209-242. Academic Press, Londres.
- Chambers, J.M., W.S. Cleveland, B. Kleiner y P.A. Tukey, 1983. *Graphical methods for data analysis*. Wadsworth, Belmont, CA.
- Chilton D.E. y R.J. Beamish, 1982. *Age Determination Methods for Fishes Studied by the Groundfish Program at the Pacific Biological Station*. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences 60, Ottawa, 102 p.
- Conrath, C.L., J. Gelsleichter y J.A. Musick, 2002. Age and growth of the smooth dogfish (*Mustelus canis*) in the northwest Atlantic Ocean. *Fishery Bulletin*, 100: 674-682.

- Córdova, C.A. 1994. Influencia de la intensidad y fotoperíodo con diferentes temperaturas en el crecimiento de la tilapia del nilo (*Oreochromis niloticus*) en condiciones controladas de laboratorio. Tesis de licenciatura. F.E.S. Zaragoza U.N.A.M. 71 p.
- Cruz-Miguel, C.L., D. Ramírez-Noguera, B. Peña-Mendoza, I.H. Salgado-Ugarte, M. Garduño-Paredes y J.L. Gómez-Márquez, 2000. Estudio reproductivo de *Oreochromis niloticus* en la presa Emiliano Zapata, Mor. Resúmenes VII Congreso Nacional de Ictiología, 21-24 de noviembre de 2000, Palacio de Minería, México: 322-323.
- Dorantes-Gómez, E. y M.B. Zavala-Montero, 2003. Estudio de la calidad de agua de tres cuerpos acuáticos en el Estado de Morelos. Tesis de licenciatura. F.E.S. Zaragoza UNAM, México, 92 p.
- Eddy, S. y J.C. Underhill, 1984. *How to know the freshwater fishes*. 3a. ed. Wm. C. Brown Co. Pub. Iowa, 215 p.
- Escoto R. G., 1988. Contribución a la Sistemática de Algunas Especies de la Familia Serranidae (Pisces:Perciformes), de los litorales de México; con énfasis en la Descripción Morfológica de su Neurocráneo y otolito (Sagitta), Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias UNAM, México, 218 p.
- Fagade S.O., 1974. Age determination in *Tilapia melanotheron* (Ruppell) in the Lagos Lagoon, Lagos, Nigeria, In: Bagenal, T.B. (Ed.) *The Ageing of Fish*, 71-77. Unwin Brothers Limited, Gran Bretaña.
- Flores M. O., 1994. Crecimiento de *Oreochromis niloticus* en estanques con diferente fertilización, en un clima templado. Tesis de licenciatura, F.E.S. Zaragoza UNAM. 56 p.
- Flores-Maldonado, O., J.L. Guzmán-Santiago, I.H. Salgado-Ugarte, B. Peña-Mendoza y J.L. Gómez-Márquez, 2000. Algunos aspectos tróficos de *Oreochromis niloticus* (Peters, 1757) en la presa Emiliano Zapata, Morelos, México. Resúmenes VII Congreso Nacional de Ictiología, 21-24 de noviembre de 2000, Palacio de Minería, México: 343-345.
- Ford, E. 1933. An account of the herring investigations conducted at Plymouth during the years from 1924-1933. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.*, 19: 305-384.

- Francis R.I.C.C., 1990. Back-calculation of fish length: a critical review. *Journal of Fish Biology* 36: 883-902.
- Froese, R. y D. Pauly, 2001. Fishbase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, Version (10/2001).
- García, E. 1981. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. 3ª Edición, Offset Larios, S.A., México, 252 p.
- Garduño-Paredes, M. y J. Avelar-Esquivel, 1996. Edad y crecimiento de la mojarra *Oreochromis niloticus* en la laguna de Coatetelco, Morelos. Tesis de licenciatura, F.E.S. Zaragoza U.N.A.M. México, 71 p.
- Gómez-Márquez, J.L., 1994. *Métodos para determinar la edad de los organismos acuáticos*, FES Zaragoza, UNAM, México, 89 p.
- Gómez-Márquez, J.L. 2002. Estudio limnológico-pesquero del lago de Coatetelco, Morelos, México. Tesis de doctorado. Facultad de Ciencias, U.N.A.M. México. 181 p.
- Gómez-Márquez, J.L. y B. Peña-Mendoza, 1995. Los recursos acuáticos de Estado de Morelos. *BIEN*, 1(2): 25-26.
- González-Ramírez J.M. y A. López-García, 1997. Aspectos hidrológicos de la presa "Emiliano Zapata", Morelos, México. Tesis de licenciatura, F.E.S. Zaragoza UNAM, México, 81 p.
- Guerra-Hernández, E.A. y B. Peña-Mendoza, 1985. Estudio del crecimiento de *Oreochromis urolepis hornorum* (Trewavas, 1980) en relación a las condiciones limnológicas del embalse permanente de Michapa, Edo. de Morelos. Tesis de licenciatura, E.N.E.P. Zaragoza UNAM, México. 70 p.
- Gulland, J.A. 1969. *Manual of Methods for Fish Stock Assessment, Part I. Fish Population Analysis*. F.A.O. Manual Fisheries Science (4): 154 p.
- Gulland J.A., 1971. *Manual de Métodos para la Evaluación de las Poblaciones de Peces*, Acribia- F.A.O., Zaragoza, 164 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, México, 33 p.

- Härdle, W. 1991. *Smoothing techniques. With implementations in S*. Springer-Verlag, Nueva York.
- Huerta-Badillo, B. y J.G. Navarro-Castro, 2001. Evaluación del cultivo de mojarra (*Oreochromis niloticus*) en jaulas flotantes en la laguna de Metztlán, Edo. de Hidalgo. Tesis de licenciatura, F.E.S. Zaragoza UNAM, México, 61 p.
- Hyndes, G.A., N.R. Loneragan y I.C. Potter, 1992. Influence of sectioning otoliths on marginal increment trends and age and growth estimates for the flathead *Platycephalus speculator*. *Fishery Bulletin* 90: 276-284.
- INEGI, 1998. Anuario estadístico del Estado de Morelos. Gobierno del Estado de Morelos, México, 442 p.
- Jaramillo-Salazar, G. y A. Sánchez-Vázquez, 1991. Evaluación del crecimiento de la carpa barrigona (*Cyprinus carpio rubrofuscus*) y tilapia (*Oreochromis urolepis hornorum*) bajo condiciones de policultivo en el bordo de temporal "Chavarría", en el Mpio. De Coatlán, Edo. de Morelos. De junio de 1989 a enero de 1990. Tesis de licenciatura, E.N.E.P. Zaragoza UNAM, México, 87 p.
- Karlou-Riga C., 2000. Otolith morphology and age and growth of *Truchurus mediterraneus* (Steindachner) in the Eastern Mediterranean, *Fisheries Research*, 46: 69-82.
- King, M. 1995. *Fisheries Biology, Assessment and Management*. Fishing News Books, Blackwell Science. 341 p.
- Lagler, F.K., 1956. *Freshwater Fishery Biology*. Wm. C. Brown Co. Pub., E.U.A. 421 p.
- Marques de Cantú, M.J. 1991. *Probabilidad y Estadística para Ciencias Químico Biológicas*. McGraw-Hill, México. 657 p.
- Morales D. A., 1991. *La tilapia en México biología, cultivo y pesquería de pesca*. AGT Editor S.A., México. 190 p.
- Morales-Nin, B., 1989. Growth determination of tropical marine fishes by means of otolith interpretation and length frequency analysis. *Aquatic Living Resources*, 2: 241-253.

- Mugiya, Y. y T. Uchimura, 1989. Otolith resorption induced by anaerobic stress in the goldfish, *Carassius auratus*. *Journal of Fish Biology*, 35: 813-818.
- Nikolsky, G.V. 1963. *The ecology of fishes*. Academic Press. Nueva York, 352 p.
- Page, L.M. y B.M. Burr, 1991. *A field guide to freshwater fishes of North America north of Mexico*. The Peterson Field Guide Series, Houghton Mifflin Company, Boston. 432 p.
- Palacios S.S.E., 1995. Estudio biológico pesquero de la tilapia *Oreochromis aureus* (Steindachner, 1864) en la presa Adolfo López Mateos (El Infiernillo), Michoacán-Guerrero, México, Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias UNAM, 81 p.
- Panfili, J. y J. Tomás, 2000. Validation of age estimation and back-calculation of fish length based on otolith microstructures in tilapias (Pises, Cichlidae). *Fishery Bulletin*. 99: 139-150.
- Peña-Mendoza B. y R. Domínguez-Casalá, 1999. The effects of different photoperiods on body growth, gonadal growth and hypothalamic monoamina content in juvenile *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1757). *Hidrobiológica* 9(1): 63-70.
- Pérez-Ortiz G. y J. Patlani-Santiago, 2002. Edad y crecimiento de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) de la presa "Emiliano Zapata". Morelos. Tesis de licenciatura. F.E.S. Zaragoza UNAM, México, 87 p.
- Pilling, G. M., R.S. Millner, M.W. Easey, C.C. Mees, S. Rathacharen y R. Azemia, 2000. Validation of annual growth increments in the otoliths of the lethrinid *Lethrinus mahsena* and the lutjanid *Aprion virescens* from sites in the tropical Indian Ocean , with notes on the nature of growth increments in *Pristipomoides filamentosus*. *Fishery Bulletin* 98: 600-611.
- Ramos-Cruz, S., 1995. Reproducción y crecimiento de la mojarra tilapia (*Oreochromis aureus*) en la presa Benito Juárez, Oaxaca, México, en 1993. INP-SEMARNAP. México. *Ciencia Pesquera* No. 11: 54 – 61.
- Ricker W.E., 1975. *Computation and interpretation of biological statistics of fish populations*. Department of Fisheries and Marine Service, Ottawa. Bulletin of Fisheries Research Board of Canada, 191: 382 p.

- Ricker W.E., 1992. Back-calculation of fish lengths based on proportionality between scale and length measurement. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **49**: 1018-1026.
- Salgado-Ugarte, I.H., 1985. Algunos aspectos biológicos del bagre *Arius melanopus* Gunther (Osteichthyes: Ariidae) en el sistema lagunar de Tampamachoco, Ver., Tesis de licenciatura, ENEP Zaragoza, UNAM, México, 108 p.
- Salgado-Ugarte, I.H., 1995. Nonparametric methods for fisheries data analysis and their application in conjunction with other statistical techniques to study biological data of the Japanese sea bass *Lateolabrax japonicus* in Tokyo bay. Tesis doctoral, Universidad de Tokio, Japón, 389 p.
- Salgado-Ugarte, I.H., M. Shimizu, y T. Taniuchi, 1993. Exploring the shape of univariate data using kernel density estimators. *Stata Technical Bulletin*, **16**: 8 - 19.
- Salgado-Ugarte, I.H., M. Shimizu, y T. Taniuchi, 1995a. ASH, WARPing, and kernel density estimation for univariate data. *Stata Technical Bulletin*, **26**: 2 - 10.
- Salgado-Ugarte, I.H., M. Shimizu, y T. Taniuchi, 1995b. Practical rules for bandwidth selection in univariate density estimation. *Stata Technical Bulletin*, **27**: 5 - 19.
- Salgado-Ugarte, I.H., M. Shimizu, y T. Taniuchi, 1997. Nonparametric assessment of multimodality for univariate data. *Stata Technical Bulletin*, **38**: 27 - 35.
- Salgado-Ugarte, I.H., J. Martínez-Ramírez, J.L. Gómez-Márquez y B. Peña-Mendoza. 2000. Some programs for growth estimation in fisheries biology. *Stata Technical Bulletin*, **53**: 35-47.
- Santiago-López, Ma. del C. y J. Jardón-Olvera, 1997. Determinación de la edad, crecimiento y hábitos alimenticios de cuatro especies de ciclidos de importancia pesquera en la presa "Cerro de Oro", Tuxtepec, Oaxaca. Tesis de licenciatura, F.E.S. Zaragoza, UNAM, México, 68 p.
- S.A.R.H., 1992. *Técnicas de Análisis Físicoquímicos para aguas*. 5ª. Edición, SARH, México, 319 p.
- Scott, D.W. 1992. *Multivariate Density Estimation: Theory, Practice and Visualization*. John Wiley & Sons, Nueva York, 317 p.

- Secor, D.H., J.M. Dean y E.H. Laban, 1991. *Manual for Otolith Removal and Preparation for Microstructural Examination*. Electric Power Research Institute y Belle W. Baruch Institute for Marine Biology and Coastal Research, E.U.A., 85 p.
- SEMARNAP, 2000. *Anuario Estadístico de Pesca 1999*. Instituto Nacional de la Pesca, México, 271 p.
- Silverman, B.W. 1986. *Density estimation for statistics and data analysis*. Chapman y Hall, Londres.
- Sparre, P. y S.C. Venema, 1992. *Introduction to tropical fish stock assessment*. F.A.O. Fisheries Technical Paper No. 306.1. 376 p.
- StataCorp. 2001. *Stata Statistical Software: Release 7.0*. Stata Corporation, College Station, TX.
- Tanaka, K., Y. Mugiya y J. Yamada, 1981. Effects of photoperiod and feeding on daily growth patterns in otoliths of juvenile *Tilapia nilotica*. *Fishery Bulletin*, **79**(3): 459-466.
- Torres-Orozco Bermeo, R., 1991. *Los peces de México*. AGT Editor, S.A, México: 198 p.
- Trewavas, E. 1983. Tilapiine fishes of the genera *Sarotherodon*, *Oreochromis* and *Danakilia*. British Museum of Natural History, Londres, 583 p.
- von Bertalanffy, L. 1938. A quantitative theory of organic growth. *Human Biology*, **10**: 181-243.
- Walford, L.A. 1946. A new graphic method of describing the growth of animals. *Biol. Bull. Mar. Biol. Lab. Woods Hole*, **90**(2): 141-147.
- Weatherley, R.G. y H.S.Gill, 1987. *The biology of fish growth*. Academic Press. London. 443 p.
- Whitney, R.R. y K.D. Carlander, 1956. Interpretation of body-scale regression for computing body length of fish. *Journal of Wildlife Management* **20**(1): 21-27.
- Zhang, Z. y N.W. Runham, 1992a. Otolith microstructure pattern in *Oreochromis niloticus* (L.). *Journal of Fish Biology*, **40**: 325-332.

Zhang, Z. y N.W. Runham, 1992b. Temporal deposition of incremental and discontinuous zones in *Oreochromis niloticus* (L.). *Journal of Fish Biology*, **40**: 333-339.

Zhang, Z. y N.W. Runham, 1992c. Effects of food ration and temperature level on the growth of *Oreochromis niloticus* (L.) and their otoliths. *Journal of Fish Biology*, **40**: 341-349.

APÉNDICE 1. TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

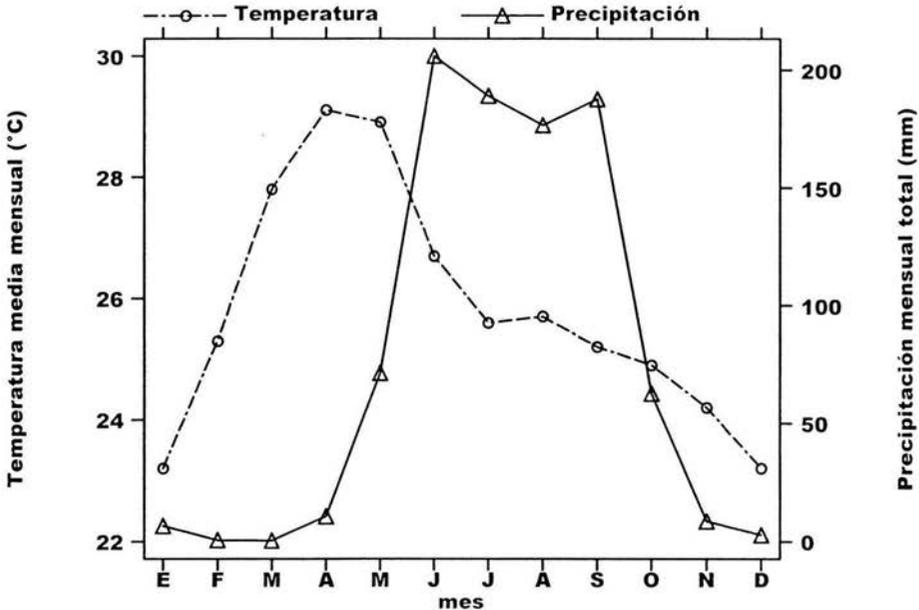
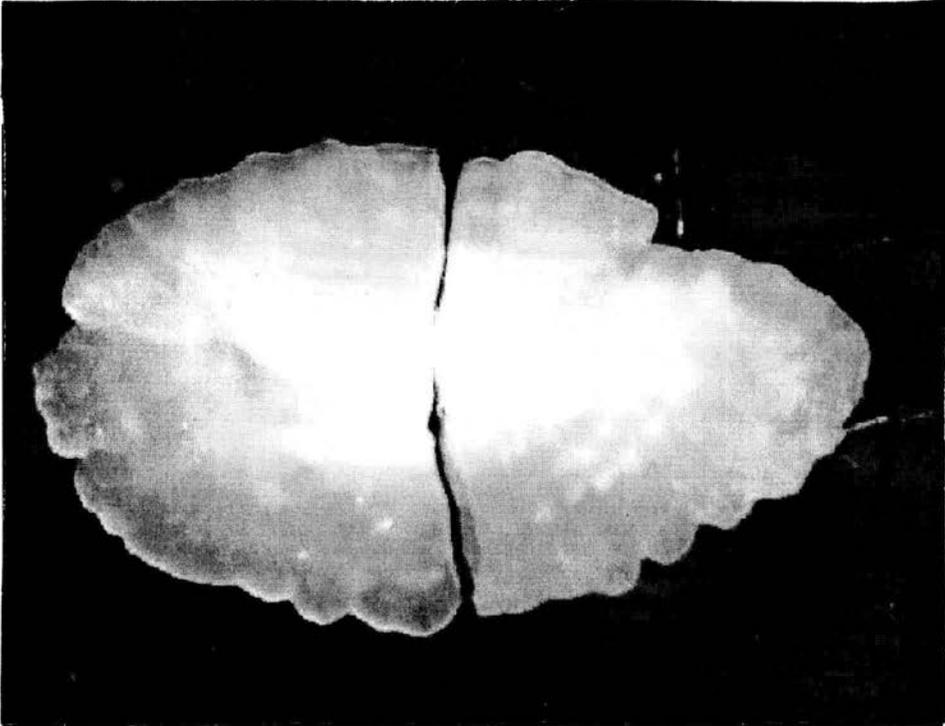
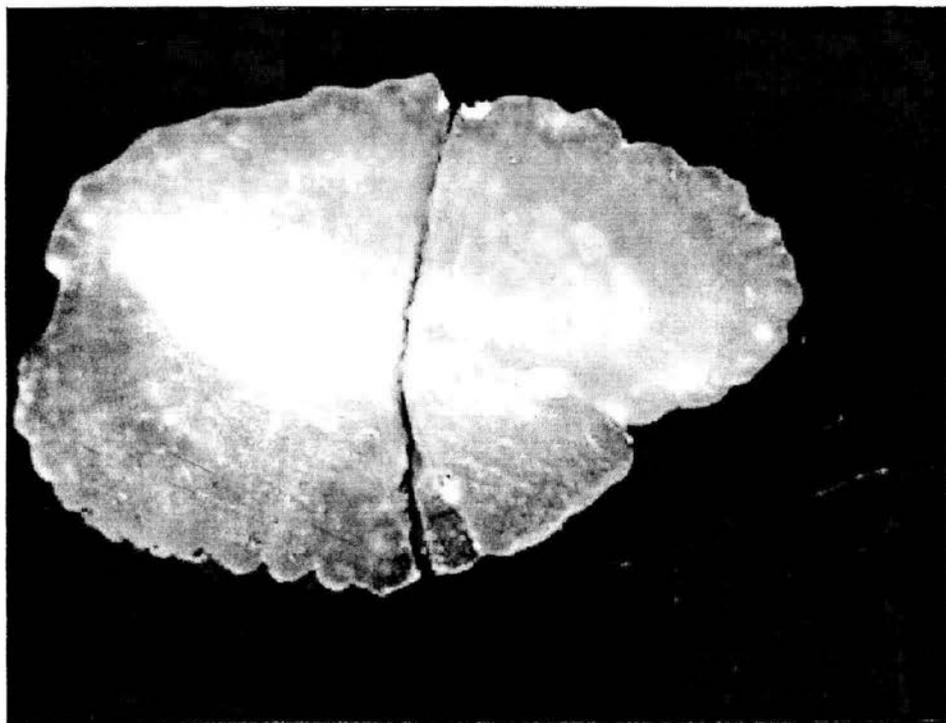


Figura A1. Diagrama ombrotérmico de la estación meteorológica de Tilzapota, Morelos (García, 1981).

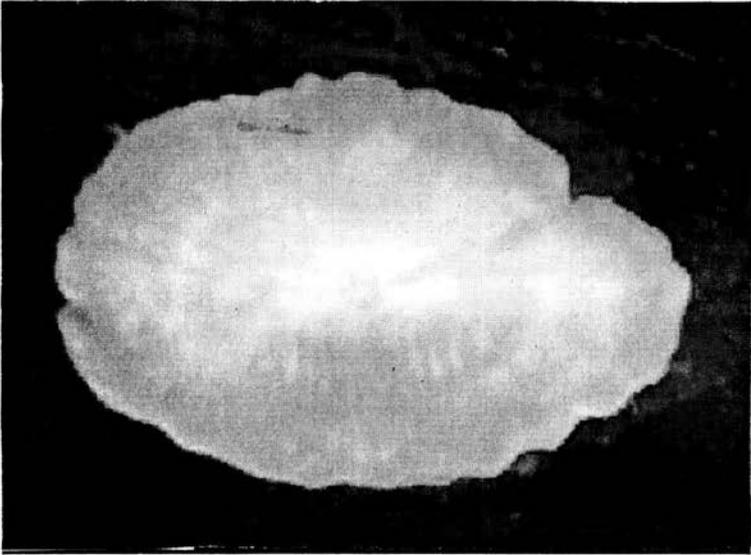
APÉNDICE 2. FOTOGRAFÍAS DE OTOLITOS



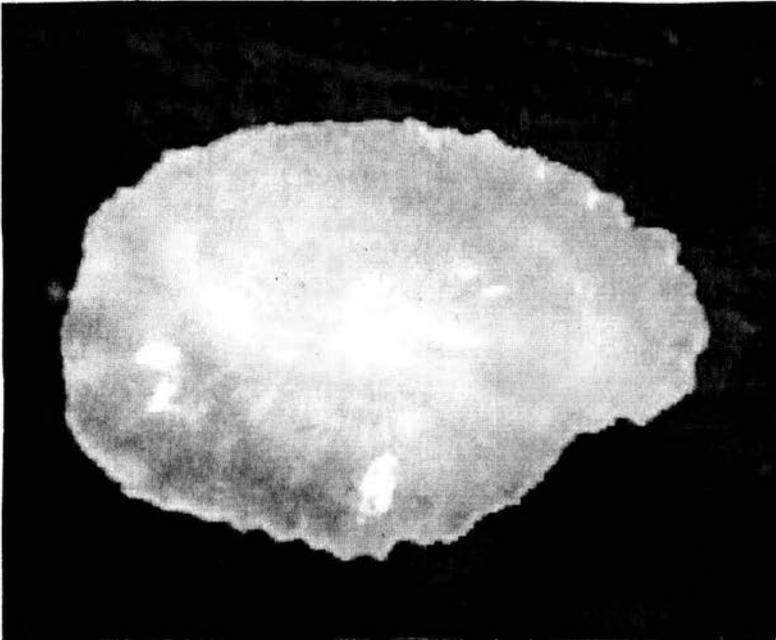
Fotografía A2.1 Otolito (roto) de una hembra con 5 anillos de crecimiento, capturada en junio de 1998 (individuo 12, $R = 4.48$ mm)



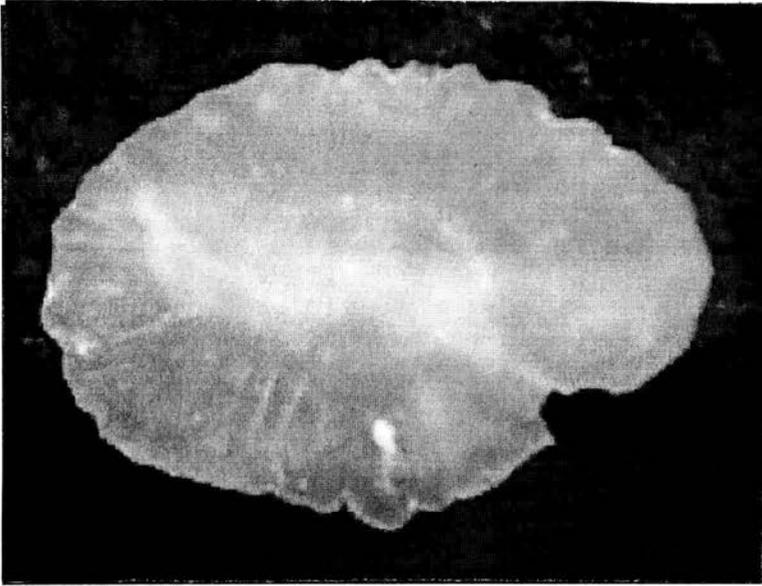
Fotografía A2.2 Otolito (roto) de una hembra con 5 anillos de crecimiento, capturada en junio de 1998 (individuo 21, $R = 4.44$ mm)



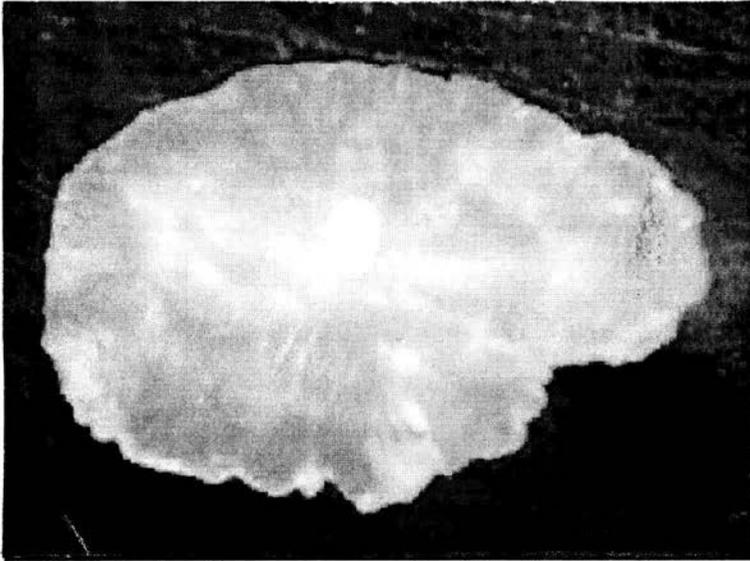
Fotografía A2.3 Otolito de una hembra con 4 anillos de crecimiento, capturada en mayo de 1998 (individuo 13, $R = 3.59$ mm)



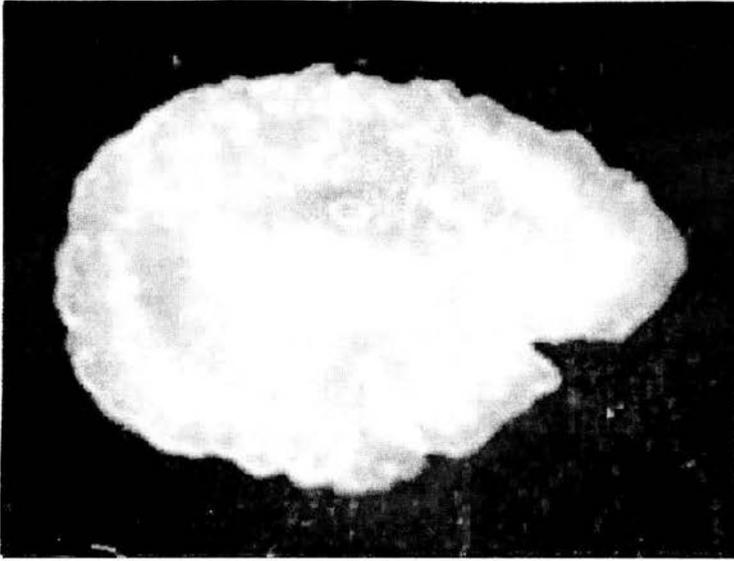
Fotografía A2.4 Otolito de un macho con 4 anillos de crecimiento, capturado en febrero de 1999 (individuo 10, $R = 3.71$ mm)



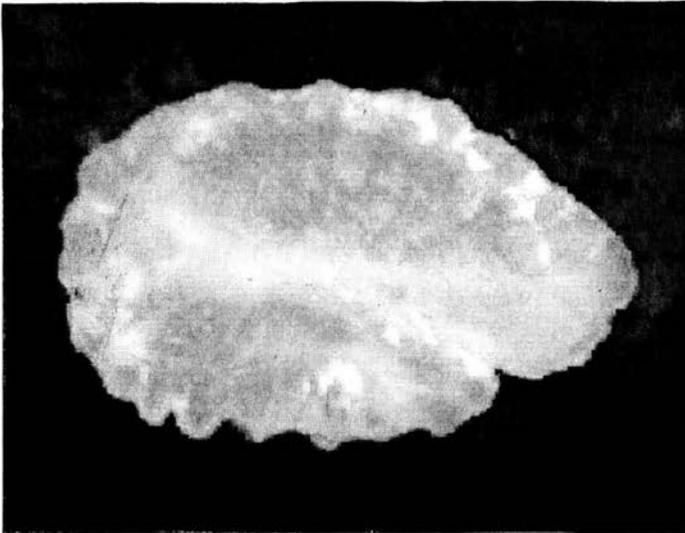
Fotografía A2.5 Otolito de una hembra con 3 anillos de crecimiento, capturada en febrero de 1998 (individuo 22, $R = 3.50$ mm)



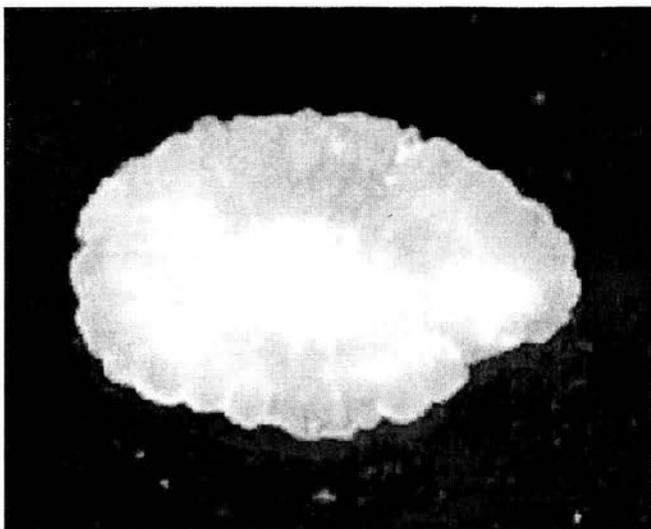
Fotografía A2.6 Otolito de un macho con 3 anillos de crecimiento, capturado en febrero de 1999 (individuo 1, $R = 3.83$ mm)



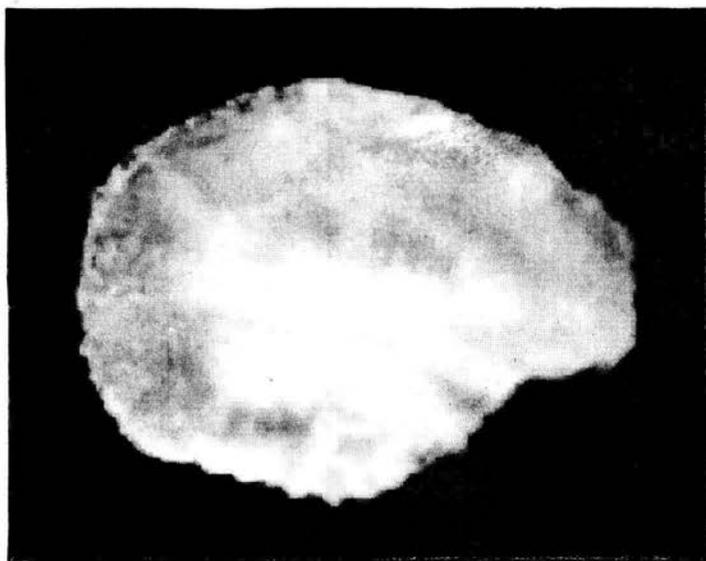
Fotografía A2.7 Otolito de una hembra con 2 anillos de crecimiento, capturada el 2 de junio de 1998, (individuo 28, $R = 3.27$ mm)



Fotografía A2.8 Otolito de un macho con 2 anillos de crecimiento, capturado en abril de 1998 (individuo 17, $R = 3.14$ mm)



Fotografía A2.9 Otolito de una hembra con un anillo de crecimiento, capturada en junio de 1998 (individuo 17, $R = 2.40$)



Fotografía A2.10 Otolito de un macho con 1 anillo de crecimiento, capturado en noviembre de 1998 (individuo 17, $R = 3.5$ mm)