



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE
HIDALGO

FACULTAD DE BIOLOGÍA

Programa Institucional de Maestría en Ciencias
Biológicas



ÁREA TEMÁTICA EN ECOLOGÍA Y CONSERVACIÓN

**Efecto de tres temperaturas y dos fotoperíodos en crecimiento y éxito
reproductivo de *Xenotoca eiseni* (Rutter 1896)**

TESIS

QUE PRESENTA

BIOL. MARCO VINICIO PITA ZAMUDIO

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

DIRECTORA DE TESIS
DRA. REBECA ANELI RUEDA JASSO

MORELIA MICHOACÁN, ABRIL 2011

DEDICATORIA

Este logro se lo dedico con todo mi cariño a las personas más importantes de mi vida, mi madre Silvia Martha Zamudio Ley, su esposo, Karsten Pruess, y mi pareja Reyna Bedolla Medrano.

AGRADECIMIENTOS

Con admiración y respeto a mis tutores: Dr. Rodolfo Cárdenas Reygadas, Dr. Cristian Martínez Chávez, Dr. Jorge Fonseca Madrigal, Dr. Antonio Campos Mendoza y en especial a mi directora de tesis la Dra. Rebeca Aneli Rueda Jasso, por todo el trabajo y el apoyo brindado para la desarrollo de esta investigación.

A mis colaboradores del laboratorio, Alejandra, Beatriz, Mónica, Mary, Isabel, Diego, Cesar, muchas gracias por su apoyo.

A la familia Bedolla Medrano por su apoyo incondicional hacia mi persona.

A las Instituciones Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología.

Y finalmente a todas las personas que aportaron algo de manera directa o indirecta a esta investigación.

INDICE

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTOS.....	II
INDICE.....	III
FIGURAS Y TABLAS.....	IV
RESUMEN.....	V
INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES.....	3
REPRODUCCIÓN.....	3
LA INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL CRECIMIENTO Y LA REPRODUCCIÓN.....	4
EL FOTOPERÍODO.....	7
ESTRÉS EN PECES.....	12
PECES VIVÍPAROS.....	14
LA FAMILIA GOODEIDAE.....	15
BIOLOGÍA Y DESCRIPCIÓN DE XENOTOCA EISENI RUTTER 1896.....	16
EFECTO DEL FOTOPERÍODO Y LA TEMPERATURA EN GOODEIDOS.....	17
JUSTIFICACION.....	18
OBJETIVOS.....	19
OBJETIVO GENERAL.....	19
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
OBTENCIÓN DEL MATERIAL BIOLÓGICO.....	20
DISEÑO EXPERIMENTAL.....	20
ACLIMATACIÓN.....	22
RESULTADOS.....	24
EFECTO DEL FOTOPERÍODO DÍA CORTO (6L:18O) CON TRES TEMPERATURAS (18, 23 Y 28°C).....	24
ÉXITO REPRODUCTIVO EN EL FOTOPERIODO DIA CORTO.....	27
TALLA INICIAL EN PESO (WW) Y LONGITUD ESTÁNDAR (LS).....	28
PROPORCIÓN DE SEXOS.....	29
EFECTO FOTOPERÍODO DÍA LARGO (18L:6O Y TRES TEMPERATURAS (18, 23 Y 28°C) EN CRECIMIENTO Y REPRODUCCIÓN.....	30
ÉXITO REPRODUCTIVO EN EL FOTOPERIODO DÍA LARGO.....	33
DISCUSIÓN.....	34
FOTOPERIODO CORTO Y TRES TEMPERATURAS.....	34
FOTOPERIODO LARGO EN TRES TEMPERATURAS.....	37
REPRODUCCIÓN.....	38
CONCLUSIONES.....	42
ANEXO I.....	43
LITERATURA CITADA.....	44

INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

FIGURA 1 REPARTICIÓN DE LA ENERGÍA CONSUMIDA POR UN PEZ.....	5
FIGURA 2 BIOSÍNTESIS DE LA MELATONINA Y SU RELACIÓN LUZ VS OSCURIDAD	9
FIGURA 3 REGULACIÓN FOTONEUROENDOCRINA DE PECES	10
FIGURA 4 ANATOMÍA INTERNA DE <i>DICENTRARCHUS LABRAX</i> MOSTRANDO LOS PRINCIPALES ÓRGANOS IMPLICADOS EN LOS EJES HPI Y HSC.	13
FIGURA 5 ADULTOS DE <i>XENOTOCA EISENI</i>	17
FIGURA 6 GANANCIA EN PESO PARA HEMBRAS Y MACHOS DE <i>X. EISENI</i> A LO LARGO DE 120 DÍAS DE TRATAMIENTO EN EL FOTOPERÍODO DE DÍA CORTO (6L:18O) Y TRES TEMPERATURAS (18, 23 Y 28°C).	25
FIGURA 7 INCREMENTO EN LONGITUD ESTÁNDAR PARA HEMBRAS Y MACHOS DE <i>X. EISENI</i> EN EL FOTOPERÍODO DE DÍA CORTO (6L:18O) Y TRES TEMPERATURAS (18, 23 Y 28°C).	26
FIGURA 8 NÚMERO DE CRÍAS PRODUCIDAS EN EL FOTOPERÍODO DE DÍA CORTO (6L:18O) A TRES TEMPERATURAS (18, 23 Y 28°C).	27
FIGURA 9 PORCENTAJES DE MORTALIDAD Y SUPERVIVENCIA A LOS SIETE DÍAS DE EDAD DE CRÍAS DE <i>X. EISENI</i> NACIDAS EN EL FOTOPERÍODO DÍA CORTO (6L:18O) A TRES TEMPERATURAS (18, 23 Y 28°C).	28
FIGURA 10 DIFERENCIAS CON RESPECTO A PESO Y LONGITUD DE CRÍAS RECIÉN NACIDAS DE <i>X. EISENI</i> NACIDAS EN EL FOTOPERÍODO DÍA CORTO (6L:18O) EN TRES TEMPERATURAS (18, 23 Y 28°C)	29
FIGURA 11 PROPORCIONES SEXUALES DE LAS CRÍAS EN EL FOTOPERÍODO DÍA CORTO (6L:18O) Y TRES TEMPERATURAS (18, 23 Y 28°C).	30
FIGURA 12 GANANCIA EN PESO PARA HEMBRAS Y MACHOS DE <i>X. EISENI</i> EN EL FOTOPERÍODO DE DÍA LARGO (18L:6O) EN TRES TEMPERATURAS (18, 23 Y 28°C)	31
FIGURA 13 INCREMENTO EN LONGITUD ESTÁNDAR PARA HEMBRAS Y MACHOS DE <i>X. EISENI</i> A LO LARGO DE 120 DÍAS DE TRATAMIENTO EN EL FOTOPERÍODO DE DÍA LARGO (18L:6O) EN TRES TEMPERATURAS (18, 23 Y 28°C)	32
FIGURA 14 EFECTO DE DOS FOTOPERÍODOS EN GÓNADAS DE LUBINA	39
FIGURA 15 TIPOS DE RESPUESTAS FISIOLÓGICAS A ESTRÉS DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LOS NIVELES DE ORGANIZACIÓN BIOLÓGICA.....	41
TABLA 1 DISEÑO EXPERIMENTAL PARA EVALUAR EL ÉXITO REPRODUCTIVO DE ADULTOS DE <i>XENOTOCA EISENI</i> TRATADOS CON TRES TEMPERATURAS Y DOS FOTOPERÍODOS CON LA PROPORCIÓN SEXUAL DE 6♀:2♂.	21
TABLA 2 SUMARIO DE COMPONENTES RELACIONADOS CON LA REPRODUCCIÓN EN PECES TELEÓSTEOS....	43

RESUMEN

La acuicultura ha demostrado que la manipulación de los factores ambientales (calidad de agua, espacio, temperatura y fotoperiodo, entre otros) permite modificar las respuestas fisiológicas en beneficio de la productividad para diversos fines. El presente trabajo realizado con *Xenotoca eiseni* (pez vivíparo) endémico de la mesa central de México (estatus *en peligro*) se enfocó a conocer el efecto de la temperatura y el fotoperíodo en el éxito reproductivo y crecimiento de los progenitores. El diseño consistió en dos etapas: A) Fotoperíodo día corto (6L:18O horas luz y oscuridad respectivamente) con tres temperaturas (18, 23 y 28°C) y B) Fotoperíodo día largo (18L:6O) con las mismas temperaturas. Cada tratamiento contó con seis hembras y dos machos y tres repeticiones por temperatura (n=24 por tratamiento). En el día corto, en todas las temperaturas probadas hubo nacimiento de crías, aunque a 23 y 28°C se produjeron 106 y 90% más organismos que los reproductores a 18°C. La supervivencia de las crías a los siete días de nacidas fue mejor a 23°C y se generó un mayor número de hembras a 18 y 28°C. Los peces en el fotoperíodo largo (18L: 6O) presentaron mayor voracidad y actividad locomotora, ganando significativamente mayor peso y talla con respecto a los de día corto. Sin embargo, en este fotoperiodo la reproducción se inhibido casi totalmente en todas las temperaturas. Con base a los resultados obtenidos en esta investigación, se concluye que las mejores condiciones para la reproducción y supervivencia de las crías es a una temperatura de 23°C y el fotoperiodo de día corto; mientras que a la misma temperatura en el fotoperiodo de día largo se logró la mayor ganancia en biomasa en reproductores.

Palabras clave: Fotoperíodo, temperatura, reproducción, crecimiento, vivíparo, *Xenotoca eiseni*.

INTRODUCCIÓN

México cuenta con una amplia variedad de cuerpos de aguas naturales y artificiales donde habita una gran diversidad de especies acuáticas. De acuerdo al Sistema de Clasificación Hidrológico Nacional se estima que en el área que comprende el Estado de Michoacán existen: 4 regiones hidrológicas que comprenden 19 cuencas, 57 subcuencas, 138 subcuencas específicas y 688 microcuencas que a nivel nacional y global son considerados recursos naturales importantes (COFOM, 2008). A lo largo de estas regiones habitan importantes especies endémicas que son el resultado del aislamiento reproductivo provocado por los cambios tectónicos y vulcanológicos (Abell et al 2000). No obstante, esta diversidad de especies está sufriendo las consecuencias del crecimiento poblacional a través de:

A) La sobreexplotación y agotamiento de los cuerpos de agua; la contaminación provocada por los vertidos de aguas residuales sin tratamiento; la deforestación e incremento del arrastre de sedimentos a las partes bajas de la cuenca; la introducción de especies exóticas que al no tener competidores y ser ampliamente tolerantes, desplazan a las especies nativas (Dudgeon et al., 2006).

B) La falta de una normativa eficiente y actualizada, así como el correspondiente seguimiento y vigilancia de su aplicación (Haig et al., 2006).

Estas afectaciones causan desde la disminución del área de distribución de los organismos en el medio natural hasta la pérdida total de las comunidades bióticas. Adicionalmente, la falta de conocimientos científicos referentes a los aspectos, alimenticios, reproductivos y conductuales de las especies endémicas y nativas, dificulta no sólo el entendimiento de la amplitud del problema sino el planteamiento de posibles soluciones.

Por lo anterior es necesario estudiar a los organismos tanto en el medio natural como en condiciones controladas. Los resultados de las investigaciones de campo aportan una estimación de la situación dentro de sus ecosistemas; en tanto que los ensayos en condiciones de laboratorio pueden aportar información que facilite su manutención en condiciones controladas y a través de la manipulación de los periodos reproductivos incrementar el número de crías para su posterior repoblación (Rueda-Jasso y Ayala-Bailón, 2007). Actualmente numerosas especies requieren estrategias de conservación que permitan que sus poblaciones tengan hábitats conservados y protegidos a fin de asegurar su continuidad biológica. Un ejemplo son los peces de la subfamilia Goodeinae, los cuales son endémicos de la Mesa Central de México. Este grupo comúnmente conocido como goodeidos está formado por peces vivíparos de tamaño pequeño y poca importancia comercial. La subfamilia Goodeinae está compuesta por 17 géneros (6 de ellos monotípicos) y aproximadamente 41 especies (Domínguez, 2008), de las cuales 21 se distribuyen en Michoacán. 14 de ellas se encuentran listadas en la Norma Oficial Mexicana (NOM ECOL 059-2001), en tanto que la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN por sus siglas en inglés) (2003) señala que 28 especies de goodeidos presentan algún estatus de conservación, que va desde peligro crítico hasta amenazada. Entre ellas, *Xenotoca eiseni* (Rutter 1896) ha sido considerada por la IUCN (2008) y por la American Fisheries Society (Jelks et al., 2008) en la categoría “en peligro”. Este pez omnívoro habita aguas templadas en un intervalo de temperatura entre 15 a 32°C, su distribución abarca los estados de Nayarit y Jalisco (Domínguez-Domínguez et al., 2005). Los estudios realizados sobre esta y otras especies de goodeidos son escasos y particularmente para condiciones de laboratorio se conoce poco sobre los escenarios óptimos para su reproducción. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue identificar la relación que hay entre la temperatura y fotoperíodo y su influencia en el éxito reproductivo, el crecimiento y la proporción sexual de crías de *Xenotoca eiseni*. Lo anterior con el fin de conocer los parámetros más adecuados para la reproducción y el crecimiento en cautiverio.

ANTECEDENTES

Reproducción

En el cultivo de peces, el control reproductivo es una de las tareas más importantes y a la vez clave para el éxito en la producción de crías en condiciones controladas. Tanto en la acuicultura comercial como en la de conservación, la inducción artificial del desove facilita el suministro de huevos y alevines, ampliando de esta manera los periodos reproductivos y evitando los problemas en el abastecimiento de las crías o la recolección de alevines de las poblaciones silvestres. Lo anterior es de gran utilidad para conservar las especies en explotación y para generar crías de peces cuyo estado de conservación es crítico, a fin de evitar la desaparición de las especies y para plantear estrategias de conservación.

Para que un pez pueda reproducirse en cautiverio es necesario que cuente con los factores ambientales necesarios para su supervivencia y con recursos energéticos suficientes que influyan de manera positiva en su desarrollo. El éxito reproductivo de un individuo depende de dónde, cómo y cuándo se reproduce, así como de la calidad ambiental del medio en donde se encuentra.

Los factores principales que influyen en el crecimiento y reproducción de los peces se pueden clasificar en dos tipos:

1. Los factores bióticos, como disponibilidad de alimento, competencia intraspecífica e interespecífica, entre otros.
2. Los factores abióticos como la temperatura, el fotoperíodo, la disponibilidad de espacio, entre otros.

Para diversas especies de peces especialmente de importancia comercial u ornamental se ha observado que tanto la temperatura como el fotoperíodo modifican las respuestas del sistema endocrino, afectando los procesos de reproducción y crecimiento (Campos-Mendoza et al., 2004, Jonassen et al., 2000). Las variaciones provocadas por el cambio del fotoperíodo y la temperatura pueden acelerar e incluso inhibir la reproducción de los peces y modificar el proceso de crecimiento.

Es importante mencionar que el grupo de los peces es el mayor y más antiguo grupo de vertebrados, por lo que cuenta con una amplia variedad de estrategias a nivel reproductivo (Anexo I). Algunas especies son poco frecuentes que están representadas sólo por hembras y en otras la reversión sexual es común. En la parte referente a la determinación del sexo en los descendientes, en los peces gonocóricos, el fenotipo gonadal es generalmente determinado por factores genéticos; Sin embargo, las gónadas inmaduras tienen un potencial doble tanto para la formación de la arquitectura gonadal femenina como masculina. No obstante, por medios artificiales se puede manipular el cambio de sexo, ya sea mediante la inducción de hormonas o por cambios ambientales que modifiquen las respuestas fisiológicas y hormonales (Jobling, 1995). En la etapa crítica de la diferenciación sexual, al inicio del ciclo de vida, en algunas especies los factores exógenos como el pH y la temperatura pueden inhibir el genotipo sexual y desarrollar un fenotipo sexual diferente (Strüssmann y Nakamura, 2002).

La influencia de la temperatura en el crecimiento y la reproducción

En el proceso metabólico de los seres vivos, una parte de la energía captada del ambiente es procesada, cumpliendo múltiples funciones fisiológicas y otra parte es dedicada al crecimiento (Figura 1). En el grupo de los peces, el crecimiento puede ser influido por las diferencias ambientales presentes en el hábitat, tales como el

fotoperiodo, la temperatura, el espacio, la corriente, la cantidad de alimento disponible, las interacciones inter e intra específicas etc. (Videler, 1993).

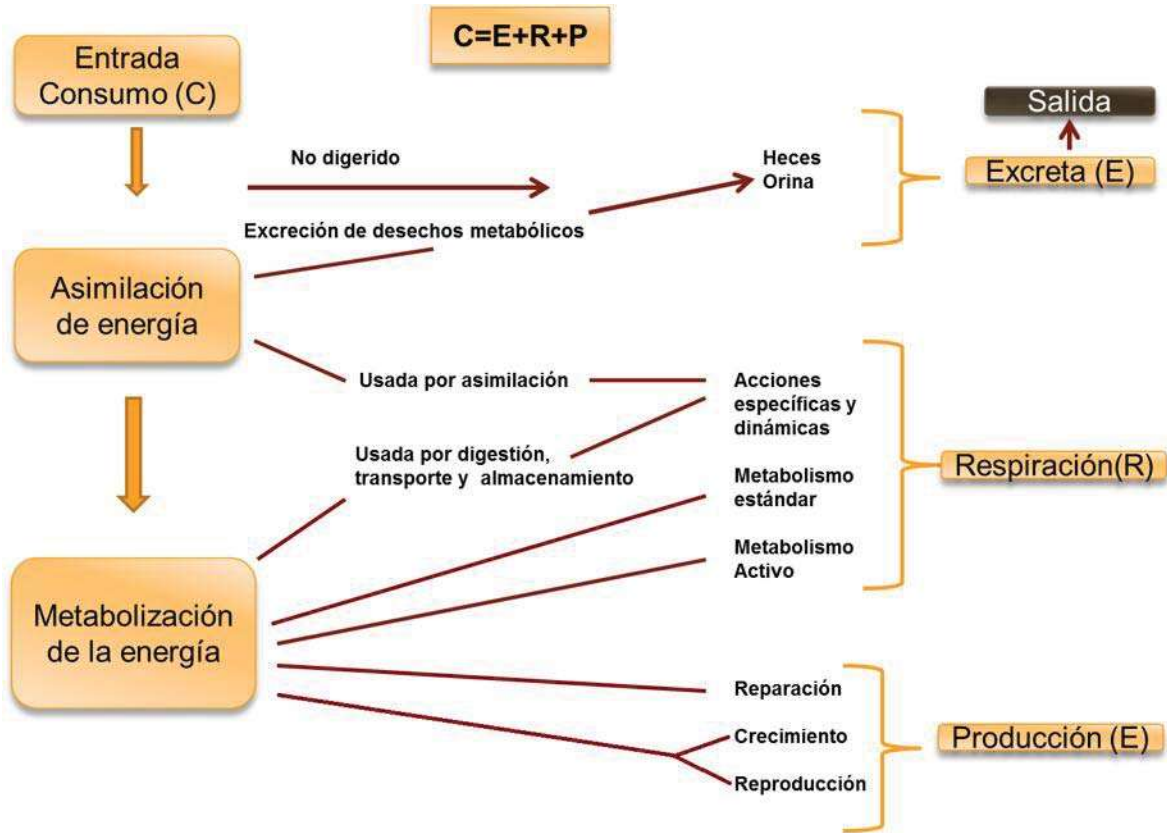


Figura 1. Repartición de la energía consumida por un pez, de Videler 1993.

La mayoría de los peces son ectotérmicos, es decir, que la temperatura corporal es igual a la temperatura ambiental, siendo sensibles a los cambios térmicos estacionales. Esta característica genera una respuesta a cambios en los mecanismos celulares y subcelulares que genera múltiples ajustes fisiológicos a las condiciones térmicas presentes en el medio, que a su vez son resultado de la activación o desactivación de genes que se encargan de la producción de proteínas y hormonas necesarias para mantener la homeostasis ante estos cambios (Sidell 1989). El crecimiento es el resultado de los procesos catabólicos y anabólicos en donde el pez toma el oxígeno y los nutrientes para la construcción

de tejido y su manutención; los factores como temperatura, fotoperiodo, cantidad de ingesta alimentaria, estrés, edad etc., pueden influir en la velocidad del crecimiento (Brett 1979). Estas hormonas se generan en relación al incremento o disminución de la temperatura, afectando con ello la síntesis y asimilación de proteínas (Brett 1969). Sin embargo, el aumento en talla de los peces causado por el incremento de la temperatura alcanza también un punto máximo, dependiente de la tolerancia térmica de cada especie conocido como “punto máximo de crecimiento”. Una vez que se excede este nivel de tolerancia, la tasa de crecimiento disminuye rápidamente y puede generar un efecto adverso y en algunos casos provocar la muerte (Jobling 1996).

Es conocido que en los peces se manifiestan diferentes respuestas fisiológicas y metabólicas al aumento de temperatura; mientras que algunos organismos aumentan la velocidad de crecimiento en etapas juveniles, otros (como los salmónidos) la reducen (Gibbons 1976). Otra respuesta de los peces a las variaciones de temperatura se observa en la modificación de la proporción sexual, que puede ser influida por factores como la temperatura (determinación sexual por temperatura “DTS”) y por factores genéticos (determinación genética; “DG”). Por lo que determinar los mecanismos de diferenciación sexual (DTS o DG) en las especies es importante para la investigación de la historia de vida de los peces (Yamamoto 1969). Los resultados de las pruebas experimentales sugieren que el proceso de determinación sexual (o la diferenciación) en un gran número de especies piscícolas indican sensibilidad a los efectos de temperatura ambiental (Baroiller et al., 1999). Determinadas condiciones de temperatura durante una edad temprana en la vida del pez pueden inducir la formación de ovarios o testículos funcionales, independientemente de la supuesta orientación genética. Este fenómeno ocurre sobre una amplia gama de temperaturas y de especies de cualquier grupo filogenético y particularmente es bastante notorio entre los peces Atheriniformes (Strüssmann y Patiño 1995).

La temperatura puede jugar un papel fundamental en las proporciones sexuales en poblaciones naturales de peces, estas adaptaciones pueden ser de gran utilidad para la manipulación de género en las producciones artificiales ya sea con fines comerciales o de conservación (Conover y Fleisher 1986). Los resultados de estas investigaciones relativas a este tema pueden ser de gran utilidad para la conservación de especies en peligro.

El fotoperíodo

El fotoperíodo se puede definir como el periodo de luz y oscuridad o la duración del día y la noche al que está sometido naturalmente o artificialmente un organismo vivo, siendo una constante que ha influido directamente en la evolución de los organismos desde su origen. Dentro del ciclo circadiano (periodo de luz/obs \cong 24 hrs.), los fenómenos como el desarrollo larval, la actividad locomotora, la pigmentación de la piel, el consumo de oxígeno, la termorregulación y la reproducción pueden establecer comportamientos repetitivos, los cuales son regulados a través del día y del periodo del año, siendo estos comportamientos dependientes de las adaptaciones evolutivas de vertebrados incluyendo a los teleosteos (Ekström y Meissl, 1997; Falcón et al., 2007).

Debido a los mecanismos de adaptación para la supervivencia en las diferentes estaciones del año, los peces al igual que otros organismos regulan sus periodos reproductivos con base en los fotoperíodos, ya que en la naturaleza estos indican el momento más adecuado para la reproducción, de manera que cuando suceda el nacimiento de las crías se tengan las condiciones óptimas para su manutención (Duston y Bromage 1991).

El sistema circadiano está conformado por todos los componentes en el organismo capaces de percibir la información fótica (duración, intensidad. etc.) del ambiente y traducirla en una señal biológica. Por lo general, esto se inicia cuando

la luz entra al organismo a través de fotoreceptores (no visuales) y ésta, se transforma en una señal nerviosa y hormonal: la Melatonina. La melatonina (derivada en principio del triptófano) (Figura 2) es una de las principales hormonas que regulan el ciclo circadiano en vertebrados y es producida en la glándula pineal durante la noche (Simonneaux y Ribelayga 2003). Esta hormona influencia la regulación fisiológica y la estimulación o inhibición de las hormonas de crecimiento como la somatotropina que es producida por la glándula Hipófisis (específicamente por la porción anterior o adenohipófisis). La somatotropina facilita el aumento de tamaño de las células y estimula la mitosis, con lo que se desarrolla un número creciente de células y tiene lugar la diferenciación de determinados tipos de células, como las células de crecimiento óseo y los miocitos precoces. Estas hormonas funcionan en cooperación con las hormonas tiroideas como son la tirotropina (TSH) triiodotironina (T3) y tiroxina (T4) de la glándula tiroidea, bajo el control del llamado eje hipotálamo-hipofisario-tiroideo que junto con las antes mencionadas regulan funciones fisiológicas como la osmoregulación, nutrición, desarrollo, crecimiento y reproducción en peces teleósteos (Falcón et al., 2003).

El proceso que regula el ciclo circadiano se inicia con la captación de la luz a través de la retina y la glándula pineal, las cuales elaboran dos tipos de información rítmica: a) de la glándula pineal por medio de la liberación de melatonina que se libera al torrente sanguíneo y b) la proveniente de la retina que alcanza y estimula el diencéfalo diencefalo a través del retinohipotálamo y los conductos pineales respectivamente (Falcón et al., 1994). Esta información provee el horario diario al organismo por medio de las variaciones de la iluminación en el ambiente. La información hormonal es generada por la melatonina y su producción refleja el horario del día y la estación del año. La melatonina es sintetizada a través de la serotonina por medio de reacciones catalíticas. Durante el día, los niveles de melatonina son bajos mientras que los de serotonina son altos y en la noche los niveles de serotonina disminuyen y los de melatonina aumentan explicado claramente por su biosíntesis (Figura 2) (Zachmann et al., 1992).

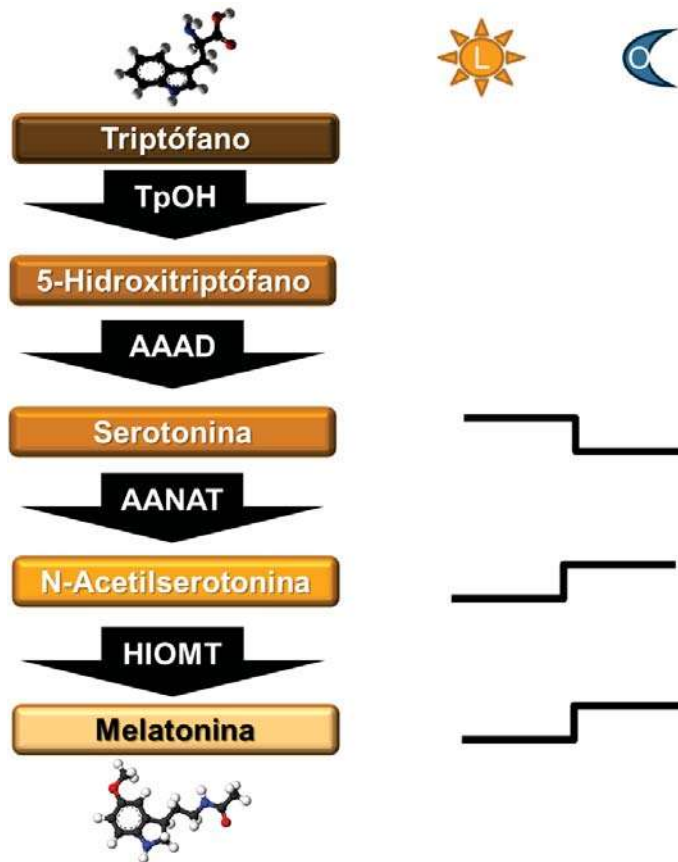


Figura 2. Biosíntesis de la melatonina y su relación luz vs oscuridad (Falcón, 2007)

El funcionamiento de las respuestas fisiológicas con respecto al fotoperiodo se describe de forma general en la Figura 3, en donde la luz actúa sobre los fotoreceptores, lo que permite la sincronización de los relojes moleculares internos del pez. La luz también puede incidir en otros posibles tejidos fotosensibles no descritos dentro del cerebro y algunas estructuras en el diencefalo ventral, el área pre-óptica (APO) y área hipotalámica. En respuesta al fotoperiodo, la retina y el órgano pineal elaboran dos tipos de información rítmica: las señales neurales de la retina y del órgano pineal que llegan al diencefalo ventral a través de la retina y el órgano pineal respectivamente, la melatonina se libera en el líquido cefalorraquídeo y la sangre actuando sobre receptores específicos de la

melatonina teniendo impacto en la glándula pituitaria pudiendo influir en la producción de hormonas tales como las gonadotropinas (Falcón et al., 2007)

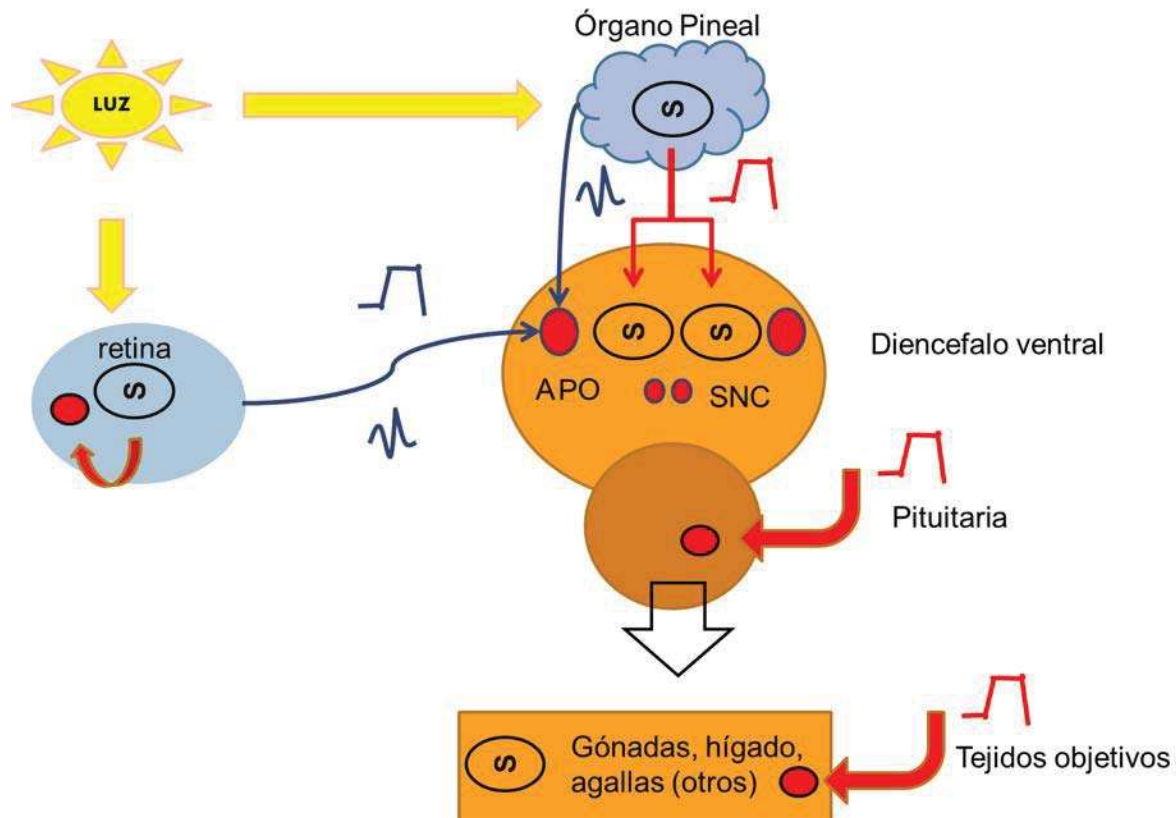


Figura 3. Regulación fotoneuroendocrina de peces en donde la luz (flechas amarillas) es captada por la retina y/o el órgano pineal, la cual se transforma en señales neurales (flechas azules) y/o en señales hormonales mediante la melatonina (flechas rojas) en diferentes receptores específicos (círculos rojos) como son: El Área Pre-Óptica (APO), tejido en el Sistema Nervioso Central (SNC), Gónadas, Hígado y otros (Tomado de Falcón, 2009).

Uno de los factores más importantes que influye en la biosíntesis de melatonina es la temperatura, debido a que los peces son ectotermos y su metabolismo está directamente influenciado por las temperaturas externas que fluctúan a través del día y de las estaciones del año. Diversos estudios han demostrado que la

temperatura actúa como modulador en la glándula pineal, en la secreción y regulación de melatonina (Coon *et al.*, 1999). La temporalidad del fotoperiodo determina la duración de la señal de la melatonina y la temperatura influye directamente en su intensidad, proporcionando al organismo una definición exacta de la temporalidad diaria o estacional (Benyassi *et al.* 2000). La melatonina también afecta la actividad locomotora, el descanso, la migración, la pigmentación, la osmoregulación y el metabolismo (incluyendo el control de monoaminas del hipotálamo, lípidos hepáticos, glucosa y niveles de esteroides plasmáticos), el crecimiento y la reproducción. El efecto de la melatonina está regulada por medio de la sensibilidad que han desarrollado las especies en las gónadas hacia algunos mensajeros hormonales en la producción de gonadotropinas, como son la hormona luteinizante (LH) o la hormona folículo estimulante (FSH); la producción de estas hormonas tiene alguna relación con respecto a las concentraciones plasmáticas de melatonina (Falcón *et al.* 2009). A su vez, la LH regula la ovulación o la producción de testosterona (Sérbet *et al.* 2008). Por lo que, la madurez sexual en teleósteos puede ser manipulada a través del fotoperiodo (Randal *et al.* 1999) e incluso puede producir efectos extremos tales como la total inhibición de la reproducción; por ejemplo en el bacalao (*Gadus morhua*) que al ser expuesto a un fotoperiodo 24L:0O sufre una atrofia gonadal total (Davies *et al.* 2007).

La estimulación en la glándula pineal y los ojos, depende de la absorbancia lumínica de la misma, del grosor del cráneo y de la pigmentación de la piel, además de la intensidad y calidad de la luz (Germ *et al.* 1992). En peces teleósteos, los márgenes registrados de penetración de luz intercraneal (ventana pineal) varían de 1 al 8%, registrado con luz de día artificial, siendo las longitudes de onda amplias (650 a 700 nm) las que presentan mayor penetración con respecto a las longitudes de onda corta (400 a 450 nm) (Migaud *et al.* 2007). En términos de producción de melatonina, el umbral de la intensidad de luz necesario para inhibir la producción de melatonina depende directamente de la especie y de la iluminación (Aoki *et al.* 1998). La comprensión de los diferentes mecanismos endógenos en los ciclos circadiano y circanual con respecto a su influencia en la

reproducción y crecimiento, provee la información necesaria para su manipulación y de esta forma se pueden desarrollar estrategias para la producción de individuos en número y calidad (Bromage, 1984).

La manipulación del fotoperíodo es utilizado como herramienta biotecnológica para estimular o inhibir funciones reproductivas tales como el control de la maduración temprana, la producción de huevos y crías, así como para obtener incremento en la tasa de crecimiento de los peces (Barlow et al., 1995; Endal et al., 2000; Bromage et al., 2001; Kissil et al., 2001).

Actualmente los resultados de los experimentos de la manipulación del fotoperíodo han sido de gran utilidad para efectos productivos en granjas acuícolas y han permitido establecer (bajo ciertas limitantes) los parámetros óptimos en el crecimiento, reproducción e incremento de la producción. De igual forma, la manipulación del fotoperíodo ha permitido ampliar los ciclos reproductivos de los peces a dos o tres ciclos por año en cultivos comerciales obteniendo una producción significativamente mayor (Davies et al. 1999).

Adicionalmente los experimentos de fotoperíodo aportan información de gran importancia para el caso de las especies en peligro o amenazadas, ya que conociendo dichos parámetros se puede potenciar su reproducción y desarrollo y a largo plazo se puede utilizar en estrategias de conservación y reintroducción de estas especies a su hábitat natural.

Estrés en peces

Otro factor de importancia que se debe considerar en la manipulación y experimentación de organismos piscícolas es el 'estrés'. Los peces no poseen una glándula adrenal como tal, sino un conjunto difuso de células interrenales que son interdependientes del "eje del estrés" o eje hipotálamo-pituitario-interrenal (HPI) (Weyts et al. 1999). La primera hormona en el eje HPI es la hormona liberadora de la corticotropina (CRH, por sus siglas en inglés), liberada por las neuronas hipotalámicas de la región pre-óptica. La CRH se ha encontrado junto a la

hormona liberadora de la tiroides (TRH, por sus siglas en inglés) (Pepels et al. 2002). La TRH y la CRH inducen la producción y liberación del mayor esteroide estresor: el cortisol, por medio de las células interrenales (Mommsen y Moon 1999; Pepels et al. 2002). Además, en los peces existe un segundo eje fisiológico relacionado con el estrés llamado eje Hipotálamo Simpático Cromafin (HSC), los 'ejes del estrés' son de gran importancia en múltiples funciones y reacciones fisiológicas (Weyts et al. 1999), ya que interactúan con diferentes órganos y tejidos como se muestra en la Figura 14.

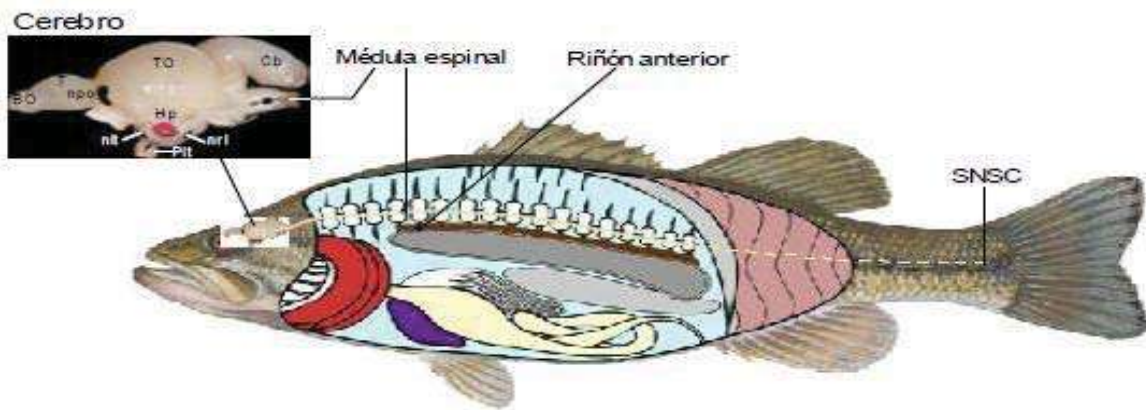


Figura 4. Esquema de la anatomía interna de *Dicentrarchus labrax* mostrando los principales órganos implicados en los ejes HPI y HSC. Abreviaturas: BO: bulbo olfativo, Cb: Cerebelo, Hp: Hipotálamo, nlt: nucleus laterales tuberis; nro: nucleus preopticus; nrl: nucleus recessis lateralis; Pit: Pituitaria; SNSC: sistema neurosecretor caudal, T: telencéfalo, TO: tectum óptico (Adaptado de Bernier, 2006).

Los estresores son percibidos por los sensores del sistema nervioso central que se transforman en señales dirigidas al hipotálamo, y después son transmitidas a los ejes HSC y HPI estimulándolos para generar una respuesta al estresor (Weyts et al. 1999). Estas respuestas se pueden generalizar en tres etapas (Figura 15).

Respuesta primaria: Consiste en la activación de los núcleos cerebrales, células adeno-hipofisarias, tejido-interrenal y cromafín, aquí se incrementan los niveles de catecolaminas y corticosteroides adrenales en plasma.

Respuesta secundaria: Considerada como las modificaciones fisiológicas originadas por las catecolaminas y corticosteroides: aumento del consumo de oxígeno, actividad cardíaca, hiperglucemia, perturbaciones del equilibrio hidromineral, etc.

Respuesta terciaria: Se extienden al nivel de organismo y la población: inhibición del crecimiento, problemas en la reproducción, perturbación del sistema inmune y disminución de la tolerancia a nuevas situaciones de estrés (Arends et al. 1999, Mommsen y Moon 1999; Moon et al. 1999).

Los procesos involucrados en los sistemas de coordinación de las respuestas fisiológicas y del comportamiento, pueden ser compensados y/o adaptados permitiendo al animal superar la amenaza. Sin embargo, en algunas ocasiones la respuesta al estrés puede perder su valor adaptativo y principalmente, afectar al crecimiento, la reproducción por apoptosis celular en las gónadas y la respuesta inmunológica (Wendelaar 1997, Weyts et al. 1998).

Peces vivíparos

El grupo de los peces teleósteos cuenta con un estimado de 32,500 especies de las cuales 28,400 se encuentran descritas (Nelson 2006). Dentro de esta gran diversidad solo el 5% ha desarrollado adaptaciones evolutivas denominadas como viviparismo (Rosas-Molinar y Burke 2002). La viviparidad incluye la fertilización interna por medio de una estructura modificada en los machos llamada *gonopodium*, ubicada en la aleta anal. Esta modificación permite la formación de un símil de pene necesario para llevar a cabo la fertilización interna (Rosen y

Gordon 1953). En hembras de peces vivíparos las modificaciones anatómicas se pueden distinguir del común de los vivíparos vertebrados por la ovulación hacia el lumen ovárico en lugar de ocurrir hacia el celoma ya que la posición interna del epitelio germinal limita al lumen ovárico, por lo que el desarrollo y la fertilización es interna. El ovario de los peces vivíparos difiere de otros vertebrados debido a que no solamente es el sitio de producción de huevos, sino también es donde ocurre la fertilización intrafolicular y la gestación se lleva de forma intraluminal (Uribe et al. 2004).

Posterior a la liberación del embrión dentro del lumen ovárico se forma un símil de cordón umbilical llamado trofotenia que tiene la función de intercambio entre madre-embrión; el aporte de anticuerpos y nutrientes como vitaminas carbohidratos y proteínas globulares por parte de la madre, así como la expulsión de desechos por parte del embrión. La trofotenia está compuesta de tejido conectivo vascularizado rodeado por tejido epitelial simple, similar al tejido epitelial digestivo, al final de la trofotenia se encuentra el embriotrofo con abundantes lisosomas encargados de la degradación de los nutrientes para su posterior absorción (Lombardi 1985).

En los peces goodeidos existen dos tipos de trofotenias, el de tipo roseta que consiste en poseer una forma corta y lobulada comúnmente encontrada en los géneros *Allotoca*, *Goodea*, *Neoophorus*, *Xenoophorus*, y la de tipo cinta que posee forma alargada y aplanada, esta se encuentra en los géneros *Allophorus*, *Ameca*, *Chapalichthys*, *Characodon*, *Girardinichthys*, *Ilyodon*, *Skiffia*, *Xenotoca*, *Zoogoneticus* (Lombardi 1988).

La familia Goodeidae

La familia Goodeidae es un grupo de peces de origen neártico el cual se divide en dos sub-familias la Empetrichthyinae y Goodeinae, la primera contiene dos

géneros *Empetrichthys* y *Crenichthys*, distribuidos en el sudoeste de Estados Unidos, en la región del Valle de la Muerte y el este de Nevada. Esta subfamilia está compuesta por organismos ovíparos y de distribución restringida, en tanto que, los miembros de la sub-familia Goodeinae son endémicos de la Mesa Central de México. La sub-familia está compuesta por 17 géneros (6 de ellos monotípicos) y aproximadamente 40 especies. Muchas de las especies de Goodeinae presentan coloraciones brillantes y marcados dimorfismos sexuales. Michoacán cuenta con 21 especies: *Allophorus robustus*, *Allotoca catarinae*, *A. dugesi*, *A. diazi*, *A. meeki*, *A. zacapuensis*, *Chapalichtys peraticus*, *C. encaustus*, *C. pardalis*, *Goodea atripinnis*, *Girardinichthys multiradiatus*, *Hubbsina turneri*, *Ilyodon whitei*, *Ilyodon cortesae*, *Neophorous regalis*, *Skiffia bilineata*, *S. lermae*, *S. multipunctata*, *Xenotoca variata*, *Zoogoneticus quitzeoensis*, *Z. tequila* (Domínguez, 1999).

Biología y descripción de Xenotoca eiseni Rutter 1896

La especie *Xenotoca eiseni* (Figura 4) está considerada actualmente en peligro (IUCN 2008). Es un organismo omnívoro, que alcanza una talla máxima de 6.0 cm, vive en un clima templado con una temperatura fluctuante de 15 a 32°C, con un intervalo de pH de 6 a 8. Su distribución geográfica abarca los estados Nayarit, Jalisco (www.fishbase.com). Estos peces son vivíparos y poseen dimorfismo sexual que diferencia a los machos por tener un menor tamaño y el pedúnculo y aleta caudal de color amarillo-naranja. Adicionalmente, los machos tienen una estructura especializada para la reproducción conocida como gonopodio, realizan un cortejo y tienen fecundación interna. Tras un periodo de gestación entre cuatro y ocho semanas la hembra da nacimiento a entre cinco y quince alevines. (Domínguez 1999, Fishbase 2009).



Figura 5. Adultos de *Xenotoca eiseni*, izquierda inferior hembra y derecha superior macho (Peces F1 del Laboratorio de Biología Acuática UMSNH [Pita-Zamudio 2011]).

Efecto del fotoperíodo y la temperatura en Goodeidos.

Dado que los peces que forman a la subfamilia Goodeinae son muy diversos, ocupan diferentes niveles de la cadena trófica y presentan conductas diferentes. Se encuentran en estado de conservación que va desde bajo riesgo hasta extinto en la naturaleza. Por esto, es de gran importancia conocer las condiciones más adecuadas para la reproducción y crecimiento de cada especie, poniendo especial atención en lo relativo al efecto del fotoperíodo y temperatura.

En general el caso de los peces Goodeidos, la información que existe es escasa y los trabajos realizados se han enfocado a los aspectos filogenéticos y zoogeográficos (Domínguez-Domínguez 2005). Algunos de los estudios realizados en condiciones de laboratorio incluyen el efecto del fotoperíodo en el éxito reproductivo de *Skiffia lermæ* en donde se probaron dos proporciones de sexos, una hembra por cada macho y de tres hembras por cada macho y tres fotoperíodos día largo (18L: 6O) día medio (12L: 12O) día corto (6L:18O). El fotoperíodo de día largo (18L: 6O) resultó ser el más adecuado para la reproducción medida por la producción total de crías (Molina-Domínguez et al. 2007). Por su parte los resultados encontrados en el crecimiento de *Xenotoca eiseni* cuando se mantuvieron en los fotoperíodos día largo (18L: 6O) y día corto

(6L:18O) con una temperatura constante de 28°C mostraron que día largo (18L:60) provocó un incremento en talla y peso de un 20 a 30% superior al fotoperíodo día corto (6L:18O) (Rueda-Jasso y Ayala-Bailón 2007).

JUSTIFICACION

Xenotoca eiseni es una especie endémica de gran importancia ecológica debido a sus adaptaciones fisiológicas y reproductivas particulares. El conocimiento que se tiene acerca de esta especie es limitado y la destrucción de su hábitat por efectos antropogénicos empeora continuamente. Por lo tanto es conveniente desarrollar conocimientos que optimicen su manutención y reproducción en condiciones controladas, con el objetivo de evitar su extinción y quizá a largo plazo planear su reintroducción. Además, cabe destacar que la especie tiene potencial para la acuarofilia ya que los machos poseen características estéticas muy llamativas, pudiendo generar interés para su reproducción comercial.

Pregunta de investigación

¿Cuáles son las condiciones ambientales (fotoperiodo: día corto o largo; y temperatura: 18, 23 y 28°C) más adecuadas para propiciar el crecimiento y/o la producción de crías viables en adultos de *X. eiseni* ?

Hipótesis

H/0 No existen diferencias significativas en crecimiento y reproducción en organismos sometidos a diversas variables foto-térmicas controladas.

H/A Existen diferencias significativas en crecimiento y reproducción en organismos sometidos a diversas variables foto-térmicas controladas.

OBJETIVOS

Objetivo general

Conocer el efecto de tres temperaturas y dos fotoperíodos en el éxito reproductivo y crecimiento de *Xenotoca eiseni*.

Objetivos específicos

Determinar el éxito reproductivo de *X. eiseni* a través de la producción de crías de los organismos adultos expuestos a tres temperaturas y dos fotoperíodos.

Determinar el efecto de tres temperaturas y dos fotoperíodos en la supervivencia de las crías a los siete días, así como su talla y peso inicial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención del material biológico.

La obtención de peces se llevó a cabo a través del cultivo de crías producidas por los organismos de la colección de Goodeidos del Laboratorio de Biología Acuática de la UMSNH. Durante el proceso de producción de las crías los adultos se mantuvieron en peceras rectangulares con una capacidad de 45 L con un intervalo de temperatura de 21 ± 1.5 °C y se alimentaron con hojuela balanceada (marca Alimentotote, México) en horario matutino y vespertino a saciedad. Al nacer las crías se separaron y acumularon en peceras rectangulares con una capacidad de 30 L, posteriormente cuando se hicieron evidentes las características morfológicas de machos y hembras se procedió a separarlos por sexos manteniendo las mismas condiciones de cultivo que los progenitores.

Diseño experimental

El experimento se dividió en dos etapas que evaluaron lo siguiente:

- a) Efecto de fotoperíodo A: Día corto (6L: 18O horas luz y oscuridad respectivamente) con tres temperaturas (18, 23 y 28 °C),
- b) Efecto de fotoperíodo B: Día largo (18L:6O) con las mismas temperaturas.

El éxito reproductivo se determinó por el número de crías producidas, el peso y talla inicial (a los siete días de edad) y la proporción de sexos en las crías. Los organismos juveniles de entre 4 y 6 meses de edad se pesaron en húmedo (WW) con una balanza analítica (Ohaus, 0.000 mg, China) y se midieron en longitud estándar (LS) con un vernier digital (Stainless Hardened mod-06-664, China). Posteriormente para iniciar los experimentos se seleccionaron aquellos individuos con pesos y tallas similares. Para cada fotoperíodo y temperatura se utilizaron seis hembras por cada dos machos, con tres repeticiones (Tabla 1). La selección de

esta proporción sexual se basó en los resultados de Molina-Domínguez et al. (2005). Posteriormente cada treinta días se llevaron a cabo las biometrías descritas (WW, LS) durante cuatro meses para todos los individuos en todas las temperaturas en los dos fotoperíodos.

Tabla1. Diseño experimental para evaluar el éxito reproductivo de adultos de *Xenotoca eiseni* tratados con tres temperaturas y dos fotoperíodos con la proporción sexual de 6♀:2♂.

6L:18º	Fotoperíodo	Día	Corto
Temperatura°C	18	23	28
c/u 6♀: 2♂, 3 repeticiones			
18L:6º	Fotoperíodo	Día	Largo
Temperatura°C	18	23	28
c/u 6♀: 2♂, 3 repeticiones			

Los experimentos se desarrollaron en un área aislada con control de la iluminación. La luz se abasteció con dos lámparas de luz de día de 1.15 m de largo con una potencia de 120 watts c/u con una separación de 50 cm, a una distancia promedio 70 cm sobre la superficie del agua. La intensidad de luz se midió periódicamente con un iluminómetro (Fisher Scientific mod-06-662-63, China) para evaluar un abastecimiento constante de la cantidad de luz y en caso de disminuir más de un 20% cambiar las lámparas. Los recipientes de cultivo se colocaron de forma tal que la cantidad de luz fuera constante. Estos son rectangulares de 75x50x45 cm largo, ancho y profundidad, respectivamente; cada uno de ellos se adaptó con tres separaciones de malla de mosquitero de 23 cm, teniendo una capacidad de 65 L de agua.

La temperatura se midió diariamente con un termómetro de mercurio estándar 0 a 100°C (marca Brannan, EUA).

Cada 15 días se realizaron recambios de 60% del volumen total de agua, previamente termo-estabilizada. Los parámetros fisicoquímicos (O_2 , pH, NH_3 , NO_2 y NO_3) se monitorearon periódicamente cada 10 días (multiparamétrico YSI Mod. 600XL). Los peces se alimentaron con hojuela balanceada hecha con *Artemia* teniendo una composición de 42 % de proteína, 14% de ceniza, 6% de humedad, fortificado con ácidos grasos PUFA, y vitaminas (A, C, D, D_3 , E, B_1 , B_2 , B_6 , B_{12}) y ácido fólico. La frecuencia de alimentación fue de dos veces al día, dividiéndose una proporción de 10% de la biomasa para cada tratamiento.

Aclimatación

Una vez dispuestos los organismos en el cuarto con el fotoperíodo controlado se procedió a la aclimatación a temperaturas de 18, 23 y 28°C aumentando o disminuyendo 1°C por día hasta alcanzar las condiciones térmicas deseadas. En el caso de las temperaturas 23 y 28 °C la temperatura del agua se mantuvo constante con ayuda de un calentador de 300 W de titanio (marca Azoo, China) y la disminución de la temperatura de 18°C se gradúo con un flujo de agua recirculante proveniente del enfriador (marca Azoo chiller 1/3 HP 32kg 547 W, China de capacidad de enfriamiento de 2000 L por hora y una bomba marca Boyu fp 20 W, China con una potencia de 10 L por minuto).

Cuando se presentó el nacimiento de las crías, estas se cambiaron a un estanque independiente de los progenitores con las mismas condiciones de iluminación y temperatura. Las mediciones que se tomaron para evaluar el éxito reproductivo fueron las siguientes:

- Número de puestas
- Número de crías
- Calidad de crías (supervivencia a los 7 días)

- Talla peso (WW), longitud estándar (LS) inicial
- Proporción de sexos

El análisis de resultados se llevó a cabo realizando una ANOVA de una vía y la prueba de Tukey-Kramer HSD para observar si existen diferencias significativas en los tratamientos.

RESULTADOS

Efecto del fotoperíodo día corto (6L:18O) con tres temperaturas (18, 23 y 28°C)

Aunque al inicio del experimento los organismos ya se encontraban en etapa adulta, aún no habían alcanzado su talla máxima y a lo largo del periodo experimental siguieron creciendo. Las figuras 5 A y B muestran el efecto de tres temperaturas en el peso y en la figura 6 A y B en el crecimiento en talla (longitud estándar) para hembras y machos respectivamente a lo largo del periodo experimental.

El peso inicial promedio en las hembras fue de 0.84 g para todos los tratamientos registrando un incremento porcentual de peso a los 120 días de tratamiento de 10.7, 26 y 19% para las temperaturas de 18, 23 y 28 °C respectivamente. Para el caso de los machos el peso inicial fue de 0.6 g en las tres temperaturas, obteniendo un incremento porcentual en el peso final de 46, 51 y 50% para las temperaturas de 18, 23 y 28 °C respectivamente.

Con respecto a la longitud estándar promedio inicial de las hembras (32.4 mm) se presentó un aumento de 8.7, 13.7, y 11.5% en las temperaturas correspondientes. Para el caso de los machos, la longitud inicial promedio fue de 29.2 mm y alcanzaron un incremento del 12, 12 y 13% para las temperaturas 18, 23 y 28°C respectivamente al final del tratamiento. El análisis estadístico con la prueba de Tukey-Kramer HSD no mostró diferencias significativas en peso y longitud estándar entre los muestreos mensuales para los 120 días de tratamiento.

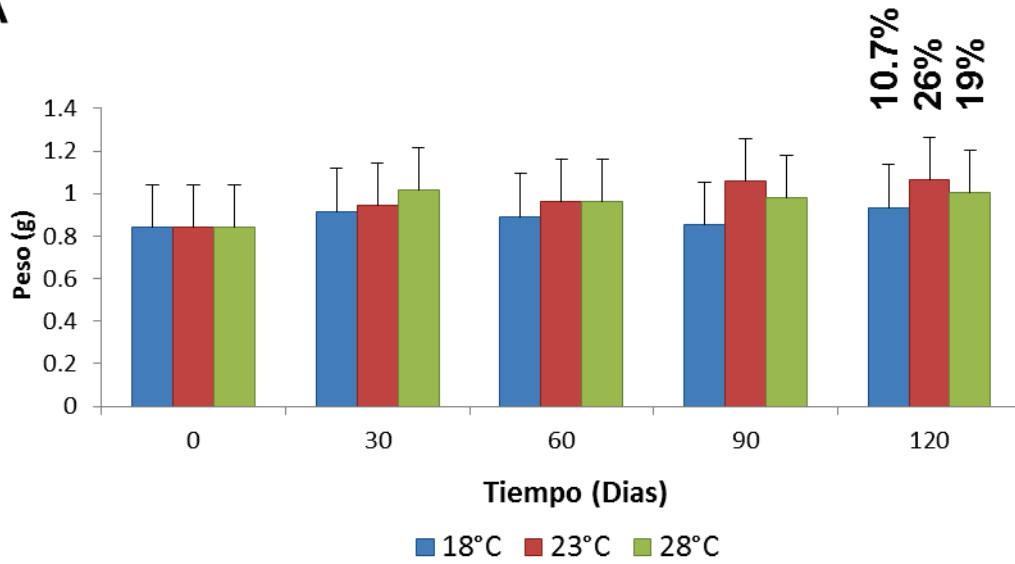
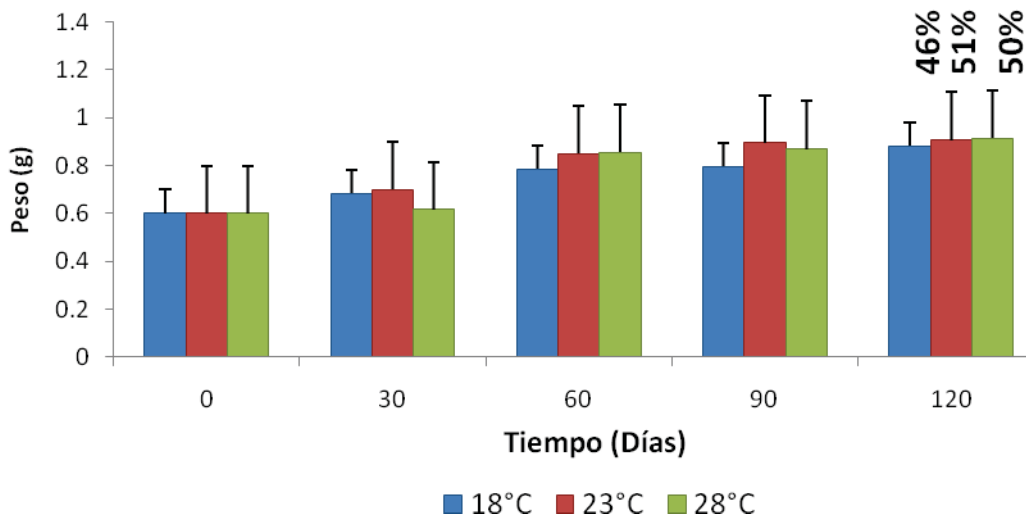
A**B**

Figura 6. Ganancia en peso para A) hembras y B) machos de *X. eiseni* a lo largo de 120 días de tratamiento: en el fotoperíodo de día corto (6L:18O) y tres temperaturas (18, 23 y 28°C).

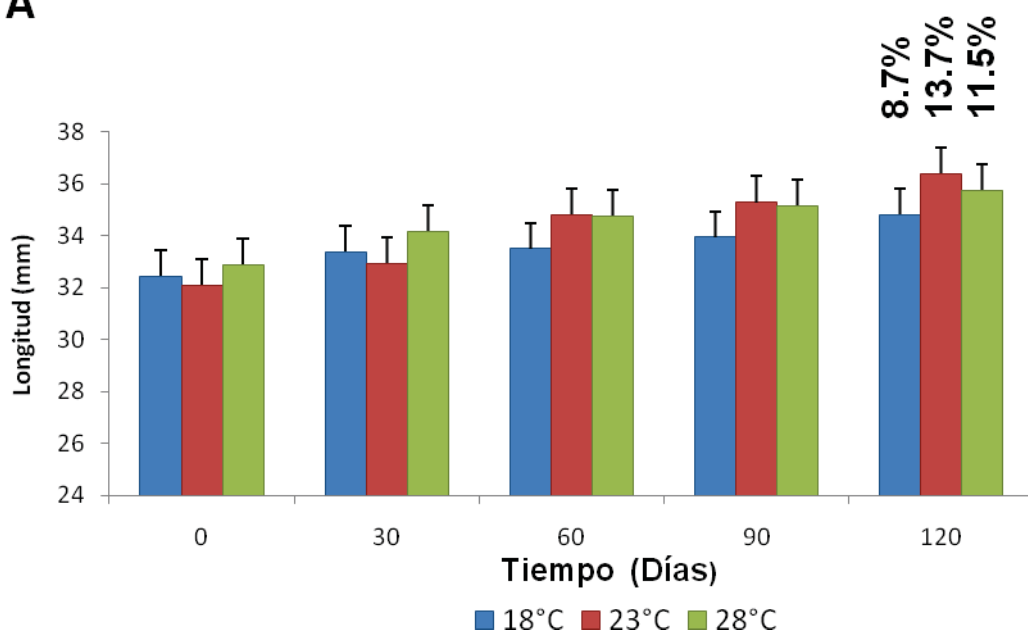
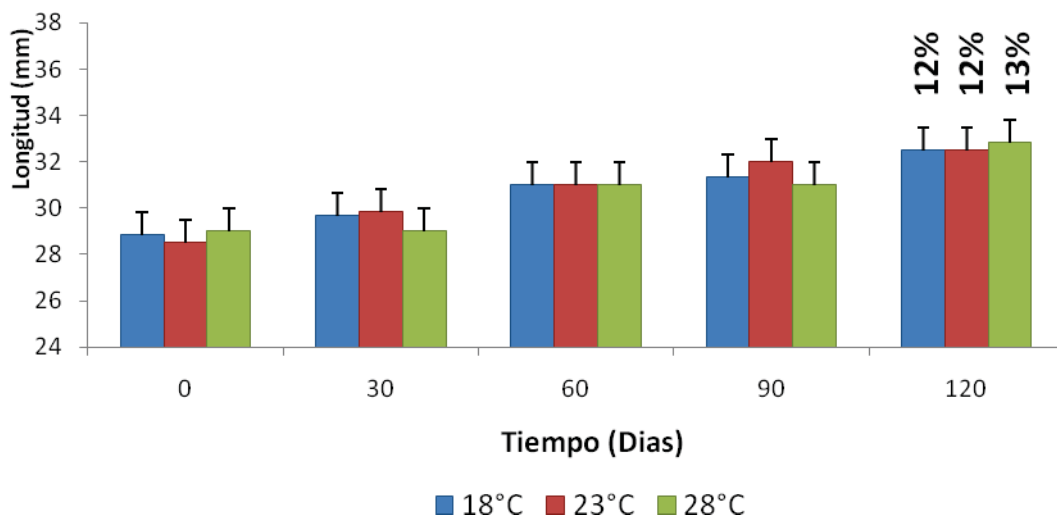
A**B**

Figura 7. Incremento en longitud estándar para A) hembras y B) machos de *X. eiseni* a lo largo de 120 días de tratamiento: en el fotoperíodo de día corto (6L:18O) y tres temperaturas (18, 23 y 28°C).

Éxito reproductivo en el fotoperíodo día corto

El éxito reproductivo se midió como el número total de crías y de puestas a lo largo del periodo experimental, así como la supervivencia en los primeros siete días. Para el caso del número total de crías producidas en el fotoperíodo día corto fueron 25, 53 y 45 nacidas a partir de las madres que estuvieron bajo los tratamientos de 18, 23 y 28 °C respectivamente. Los nuevos organismos nacieron en 3, 3 y 7 puestas respectivamente (Figura 7).

Ninguna de las temperaturas en las cuales se mantuvieron a los padres inhibió la reproducción o el nacimiento de las crías, no obstante, la temperatura de 18°C afectó la producción de crías en comparación a los progenitores de las temperaturas 23 y 28°C que produjeron 106 y 90% más organismos con respecto a los adultos de 18°C. Vale la pena recalcar que el número total de crías producidas a 28°C nacieron en siete puestas, mientras que las 53 crías producidas por los padres que se mantuvieron a 23°C nacieron en tres puestas dentro del fotoperíodo día corto.

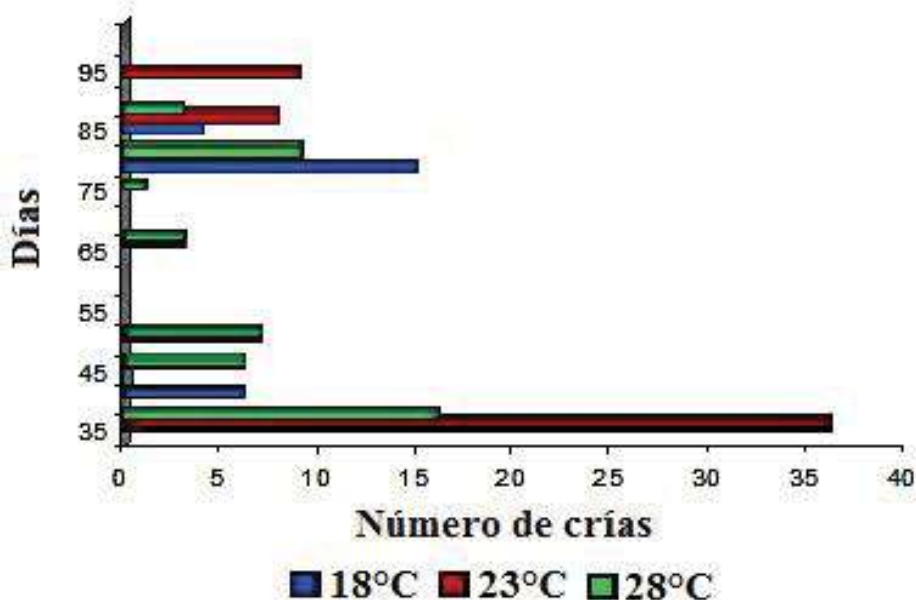


Figura 8. Número de crías producidas en el fotoperíodo de día corto (6L:18O) a tres temperaturas (18, 23 y 28°C).

En el fotoperiodo día corto, los porcentajes de mortalidad de las crías a los siete días de edad en las diferentes temperaturas se presentan en la Figura 8. Los resultados muestran que a 18 y 28°C se presenta mayor mortalidad de las crías, siendo la temperatura de 28°C la que provocó una mortalidad de más del 50%. En la temperatura de 23°C se presentó la mortalidad más baja.

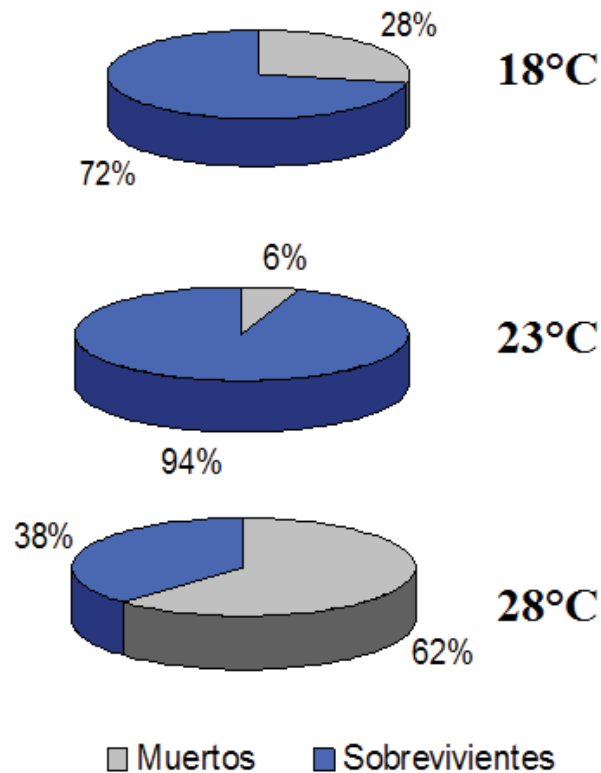


Figura 9. Porcentajes de mortalidad y supervivencia a los siete días de edad de crías de *X. eiseni* nacidas en el fotoperiodo día corto (6L:18O) a tres temperaturas (18, 23 y 28°C).

Talla inicial en peso (WW) y longitud estándar (LS)

Los pesos y longitudes estándar promedio de las crías producidas a los siete días de edad en cada temperatura dentro del fotoperiodo de día corto se presentan en la Figura 9 A y B. Solo se encontraron diferencias significativas en las longitudes

estándar de los peces cultivados en las tres temperaturas en el día corto (prueba de Tukey-Kramer HSD, $p < 0.05$). Sin embargo, se encontró la mayor longitud y el menor peso promedio en los peces nacidos en la temperatura de 18°C y en contraparte las crías nacidas a 28°C registraron la menor longitud pero el mayor peso promedio.

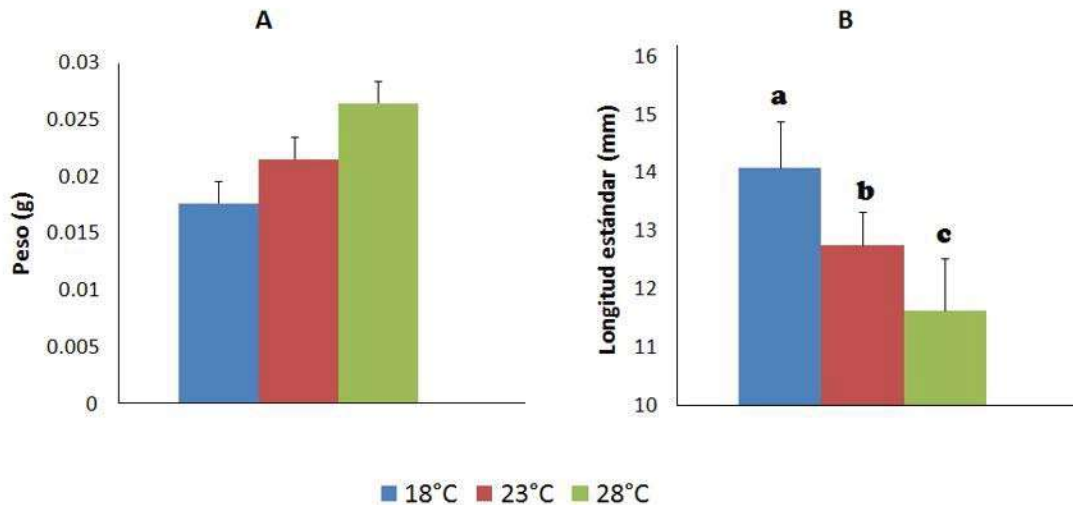


Figura 10. Diferencias con respecto a peso A) y longitud B) de crías recién nacidas de *X. eiseni* nacidas en el fotoperíodo día corto (6L:18O) en tres temperaturas (18, 23 y 28°C). Las letras minúsculas indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

Proporción de sexos

Dado a que la diferenciación sexual no es apreciable en las etapas iniciales, las crías nacidas en los diferentes tratamientos se mantuvieron en las mismas condiciones experimentales y se sexaron al final del experimento. Los resultados indican que la proporción sexual de las crías en los tratamientos 18 y 28°C presenta una tendencia de producción de un mayor número de hembras que de machos, en tanto que la proporción encontrada en la temperatura de 23°C resultó

ser de 1♀:1♂ (Figura 10). Sin embargo, debe de tomarse en consideración que solo se sexaron los individuos sobrevivientes (72, 94 y 38% en las temperaturas 18, 23 y 28°C respectivamente) de los diferentes tratamientos.

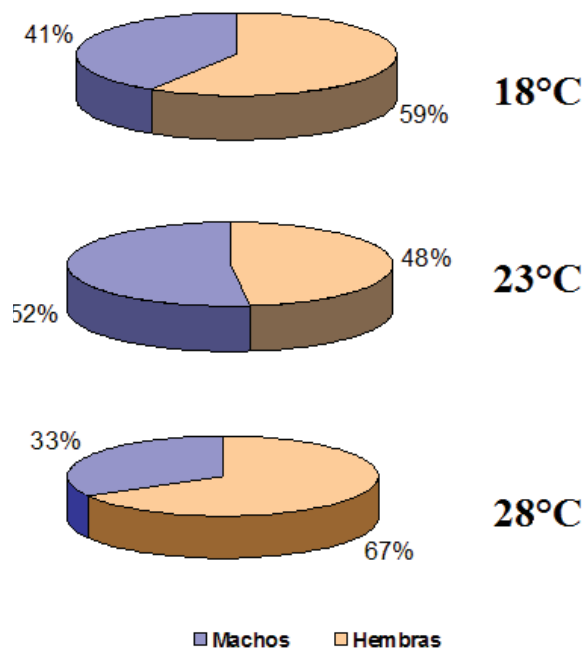


Figura 11. Proporciones sexuales de las crías en el fotoperíodo día corto (6L:18O) y tres temperaturas (18, 23 y 28°C).

Efecto fotoperíodo día largo (18L:6O) y tres temperaturas (18, 23 y 28°C) en crecimiento y reproducción.

Los resultados respecto a la ganancia de peso para hembras y machos adultos se resumen en la Figura 11 A y B. En ellos se observa para el caso de las hembras un incremento porcentual en peso del 42, 153 y 147%, siendo para los machos de un 27, 75 y 69% para las temperaturas de 18, 23 y 28°C respectivamente.

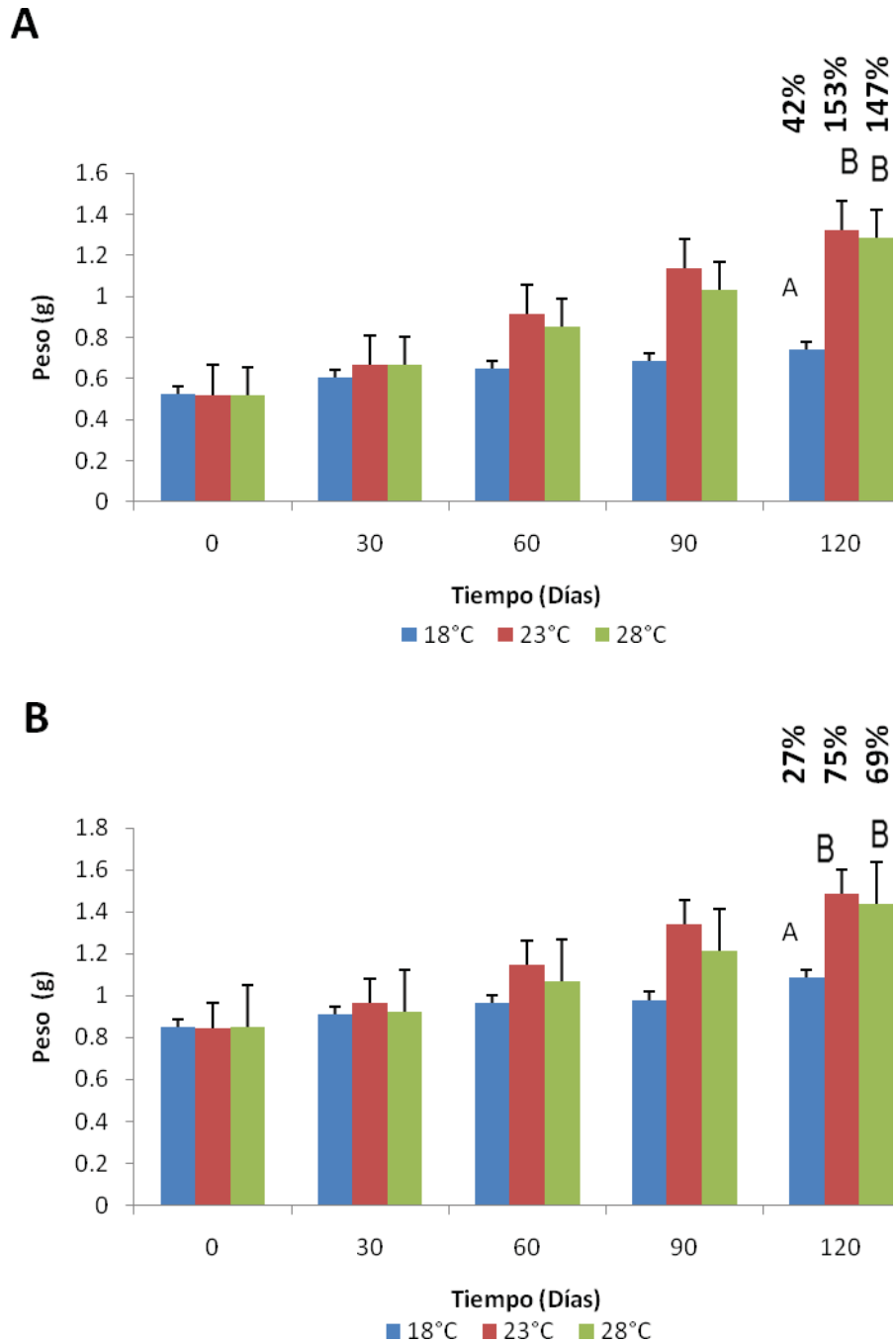


Figura 12. Ganancia en peso para A) hembras y B) machos de *X. eiseni* a lo largo de 120 días de tratamiento: en el fotoperíodo de día largo (18L:6O) en tres temperaturas (18, 23 y 28°C). Las letras mayúsculas indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

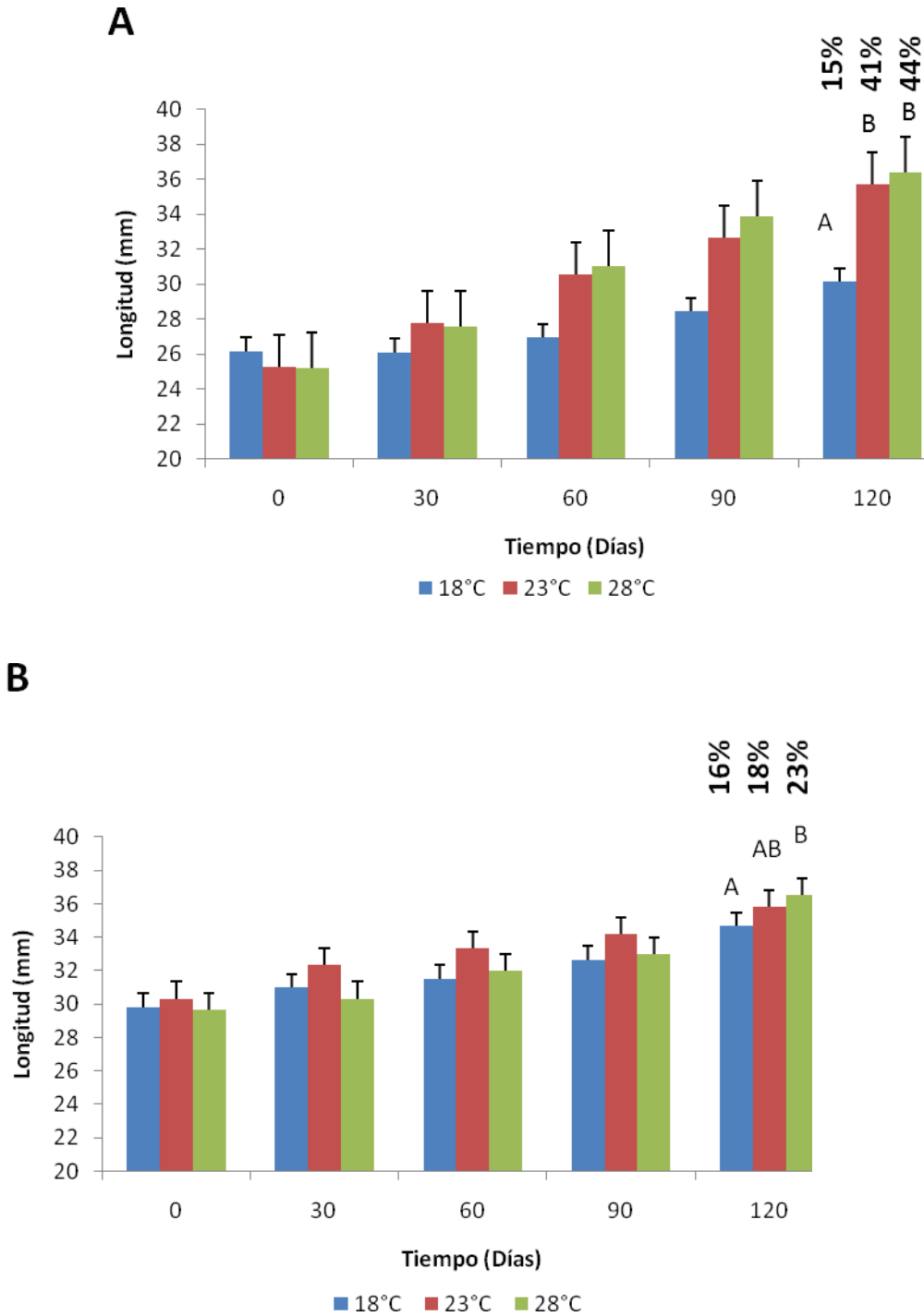


Figura 13. Incremento en longitud estándar para A) hembras y B) machos de *X. eiseni* a lo largo de 120 días de tratamiento: en el fotoperíodo de día largo (18L:6O) en tres temperaturas (18, 23 y 28°C). Las letras mayúsculas indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

Para la longitud patrón se encontró un incremento en el caso de las hembras de 15, 41, 44% y para los machos de un 16, 18 y 23% respectivamente para las temperaturas anteriormente mencionadas (Figura 12 A y B). Estas diferencias fueron significativas en los pesos y tallas de hembras y machos (Tukey-kramer HSD) y agruparon los datos de peso y talla obtenidos en los peces tratados con las temperaturas 23 y 28°C siendo los organismos expuestos a la temperatura de 18°C los que no comparten características de ambas poblaciones (23 y 28°C). Los peces cultivados en la temperatura de 23°C presentaron el mayor incremento de biomasa tanto para machos como para las hembras.

Éxito reproductivo en el fotoperiodo día largo.

En lo referente al éxito reproductivo de los organismos mantenidos en el fotoperiodo día largo los resultados indican que se reduce la capacidad reproductiva de la especie en estas condiciones. A los 55 días del inicio del tratamiento se presentaron los primeros y únicos alumbramientos en las temperaturas de 23 y 28°C, lo que generó un total de 8 crías a los 120 días de tratamiento. Hay que destacar que el comportamiento de los organismos expuestos a fotoperiodo largo y a las temperaturas 23 y 28°C mostraron gran actividad y agresividad entre todos los individuos observados (machos versus machos, hembras versus machos y hembras versus hembras).

DISCUSIÓN

Fotoperiodo corto y tres temperaturas

En el fotoperiodo de día corto no se encontraron diferencias significativas en el peso y talla de las hembras y machos progenitores a los 120 días de tratamiento para las diferentes temperaturas. Las temperaturas utilizadas en esta investigación corresponden al intervalo de tolerancia reportada para esta especie (CITA). La velocidad del metabolismo de los peces está directamente relacionada con la temperatura del agua (Brett 1969). Lo anterior se evidenció en esta investigación observándose un efecto sobre el número y tamaño de las camadas generadas por los peces expuestos a diferentes temperaturas. Probablemente el tratamiento a 18°C aletargó el metabolismo de los peces y en consecuencia generó un retraso en el desarrollo embrionario. En esta temperatura los adultos produjeron sólo la mitad de las crías en comparación de las producidas por los adultos sometidos a 23 y 28°C. Lo anterior coincide con lo descrito por Falcón (1994), quien comenta que en peces la temperatura tiene un efecto directo sobre algunos controles hormonales, la velocidad en las reacciones celulares y la distribución de la energía.

En este fotoperiodo, la temperatura determinó el éxito reproductivo de los adultos, no sólo reflejado en la frecuencia y tamaño de las puestas, sino en la calidad de las crías, pues a 28°C la mortalidad fue casi del 70 %. Lo anterior puede ser explicado posiblemente como el resultado de diversos factores reportados en otros trabajos de investigación, tales como una menor captación del O₂ disuelto (por características físicas propias del agua) hasta un incremento de la población bacteriana e incluso, una disminución de los anticuerpos derivada de una posible desnaturalización de las proteínas globulares termo-sensibles, como son las inmunoglobulinas, que la madre le transfiere a las crías (por medio de la trofotenia) (Uribe et al. 2004). También se observó que dos terceras partes de las crías

producidas a 28°C eran hembras. Sin embargo, este es el resultado de del sexado de las crías que sobrevivieron el mes de edad y no el de la progenie total.

Los peces presentan una amplia plasticidad en los factores que determinan la expresión de su género (Determinación sexual por temperatura [DTS], determinación sexual genética [DTG] o [DTS y DTG en la misma especie]) como resultado de una diversa variedad de estrategias reproductivas (Anexo I). A pesar de esta diversidad en la determinación y diferenciación sexual, existe al menos un factor en común para casi todos los peces teleósteos: el control de la diferenciación del ovario durante el desarrollo del organismo, la cual implica la producción de los estrógenos y de las enzimas necesarias para su síntesis, siendo la enzima aromatasa una de las más importantes (Devlin y Nagahama 2002). El mayor número de hembras podría ser explicado por una mayor producción de aromatasa generada por condiciones térmicas extremas. A esta enzima se le atribuye la influencia como catalizador de la síntesis de estrógenos a partir de andrógenos (Piferrer 2005) y a su vez, los estrógenos son esteroides promotores de hembras en algunas especies de peces (Yamamoto 1969). En consecuencia, una mayor cantidad de aromatasa desencadena una mayor producción de estrógenos y finalmente de hembras (Strüssmann 2002). Estudios en diversas especies de peces y reptiles han demostrado que la expresión del gen p450 aromatasa puede ser afectada por factores ambientales como la temperatura (Crews y Bull 2009); aunque también puede ser promovido por aspectos genéticos y de comportamiento en ambos sistemas de diferenciación sexual (DST y DG) (Devlin y Nagahama 2002). El efecto regulatorio de estas adaptaciones evolutivas genera una amplia adaptación ante cambios ambientales (Godwin et al. 2003), lo que podría explicar el mayor porcentaje de hembras de *X eiseni* en la temperatura de 29°C

Por otro lado, si se toma en cuenta que sólo se sexaron organismos sobrevivientes, y que precisamente fue en los extremos térmicos donde se

observó los mayores porcentajes de hembras y de mortalidad, existe la posibilidad de que una mayor proporción de hembras se relaciona con una mayor tolerancia de éstas a cambios ambientales a fin de preservar la especie. En algunas especies se ha observado que un número limitado de machos puede fecundar a un gran número de hembras, por lo que la continuidad de la especie dependerá mayormente de las hembras que los machos. Particularmente, en el caso de las hembras de *X. eiseni* al ser peces vivíparos probablemente han desarrollado mayor resistencia ante los factores circunstanciales adversos para la continuación de la especie (Mendoza 1965). Si esta especie cuenta con DSG, la supervivencia de las hembras podría estar relacionada a una respuesta evolutiva de la especie que favorece al género femenino para garantizar su continuidad, lo cual deberá ser estudiado con mayor detalle.

La temperatura y el fotoperiodo son factores ambientales de gran importancia ya que indican a los peces el momento adecuado para iniciar su proceso reproductivo y así garantizar que al nacer, las crías cuenten con suficiente alimento y las condiciones adecuadas para su supervivencia. Por lo tanto, estos factores ambientales influyen en la distribución de la energía captada en el ambiente (Davies 1999 mas citas?).

En relación al efecto de la temperatura y la proporción sexual en estudios realizados en el pez blanco de Pátzcuaro (*Menidia estor*) se encontró que organismos juveniles sometidos a diferentes temperaturas (post eclosión) mantenían una proporción sexual de 1:1 (Tello 2010). No obstante, una situación contraria se observó en otras especies de la misma familia como *Odontesthes bonariensis* y *Menidia menidia*, en donde existe una relación entre proporción sexual y temperatura. En ambas especies la actividad de la aromatasa se incrementa en bajas temperaturas generando mayor proporción de hembras; y en altas temperaturas una mayor proporción de machos (Oikawa 2001, Strüssmann et al. 2003). Los resultados para *X. eiseni* muestran una tendencia a generar

mayor número de hembras en extremos térmicos, sugiriendo que puede existir algún mecanismo de activación del gen p450 aromatasa en extremos térmicos con fotoperiodos cortos. De igual forma, existe la posibilidad de que los organismos que murieron expuestos a estas temperaturas extremas hayan sido machos, por lo que no debe descartarse la posibilidad de que la especie presente determinación sexual genética y no determinación sexual por temperatura. En cualquier caso, la estrategia de diferenciación sexual deberá ser estudiada con mayor detalle en esta especie.

Fotoperiodo largo en tres temperaturas

En el crecimiento del fotoperiodo largo se encontró un incremento significativo en el peso y la longitud estándar de machos y hembras en las temperaturas 23 y 28°C a diferencia de la temperatura de 18°C. Existe un amplio registro de especies de animales de granja que son sometidos a fotoperiodos largos para incrementar la ganancia de peso en periodos cortos de tiempo, que puede explicarse por la ausencia de melatonina plasmática que actúa como inhibidor del apetito, ya que ante un fotoperiodo largo los niveles melatonina bajan y el apetito se estimula (Kuz'mina 2005).

En algunos peces de importancia comercial como la tilapia (*Oreochromis niloticus*) y el salmón del atlántico (*Salmo salar*) se ha observado una tendencia a incrementar significativamente su tasa de crecimiento en respuesta a los fotoperiodos largos vs cortos, siendo el fotoperiodo de luz continua el que provocó un aumento de peso en un 70% a los 168 días para la tilapia (El Sayed 2004) y a los 40 días para el caso del salmón (Johnston et al. 2003). En los resultados del presente trabajo, el máximo incremento de peso en *X. eiseni* fue de un 150% en la temperatura de 23°C que ocurrió en el fotoperiodo 18L:6O a los 120 días de exposición al fotoperíodo largo.

En el caso de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) el fotoperiodo óptimo para la reproducción fue de 18L:6D, destacando la relación entre los relojes endógenos para la maduración gonadal y los ciclos circadianos de liberación de melatonina a lo largo de un fotoperiodo pre-establecido (Campos et al 2004, Martínez et al 2008). Sin embargo, de acuerdo a lo observado en el presente estudio es este mismo fotoperiodo el que inhibe casi totalmente la reproducción en *X. eiseni*

Reproducción

Los resultados del experimento para el fotoperiodo de día largo mostraron que en *X. eiseni* la reproducción puede ser casi totalmente inhibida, ya que en el experimento de día corto los primeros alumbramientos en las tres temperaturas comenzaron a los 36 días de iniciado el experimento, generando un total de 123 crías; de las cuales 25, 53 y 45 nacieron a partir de hembras que estuvieron bajo los tratamientos de 18, 23 y 28 °C respectivamente, en tanto que el experimento fotoperiodo de día largo exhibió los primeros alumbramientos a los 55 días generando un total de 8 crías en las temperaturas 23 y 28°C a los 120 días de tratamiento. Lo anterior probablemente es el resultado del efecto de la baja producción de melatonina por la constante exposición a un fotoperiodo largo. Estas bajas concentraciones de melatonina plasmática podrían inhibir algún ritmo endógeno (disrupción endocrina) interrumpiendo la señal del RNAm para la producción de gonadotropinas y/ o algunas otras hormonas o procesos críticos para la reproducción. La información recibida del fotoperiodo al que se expone una especie tiene efectos (de una manera rítmica) en la cascada hormonal en el eje cerebro-hipotálamo-gonadal. Sin embargo, este último aspecto sigue siendo desconocido. Los cambios del fotoperiodo en la naturaleza son de vital importancia para la regulación de los ritmos endógenos pre-existentes en la reproducción. Lo anterior es el resultado de múltiples adaptaciones evolutivas

(Carrillo et al, 1993, 1995.). Los cambios en el fotoperíodo afectan los ritmos diarios de producción de la melatonina en plasma, que a su vez puede afectar la producción de las gonadotropinas como es el caso de la Hormona Luteinizante LH y 11 Keto-testosterona (11-KT) (Bayarri et al. 2009). Para el caso particular de la lubina, los ritmos anuales de producción de gonadotropina y los niveles de expresión en el plasma de los esteroides sexuales se vieron afectados por el fotoperíodo (Rodríguez et al. 2005). La información proveniente tanto del fotoperíodo como de los ritmos diarios y anuales es determinante para lograr el desove en el momento más adecuado del año para la supervivencia óptima de la progenie. No obstante, la exposición a la luz continua (24L) parece ser muy eficaz en la supresión de los ritmos diarios de producción de melatonina en que especies, lo cual provoca una disminución significativa de los niveles de ARNm de la gonadotropina y sus sub-unidades generando una reducción significativa de los niveles plasmáticos de 11-KT y LH durante la época de reproducción, y con ello una esterilidad inducida (Figura13) (Carrillo et al. 2009).

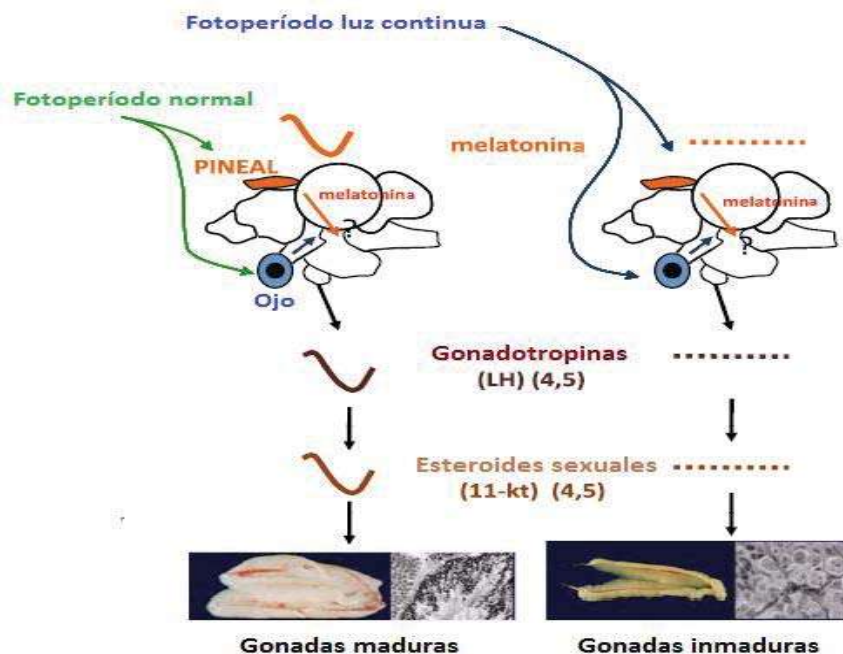


Figura 14. Efecto de dos fotoperíodos en gónadas de lubina (tomado y modificado de Carrillo et al. 2009)

Otra posible explicación de la ausencia en el éxito reproductivo de *X eiseni* podría estar relacionada al estrés generado por el fotoperiodo largo, ya que los organismos presentaron comportamiento agresivo desde los 30 días de iniciado el experimento. Explicado por el NPY los peces fueron los primeros vertebrados en desarrollar una respuesta al estrés. Esto incluye las relaciones entre los ejes del sistema nervioso y el sistema endocrino (Engelsma et al. 2002; Flik, et al. 2006).

Aunque la respuesta precisa a la inhibición reproductiva en este experimento no pudo ser determinada, se conoce que la reproducción puede ser controlada a partir de la regulación artificial del fotoperiodo y la temperatura, a fin de incrementar el éxito reproductivo. Los resultados generados en el presente trabajo son una primera aproximación al conocimiento de los efectos causados por la temperatura y el fotoperiodo en el éxito reproductivo y crecimiento de *Xenotoca eiseni*. Empero se requieren mayores conocimientos que permitan manejar y obtener peces adultos con altas tasas reproductivas y crías con altas supervivencias y crecimiento. Esta información ya es y será de gran utilidad en la mitigación de los efectos antropogénicos a esta especie endémica. La investigación acerca de estos organismos, tanto en condiciones de campo, como de laboratorio, permitirá plantear futuras y efectivas estrategias de conservación.

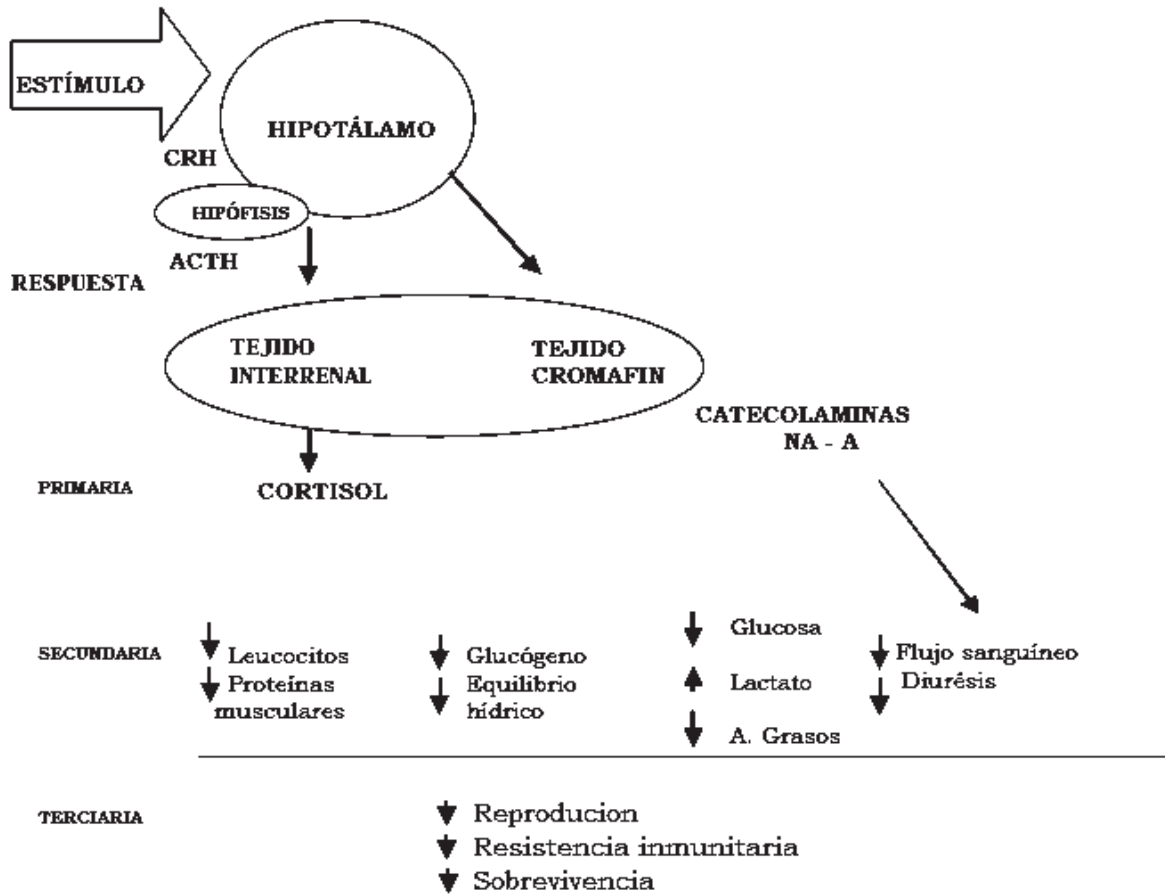


Figura 15. Tipos de respuestas fisiológicas a estrés desde el punto de vista de los niveles de organización biológica (Tort 1998).

CONCLUSIONES

Los resultados de esta investigación indican que el fotoperiodo corto 6L:18O y la temperatura de 23°C generan un mayor número de crías, con una mayor supervivencia (más del 90%). si el objetivo es acelerar significativamente el crecimiento en etapas tempranas del desarrollo, se sugiere someter a esta especie a un fotoperiodo largo de 18L:6O con un intervalo de temperaturas de 23°C a 28°.

ANEXO I

Tabla 2 Sumario de componentes relacionados con la reproducción en peces teleósteos, tomada del libro The diversity of fishes © (Helfman et al 2009).

<p>I. Numero de oportunidades de alumbramientos</p> <p>A.Sememparos(Se reproducen una vez y mueren):Lampreas, anguilas de río, algunos peces cuchillo sudamericanos,salmones del Pacífico ,capelines.</p> <p>BIteroparos(Múltiples alumbramientos):</p> <ol style="list-style-type: none">1.Singular, Extendida a un engendramiento por estación o por año(Rivulines).2.Múltiples engendramientos por estación: La mayoría de las especies (Elasmobranquios, peces pulmonados, perciformes).
<p>II.Sistema de cortejo</p> <p>A.Promiscuos (Ambos sexos con múltiples parejas durante la estación reproductiva):herrings, livebearers, greenlings, epinepheline, seabasses, damselfishes, wrasses, surgeonfishes.</p> <p>Polígamos:</p> <ol style="list-style-type: none">1.Polígineos(Macho tiene múltiples parejas en cada estación reproductiva):sculpins, sunfishes, darters, la mayoría de los ciclidos, sea basses, angelfishes, hawkfishes, damselfishes, wrasses, parrotfishes, surgeonfishes, trunkfishes, triggerfishes.2.Poliandria(Hembra con múltiples parejas por estación):Peces anemona(En algunas circunstancias). <p>Monógamos (La pareja permanece junta durante el período de engendramiento o posterior a él):Peces toro, algunos pipefishes, caballos de mar. Serranus, hamlets, jawfishes, peces mariposa, algunos ciclidos.</p>
<p>III Sistema de genero</p> <p>A.Gonocóricos(El sexo es establecido en la maduración): mayoría de las especies(Elasmobranquios, peces pulmonados, sturgeons, bichirs, bonytongues, clupeiforms, salmoniformes, beryciformes, scombroides).</p> <p>B.Hermafroditas (El sexo puede cambiar después de la maduración).</p> <ol style="list-style-type: none">1.Simultáneos(Ambos sexos en un individuo):kryptolebias, hamlets, serranus.2.Secuencial(Individuos que en primera instancia tiene un sexo y después cambian). <p>a.Protándricos(Macho que se transforma en hembra) Peces anemona algunos morayeelscalcarífer(centronidae).</p> <p>b.Protoogíneos(Hembra que se transforma en macho) Anthias, humbugdamselfishes, peces angel, wrasses, parrotfishes, gobies.</p> <p>C.Partenogénicos(El desarrollo del huevo ocurre sin fertilización):</p> <ol style="list-style-type: none">1.Ginogénico(No hay contribución genética del macho solo activa el huevo) <i>Poeciliopsisformosa</i>.2.Hibridogénico(La contribución genética del macho es descartada cada generación).
<p>IV Características sexuales secundarias</p> <p>A.Monomórfico(No se exhiben diferencias entre los sexos) mayoría de las especies.</p> <p>B Sexualmente dimórficos.</p> <ol style="list-style-type: none">1.Permanentemente dimórficos (Los sexos son distinguibles en organismos maduros) poecilia, anthiine seabasses, dolphinfishes, cichlasoma algunos peces angel, wrasses, parrotfishes.2.Estacionalmente dimórficos.(Cambios solo en la estación reproductiva) peces león, salmon del pacífico, muchos cypriniformes, surgeonfishes.3.Polimórficos(Cada sexo tiene más de una forma)precoces y adultos de salmon machos primarios y secundarios de wrasses.
<p>V.Preparación del sitio de crianza</p> <p>A. No Existe preparación(Mayoría de las especies).</p> <p>B. El lugar es preparado y defendido(Ciclidos, gobies, Damselfishes, sunfishes, blennies).</p>
<p>VI Lugar de la fertilización</p> <p>A.Externa(Mayoría de las especies).</p> <p>B Interna(Peces ovovivíparos y vivíparos).</p> <p>C.Bucal(Algunos ciclidos).</p>
<p>VII.Cuidado parental.</p> <p>A.No hay cuidado parental(Mayoría de las especies).</p> <p>B Cuidado parental Paterno: (Pez gato marino, pipefishes, greenlings.</p> <p>C. Cuidado parental materno).</p> <ol style="list-style-type: none">1.Ovoviviparidad con cuidados postengendramiento (Algunos poecilidos).2.Ovoviviparidad sin cuidados post engendramiento(Peces roca, seabastes).3Viviparidad sin cuidados post alumbramiento,(poecilidos y goodeidos). <p>D.Cuidados biparentales (Peces toro, peces anemona).</p> <p>E. Cuidados por juveniles(Algunos ciclidos africanos).</p>

LITERATURA CITADA

- Abell R.A., Olson D.M., Dinerstein E., Hurley P.T., Diggs J.T., Eichbaum W., Walters S., Wettengel W., Allunut T., Loucks C.J., y P. Hedao (2000). Freshwater ecoregions of North America. A conservation assessment. Island Press.Washington, 319 p.
- Aoki H., Yamada N., Ozeky Y., Yamane H. y N. Kato. (1998). Minimum light intensity required to suppress nocturnal melatonin concentration in human saliva. *Neurosci. Lett.* 252, 91–94.
- Arends R. J., Mancera, J. M., Muñoz, J. L., Wendelaar S. E. y G. Flik. (1999) The stress response of the gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) to air exposure and confinement. *J. Endocrinol.* 163: 149-157.
- Barlow C. G., Pearce M., Rodgers L. J. y P. Clayton. (1995). Effects of photoperiod on growth, survival and feeding periodicity of larval and juvenile barramundi *Lates calcarifer* (Bloch). *Aquaculture* 138: 159-168
- Baroiller J-F., Guiguen Y. y A. Fostier. (1999). Endocrine and environmental aspects of sex differentiation in fish. *Cell Mol Life Sci* 55, 910–931.
- Bayarri M.J., Zanuy, S., Yilmaz, O. y M. Carrillo. (2009). Effects of continuous light on the reproductive system of European sea bass as gauged by alterations of circadian variations during their first reproductive cycle. *Chronobiol. Int.* 26 (2), 1–16.
- Benyassi A., Schwartz C., Coon S.L., Klein D.C. y J. Falcón. (2000). Melatonin synthesis: arylalkylamine N-acetyltransferases in trout retina and pineal organ are different. *Neuroreport* 11, 255–258.

Bernier N. J. (2006). The corticotropin-releasing factor system as a mediator of the appetite-suppressing effects of stress in fish. *General and Comparative Endocrinology* 146: 45-55.

Brett J.R. (1969). Some principles in the thermal requirements of fishes. *The Quarterly Review of Biology*. 31, 75-87.

Brett JR, Groves TDD. 1979. Physiological energetics. In: Hoar WS, Randall DJ, eds. *Bioenergetics and growth. Fish physiology*, Vol. 8, pp. 279-352. New York: Academic Press

Bromage N., Elliott J.A., Springate J.R.C. y C. Whitehead. (1984). The effect of constant photoperiods on the timing of spawning in the rainbow trout. *Aquaculture* 43, 213–223.

Bromage N., Poter M. y C. Randal. (2001). The environmental regulation of maturation in farmed fishing with special reference to the role of photoperiod and melatonin. *Aquaculture* 197, 63-98.

Campos-Mendoza A., McAndrew B.J., Coward K. y N. Bromage. (2004). Reproductive response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to photoperiodic manipulation; effect on spawning periodicity, fecundity and eggs size. *Aquaculture* 231, 299-314.

Carrillo M., Zanuy S., Felip A., Bayarri M.J., Molés, G. y A. Gómez. (2009). Hormonal and environmental control of puberty in perciform fish: the case of sea bass. *Ann. NY Acad. Sci.* doi:10, 11-98

Carrillo M., Zanuy, S., Prat, F., Cerdá, J., Ramos, J., Mañanós, E y N. Bromage. (1995). Sea bass. En: Bromage, N.R., Roberts, R.J. (Eds.), *Broodstock management and Egg and larval quality*. Blackwell, Oxford, pp. 138–168.

- Carrillo, M., Zanuy, S., Prat, F., Serrano, R y N. Bromage. (1993). Environmental induction of spawning in sea bass. In: Roberts, R.J. y J. Muir (Eds.), Recent advances in aquaculture, vol. 4. Blackwell Scientific publications, London,9 .43–54.
- Conover D.O. y M.H. Fleisher. (1986). Temperature-sensitive period of sex determination in the Atlantic silverside, *Menidia menidia* . Can J Fish Aquat Sci 43, 514–520.
- Coon S.L., Begay V., Deurloo D., Falcón J. y D.C Klein. (1999). Two arylalkylamine Nacetyltransferase genes mediate melatonin synthesis in Fishes. J. Biol. Chem. 274, 9076–9082
- Crews D. y J. Bull (2009). Analyzing the coordinate gene network underlying temperature-dependent sex determination in reptiles. Semin Cell Dev Biol 20(3), 283–292.
- Davies A., Porter M., Bromage N y H. Migaud. (2007). The role of seasonal altering photoperiod in regulating physiology in Atlantic cod (*Gadus morhua*). Part II. Somatic growth.Can. J. Fish.Aquat.Sci. 64 (1), 98–112.
- Davies B, Bromage N. y P. Swanson. (1999). The brain-pituitary gonadal axis of female rainbow trout *Oncorhynchus mikiss*: effects of photoperiod manipulation. Gen Comp Endocrinol. 115, 155–166
- Devlin, R.H y Y. Nagahama. (2002) Sex determination and sex differentiation in fish: an overview of genetic, physiological, and environmental influences. Aquaculture 208, 191–364.

Dominguez H. (1999). Contribución al estudio de los peces de la familia Goodeidae de Michoacán. Tesis de Licenciatura. UMSNH. 6-10 pp.

Domínguez-Domínguez, O., Mercado-Silva, N., Lyons, J. y H.J. Grier. (2005). The viviparous goodeid fishes. En: Uribe, M.C y H. J. Grier (Eds). Viviparous fishes. New Life. México. 525-569 pp.

Domínguez, D. O. (2008) Filogeografía de *Zoogoneticus quitzeoensis*, *Xenotoca variata* y *Alloophorus robustos* (Cyprinodontiformes: Goodeidae) en el Centro de México: implicaciones taxonómicas y de conservación. Tesis de doctorado. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. 241 p.

Dudgeon D., Arthington A. H., Gessner M. O., Kawabata Z., Knowler D. J., Lévêque C. L., Naiman R. J., Prieur-Richard A., Soto Stiasny D., M. L. J., y C. A. Sullivan. (2006). Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews* 81(2):163-182.

Duston, J. y N. Bromage. (1991). Circannual rhythms of gonadal maturation in female rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *J. Biol. Rhythms* 6, 49–53.

Ekström, P. y H. Meissl. (1997). The pineal organ of fishes. *Rev. Fish Biol.* 7, 199 – 284.

Endal H. P., Taranger G. L., Stensson S. O. y T. Hansen. (2000). Effects of continuous additional light on growth and sexual maturity in Atlantic salmon, *Salmo salar*, reared in sea cages. *Aquaculture*. 191: 337-349.

- Engelsma M. Y., Hougee, S., Nap, D., Hofenk, M., Rombout, Jan H W M., van Muiswinkel, W. B. y B. Lidy (2003). Multiple acute temperature stress affects leucocyte populations and antibody responses in common carp, *Cyprinus carpio* L. *Fish Shellfish Immunol.* 15: 397-410.
- Falcón J., Besseau L., Fazzari D., Attia J., Gaildrat P., Beauchaud M y G. Boeuf. (2003). Melatonin modulates secretion of growth hormone and prolactin by trout pituitary glands and cells in culture. *Endocrinology* 144 (10), 46-48.
- Falcón J., Besseau L., Sauzet S., y G. Boeuf. (2007). Melatonin effects on the hypothalamo-pituitary axis in fish. *Trends Endocrinol. Metab.* 18, 81–88.
- Falcón J., Bolliet V., Ravault J.P., Chesneau D., Ali M.A. y J.P Collin. (1994). Rhythmic secretion of melatonin by the superfused pike pineal organ: thermo- and photoperiod interaction. *Neuroendocrinology* 60, 535–543.
- Falcón J., Bolliet V. y J.P. Collin. (1996). Partial characterization of serotonin N-acetyltransferases from northern pike (*Esox lucius* L.) pineal organ and retina. Effects of temperature. *Pflügers Arch.* 342, 386–396.
- Falcón J., Migaud H., Muños J. y M. Carrillo. (2009). Current knowledge on the melatonin system in teleost fish. *Gen. Comp. Endocrinol.* 2-8.
- Flik G., Klaren, P. H. M., Van den Burg, Erwin H., Metz, J. R. y M. O. Huising (2006/3). CRF and stress in fish. *General and Comparative Endocrinology* 146: 36-44.
- Gern W.A., Greenhouse S.S., Nervina J.M., y P.J. Gasser (1992). The rainbow trout pineal organ: an endocrine photometer. In: Ali, M.A. (Ed.), *Rhythms in fish.* plenum, New York. 199–218 pp.

Gibbons J.W. (1976). Thermal alteration and the enhancement of species populations. En: Esch GW y RW McFarlane (Eds). Thermal Ecology II, ERDA Symposium Series (CONF-750425).

Godwin J., Luckenbach J.A. y R.J. Borsk. (2003). Ecology meets endocrinology: environmental sex determination in fishes. *Evol. Dev.* 5, 40–49.

Haig S. M., Beever E. A., Chambers S. M., Draheim H. M., Dugger B. D., Dunham S., Elliott-Smith E., Fontaine J. B., Kesler D. C., Knaus B. J., Lopes I. F., Loschl P., Mullins T. D., y L. M. Scheffield. (2006). Taxonomic considerations in listing subspecies under the U.S. Endangered Species Act. *Conservation Biology* 20(6):1844-1850.

Helfman G.F., Collete B., Facey E y W. Bowen. (2009). *The diversity of Fishes* 2nd Ed. Wiley-Blackwell. UK. 456-720.

Jelks H.L., Walsh S.J., Burkhead N.M., Balderas. S.C., Díaz-Pardo E., Hendrickson, D.A., Lyons J. Mandrak N.E., McCormick. F. Nelson J.S., Platania S.P. Porter B.A., Renaud C.B., Schmitter-Soto J. J., Taylor E.B., y M. L. Warren. (2008). Conservation status of imperiled North American freshwater and diadromous. *Fishes Fisheries* 33 (8), 424.

Jobling M. (1996). Temperature and growth: modulation of growth rate via temperature. En: Wood C.M. y D.G. McDonald (Eds). *Global warming: Implication for freshwater and marine fish. Seminar Series Society for Experimental Biology.* University Press, Cambridge. 225-253 pp.

- Jobling, M. (1995). Environmental biology of fishes. Fish and Fisheries Series 16. Chapman and Hall. London, U.K. 455-513 pp.
- Johnston. I. A., Manthri. S., Smart. A., Campbell. P., Nickell. D. y R. Alderson, R (2003) Plasticity of muscle fibre number in seaater stages of Atlantic salmon in response to photoperiod manipulation. J. Exp. Biol. 206: 3425-3435
- Jonassen T.M., Imsland A.K., Kadowaki S. y S.O. Stefansson. (2000). Interaction of temperature and photoperiod on growth of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) L. Aquac.Res. 31, 219– 227.
- Kissil G. W., Lupatsch I., Elizur A. y Y. Zohar. (2001). Long photoperiod delayed spawning an increased somatic growth in pilthead seabream (*Spaurus aurata*). Acuaculture 200, 363-379.
- Kuz'mina V. (2005). Regulation of the fish alimentary behavior: Role of humoral component. Journal of evolutionary biochemistry and physiology vol. 41, 282-295
- Lombardi J. y J.P. Wourms. (1985). The trophotaenia placenta of a viviparous goodeid fish. L Ultrastructure of the internal ovarian epithelium, the maternal component J. Morphol 184, 277-292.
- Lombardi J. y J.P. Wourms. (1988). Embryonic growth and trophotaenial development in goodeidfishes (Teleostei: Atheriniformes). J. Morphol197:193-208.
- Martinez-Chavez C. C., Al-Khamees S., Campos-Mendoza A., Penman D. J. Y H. Migaud (2008). Clock-controlled endogenous melatonin rhythms in Nile tilapia (*Oreocromis niloticus*) and African cat fish (*Clarias gariepinus*). Acuaculture 25 (1): 31-34

- Mendoza G. (1965). The ovary and anal processes of *Characodon eiseni*, a viviparous cyprinodont teleost de Mexico. *Bioi Bull* 129:303-315.
- Migaud H., Davie A., Martínez- Chávez C.C y S. Al-Khamees. (2007). Evidence for differential photic regulation of pineal melatonin synthesis in teleosts. *Pineal Res.* 43, 327–335.
- Molina-Domínguez, E.A., Rueda-Jasso, R.A., Torres-Hernández, E., Fuentes-Orozco, V. y A.M. Vázquez-Vergara. (2005). Effect of photoperiod, temperature and sex proportion of *Skiffia lermae* (Pises: Goodeidae: Goodeinae). III Internacional Symposium on Viviparous Fishes (8-10 noviembre). UMSNH.Morelia Michoacán.
- Mommsen T. P., Vijayan, M. M. T. Moon. (1999). Cortisol in teleosts: dynamics, mechanisms of action, and metabolic regulation. *Rev. Fish Biol. Fish.* 9: 211-268.
- Moon T. W., Busby, E. R., Cooper, G. A. y T. Mommsen.(1999). Fish hepatocyte glycogen phosphorylase - a sensitive indicator for hormonal modulation. *Fish Physiol. Biochem.* 21: 15-24.
- Nelson J. S. (2006). *Fishes of the world*. John Wiley and Sons, Inc. New York. 4th Ed. 601 p.
- Oikawa T. (2001). Study on the effects of temperature on the sex determination and abundance of pejerrey resources in Lake Kasumigaura. MSc Thesis. Tokyo: Tokyo University of Fisheries, Tokyo, Japan.
- Pepels P. L. M., Pesman, G., Korsten, H., Wendelaar Bonga, S. E. P. Balm. (2002). Corticotropin-releasing hormone (CRH) in the teleost fish

Oreochromis mossambicus (tilapia): in vitro release and brain distribution determined by a novel radio immuno assay. *Peptides* 23: 1053-1062.

Piferrer F. y M. Blazquez. (2005). Aromatase distribution and regulation in fish. *Fish Physiol. Biochem.* 31, 215–226.

Randall C.F., Bromage N.R., Porter M.J.R., Gardener J y N.A. Auchinachie. (1999). Circannual rhythms of reproduction in rainbow trout. En Taranger G.L., Norberg B., Stefansson S., Hansen T., Kjesbu O. y E. Andersson. (Eds.) *Proceedings of VIth International Symposium on Reproductive Physiology of Fish*, Bergen. 325–327 pp.

Robin S.K. y C.G. Carter (2005). Growth efficiency of juvenile barramundi, *Lates calcarifer*, at high temperatures. *Aquaculture*. 250, 775-780.

Rodríguez, L., Begtashi, I., Zanuy, S. y M. Carrillo (2005). Long-term exposure to continuous light inhibits precocity in European male sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.): hormonal aspects. *Gen. Comp. Endocrinol.* 140, 116–125.

Rosa-Molinar E. y A.C. Burke. (2002). Starting from fins parallelism in the evolution of limbs and genitalia the finto genitalia transition. *EvoDevo* 4(2):1-3.

Rosen D.E. y M. Gordon. (1953). Functional anatomy and evolution of male genitalia in poeciliid fishes. *Zoologica* 38: 1-52.

Rueda-Jasso, R.A. y J.M. Ayala-Bailón. (2007). Efecto del fotoperíodo en el crecimiento del pez endémico mexicano (*Xenotoca eiseni*). *Memorias en*

extenso VI Congreso Internacional y XII Nacional de Ciencias Ambientales. UACH, ANCA (6 – 8 junio). Chihuahua, Chihuahua.

Sébert M.E., Legros C. Weltzien F.A., Malpoux B., Chemineau P. y S. Dufour. (2008). Melatonin activates brain dopaminergic systems in the eel with an inhibitory impact on reproductive function. *J. Neuroendocrinol.* 20, 917–929.

Sidell B.D., Moerland TS., 1989. Effects of temperature on muscular function and locomotory performance in teleost fish. In: *Advances in comparative and environmental physiology*, Vol. 5, pp. 116-158.

Simonneaux V. y C. Ribelayga. (2003). Generation of the melatonin endocrine message in mammals: a review of the complex regulation of melatonin synthesis by norepinephrine, peptides, and other pineal transmitters. *Pharmacol. Rev.* 55, 325–395.

Skjæraasen J.E. (2004). The effect of photoperiod on sexual maturation, appetite and growth. *Fish Physiology and Biochemistry.* 30, 163-174.

Stauffer, Jr. (1996). Combined effects of water temperature and salinity on growth and feed utilization of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture International* 8, 289-298.

Strüssmann J.C. y C. Patiño. (1995). Temperature manipulation of sex differentiation in fish. In: *Proceedings of the Fifth International Symposium on the Reproductive Physiology of Fish.* F.W. Goetz and P. Thomas. (Eds.) *Fish Symp* 95. Austin, Texas. 153–160 pp.

Strüssmann J.C. y M. Nakamura. (2002). Morphology, endocrinology and environmental modulation of gonadal sex differentiation in teleost fishes. *Fish Physiology Biochemistry.* 26, 13–29.

- Strussmann C. A., Oikawa, T., Otake, T. y S. Kasuga. (2003). Potential use of otolith microchemistry for field studies of temperature-dependent sex determination and gonadal degeneration in fish. *Fish Physiology and Biochemistry* 28, 129–130.
- Strüssmann J.C. y M. Nakamura. (2004). Effect of temperature on the efficiency of feminization of medaka (*Oryzias latipes*) by hormonal (estradiol) manipulation. *Fish Physiology and Biochemistry*.34, 163–164.
- Swanson P., Dickey J.T. y B. Campbell. (2003). Biochemistry and physiology of fish gonadotropins. *Fish Physiology Biochemistry*. 28, 1–7.
- Tello A.(2010) Efecto del fotoperíodo y la temperatura en el crecimiento y proporción sexual del pez blanco de Pátzcuaro *Menidia menidia*. Tesis de Maestría. IIAF Mexico. 34 p.
- Tort L. (1998). Stress and immunosuppression in fish. *Trends in Comparative Biochem. & Physiol.* 5: 17-29.
- Turner C. (1933). Locy Zoological Laboratory, Northwestern University *Journal of Morphology*.5(2), 3-5.
- Uribe M.C., De la Rosa-Cruz G, Guerrero S.M., Garda-Alarcon. y M.E. Aguilar (2004). Estructura del ovario de teleósteos vivíparos. Gestación intraovárica: intraluminal en *Ilyodon whitei* (Goodeidae), e intrafolicular en *Poeciliopsis gracilis* (Poeciliidae). *En: Lozano Vilano ML, Contreras Balderas A.J. (Eds.) UANL México, 31-45 pp.*
- Videler JJ. (1993). *Fish swimming*. Chapman & Hall. London 218 p.

Wendelaar Bonga, S. E. (1997). The stress response in fish. *Physiol. Rev.* 77: 591-625.

Weyts F. A., Cohen, N. y G. Flik (1999/1). Interactions between the immune system and the hypothalamo-pituitary-interrenal axis in fish. *Fish & Shellfish Immunology* 9: 1-20.

Weyts F. A., Flik, G., Rombout, Jan H. B Verburg-van (1998). Cortisol induces apoptosis in activated B cells, not in other lymphoid cells of the common carp, *Cyprinus carpio* L. *Dev. Comp. Immunol.* 22: 551-562.

Yamamoto, T. (1969). Sex differentiation- *Fish Physiology*. Vol. III Academic Press USA. 117-175 pp.

Zachmann A., Falcón J. y S.C.M. Knijff. (1992). Effects of photoperiod and temperature on rhythmic melatonin secretion from the pineal organ of the white sucker (*Catostomus commersoni*) in vitro. *Gen. Comp. Endocrinology*. 86, 26-33.

INTERNET

<http://www.iucnredlist.org/apps/redlist/search> (IUCN Database)

<http://fl.biology.usgs.gov/afs> (American Fisheries Society Database)

<http://cofom.michoacan.gob.mx/>

<http://www.fishbase.org>

<http://www.iucn.org/es/>