

Aspectos pesquero-ambientales de la población de tilapia *Oreochromis niloticus* en la Laguna de Zapotlán El Grande, Jalisco, México

Felipe Santoyo-Telles*, José Mariscal-Romero**, Humberto Gutiérrez-Pulido***
y Carlos Gómez-Galindo****

Se analizaron las relaciones entre estados de madurez gonadal, el peso, la longitud y el factor de condición de ejemplares frescos de tilapia *Oreochromis niloticus* procedentes de capturas comerciales de la Laguna de Zapotlán el Grande, Jalisco, México, y se relacionaron con parámetros ambientales como temperatura, oxígeno disuelto, pH, sólidos suspendidos totales, salinidad y potencial redox del agua. La comparación espacial de parámetros ambientales utilizando análisis de varianza (ANDEVA) entre las áreas mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) para los niveles de temperatura y oxígeno. El análisis de covarianza (ANCOVA) confirmó que la dimensión morfológica de los peces está influenciada ($p < 0.0001$) por los principales efectos de la etapa gonadal, el área geográfica y la variable tiempo. De acuerdo con los resultados de las fases de madurez gonadal, *O. niloticus* desova durante todo el año, con una alta actividad de abril a julio y un pico en junio y julio. Se observaron variaciones significativas temporales ($p = 0.007$) en el peso-longitud en el periodo de estudio. Se observó fluctuación temporal significativa respecto al factor de condición de los peces, que se asocia con la variación de temperatura y oxígeno disuelto. Los valores bajos del factor de condición de las hembras durante enero-julio pueden ser debido a los altos costos de energía de desove. Éstos pueden estar relacionados con la mayor frecuencia de etapas IV y V, pre y post reproductiva, respectivamente; también están asociados con las zonas y periodos desfavorables dentro de la laguna.

Palabras clave: Bioecología, tilapia, ANCOVA, factor de condición, madurez gonádica.

Fishery and environmental aspects of tilapia population *Oreochromis niloticus* in Zapotlan El Grande lagoon, Jalisco, Mexico

Relation between gonadal maturity, weight, length and condition factor of fresh specimens of tilapia *Oreochromis niloticus* from commercial catches of Zapotlán el Grande lagoon, located in Jalisco, Mexico, were analyzed, and related with environmental parameters such as temperature, dissolved oxygen, pH, total suspended solids, salinity and redox potential of the lake. The spatial comparison of environmental parameters using analysis of variance (ANOVA) between areas showed significant differences ($p < 0.05$) for the temperature and oxygen levels. The analysis of covariance (ANCOVA) confirms that the morphological dimension of fish is influenced ($p < 0.0001$) by the main effects of gonadal stage, geographical area and time variable. According to the results of the phases of gonadal maturity, *O. niloticus* spawns throughout the year, with high activity from April to July and a peak in June and July. Temporary significant variations ($p = 0.007$) in length-weight were observed during the study period. Significant temporary fluctuation regarding fish condition factor was observed, associated to temperature and dissolved oxygen variation. Low values of the condition factor of females during January to July may be due to the spawning high-energy costs. These can be related to the higher frequency of stages IV and V, pre and post reproductive, respectively, also associated with environmentally unfavorable areas and seasons within the lake.

Key words: Bioecology, tilapia, ANCOVA, condition factor, gonadal maturation.

* Departamento de Ciencias Exactas, Tecnologías y Metodologías. Centro Universitario del Sur (CUSur), Universidad de Guadalajara, México. felipes@cusur.udg.mx

** DEDSZC, Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara, México. mariscal@costera.melaque.udg.mx

*** Departamento de Matemáticas, Universidad de Guadalajara, México. humpulido@yahoo.com

**** Departamento de Desarrollo Regional. Centro Universitario del Sur (CUSur), Universidad de Guadalajara, México. carlosg@cusur.udg.mx

Introducción

La producción acuícola está estrechamente ligada a la calidad hidrobiológica del medio, definida ésta por los parámetros físicos, químicos y biológicos que influyen en la reproducción y el crecimiento de las especies (González *et al.* 2009). Estos parámetros pueden verse reflejados en variables biológicas, como el factor de condición y las relaciones peso-longitud, respectivamente. La condición ambiental del agua tiene influencia en los tres aspectos biológicos básicos: crecimiento, reproducción y supervivencia de los organismos acuáticos. Las características óptimas del agua son específicas para cada especie y su determinación exacta dependerá de los requerimientos de los diversos parámetros.

Los peces son el mayor recurso de proteína animal para la población humana; proveen 25% de la proteína animal en países desarrollados y más de 75% en los países en vías de desarrollo, lo que sugiere que la pesca y la acuicultura son decisivas para la seguridad alimentaria (Castillo 2003¹). Las tilapias son peces originarios de África y debido a su adaptación y a su resistencia han sido introducidos en forma acelerada hacia otros países tropicales y subtropicales en todo el mundo. Soportan altas densidades, resisten condiciones ambientales adversas, toleran bajas concentraciones de oxígeno, son capaces de utilizar la potencialidad alimenticia de los estanques y pueden ser manipuladas genéticamente (Wohlfarth *et al.* 1990).

Menni *et al.* (1996) proponen una correlación entre las características del agua, los tipos de hábitats y la distribución de las comunidades ícticas. Por otro lado, los peces han sido ampliamente utilizados para evaluar la integridad biótica en arroyos y ríos en Estados Unidos (Karr 1981), México (Contreras-Balderas *et al.* 2005) y Brasil (Araújo 1998), y han sido adaptados para evaluar la calidad ambiental en lagos (Minns *et al.* 1994). En este contexto, el objetivo de este estudio fue determinar la variación de la relación peso-longitud y madurez gonádica de *Oreochromis*

niloticus (Linnaeus 1758) por efecto de las variables físico-químicas del agua en la Laguna de Zapotlán el Grande, Jalisco, México.

Materiales y métodos

La Laguna de Zapotlán el Grande, se localiza en la región sur del estado de Jalisco, en las coordenadas 19°34' y 19°53' N y 103°38' y 103°53' O. Se ubica a 124 km al sur de Guadalajara, Jalisco (INEGI 2009²). La cuenca es de característica endorreica y tiene su longitud máxima de 39.5 km en la dirección noreste-suroeste y ancho máximo de 23.11 km en la dirección norte-sur, un perímetro de 110 km y una superficie total de 445 km². Recibe de manera directa las aguas residuales de tres localidades urbanas principalmente: Ciudad Guzmán, San Sebastián del Sur y San Andrés Ixtlán, Jalisco³, en las cuales se estiman poblaciones en 2014 de 102 000, 7 250 y 5 674 habitantes, respectivamente (CONAPO 2012⁴); además de los arrastres pluviales de toda la cuenca, que deben de incluir residuos de pesticidas y desechos animales de la producción agropecuaria, etc., lo que impacta en la calidad del agua y esto a su vez afecta el crecimiento y la condición de los organismos acuáticos residentes.

Los muestreos se realizaron en diez estaciones ubicadas en siete cuadrantes (Oriente, Oriente-Sur, Poniente, Norte, Norte-Poniente, Sur, Sur-Poniente) (Fig. 1) o zonas de pesca de la Cooperativa de Pescadores de Gómez Farías, SC de CV, quienes generan reportes diarios y mensuales de las capturas obtenidas.

Se llevaron a cabo mediciones y análisis a 596 ejemplares frescos de la tilapia *O. niloticus*,

1. Castillo F. 2006. Tilapia roja: una evolución de 25 años, de la incertidumbre al éxito. Disponible en http://ag.arizona.edu/azaqua/ista/Colombia/TILAPIA_ROJA_2006.pdf

2. INEGI. 2009. <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?e=14> [Consulta: 3 agosto del 2012]

3. Cabe señalar que en las tres localidades están instaladas plantas de tratamiento de sus aguas residuales que desembocan a la Laguna de Zapotlán, que la Comisión Estatal del Agua las reporta como en operación, aunque hay indicios de una operación con cierta irregularidad sobre todo en años pasados (http://www.ceajalisco.gob.mx/plantas_tratamiento.html)

4. CONAPO. 2012. Dinámica demográfica 1990-2010 y proyecciones de población 2010-2030. Consejo Nacional de Población, México. http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones_Datos Consultada en el 25 de septiembre de 2014.

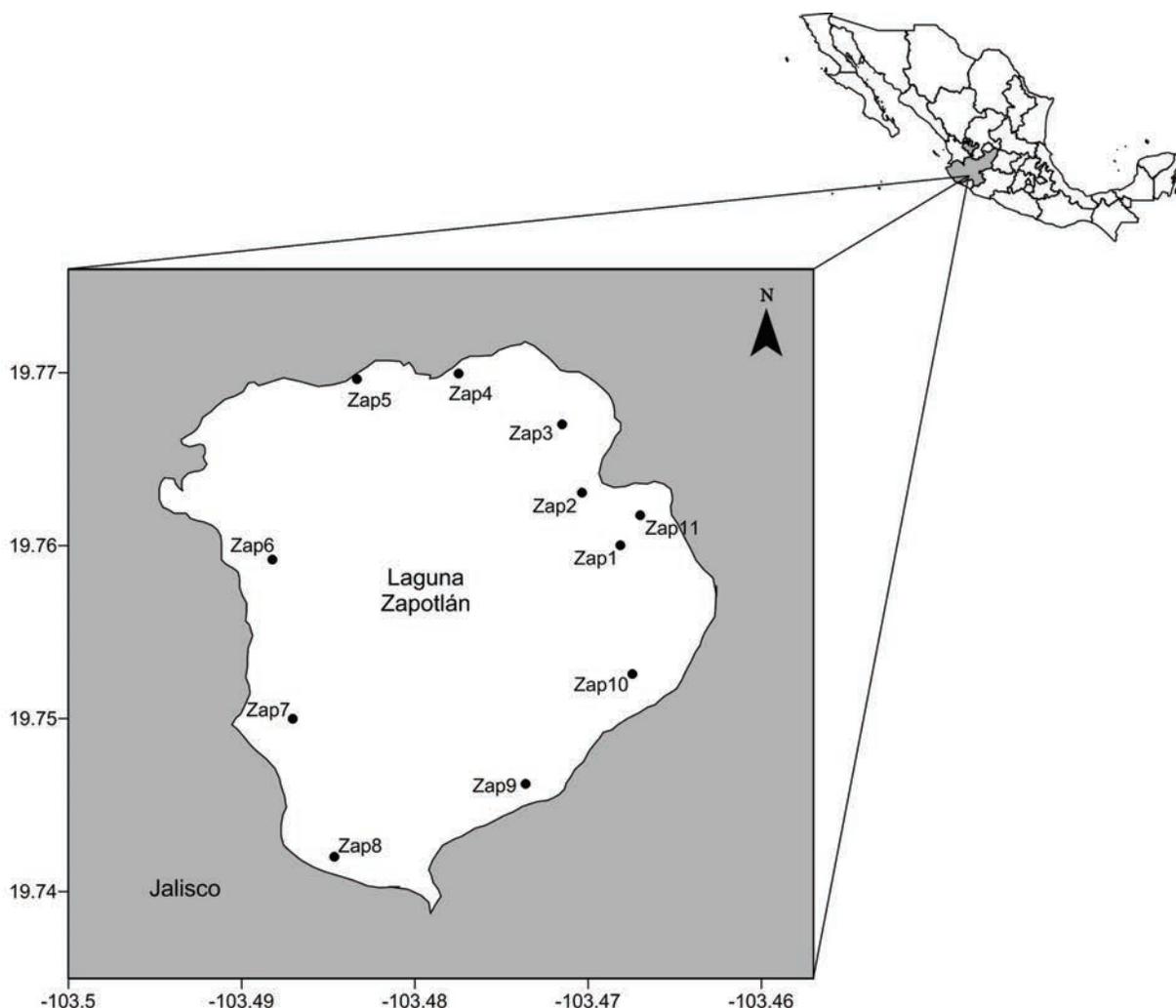


Fig. 1. Zona de estudio en la Laguna de Zapotlán El Grande, Jalisco.

procedentes de capturas comerciales en la Laguna de Zapotlán. Los datos biométricos fueron: la longitud total (cm) y la longitud patrón (cm), medidas con un ictiómetro; el peso total (g), obtenido con una balanza digital con capacidad de 2 000 g y con precisión de un gramo. También se determinaron los estadios de madurez gonádica (testículos y ovarios) con la escala de cinco categorías de Nikolsky (1950).

La captura de los organismos fue con redes agalleras de 3.5 plg de luz de malla, de los meses de enero a diciembre de 2010. Las capturas fueron geo-referenciadas con un GPS Magellan Explorer Platinum. En cada estación de muestreo se midieron: la profundidad (m), y los parámetros: temperatura, pH, oxígeno disuelto (DO), potencial de óxido-reducción (Redox), sólidos totales disueltos (STD); y conductividad, median-

te una sonda multiparámetros YSI-556, así como la transparencia mediante disco de Secchi, relacionándolos con los siete cuadrantes.

Para cada mes se estudiaron las relaciones peso-longitud para hembras y machos por medio de la ecuación potencial:

$$P_t = a L_t^b \quad \text{Ec. 1}$$

donde: P_t = peso total (g), L_t = longitud total (cm), a = constante de regresión y b = coeficiente de regresión (Da Costa y Gerson 2003).

El coeficiente b proporciona información acerca del tipo de crecimiento que exhibe la especie; si $b = 3$, el crecimiento es isométrico y cuando $b \neq 3$, es alométrico (Ricker 1975, Bagenal y Tesch 1978).

Adicional a lo anterior se realizó un análisis descriptivo de las diferentes variables, así como pruebas *t* de Student, ji-cuadrada y análisis de varianza para corroborar la significancia de las diferencias de los valores encontrados (Montgomery 2009).

El análisis multivariado y el de covarianza se realizaron considerando que se tienen tres tipos de variables de respuesta: mediciones de longitud (Y_1), longitud patrón (Y_2) y peso total (Y_3). Por otro lado, los factores de control de las mediciones: sexo (F_1) de tipo binaria; estadio de desarrollo (F_2), de tipo ordinal, se obtuvieron al clasificar la madurez gonádica en cinco categorías: 1, 2, 3, 4, 5; la zona de captura (F_3), categórica, con siete valores que indican zona de captura y el mes (F_4): enero (1), febrero (2), marzo (3), mayo (5), junio (6), julio (7) y noviembre (11). Además están las seis variables o parámetros para la calidad del agua, que se denotan como X_i .

Con las mediciones de 596 tilapias se hizo un análisis de componentes principales (ACP) para las tres variables de respuesta (Peña 2002). El análisis se hizo de las variables estandarizadas, cuyos valores se obtienen con la siguiente expresión:

$$Z_{ij} = [Y_{ij} - m(Y_j)]/S_j \quad \text{Ec. 2}$$

donde: Z_{ij} = es el valor estandarizado de la variable Y_j ($j = 1, 2, 3$) de los peces i , por lo que $i = 1, \dots, 596$, Y_{ij} = es el valor de la variable j del espécimen i , $m(Y_j)$ representa el promedio aritmético de la variable j y S_j = desviación estándar de la variable j considerando los 596 peces.

El primer componente principal es igual a la suma ponderada de las variables:

$$C_i = a_1 Z_{i1} + a_2 Z_{i2} + a_3 Z_{i3} \quad \text{Ec. 3}$$

donde: a_j = la carga o contribución de cada variable estandarizada al primer componente principal, considerando la j como cada variable. De esta manera, con C_i se tiene una variable de respuesta (un solo valor para cada espécimen, que sintetiza las tres variables de respuesta).

Para relacionar los tres tipos de variables en un mismo modelo se realizó un análisis de covarianza (ANCOVA), para explicar una respuesta C , en función de los factores controlados (F_k) y las variables regresoras (covariables) X (Montgo-

mery 2009). El modelo de ANCOVA se sintetiza con la siguiente expresión

$$C_i = \mu + \text{Efecto } (F_k) + \text{Efecto } (X_h) + e_i \quad \text{Ec. 4}$$

Donde: *Efecto* (F_k) = se considera en forma aditiva, el efecto de los cuatro factores controlados, junto con cuatro interacciones dobles; y en *Efecto* (X_h) se contempla el efecto aditivo de las seis variables físico-químicas de calidad del agua (Montgomery 2009).

Se calculó el índice o factor de condición (K) para machos y hembras según la ecuación:

$$K = 100(P/L_t^3) \quad \text{Ec. 5}$$

donde: P = peso total (g), L_t = longitud total (cm) (Bagenal y Tesch 1978). El factor de condición (K) expresa la relación volumétrica en función del peso, dicho factor puede indicar el estado de robustez y bienestar de los organismos, por lo que es útil para comparar y cuantificar numéricamente la condición o el estado en que el pez está y asociarse a una valoración de delgadez o gordura (Fica 2010).

Resultados

Relación peso-longitud

Se realizó la biometría de 596 tilapias: 156 hembras y 440 machos durante siete meses de un periodo anual. La longitud total osciló entre 20.0 y 28.6 cm (22.82 ± 1.31) en machos; y entre 20.0 y 28.0 cm (22.79 ± 1.32) en hembras. El peso total osciló de 130 a 314 g (202.4 ± 31.79) en machos y de 146 a 339 g (203.89 ± 32.43) en hembras.

Los parámetros estimados a , b y el coeficiente de determinación r^2 entre la longitud y el peso de machos y hembras por separado y ambos en cada mes se presentan en la *tabla 1*. Los valores variaron en la constante de proporcionalidad a en ambos géneros entre $a_{\text{máx}} = 0.534$ (julio) y $a_{\text{mín}} = 0.081$ (noviembre), con un valor promedio de $a = 0.2147 \pm 0.1547$. Los valores de la pendiente b para ambos se ubicaron entre 1.881 (julio) y 2.511 (noviembre), con promedio de 2.246 ± 0.209 ; los valores máximos y mínimos de a y b se corresponden con los mismos meses. El valor de

la constante de regresión (a) de las hembras por mes $a_{\text{máx}} = 1.881$ (febrero) y $a_{\text{mín}} = 0.09$ (mayo) y $b_{\text{máx}} = 2.449$ (marzo) y $b_{\text{mín}} = 1.479$ (febrero), en febrero se presenta una correspondencia cruzada con el máximo de a y el mínimo de b . Para los machos $a_{\text{máx}} = 0.447$ (junio), $a_{\text{mín}} = 0.04$ (noviembre) y $b_{\text{máx}} = 2.734$ (noviembre), $b_{\text{mín}} = 1.948$ (junio), existen correspondencias cruzadas en noviembre y junio.

La prueba t -Student con $p < 0.05$ comprobó la significancia del alejamiento de las b calculadas respecto de la constante isométrica teórica del modelo $b = 3$, en todos los casos $b < 3$, es decir todas las $b_{\text{calc}} \neq 3$ o alométrico negativo. Las mismas pruebas realizadas para datos de a y b calculados sobre la misma especie (Tabla 2) en diferentes localidades y circunstancias también demuestran diferencias significativas $p < 0.05$ en ambos parámetros para machos y hembras.

Proporción de sexos

De los 596 especímenes muestreados, la proporción sexual fue de 1.00:0.41 (macho:hembra). La distribución espacial de la proporción sexual de las capturas se mantuvo en las distintas zonas de la laguna y en el transcurso de los meses.

La relación hembra-macho observada durante los distintos meses (Tabla 3) muestra que la proporción no es uniforme a lo largo del tiempo. Una prueba ji-cuadrada corroboró la existencia de diferencias significativas de la proporción sexual a lo largo del tiempo ($p = 0.0007$) y que los recuentos al paso del tiempo no son

uniformes, aunque siempre predominaron los machos en las muestras, sus abundancias fueron muy variables con relación a las diferentes zonas y meses. Sin embargo, aun con toda esta variabilidad, se observan cambios importantes en la proporción entre los meses de febrero, marzo y mayo, en donde la relación macho:hembra llega a incrementarse en una relación de 4:3.

Madurez gonádica y factor de condición

Los estadios con mayor frecuencia de aparición en las muestras fueron I, II y III, que corresponden a una condición de maduración gonadal previa a la reproducción (pre-reproductivos), el estadio IV lo presentan los organismos en fase reproductiva y el V representa la fase post desove (post-reproductiva). Los organismos que exhiben la condición reproductiva, o estadio IV, se presentaron durante todos los muestreos; sin embargo, aparecen en mayor proporción modal en febrero y marzo y durante junio y julio, aunque en este último periodo se asocia con un notable incremento en la proporción modal del estadio V, es decir, con organismos que poseen gónadas en reposo o desovados (Fig. 2).

Las observaciones del factor de condición entre machos y hembras exhiben variaciones temporales importantes asociadas a la frecuencia de aparición de los estadios de madurez (Tabla 4). Se distingue una sincronía en el comportamiento temporal para ambos géneros, con dos tendencias crecientes y dos decrecientes, siendo

Tabla 1
Parámetros de la relación peso-longitud de *Oreochromis niloticus* por sexo y ambos sexos

| Mes | Hembras | | | | Machos | | | | Ambos | | | |
|-----------|---------|------|-------|-----|--------|------|-------|-----|-------|------|-------|-----|
| | a | b | r^2 | n | a | b | r^2 | n | a | b | r^2 | n |
| Enero | 0.46 | 1.96 | 0.57 | 25 | 0.21 | 2.20 | 0.67 | 88 | 0.25 | 2.15 | 0.65 | 113 |
| Febrero | 1.88 | 1.48 | 0.56 | 10 | 0.07 | 2.52 | 0.83 | 45 | 0.10 | 2.43 | 0.80 | 55 |
| Marzo | 0.10 | 2.45 | 0.73 | 19 | 0.21 | 2.20 | 0.78 | 73 | 0.17 | 2.26 | 0.76 | 92 |
| Mayo | 0.09 | 2.48 | 0.71 | 12 | 0.14 | 2.34 | 0.78 | 58 | 0.14 | 2.34 | 0.77 | 70 |
| Junio | 0.14 | 2.33 | 0.81 | 40 | 0.45 | 1.95 | 0.49 | 52 | 0.24 | 2.15 | 0.88 | 92 |
| Julio | 0.92 | 1.70 | 0.42 | 28 | 0.43 | 1.95 | 0.51 | 84 | 0.53 | 1.88 | 0.49 | 112 |
| Noviembre | 0.20 | 2.22 | 0.80 | 19 | 0.04 | 2.73 | 0.81 | 37 | 0.08 | 2.51 | 0.80 | 56 |
| Total | 0.25 | 2.15 | 0.66 | 153 | 0.16 | 2.27 | 0.68 | 437 | 0.18 | 2.24 | 0.68 | 590 |

Nota: a = constante de regresión, b = coeficiente de regresión, n = número de individuos, r^2 = coeficiente de regresión de la relación.

Tabla 2
Comparativo de los parámetros de la relación peso-longitud de *Oreochromis niloticus* en distintas localidades de México

| <i>a</i> | <i>b</i> | Sexo | Intervalo tallas(cm)/ Tipo de medición | <i>r</i> ² / <i>n</i> | Localidad/año | Referencia |
|----------|----------|---------|---|----------------------------------|--------------------------------------|--|
| — | 2.47 | Ambos | 9.0-16.5/Estándar | 0.946/1039 | Lago Coatetelco, Morelos/1993 | Gómez-Márquez <i>et al.</i> (2003) |
| 0.05 | 2.87 | Ambos | — / Estándar | —/— | Presa Infiernillo, Michoacán/2006 | Jiménez-Badillo (2006) |
| 0.12 | 2.47 | Ambos | — / Estándar | —/— | Lago Coatetelco, Morelos/2008 | Gómez-Márquez <i>et al.</i> (2008) |
| 0 | 3.07 | Ambos | — / Total | —/— | Presa Sanalona, Sinaloa/2010 | Beltrán-Álvarez <i>et al.</i> (2010) |
| 0.16 | 2.51 | Ambos | — / Estándar | —/— | Presa Aguamilpa, Nayarit/2010 | Peña Messina <i>et al.</i> (2010) |
| 0.14 | 2.56 | Machos | — / Estándar | —/— | Presa Aguamilpa, Nayarit/2010 | Peña Messina <i>et al.</i> (2010) |
| 0.21 | 2.43 | Hembras | — / Estándar | —/— | Presa Aguamilpa, Nayarit/2010 | Peña Messina <i>et al.</i> (2010) |
| 2.98 | 2.98 | Ambos | — / Estándar | —/— | Presa Zimapán, Hidalgo/2011 | Gómez Ponce <i>et al.</i> (2011) |
| 0.01 | 3.16 | Ambos | 2.0-18.5/Estándar | —/— | RAS experimental/2013 | Gullian-Klanian y Arámburu-Adame (2013) |
| 0 | 2.7 | Ambos | — / Total | —/— | Presa E. Buelna, Sinaloa/2014 | Beltrán-Álvarez <i>et al.</i> (2014) |
| 0 | 2.76 | Machos | — / Total | —/— | Presa E. Buelna, Sinaloa/2014 | Beltrán-Álvarez <i>et al.</i> (2014) |
| 0 | 2.71 | Hembras | — / Total | —/— | Presa E. Buelna, Sinaloa/2014 | Beltrán-Álvarez <i>et al.</i> (2014) |
| 0.21 | 2.25 | Ambos | — / Total | 0.677/536 | Laguna de Zapotlán/ | Este estudio |
| 0.22 | 2.27 | Machos | — / Total | 0.683/380 | Laguna de Zapotlán/ | Este estudio |
| 0.54 | 2.09 | Hembras | — / Total | 0.662/156 | Laguna de Zapotlán/ | Este Estudio |

julio el mes del valor más bajo (1.59) para hembras y febrero con 1.62 para machos (Tabla 3).

Parámetros ambientales

Los parámetros físico-químicos del agua promedio de todo el estudio fueron: temperatura 21.45 ± 2.33 °C; DO 7.1 ± 0.88 mg/l; pH 9.3 ± 0.23; STD 0.64 ± 0.043 mg/l; Redox -20.95 ± 14.28 mV y Salinidad 0.49 ± 0.03 g/l (Tabla 5). La comparación espacial de los parámetros ambientales por medio del análisis de varianza entre zonas demostró que existen diferencias significativas (*p*<0.05) entre la parte suroriental para la temperatura y los niveles de oxígeno más altos y más bajos de ambos parámetros, respectivamente. La variación mensual exhibe también diferencias significativas en oxígeno disuelto durante enero, marzo y mayo; y de la temperatura en junio, julio

y enero, que a su vez muestran evidencias también de cierto grado de correlación negativa.

Análisis de componentes principales y de covarianza

El primer componente principal explica 85.1% de la variabilidad en las biometrías de los peces, y éste viene dado por la ecuación:

$$C = 0.587 \cdot LT + 0.585 \cdot LP + 0.560 \cdot P \quad \text{Ec. 5}$$

donde: *C* = el componente principal uno, *LT* = longitud total y *LP* = longitud patrón y *P* = peso de los individuos; estas tres en unidades estandarizadas. Dado el valor de los coeficientes de la anterior ecuación, es claro que el primer componente principal *C*, representa la dimensión física (global) de las tilapias, es decir, que valores grandes de *C* corresponderán a aquellos peces

Tabla 3
Factor de condición de hembras y machos de *Oreochromis niloticus* y proporción de sexos

| Mes | Sexo | Factor de condición | Relación M/H |
|-----------|--------|---------------------|--------------|
| Enero | Hembra | 1.82 ± 0.15 | 03:05 |
| | Macho | 1.76 ± 0.15 | |
| Febrero | Hembra | 1.68 ± 0.13 | 04:05 |
| | Macho | 1.63 ± 0.13 | |
| Marzo | Hembra | 1.73 ± 0.16 | 01:03 |
| | Macho | 1.69 ± 0.13 | |
| Mayo | Hembra | 1.79 ± 0.15 | 03:01 |
| | Macho | 1.72 ± 0.18 | |
| Junio | Hembra | 1.71 ± 0.15 | 04:08 |
| | Macho | 1.65 ± 0.19 | |
| Julio | Hembra | 1.59 ± 0.16 | 03:08 |
| | Macho | 1.65 ± 0.18 | |
| Noviembre | Hembra | 1.75 ± 0.16 | 01:09 |
| | Macho | 1.77 ± 0.13 | |

que son largos, tanto en la longitud patrón como en la total, y que, además, tienen mucho peso. En cierta forma, *C* corresponde a una especie de volumen.

En el análisis de covarianza se utilizó la dimensión *C* de cada individuo, como variable dependiente extraída a partir del ACP; mientras que sexo, estadio, zona y mes como factores (F_j) y como covariables (X_h): temperatura, oxígeno

Tabla 4
Relación factor de condición madurez gonádica

| Estadio | Sexo | N | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típ. |
|---------|------|-----|--------|--------|-------|------------|
| 1 | H | 15 | 1.41 | 1.92 | 1.68 | 0.15 |
| | M | 112 | 1.29 | 2.18 | 1.74 | 0.15 |
| 2 | H | 24 | 1.46 | 2.04 | 1.76 | 0.17 |
| | M | 134 | 0.87 | 2.07 | 1.73 | 0.15 |
| 3 | H | 48 | 1.48 | 2.12 | 1.80 | 0.14 |
| | M | 111 | 1.31 | 2.18 | 1.70 | 0.16 |
| 4 | H | 27 | 1.30 | 2.00 | 1.70 | 0.17 |
| | M | 43 | 1.23 | 1.92 | 1.59 | 0.15 |
| 5 | H | 42 | 1.29 | 1.86 | 1.62 | 0.15 |
| | M | 40 | 1.26 | 2.02 | 1.60 | 0.20 |

disuelto, pH, salinidad, sólidos disueltos totales, potencial óxido-reducción (Redox). El resumen del ANCOVA se muestra en la *tabla 6* y sólo se muestran las covariables con efecto significativo en el componente principal *C*.

El análisis de covarianza confirma que la dimensión física o morfológica de los peces representada por *C* está determinada y experimenta cambios significativos ($p < 0.0001$) por los efectos principales, B: estadio, C: zona y D: mes, así como que no hay diferencia en la comparación del factor A: sexo (Fig. 3), de igual manera las covariables oxígeno disuelto y redox ($p < 0.01$) hacen variar las dimensiones de los peces representadas por *C*.

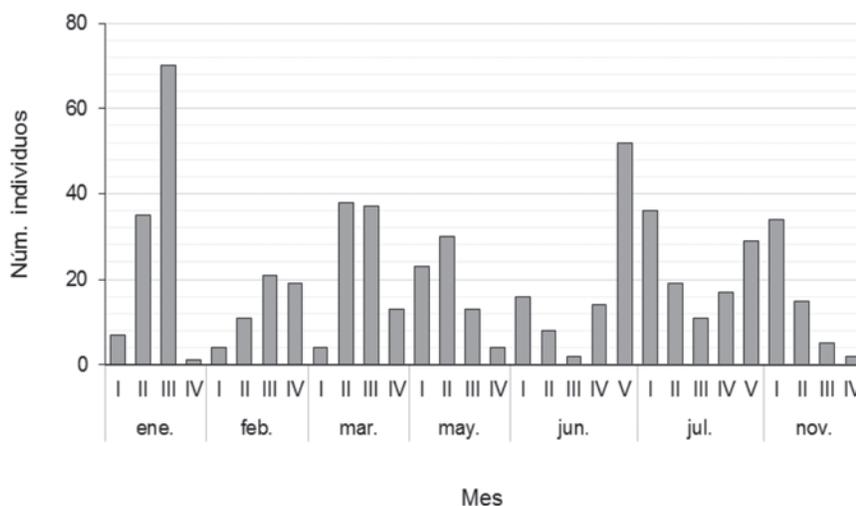


Fig. 2. Madurez gonádica mensual de *Oreochromis niloticus*.

Tabla 5
Parámetros promedio físico-químicos del agua por zonas de la Laguna de Zapotlán, El Grande, Jalisco

| Zona | Temperatura (°C) | Oxígeno disuelto (mg/l) | pH (H ⁺) | Salinidad (g/L) | Sólidos totales disueltos (dts) (mg/l) | Potencial redox por (mv) |
|----------------|------------------|-------------------------|----------------------|-----------------|--|--------------------------|
| Oriental | 21.36 | 6.06 | 9.35 | 0.49 | 0.65 | -2.99 |
| Suroriental | 22.35 | 6.33 | 9.32 | 0.48 | 0.64 | -13.13 |
| Noroccidental | 21.80 | 6.68 | 9.23 | 0.48 | 0.63 | -25.03 |
| Norte | 20.86 | 6.11 | 9.26 | 0.48 | 0.64 | -28.94 |
| Sur | 20.59 | 8.44 | 9.31 | 0.49 | 0.64 | -29.80 |
| Occidental | 21.78 | 7.89 | 9.32 | 0.49 | 0.65 | -20.54 |
| Sur-occidental | 21.46 | 8.21 | 9.34 | 0.50 | 0.65 | -26.21 |

Tabla 6
Resumen de resultados del análisis de covarianza para la dimensión física de *Oreochromis niloticus*

| Fuente | Suma de cuadrados | gl | Cuadrado medio | Razón-f | Valor-p |
|----------------------------|-------------------|-----|----------------|---------|---------|
| Covariables | | | | | |
| Oxígeno Disuelto | 12.508 | 1 | 12.508 | 5.77 | 0.0167 |
| Potencial Redox | 23.769 | 1 | 23.769 | 10.96 | 0.0010 |
| Efectos principales | | | | | |
| A:Sexo | 2.1348 | 1 | 2.135 | 0.98 | 0.3216 |
| B:Estadio | 46.672 | 4 | 11.668 | 5.38 | 0.0003 |
| C:Zona | 71.560 | 6 | 11.927 | 5.50 | 0.0000 |
| D:Mes | 93.307 | 6 | 15.551 | 7.17 | 0.0000 |
| Residual | 1 249.360 | 577 | 2.1690 | | |
| Total | 1 518.950 | 596 | | | |

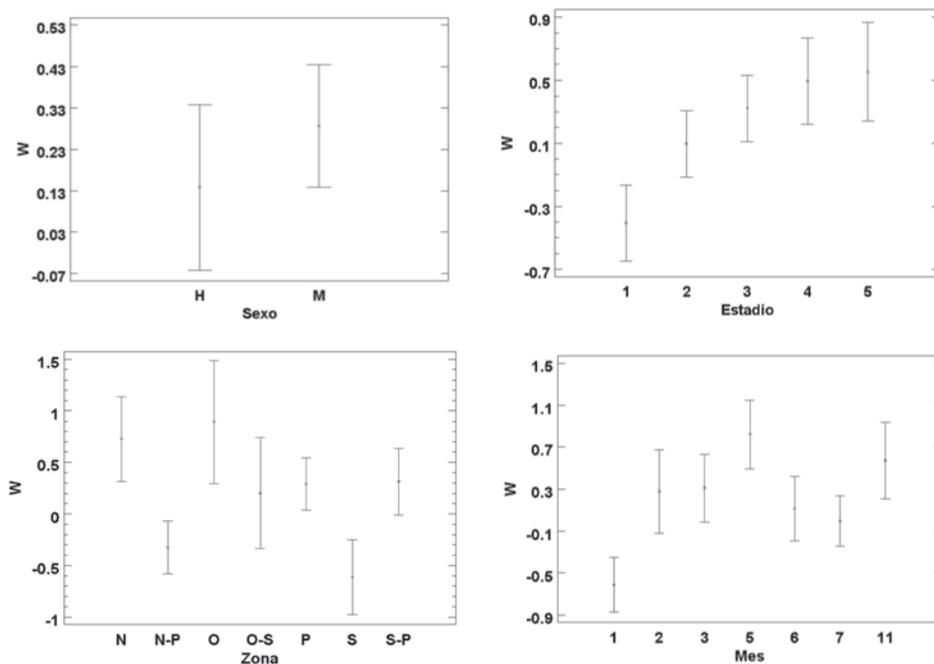


Fig. 3. Comparación de medias en el ANCOVA para efectos principales de los factores de control sobre el primer componente principal ($W = C =$ dimensión morfológica) de *Oreochromis niloticus*, con intervalos LSD.

Discusión

El crecimiento puede definirse como el cambio de peso en función del tiempo, que resulta de dos procesos: el aumento de la talla o volumen corporal (anabolismo) y su disminución (catabolismo). El resultado de estos dos procesos antagónicos se detiene en donde el catabolismo es igual al anabolismo. De esta manera, en organismos acuáticos que en su mayoría son ectotermos y en particular para los peces, el catabolismo es proporcional al peso del pez y éste a su talla, mientras que el anabolismo será proporcional a su alimentación y su tasa respiratoria, es decir, a su consumo tanto de alimento como de oxígeno para su funcionamiento fisiológico individual (Gillooly *et al.* 2001, Brown *et al.* 2004, Anderson-Teixeira *et al.* 2009).

A partir de estas premisas y de acuerdo con el ANCOVA realizado, la diferencia promedio observada en cuanto a la variable dimensión global, obtenida con el primer componente principal C , a partir de las variables longitud total, longitud patrón y peso, respecto del efecto entre hembras y machos, no fue significativa.

El estadio de desarrollo gonadal muestra una tendencia creciente respecto a C , lo que indica que a mayor talla, los peces, en función del tiempo, van adquiriendo mayor dimensión y desarrollando mejor su capacidad reproductiva. En referencia al efecto zona de la laguna (Fig. 1), se muestra que los peces con mayores dimensiones se localizaron en las áreas norte, oriente, poniente y sur-poniente; y las menores en el nor-poniente y en el sur, y en el oriente-sur están los intermedios. En otras palabras, los individuos de mayor tamaño se establecerán y serán más abundantes en ambientes más favorables con alto contenido en oxígeno, a pesar de que la especie está adaptada a condiciones adversas (Castillo 2011⁵).

Las tallas mínimas y estadios de madurez gonadal encontrados permiten suponer que las muestras estuvieron compuestas de individuos adultos; la tilapia madura con la edad y no con el

peso o talla. Es normal ver una hembra o un macho de tres meses y con un peso inferior a 6 g en capacidad de reproducirse (Castillo 2011⁵). Diversos autores, como Saavedra (2006⁶), afirman que hasta los peces raquíticos y con evidencias de enanismo pueden criar desde que alcanzan una longitud total de 6-7 cm, que corresponde a una edad de poco más de dos meses; y dadas las altas variaciones y los bajos coeficientes de regresión de la relación peso-longitud determinadas, existe la posibilidad de que los peces capturados para este estudio, sin ser específicos podrían encontrarse en cualquiera de estas dos condiciones.

La homogeneidad encontrada en las tallas mínimas de 20 cm L_t para ambos sexos, se puede explicar por la selectividad que determina la luz de malla de 8.89 cm de la red de enmalle empleada. Simultáneamente, esta selectividad debiera de capturar machos y hembras indistintamente con la misma probabilidad; sin embargo, como prevalecieron diferencias significativas en los recuentos de machos y hembras en los diferentes meses de muestreo, sugiere una población sesgada a la masculinización.

Se discute que en la mayoría de las especies de peces, las hembras presentan un mejor desempeño fisiológico con relación al macho, pero sucede lo inverso con las tilapias. En las hembras, la energía es utilizada para la reproducción y no para el crecimiento, y por ello los machos crecen más que las hembras, así, llegan a alcanzar un peso de 30% a 50% mayor en confinamiento (Popma y Lovshin 1994). Esto es consistente con la exploración de los valores promedio calculados para la especie en diferentes sitios y tiempos en que se tomaron las muestras en el medio natural que demuestran diferencias estadísticamente significativas $p < 0.05$ respecto de los coeficientes de regresión a y b calculados para otras poblaciones de la misma especie (Tabla 2). Sin embargo, se debe notar que la especie exhibe una amplia variación en los valores de los parámetros a y b , en relación con otras áreas geográficas.

5. Castillo C. 2011. Tilapia roja. Una evolución de 29 años, de la incertidumbre al éxito. <http://es.slideshare.net/ginosmit/tilapia-roja-2011> consultado: 15 enero 2015.

6. Saavedra MA. 2006. Manejo del cultivo de Tilapia. <http://www.crc.uri.edu/download/MANEJO-DEL-CULTIVO-DE-TILAPIA-CIDEA.pdf> consultado: 29 junio 2015.

Al respecto, Beverton y Holt (1957) sugieren que el valor teórico de b del modelo potencial de regresión peso-longitud en peces, es casi siempre cercano a tres, entonces la talla al cubo como constante será el peso (Gayanilo y Pauly 1997). Gillooly *et al.* (2001) indican que el valor de $b = 3$ no puede ser exacto en peces y pudiera variar de 2.5 a 3.5, ya que las relaciones peso-longitud son altamente variables puesto que el crecimiento y la condición de los peces no sólo dependen de su carga genética, sino de los múltiples factores ambientales (Gayanilo y Pauly 1997) que modifican las variables somáticas dependientes del crecimiento tales como: talla, peso, condición reproductiva y algunos otros índices que determinan la salud de la población (Olurin y Aderibigbe 2006).

Los valores de b de la relación peso-longitud estimados, por consecuencia, tallas, pesos, factor de condición entre machos y hembras, exhiben diferencias significativas en la variación temporal para la población de *O. niloticus* de la Laguna de Zapotlán. Los estadios de madurez gonadal y las variaciones importantes en la proporción sexual de las tilapias en el embalse se corresponden con los meses de febrero, marzo y mayo, cuando la relación de macho:hembra llega a incrementarse en una relación 4.3:1.0, lo que permite suponer que es durante este periodo cuando se presenta el pulso reproductivo de la especie, que concuerda con estudios realizados en su área original de distribución (Gomez-Galindo 2009⁷). Lo anterior puede deberse a que la población de *O. niloticus*, en la Laguna de Zapotlán, conserva las características reproductivas originales determinadas por su genética, es decir: son polígamos e incubadoras bucales maternas, que se reproducen todo el año, pero que presentan alta frecuencia de reproductores de febrero a julio. Esto corresponde a la temporada de mayor reproducción, cuando las hembras permanecen en el nido, mientras los machos son más activos y, por ello, la probabilidad de ser capturados por las redes es mayor (FAO 2003).

En la *tabla 2* se puede ver que en varios meses, los valores de b de la ecuación potencial son significativamente menores que tres; lo que sugiere que la población de tilapias de la Laguna de Zapotlán tiene señales de delgadez, que significarían indicios de desnutrición e incluso enanismo. Aunque esto habría que corroborarlo con estudios más específicos. La mejor condición para ello es cuando se presentan los valores mayores de b en la relación peso-longitud, como sinónimo de crecimiento, y éste se relaciona con la primavera y el otoño. Durante mayo y junio se presentaron los valores más bajos del factor de condición, que coincide, en general, con el principal pulso reproductivo de la especie en la zona de estudio y es cuando debe existir una demanda importante de energía y oxígeno y, por ende, deterioro en la condición de los organismos. Esto es particularmente importante para las hembras desovantes o grávidas.

Las tilapias son altamente tolerantes a ambientes hipóxicos, debido a que presentan un tipo de hemoglobina, con alta afinidad para atrapar el oxígeno del agua (Verheyen *et al.* 1994) y, por el otro, a la conducta para atrapar el oxígeno atmosférico por sus bocas. En este sentido, la tolerancia a concentraciones bajas de oxígeno es mayor en *O. niloticus* que en *O. mossambicus* (Peters 1852), ya que poseen una estructura branquial diferente (mayor tamaño, gran número de filamentos y alta frecuencia de las laminillas secundarias) que les permite mayor eficiencia en el intercambio de este gas limitante en ambientes hipo o anóxicos de hasta de $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ y con altas cargas orgánicas (Welcomme 1969, Fernandes y Rantin 1986). Sin embargo, aunque los organismos de *O. niloticus* son más tolerantes incluso con bajas concentraciones de oxígeno disuelto, la exposición prolongada a estas condiciones reduce su crecimiento (Rappaport *et al.* 1976, Chervinski 1982), situación de estrés, que pudiera traducirse en alta mortalidad o a inducir la reproducción a edades tempranas, producto de la competencia intraespecífica. El alto cuidado parental se traduce en altas densidades y conlleva al enanismo como mecanismo de supervivencia en algunas poblaciones (Coche 1982, De Silva *et al.* 2004).

En la zona sur se descargan aguas residuales de Ciudad Guzmán –aproximadamente

7. Gómez-Galindo C. 2009. Estudio socioeconómico, biológico-pesquero y plan de manejo del embalse "Laguna Zapotlán", Municipio de Ciudad Guzmán, Jalisco. Acuantiterraciones A.C. Consultores.

$300 \text{ l} \cdot \text{seg}^{-1}$, y en el norte recibe las descargas de San Sebastián y San Andrés, con un tratamiento incipiente. La zona sur presentó la temperatura promedio más baja pero el oxígeno alto, la oriente fue más profunda con temperatura alta y oxígeno bajo y el norte es somero con temperatura alta y oxígeno bajo.

Los eventos reproductivos de las tilapias, en particular, y de los organismos acuáticos, en general, están influenciados por condiciones ambientales como temperatura, oxígeno disuelto, cantidad y calidad de alimento (James y Bruton 1992, García-García *et al.* 2001), por lo que las situaciones de estrés térmico o hipóxico, que son provocadas por altas cargas orgánicas que se depositan y abaten la concentración de oxígeno disuelto y la variación del nivel del agua en la laguna (Bruton y Allanson 1974), explica las variaciones encontradas en el factor de condición como resultado de estas variaciones, ya que este factor se relaciona con el peso y la longitud en su carácter potencial.

El patrón de variación espacio temporal del factor de condición en la Laguna de Zapotlán, sugiere que la población de tilapias se alimenta más activamente durante la primavera, y es durante este periodo cuando el crecimiento es más intenso y se refleja en los valores de b de las relaciones peso-longitud. En otros estudios sobre organismos confinados de *O. niloticus*, el valor del coeficiente de regresión obtenido de la relación peso-longitud más altos para los machos fue de 3.14, mientras que 2.90 en hembras y con ambos sexos de 3.10, sin haber diferencias significativas entre machos y hembras. Olurin y Aderibigbe (2006) reportan valores bajos del factor de condición tanto para machos como para hembras (1.14 y 1.08 respectivamente); para ambos sexos se han reportado valores de 1.11, por lo que se les puede considerar sanos. En contraste con los valores encontrados en otros sitios por diferentes autores (Tabla 2), el valor de la b estimada para *O. niloticus* en este estudio para la Laguna de Zapotlán para ambos sexos fue de 2.313.

Se ha documentado que *O. niloticus* en su fase adulta se desempeña como fitoplanctívora, o que ante la escasez de alimento adoptan un régimen detritívoro (Benemann *et al.* 2002⁸), por

lo que como todos los peces detritívoros, tienen alta capacidad de conversión de la biomasa de algas a sólidos sedimentables (heces y pseudo-heces). Así, las tilapias podrían contribuir de manera importante al reciclaje del carbono, nitrógeno y fósforo de los sedimentos en lagos someros a compuestos mejor biodisponibles para el fitoplancton (Gillooly *et al.* 2001, Brown *et al.* 2004, Anderson-Teixeira *et al.* 2009).

El transporte particular, horizontal y vertical, así como el reciclado de nutrientes, como carbono, nitrógeno y fósforo, los hace disponibles por medio de redes tróficas y esto tiene efectos directos e indirectos que influyen en la estructura trófica de la laguna. Se discute que los efectos mencionados pueden ser particularmente intensos en lagos someros tropicales, como el del presente estudio, por lo que la presencia de peces omnívoros y detritívoros en estos ambientes se asocia a cambios relacionados con la eutrofización. En lagos someros, los mecanismos del fondo hacia arriba (*Bottom-Up*) suelen ser determinantes, por lo que los peces y la vegetación sumergida son factores clave en el mantenimiento de la transparencia y la calidad del agua en ambientes tanto tropicales como templados (Blanco *et al.* 2003, Higgins *et al.* 2006).

Por su capacidad detritívora, las tilapias negra *O. niloticus* y roja *O. aureus* (Steindachner 1864), se han utilizado en pruebas de restauración de cuerpos de agua eutrofizados por descargas directas de aguas residuales. En condiciones experimentales, se ha encontrado que después de siete días pueden reducir las concentraciones de amoníaco, nitrito, demanda bioquímica de oxígeno, oxígeno disuelto, clorofila-*a*, temperatura y pH en el agua, aunque incrementan los nitratos, orto-fosfatos, transparencia y alcalinidad, por lo que como todos los peces detritívoros, tienen alta capacidad de conversión de la biomasa de algas a sólidos sedimentables (heces y pseudo-heces) (Benemann *et al.* 2002⁸) de tal forma, la renovación del *pool* genético de la

8. Benemann JR, JC Van Olst, MJ Massingill, JC Weissman y DE Brune. 2002. The controlled eutrophication process: Using microalgae for CO₂ utilization and agricultural fertilizer recycling. www.globalbioenergy.org/2Fuploads/2Fmedia/2F0208_Benemann_et_al_-_algae_salton_sea.pdf [Consultado: 21 de septiembre de 2014].

población podría ser una buena medida para la restauración de la Laguna de Zapotlán, ante las impresionantes cargas orgánicas directas que ahí desembocan.

Conclusiones

- Las diferencias encontradas en la temperatura, el oxígeno disuelto y el potencial redox, permiten suponer que existen zonas dentro de la laguna y temporadas tanto favorables como desfavorables para el crecimiento y la reproducción de las tilapias, ya que aunque son euritéricas y tolerantes a niveles bajos de oxígeno disuelto, y que pueden utilizar el oxígeno atmosférico, cuando caen los niveles de oxígeno del agua, estas condiciones de estrés ambiental modifican su conducta y su fisiología.
- Estas variaciones impulsan un efecto dinámico en la población de tilapias en la Laguna Zapotlán, que las áreas con menor temperatura, son áreas con mayor oxígeno disuelto y, por ende, evidencian una mejor condición de la población que se traduce en mayores peso y longitud, ya que el aumento de la temperatura acelera la velocidad de las reacciones bioquímicas, y las tasas biológicas también aumentan con la temperatura y la disminución en la concentración de oxígeno, al menos hasta el límite superior de tolerancia para estos organismos.

Literatura citada

Anderson-Teixeira KJ, VM Savage, AP Allen y JF Gillooly. 2009. Allometry and metabolic scaling in ecology. *En: Encyclopedia of life sciences (ELS)*. John Wiley & Sons, Chichester, UK. doi:10.1002/9780470015902.a0021222.

Araújo FG. 1998. Adaptation of the index of biotic integrity base on fish assemblages in the Paraíba do Sul River, RJ, Brazil. *Revista Brasileira de Biología* 58(4): 547-558.

Bagenal B y F Tesch 1978. Age and growth. *En: TB Bagenal (ed.). Methods for assessment of fish production in freshwaters*. IBP Handbook No. 3. Oxford: Blackwell Scientific publication, pp: 101-136.

Beltrán-Álvarez R, J Sánchez-Palacios, GL Valdez y AA Ortega-Salas. 2010. Edad y crecimiento de la mojarra *Oreochromis aureus* (Pisces: Cichlidae) en la Presa Sanalona, Sinaloa, México. *Revista de Biología Tropical* 58(1): 325-338.

Beltrán-Álvarez R, J Sánchez-Palacios, JP Ramírez-Lozano y JA Santiago-Amaya. 2014. Edad y crecimiento de la tilapia *Oreochromis aureus* (Cichlidae) en el embalse Eustaquio Buelna, Sinaloa, México. *Ciencia Pesquera* 22(2): 37-46.

Beverton RJH y SJ Holt. 1957. On the dynamics of exploited fish populations. *Fish. Invest. Minist. Agric. Fish. Food G.B. (2 Sea Fisheries)* 19: 533.

Blanco S, S Romo, MJ Villena y S Martínez S. 2003. Fish communities and food webs in some shallow Mediterranean lakes. *Hydrobiologia* (506-509): 473-480.

Brown JH, JF Gillooly, AP Allen, VM Savage y GB West. 2004. Toward a metabolic theory of ecology. *The Ecological Society of America* 85(7): 1771-1789.

Bruton MN y BR Allanson. 1974. The growth of *Tilapia mossambica* Peters (Pisces: Cichlidae) in Lake Sibaya, South Africa. *Journal of Fish Biology* 6(6): 701-715.

Castillo F. 2003. Modelo de desarrollo del cultivo de Tilapia en América Latina: Perspectivas. Memorias de la reunión nacional de tilapia. *Instituto Nacional de la Pesca*. 19-21 de marzo del 2003. México.

Chervinski J. 1982. Environmental physiology of tilapias. *En: RSV Pullin y RH Lowe-McConnell (eds.). The biology and culture of Tilapias*. ICLARM Conference Proceedings, vol. 7. International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines, pp: 119-128.

Coche AG. 1982. Cage culture of tilapias. *En: RSV Pullin y RH Lowe-McConnell (eds.). The biology and culture of Tilapia*. ICLARM Conference Proceedings, vol. 7. International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines, pp: 205-246.

Contreras-Balderas S, ML Lozano-Vilano y ME García-Ramírez. 2005. Index of biological integrity, historical version, of the lower Rio Nazas, Coahuila, Mexico. *En: J Rinne, RM Hughes y B Calamusso (eds.). Historical changes in large river fish assemblages*. American Fisheries Society, EU, pp: 225-237.

Da Costa MR y F Gerson. 2003. Length-weight relationship and condition factor of *Micropogonias furnieri* (Desmarest) (Perciformes, Sciaenidae) in the Sepetibia Bay, Rio de Janeiro State, Brazil. *Revista Brasileira de Zoología* 20(4): 685-690.

- De Silva SS, RP Subasinghe, DM Bartley y A Lowther. 2004. Tilapias as alien aquatics in Asia and the Pacific: A review. *FAO Fisheries Technical Paper* 453:65.
- FAO 2003. *El papel de la acuicultura en la mejora de la seguridad alimentaria y la nutrición*. Comité de Seguridad Alimentaria Mundial, 29º periodo de sesiones. Roma 12 al 14 de mayo 2003.
- Fica J. 2010. Efecto de la temperatura y la calidad de la dieta en la retención de nutrientes del salmón del Atlántico. Tesis de Doctorado. Universidad Austral de Chile. 39p.
- Fernandes MN y FT Rantin. 1986. Gill morphometry of cichlid fish, *Oreochromis (Sarotherodon) niloticus* (Pisces, Teleostei). *Ciência e Cultura* 38(1): 192-198.
- García-García B, MA Egea, FM Rueda, MD Hernández, F Aguado y F Faraco. 2001. Influencia del peso y la alimentación sobre el consumo de oxígeno en el sargo picudo (*Puntazzo puntazzo* Gmelin 1789) en cultivo. *Monografías del Instituto Canario de Ciencias Marinas* 4: 397- 402.
- Gayanilo FC JR y D Pauly (eds.). 1997. *FAO-ICLARM stock assessment tools (FISAT): Reference manual*. FAO computerized information series (Fisheries) No. 8. Rome. 262p.
- Gillooly JF, JH Brown, GB West, VM Savage y EL Charnov. 2001. Effects of size and temperature on metabolic rate. *Science* 293(5538): 2248-2251.
- Gómez-Márquez JL, B Peña-Mendoza, IH Salgado-Ugarte y M Guzmán-Arroyo. 2003. Reproductive aspects of *Oreochromis niloticus* (Perciformes: Cichlidae) at Coatetelco lake, Morelos, Mexico. *Revista de Biología Tropical* 51(1): 221-228.
- Gómez-Márquez JL, B Peña-Mendoza, IH Salgado-Ugarte y JL Arredondo-Figueroa. 2008. Age and growth of the tilapia, *Oreochromis niloticus* (Perciformes: Cichlidae) from a tropical shallow lake in Mexico. *Revista de Biología Tropical* 56(2): 875-884.
- Gómez-Ponce MA, K Granados-Flores, C Padilla, M López-Hernández y G Núñez-Nogueira. 2011. Edad y crecimiento del híbrido de tilapia *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* (Perciformes: Cichlidae) en la represa "Zimapán" Hidalgo, México. *Revista de Biología Tropical* 59(2): 761-770.
- González R, O Romero y M Valdivié. 2009. Evaluación de la calidad del agua y su influencia en el cultivo de la tilapia. *Agro y Veterinaria*. Revista electrónica disponible en: <http://www.vet-uy.com/articulos/piscicultura/050/020/pec020.htm>
- Gullian-Klanian M y C Arámburu-Adame. 2013 Performance of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fingerlings in a hyper-intensive recirculating aquaculture system with low water exchange Latin America. *Journal of Aquatic Research* 41(1): 150-162.
- Higgins KA, MJ Vanni y MJ González. 2006. Detritivory and the stoichiometry of nutrient cycling by a dominant fish species in lakes of varying productivity. *Oikos* 114: 419-430.
- James NPE y MN Bruton. 1992. Alternative life-history traits associated with reproduction in *Oreochromis mossambicus* (Pisces: Cichlidae) in small water bodies of the Eastern Cape, South Africa. *Environmental Biology of Fishes* 34: 379-392.
- Jiménez-Badillo L. 2006. Age-growth models for tilapia *Oreochromis aureus* (Perciformes, Cichlidae) of the Infiernillo reservoir, Mexico and reproductive behavior. *Revista de Biología Tropical* 54(2): 577-588.
- Karr JR. 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries* 6: 21-27.
- Menni RC, SE Gómez y F López Armengol. 1996. Subtle relationships: freshwater fishes and water chemistry in southern South America. *Hydrobiologia* 328: 173-197.
- Minns KC, VW Cairns, RG Randall y JE Moore. 1994. An index of biotic integrity (IBI) for fish assemblages in the littoral zone of Great Lakes' areas of concern. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 51(8): 1804-1822.
- Montgomery DC. 2009. *Design and analysis of experiments*. Wiley & Sons, Inc. EU. 661p.
- Nikolsky GV. 1950. *The particular ichthyology*. Moscow Soviet Science. 439p.
- Olurin KB y OA Aderibigbe. 2006. Length-weight relationship and condition factor of pond reared juvenile *Oreochromis niloticus*. *World Journal of Zoology* 1(2): 82-85.
- Peña D. 2002. *Análisis de datos multivariantes*. Madrid. McGraw-Hill. 515p.
- Peña-Messina E, R Tapia-Varela, JI Velázquez-Abunader, AA Orbe-Mendoza y JMJ Ruiz-Velazco-Arce. 2010. Growth, mortality and reproduction of the blue tilapia *Oreochromis aureus* (Perciformes: Cichlidae) in the Aguamilpa Reservoir, Mexico. *Revista de Biología Tropical* 58(4): 1577-1586.
- Popma J y L Lovshin. 1994. *Worldwide prospects for commercial production of tilapia*. Research and Development Series 41, International Center for Aquaculture and Aquatic Environments, Department of Fisheries and Allied Aquacultures, Auburn University, Alabama 36849, EU.

- Rappaport A, S Sarig y M Marek. 1976. Results of tests of various aeration systems on the oxygen regime in Genosar experimental ponds and growth of fish there in 1975. *Bamidgeh* 28: 35-49.
- Ricker WE. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada* 191: 1-382.
- Verheyen E, R Blust y W Declair. 1994. Metabolic rate, hypoxia tolerance and aquatic surface respiration of some lacustrine and riverine African cichlid fishes (Pisces: Cichlidae). *Comparative Biochemistry and Physiology* 107A(2): 403-411.
- Welcomme RL. 1969. The biology and ecology of the fishes of a small tropical stream. *Journal of Zoology, London* 158: 485-529.
- Wohlfarth GW, S Rothbard, G Hulata y D Szweigman. 1990. Inheritance of red body coloration in Taiwanese tilapias and in *Oreochromis mossambicus*. *Aquaculture* 84: 219-234.

Recibido: 12 de enero de 2015.

Aceptado: 27 de octubre de 2015.