



Universidad Autónoma de Querétaro
 Facultad de Ingeniería
 Maestría en Ciencias línea terminal Ingeniería de Biosistemas

Bases para el cultivo de la mojarra nativa *Herichthys cyanoguttatus* (Baird y Girard 1854) en un sistema acuícola

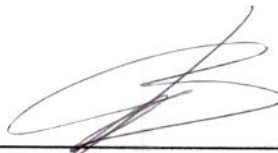
Opción de titulación
Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de Maestría en Ciencias

Presenta:
 Guillermo Abraham Peña Herrejón

Dirigido por:
 Dr. Juan Fernando García Trejo

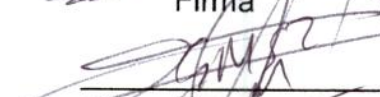
Dr. Juan Fernando García Trejo
 Presidente


 Firma


Dr. Enrique Rico García
 Secretario


 Firma

Dr. Genaro Martín Soto Zarazúa
 Vocal

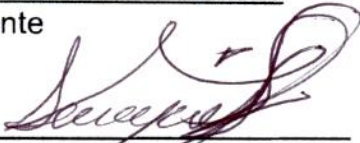

 Firma

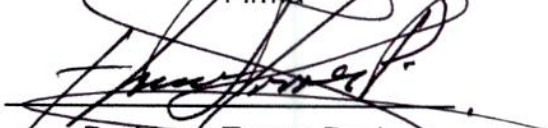
M. en C. Oscar Alatorre Jácome
 Suplente


 Firma

Dr. Irineo Torres Pacheco
 Suplente


 Firma


 Dr. Aurelio Domínguez González
 Director de la Facultad de Ingeniería


 Dr. Irineo Torres Pacheco
 Director de Investigación y Posgrado

RESUMEN

El cultivo de especies nativas es una opción para disminuir el impacto ecológico causado por el uso de especies exóticas en la acuicultura. Se evaluó el crecimiento en cautiverio de la mojarra nativa del semidesierto queretano *Herichthys cyanoguttatus* con el fin de determinar su potencial de cultivo bajo las prácticas acuícolas más comunes de la zona, donde la producción se centra en especies exóticas a la región como las tilapias. Durante un periodo experimental de 84 días se midió el incremento de biomasa, la eficiencia de conversión de alimento, la relación longitud-peso y el cambio en factor de condición tanto en *H. cyanoguttatus* como en la tilapia *Oreochromis niloticus* con el fin de comparar el rendimiento de la especie nativa con una especie domesticada. Se observó que *H. cyanoguttatus* alcanza una menor producción de biomasa a lo largo del periodo experimental con una tasa promedio de crecimiento diario de 0.37 ± 0.011 g día⁻¹ mientras que *O. niloticus* presentó 1.00 ± 0.011 g día⁻¹. Se destaca que *H. cyanoguttatus* mostró una eficiencia de conversión de alimento de 3.37 ± 0.052 mientras que *O. niloticus* presentó 2.04 ± 0.064 indicando una variable a favor de la mojarra nativa. No existió diferencia estadística significativa ($p > 0.05$) entre especies en la relación longitud-peso y el factor e condición presentando un crecimiento isométrico. Adicionalmente se determinaron parámetros bioenergéticos, donde el consumo de oxígeno no presentó diferencia estadística significativa ($p > 0.05$) entre especies, por otra parte *H. cyanoguttatus* presentó una menor producción de NH₃-N respecto a *O. niloticus*. La mojarra nativa requirió una ingesta de alimento de 399.65 ± 16.11 calorías g⁻¹ día⁻¹ mientras que la tilapia requirió 147.18 ± 32.56 calorías g⁻¹ día⁻¹. Los resultados indican que a pesar de que *H. cyanoguttatus* no obtenga la misma producción de biomasa que *O. niloticus*, ésta acepta de forma adecuada el cultivo acuícola, aunque el sistema de producción para tilapia no es el adecuado para la especie. No se descarta que la producción de *H. cyanoguttatus* se pueda justificar utilizando un sistema acuícola adaptado para esta especie que reduciría el impacto a la biodiversidad de la región, por lo que se propone un sistema para su cultivo.

(Palabras clave: *Oreochromis niloticus*, tasa metabólica estándar, productividad acuícola)

SUMMARY

The farming of native species it's an option to reduce the environmental impact caused by the use of exotic species in aquaculture. Growth of the Queretaro semi-desert native cichlid *Herichthys cyanoguttatus* was evaluated in order to determine their aquaculture potential under the most common practices in the area, where production focuses on exotic species to the region such as tilapia. During an experimental period of 84 days the increase of biomass, food conversion efficiency, length-weight relationship and change in condition factor were measured in *H. cyanoguttatus* and in the tilapia *Oreochromis niloticus* in order to compare the performance of native species against a domesticated species. It was observed that *H. cyanoguttatus* reaches a lower biomass production throughout the experimental period with an average daily growth rate of $0.37 \pm 0.011 \text{ g day}^{-1}$ while *O. niloticus* showed $1.00 \pm 0.011 \text{ g day}^{-1}$. It is noted that *H. cyanoguttatus* showed a food conversion efficiency of 3.37 ± 0.052 while *O. niloticus* presented 2.04 ± 0.064 indicating a variable in favor of native cichlid. There was no statistically significant difference ($p > 0.05$) between species in the length-weight relationship and condition factor showing an isometric growth. Additionally bioenergetics parameters were determined, where oxygen consumption showed no statistically significant difference ($p > 0.05$) between species, on the other hand *H. cyanoguttatus* showed a lower production of $\text{NH}_3\text{-N}$ compared to *O. niloticus*. The native cichlid required a food intake of $399.65 \pm 16.11 \text{ calories g}^{-1} \text{ day}^{-1}$ while the tilapia required $147.18 \pm 32.56 \text{ calories g}^{-1} \text{ day}^{-1}$. The results indicate that even if *H. cyanoguttatus* does not obtain the same biomass production as *O. niloticus*, it accepts properly fish farming although the production system for tilapia is not suitable for the species. It is not discarded that production of *H. cyanoguttatus* could be justified using an aquaculture system adapted to this species that would reduce the impact on the biodiversity of the region, so an aquaculture system is proposed.

(Key words: *Oreochromis niloticus*, standard metabolic rate, aquaculture productivity)

DEDICATORIA

A mis padres que me dieron las herramientas para seguir adelante,
siempre brindándome su apoyo incondicional.

A mi compañera de vida, Julieta quien siempre está a mi lado dándome la
fuerza para lograr resolver cualquier problema en esta vida.

AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis el Dr. Juan Fernando García Trejo quien me dio su confianza para realizar este trabajo y tuvo paciencia para orientarme cuando fue necesario.

A el sínodo que revisó este trabajo y que en su momento dieron valiosas aportaciones para que se pudiera llevar a cabo.

A los integrantes del laboratorio de Bioingeniería y los trabajadores del Campus Amazcala que me ayudaron a terminar esas arduas tareas que no hubiese podido hacer sin su apoyo.

Al CONACyT que con su apoyo logré dedicarme de forma adecuada a este trabajo de investigación.

A la Universidad Autónoma de Querétaro por darme un lugar de calidad para formarme académicamente.

TABLA DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCION	12
2.	REVISIÓN DE LITERATURA	15
2.1.	Acuicultura	15
2.2.	Estado actual de la acuicultura	15
2.3.	Acuicultura en el semidesierto	16
2.4.	Acuicultura en las zonas desérticas y semidesérticas de México	16
2.5.	Especies exóticas	18
2.6.	Importancia de las tilapias.....	21
2.7.	Especies nativas	21
2.8.	<i>Herichthys cyanoguttatus</i>	23
	Características distintivas	24
	Especies similares y relaciones filogenéticas	24
	Distribución geográfica	25
	Biología.....	26
	Reproducción.....	26
2.9.	Potencial acuícola	27
2.10.	Productividad	28
2.11.	Balance energético	30
2.12.	Tasa de ingestión (I) y tasa de producción de heces (H)	31
2.13.	Consumo de Oxígeno (R) y Excreción Nitrogenada (N)	31
2.14.	Tasa metabólica estándar.....	33
3.	METODOLOGÍA.....	34
3.1.	Objetivo.....	34
3.2.	Objetivo particular	34
3.3.	Hipótesis	34

3.4. Organismos.....	35
3.5. Aclimatización	37
3.6. Comparación entre el crecimiento de <i>Herichthys Cyanoguttatus</i> y <i>Oreochromis niloticus</i>	38
3.7. Balance energético por individuo	38
Tasa de ingestión (I)	39
Tasa de producción de heces y energía absorbida (Ab)	39
Análisis calórico	39
Consumo de Oxígeno (R) y Excreción Nitrogenada (N)	40
3.8. Análisis estadístico.....	41
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
4.1. Comparación entre el crecimiento de <i>Herichthys cyanoguttatus</i> y <i>Oreochromis niloticus</i>	42
Condiciones ambientales.....	42
Productividad.....	44
Relación longitud-peso y factor de condición	46
4.2. Consumo de Oxígeno	48
Comparación en campo y en acuicultura de <i>Herichthys Cyanoguttatus</i>	48
Comparación entre <i>Herichthys cyanoguttatus</i> y <i>Oreochromis niloticus</i>	52
4.3. Excreción Nitrogenada.....	54
4.4. Razón O:N	57
4.5. Tasa de ingestión y energía asimilada.....	58
4.6. Calorimetría y porcentaje de peso seco.....	60
4.7. Sistema acuícola para el cultivo de <i>Herichthys cyanoguttatus</i>	61

5.	CONCLUSIÓN	63
	Comparación entre el crecimiento de <i>Herichthys cyanoguttatus</i> y <i>Oreochromis niloticus</i>	63
	Consumo de Oxígeno.....	63
	Excreción Nitrogenada	64
	Razón O:N.....	64
	Tasa de ingestión y energía asimilada	64
	Calorimetría y porcentaje de peso seco	64
	Recomendaciones	65
6.	APÉNDICE	66
6.1.	Anexo 1.....	66
	Consideraciones para un sistema acuícola	66
	Diseño del sistema	68
7.	BIBLIOGRAFÍA	74

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 4-1 Valores promedios de todos los tanques obtenidos durante el periodo experimental para la temperatura, el oxígeno disuelto (mg/l), el pH y el NH ₃ -N (mg/l)	44
Cuadro 4-2 Rendimiento del crecimiento de <i>O. niloticus</i> y <i>H. cyanoguttatus</i> durante el periodo experimental.	46
Cuadro 4-3 Relación longitud-peso ($W=aL^b$) durante el periodo experimental para <i>H. cyanoguttatus</i> (Hc) y <i>O. niloticus</i> (On).	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Hembra adulta de <i>Herichthys cyanoguttatus</i>	24
Figura 2-2 Distribución de <i>H. cyanoguttatus</i> según reportes de GBIF (2013)	25
Figura 2-3 Destino de la energía ingerida tomado de Jover-Cerdá (2000)	30
Figura 3-1 Diagrama esquemático del trabajo experimental	35
Figura 3-2 Localización del área de estudio	36
Figura 4-1 Tendencia de la fluctuación de la temperatura ambiental (°C) diaria durante el periodo experimental	43
Figura 4-2. Tendencia de la fluctuación de la temperatura del agua (°C) diaria durante el periodo experimental	43
Figura 4-3. Ganancia en peso húmedo por unidad volumétrica (Prel) de <i>O. niloticus</i> y <i>H. cyanoguttatus</i> durante el periodo experimental.	45
Figura 4-4. Factor de condición relativo (Krel) para <i>H. cyanoguttatus</i> y <i>O. niloticus</i> durante el periodo experimental.	48
Figura 4-5 Variación diaria del consumo de oxígeno de <i>Herichthys cyanoguttatus</i>	50
Figura 4-6. Media de consumo de oxígeno diario para <i>Herichthys cyanoguttatus</i> en acuicultura y estado silvestre.	52
Figura 4-7 Variación diaria del consumo de oxígeno de <i>Herichthys cyanoguttatus</i> (H) y <i>Oreochromis niloticus</i> (O).	53
Figura 4-8. Media de consumo diario de oxígeno para <i>Herichthys cyanoguttatus</i> y <i>Oreochromis niloticus</i>	54
Figura 4-9. Variación diaria de la producción de NH ₃ -N de <i>Herichthys cyanoguttatus</i> (H) y <i>Oreochromis niloticus</i> (O).	56

Figura 4-10. Media de la producción diaria de $\text{NH}_3\text{-N}$ <i>Herichthys cyanoguttatus</i> y <i>Oreochromis niloticus</i>	57
Figura 4-11 Razón O: N para <i>Herichthys cyanoguttatus</i> y <i>Oreochromis niloticus</i> bajo las condiciones de cultivo.....	58
Figura 4-12 Tasa de ingestión cal/g día para <i>Herichthys cyanoguttatus</i> y <i>Oreochromis niloticus</i> bajo las condiciones de cultivo.....	59
Figura 4-13 Porcentaje de alimento convertido en heces para <i>Herichthys cyanoguttatus</i> y <i>Oreochromis niloticus</i> bajo las condiciones de cultivo.....	60
Figura 4-14 Calorías por gramo de peso seco para <i>Herichthys cyanoguttatus</i> y <i>Oreochromis niloticus</i> bajo las condiciones de cultivo.....	61
Figura 4-15 Porcentaje de peso seco que presenta <i>Herichthys cyanoguttatus</i> y <i>Oreochromis niloticus</i> bajo las condiciones de cultivo.....	61
Figura 6-1 Esquema general del sistema acuícola dentro del invernadero.....	69
Figura 6-2 Diseño del filtro para el sistema acuícola.....	71
Figura 6-3 Esquema del sistema de aireación y recirculación de agua.....	72
Figura 6-4 Esquema del sistema intercambiador de calor.	73

1. INTRODUCCION

A lo largo de la historia, la humanidad ha utilizado los recursos naturales para alimentarse pero estos cada vez son más insuficientes para cubrir las necesidades de los 7 mil millones de personas que habitan el planeta, de los cuales cerca de mil millones se encuentran en estado de hambruna y otros mil millones sufren de desnutrición por falta de micronutrientes importantes como vitaminas y minerales en sus dietas (Beddington 2011).

La mayoría de las personas afectadas se encuentran en zonas rurales en condiciones de pobreza (FAO 2012), a nivel mundial buena parte de este grupo habita regiones áridas y semiáridas donde debido a las condiciones climáticas la variedad y cantidad de cultivos a las que estas comunidades tienen acceso es muy reducida (Crespi *et al.* 2011). Organizaciones como la FAO han considerado la producción acuícola en estas zonas para aportar a su economía y genera una fuente saludable de alimento para los habitantes de la localidad. En México la CONAZA (Comisión Nacional de las Zonas Áridas) considera que actualmente el 56% de la superficie nacional presenta condiciones áridas o semiáridas, por lo que un punto crítico en la política nacional es el implementar medidas para mejorar la calidad de vida en estas regiones, dentro de las cuales se ha tomado en cuenta a la acuicultura para el desarrollo rural (CONAZA 2011).

Uno de los pilares para permitir la producción en zonas desérticas o semidesérticas son las especies a utilizar las cuales deben de ser tolerantes a aguas con una dureza alta, aceptar grandes fluctuaciones de temperatura y presentar crecimiento acelerado, por lo que la mayoría de las especies que se utilizan para producción en zonas desérticas son especies introducidas (Lucas & Southgate 2012). Muchas de estas especies introducidas se convierten en “invasivas”, ya que, causan problemas económicos, ambientales o generan algún daño a la salud humana (Chornesky *et al.* 2005; Lovell & Stone 2005). El impacto por especies invasoras es la segunda causa, a nivel mundial, de la pérdida de biodiversidad (Hopkins 2001; Pimentel *et al.* 2005; CONABIO *et al.* 2006).

En México se observa la magnitud de este problema en casos como el “pescado blanco” o la introducción del “Pez diablo” en Michoacán (Aguilar 2005; Pimentel *et al.* 2005; CONABIO *et al.* 2006; Mendoza *et al.* 2007). Los cambios en

el ecosistema, causados por especies invasoras, pueden llegar a afectar negativamente la conservación y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales (Chornesky *et al.* 2005), reportando pérdidas económicas en EUA que alcanzan aproximadamente los \$120 mil millones de dólares al año. (Lovell & Stone 2005; Pimentel *et al.* 2005).

Dentro de las especies que se consideran aptas para el cultivo en las zonas desérticas se encuentran las “tilapias” o “mojarras africanas” *Oreochromis spp.* (Crespi *et al.* 2011). Actualmente más de 5 especies de tilapia se encuentran dentro de los organismos invasores de alta prioridad para México con un alto impacto a la biodiversidad (CONABIO *et al.* 2006). En Querétaro ya existen reportes de la presencia de *Oreochromis spp.* en sus cuerpos de agua (Gutiérrez-Yurrita & Morales-Ortiz 2004; Rico-Romero *et al.* 2009).

La búsqueda de alternativas apropiadas para la producción bajo estas condiciones, reduciendo el impacto ambiental, sugiere que el mejor enfoque es el trabajar con especies nativas, aprovechando que estas especies ya están adaptadas al ambiente de la región. La importancia de las especies nativas ha sido considerada con antigüedad, como es el caso del “Pescado blanco” (Martínez-Palacios *et al.* 2002; Martínez-Palacios *et al.* 2006; Delgadillo-Calvillo *et al.* 2012), o las mojarras nativas de América central (Martínez-Palacios 1987; Günther & Ulloa 1995; Günther 1996; Luna-Figueroa *et al.* 2003; Barrientos-Medina & Chumba-Segura 2007; Jiménez-Martínez *et al.* 2009; Vidal-López *et al.* 2009), pero aún son muy pocas las especies que se han estudiado con un enfoque de producción acuícola (Jiménez-Martínez *et al.* 2009).

En la zona semidesértica de Querétaro se considera la posibilidad de utilizar la mojarra del río Pánuco (*Herichthys cyanoguttatus*) en los procesos productivos acuícolas de la región (García-Trejo *et al.* 2014). Este cíclido es comúnmente comercializado en acuarios de ornato bajo el nombre de “Cíclido de Texas”, siendo apreciado por su colorido, por lo que los estudios que se han realizado para la producción de esta especie se encuentran enfocados a mejorar características apreciadas en la acuariofilia (Montajami *et al.* 2012a; Montajami *et al.* 2012b). En los estudios realizados por García-Trejo (2007) se observó que los alevines de esta especie tienen la capacidad de adaptarse rápidamente a

condiciones de cautiverio. Estos pueden tolerar cambios ambientales considerables, fácilmente aceptan el alimento comercial de tilapia y soportan densidades de carga de hasta 375 individuos/m³, con temperaturas óptimas de 26 y 28°C. A pesar de que se observan características deseables para la acuicultura en esta especie, aún se desconoce la forma como *H. cyanoguttatus* responderá a la producción acuícola. A lo largo de este proyecto se pretende determinar la capacidad de crecimiento de la mojarra nativa en la producción acuícola del semidesierto Queretano, para esto se estudió la forma como esta especie aprovecha su energía y alimentos, realizando una comparación con la tilapia *O. niloticus* para identificar las posibilidades de que *H. cyanoguttatus* llegue a ser un sustituto viable a esta especie.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Acuicultura

El cultivo y crianza de plantas y animales acuáticos en un ambiente completamente controlado o semi-controlado se denomina acuicultura, donde “cultivo” se refiere al objetivo de llevar a los organismos a su estado juvenil o adulto bajo condiciones de cautiverio (Hopkins 2001; Connolly & Trebic 2010). Esta actividad no es nueva, el cultivo de peces está documentado desde el año 2500 a.C. cuando los egipcios la realizaban en el delta del Nilo, también se conoce que los chinos la practicaban desde el 500 a.C. con carpas y los romanos lo hicieron manejando estanques (Borgese 1980).

La acuicultura puede realizarse a diferentes niveles de escala e intensidad, pudiendo ir desde la maricultura, donde los organismos son cultivados en ambientes marinos protegidos, o la acuicultura multitrófica que combina múltiples organismos en un estanque para utilizar los desechos de uno, como los del pez, para la entrada de alimento a otro, como la alga marina (Connolly y Trebic, 2010).

2.2. Estado actual de la acuicultura

Los alimentos de origen acuático se encuentran entre los más comercializados hoy en día y aun continua aumentando su demanda, ya que la pesquería no ha podido aumentar su producción a causa de la escases de recursos acuáticos, ésta demanda es cada vez es más cubierta por la acuicultura, la cual ha incrementado a nivel mundial en un 8.8% promedio anual (FAO 2012), donde los países en vías de desarrollo han encontrado una fuente de alimento y proteína animal de calidad para su población.

México no es la excepción, la producción nacional pesquera y acuícola para el 2008 fue de 18 000 millones de pesos, en el periodo del 2003 al 2008 la producción acuícola se incrementó en un 102.55%, abarcando el 32.7% de la producción total nacional. El aumento en unidades acuícolas del 2003 al 2008 fue del 42 % del total, donde las unidades acuícolas que utilizan estanques aumentaron de 1304 a 1905 unidades en este periodo. De estas 1905 unidades acuícolas, 714 se encuentran en entidades sin litoral (INEGI 2009). El 78% del total de unidades acuícolas nacionales son de carácter familiar y local, las cuales

utilizan muy poca tecnología y registran rendimientos bajos representando menos del 31.8% de la producción (INEGI 2009).

2.3. Acuicultura en el semidesierto

Considerando que actualmente no se tiene la capacidad para cubrir las necesidades de alimentación de los 7 mil millones de personas que habitan el planeta, además de que se espera que en el 2030 existan 8 mil millones de habitantes (Beddington 2011), se incrementa la necesidad de buscar alternativas al actual modelo de producción. Este problema es mayor en las regiones áridas y semiáridas ya que generalmente albergan comunidades rurales en condiciones de pobreza que debido a las condiciones climáticas reducen la variedad y cantidad de cultivos a los que tienen acceso (Crespi *et al.* 2011). En estas zonas el desarrollo de la acuicultura como una actividad socioeconómica podría llegar a tener una repercusión favorable en la economía, a la vez que generaría una fuente saludable de alimento para los habitantes de la localidad. Todo esto mejorando la calidad de vida y evitando la emigración de estas áreas (Crespi *et al.* 2011; FAO 2012).

La implementación de la acuicultura en el desierto o semidesierto podría parecer un poco absurdo debido a la falta de agua en estas zonas, pero gracias a los avances en la tecnología se ha permitido que en la última década la acuicultura se haya incrementado en las zonas áridas, permitiendo un mejor uso del agua disponible (Crespi *et al.* 2011). A pesar de este avance a nivel global aun es necesario mejorar las técnicas acuiculturales para lograr una producción sustentable en las zonas áridas. La FAO propone identificar o crear tecnologías avanzadas que se adapten a las necesidades locales, desarrollar protocolos para manejar adecuadamente los organismos, caracterizar la calidad del agua de las zonas, producir alimentos con ingredientes disponibles localmente, integrar la acuicultura en las zonas semiáridas con otros sectores productivos como la agricultura, así como seleccionar e introducir nuevas especies acuáticas mejor adaptadas a las condiciones locales para obtener mayores valores de producción.

2.4. Acuicultura en las zonas desérticas y semidesérticas de México

El territorio mexicano incluye una gran variedad de climas que incluyen áreas selváticas, montañas y desiertos lo que dificulta que un solo plan nacional

pueda abarcar todas las necesidades del país. Por esto es que se han creado comisiones para enfrentar las necesidades particulares de cada región. Una parte importante del territorio se encuentra en zonas consideradas muy áridas, áridas o semiáridas. La CONAZA (Comisión Nacional de las Zonas Áridas) considera 686 municipios en 19 estados con problemas de agua, ya que 451 municipios en 16 estados corresponden a zonas áridas o semiáridas como son Guanajuato, San Luis Potosí, y Querétaro, por nombrar algunos, y 451 municipios en 3 estados que a causa de la degradación de sus territorios agropecuarios se consideran en proceso de desertificación. En total estos municipios representan el 56% de la superficie nacional.(CONAZA 2011)

La CONAZA ha considerado a la acuicultura dentro de sus lineamientos para el desarrollo rural en zonas con deficiencia de agua, debido a que apoya el aprovechamiento de este líquido vital y es una alternativa para obtener alimento en estas zonas, incluyéndola en proyectos como el COUSSA (Componente de Conservación y Uso Sustentable de Suelo y Agua), el PESA (Proyecto Estratégico de Seguridad Alimentaria) y el PRODEZA (Proyecto Estratégico de Desarrollo de las Zonas Áridas)(CONAZA 2012). A pesar de estas iniciativas observamos que las mejoras en la producción no son las óptimas, debido a diversos factores como la falta de capacitación de personal. La acuicultura en las zonas áridas se caracteriza por un bajo desarrollo tecnológico, aunque se divide en dos enfoques, la acuicultura rural, “micro”, que se enfoca a la producción de alimento para sustento de la familia o comunidad empleando a menos de 10 personas, utilizando conocimientos muy básicos y poca tecnología, y la acuicultura comercial, que generalmente es más tecnológica enfocándose en producir volumen (Segovia Quintero 2011). Las 1905 unidades acuícolas emplean a 19 558 personas, pero si se exceptúan las unidades camaronícolas, las 1502 unidades restantes, solo emplean a 7 574 personas. De estas, 1477 unidades, representando el 77.5% son consideradas micro, empleando a 6 015 personas representando el 26.6% del total de trabajadores (INEGI 2009). Se observa que las micro acuicultoras son las más comunes y por eso es importante considerarlas.

El estado de Querétaro no se caracteriza por una amplia producción acuícola, este se encuentra en el lugar no 28 a nivel Nacional en cuanto a

pesquería y acuicultura, esto equivale a que solo aporta el 0.25% de la producción total además de que la CONAPESCA reporta solo una unidad de producción registrada. Estos datos nos indican que existe una gran área de oportunidad para mejorar la acuicultura en Querétaro. Los aportes que reporto la CONAPESCA en el 2010 en materia de acuicultura fueron de 2 toneladas de bagre, 198 de carpa, 469 de mojarra y 16 de trucha, sumando 685 toneladas de un total de producción nacional de 270 717 toneladas. La producción ha variado entre 481 y 794 toneladas entre el 2001 y el 2010 destinada totalmente al consumo humano (CONAPESCA 2010). Es importante remarcar que prácticamente la totalidad de los datos reportados son de captura y pesquerías acuiculturales, en si solo existe una unidad acuícola registrada que reporta producción únicamente de alevines de tilapia (CONAPESCA 2010).

2.5. Especies exóticas

Uno de los pilares para permitir la producción en zonas desérticas o semidesérticas son las especies a utilizar, las cuales deberían de ser particularmente tolerantes a aguas con una dureza alta, tener tolerancia a fluctuaciones de temperatura y presentar crecimiento acelerado, por lo que se han introducido organismos exóticos a estos ambientes que poseen estas características con el propósito de aumentar la producción (Lucas & Southgate 2012). Las principales especies que se producen en estas zonas son: pez gato, carpas, bagre, tilapia y trucha arcoíris, todas estas generalmente ajenas a la región del cultivo (Crespi *et al.* 2011).

La introducción de especies ha contribuido considerablemente al incremento de la producción acuícola, para el 2000 según la FAO, el 38.7% de las especies acuáticas introducidas a nivel mundial se destinan a la acuicultura (OSPAR 1997; Hopkins 2001) A nivel mundial las especies exóticas tienen una gran importancia, por ejemplo el 97.1% de la producción de crustáceos en Europa, el 96.2% de la producción de peces en Sudamérica y el 84.7% en Oceanía se basaban en especies exóticas (OSPAR 1997; Hopkins 2001).

Muchas de estas especies introducidas se convierten en “invasivas”, ya que además de no pertenecer al ecosistema nativo, causan problemas

económicos, ambientales o generar algún daño a la salud humana. Las especies exóticas tienen la capacidad de desplazar a las especies nativas mediante competencia directa, depredación, transmisión de enfermedades, modificación del hábitat así como por la alteración de la estructura de los niveles tróficos, entre otras causas. (CONABIO *et al.* 2006). Aunque no todas las especies exóticas se convierten en “invasivas”, debido a que no logren adaptarse al nuevo ecosistema, o que sobrevivan pero que no causen daños a las especies nativas, algunas tienen la capacidad de generar daños considerables al ambiente (Chornesky *et al.* 2005; Lovell & Stone 2005).

Existen varios factores ecológicos que causan que los organismos invasores tengan ventajas sobre los nativos, como son: la falta de depredadores naturales que los controlen; el desarrollo de nuevas asociaciones entre organismos exóticos y nativos; el hecho de que se conviertan en depredadores efectivos en el nuevo ecosistema; el que las condiciones ambientales los favorezcan; y el que los individuos exóticos tengan una alta capacidad de adaptabilidad a los medios.(Pimentel *et al.* 2005). El impacto por especies invasoras es la segunda causa, a nivel mundial, de la pérdida de biodiversidad, solo superada por la destrucción de hábitats naturales. Hasta el 80% de las especies en peligro de extinción se encuentran amenazadas debido a la presión ejercida por las especies exóticas (Hopkins 2001; Pimentel *et al.* 2005; CONABIO *et al.* 2006).

Los cambios en el ecosistema pueden llegar a afectar negativamente la conservación y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales (Chornesky *et al.* 2005). En países como E.U.A.se reportan más de 50,000 especies invasoras, las cuales causan pérdidas económicas que alcanzan aproximadamente los \$120 mil millones de dólares al año y esto sin considerar la extinción de especies que no tienen un impacto económico amplio, pero su impacto ecológico si es muy importante. Simplemente la introducción de peces para la pesca deportiva genera pérdidas de aproximadamente \$5.4 mil millones de dólares anualmente en ese país (Pimentel *et al.* 2005) . Otro ejemplo es el mejillón cebra, especie que causa problemas en plantas de energía y tratamiento de agua entre otras, generando pérdidas a la industria energética de \$800 millones de

dólares por el rediseño de sus plantas y 60 millones anuales por el mantenimiento y aún falta considerar el impacto que tiene en las plantas de energía fósil y nuclear, en las plantas de tratamiento de agua, así como en actividades recreativas (Lovell & Stone 2005).

La acuicultura y el transporte de especies para la producción son los principales responsables de la introducción de especies exóticas. En el caso de la acuicultura esto ocurre ya sea de forma intencionada al introducir especies a un ecosistema con fines de producción, como ocurre en la acuicultura extensiva, o de forma accidental con algún escape. En ambos casos los individuos introducidos pueden ir acompañados de más organismos, como son biotas asociadas (esporas, fitoplancton, bivalvos, etc.), parásitos y patógenos o enfermedades (Hopkins 2001).

En México las acciones contra especies nativas solo se han enfocado a los casos en donde se generen daños económicos a las actividades agrícolas y pecuarias, ignorando las que afectan la biodiversidad terrestre, marina o dulceacuícola. El sistema Nacional sobre Especies Invasoras de la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO) reporta la presencia de más de 788 especies invasivas, de las cuales 77 son peces, esto considerando que el número de invasiones esta subestimado, ya que normalmente solo se reportan mega invasiones y especies con daños económicos o ecológicos inmediatos (CONABIO 2012).

La magnitud de este problema se observa en casos como el “pescado blanco” del lago de Pátzcuaro en Michoacán, donde tras la introducción de *M. Salmoides* la población de este pez ha sido prácticamente erradicada, o la introducción del “Pez diablo” en Michoacán, que afectó la producción de carpas en la presa de infiernillo, así como a otras especies nativas (Aguilar 2005; CONABIO *et al.* 2006; Mendoza *et al.* 2007).

La región de Querétaro, aunque no tiene un gran número de cuerpos de agua, posee importancia de ictiofauna endémica ya que tiene dos cuencas hidrográficas importantes, el Lerma que drena al pacífico y el Pánuco que drena al Golfo de México, y en estas zonas ya han existido reportes de la presencia de especies exóticas. Se considera que el 32% de las especies de peces presentes son introducidas o translocadas (Gutiérrez-Yurrita & Morales-Ortiz 2004).

2.6. Importancia de las tilapias

Actualmente las “tilapias” o “mojarras africanas” *Oreochromis spp.* son especies que se consideran aptas para el cultivo en las zonas desérticas ya que poseen características favorables para su producción en una gran diversidad de ambientes, entre las que destacan el reproducirse en diferentes tipos de aguas, el ser herbívoros u omnívoros así como su tolerancia a factores ambientales adversos (Crespi *et al.* 2011).

Las especies de *Oreochromis* fueron introducidos por primera vez a México en 1964 (Morales 1991; Hartley-Alcocer 2007) y actualmente se consideran más de 5 especies de Tilapia del género *Oreochromis* dentro de los organismos invasores de alta prioridad para México con un alto impacto a la biodiversidad, donde se supone necesario controlarlas y en lo posible erradicarlas (CONABIO *et al.* 2006). Las tilapias ya están presentes en ríos de zonas protegidas como Cuatrocienegas Coahuila y la selva lacandona en Chiapas, donde se pone en riesgo la biodiversidad de la región (CONABIO *et al.* 2006). En Querétaro se observa la presencia de *Oreochromis* sp. en la subcuencas del río Sanjuán, Uxdejhe, Portezuelo y El riito (Gutiérrez-Yurrita & Morales-Ortiz 2004; Rico-Romero *et al.* 2009).

En el 2008 la tilapia aportaba en México el 10% del valor de la producción total nacional, sin considerar al sector camaronícola que aporta el 88% del total (INEGI 2009), pero a pesar de las ventajas que confiere esta especie, no es posible obtener los rendimientos máximos de la misma bajo las condiciones de un área desértica como son las temperaturas extremas o la dureza del agua (Chervinski 1982; Mena-Herrera *et al.* 2002; Castro-Rivera *et al.* 2004; El-Sayed 2006). En Querétaro en el centro acuícola registrado en la CONAPESCA se reporta únicamente la producción de 387 mil alevines en el 2010, aunque se considera que la mayoría de las 198 toneladas de carpa registradas corresponden a tilapia.

2.7. Especies nativas

La búsqueda de alternativas apropiadas para la producción bajo estas condiciones sugiere que el mejor enfoque es el trabajar con especies nativas para

facilitar la producción, aprovechando el hecho de que estas especies ya están adaptadas al ambiente de la región, sumado a esto las personas en estas áreas están acostumbrados a encontrarse con estas especies durante la pesca, usándolas para consumo humano cuando se presentan, con una buena aceptación.

La importancia de las especies nativas ya ha sido considerada, existen estudios de diversas variedades que podrían aportar proteína a comunidades rurales, ya que generalmente estas especies son bien aceptadas por las personas de la región, tal es el caso de la producción de “pescado blanco” (Martínez-Palacios *et al.* 2002; Martínez-Palacios *et al.* 2006; Delgadillo-Calvillo *et al.* 2012), incluyendo a las especies de cíclidos como las mojarra nativas de América central: *Cichlasoma managuense*, *Cichlasoma dovii*, *Cichlasoma istlanum*, *Cichlasoma cienagae*, *Petenia splendida* y *Cichlasoma urophthalmus* (Günther & Ulloa 1995; Günther 1996; Luna-Figueroa *et al.* 2003; Barrientos-Medina & Chumba-Segura 2007; Jiménez-Martínez *et al.* 2009; Vidal-López *et al.* 2009). De esta última especie se han realizado una gran cantidad de estudios, a lo largo de varias décadas, para determinar sus condiciones óptimas y capacidades de adaptación en sus diferentes estadios de vida para llevar a la misma a la producción acuícola. (Martínez-Palacios 1987; Martínez-Palacios *et al.* 1996a; Martínez-Palacios *et al.* 1996b; Villarreal *et al.* 2011).

Una característica de los cíclido del viejo mundo es su precocidad reproductiva la cual causa un retraso en el crecimiento, dificultando el progreso del cultivo, para combatir este problema se utilizan técnicas como la hibridación y el uso de hormonas para el cultivo monosexuado. En otros cíclidos americanos como es el caso de *C. urophthalmus*, se ha observado que alcanzan su madures reproductiva hasta después de los 50g (102 mm largo), por lo que estas especies gastan más energía en crecer que en reproducirse. Adicional a esto se ha observado que estos cíclido requieren de una superficie adecuada para desovar y al no encontrar esta condición el comportamiento de apareamiento es reducido, además de que fácilmente se pueden diferenciar los peces en etapa de apareamiento de los que no lo están por cambios notorios de coloración (Martínez-

Palacios 1987), ventajas que podrían reducir costos en acuicultura ya que serían más fáciles de controlar.

En la zona semidesértica de Querétaro se considera la posibilidad de utilizar la mojarra del río Pánuco (*Herichthys cyanoguttatus*) en los procesos productivos acuícolas de la región (García-Trejo *et al.* 2014), esta mojarra se encuentra desde las cuencas de los ríos Bravo en Texas, donde se denomina mojarra del río grande, hasta la parte media de la cuenca del río Pánuco correspondiente a los estados de Querétaro, Hidalgo, San Luis Potosí y México (Gutiérrez-Yurrita & Morales-Ortiz 2004).

Este cíclido es comúnmente comercializado en acuarios de ornato bajo el nombre de “Cíclido de Texas”, siendo apreciado por su colorido, por lo que los estudios que se han realizado para la producción de esta especie se encuentran enfocados a mejorar características apreciadas en la acuariofilia (Montajami *et al.* 2012a; Montajami *et al.* 2012b).

En estudios previos se ha demostrado que los alevines de esta especie tienen la capacidad de adaptarse rápidamente a condiciones de cautiverio ya que fácilmente aceptan alimento comercial de tilapia, así como densidades de carga de hasta 375 individuos/m³ con temperaturas óptimas de 26 y 28°C y la capacidad de tolerar cambios ambientales considerables (García-Trejo *et al.* 2014). Todas estas características hacen que esta especie sea muy prometedora para la producción acuícola, pero aún falta por determinar muchas características importantes para lograr difundir los alcances que esta especie tiene en el sector productivo, ya que no se ha establecido cuál es la productividad que puede alcanzar *H. cyanoguttatus*, tema que se pretenderá resolver a lo largo de este trabajo.

2.8. *Herichthys cyanoguttatus*

Herichthys cyanoguttatus o *Cichlasoma cyanoguttatum* (Baird & Girard 1854) también es citado en la literatura con otros nombres erróneos como: *Cichlasoma pavonaceum*, *Herichthys cyanoguttatum*, *Heros pavonaceus* Garman, *Parapetenia cyanostigma* y los nombres comunes de cíclido del río grande, cíclido de Texas, mojarra del norte y mojarra del Pánuco (Froese & Pauly 2014).

Características distintivas

Las características de *Herichthys cyanoguttatus* incluyen la presencia de manchas oscuras en sus flancos (4 a 6) así como pequeños círculos color azul también a los lados y una mancha oscura en el pedúnculo de la aleta caudal (Figura 2-1). La aleta presenta 15-17 espinas dorsales y de 10 a 12 rayos, posee de 5 a 7 espinas anales y de 9 a 10 rayos anales. Los adultos presentan manchas oliváceas iridiscentes cuando se ven al sol, también se presentan líneas del mismo color en la cabeza, cuerpo y aletas. Durante la reproducción se puede observar un color blanquecino en la parte anterior y oscuro en la posterior sobre todo en las hembras, mientras que los machos desarrollan una joroba prominente (García-Trejo *et al.* 2014) .



Figura 2-1 Hembra adulta de *Herichthys cyanoguttatus*

Especies similares y relaciones filogenéticas

Las relaciones filogenéticas mediante el análisis de secuencias de DNA mitocondrial de citocromo b indican que *Herichthys cyanoguttatus* podría estar relacionado filogenéticamente con especies como *H. carpintis*, *H. tamasopoensis*, *H. minckleyi* (Darrin Hulsey *et al.* 2004). Existe el riesgo de confundir esta especie con otros ciclidos por lo que es útil conocer algunos de sus diferencias con los más parecidos (García-Trejo *et al.* 2014):

- *Cichlasoma octofasciatum*, que presenta dos rayas en la parte superior de su cabeza además de tener mayor número de espinas anales, 8 a 9, mientras que *H. cyanoguttatus* sólo presenta 5 a 7.

- *Cichlasoma nigrofasciatum*, también conocido como cíclido convicto, con 9 a 11 espinas anales y 7 barras negras a sus lados a lo cual debe su nombre común.

- *Cichlasoma citrinellum* carece del patrón de manchas que presenta *H. cyanoguttatus*.

- *Cichlasoma carpintis* es el más parecido, las diferencias radican en el patrón de color y en la abertura branquial de las dos especies.

Distribución geográfica

Herichthys cyanoguttatus es el cíclido que vive más al norte de América, siendo el único cíclido nativo de EUA (Iitzkowitz & Nyby 1982). Su distribución originalmente se restringía al drenaje del Río Grande en Texas EUA y el sur hasta el noreste de México. Actualmente se encuentra naturalmente desde el estado de Veracruz, en México hacia el norte hasta llegar a algunas zonas del sur de Texas en EUA. Se tiene reporte de su introducción deliberada para pesca deportiva en el centro de Texas, Florida, Nueva Orleans en EUA y la cuenca del río verde en la región de La Media Luna (Reis *et al.* 2003)(Figura 2-2).



Figura 2-2 Distribución de *H. cyanoguttatus* según reportes de GBIF (2013)

En lo referente a la cuenca del río Pánuco, en México, se ha encontrado la mojarra del norte desde las cuencas de los ríos Pánuco Bravo en Texas, donde se denomina mojarra del río Grande, hasta la parte media de la cuenca del río Pánuco correspondiente a los estados de Querétaro, Hidalgo, San Luis Potosí y México (Gutiérrez-Yurrita y Morales-Ortiz 2004; *García-Trejo et al 2014*)

Biología

Es un pez de agua dulce demersal bentopelágico con un rango de pH de 6.5-7.5. El clima en el que vive esta especie generalmente se reporta como subtropical, entre 20°C y 33 °C (Froese & Pauly 2014) aunque se ha llegado a encontrar a temperaturas de 14°C y en condiciones experimentales se menciona que puede sobrevivir por debajo de los 5°C (Hubbs *et al.* 1978), lo cual puede ser favorable para su producción en condiciones extremas. En las condiciones ambientales de Querétaro se obtuvo que la temperatura óptima es de 26-28°C, presentando la mayor producción promedio al tener mejores tasas de supervivencia y de crecimiento (García-Trejo *et al.* 2014).

Su alimentación varía dependiendo de la población en la que se encuentre, pudiendo ser exclusivamente herbívora u omnívora (Lee *et al.* 1983). Los alevines se alimentan generalmente de diatomeas y pequeños crustáceos, mientras que los adultos se alimentan principalmente de algas, aunque consumen también zooplancton, larvas de insectos e insectos del bentos, neuston y detritus (García-Trejo *et al.* 2014). Dentro de los reportes bibliográficos se observa que el largo máximo que alcanza es de 30 cm aunque su largo común es de 11.3 cm (Page & Burrows 2011) por lo que se cree que si se logra alcanzar su talla mayor mediante el cultivo acuícola, el producto será ideal para consumo humano ya que se encontrara dentro de las tallas comerciales. Está especie acepta con facilidad el cambio a la alimentación en cautiverio, especialmente con el alimento comercial para tilapia (García-Trejo *et al.* 2014), lo ideal es alimentar a esta especie de dos a cuatro veces al día para alcanzar un mejor aprovechamiento del alimento (Montajami *et al.* 2012b). También se reportó que *H. cyanoguttatus* tiene una mayor productividad durante los primeros meses de vida a densidades de 375 individuos/ m³ en condiciones experimentales (García-Trejo *et al.* 2014), densidad que fácilmente puede competir con la reportada para tilapias.

Reproducción

La familia Cichlidae incluye muchos géneros y especies encontrados en África, Centroamérica y Sudamérica. Estos peces se conocen por tener un complejo comportamiento reproductivo y periodos muy largos de crianza en donde

en la mayoría tanto hembra como macho participan en la crianza de su descendencia. *H. cyanoguttatus* forma parejas para su reproducción, por lo que se considera una especie monógama donde las parejas reproductoras prefieren aguas poco superficiales (30 cm profundidad) destacando que no se observa territorialidad entre los individuos antes del desove, por lo que se cree que la delimitación de territorios se realiza después de la formación de parejas, además de que la obtención de sitios de desove en su hábitat natural se ve afectada directamente por la disponibilidad de rocas (Itzkowitz & Nyby 1982), si en el cultivo acuícola no se permite la obtención de sitios ideales para el desove el comportamiento de territorialidad se verá reducido.

En la región de la presa de Zimapán el periodo de mayor reproducción es de septiembre a octubre ya que es cuando se encuentra un mayor número de organismos de tallas pequeñas, al observar la variación en los patrones fisicoquímicos se propone que el ciclo reproductivo puede estar influenciado por el hidropериодо, ya que en el periodo de lluvias la corriente podría estar arrastrando de los sitios de ovoposición a las crías que no hayan desarrollado la musculatura suficiente (García-Trejo *et al.* 2014).

2.9. Potencial acuícola

La importancia de la acuicultura aumenta día a día ya que la demanda de pescado no puede ser cubierta por la pesquería, por lo que una de las formas consideradas para aumentar la producción es la introducción de nuevas especies a cultivo. Dentro de los primeros pasos para determinar si una especie es apta para llevarla a producción es determinar su potencial acuícola.

El potencial acuícola de una especie se puede determinar mediante indicadores biológicos deseables en el organismo, según Huang & Liao 2000:

- Que posea un crecimiento acelerado para permitir reducir los tiempos y gastos de producción.
- En caso de que ya se comercialice, que su valor económico sea el suficiente para justificar los costos en una producción acuicultural.

- Que resista al estrés que se produce por la producción en lugares confinados, reduciendo al máximo la mortalidad y teniendo un mínimo de enfermedades.
- De preferencia la especie debe de ser dócil y fácil de manejar.
- Que tenga un ciclo de vida simple para lograr manejar las temporadas de reproducción; lograr identificar las diferencias entre sexos; el que no tengan estadios de vida complicados como estadios de hibernación; la posibilidad de manejar la territorialidad del organismo para aumentar las densidades de carga; y el cuidar que los individuos no realicen canibalismo de forma alarmante.
- La posibilidad de que consuman alimento formulado artificialmente, por lo que serían deseables los bajos requerimientos nutricionales.
- Que sus características físicas sean deseables comenzando por que posea un tamaño biológico comercial y que su color, apariencia, forma, sabor sean de agrado para el mercado.
- Finalmente para facilitar el cultivo y lograr reducir costos aumentando la producción, las especies a introducir deben de tener una amplia tolerancia al ambiente, soportando variaciones en parámetros como Temperatura, pH, OD, salinidad, requerimientos de espacio y la tolerancia farmacológica.

2.10. Productividad

Para lograr determinar objetivamente el potencial de una especie es necesario seguir diferentes métodos de medición que permitan observar con claridad las ventajas y desventajas en las diferentes áreas de estudio. Generalmente se utiliza la medición de la biomasa total para determinar este parámetro, pero al momento de comparar diferentes condiciones y especies no siempre es lo más adecuado y es necesario tener otras consideraciones.

La producción total de biomasa (W_t) es el peso total expresado en unidades materiales como peso húmedo o peso seco, muy útil al momento de revisar cual es la producción final sin considerar las variaciones a lo largo del periodo de tiempo. Se obtiene a partir de la fórmula:

$$W_t(g) = \sum_{i=1}^n W_i \quad (1)$$

Donde W_i es el peso del pez en el sistema (se utilizó la compilación llevada a cabo por (Alatorre-Jacome *et al.* 2012).

Generalmente W_t se utiliza en términos de densidad relativa (prel) al dividirlo por una unidad volumétrica (kg/m^3), lo que permite observar los datos de tal forma que sea posible compararlos con sistemas de diferente tamaño.

$$prel(g) = \frac{W_t}{V} \quad (2)$$

Donde V es el volumen.

Para observar la cantidad de peso que los organismos ganaron en un tiempo determinado se utiliza la ganancia total en peso (GTP), que determina la ganancia de biomasa en un periodo de tiempo determinado, expresado por la fórmula:

$$GTP(g) = M_f - M_i \quad (3)$$

Donde M_f es la masa final y M_i la inicial (Alatorre-Jacome *et al.* 2012).

Si lo que se desea obtener es la biomasa producida cada día, dentro del periodo de tiempo medido, se puede utilizar la tasa promedio de crecimiento diario (TPCD).

$$TPCD(g \text{ día}^{-1}) = \frac{TWG}{D} \quad (4)$$

Donde TWG es la ganancia total (3) y D los días de cultivo (Alatorre-Jacome *et al.* 2012).

Otro parámetro para comparar esta ganancia es la tasa específica de crecimiento (TEC)

$$TEC(kg \text{ día}^{-1}) = \frac{100(\ln M_f - \ln M_i)}{D} \quad (5)$$

Donde M_f es el peso final, M_i el inicial, \ln el logaritmo natural y D los días de cultivo (Alatorre-Jacome *et al.* 2012).

La eficiencia de conversión del alimento (ECA) permite determinar la proporción del alimento suministrado que se convierte en biomasa, útil para observar de forma sencilla el aprovechamiento del alimento. Se puede expresar en los términos:

$$ECA = \frac{F}{(M_f - M_i)} \quad (6)$$

Donde M_f es la masa final, M_i es la inicial y F es el peso seco del alimento (Alatorre-Jacome *et al.* 2012).

2.11. Balance energético

El balance energético es una herramienta que permite conocer la forma en que los organismos utilizan la energía y la convierten en biomasa, gametos o procesos metabólicos como se observa en la Figura 2-3. El modelo del balance energético integra diversas respuestas fisiológicas para conocer los destinos de la energía ingerida (Rosas *et al.* 2003).

El crecimiento de cualquier organismo es determinado por el aprovechamiento de la energía en su alimento, por lo que está limitado por el contenido de energía y nutrientes (vitaminas y minerales) en el mismo. La forma para obtener la mayor producción de biomasa es a partir de utilizar alimentos que proporcionen mayores beneficios después de haber abarcado los costos metabólicos basales.

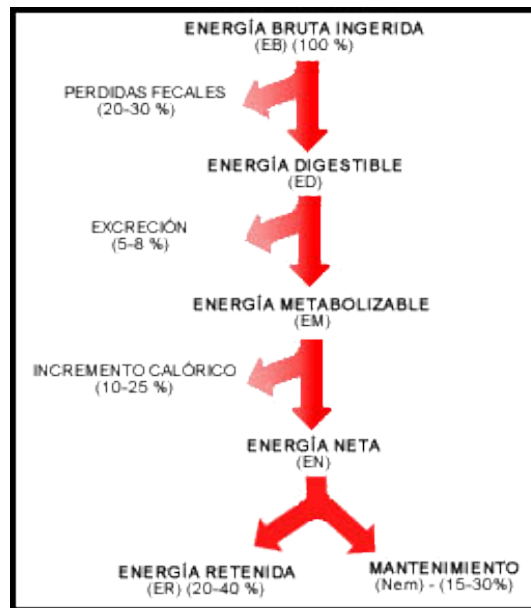


Figura 2-3 Destino de la energía ingerida tomado de Jover-Cerdá (2000)

Ya que no es posible cuantificar directamente los cambios de energía que ocurren para mantener los procesos vitales, se considera que a final de cuentas la energía es eliminada en heces y desechos metabólicos, disipada como calor o depositada en los tejidos. Mediante métodos indirectos como la medición

de la energía en la dieta y en los desechos por métodos calorimétricos, se permite calcular los aportes de energía digestible y metabolizable (Cho & Bureau 1999).

2.12. Tasa de ingestión (I) y tasa de producción de heces (H)

La energía aportada por un alimento es el producto final de la absorción de nutrientes que producen energía cuando son oxidados y metabolizados, todos los compuestos orgánicos de un alimento liberan calor por combustión, y son fuentes potenciales de energía. La tasa de ingestión se expresa como la energía consumida por el organismo, la cual proviene totalmente de la cantidad de alimento consumido y debido a las preferencias del organismo no solo depende de su contenido energético sino que también participa su textura, dureza y aglutinación (Rosas *et al.* 2003).

El valor bruto de energía del alimento se puede calcular a partir de su composición química utilizando los valores promedio de calor por combustión de 17.2 kJ/g para carbohidratos, 23.6 kJ/g para proteínas y 39.5 kJ/g para lípidos (Bradfield & Llewellyn 1982), aunque esta estimación puede modificarse por los compuestos inertes del alimento. La digestión, absorción y utilización de los carbohidratos, lípidos y proteínas estarán afectados por la pérdida de nutrientes no digeridos e inutilizados (Cho & Bureau 1999), por lo que la medición del calor de energía se debería de medir tanto por métodos químicos como por ensayos biológicos. En la práctica es necesario cuantificar cuidadosamente la cantidad de alimento consumida por el organismo, cuidando de no perder muestra, considerando la pérdida por lixiviación que ocurre en el agua.

De la energía ingerida una parte se pierde a través de la producción de heces, las cuales corresponden al alimento no absorbido. Un análisis directo podría determinar la cantidad de H que se ha producido y a partir de esta determinar la cantidad de energía perdida en los desechos para calcular la energía absorbida (Ab) por el organismo con la fórmula (Lucas 1993):

$$Ab = I - H \quad (7)$$

2.13. Consumo de Oxígeno (R) y Excreción Nitrogenada (N)

El consumo de proteína y el catabolismo de aminoácidos produce amonio, además de dióxido de carbono y agua, así como el catabolismo de purinas y

arginina produce urea, por lo que la combinación de amonio y urea se considera como la pérdida combustible por parte del pez (Cho & Bureau 1999). La mayor parte de esta pérdida se realiza a través de las branquias en forma de amonio, con una menor pérdida a través de los riñones como urea y amonio (Forster & Goldstein 1969). La cuantificación de estas pérdidas permite realizar estimaciones de la proteína y energía metabolizable. En estudios previos se ha determinado que en la combinación de los desechos de urea y amonio, por la proporción de los mismos, por cada gramo de nitrógeno perdido por el pez la pérdida de energía sea de 24.9 kJ (Cho & Kaushik 1990).

El consumo de oxígeno representa una estimación de los requerimientos de energía necesarios para mantener el metabolismo basal más la actividad, en general es utilizado como un indicador del estado metabólico del organismo (Lampert 1984; Waller 1992). Si se toma en cuenta que el O_2 es el último aceptor de electrones de la cadena respiratoria, se puede considerar como que R tiene un equivalente de energía en términos de moléculas de ATP, las cuales pueden ser convertidas a joules, por lo que cada mg de oxígeno representaría 14.3 J (Lucas 1993). Tanto R como N son calculados en la práctica mediante métodos directos al medir la concentración inicial y final de los mismos en un periodo de tiempo determinado (Jover-Cerdá 2000; Rosas *et al.* 2003).

Por otra parte la razón O:N es una herramienta para identificar el sustrato metabólico que usan los animales para satisfacer las demandas de energía corporal, siendo la relación entre el oxígeno consumido y el oxígeno excretado, expresado en la cantidad de átomos de cada molécula por gramos de pez. Se han establecido valores de la razón O:N que permiten estimar el aporte de energía de proteínas, carbohidratos para satisfacer la demanda metabólica. Un valor de entre 3 y 16 se ha señalado como indicador del dominio del metabolismo de las proteínas como fuente de energía metabólica. Conforme este valor aumenta, disminuye también el uso de las proteínas y aparece el metabolismo de carbohidratos y lípidos hasta alcanzar un equilibrio (50% proteínas-50% CHO y lípidos) el cual está marcado con valores de O:N de entre 50 y 60. A medida que los valores de O:N aumentan el uso de las proteínas disminuye. Valores mayores de O:N de 100 indican que los animales utilizan prácticamente CHO y lípidos

como fuente de energía metabólica en lugar de proteínas (Mayzaud & Conover 1988; Cerezo-Valverde & García-García 2004).

2.14. Tasa metabólica estándar

El metabolismo es normalmente la mayor parte del presupuesto energético en el pez, distribuido en actividades de rutina, crecimiento, funciones inmunes o reproducción (Portz *et al.* 2006). El observar el metabolismo de un individuo permite observar su nivel de estrés bajo las condiciones de cultivo, el cual puede obligar a que el organismo gaste energía en actividades que disminuyen la producción, debilitándolo, suprimiendo su sistema inmune, disminuyendo su crecimiento o hasta causando la muerte, a la vez que incrementa su tasa metabólica y su excreción nitrogenada (Barton 2002; Eddy 2005; Portz *et al.* 2006). La tasa metabólica estándar considera la energía requerida para el mantenimiento de las funciones fisiológicas críticas sin actividad ni alimentación (Schurmann & Steffensen 1997; Maciak & Konarzewski 2010). Esta tasa es un indicador secundario del nivel de estrés que presenta un organismo que dura durante un largo periodo de tiempo después de la exposición al factor de estrés (Portz *et al.* 2006). Esta tasa metabólica puede ser medida de forma indirecta mediante la tasa de consumo de oxígeno, indicador que permite observar si la especie se encuentra bajo un mayor estrés al cambiar sus condiciones ambientales (Lampert 1984; Schurmann & Steffensen 1997).

3. METODOLOGÍA

3.1. Objetivo

Determinar el potencial acuícola de *Herichthys cyanoguttatus* bajo las condiciones de producción en invernadero de Amazcala.

3.2. Objetivo particular

- Investigar la viabilidad de producción de *Herichthys cyanoguttatus* utilizando la tecnología básica para la producción de tilapia revisando sus índices de productividad acuícola.
- Determinar si la especie se adapta de forma adecuada al cultivo acuícola mediante la revisión de su bioenergética.

3.3. Hipótesis

Las condiciones del cultivo acuícola en el semidesierto queretano permiten que la productividad de la mojarra del panuco (*Herichthys cyanoguttatus*) sea igual o mayor a la tilapia (*Oreochromis niloticus*) debido a su adaptación a las altas temperaturas y dureza del agua presentadas en su hábitat natural.

A partir de la información disponible sobre la mojarra nativa *Herichthys cyanoguttatus* obtenida previamente por García-Trejo *et al.* (2014) se consideró viable el presentar esta especie al cultivo acuícola bajo invernadero, ya que en la actualidad es de suma importancia mejorar el aprovechamiento de los recursos naturales, dañando al mínimo el ecosistema, por lo que es necesario buscar todas las alternativas viables para cumplir este fin.

El estudio comprendió de tres etapas (Figura 3-1), en donde los individuos de estudio fueron capturados de su medio natural para posteriormente ser aclimatizados a las condiciones de invernadero y finalmente revisar sus cualidades energéticas en el laboratorio.

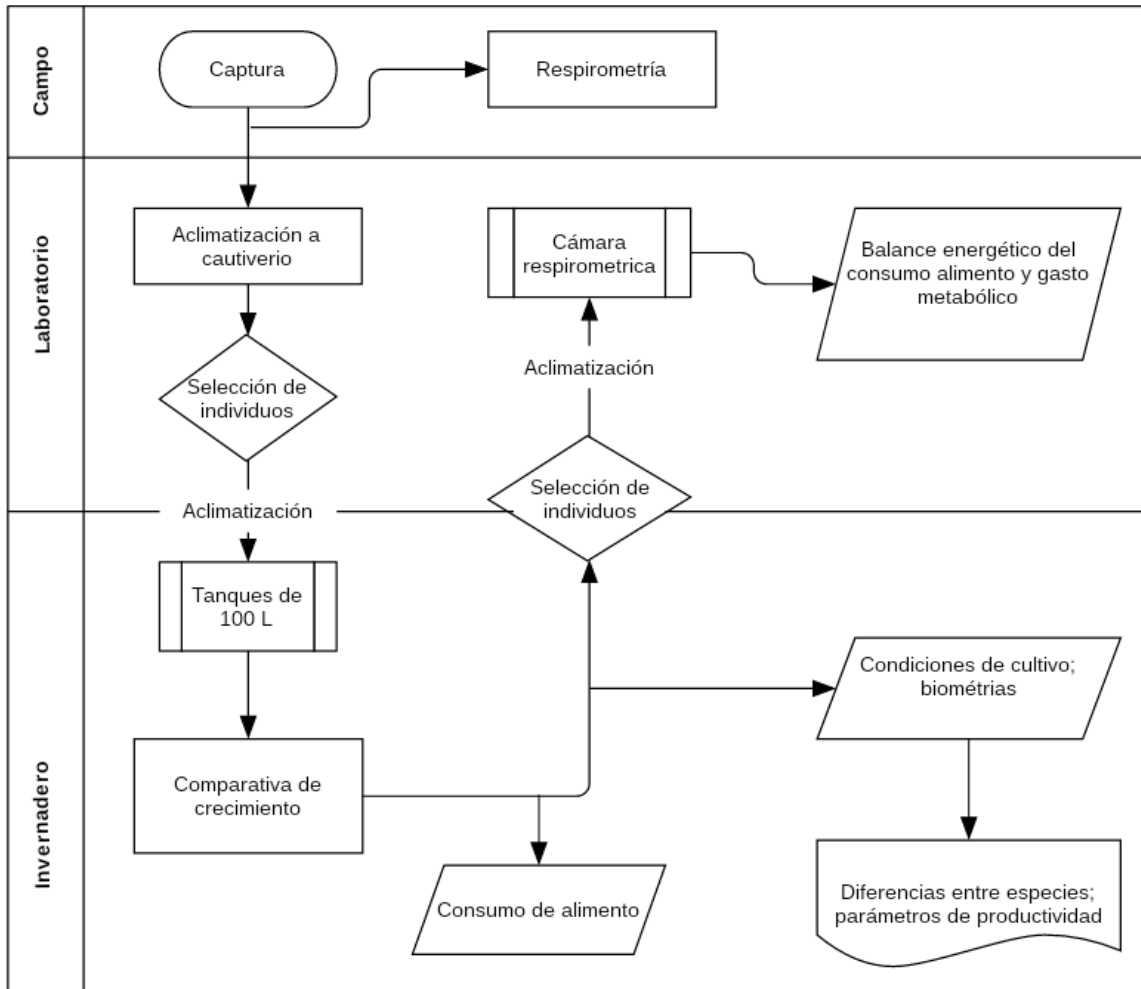


Figura 3-1 Diagrama esquemático del trabajo experimental

3.4. Organismos

Los organismos de la mojarra del Pánuco (*Herichthys cyanoguttatus*) se obtuvieron de la región cercana a la presa Zimapán que se encuentra en los límites de los estados de Hidalgo y Querétaro, en el cañón del infiernillo, en donde se forma el río Moctezuma por la unión de los ríos Tula y San Juan. Las coordenadas extremas de la presa son 20° 36' a 20° 45' latitud norte y 99° 31' a 99° 40' (Figura 3-2).

El embalse se localiza en la Sub provincia “Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo”, perteneciente a la Provincia Fisiográfica “Eje Neovolcánico Transversal”. Forma parte de la Región Hidrológica Administrativa Golfo Norte (IX), la cual abarca el sistema hidrológico Pánuco, en donde se integran las cuencas del río Tula, río San Juan y río Moctezuma (INEGI 2011)

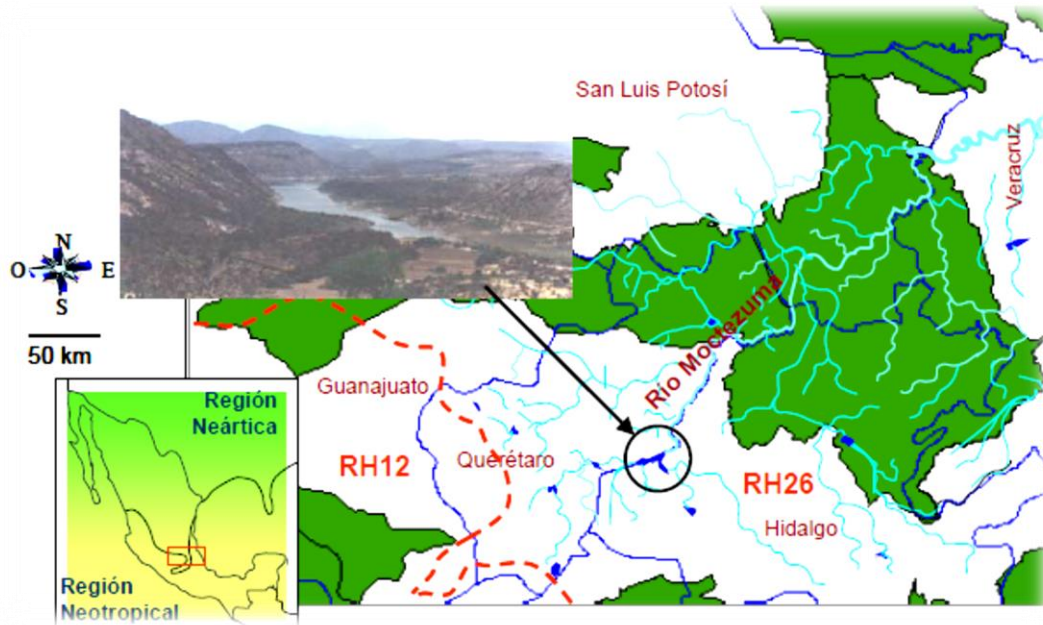


Figura 3-2 Localización del área de estudio

A partir de los resultados obtenidos por García-Trejo *et al.* (2014) se observó que la región de los manantiales de Taxhidó ubicada pocos kilómetros río arriba del embalse de la presa Zimapán presenta un gran número de organismos con tallas pequeñas en promedio por captura, la cercanía a los manantiales propicia la obtención de tallas menores, lo que lo hace un sitio ideal para el muestreo ya que en esta área se obtienen organismos de 10 y 30 mm de longitud.

Taxhidó se encuentra en el municipio de Cadereyta, Querétaro, localizado en 20° 35' 18" LN 99° 40' 47" LW presenta un pH de 8.2 con temperaturas de 27°C en el río y 31.2°C en el manantial y O₂ disuelto de 6.8 mg l⁻¹ en el río y 7.0 mg l⁻¹ en el manantial (García-Trejo *et al.* 2014).

De estos manantiales se extrae agua para el municipio de Cadereyta y una buena parte se aporta al cauce del río san juan. La transparencia en esta zona es muy alta y se forman pequeñas pozas con temperaturas de entre 27 y 30°C ideales para la reproducción de la especie, a pesar de que la gente utiliza este lugar para lavar ropa y con fines recreativos. En las condiciones de esta zona los meses de septiembre a noviembre son los que presentan una mayor densidad relativa, la cual desciende en diciembre y comienza a ascender nuevamente en mayo, mientras que el pico de actividad se observa en agosto y octubre (García-

Trejo *et al.* 2014). Para la captura se utilizó el arte de pesca de chinchorro, la cual se realizó en diferentes periodos del año para lograr obtener individuos de los tamaños y cantidades deseables para el experimento.

Los organismos se trasladaron vivos al laboratorio mediante tinas con aireadores para mantener la oxigenación durante el viaje. Al llegar al laboratorio se realizó la biometría inicial a una muestra aleatoria de los individuos utilizando un vernier digital determinando longitud estándar en mm y peso húmedo en gramos (phum), para determinar el estado de la población.

Las tilapias (*Oreochromis niloticus*) fueron obtenidas a partir de la unidad acuícola del Campus Amazcala de la Universidad Autónoma de Querétaro, ubicada en la delegación del Marques Querétaro, dependiendo del tamaño deseado para el experimento.

3.5. Aclimatización

Para permitir que los organismos capturados se acostumbraran a las nuevas condiciones ambientales, estos se mantuvieron en tinas de 50 L a una temperatura de 27-28°C cercana a la reportada para el manantial Taxhidó, así como una cantidad de OD suficiente utilizando una bomba de aire de la marca Elite para 114 L. Se comenzaron a alimentar con una formulación comercial para tilapia, Api-Tilapia 1, maltaCleyton® con 50% de proteínas, 12% de lípidos, 13% de cenizas, 3% de fibra, 12% humedad, proporcionando el 4% de la biomasa a cada tina en tres raciones diarias. Las tinas se limpiaron diariamente antes de la alimentación, realizando un recambio del 25% del agua. El agua utilizada en todos los estudios fue la obtenida del pozo localizado en las instalaciones del campus Amazcala de la UAQ.

Posteriormente los individuos se seleccionaron para los diferentes estudios dependiendo de los requerimientos de los mismos. En cada caso se permitió un segundo periodo de adaptación a las condiciones experimentales en los diferentes recipientes.

3.6. Comparación entre el crecimiento de *Herichthys Cyanoguttatus* y *Oreochromis niloticus*

Para la comparación entre la producción de biomasa de la mojarra nativa y la tilapia los organismos seleccionados fueron trasladados a tanques de 100 L localizadas dentro de un invernadero de polietileno de 504 m² de área (18 m x 28 m) en Amazcala Querétaro, México realizando recambios del 30% del agua cada tercer día. Al momento de la captura para las mediciones semanales se realizó un recambio del 80% del agua.

La temperatura del agua y el oxígeno disuelto se monitorearon cada tercer día mediante el medidor multiparamétrico HQ40D de la marca HACH, USA con el sensor LDO101-03 (°C y Oxígeno disuelto); el pH se midió mediante el medidor water proof pH tester 10, marca Brand EUTECH, USA Instruments. Una vez cada 15 días se realizaron análisis del contenido amoniacal en el agua mediante técnicas espectrofotométricas con el espectrofotómetro DR/6000 (HACH) utilizando el método 380N de Hach.

El experimento tuvo una duración de 90 días. Durante este periodo semanalmente se midió el peso húmedo de todos los individuos mediante una balanza analítica con precisión de 0.001 g (Sartorius AY303 Milligram Scale), ajustando la ración de alimento para la semana. Al iniciar el experimento y cada mes se realizó la biometría de una muestra de los individuos en el laboratorio utilizando un vernier digital con una precisión de 0.01 mm (Truper Stainless steel), el registro de mortalidad se realizó diario. Los organismos se alimentaron con la misma fórmula alimenticia Api-Tilapia 1 a una razón diaria del 4 % de la biomasa total de cada tina repartida en 1 o 2 raciones al día. Los peces de ambas especies se mantuvieron en aclimatización a las condiciones de invernadero durante una semana previa al experimento.

3.7. Balance energético por individuo

El balance energético permitió determinar la cantidad de alimento aprovechado por cada individuo, de los cuales se analizó su consumo de energía. Los organismos se trasladaron a contenedores experimentales de 2 L manteniéndolos con aireación continua y una temperatura de 28°C. Una vez en los

contenedores experimentales se permitió que se adaptaran a estos durante 24 horas, manteniendo ayuno. Después de la aclimatización el agua de cada contenedor fue cambiada a totalidad tomando muestras para determinar el contenido de NH_4 , mediante técnicas espectrofotométricas con el espectrofotómetro DR/6000 (HACH) utilizando el método 380N de Hach.

Se alimentó por la mañana con el 15% del peso húmedo del organismo. Pasando 24 horas de la alimentación se realizó la recolección de las heces fecales mediante, cuidando de no mezclar con el alimento no consumido. El alimento no consumido también se recolectó mediante sifoneo filtrando el agua con papel filtro watman 100 μm pre pesado y recuperar el alimento no consumido. A una muestra de agua se le determinó el alimento disuelto para calcular la totalidad de alimento en el agua. De igual forma se realizaron las determinaciones de NH_4 .

Tasa de ingestión (I)

El alimento no consumido recolectado en los filtros fue secado en estufa a 60°C por 48 horas o hasta obtener un peso constante, siempre cuidando de no perder muestra. Se obtuvo el peso seco del alimento no consumido al restar el peso del alimento en el filtro a el alimento adicionado originalmente, más el alimento disuelto y de esta forma determinar la cantidad de alimento diario requerido y la tasa de ingestión al considerar la energía que aporta el alimento.

Tasa de producción de heces y energía absorbida (Ab)

Se determinó la tasa de producción de heces recolectando directamente los residuos posteriores al periodo experimental, teniendo especial cuidado de no mezclar con el alimento. Las heces fueron secadas en estufa a 60°C por 48 horas o hasta obtener un peso constante

Análisis calórico

El contenido de energía del alimento se obtuvo en la bomba calorimétrica la cual se estandarizó de acuerdo al proveedor. Las muestras se trataron según lo determinado en la metodología de la bomba calorimétrica.

Consumo de Oxígeno (R) y Excreción Nitrogenada (N)

La excreción Nitrogenada se obtuvo al restar la concentración del nitrógeno amoniacal final a la concentración del nitrógeno amoniacal inicial después de 24 horas en contenedores experimentales con aireación pero sin suministrar alimento durante el tiempo del estudio. Las muestras de agua se mantuvieron en refrigeración hasta realizar la determinación mediante técnicas espectrofotométricas.

Por otra parte el consumo de oxígeno se determinó con el método de cámara respirométrica semicerradas (Lampert 1984) al medir el oxígeno disuelto (OD) inicial y restarle el OD después de periodos cortos de tiempo. Los organismos se trasladaron a las cámaras calorimétricas realizando cada tratamiento por cuadruplicado, se tuvo cuidado de oxigenar a saturación el agua a utilizar, se midió el OD inicial y se selló la cámara. El experimento se realizó tomando el OD inicial y final así como la temperatura y el pH cada 4 horas durante 24 h. En cada caso se tuvo una cámara o contenedor control la cual no tenía ningún organismo pero se le realizó el mismo tratamiento para poder sustraer de los cálculos el efecto de bacterias y algas en el agua. A partir de los datos obtenidos se calculó la excreción nitrogenada y consumo de oxígeno los cuales se representaron respecto a unidad de biomasa utilizando el peso húmedo para obtener un dato más útil al momento de trabajar con los peces.

Se obtuvo la tasa de ingestión (I), la energía absorbida (Ab), el consumo de oxígeno (R) la excreción nitrogenada (N) la razón O:N conforme a lo planteado en la fundamentación teórica

La tasa de consumo de oxígeno fue calculada como (Rosas et al. 2003):

$$\text{Consumo de oxígeno (mg O}_2\text{g}^{-1}\text{ h}^{-1}) = \left(\frac{C_i - C_a}{t_a} - \frac{C_i - C_c}{t_c} \right) \times \frac{V}{W} \quad (8)$$

Donde C_i , C_a , C_c , son las concentraciones de oxígeno (mg l^{-1}) de las muestras iniciales, finales, con el organismo y del control respectivamente; t_a y t_c son los periodos de incubación (h) del individuo dentro de la cámara respirométrica y del control; V es el volumen (l) de las cámaras y W es el peso húmedo del animal (g).

La tasa de producción de $\text{NH}_3\text{-N}$ fue calculada como (Rosas et al. 2003):

$$\text{Producción } NH_3 - N \text{ (mg } NH_3 - N \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}) = \left(\frac{N_f - N_i}{t_a} - \frac{N_{cf} - N_{ci}}{t_c} \right) \times \frac{V}{W} \quad (9)$$

Donde Ni, Nf, Nc, son las concentraciones de NH₃-N (mg l⁻¹) de las muestras iniciales, finales, con el organismo y del control respectivamente; ta y tc son los periodos de incubación (h) del individuo dentro de la cámara respirométrica y del control; V es el volumen (l) de las cámaras y W es el peso húmedo del animal (g).

La razón O:N se calculó utilizando la fórmula (Mayzaud & Conover 1988):

$$\text{razón O:N} = \left(\frac{\text{peso atómico}(NH_3-N)}{\text{peso atómico}(O_2)} \right) \left(\frac{\text{consumo de } O_2}{\text{producción de } NH_3-N} \right) * 2 \quad (10)$$

3.8. Análisis estadístico

Para la comparación entre múltiples muestras se llevó a cabo un análisis de varianza por métodos paramétricos (ANOVA), con un nivel de confianza de 95%. Una vez que se determinó la existencia de diferencias estadísticamente significativas, se procedió a hacer una prueba de contrastes para conocer en dónde estaban las diferencias significativas mediante el método de la Mínimas Diferencias Significativas Para las comparaciones entre especies se realizó una prueba de t para determinar diferencias significativas (Zar 2010). Todos los análisis estadísticos se realizaron con una confiabilidad del 95% utilizando el software statgraphics routine centurion XV, ver. 15.2.06.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Comparación entre el crecimiento de *Herichthys cyanoguttatus* y *Oreochromis niloticus*

Condiciones ambientales

El estudio pretendió demostrar la capacidad de crecimiento del cíclido *H. cyanoguttatus* bajo condiciones de cultivo similares a las que se presentan en la mayoría de las unidades acuícolas en México, en donde por lo general se utilizan técnicas muy básicas sin control climático ni sistemas de filtración con una producción de carácter familiar (INEGI 2009). Los tanques dentro del invernadero se encontraron bajo una temperatura ambiental mínima de 15°C durante la noche y una temperatura máxima de 44°C durante el día (Figura 4-1). La temperatura del agua en cada tanque tuvo una menor variación en donde no se encontraron diferencia estadísticamente significativa entre tanques ($p>0.05$) con valores mínimos de 19°C durante la noche y máximos de 30 °C durante el día y un promedio de 23°C con desviación estándar de 1.99 °C (Figura 4-2) valores que se encuentran dentro del rango de crecimiento tolerado para la tilapia *O. niloticus* por lo que no se considera una limitante para su desarrollo (El-Sayed 2006; Timmons & Ebeling 2010). Para la mojarra nativa la temperatura del agua se ajustó a los valores en donde se ha registrado su crecimiento (Froese & Pauly 2014), pero se encontró por debajo del óptimo entre 26 y 28 °C registrado por García-Trejo *et al.* (2014), marcando un punto a mejorar para favorecer el crecimiento de la especie.

Los valores obtenidos oxígeno disuelto, pH y $\text{NH}_3\text{-N}$ de calidad del agua (Cuadro 4-1) no presentaron diferencia significativa ($p>0.05$) durante el periodo experimental entre los diferentes tanques siendo adecuados para el crecimiento de la tilapia *O. niloticus* (El-Sayed 2006; Timmons & Ebeling 2010). En cuanto a *H. cyanoguttatus* el parámetro de oxígeno disuelto se encontró dentro de los rangos tolerados por la especie (Froese & Pauly 2014; García-Trejo *et al.* 2014) pero los parámetros de pH y $\text{NH}_3\text{-N}$ no se han estudiado con anterioridad por lo que no existen reportes de los rangos adecuados de crecimiento para esta especie. Ya que bajo estas condiciones se reportó una supervivencia promedio del 95% para la mojarra nativa, sin una diferencia estadística significativa ($p>0.05$) respecto a la

tilapia, se considera que los valores aunque pudieran no ser los óptimos se encuentran dentro del rango de tolerancia para la especie y por tanto permiten su desarrollo.

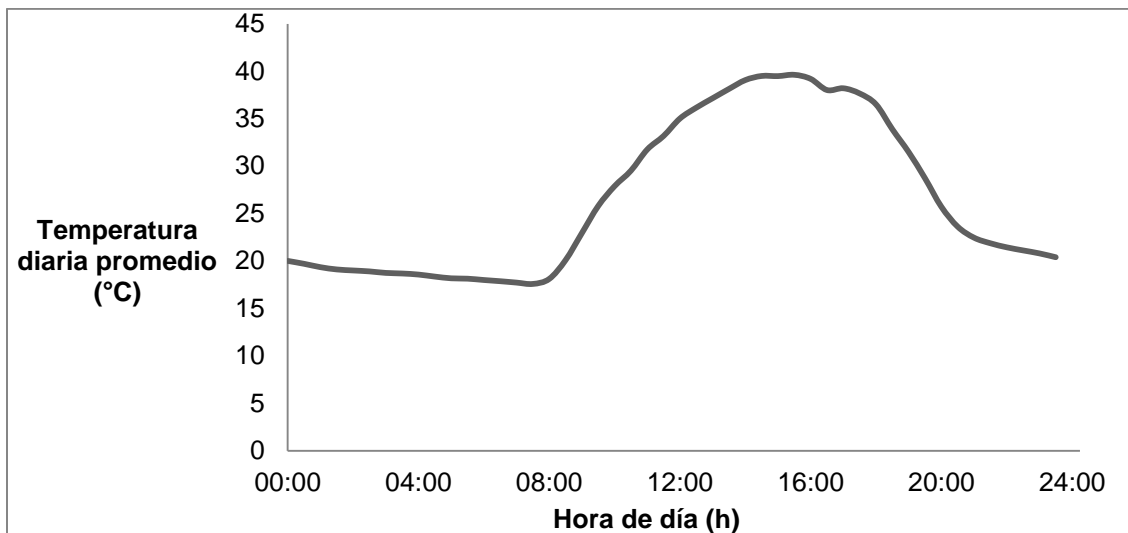


Figura 4-1 Tendencia de la fluctuación de la temperatura ambiental (°C) diaria durante el periodo experimental

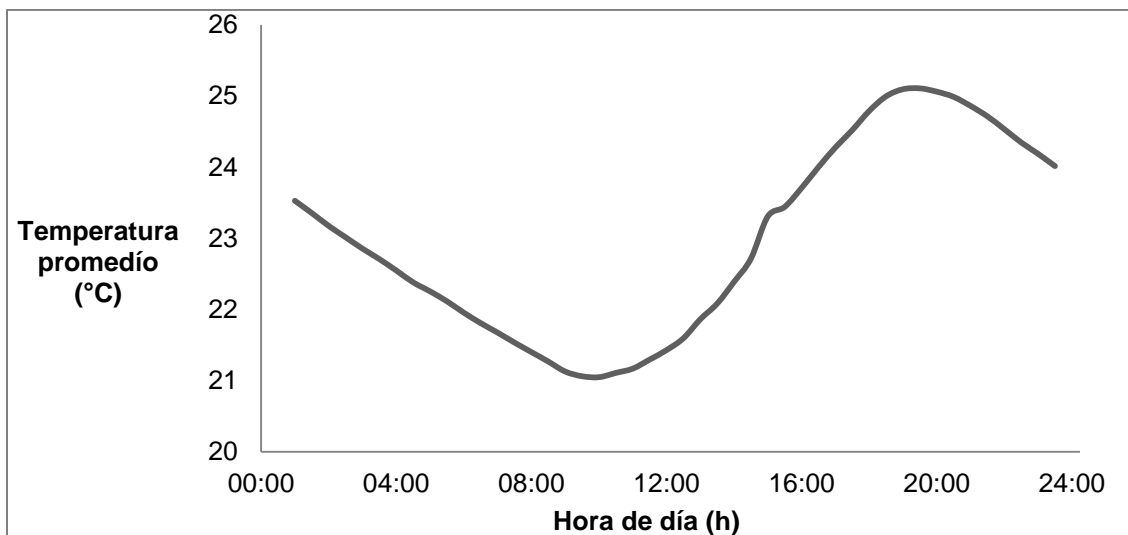


Figura 4-2. Tendencia de la fluctuación de la temperatura del agua (°C) diaria durante el periodo experimental

Cuadro 4-1 Valores promedios de todos los tanques obtenidos durante el periodo experimental para la temperatura, el oxígeno disuelto (mg/l), el pH y el NH₃-N (mg/l)

	Temperatura	O ₂	pH	NH ₃ -N
Promedio	23.01	8.46	8.9	0.099
Desviación estándar	1.99	1.23	0.26	0.036
Mínimo	18.9	5.99	8.5	0.02
Máximo	30.2	12.27	9.7	0.15

Productividad

La ganancia en peso húmedo obtenida durante la primer semana no presentó diferencia estadísticamente significativa ($p > 0.05$) entre los pesos de *H. cyanoguttatus* y *O. niloticus* por lo que se considera que ambas especie comenzaron bajo condiciones fisiológicas similares. *O. niloticus* presentó un mayor incremento en biomasa con diferencia estadísticamente significativa ($p > 0.05$) desde el día 14 hasta el término del periodo experimental. En la Figura 4-3 se puede destacar que a lo largo de los últimos días del experimento se observa el comienzo de un crecimiento exponencial característico de la tilapia que permite la obtención de mayor biomasa en un menor tiempo, cualidad apreciada en la acuicultura (Santos *et al.* 2008; Santos *et al.* 2013). El crecimiento de la mojarra nativa del río Panuco no ha sido caracterizada en ningún estudio previo, pero a partir de los datos obtenidos es evidente un crecimiento lineal y gradual. Previamente se ha reportado que *H. cyanoguttatus* posee la capacidad de alcanzar tamaños de hasta 30 cm pero el tiempo que requerirá para llegar a ese punto será mayor al que requiere actualmente la tilapia (Page & Burrows 2011).

Los parámetros de productividad obtenidos al término del periodo experimental (Cuadro 4-2) corroboran que la Tilapia tiene una ganancia en peso mayor en un menor tiempo. Los valores de Prel final y GTP de *O. niloticus* y *H. cyanoguttatus* son estadísticamente diferentes ($p > 0.05$) a favor de la tilapia con casi el doble de crecimiento respecto a la mojarra nativa, donde la nativa incorporaba 0.372 g diarios mientras que la tilapia 1.352. *O. niloticus* obtuvo una TEC de 2.28, la cual indica un buen rendimiento para la especie (Ogunji & Wirth 2000; Kumar *et al.* 2011). *H. cyanoguttatus* obtuvo un valor estadísticamente

menor ($p < 0.05$) con 1.35, indicando que por lo menos en cuanto a lo que respecta a producción de biomasa durante el periodo experimental la especie nativa no puede competir frente al pez introducido.

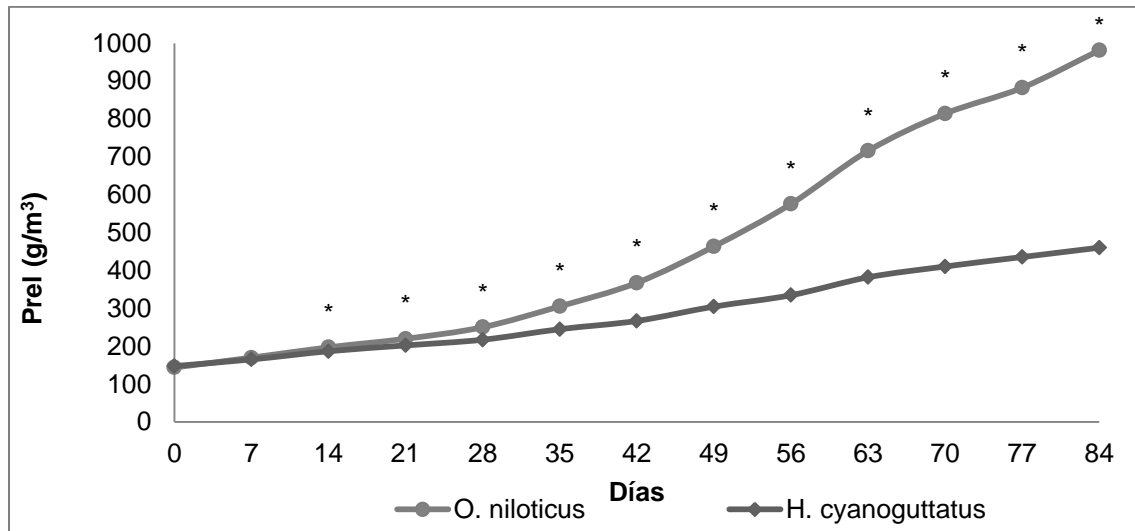


Figura 4-3. Ganancia en peso húmedo por unidad volumétrica (Prel) de *O. niloticus* y *H. cyanoguttatus* durante el periodo experimental. Se muestra la media de 3 tinas. *Indica una diferencia estadística significativa entre especies bajo una prueba de t ($p < 0.05$)

El valor obtenido de ECA (Cuadro 4-2) presentó una diferencia estadísticamente significativa ($p > 0.05$) donde *H. cyanoguttatus* obtuvo un valor de 3.370 mientras que *O. niloticus* obtuvo 2.04. Varios autores han reportado un valor de ECA para la tilapia entre 1.2 y 1.5 considerándolo aceptable para la acuicultura, como fue el caso en este estudio (De Silva & Anderson 1995; Ogunji & Wirth 2000; Kumar *et al.* 2011). Para el caso de la mojarra nativa no existen reportes previos pero esta obtuvo una diferencia de 60% sobre la tilapia, sugiriendo que el ciclido nativo a pesar de crecer a una tasa menor aprovecha mejor su alimento causando por lo tanto un menor desperdicio, optimizando así el uso de recursos. Este aprovechamiento de recursos puede llegar a contrarrestar el lento crecimiento que presenta la mojarra nativa que no es necesariamente una desventaja en todos los modelos de producción acuícola, esta especie podría llegar a ser útil para la producción acuícola familiar con fines de autoconsumo, como es el caso de la mayoría de las unidades acuícolas presentes en México donde lo más importante

no es obtener la mayor cantidad de biomasa en el menor tiempo si no el mejor aprovechamiento de recursos (INEGI 2009). Por otra parte esta alta ECA podría deberse también a la cantidad de alimento suministrado del 4% de la biomasa al día, la cual puede no estar cubriendo a totalidad los requerimientos calóricos y nutricionales de la especie, por lo que esta necesita consumir todo el alimento disponible, si este fuera el caso sería necesario incremental la ración diaria de alimento para obtener mayores pesos en el mismo periodo de tiempo, adaptaciones necesitarías sobre el actual manejo de producción.

Cuadro 4-2 Rendimiento del crecimiento de *O. niloticus* y *H. cyanoguttatus* durante el periodo experimental.

	<i>H. cyanoguttatus</i>	<i>O. niloticus</i>
Días de cultivo (D)	84 ± 0	84 ± 0
Peces por tanque(n)	27 ± 0	27 ± 0
Tanques (n)	3 ± 0	3 ± 0
Supervivencia (%)	95.06 ± 5.658	100.00 ± 0.000
Prel inicial (g/m ³)	147.82 ± 0.658	144.11 ± 3.191
Prel final (g/m ³)	*460.37 ± 9.669	*981.12 ± 43.123
GTP (g)	*31.26 ± 0.957	*83.70 ± 4.542
TPCD (g/d)	*0.37 ± 0.011	*1.00 ± 0.054
TEC(%/d)	*1.35 ± 0.025	*2.28 ± 0.074
ECA	*3.37 ± 0.052	*2.04 ± 0.064
Alimento suministrado	*105.31 ± 2.281	*170.47 ± 4.020

Los valores son la media (n=3) ± desviación estándar. * indica diferencia significativa (P<0.05). Prel (peso húmedo por unidad volumétrica); GTP (ganancia total en peso) TPCD (tasa promedio de crecimiento diario; TEC (tasa específica de crecimiento); ECA (eficiencia de conversión de alimento).

Relación longitud-peso y factor de condición

Se obtuvieron los valores a y b de la relación longitud-peso (Cuadro 4-3) donde ambas especies presentaron un crecimiento alométrico negativo durante los primeros 28 días (b<2), tendiendo a un crecimiento isométrico (b=3) al final del tiempo experimental. El valor de b<2 obtenido en la medición inicial se encuentra fuera de los valores predichos por Carlander (1969) y Froese (2006), por lo que el

valor se considera incorrecto ya que como estos autores indican la relación longitud-peso no es fiable en individuos con tamaños muy pequeños. A partir del día 28 se alcanza un “balance” en el coeficiente b tanto para *H. cyanoguttatus* como para *O. niloticus* ya que ninguna de las dos presento diferencia estadísticamente significativa ($p>0.05$) e las siguientes mediciones. A pesar de no existir diferencia significativa desde el día 28, estadísticamente se observó un crecimiento isométrico ($b=3$) a partir del día 56 para ambas especies. El crecimiento isométrico de la tilapia se ha reportado con anterioridad coincidiendo con los valores de este estudio (Olurin & Aderibigbe 2006; Gupta *et al.* 2012). En el caso de *H. cyanoguttatus* no existen reportes previos de este coeficiente, pero se puede constatar que la especie presenta una tendencia al crecimiento isométrico, característica deseable en la producción acuícola, indicando la posibilidad de que la mojarra nativa obtenga productos finales similares a la tilapia, lo que podría facilitar el que los consumidores actuales de tilapia acepten con mayor facilidad a la mojarra nativa.

Cuadro 4-3 Relación longitud-peso ($W=aL^b$) durante el periodo experimental para *H. cyanoguttatus* (Hc) y *O. niloticus* (On).

Días	a Hc	b Hc	a On	b On
0	0.137 ± 0.026	1.450 ± 0.208 c	0.108 ± 0.032	1.800 ± 0.277 c
28	0.051 ± 0.008	2.700 ± 0.148 d	0.044 ± 0.015	2.738 ± 0.312 d
56	0.040 ± 0.009	2.931 ± 0.165 d i	0.041 ± 0.012	2.791 ± 0.212 d i
84	0.037 ± 0.007	3.020 ± 0.129 d i	0.039 ± 0.014	2.876 ± 0.207 d i

Los valores son la media ($n=3$) ± desviación estándar. c o d indican una diferencia significativa dentro de la misma especie ($P<0.05$). i significa crecimiento isométrico $b=3$.

El factor de condición fue obtenido como Krel utilizando los valores promedios de a y b obtenidos en cada medición (Figura 4-4). No se encontró diferencia estadística significativa ($p>0.05$) dentro de la misma especie durante el periodo experimental, así como no se encontró diferencia significativa entre especies en ninguna de las mediciones. El valor de Krel obtenido para la tilapia a partir de la longitud estándar es equivalente al encontrado en otros estudios con producciones aceptada (Gupta *et al.* 2012; Sousa *et al.* 2013). No existen reportes

previos de *H. cyanoguttatus* pero mostró un tendencia estadística similar ($p>0.05$). Se considera que ambas especies se encontraban en buena condición ya que los valores obtenidos son cercanos a 1, manteniendo su factor de condición durante el tiempo experimental (Bolger & Connolly 1989; Olurin & Aderibigbe 2006). *H. cyanoguttatus* mantuvo su factor de condición bajo el cultivo acuícola, no se obtuvo una mejora como se esperaba al pasar de un estado natural a el cultivo, pero de igual forma tampoco existió un deterioro, indicando que la especie nativa aceptó las condiciones de producción pero aún existe la posibilidad de mejorar el manejo de la especie para obtener mejores rendimientos.

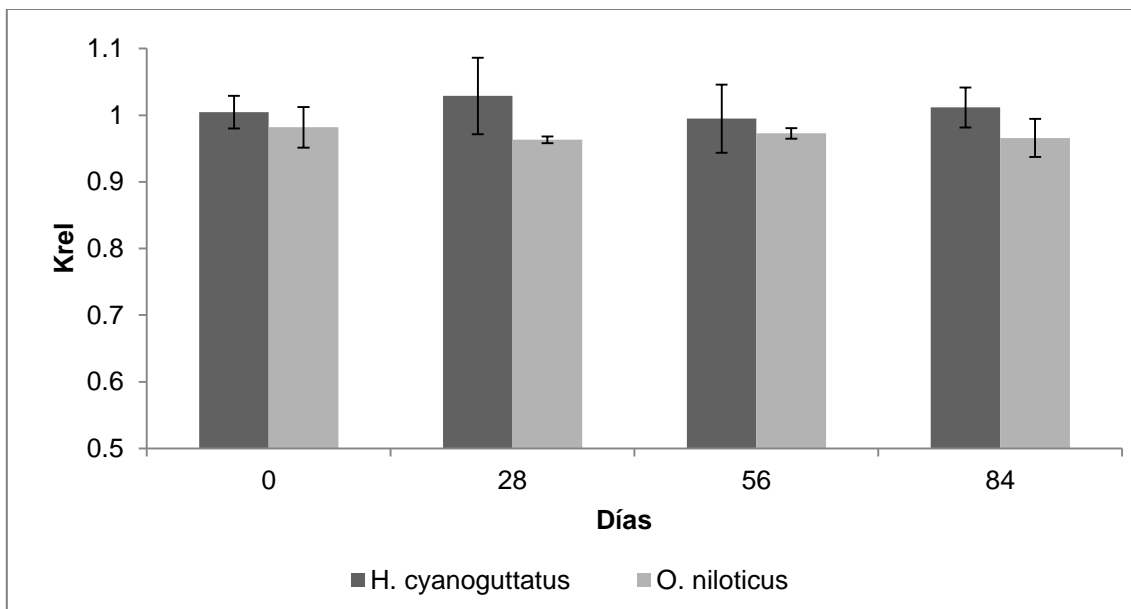


Figura 4-4. Factor de condición relativo (Krel) para *H. cyanoguttatus* y *O. niloticus* durante el periodo experimental.

Los valores son la media ($n=3$), las barras horizontales indican \pm la desviación estándar. No se presentó diferencia significativa entre especies o entre mediciones de la misma especie durante el estudio ($p<0.05$).

4.2. Consumo de Oxígeno

Comparación en campo y en acuicultura de Herichthys Cyanoguttatus

La tasa metabólica depende de las condiciones ambientales en las que se encuentre el individuo, por lo que los cambios entre el campo y la acuicultura de pH, oxígeno disuelto, temperatura y el recinto en sí son una fuente de estrés

directo para la especie (Barton 2002; Portz *et al.* 2006). Las modificaciones de la tasa metabólica estándar dependen en gran medida de la temperatura del agua (Barton 2002; Das *et al.* 2005; Portz *et al.* 2006) donde bajo el cultivo acuícola en este experimento se obtuvieron temperaturas menores a las reportadas para el campo. Esta disminución de la temperatura podría reducir el consumo de oxígeno de *H. cyanoguttatus* en cautiverio por lo que para disminuir el efecto de la temperatura las mediciones en cámaras respirométricas se realizaron a una temperatura de 27 ± 0.7 °C, simulando las condiciones obtenidas en las mediciones *In-situ*. A su vez este cambio de temperatura para los individuos en acuicultura significa una nueva fuente de estrés.

El desarrollo del consumo de oxígeno durante el día, representando la tasa metabólica estándar, se muestra en la Figura 4-5 donde cada dato obtenido a lo largo del día representa el promedio de las mediciones posteriores al periodo de incubación dentro de la cámara respirométrica. El consumo de oxígeno normalmente varía durante el día en función de las conductas alimenticias (Brett & Zala 1975; De Silva *et al.* 1986; Zakes *et al.* 2007) y *H. cyanoguttatus* no es la excepción. Los individuos en su estado natural presentaron un pico de consumo de oxígeno con diferencia estadística significativa ($p < 0.05$) respecto al resto del día a las 15:00 horas, con una media de 0.98 ± 0.12 mgO₂ g⁻¹ h⁻¹ infiriendo así que la hora de alimentación de esta especie es alrededor de esa hora. Antes y después de este pico encontramos un periodo de ascenso y descenso de actividad metabólica respectivamente sin diferencia estadística significativa ($p > 0.05$) hasta llegar al minio consumo de oxígeno que de igual forma presenta una diferencia significativa ($p < 0.05$) respecto al resto del día a las 5:00 horas. Esta conducta se ha reportado previamente en otros cíclidos (Brett & Zala 1975; De Silva *et al.* 1986; Febry & Lutz 1986). No existe una diferencia estadística significativa ($p > 0.05$) a lo largo del día para *H. cyanoguttatus* bajo cultivo acuícola, manteniendo una estabilidad en el consumo de oxígeno. Esta reducción en la fluctuación de la tasa metabólica estándar puede representar una reducción en los requerimientos metabólicos a lo largo del cultivo acuícola debido a que los animales necesitan menos energía para alimentarse, aunque a pesar de esta

reducción no se ha logrado que la especie nativa pueda competir con la introducida (Cuadro 4-2).

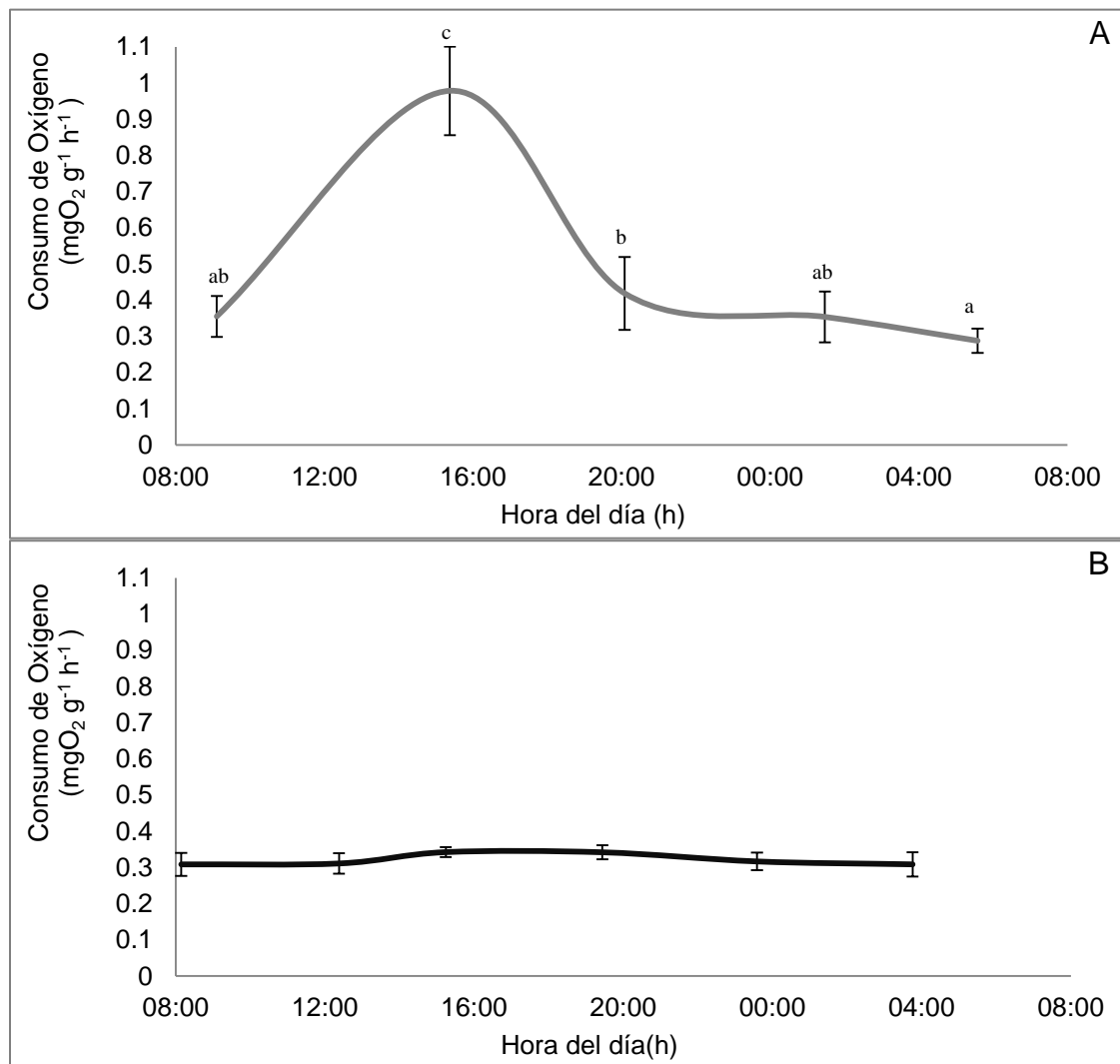


Figura 4-5 Variación diaria del consumo de oxígeno de *Herichthys cyanoguttatus*. A representa los individuos en su ambiente natural y B los organismos en condiciones de producción acuícola. Los valores son la media \pm desviación estándar de por lo menos 4 organismos. Las letras minúsculas representan grupos con diferencia estadística significativa de una prueba de MDS ($p < 0.05$).

La comparación entre el consumo de oxígeno medio de *Herichthys cyanoguttatus* en la naturaleza y en la acuicultura con un mínimo de actividad se presenta en la Figura 4-6. Los animales en su hábitat natural muestran un consumo de oxígeno diario medio de 0.427 ± 0.07 mgO₂ g⁻¹ h⁻¹ mientras que los peces en cautiverio presentan una media de 0.321 ± 0.021 mgO₂ g⁻¹ h⁻¹

presentando una diferencia estadística significativa ($p < 0.05$) entre las condiciones de crecimiento. Los animales silvestres presentan una mayor tasa metabólica estándar sugiriendo que estos peces se encuentran bajo un mayor estrés que los organismos en cultivo (Barton 2002; Portz *et al.* 2006). La alta variación que se presenta en los datos puede deberse a la variabilidad del ambiente natural, causando que cada animal tenga un historial de crecimiento diferente y por lo tanto una tasa metabólica distinta. La condición de acuicultura provee una reducción en la fluctuación de la tasa metabólica estándar, indicando que la especie se encontraba bajo un ambiente más estable por lo que gasta menos energía en actividades de supervivencia. Esta reducción en el consumo de oxígeno es contradictoria a lo observado en otros estudios donde se considera que los animales en cultivo acuícola presentan una mayor fuente de estrés (Barton 2002). La mojarra nativa reduce su metabolismo durante el manejo acuícola, aceptando de forma inmediata la formulación alimenticia comercial para tilapia, pero a pesar de esto su crecimiento no es el adecuado para el cultivo acuícola, sin llegar a las tallas observadas en su hábitat. El consumo de oxígeno obtenido en *H. cyanoguttatus* fue mayor a lo observado en otros cíclido, de alrededor de $0.1 - 0.2 \text{ mgO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (Iwama *et al.* 1997; Udo & Ekanem 2000; Wilhelm-Filho *et al.* 2001), posiblemente debido a que los peces en estos estudios provenían de criadero, indicando que existe la posibilidad de que los requerimientos metabólicos de la mojarra nativa son mayores a los de otros cíclido.

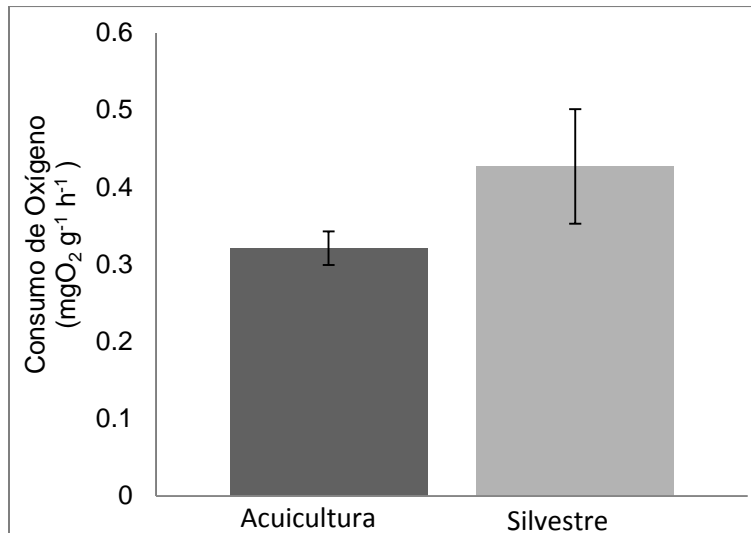


Figura 4-6. Media de consumo de oxígeno diario para *Herichthys cyanoguttatus* en acuicultura y estado silvestre.

Existe una diferencia estadística significativa ($p < 0.05$). Los valores son la media \pm desviación estándar de 4 peces.

Comparación entre *Herichthys cyanoguttatus* y *Oreochromis niloticus*

La variación diaria de la tasa metabólica estándar de *Herichthys cyanoguttatus* y *Oreochromis niloticus* se determinó posterior al periodo de cultivo acuícola bajo mismas condiciones para ambas especies. Las cámaras respirométricas se mantuvieron a una temperatura de 27 ± 1 °C para disminuir el efecto de la diferencia de temperatura sobre el metabolismo de los peces.

El consumo a lo largo del día se presenta en la Figura 4-7. Para el caso de *H. cyanoguttatus*, a diferencia con el experimento anterior, si se encontró una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) entre las diferentes mediciones a lo largo del día, formando dos grupos donde el pico máximo de consumo de oxígeno se encontró alrededor de las 20:00 horas con una media de 0.25 ± 0.02 mgO₂ g⁻¹ h⁻¹, el resto de las mediciones se encontró en el siguiente grupo. Es de resaltar que el valor máximo obtenido es menor a los 0.34 mgO₂ g⁻¹ h⁻¹ observados en la respirometría que comparó hábitad natural contra acuicultura, donde además la diferencia entre el máximo y el mínimo consumo de oxígeno a diferentes horas del día fue de 0.03 mgO₂ g⁻¹ h⁻¹, sin obtener una diferencia significativa, valor cercano a los 0.05 mgO₂ g⁻¹ h⁻¹ obtenidos en esta medición. La tilapia *O. niloticus* no presento diferencia estadísticamente significativa ($p > 0.05$) a lo largo del día, comportamiento diferente a lo reportado en otros estudios donde el consumo de

oxígeno varía dependiendo de la hora del día (De Silva *et al.* 1986). La variación de la tasa metabólica estándar a lo largo del día es similar en ambas especies, sugiriendo que responden de forma similar bajo el cultivo acuícola.

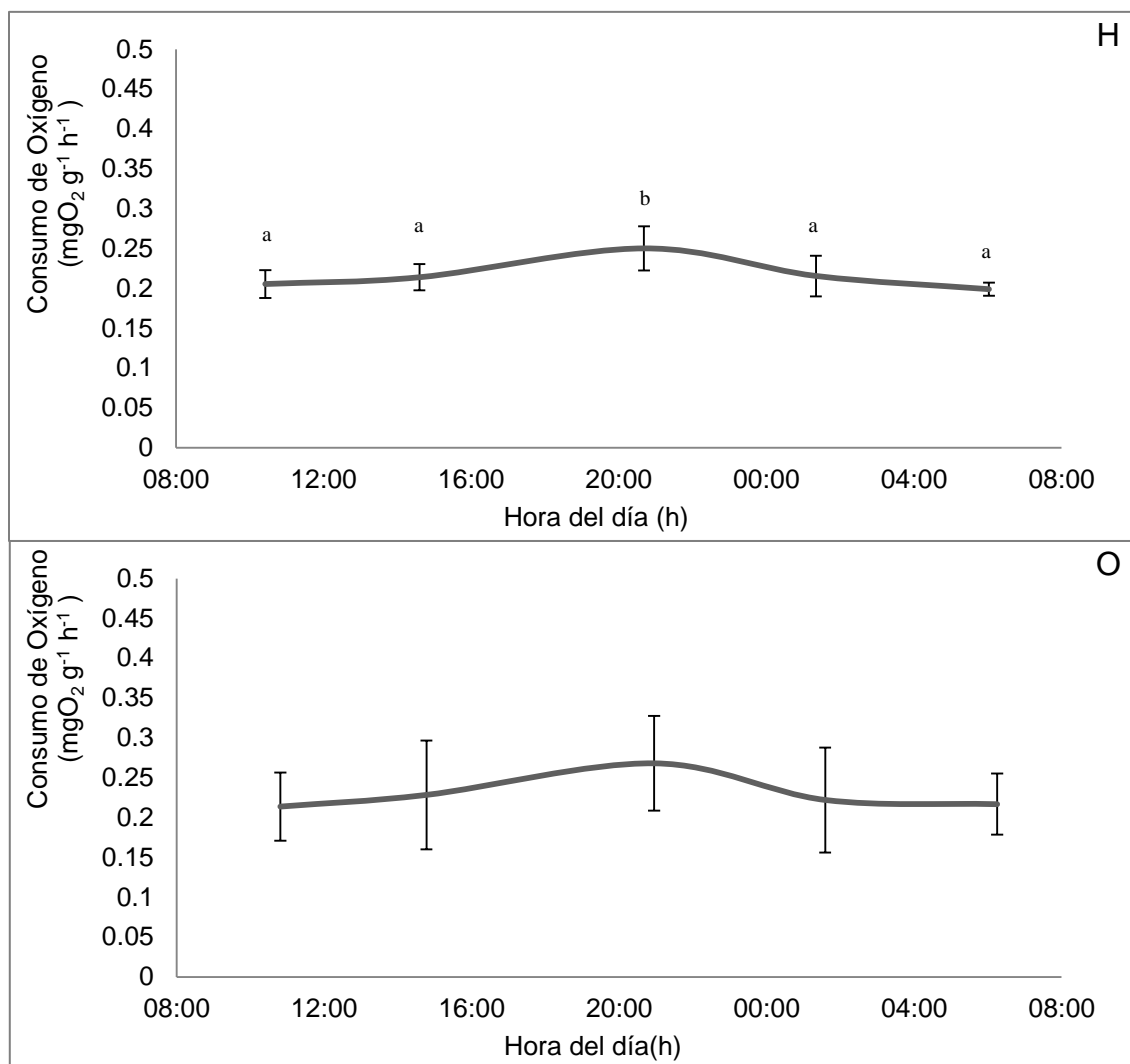


Figura 4-7 Variación diaria del consumo de oxígeno de *Herichthys cyanoguttatus* (H) y *Oreochromis niloticus* (O).

Los valores son la media \pm desviación estándar de por lo menos 3 organismos. Las letras minúsculas representan grupos con diferencia estadística significativa de una prueba de MDS ($p < 0.05$).

La tasa metabólica estándar media del día para la mojarra nativa y la tilapia se presentan en la Figura 4-8. *O. niloticus* presenta un consumo de oxígeno diario medio de $0.22 \pm 0.048 \text{ mgO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ mientras que *H. cyanoguttatus* muestra

una media de $0.21 \pm 0.016 \text{ mgO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ sin una diferencia estadística significativa ($p > 0.05$) entre especies. La tasa metabólica estándar que presenta la tilapia es similar a lo observado por Biswas and Takeuchi (2002) en donde el crecimiento era adecuado, por lo que *O. niloticus* se encuentra con un gasto metabólico menor y por lo tanto se puede considerar que presentan un nivel tolerable de estrés. Por otra parte *H. cyanoguttatus* presenta un consumo de oxígeno menor a lo reportado en el experimento anterior ($0.321 \pm 0.021 \text{ mgO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) reforzando la idea de que el cultivo acuícola no causa un mayor estrés a la especie. Esta igualdad de consumo de oxígeno entre especies continua reforzando la idea de que la especie nativa soporta de forma adecuada el cultivo acuícola bajo condiciones similares a las utilizadas para la producción de tilapia, pero aún existe la interrogante si esta disminución en el metabolismo se debe a la ración otorgada de alimento ya que en estudios previos se ha reportado que con una baja cantidad de alimento el metabolismo puede verse reducido (Hepher 1988).

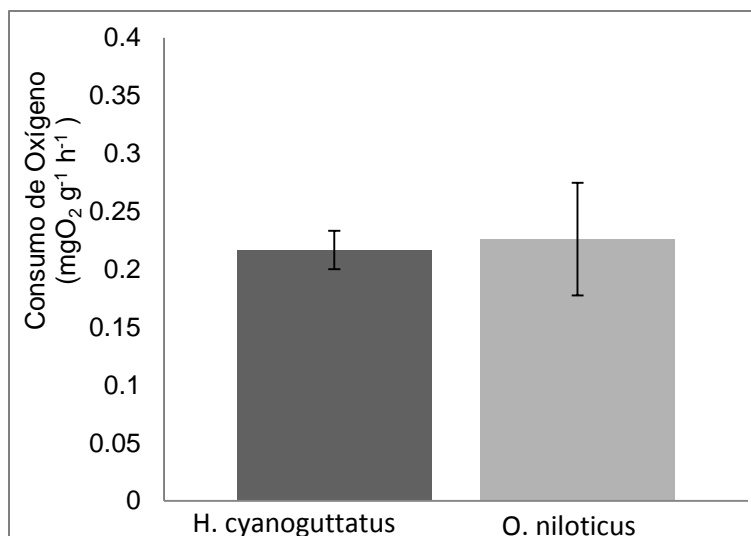


Figura 4-8. Media de consumo diario de oxígeno para *Herichthys cyanoguttatus* y *Oreochromis niloticus*.

Los valores son la media \pm desviación estándar de 5 peces.

4.3. Excreción Nitrogenada

La producción de $\text{NH}_3\text{-N}$ a lo largo del día se realizó a la par que la comparación del consumo de Oxígeno entre *Herichthys cyanoguttatus* y

Oreochromis niloticus (Figura 4-9). No se presentó diferencia estadística significativa ($p > 0.05$) entre las diferentes horas del día para el caso de la mojarra nativa, mientras que la tilapia mostró una mayor producción de amonio con diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las 16:00 y 20:00 horas. La producción de $\text{NH}_3\text{-N}$ sigue el patrón metabólico de los organismos, como se observado anteriormente en otras especies (Tátrai 1981). Por otro lado también se ha reportado que no existe diferencia entre la producción de $\text{NH}_3\text{-N}$ durante el día en animales no alimentados (Brett & Zala 1975) por lo que la variación presentada por la tilapia podría llegar a deberse a la sensibilidad del método de detección utilizado ($10 \mu\text{gNH}_3\text{-N g}^{-1} \text{h}^{-1}$) ya que la variación es menor a este valor.

La producción media diaria de $\text{NH}_3\text{-N}$ de *H. cyanoguttatus* fue de $6 \pm 0.5 \mu\text{gNH}_3\text{-N g}^{-1} \text{h}^{-1}$, valor inferior a los $8 \pm 2 \mu\text{gNH}_3\text{-N g}^{-1} \text{h}^{-1}$ que presenta *O. niloticus* con una diferencia estadística significativa ($p < 0.05$) como se muestra en la Figura 4-10. La alta variabilidad obtenida en la tilapia pudo deberse a la sensibilidad del método ($1 \mu\text{gNH}_3\text{-N g}^{-1} \text{h}^{-1}$). Es importante remarcar que la producción de $\text{NH}_3\text{-N}$ se modifica entre otras variables por los cambios en las condiciones de cultivo, generalmente aumentando bajo condiciones desfavorables (Woo *et al.* 1997; Zheng *et al.* 2008). La mojarra nativa presenta una producción menor de $\text{NH}_3\text{-N}$ a pesar de provenir de condiciones diferentes a las de cultivo, sugiriendo una menor pérdida de nitrógeno en sus excretas, información que complementa la eficiencia de conversión de alimento observado en el experimento previo.

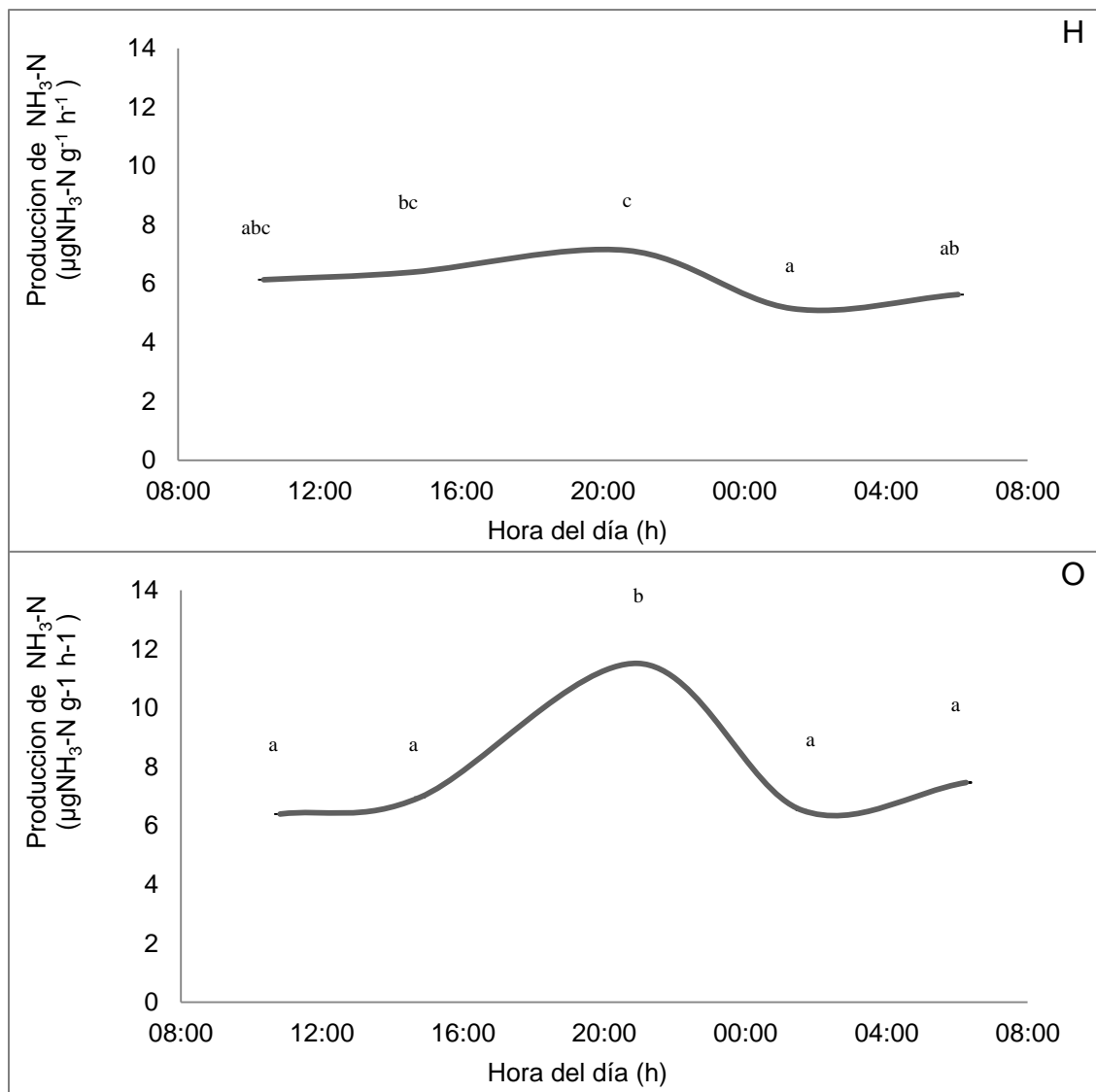


Figura 4-9. Variación diaria de la producción de NH₃-N de *Herichthys cyanoguttatus* (H) y *Oreochromis niloticus* (O).
 Los valores son la media ± desviación estándar de por lo menos 3 organismos. Las letras minúsculas representan grupos con diferencia estadística significativa de una prueba de MDS ($p < 0.05$).

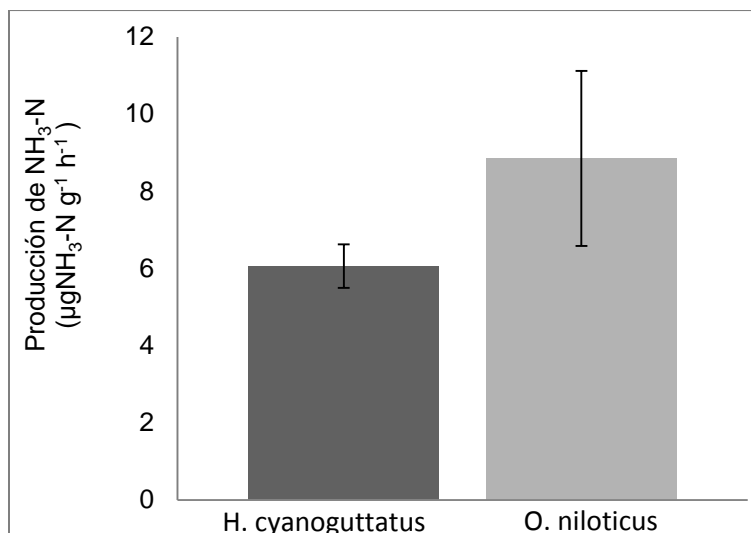


Figura 4-10. Media de la producción diaria de NH₃-N *Herichthys cyanoguttatus* y *Oreochromis niloticus*.

Existe una diferencia estadística significativa ($p < 0.05$). Los valores son la media \pm desviación estándar de 5 peces.

4.4. Razón O:N

Se calculó la razón O:N para ambas especies a partir del promedio diario producido, donde la tilapia *Oreochromis niloticus* obtuvo un valor de 35.98 ± 6.88 , mientras que *Herichthys cyanoguttatus* presentó una proporción de 40.4 ± 3.4 (Figura 4-11). Estos valores indican que los sustratos metabólicos principales para ambas especies son las proteínas, sin presentar un valor estadístico significativo entre especies ($p < 0.05$), pero también utilizan de forma considerable, aunque en menor medida los lípidos, ya que los valores son superiores a 16 e inferiores a 50 (Mayzaud & Conover 1988). En estudios previos se ha reportado que los cambios en las condiciones ambientales generan modificaciones en la razón O:N donde las especies tienden a utilizar como sustrato metabólico a los carbohidratos y lípidos durante periodos de adaptación (Soo *et al.* 2006; Zheng *et al.* 2008; Perez-Robles *et al.* 2012). Debido a que ambos organismos utilizan proteínas y lípidos como sustratos metabólicos se considera que se encuentran adaptados de forma adecuada a las condiciones de cultivo. La similitud entre las razones de la tilapia y la mojarra nativa sugieren que ambas especies aprovechan de forma similar los nutrientes suministrados.

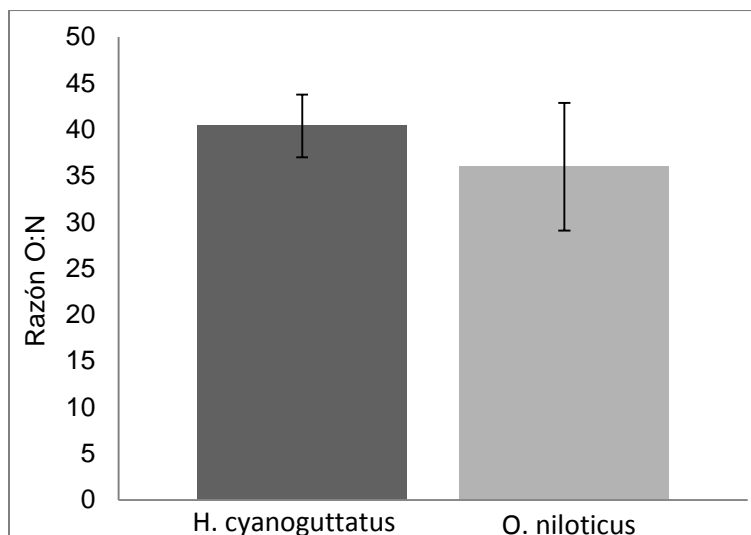


Figura 4-11 Razón O: N para *Herichthys cyanoguttatus* y *Oreochromis niloticus* bajo las condiciones de cultivo.

Los valores son la media \pm desviación estándar.

4.5. Tasa de ingestión y energía asimilada

La ración diaria del alimento proporcionado que requiere *H. cyanoguttatus* es del $9.06 \pm 0.36\%$ del peso corporal de cada individuo, presentando una diferencia estadística significativa ($p < 0.05$) respecto a lo requerido por *O. niloticus* que se encuentra en $3.33 \pm 0.73\%$, lo que indicaría que bajo las condiciones de cultivo manejadas la especie requiere una proporción mayor de alimento que la tilapia (Figura 4-12). Un detalle importante a considerar durante las pruebas de productividad es el hecho de que debido a que se desconocía la ración necesaria para el cultivo de la especie se utilizó la ración diaria recomendada para la tilapia, en un 4% del peso húmedo del animal en alimento diariamente, siendo obvio que no se alcanzaron a totalidad los requerimientos alimenticios de la mojarra nativa. Esta situación puede terminar de explicar la alta eficiencia de conversión de alimento presentada en la especie ya que *H. cyanoguttatus* solo estaría cubriendo su requerimiento energético de mantenimiento con la ración de alimento suministrado por lo que aprovecharía al máximo los recursos suministrados sin obtener un crecimiento adecuado, sugiriendo que si se aumenta la ración diaria del individuo sería posible mejorar el crecimiento del mismo y por tanto obtener una mejor producción de biomasa. Se genera la necesidad de realizar más

estudios al respecto para determinar si la especie puede crecer más rápidamente obteniendo factores de conversión de alimento similares.

La tasa de ingestión por gramo diaria de *H. cyanoguttatus* fue de $399.65 \pm 16.11 \text{ cal g}^{-1} \text{ día}^{-1}$ mientras que *O. niloticus* presento solo $147.18 \pm 32.56 \text{ cal g}^{-1} \text{ día}^{-1}$ con una diferencia estadística significativa entre ambas ($p < 0.05$) donde la mojarra nativa requiere de más de doble de calorías por gramo de peso humedo que la tilapia. El valor obtenido para la tilapia se encuentra dentro del rango reportado por Clement and Lovell (1994); Schrama *et al.* (2011), ya que no existen reportes previos para *H. cyanoguttatus* este resultado es una primera aproximación a las necesidades energéticas de la especie.

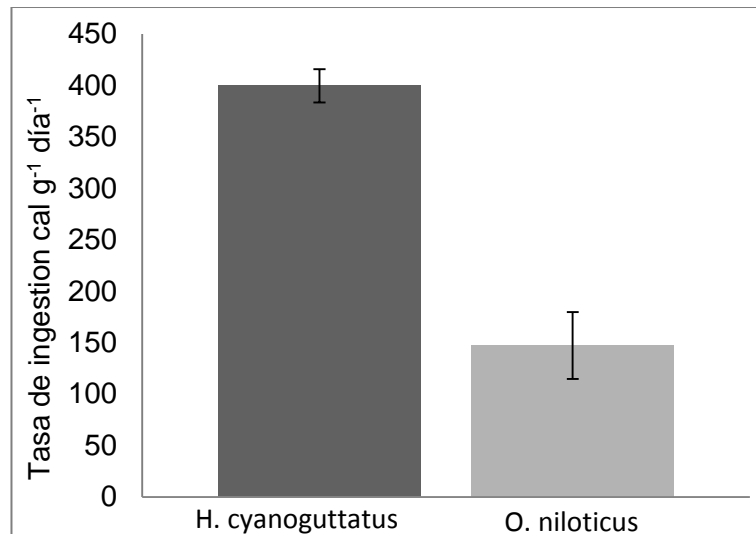


Figura 4-12 Tasa de ingestión cal/g día para *Herichthys cyanoguttatus* y *Oreochromis niloticus* bajo las condiciones de cultivo. Existe diferencia estadística significativa ($p < 0.05$). Los valores son la media \pm desviación estándar.

Respecto a la producción de heces existe una diferencia estadística significativa entre ambas especies ($p < 0.05$) con una menor producción de heces por parte de *H. cyanoguttatus* (Figura 4-13), sugiriendo que la mojarra nativa digiere de forma adecuada el alimento, aún más que la tilapia, pero considerando los resultados anteriores la energía adquirida no es destinada a producción de biomasa.

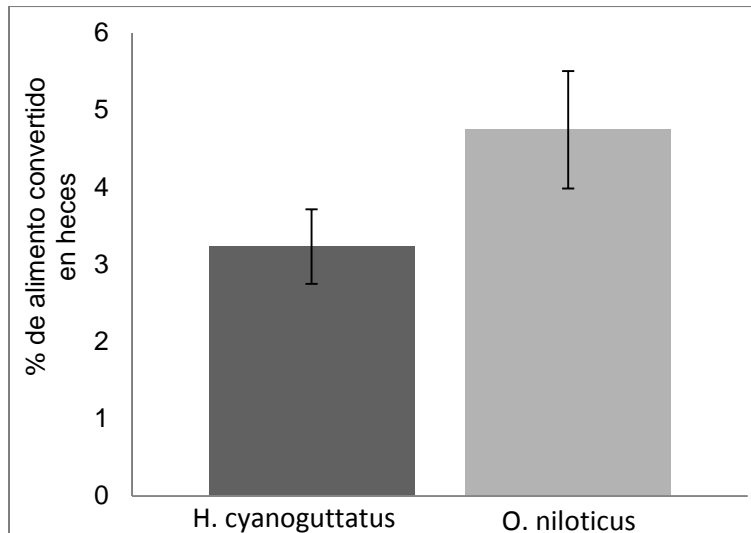


Figura 4-13 Porcentaje de alimento convertido en heces para *Herichthys cyanoguttatus* y *Oreochromis niloticus* bajo las condiciones de cultivo. Existe diferencia estadística significativa ($p < 0.05$). Los valores son la media \pm desviación estándar.

La energía absorbida por gramo de phum para *O. niloticus* fue de $131 \pm 36.46 \text{ cal g}^{-1} \text{ día}^{-1}$ y para *H. cyanoguttatus* de $385.52 \pm 36.46 \text{ cal g}^{-1} \text{ día}^{-1}$. La mojarra nativa absorbe una mayor cantidad de energía debido a su mayor ingesta y menor producción de heces. Este comportamiento puede deberse a que la mojarra nativa no está cubriendo a totalidad sus requerimientos energéticos (Hepher 1988), por lo que el alimento suministrado no posee algún nutriente necesario para esta especie lo que podría estar llevando a que el metabolismo este desviando energía para cubrir esta deficiencia, lo que podría resolver la incógnita del porque la especie no aumenta en biomasa de forma adecuada pero aun es necesario realizar más estudios al respecto para llegar a una conclusión.

4.6. Calorimetría y porcentaje de peso seco

Las calorías por gramo de peso seco de cada especie se muestra en la Figura 4-14 sin presentar una diferencia estadística significativa ($p > 0.05$). La cantidad de calorías que presenta la tilapia es característica de la especie (Schrama *et al.* 2011). Se considera que la mojarra nativa posee una composición nutrimental similar a la tilapia al no presentar una diferencia de calorías ya que el contenido calórico es característico de la composición de los alimentos (Cerezo-Valverde & García-García 2004). Esta similitud se suma a las características deseables para la introducción de *H. cyanoguttatus* como una alternativa a la

tilapia en la zona semidesértica de Querétaro. Por otra parte hay que considerar que la mojarra nativa posee un menor contenido de peso seco por gramo de pez. Figura 4-15 lo que podría opacar el contenido calórico ya que se requeriría de una mayor cantidad de producto fresco para alcanzar el mismo aporte calórico de la tilapia, punto en contra para la especie nativa si se desea utilizar para la producción de autoconsumo, pero aún restaría realizar más estudios para determinar si el contenido de peso seco es debido a una deficiencia en la alimentación.

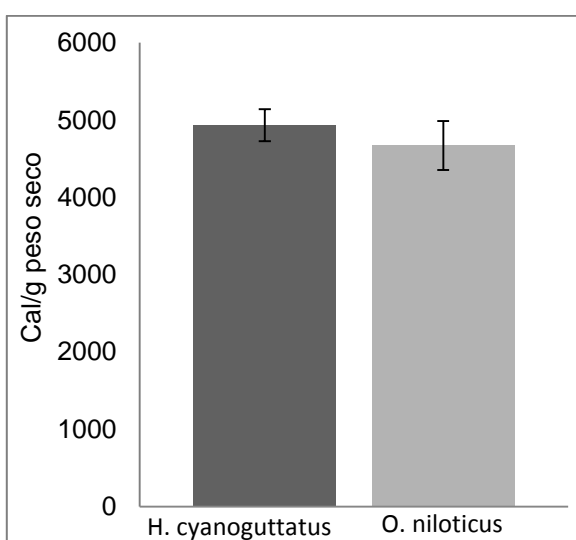


Figura 4-14 Calorías por gramo de peso seco para *Herichthys cyanoguttatus* y *Oreochromis niloticus* bajo las condiciones de cultivo.

Los valores son la media \pm desviación estándar.

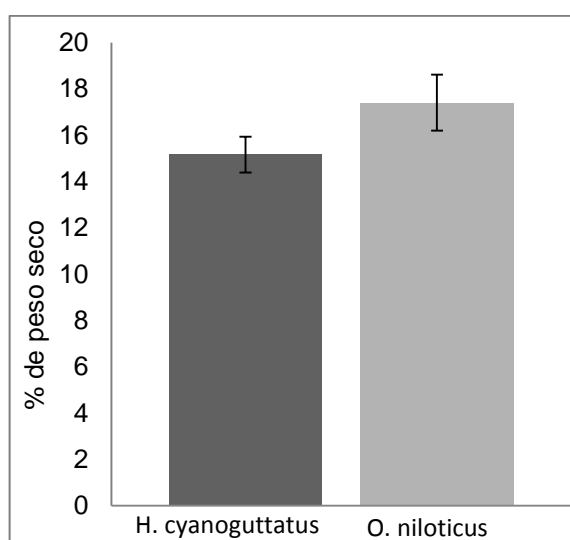


Figura 4-15 Porcentaje de peso seco que presenta *Herichthys cyanoguttatus* y *Oreochromis niloticus* bajo las condiciones de cultivo.

Existe diferencia estadística significativa ($p < 0.05$). Los valores son la media \pm desviación estándar.

4.7. Sistema acuícola para el cultivo de *Herichthys cyanoguttatus*

La elaboración de un sistema acuícola enfocado a la producción de la mojarra nativa es esencial para que esta especie pueda llegar a ser aprovechada. No existen reportes previos sobre algún sistema enfocado en el cultivo de *Herichthys cyanoguttatus* por lo que se consideró necesario montar un sistema piloto. A partir de la información disponible en la bibliografía y lo obtenido durante este estudio se destaca la necesidad de contar con un sistema con la capacidad de mantener temperaturas cercanas a los 28° c con pH de 6.5-7.5, cuidando de

mantener el agua con condiciones adecuadas para el cultivo acuícola, como es un oxígeno disuelto mayor a 5 mg/L y una cantidad de amoníaco menor a 1 mg/L (Timmons & Ebeling 2010). De igual forma es importante considerar la cantidad de alimento proporcionado por lo que al utilizar la fórmula alimenticia para tilapia aplicada en este estudio se necesitará dar raciones cercanas al 9% de la biomasa o por el contrario continuar investigando fórmulas alimenticias que permitan proporcionar una menor ración a los organismos cubriendo su requerimiento energético. Con este fin fue instalado un sistema acuícola la capacidad de cubrir los requerimientos de cultivo aquí planteados para la mojarra nativa *H. cyanoguttatus* para de esta forma permitir la continuación del estudio de esta especie en el Campus Amazcala de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro, donde será posible realizar las pruebas restantes necesarias para determinar con fiabilidad el potencial acuícola de la especie, por lo que en el Anexo 1 se presenta un resumen del sistema elaborado con este fin. Mediante la implementación de este sistema y la continuación de los estudios referentes a la mejora de condiciones para la especie se pretende mejorar el crecimiento de la misma, disminuyendo gradualmente las diferencias presentadas respecto a la especie introducida de uso comercial más común.

5. CONCLUSIÓN

*Comparación entre el crecimiento de *Herichthys cyanoguttatus* y *Oreochromis niloticus**

Los parámetros de productividad obtenidos muestran que la especie nativa *Herichthys cyanoguttatus* posee una productividad menor a la obtenida por la especie introducida *Oreochromis niloticus* bajo condiciones de cultivo poco tecnificadas durante el periodo experimental, por lo que se concluye que la mojarra del panuco no posee la capacidad para competir en contra de la tilapia bajo los mismos parámetros de cultivo. Se debe considerar el origen de ambas especies, ya que la tilapia ha tenido una ardua selección genética mientras que la especie nativa proviene de su hábitat natural.

La supervivencia obtenida por ambas especies así como las similitudes en cuanto a su relación longitud-peso y su factor de condición demuestran que la especie nativa, al igual que la tilapia, se adapta de forma adecuada al cultivo acuícola, aunque la primera no ha pasado aun por la selección genética que se realiza tras generaciones de producción acuícola, por lo que este puede ser otro factor en contra de la mojarra del Pánuco. Por otra parte la ECA obtenida muestra que *H. cyanoguttatus* está aprovechando una mayor cantidad de alimento, resultado contrario a lo reportado en la energética del animal, por lo que se sospecha que la cantidad de alimento suministrado (4% del peso fresco) fue un factor determinante para la baja productividad de la especie. Aún es necesario realizar estudios donde se utilicen condiciones de cultivo favorables a la especie nativa para determinar si su uso se podría sustentar para disminuir el impacto ecológico causado por las tilapias.

Consumo de Oxígeno

La disminución y regulación del consumo de oxígeno de *H. cyanoguttatus* bajo acuicultura comparado con sus condiciones naturales refuerza la idea de que esta especie acepta de forma adecuada el cautiverio sin aumentar sus niveles de estrés. Existe la posibilidad de que la baja producción de biomasa se halla debido

a que únicamente se cubrió el requerimiento energético de mantenimiento de la especie durante el periodo de cultivo, condición que pudo causar una reducción del metabolismo.

Excreción Nitrogenada

La excreción nitrogenada fue menor en *H. cyanoguttatus* que en *O. niloticus*, posterior a las condiciones de cultivo. Esta baja excreción nitrogenada sugiere que la especie nativa está aprovechando una mayor cantidad del alimento suministrado pero no se refleja en crecimiento por lo que *H. cyanoguttatus* procesa de forma diferente los nutrientes otorgados.

Razón O:N

Ambas especies utilizaron la misma fuente de energía proveniente de proteínas y lípidos, reforzando la idea de que la mojarra nativa procesa sus fuentes energéticas de forma diferente que la tilapia. Un cambio en la fuente del alimento podría llegar a favorecer a la mojarra nativa ya que existe la posibilidad de que pueda aprovechar de mejor forma otras fuentes de alimento.

Tasa de ingestión y energía asimilada

La tasa de ingestión de *H. cyanoguttatus* es mayor que la de *O. niloticus*, con un comportamiento de producción de heces inverso. Indicando que la mojarra nativa está aprovechando una mayor cantidad de alimento, reforzando así la idea de que debido a que solo se cubrió el requerimiento energético de mantenimiento durante el cultivo esta especie está utilizando la mayor cantidad de energía posible en el momento que tuvo acceso a la misma.

Calorimetría y porcentaje de peso seco

No existe una diferencia en las calorías por gramo de ambas especies, pero si la hay en el peso seco donde *O. niloticus* posee un mayor peso seco. Esto nos indica que *O. niloticus* tiene la capacidad de dar un mayor aporte calórico por gramo de peso seco que lo que podría dar *H. cyanoguttatus*.

Recomendaciones

La búsqueda de nuevas especies es esencial para incrementar la capacidad productiva de la acuicultura sin dañar fuertemente la biodiversidad y de esta forma en un futuro lograr cubrir los requerimientos alimenticios de la población mundial. Para el caso de *H. cyanoguttatus* que se presenta como una especie con capacidad productiva en la región del semidesierto queretano es obvio que no posee la capacidad de crecimiento de *O. niloticus* bajo las condiciones de cultivo para esta última pero aún es necesario realizar más estudios para determinar si la especie nativa podría ser utilizada en acuicultura con un régimen de cultivo diferente. Por otra parte aunque la especie está utilizando el alimento comercial de tilapia para sobrevivir de forma adecuada se recomienda realizar pruebas con alimentos enfocados a especies carnívoras y herbívoras para así determinar si la fuente proteica afecta directamente el crecimiento de la especie.

Se recomienda realizar una continuación a este estudio en donde se revise la productividad de *Herichthys cyanoguttatus* utilizando una ración diaria de alimento mayor al 9% del peso corporal para determinar si de esta forma se obtiene una mayor producción de biomasa, por lo que en el campus Amazcala de la Universidad Autónoma de Querétaro se ha montado un sistema para continuar con el estudio de esta especie (Anexo 1).

H. cyanoguttatus no obtiene los mismos rendimientos que *O. niloticus* pero debido a su característica de bajo impacto ecológico en la región del semidesierto queretano y su alta sobrevivencia aún no se descarta que bajo un régimen de cultivo diferente pueda ser viable su producción para autoconsumo, aunque requerirá un mayor gasto energético por lo que productivamente puede no ser viable.

6. APÉNDICE

6.1. Anexo 1

Consideraciones para un sistema acuícola

La elaboración de un sistema acuícola que cumpla con los requerimientos de la mojarra nativa *Herichthys cyanoguttatus* es esencial para dar los primeros pasos hacia la mejora en la productividad de esta especie, por lo que a partir de la información sobre esta mojarra se elaboró un sistema acuícola con la capacidad de dar estas condiciones.

En el cultivo acuícola de cualquier especie es indispensable proporcionar las condiciones ambientales adecuadas para su correcto desarrollo y de esta forma alcanzar los mejores rendimientos. Parámetros como la temperatura, la concentración de oxígeno disuelto, amoníaco y el dióxido de carbono en el agua así como el pH juegan un papel importante en la calidad del sistema donde un pequeño cambio en alguna de estas condiciones puede generar un desbalance tal en el sistema que podría llegar a matar a los especímenes (Losordo *et al.* 1998; Timmons & Ebeling 2010). Si alguno de estos parámetros exceden el nivel de tolerancia de la especie tendrán un efecto directo en la salud general del pez y en su supervivencia, incluso las pequeñas variaciones tienen la capacidad de causar estrés sobre los organismos si no se corrigen, disminuyendo las tasas de crecimiento o causando mortalidad debido a organismos oportunistas (Timmons & Ebeling 2010).

El oxígeno disuelto es el parámetro más importante y crítico en la acuicultura, es necesario mantenerlo en valores suficientemente altos para que los organismos lleven a cabo correctamente su metabolismo. La saturación de oxígeno en el agua disminuyendo conforme aumenta la temperatura y la salinidad de la misma, al contrario de lo que requieren los peces, ya que su metabolismo aumenta junto con la temperatura, con un consiguiente incremento en el requerimiento de oxígeno. En general se considera que una concentración de oxígeno disuelto superior a 5 mg/L es adecuada para que los organismos se encuentren saludables con un rápido crecimiento (Timmons & Ebeling 2010).

Los cambios en la temperatura ambiental son de suma importancia ya que los peces no tienen la capacidad de controlar su temperatura corporal y por lo tanto dependen directamente de la temperatura del agua, afectando sus procesos fisiológicos como la tasa respiratoria, la eficiencia de asimilación de alimentos, el crecimiento y el comportamiento del organismo. Las especies se clasifican tradicionalmente a partir de su preferencia de temperatura en especies de agua fría ($<15^{\circ}\text{C}$), de agua templada ($15^{\circ}\text{-}20^{\circ}\text{C}$) y de agua cálida ($>20^{\circ}\text{C}$). En los rangos más bajos de temperatura tolerada por una especie la tasa de consumo de oxígeno se disminuye así como su metabolismo en general, mientras que al aumentar la temperatura los peces se vuelven más activos y consumen más oxígeno disuelto junto con un incremento en la producción de dióxido de carbono y compuestos excretados como el amoníaco, por lo que es necesario mantener los valores de temperatura cercanos al valor óptimo de la especie para incrementar la eficiencia de conversión de alimento y disminuir el estrés (Timmons & Ebeling 2010).

El nitrógeno es esencial en todos los seres vivos ya que está presente en proteínas, ácidos nucleicos, fosfatos de adenosina entre otros muchos compuestos de importancia, pero es requerido en mínimas cantidades que se satisfacen con facilidad. Las cantidades en exceso se convierten en desechos nitrogenados que incluyen nitritos, nitratos y amoníaco que deben ser removidos. Los peces excretan estos compuestos a través de las branquias, la orina y las heces fecales. Adicionalmente se incluyen como fuentes de compuestos nitrogenados los restos de organismos muertos y el alimento no consumido (Timmons & Ebeling 2010). Descomponer estos compuestos es de suma importancia debido a la toxicidad del amoníaco y los nitratos por lo que es necesario considerar su rápida remoción del sistema.

El pH en su mayoría está determinado por el bicarbonato en el sistema obteniendo valores entre 5 y 9 considerándose que el rango comprendido entre 6.5 y 9 es apto para el crecimiento de la mayoría de los animales acuáticos de agua dulce (Timmons & Ebeling 2010). La exposición a niveles extremos de pH puede ser una causa de estrés o mortalidad, pero su efecto más importante en los organismos se relaciona con el control que lleva a cabo sobre una gran diversidad

de índices de solubilidad y reacciones de equilibrio, donde la más importante es la relación entre el amoníaco y el nitrito des ionizado y ionizado, además de controlar la toxicidad de metales como el cobre cadmio, zinc y el aluminio.

Los desechos sólidos en los sistemas acuícolas provienen del alimento no consumido, los cadáveres y la materia fecal de los peces, las algas y masa celular generada en el biofilm del sistema, donde los peces producen hasta 0.4 kg de solidos totales suspendidos por cada 1kg de alimento proporcionado (Timmons & Ebeling 2010). Estos solidos afectan todos los demás procesos dentro del sistema, incrementando la demanda de oxígeno en el sistema y dañando la salud de los peces al dañar las branquias e incrementar los patógenos. Se recomienda una cantidad de solidos suspendidos totales menor a 25mg/L aunque especies como la tilapia tienen la capacidad de desarrollarse de forma correcta a niveles hasta los 80 mg/L. Generalmente se consideran tres tipos de solidos los sedimentables, los suspendidos y los disueltos. Los sedimentables son los que sedimentan en menos de 1 hora y los suspendidos no lo hacen por lo que requieren algún método para separarlos del agua, mientras que los disueltos son los más complicados para eliminar. Es necesario removerlos lo más rápido posible para disminuir los efectos adversos que pueden causar.

Diseño del sistema

Dentro de un invernadero de polietileno de 504 m² de área (18 m x 28 m) se instaló un sistema acuícola utilizando tanques de plástico color negro con una capacidad de 6 m³ en donde se plantea el control de algunos de los principales parámetros que se considera pueden afectar el cultivo de la mojarra nativa *H. cyanoguttatus*. El esquema general del invernadero se muestra en la Figura 6-1.

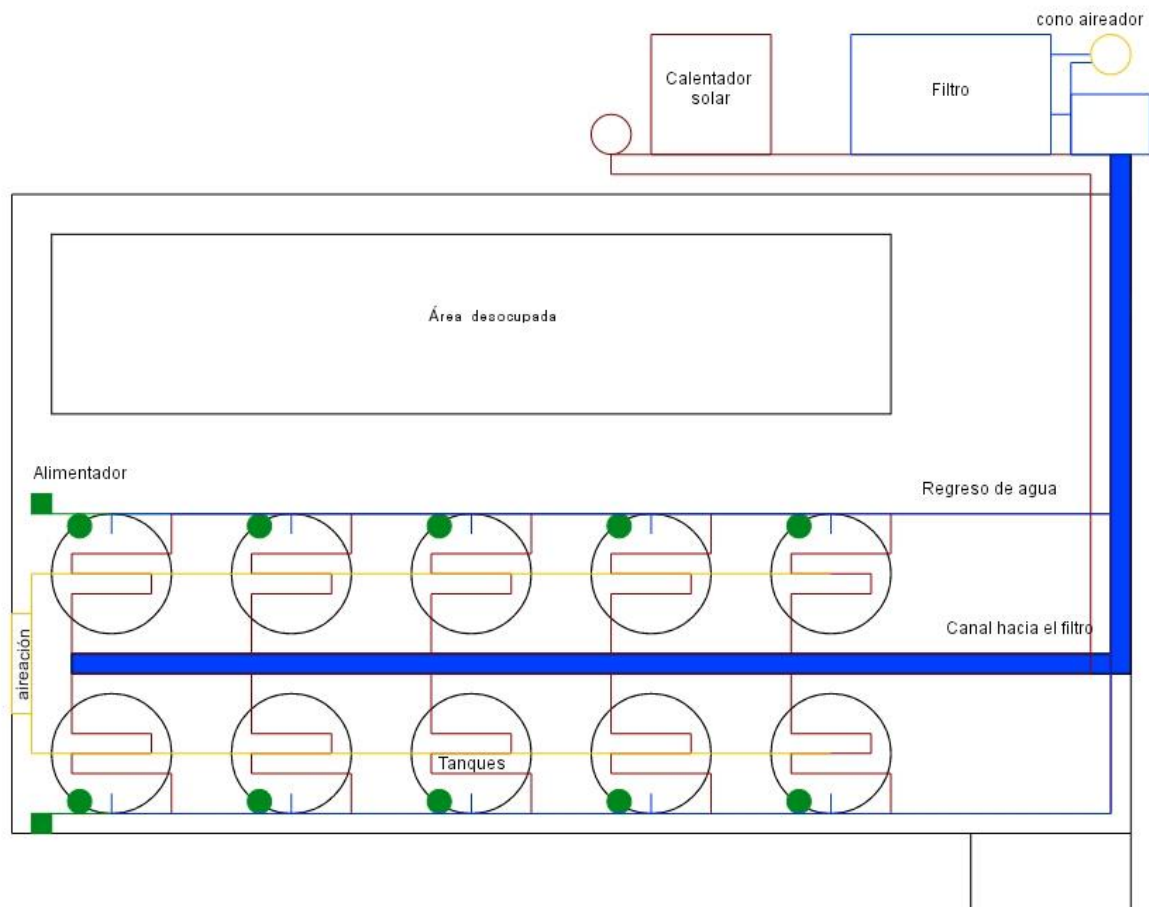


Figura 6-1 Esquema general del sistema acuícola dentro del invernadero. Se muestra el diagrama de las tuberías y conexiones para los sistemas de filtración (azul), del intercambiador de calor (rojo), del aireamiento (amarillo) y de alimentación (verde).

Se instaló un sistema de filtración de agua en donde se propone un recambio del 30% del volumen de cada tanque al día mediante un canal de 25 cm x 30 cm, el cual tiene la suficiente capacidad para recibir la descarga de todos los tanques a la vez Figura 6-1. Este canal conduce el agua a través del invernadero hasta llegar al sistema de filtración (Figura 6-2). La descarga de agua llega a un registro de 2 m de largo x 1 m de ancho y 1 m de profundidad, donde posteriormente comienza el tratamiento de agua. El sistema de filtración comienza con una sección para sedimentar de 3 m de largo por 1.5 m de ancho y una altura de 1.5 m en la parte de mayor profundidad, el fondo posee una pendiente hacia la tubería de limpieza para facilitar el mantenimiento diario del mismo. En este punto se eliminarán los sólidos sedimentables de mayor tamaño, considerando que los más comunes en la acuicultura poseen una velocidad de sedimentación de 0.7

cm/s (Wong & Piedrahita 2000). Esto se calculó para la descarga esperada en el sistema menor a 19.66L/s, soportando el vaciado de 2 estanques a la vez, utilizando la fórmula:

$$A = \frac{Q}{V_o}$$

Donde A es el área para sedimentación, V_o es la velocidad de sedimentación y Q el caudal de entrada (Timmons & Ebeling 2010).

$$A = \frac{0.0196 \text{ m}^3/\text{s}}{0.007 \text{ m/s}} = 2.8 \text{ m}^2$$

Valor menor a los 4.5 m² que presenta el sedimentador.

Posteriormente el flujo continua por un filtro de medios granulares de 2m de largo x 1.5 m de ancho y 1 m de profundidad (Figura 6-2.A). Se puso especial cuidado en que el filtro contara con la posibilidad de introducir un lavado inverso al flujo normal para recuperar la capacidad de remoción de partículas (Crites & Technobanoglous 1998) además de contar con una área sin medio filtrante en la parte inferior (Figura 6-2.B). El medio filtrante es una cama de sílice y poliestireno de 1-3mm en diámetro dado lo recomendado en la bibliografía (Summerfelt 2006; Timmons *et al.* 2006).

La siguiente sección de filtración comprende a el área dedicada a la biofiltración del sistema para la eliminación de compuestos nitrogenados (Figura 6-2.C, D). Se emplea en la primera sección un biofiltro de roca con flujo hacia arriba, seguido de una sección con un sustrato filtrante de polietileno con diámetros entre 3-5mm. Finalmente se cuenta con una sección para acumular agua tratada a partir de donde regresará a los estanques mediante tubería hidráulica (Figura 6-2-E).

Para el control del oxígeno disuelto en el sistema se instaló un aireador con salida directa a cada estanque, además que dentro del sistema de recirculación de agua se incorporó un cono para oxigenar de la marca Sweetwater para de esta forma mantener el oxígeno disuelto por arriba de los 5 mg/L de forma continua (Figura 6-3).

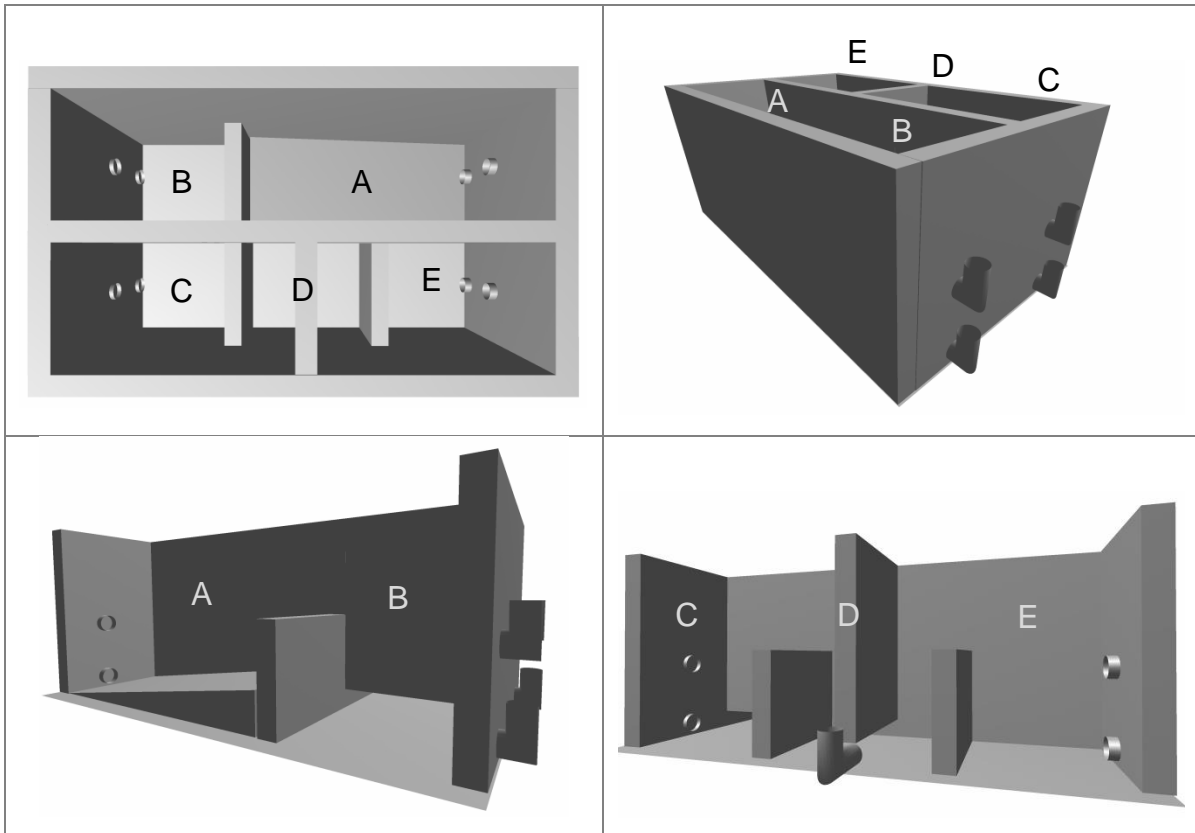


Figura 6-2 Diseño del filtro para el sistema acuícola.

A) Región para sedimentación; B) Región para el filtro de medios granulares; C) Región para el biofiltro de roca; D) Región para sustrato filtrante de polietileno; E) Reserva de agua para el retorno.

Se adicióno un sistema de calefacción mediante un intercambiador de calor por conducción utilizando tubería de acero inoxidable (Figura 6-4). La fuente principal de calor es un calentador solar de 36 tubos con la capacidad de elevar a 70°C 300 L de agua en un tanque térmico ubicado en el exterior del invernadero. Mediante tubería de ¾" se lleva el agua caliente a cada estanque para ser introducido a 12 m de tubería de acero inoxidable en donde se llevara a cabo el intercambio de calor con el tanque. En ningún momento hay intercambio de agua entre el sistema calefactor y el sistema acuícola.

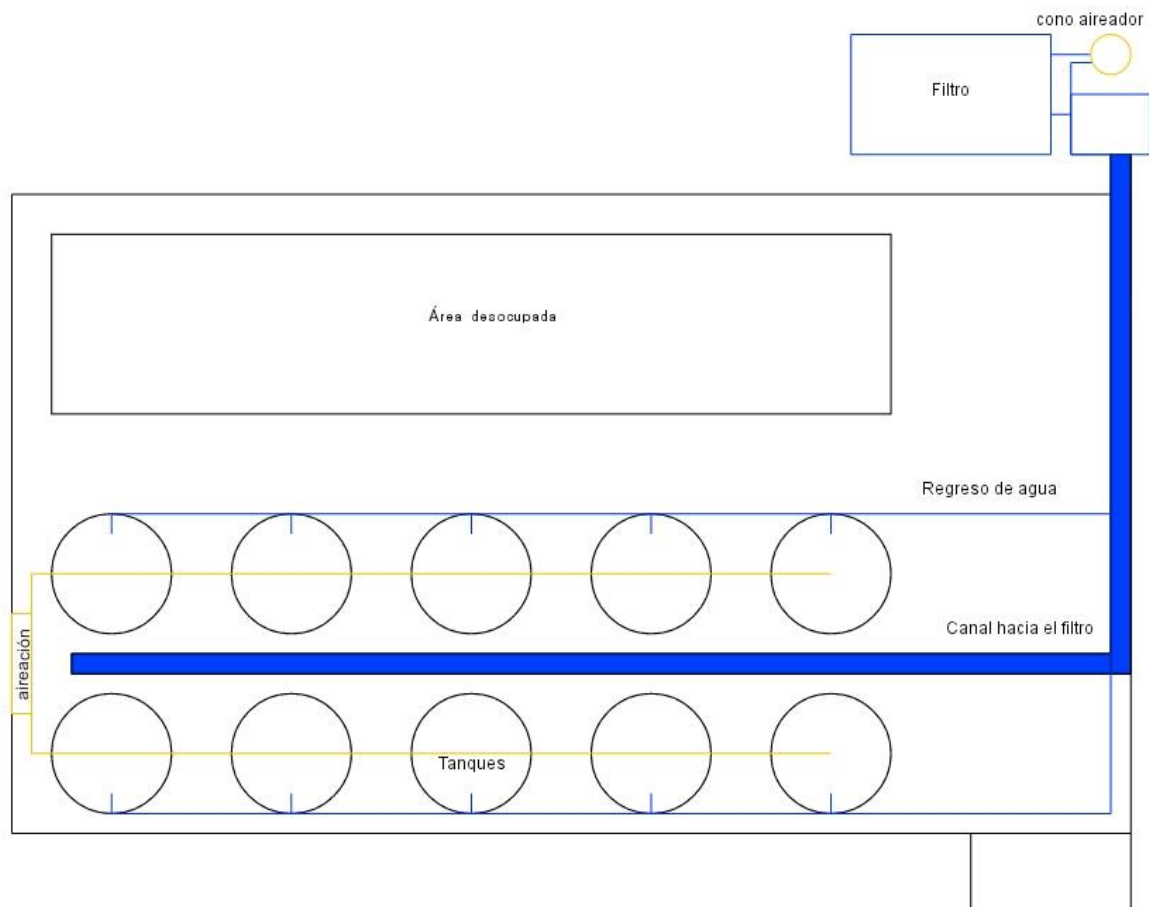


Figura 6-3 Esquema del sistema de aireación y recirculación de agua.
 Color amarillo representa el sistema de aireación, el azul el de recirculación.

Finalmente se consideró el uso de alimentadores automáticos de la marca Fischfutterautomaten para permitir dividir la alimentación en cuatro raciones diferentes. Mediante estas consideraciones se pretende acoplar el sistema a las condiciones que requiere la mojarra nativa *Herychthys cyanoguttatus*.

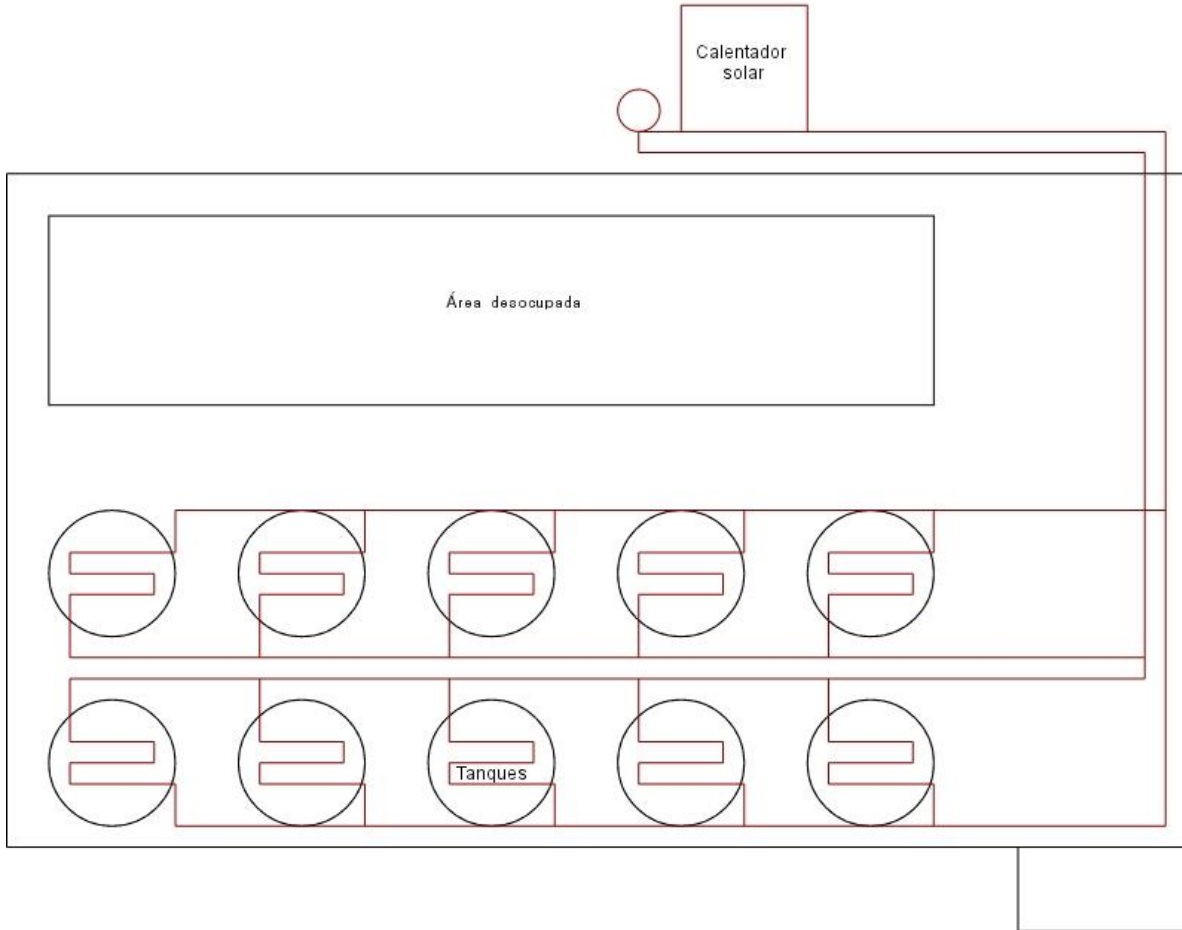


Figura 6-4 Esquema del sistema intercambiador de calor.
Las tuberías dentro de los tanques representan un serpentín de acero inoxidable.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar V. (2005) Especies invasoras: una amenaza para la biodiversidad y el hombre. *CONABIO. Biodiversitas* 60, 7-10.
- Alatorre-Jacome O., García-Trejo F., Soto-Zarazua G.M. & Rico-García E. (2012) Techniques to assess fish productivity in aquaculture farms and small fisheries: an overview of algebraic methods. *J. Appl. Sci.* 12, 888-92.
- Baird S.F. & Girard C. (1854) Description of new species of fishes collected in Texas, New Mexico and Sonora. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 7, 23-34.
- Barrientos-Medina R.C. & Chumba-Segura L. (2007) Empirical management of endemic cichlid fish, *Cichlasoma cienagae* (Hubbs, 1936). *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 7, 47-51.
- Barton B.A. (2002) Stress in fishes: a diversity of responses with particular reference to changes in circulating corticosteroids. *Integrat Comp Biol* 42, 517-25.
- Beddington J. (2011) The future of food and farming. *International Journal of Agricultural Management* 1, 2-6.
- Biswas A.K. & Takeuchi T. (2002) Effect of different photoperiod cycles on metabolic rate and energy loss of fed and unfed adult tilapia *Oreochromis niloticus*: Part II. *Fisheries Science* 68, 543-53.
- Bolger T. & Connolly P.L. (1989) The suitability of suitable indices for the measurement analysis of fish condition. *J. Fish Biol.* 34, 171-82.
- Borgese E.M. (1980) *Seafarm: the story of aquaculture*. H. N. Abrams, New York.
- Bradfield A.E. & Llewellyn M.L. (1982) *Animal Energetics*. Blackie & Son Ltd., Glasgow.
- Brett J.R. & Zala C.A. (1975) Daily Pattern of Nitrogen Excretion and Oxygen Consumption of Sockeye Salmon (*Oncorhynchus nerka*) under Controlled Conditions. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 32, 2479-86.
- Carlander K.D. (1969) *Handbook of freshwater fishery biology*. University Press, The Iowa State, EEUU.
- Castro-Rivera R., Hernández-Girón J.P. & Aguilar-Benítez G. (2004) Evaluación del crecimiento de alevines de tres especies de Tilapia (*Oreochromis sp.*) en aguas duras, en la región de la Cañada, Oaxaca, México. *Revista AquaTIC* 20, 38-43.
- Cerezo-Valverde J. & García-García B. (2004) Influencia del peso y la temperatura sobre el consumo de oxígeno de rutina del Dentón común (*Dentex dentex* Linnaeus, 1758). *Revista AquaTIC* 21, 16-23.
- Clement S. & Lovell R.T. (1994) Comparison of processing yield and nutrient composition of cultured Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquaculture* 119, 299-310.
- CONABIO (2012) Sistema de información sobre especies invasoras en México. URL <http://www.conabio.gob.mx/invasoras/images/3/3e/EspeciesInvasoras1raversion.pdf>.
- CONABIO, Aridamérica, GECI, TNC & IMTA (2006) *Especies invasoras de alto impacto a la biodiversidad: prioridades en México*. IMTA, Conabio, GECI, Aridamérica, The Nature Conservancy, Ciudad de México.
- CONAPESCA (2010) Anuario estadístico de acuicultura y pesca 2010. (ed. by Pesca CNdAy), p. 287. SAGARPA, México.
- CONAZA (2011) Lineamientos Operativos del Proyecto Transversal de Desarrollo de las Zonas Áridas 2011. SAGARPA, México.
- CONAZA (2012) Programas de la CONAZA. URL <http://www.conaza.gob.mx/index.php/programas>.

- Connolly K. & Trebic T. (2010) Optimization of a backyard aquaponic food production system. In: *Bioresource Engineering* (ed. by Raghavan B), p. 74. McGill University, Quebec.
- Crespi V., Lovatelli A. & FAO (2011) *Aquaculture in desert and arid lands : development constraints and opportunities : FAO Technical Workshop, 6-9 July 2010, Hermosillo, Mexico*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Crites R. & Technobanoglous G. (1998) *Small and decentralized wastewater management systems*. McGraw-Hill, New York.
- Chervinski J. (1982) Environmental physiology of tilapias. In: *The biology and culture of tilapias* (eds. by Pullin RSV & Lowe-McConnell RH), pp. 119-28. ICLARM, Manila, Philippines.
- Cho C.Y. & Bureau D.P. (1999) Bioenergética en la formulacion de dietas y estandares de alimentación para la acuicultura del salmon; principios, métodos y aplicaciones. In: *Avances en Nutrición Acuícola III. Memorias del Tercer Simposio Internacional de Nutrición y Tecnología de Alimentos* (eds. by Cruz-Suárez LE, Ricque-Marie D & Mendoza-Alfaro R), pp. 31-64. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, N.L. México, Monterrey, N.L. México.
- Cho C.Y. & Kaushik S.J. (1990) Nutrition energetics in fish: energy and protein utilization in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *World Review of Nutrition and Dietetics* 61, 132-72.
- Chornesky E.A., Bartuska A.M., Aplet G.H., Britton K.O., Cummings-Carlson J., Davis F., Eskow J., Gordon D., Gottschalk K.W., Haack R.A., Hansen A.J., Mack R., Rahel F., Shannon M.A., Wainger L.A. & Wigley B. (2005) Science Priorities for Reducing the Threat of Invasive Species to Sustainable Forestry. *BioScience* 55, 335-48.
- Darrin Hulsey C., Garci, amp, x, a de León F.J., Sánchez Johnson Y., Hendrickson D.A. & Near T.J. (2004) Temporal diversification of Mesoamerican cichlid fishes across a major biogeographic boundary. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 31, 754-64.
- Das T., Pal A.K., Chakraborty S.K., Manush S.M., Sahu N.P. & Mukherjee S.C. (2005) Thermal tolerance, growth and oxygen consumption of *Labeo rohita* fry (Hamilton, 1822) acclimated to four temperatures. *Journal of Thermal Biology* 30, 378-83.
- De Silva C.D., Premawansa S. & Keembiyahetty C.N. (1986) Oxygen consumption in *Oreochromis niloticus* (L.) in relation to development, salinity, temperature and time of day. *Journal of Fish Biology* 29, 267-77.
- De Silva S.S. & Anderson T.A. (1995) *Fish Nutrition in Aquaculture*. Chapman and Hall, London.
- Delgadillo-Calvillo A.C., Martínez-Palacios C.A., Berruecos-Villalobos J.M., Ulloa-Arvizu R., R. L.-O. & Vásquez-Peláez C.G. (2012) Caracterización de la curva de crecimiento en dos especies de pez blanco *Chirostoma estor*, *C. promelas* y sus híbridos. *Veterinaria México* 43, 113-21.
- Eddy F.B. (2005) Ammonia in estuaries and effects on fish. *Journal of Fish Biology* 67, 1495-513.
- El-Sayed A.F.M. (2006) *Tilapia culture*. CABI Pub., Wallingford, UK ; Cambridge, MA.
- FAO (2012) The state of world fisheries and aquaculture. (ed. by Department FFaA), p. 209. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Febry R. & Lutz P. (1986) Energy Partitioning in fish: The activity related cost of osmoregulation in a Euryhaline Cichlid. *J. exp. Biol.* 128, 63-85.
- Forster R.P. & Goldstein L. (1969) 5 Formation of Excretory Products. In: *Fish Physiology* (eds. by Hoar WS & Randall DJ), pp. 313-50. Academic Press.
- Froese R. (2006) Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *J. Appl. Ichthyol.* 22, 241-53.
- Froese R. & Pauly D. (2014) FishBase. World Wide Web electronic publication.

- García-Trejo F., Hurtado-Gonzalez S., Soto-Zarazua G.M. & Gutiérrez-Yurrita P.J. (2014) Development of freshwater native species with aquacultural potential. In: *Sustainable Aquaculture Techniques* (eds. by M. H-V & I. P-RC), p. 274. InTech, Rijeka, Croatia.
- GBIF (2013) Global Biodiversity Information Facility (GBIF).
- Günther J. (1996) Crecimiento del guapote tigre, *Cichlasoma managuense* (Pisces: Cichlidae) bajo régimen de cultivo intensivo en estacas de tierra. *Rev. Biol. Trop.* 44, 813-8.
- Günther J. & Ulloa J. (1995) Growth and feed utilization of Dow cichlid (*Cichlasoma dovii*) larvae fed *Artemia* nauplii. *Rev. Biol. Trop.* 43, 277-82.
- Gupta N., Haque M.M. & Khan M. (2012) Growth performance of tilapia fingerling in cage in ponds managed by Adivasi households: An assessment through length- weight relationship. *J. Bangladesh Agril. Univ.* 10, 149-55.
- Gutiérrez-Yurrita P.J. & Morales-Ortiz A. (2004) Síntesis y perspectivas del estatus ecológico de los peces del estado de Querétaro (Centro de México). In: *Homenaje al Doctor Andrés Reséndez Medina. Un Ictiólogo mexicano* (eds. by Lozano-Vilano ML & Contreras-Balderas AJ), pp. 217-35. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México.
- Hartley-Alcocer A.G. (2007) Tilapias as a global commodity; a potential role for Mexico? In: *Institute of Aquaculture*, p. 279. University of Stirling, Scotland, UK.
- Hepher B. (1988) *Nutrition of pond fishes*. Cambridge University Press, Cambridge Cambridgeshire ; New York.
- Hopkins C.C.E. (2001) Actual and potential effects of introduced marine organisms in Norwegian waters, including Svalbard. p. 54.
- Huang Y.S. & Liao I.C. (2000) Methodological approach used for the domestication of potential candidates for aquaculture. In: *Recent advances in Mediterranean aquaculture finfish species diversification*, pp. 97-107. CIHEAM, Zaragoza.
- Hubbs C., Lucier T., Garrett G.P., Edwards R.J., Dean S.M., Marsh E. & Belk D. (1978) Survival and abundance of introduced fishes near San Antonio, Texas. *Tex.J.Sci.* 30, 369-76.
- INEGI (2009) Pesca y acuicultura. Censos Económicos 2009. p. 83. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.
- INEGI (2011) Atlas de México: Estado actual del territorio. INEGI, México.
- Itzkowitz M. & Nyby J. (1982) Field Observations of Parental Behavior of the Texas *Cichlasoma cyanoguttatum*. *American Midland Naturalist* 108, 364-8.
- Iwama G.K., Takemura A. & Takano K. (1997) Oxygen consumption rates of tilapia in fresh water, sea water, and hypersaline sea water. *Journal of Fish Biology* 51, 886-94.
- Jiménez-Martínez L.D., Álvarez-González C.A., Contreras-Sánchez W.M., Márquez-Conturrier G., Arias-Rodríguez L. & Almeida-Madriral J.A. (2009) Evaluation of larval growth and survival in Mexican Mojarra, *Cichlasoma urophthalmus*, and Bay Snook, *Petenia splendida*, under different initial stocking densities. *J. World Aquacult. Soc.* 40, 753-61.
- Jover-Cerdá M.J. (2000) Estimación del Crecimiento, Tasa de Alimentación y Producción de Desechos en Piscicultura mediante un Modelo Bioenergético. *Revista AquaTIC* 9.
- Kumar V., Akinleye A.O., Makkar H.P.S., Angulo-Escalante M.A. & Becker K. (2011) Growth performance and metabolic efficiency in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) fed on a diet containing *Jatropha platyphylla* kernel meal as a protein source. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 96, 37-46.

- Lampert W. (1984) The measurement of respiration. In: *A manual on methods for the assessment of secondary production in fresh waters*. (eds. by Downing JA & Rigles FH), pp. 413-68. Blackwell Scientific Publ. Oxford, U. K.
- Lee D.S., Platania S.P., Burgess G.H., Kuhler R. & North Carolina Biological Survey. (1983) *Atlas of North American freshwater fishes. 1983 supplement*. North Carolina Biological Survey, Raleigh, N.C.
- Losordo T.M., Masser M.P. & Rakocy J. (1998) Recirculating Aquaculture Tank Production Systems An Overview of Critical Considerations. *SRAC Publication* 451.
- Lovell S.J. & Stone S.F. (2005) The economic impacts of aquatic invasive species: a review of the literature. (ed. by U.S. Environmental Protection Agency), p. 66. NCEE Working Paper Series, Washington DC.
- Lucas A. (1993) *Bioénergétiques des Animaux Aquatiques*. Masson, Paris.
- Lucas J.S. & Southgate P.C. (2012) *Aquaculture: Farming aquatic animals and plants*. Wiley-Blackwell, Oxford, UK.
- Luna-Figueroa J., Díaz F. & Espina S. (2003) Temperatura preferida del cíclido nativo mexicano *Cichlasoma istlanum* (Jordan an Snyder, 1899). *Hidrobiológica* 13, 271-5.
- Maciak S. & Konarzewski M. (2010) Repeatability of standard metabolic rate (SMR) in a small fish, the spined loach (*Cobitis taenia*). *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A* 157, 136-41.
- Martínez-Palacios C.A. (1987) Aspects of the biology of *Cichlasoma urophthalmus* (Günther) with particular reference to its culture. In: *Institute of Aquaculture*, p. 321. University of Stirling, Scotland.
- Martínez-Palacios C.A., Barriga Tovar E., Taylor J.F., Ríos Durán G. & Ross L.G. (2002) Effect of temperature on growth and survival of *Chirostoma estor estor*, Jordan 1879, monitored using a simple video technique for remote measurement of length and mass of larval and juvenile fishes. *Aquaculture* 209, 369-77.
- Martínez-Palacios C.A., Chávez-Sánchez M.C. & Ross L.G. (1996a) The effects of water temperature on food intake, growth and body composition of *Cichlasoma urophthalmus* (Günther) juveniles. *Aquaculture Research* 27, 455-61.
- Martínez-Palacios C.A., Harfush-Melendez M., Chávez-Sánchez M.C. & Ross L.G. (1996b) The optimum dietary protein level for the Mexican cichlid *Cichlasoma urophthalmus* (Günther): a comparison of estimates derived from experiments using fixed-rate feeding and satiation feeding. *Aquaculture Nutrition* 2, 11-20.
- Martínez-Palacios C.A., Toledo-Cuevas M., Racotta-Dimitrov E., Ríos-Durán M.G., Palacios-Metchenov E., Fonseca-Madrugal J., Campos-Mendoza A. & Ross L.G. (2006) Aspectos nutricionales del pescado blanco de Pátzcuaro (*Chirostoma estor estor* Jordan, 1879). In: *Avances en Nutrición Acuícola VIII. VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuícola* (eds. by Cruz-Suárez LE, Ricque-Marie D, Tapia-Salazar M, Nieto-López MG, Villarreal-Cavazos DA, Puello-Cruz AC & A. G-O). Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León, México.
- Mayzaud P. & Conover R.J. (1988) O:N atomic ratio as a tool to describe zooplankton metabolism. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 45, 289-302.
- Mena-Herrera A., Sumano-López H. & R. M.-Z. (2002) Efecto de la salinidad en el crecimiento de tilapia híbrida *Oreochromis mossambicus* (Peters) x *Oreochromis niloticus* (Linnaeus), cultivadas bajo condiciones de laboratorio *Veterinaria México* 33, 39-48.
- Mendoza R., Contreras S., Ramírez P., Koleff P., Álvarez P. & Aguilar V. (2007) Los peces diablo: Especies invasoras. *CONABIO. Biodiversitas* 70, 1-5.
- Montajami S., Nekoubin H., Mirzaie F.S. & Sudagar M. (2012a) Influence of different artificial colors of light on growth performance and survival rate of texas cichlid larvae (*Herichthys cyanoguttatus*). *World J. Zool.* 7, 232-5.

- Montajami S., Vajargah M.F., Hajiahmadyan M., Zarandeh A.S.H., Mirzaie F.S. & Hosseini S.A. (2012b) Assessment of the Effects of Feeding Frequency on Growth Performance and Survival Rate of Texas Cichlid Larvae (*Herichthys cyanoguttatus*). *J. Fish. Int.* 7, 51-4.
- Morales D.A. (1991) *La tilapia en México biología, cultivo y pesquerías.*, México, D.F.
- Ogunji J.O. & Wirth M. (2000) Effect of dietary protein content on growth, food conversion and body composition of *Oreochromis niloticus* fingerlings, fed fish meal diet. *Journal of Aquaculture in the Tropics* 15, 381-9.
- Olurin K.B. & Aderibigbe O.A. (2006) Length-Weight relationship and condition factor of pond reared juvenil *Oreochromis niloticus*. *World Journal of Zoology* 1, 82-5.
- OSPAR (1997) Alien species in the marine environment: status and national activities in the OSPAR Convention area-revised report. In: *Environment (IMPACT)*. Sweden. OSPAR Working Group in Impacts on the Marine Environment, Lisbon.
- Page L.M. & Burrows B.M. (2011) *Peterson field guide to freshwater fishes of North America north of Mexico*. Houghton Mifflin Harcourt, Boston.
- Perez-Robles J., Re A.D., Giffard-Mena I. & Diaz F. (2012) Interactive effects of salinity on oxygen consumption, ammonium excretion, osmoregulation and Na⁺/K⁺-ATPase expression in the bullseye puffer (*Sphoeroides annulatus*, Jenyns 1842). *Aquaculture Research* 43, 1372-83.
- Pimentel D., Zuniga R. & Morrison D. (2005) Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. *Ecological Economics* 52, 273-88.
- Portz D.E., Woodley C.M. & Cech Jr. J.J. (2006) Stress-associated impact of short-term holding non fishes. *Rev. Fish. Biol. Fisheries* 16, 125-70.
- Reis R.E., Kullander S.O., Ferraris C.J. & Pontificia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Museu de Ciências e Tecnologia. (2003) *Check list of the freshwater fishes of South and Central America*. EDIPUCRS, Porto Alegre.
- Rico-Romero S.E., Pineda-López R.F., Hernández-Camacho N., O.M. G.-G., Rayas-Estrada O.A., Santacruz-Vázquez A.O. & O.M. A.-C. (2009) Distribución de las especies exóticas en los ríos y arroyos de la subcuenca del río San Juan. In: *Memorias del Programa Verano de la Ciencia 2009* (ed. by Querétaro UAd). 8° Verano de la Ciencia de la UAQ, Querétaro, Querétaro.
- Rosas C., Sánchez A., Chimal M.E. & Brito R. (2003) Manual de métodos para la evaluación del balance energético de crustáceos. In: *Jornadas Iberoamericanas de nutrición en acuicultura. Avances de la nutrición de camarones peneidos: hacia la optimización de alimentos y estrategias de alimentación para una camaronicultura Sustentable*. Centro de Formación de la Cooperación Española en Cartagena de Indias, Colombia, Colombia.
- Santos V.B., Mareco E.A. & Silva M.D.P. (2013) Growth curves of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) strains cultivated at different temperatures. *Acta Scientiarum. Animal Sciences* 35, 235-42.
- Santos V.B.d., Yoshihara E., Fonseca de Freitas R.T. & Neto R.V.R. (2008) Exponential growth model of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) strains considering heteroscedastic variance. *Aquaculture* 274, 96-100.
- Schrama J.W., Saravanan S., Geurden I., Heinsbroek L.T.N., Kaushik S.J. & Verreth A.J. (2011) Dietary nutrient composition affects digestible energy utilisation for growth: a study on Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and a literature comparison across fish species. *British Journal of Nutrition* 108, 277-89.
- Schurmann H. & Steffensen J.F. (1997) Effects of temperature, hypoxia and activity on the metabolism of juvenile Atlantic cod. *J. Fish Biol.* 50, 1166-80.

- Segovia Quintero M. (2011) An overview on desert aquaculture in Mexico. In: *Aquaculture in desert and arid lands: development constraints and opportunities* (eds. by Crespi V & Lovatelli A), pp. 187-202. FAO Fisheries and Aquaculture Proceedings, Rome.
- Soo W., Jin S.Y., Wook J.K., Ah J.L. & Won T.L. (2006) Metabolic response under different salinity and temperature conditions for glass eel *Anguilla japonica*. *Marine Biol.* 149, 1209-15.
- Sousa S.M.d.N., Freccia A., Santos L.D.d., Meurer F., Tessaro L. & Bombardelli R.A. (2013) Growth of Nile tilapia post-larvae from broodstock fed diet with different levels of digestible protein and digestible energy. *Revista Brasileira de Zootecnia* 42, 535-40.
- Summerfelt S.T. (2006) Design and management of conventional fluidized-sand biofilters. *Aquacultural Engineering* 34, 275-302.
- Tátrai I. (1981) Diurnal pattern of the ammonia and urea excretion of feeding and starved bream, *Abramis brama* L. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A* 70, 211-5.
- Timmons M.B. & Ebeling J. (2010) *Recirculating Aquaculture*. Northeastern Regional Aquaculture Center, United States.
- Timmons M.B., Holder J.L. & Ebeling J.M. (2006) Application of microbed biological filters. *Aquacultural Engineering* 34, 332-43.
- Udo P. & Ekanem S.B. (2000) Body size and metabolic rates in pure and diploid *Oreochromis niloticus* (Cichlidae) at different salinities. *Journal of Aquaculture in the Tropics* 15, 289-95.
- Vidal-López J.M., Álvarez-González C.A., Contreras-Sánchez W.M. & Hernández-Vidal U. (2009) Masculinización del cíclido nativo Tenhuayaca, *Petenia splendida* (Günther, 1862), usando nauplios de *Artemia* como vehículo del esteroide 17- α metiltestosterona. *Hidrobiológica* 19, 211-6.
- Villarreal C., Gelabert R., Gaxiola G., Cuzon G., Amador L.E., Guevara E. & Brito R. (2011) Crecimiento de Alevines de *Cichlasoma urophthalmus* con dietas basadas en diferentes niveles de inclusión de proteína de soya y gluten de trigo. *Universidad y Ciencia* 27, 53-62.
- Waller U. (1992) Factors influencing routine oxygen consumption in Turbot, *Scophthalmus maximus*. *J. Appl. Ichthyol.* 8, 62-71.
- Wilhelm-Filho D., Torres M.A., Tribess T.B., Pedrosa R.C. & Soares C.H.L. (2001) Influence of season and pollution on the antioxidant defenses of the cichlid fish acará (*Geophagus brasiliensis*). *Braz. J. Med. Biol. Res.* 34, 719-26.
- Wong K.V. & Piedrahita R.H. (2000) Settling velocity characterization of aquacultural solids. *Aquacultural Engineering* 21, 233-46.
- Woo S.Y.N.B., Ng B.T., Leung C.T. & Chow Y.C. (1997) Enhancement of growth of tilapia *Oreochromis niloticus* in iso-osmotic medium. *J. Appl. Ichthyol.* 13, 67-71.
- Zakes Z., Szczepkowski M., Demska-Zakes K. & Jesiotowski M. (2007) Oxygen Consumption and Ammonia Excretion by Juvenile Pike. *Esox lucius* L. *Archives of Polish Fisheries* 15, 79-92.
- Zar J.H. (2010) *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall, USA.
- Zheng Z., Li M., Bai P. & Dong S. (2008) Effects of temperature and salinity on oxygen consumption and ammonia excretion of juvenile miiuy croaker, *miichthys miiuy*. *Aquaculture Int.* 16, 581-9.