



Casa abierta al tiempo

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA  
UNIDAD IZTAPALAPA**

**DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD  
MAESTRÍA EN BIOLOGÍA**

**Requerimientos de proteínas y lípidos en crías de *Petenia splendida* (Günther, 1862) (Perciformes: Cichlidae).**

**COMUNICACIÓN IDÓNEA DE RESULTADOS  
QUE PRESENTA:**

**JOSÉ JIRO MATSUMOTO SOULÉ**

**PARA OPTAR AL GRADO DE  
MAESTRO EN BIOLOGÍA**

**COMITÉ TUTOTAL:**

**Director. Dr. José Luis Arredondo Figueroa**

**Asesora: Dra. Keiko Shirai Matsumoto.**

**Asesor: Dr. José Luis Gómez Márquez.**

**Iztapalapa D.F. 25 de octubre del 2010**

“La **Maestría en Biología** de la Universidad Autónoma Metropolitana pertenece al Padrón de Postgrados de Excelencia del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)”

Este trabajo se desarrolló en la Planta Experimental de Producción Acuícola (PEXPA) del Departamento de Hidrobiología, División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa.

El alumno recibió beca CONACYT registro: 224678 durante el periodo 2008-2010.



**Casa abierta al tiempo**

El jurado designado por la **División de Ciencias Biológicas y de la Salud** de la Unidad Iztapalapa aprobó la tesis que presentó

**José Jiro Matsumoto Soulé**

El día 25 de Octubre del año 2010

Comité Tutorial

**Director:** Dr. José Luis Arredondo Figueroa

**Asesor:** Dra. Keiko Shirai Matsumoto

**Asesor:** Dr. José Luis Gómez Márquez

**Sinodal:** Dra. Bertha Peña Mendoza

**Sinodal:** Dr. Isaías Hazarmabeth Salgado Ugarte

## **AGRADECIMIENTOS**

Al H. Jurado que revisó pacientemente esta tesis y evaluó la defensa de mi trabajo.

Al Dr. Arredondo Figueroa, por creer en mi, por todo el apoyo que recibí, por los conocimientos transmitidos. Gracias Dr. por estar conmigo en las buenas y en las malas, gracias por haber estado siempre al pendiente de mi y por haber dedicado más del tiempo necesario para resolver mis dudas en todo momento y a todos horas aún no estando presente físicamente. Pero sobre todo gracias por confiar en mi y en mi trabajo.

A la Dra. Shirai Matsumoto, por todo el apoyo que me brindó antes y después de la maestría, gracias por todo el tiempo dedicado y tus comentarios siempre acertados, gracias Keiko por siempre hacerme sentir respaldado, te quiero mucho prima.

Al Dr. Gómez Márquez por ser un excelente asesor, por sus buenos comentarios y sugerencias para este trabajo, así como su apoyo incondicional en cada momento.

A la Dra. Barriga Sosa por estar siempre al pendiente de mi trabajo, gracias por hacerme sentir apoyado.

A la Dra. Pérez Vega por haber donado los organismos que hicieron posible este trabajo, gracias por sus consejos.

Al Maestro Ladislao Arias por los conocimientos transmitidos, por apoyarme en la realización de los análisis bromatológicos y a Liz por enseñarme las técnicas siempre con una sonrisa, gracias por hacerme sentir bienvenido.

A mis amigos de siempre Alejandro, Chucho, Felipe, Moi, Omar, por compartir gran parte de mi vida conmigo, gracias por hacerme ver siempre mis errores con paciencia y sin burlas.

A mis amigos de la planta Laura, Rosa, Paloma y Luis, por sus palabras de aliento y ayuda incondicional.

A ti, que de alguna manera contribuiste en la realización de este trabajo. Mil gracias y que Dios te Bendiga.

## DEDICATORIAS

Siempre es difícil decir lo que uno siente y por extraño que parezca es más difícil hacerlo a las personas que uno ama, así que trataré de hacerlo lo mejor posible.

Antes que a nadie a Dios quien me ha acompañado a lo largo de mi vida sin nunca soltarme de su mano.

A mis padres Yoyi y Lupita por ser siempre lo que necesite, papá gracias por enseñarme a luchar por lo que quiero y nunca rendirme hasta conseguirlo, mamá gracias por llenar mi vida de amor, por estar siempre a mi lado levantándome en mis tropiezos y corrigiendo mis errores siempre con amor. Gracias a los dos por la confianza y libertad que siempre me dieron, los amo.

A mi esposa Mayra, a ti por alegrarme la vida día a día con tu sonrisa, por compartir tu vida conmigo, eres una mujer maravillosa que llegó a mi vida a llenarla de amor y ternura, gracias por tener siempre las palabras correctas para reconfortarme, por creer en mi y apoyarme incondicionalmente. Todos los días que abro los ojos y te veo me doy cuenta que el estar contigo es la mejor decisión que he tomado en mi vida, me siento muy afortunado de que seas mi esposa, gracias por todo. Te Amo.

A mis hermanos Aiko, Yoyi y Maki, por siempre estar ahí cuando los necesité. A ti Aiko por hacer realidad todas mis ideas y siempre apoyarme. A ti Maki por ser mi mejor amigo. A ti Yoyi por ser mi segundo padre, gracias por todo, hermanos los amo.

A mis suegros Nico y Amalia, por tener siempre una sonrisa, por sus palabras de aliento y su apoyo incondicional.

A mis cuñadas Ana, Nery y Vero por siempre tener una palabra de apoyo y una sonrisa cuando las necesite. A mis cuñado Ulises y Nico por su apoyo incondicional en cada momento.

A mis sobrinos Miyuki, Taro, Yoshiro, Hanako, Kumiko, Aimi y Yoyi, por hacerme ver con su inocencia la alegría de la vida, nunca la pierdan, luchen siempre por conseguir sus ideales.

A mis abuelitos Luis, Josefina y Kinjiro, a mis tios Teto, Checho, Fumiko, Yosiko, que desafortunadamente el destino no quiso que llegaran a contemplar esta etapa de mi vida, pero que sé, donde sea que estén, se sentirán orgullosos de que haya alcanzado mis aspiraciones.

# CONTENIDO

	Página
<b>RESUMEN</b>	iii
<b>ABSTRACT</b>	iv
<b>RELACIÓN DE TABLAS</b>	v
<b>RELACIÓN DE FIGURAS</b>	vi
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>MARCO TEÓRICO</b>	4
La familia Cichlidae.	4
Taxonomía.	5
Origen.	6
Distribución.	6
Hábitat.	7
Morfología.	8
Hábitos alimenticios.	9
Reproducción.	9
Estado actual de las poblaciones.	9
Requerimientos de proteínas y lípidos en peces Teleósteos.	10
Digestibilidad.	16
<b>ANTECEDENTES</b>	18
Antecedentes de la Tenguayaca <i>P. splendida</i> .	18
Antecedentes sobre los requerimientos de proteínas y lípidos.	19
<b>JUSTIFICACIÓN</b>	26
<b>PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN</b>	28
<b>HIPÓTESIS</b>	29
<b>OBJETIVOS</b>	30
<b>MATERIAL Y MÉTODOS</b>	31
Descripción del sistema experimental.	31
Origen de los organismos.	34
Análisis de calidad del agua.	34
Diseño experimental.	35
Formulación de las dietas.	36
Análisis químicos proximales (AQP).	37
Materia seca	37
Proteínas	38
Grasa cruda ó extracto Etéreo	39
Fibra Cruda	39
Cenizas	41
Digestibilidad con óxido de cromo.	41

Análisis de aminoácidos.	42
Análisis de ácidos grasos.	43
Indicadores de desempeño del crecimiento y eficiencia nutricional.	44
Colecta de alimento remanente	45
Análisis estadísticos.	45
<b>RESULTADOS</b>	47
Análisis químicos proximales de las dietas experimentales.	47
Análisis de aminoácidos.	48
Análisis de ácidos grasos.	48
Efecto de las dietas sobre el crecimiento.	49
Indicadores de desempeño del crecimiento y eficiencia alimenticia.	51
Digestibilidad de las dietas.	53
Calidad del agua.	54
<b>DISCUSIÓN</b>	56
Crecimiento en peso total y longitud total.	56
Requerimientos de proteínas y lípidos.	58
Aminoácidos Esenciales	60
Ácidos Grasos Esenciales	64
Indicadores de crecimiento y eficiencia alimenticia.	65
Digestibilidad.	72
Calidad del agua.	73
<b>CONCLUSIONES</b>	76
<b>LITERATURA CITADA</b>	78
<b>ANEXO I</b>	95

## RESUMEN

Se realizó un experimento utilizando seis dietas prácticas con diferentes niveles de proteínas y lípidos para determinar el desempeño del crecimiento y la eficiencia alimentaria de crías de Tenguayaca *Petenia splendida* (Günther, 1862). Se utilizó un sistema cerrado de recirculación (SCR) formado por 12 recipientes de vidrio con capacidad de 40 L y una densidad inicial de 17 organismos por recipiente. Las dietas se formularon con harina de pescado y extrudizado de soya para contener tres niveles de proteína (30, 40 y 50%) y aceites de maíz y de pescado para obtener dos niveles de lípidos (6 y 12%), con una energía bruta que varió de 17.6 a 19.4 MJ kg<sup>-1</sup> y una energía digerible que fluctuó de 13.7 a 16.5 MJ kg<sup>-1</sup>. Las dietas experimentales fueron suministradas durante 120 días por duplicado a crías con un peso total promedio inicial de 0.18 ± 0.05 g. Los resultados indicaron interacciones significativas entre las distintas dietas experimentales. La tasa de sobrevivencia (76.5 a 97.1%); peso promedio final (0.625 a 0.927 g), ganancia de peso total (31.65 a 71.34%), tasa específica de crecimiento (1.17 a 1.57 % día<sup>-1</sup>), consumo individual de alimento (0.46 a 0.62 g), tasa de eficiencia proteica (2.87 a 6.10), factor de condición (1.10 a 1.31) y el factor de conversión de alimento (0.87 a 1.80) presentaron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre los tratamientos. La dieta con 50% de proteína y 12% de lípidos presentó diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) y los valores más altos de peso promedio final, ganancia de peso total, tasa específica de crecimiento, consumo individual de alimento, tasa de eficiencia proteica y sobrevivencia. Los resultados indican que una dieta conteniendo 50% de proteína y 12% de lípidos con 19.3 Mj kg<sup>-1</sup> de energía bruta y 16.5 Mj kg<sup>-1</sup> de energía digerible es la más adecuada para el crecimiento y eficiencia del consumo de alimento de las crías de Tenguayaca bajo las condiciones experimentales utilizadas en este estudio.

## ABSTRACT

The approximate levels of dietary proteins and lipids that would sustain growth and feed efficiency in fingerlings of Bay Snook *Petenia splendida* (Günther, 1862) were determined in a feeding experiment. The experiment was carried out in a recirculating-water system (RWS) with twelve 40L-glass recipients within an initial density of 17 fish per recipient. Six fish-meal and soybean extrudes were formulated to contain three levels of protein (30, 40 and 50%) as well corn and fish oils were used to reach two levels of lipids (6 and 12%), with dietary gross energy ranging from 17.6 to 19.4 MJ kg<sup>-1</sup> and digestible energy fluctuating from 13.7 to 16.5 MJ kg<sup>-1</sup>. Fishes were fed with the diets for 120 days in duplicates groups in fingerlings of Bay Snook with an average initial weight of 0.18 ± 0.05 g. The results indicated significant differences among the experimental diets. Survival rates (76.5 to 97.1%); average final total weights (0.625 to 0.927 g); gain of average total weights (31.65 to 71.34%); specific growth rate (1.17 to 1.57 % day<sup>-1</sup>); individual feed intakes (0.46 to 0.62 g) and protein efficiency ratio (2.87 to 6.10) were affected by different dietary treatments and condition factor (1.10 to 1.31) and food conversion ratio (0.87 to 1.8) did not present differences between experimental diets. Diet containing 50% of proteins and 12 % lipids had significant differences ( $P \leq 0.05$ ) and higher mean values of average final total weights, gain of average total weight, specific growth rate, individual feed intake, protein efficiency ratio, and survival rate. The results also indicated that the diet containing 50% of protein and 12% of lipids, 19.3 MJ kg<sup>-1</sup> of gross energy and 16.5 MJ kg<sup>-1</sup> of digestible energy was suitable for growth and feed efficiency in fingerlings of Bay Snook under the experimental conditions used in this study.

## RELACIÓN DE TABLAS

Tabla 1. Influencia del contenido de lípidos sobre la eficiencia de utilización de los nutrientes en la trucha arco iris (de acuerdo con Takeuchi y col., 1979).

Tabla 2. Contenido óptimo de incorporación de materias grasas en algunas especies de peces Teleósteos.

Tabla 3 Total requerido en gramos de los insumos para preparar 500 g de las dietas experimentales.

Tabla 4. Indicadores de desempeño de crecimiento y eficiencia nutricional, evaluados en el presente experimento.

Tabla 5. Análisis químicos proximales (100 g de materia seca) y energía para cada dieta experimental.

Tabla 6. Composición de aminoácidos de las seis diferentes dietas (g de A.A. /100 g de proteína).

Tabla 7. Resultados de los análisis de ácidos grasos de las dietas experimentales (% por 100 g de la muestra).

Tabla 8. Resultados de los estadísticos de contraste de la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, considerando como variables de respuesta el peso total (PT g) y la longitud total (LT mm).

Tabla 9. Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis aplicada a los indicadores de desempeño del crecimiento y eficiencia alimentaria de las dietas experimentales.

Tabla 10. Resultados de los indicadores de desempeño del crecimiento y eficiencia alimenticia de las dietas experimentales.

Tabla 11. Digestibilidad aparente de la materia orgánica (DAMO) de las dietas experimentales utilizadas.

Tabla 12. Resultados de los parámetros fisicoquímicos analizados a lo largo del experimento en el SCR.

## RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 1. Localidad tipo de la tenguyaca *P. splendida* en el lago Petén-Itzá al norte de Guatemala.

Figura 2. Reproductor hembra de Tenguyaca *P. splendida*.

Figura 3. Vista general del SCR utilizado en el presente experimento.

Figura 4. Detalle del sistema de alimentación de agua de los recipientes.

Figura 5. Se muestran la entrada y salida de agua de cada recipiente.

Figura 6. Filtro biológico incorporado al SCR: (A) vista lateral y (B) vista superior.

Figura 7. Crecimiento en peso total de las crías de Tenguyaca a lo largo del experimento.

Figura 8. Crecimiento en longitud total de las crías de Tenguyaca a lo largo del experimento.

## INTRODUCCIÓN

La acuicultura es considerada como una nueva actividad económica a nivel mundial, si se compara con la ganadería y la agricultura; no obstante, en la República Popular China (RPC) la acuicultura tiene una antigüedad de más de 2 000 años. En la actualidad, la acuicultura comienza a expandirse constituyendo una actividad alternativa a la ganadería adquiriendo día a día mayor importancia y relevancia en la generación de alimentos de origen animal. Esto debido a que la pesca mundial desde hace años se ha estancado entre los 80 y 100 millones de toneladas anuales. La única opción que se tiene para incrementar la oferta de productos acuáticos de valor alimenticio es la implementación y el desarrollo de las biotecnias de producción acuícola. Por su parte el cultivo de peces y mariscos es uno de los sectores que ha experimentado mayor crecimiento en la industria alimentaria. La acuicultura ha pasado de 20 millones de toneladas métricas de producción a principios de los noventa hasta alcanzar una producción de 55 millones de toneladas métricas en el año 2003, registrando un crecimiento del 175% (FAO, 2005; [semarnat.gob.mx/acuacultura](http://semarnat.gob.mx/acuacultura)).

En el cultivo de organismos acuáticos una de las constantes preocupaciones es obtener una elevada tasa de crecimiento de acuerdo con la especie que se trabaja; este factor, aparentemente se cubre en la mayoría de las especies de crustáceos y peces cultivados en las granjas de producción mediante el suministro adecuado de alimentos balanceados. Sin embargo, frecuentemente los conocimientos que se manejan para cubrir los requerimientos proteicos de las especies no están bien fundamentados, debido

a que se obtienen básicamente de manera empírica y en la mayoría de los casos, el sustento de la investigación científica está ausente o bien es limitado (Rodríguez-Serna y Carmona, 2002).

Para desarrollar bien la acuicultura, es imprescindible manejar y dominar los aspectos nutricionales de las especies bajo condiciones de cultivo; en este sentido, la necesidad de mejorar la calidad de los alimentos ha dado lugar a diversos trabajos de investigación que cubren varios campos del conocimiento científico que no sólo incluyen la nutrición y la tecnología para preparar y usar adecuadamente el alimento, si no también, la ecofisiología de los organismos lo que permite entender mejor su comportamiento y sus efectos fisiológicos (Cuzon y col., 1994) y de igual manera los mecanismos de percepción y captura del alimento, culminando con los procesos de ingestión, digestión y finalmente la asimilación que se expresa en el campo de crecimiento de los organismos cultivados (Rosas, 1996). Lovell (1991), presentó una revisión sobre la nutrición de las especies utilizadas en la acuicultura y propone una serie de temas que deben ser investigados para mejorar los estudios sobre los requerimientos alimenticios de las especies cultivadas, que incluyen considerar lo siguiente: a) los efectos de la talla, temperatura y manejo: b) los efectos de la nutrición sobre la salud de los peces y la calidad del producto y c) el desarrollo de la tecnología para la alimentación.

El objetivo principal cuando se pretende elaborar alimentos destinados para el consumo de los organismos acuáticos, es cubrir los requerimientos dietéticos y un balance nutricional apropiado. El alimento producido debe tener una buena atractabilidad y palatabilidad, además, mantener una estabilidad de varias horas en el agua, para permitir su consumo total. Todo esto bajo la

perspectiva de manejar un costo bajo y una aceptable reantabilidad. En la actualidad, la principal preocupación en lo que se refiere a los organismos acuáticos que presentan un potencial para su cultivo, reside en la necesidad de asegurar la ingestión de dietas balanceadas que cubran sus requerimientos nutricionales, además, de su efectividad para que generen buenas tasas de crecimiento y conversión alimenticia (Mendoza y col., 1996).

## MARCO TEÓRICO

### La familia *Cichlidae*

La familia de los Cíclidos en México presenta una distribución Neotropical y está representada por 11 familias, dentro de las cuales 48 especies son nativas. Los Cíclidos presentan una forma parecida a la de los Perciformes, regularmente presentan tallas pequeñas ó medianas, aunque también se encuentran formas altas o alargadas (Miller, 2005).

Los Cíclidos tienen una sola aleta dorsal con una sola espina, poseen de seis a ocho radios branquioestegos y cuatro branquias; no presentan dientes en los palatinos, poseen un solo orificio nasal de cada lado, la línea lateral se ve interrumpida y continúa en una zona más baja hasta la aleta caudal.

Ciertas especies de Cíclidos presentan algunas características primitivas (veinticuatro vértebras, diez torácicas, catorce caudales, tres espinas en la aleta anal, dientes y tubo digestivo) que pueden ser útiles para explicar sus relaciones filogenéticas, por medio de las cuales se puede entender de alguna forma su distribución. Debido a estos caracteres presentes, se les asocia con algunas formas fósiles como lo es el género brasileño *Acara* y este último con el género africano *Paratilapia*, ambos géneros se encuentran presentes en la actualidad. Gracias a esto se considera que la evolución de las especies centroamericanas se originó de Sur a Norte (Miller, 1966; Díaz, 1973).

De manera natural, actualmente se distribuyen en tres grandes regiones aisladas, América, África y Asia. En América, se encuentran desde el Sur de los Estados Unidos, México, América Central, incluyendo Cuba y Haití, hasta la parte norte de Argentina. En Asia, se ubican principalmente Madagascar, Siria,

el Sur de la India y Ceilán. Sólo en América se calcula que existen cerca de 200 especies, de las cuales la mitad de ellas se encuentran agrupadas en 25 géneros que pertenecen a América Central y México (Danko, 1997; Miller, 1966).

En particular, esta familia se ha adaptado a diversos ambientes, soportando condiciones extremas, como pueden ser aguas saladas, ambientes altamente alcalinos con valores altos de carbonatos y pH de hasta 10, temperaturas del agua que alcanzan hasta los 40 °C y ambientes casi sin oxígeno disuelto (Staeck, 1978). Con la enorme variedad de ambientes que han colonizado a lo largo del tiempo, los Cíclidos han desarrollado una especialización que aún no termina. Se estima, que todavía existen formas que no han sido descritas por los científicos, por lo que se requiere de un profundo trabajo taxonómico y genético para poder identificar correctamente a estas especies ya que existen sinonimias que complican el trabajo de identificación (Baras y col. 2000; Miller, 2005).

El presente estudio se enfoca a un Cíclido Neotropical de importancia regional en el Sureste mexicano que es conocido localmente como Tenguayaca, *Petenia splendida* (Günther, 1862) y que corresponde a un género y a una especie única, presente en nuestro territorio nacional y que no presenta hasta el momento controversia en su identidad y estatus taxonómico.

## **Taxonomía**

La Tenguayaca se incluye en la familia *Cichlidae* y su ubicación taxonómica es la siguiente de acuerdo con Miller (2005).

**Clase:** Actinopterígios

**Orden:** Perciformes

**Familia:** *Cichlidae*

**Subfamilia:** *Cichlasomatinae*

**Género:** *Petenia*

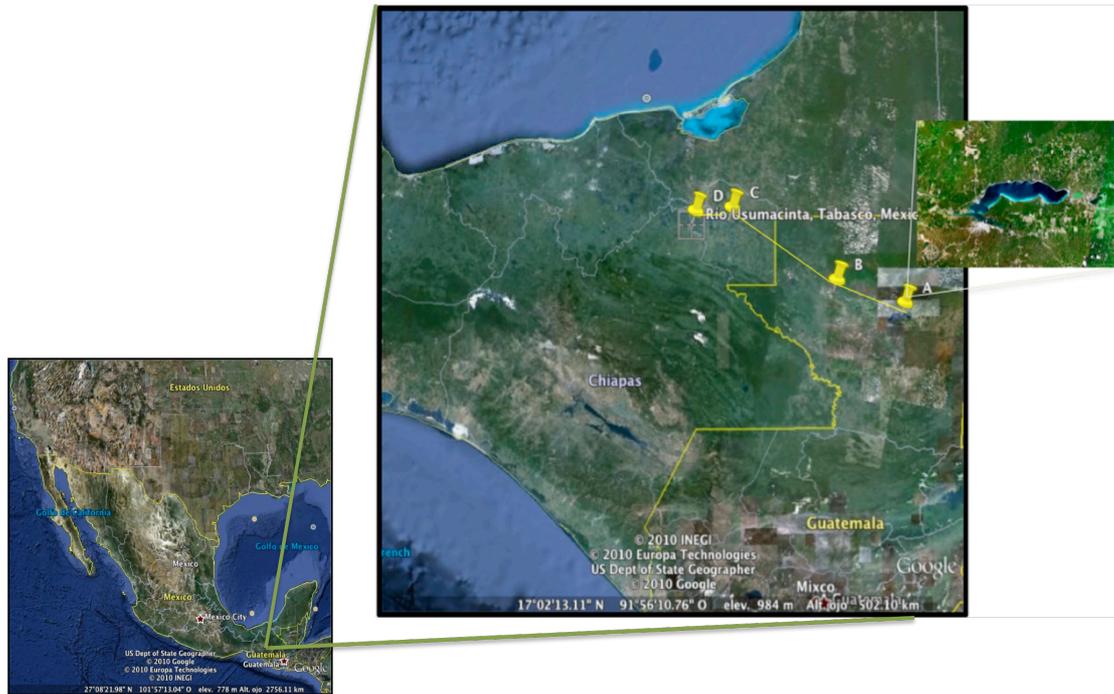
**Especie:** *Petenia splendida* (Günther, 1862).

### **Origen**

La Tenguayaca tiene su localidad tipo en lago de Petén-Itzá, en Guatemala, que corresponde al segundo lago en tamaño presente en ese país. Este lago tiene 47 km de largo y entre 3 a 5 km de ancho; con una forma de una “j” invertida y se encuentra en el centro geográfico de Petén. Está comunicado con el río San Pedro que llega a México y éste a su vez se comunica con el río Usumacinta en el estado de Tabasco (Figura 1).

### **Distribución**

La Tenguayaca se distribuye en la cuenca del sistema Grijalva-Usumacinta. En México, se presenta principalmente en los estados de Chiapas y Tabasco. Esta especie fue introducida a la presa de Temazcal, Oaxaca y también se encuentra en los estados de Campeche, Quintana Roo y Veracruz (Pérez-Vega, 2006).



**Figura 1. Localidad tipo de la tenguayaca *P. splendida* en el lago Petén-Itzá al norte de Guatemala. A (lago Petén Itzá), B (Río San Pedro), C (Unión Río San Pedro/Río Usumacinta) y D (Río Usumacinta, Tabasco, México).**

### Hábitat

*P. splendida* prefiere aguas lénticas como lagos, meandros y lagunas costeras, o zonas más tranquilas en los rápidos de los ríos. A menudo se le encuentra en zonas densamente pobladas por vegetación o cerca de troncos que le sirven de sustrato para depositar sus huevos durante la época de reproducción (Klee, 1971; Norris, 1971).

## Morfología

De acuerdo con Miller (2005), la Tenguayaca es un pez de cuerpo alto y comprimido, alcanza hasta los 40 cm de longitud total; su cabeza es grande, con un solo orificio nasal a cada lado, el hocico es comprimido y triangular, con una mandíbula inferior prominente (rasgo que lo distingue del resto de las mojarras dulceacuícolas). La boca es terminal y los labios gruesos, es protractil y la longitud del hocico apenas resulta inferior a la de la cabeza cuando las mandíbulas están completamente proyectadas hacia el frente. La aleta dorsal es continua, formada por 15 ó 16 espinas y de 12 ó 13 radios; la anal lleva de 8 a 10 radios precedidos por 5 espinas; los radios posteriores de ambas aletas llegan a la base de la caudal. Esta última es redondeada, las pectorales se extienden hasta el origen de la anal y las pélvicas alcanzan el ano. Presenta de 10 a 11 branquiespinas en la rama inferior del primer arco branquial, y 45 escamas en una serie longitudinal sobre la línea lateral. Es de color verdoso con matices dorados; con puntuaciones negras en la cabeza, el cuerpo y las aletas verticales y una serie de seis o siete manchas redondas grandes a lo largo de la parte media de los costados (Figura 2).



**Figura 2. Reproductor hembra de Tenguayaca *P. splendida*.**

### **Hábitos alimenticios**

Es omnívora con tendencia carnívora, se alimenta principalmente de animales macroscópicos; tiene un estómago bien definido con secreciones ácidas fuertes y el intestino es corto y alargado (Miller y col. 2005)

### **Reproducción**

Como la mayoría de las especies tropicales se reproduce todo el año, aunque presenta dos picos de reproducción marcados, el primero en la época de mayor calor que corresponde a los meses de abril y mayo, el segundo pico se presenta en los meses de lluvias que abarcan de agosto a septiembre (Chávez y col.,1989). Es una especie catalogada como desovadora de sustrato, se reproduce perfectamente en zonas con una profundidad mayor a un metro. La talla de primera madurez es a los 14 cm, para ambos sexos. El desove de la hembra va de 200 a 2,500 huevos por puesta de acuerdo a la talla y al peso, siendo el promedio de desove de 1,000 huevos (Reséndez y Salvadores, 1983).

### **Estado actual de las poblaciones**

Los estudios ecológicos que se han hecho sobre esta especie en particular, han demostrado que las poblaciones han ido disminuyendo durante los últimos 20 años, tanto que en algunos lugares del sureste mexicano ya no se captura, esto es el resultado de diferentes factores; uno de ellos son los cambios hidrológicos en su ambiente, ya que esta especie ovodeposita a más de un metro de profundidad, y al modificarse su ambiente han disminuido de manera considerable la puesta de huevos, aunado a esto, hay una

sobreexplotación de esta especie, ya que no existen vedas como medida de administración de la pesquería, además, la introducción de especies exóticas que compiten por espacio, alimento y zonas de reproducción, las limita seriamente (Pérez-Vega, 2006).

## **Requerimientos de proteínas y lípidos en peces Teleósteos**

### *Proteínas y aminoácidos esenciales.*

Los nutrientes requeridos por los peces para realizar sus funciones fisiológicas como el crecimiento y la reproducción son similares a los requeridas por los organismos terrestres. Los peces necesitan consumir proteínas, minerales, vitaminas y lípidos entre otros nutrimentos; esto lo pueden hacer de dos maneras en su hábitat natural a partir del alimento disponible en el cuerpo de agua o bien a partir de dietas balanceadas preparadas para cubrir sus requerimientos nutricionales. En las especies confinadas como es el caso de la acuicultura intensiva, el alimento natural está restringido y por lo tanto los organismos requieren de una dieta que cubra todos sus requerimientos nutricionales. De hecho los requerimientos de los peces no varían entre las especies sobre todo de aquellas que tienen hábitos alimenticios similares, ya sean herbívoros, omnívoros o carnívoros, así por ejemplo los primeros requieren valores más bajos de proteína cruda (PC) (20 a 35% de proteína cruda PC), los segundos valores intermedios de 35 a 40% y los últimos hasta más de 45% de PC (Lovell, 1991).

Puesto que los peces son organismos poiquiloterms regulan la temperatura del medio con su cuerpo, de tal manera que el consumo de alimento y la tasa de crecimiento se incrementan a medida que sube la

temperatura y viceversa disminuye cuando la temperatura baja (DeLong y col., 1958). Los peces son alimentados con porcentajes más altos de proteína que los organismos terrestres y esto no obedece a que los peces requieran cantidades mayores de proteínas, sino que tienen requerimientos más bajos de energía, así comparativamente las especies cultivadas como por ejemplo la tilapia requieren de 30 a 35% de PC, mientras que en contraste los pollos de engorda requieren de 18 a 23% de PC (NCR, 1991). Los peces requieren al menos 10 aminoácidos esenciales (AAE), excepto la arginina, la cual el pez puede sintetizar y los requerimientos de aminoácidos son similares a otros organismos (NCR, 1991).

El contenido proteico de alta calidad contenido en los alimentos es un requisito indispensable para cubrir las necesidades de los organismos cultivados y para el buen funcionamiento de la industria acuícola. La calidad radica en el tipo y composición de los ingredientes que se utilicen, la formulación de las dietas y los métodos empleados para su elaboración. La formulación de las dietas será de acuerdo con el requerimiento proteico de la especie a cultivar, con la finalidad de obtener los máximos rendimientos productivos de la granja. En la elaboración de los alimentos acuícolas, las fuentes de ingredientes pueden ser incluidas en cuatro categorías bien definidas: a) fuentes de energía, b) proteína, c) vitaminas y d) aditivos no nutricionales (Campabadal y Celis, 1996).

Aparentemente todos los peces teleósteos requieren al menos diez aminoácidos esenciales (AAE): arginina (Arg.), histidina (His.), isoleucina (Ile.), leucina (Leu.), lisina (Lis.), metionina (Met.), fenilalanina (Fen.), treonina (Treo.), triptófano (Trip.) y valina (Val.). La cistina comparte parte de los

requerimientos de metionina, al menos en la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). Los requerimientos de proteína y AAE en los peces varían con la especie, la edad del pez y el contenido de energía en la dieta. La variación entre especies fluctúa desde 33% de Val. hasta el 175% de Trip. Sin embargo, se requieren de más investigaciones utilizando dietas experimentales y experimentos para conocer más a fondo estas relaciones (Ketola, 1982).

Una de las razones que frena el desarrollo de investigaciones acerca de los requerimientos de AAE en los peces, es que se requiere realizar al menos 10 experimentos, uno para cada uno de los AAE, lo cual consume mucho tiempo. No obstante, existen ejemplos de este tipo de trabajo experimental como el de Ravi y Devaraj (1991) con la carpa Hindú (*Catla catla*). Otro aspecto que limita el interés por esta clase de estudios es la creencia de que cuando se incorpora una fuente de proteína como la harina de pescado en las dietas, la probabilidad de la deficiencia de un AAE es remota. No obstante, debido al crecimiento de la piscicultura a nivel mundial y al incremento en la demanda de la harina de pescado y la necesidad de utilizar fuentes de proteína no convencionales, el conocimiento de la composición de los AAE para la mayoría de las especies de importancia comercial es necesario, considerando también la formulación de dietas balanceadas que reduzcan los costos de los alimentos (Ngamsnae y col., 1999).

La deficiencia de algún AAE puede propiciar enfermedades nutricionales, ya que una dieta incompleta produce una tasa de crecimiento reducido, un factor de conversión de alimento (FCA) alto y reducción en el apetito, además de problemas como cataratas, escoliosis y lordosis entre otros.

Sin embargo, algunos estudios han demostrado que la deficiencia de un AAE no se manifiesta de la misma manera entre las especies (Ketola, 1982).

Los requerimientos de AAE han sido reportados en la mayoría de las especies de peces Teleósteos de importancia comercial como la trucha arco iris, el salmón, el bagre de canal y la tilapia entre otras; las investigaciones se han concentrado en la alimentación de juveniles para alcanzar una talla comercial en el menor tiempo posible y los resultados obtenidos indican que existe una similitud en los requerimientos de los 10 AAE para estas especies, para poder realizar sin problemas sus procesos metabólicos y el crecimiento. Se han encontrado requerimientos AAE ligeramente diferentes entre las especies; así por ejemplo el salmón requiere valores más elevados de Arg., el bagre de canal tiene bajos requerimientos de Hys. y la anguila japonesa requiere valores más elevados de Trip. Sin embargo, cuando los requerimientos cuantitativos son expresados como porcentaje de la proteína, entonces se observa una armonía entre los valores necesitados para obtener un crecimiento máximo en las especies examinadas (Wilson, 1989).

### *Lípidos.*

La fuente de obtención de energía se encuentra principalmente en los llamados macronutrientes como los lípidos y carbohidratos, los cuales están presentes en las dietas elaboradas, así como también, las proteínas que son utilizadas básicamente para el crecimiento. Otros elementos importantes son los micronutrientes como las vitaminas y minerales, éstos se utilizan para el transporte de proteínas con lo cual se garantiza el crecimiento de los organismos. Los organismos requieren utilizar moléculas del alimento como

substrato para proveerse de energía por medio del proceso de respiración y canalizarla al mantenimiento de sus funciones metabólicas y la reproducción (Jobling, 1994).

Se han realizado numerosas investigaciones sobre el aporte cuantitativo de los lípidos en la alimentación de los peces Teleósteos, buscando mejorar los rendimientos acuícolas y la conservación del medio ambiente. Las tendencias actuales en materia de la alimentación piscícola, son aumentar el contenido de lípidos en los alimentos. Así por ejemplo, en estudios hechos en 1979 por Takeuchi y col. en la trucha arco iris *Oncorhynchus mykiss*, observaron que al aumentar del contenido de lípidos del 14 al 20% en la dieta se mejoraron los resultados del crecimiento y de la eficiencia alimenticia, incluso disminuyendo el contenido proteico (Tabla 1).

**Tabla 1. Influencia del contenido de lípidos sobre la eficiencia de utilización de los nutrientes en la trucha arco iris (de acuerdo con Takeuchi y col., 1979).**

Alimentos	Alimento A "Clásico"	Alimento B "Enriquecido con lípidos"
Lípidos (%)	14	20
Proteínas (%)	44	37
Energía digestible (kJ/g)	17	17
Crecimiento (%/día)	1,91	2.21
Índice de consumo	1,31	1.10
CEC (coeficiente de eficiencia en crecimiento)	1,74	2.43
Proteínas (g) necesarias por kg de producción	575	412
N desechado/kg de producción (g)	63.5	39.7

Otro estudio hecho en salmónidos, estimó que un contenido de lípidos del 15 al 20% permite reducir el contenido proteico del 48 al 35%, sin alterar los resultados del crecimiento. Se observó el mismo aumento en la eficiencia proteica, así como una mejor utilización de la energía. Este efecto benéfico de los lípidos sobre la eficiencia alimenticia se atribuye a su densidad energética (Sheridan, 1988).

Actualmente, existen datos referentes al nivel óptimo de lípidos para varias especies (Tabla 2). No obstante, estos valores pueden quedar obsoletos; ya que durante el último decenio el contenido lipídico de los alimentos para salmónidos no ha dejado de aumentar, sobrepasando hoy en día muchas ocasiones el 30% (Watanabe, 1982). Asimismo, se debe precisar que estas normas no se pueden emplear por sí solas, sino que debe considerarse igualmente la relación proteína digestible/energía digestible (PD/ED). Aunque se hayan determinado valores óptimos para los lípidos en especies como la trucha arco iris, el salmón del Atlántico, la lubina y el jurel, por señalar algunas, es prematuro generalizar estos resultados para aquellas especies donde no se han llevado a cabo experimentos y particularmente en las especies difíciles de alimentar con dietas que contengan niveles elevados de lípidos.

**Tabla 2. Contenido óptimo de incorporación de materias grasas en algunas especies de peces Teleósteos.**

<b>Nombres Comunes</b>	<b>Contenido Lipídico (%)</b>
Trucha	18-20
Carpa	<18
Tilapia	<10
Dorada	12-15
Dorada japonesa	10
Rodaballo	<5
Lubina	12-15
Seriola	11
Tambor rojo	7-11
Perca gigante	13-18
Pez globo	<6
Sabalote	7-10
Mero	13-14
Lenguado común	5

Los principales lugares de almacenaje de los lípidos en los peces son el hígado, el tejido perivisceral o el músculo único. En estudios hechos sobre contenidos de lípidos se ha observado que en numerosas especies como la

trucha arco iris, carpa común, bagre de canal, dorada, etc., las dietas con un fuerte contenido de lípidos sobre todo si son distribuidas *ad libitum* conducen a modificaciones en la composición corporal, en la materia fresca, los depósitos de lípidos crecen porcentualmente, mientras que el contenido de agua disminuye y el contenido proteico por lo general, permanece invariable (Corraze, 1994).

### **Digestibilidad**

La primera tarea a efectuar al momento de valorar el potencial de un insumo convencional o no convencional, cuando se considera incluirlo en una dieta balanceada es medir su digestibilidad. El registro de la digestibilidad resulta difícil porque hay que separar las heces del pez del agua y evitar su contaminación con la dieta consumida y la no ingerida. Este problema ha necesitado del uso de técnicas distintas de las utilizadas para medir la digestibilidad en mamíferos y aves. Nose (1960), recogió muestras del contenido rectal por medio de presión manual suave en el abdomen de los peces. Windell y col. (1978) obtuvieron muestras de contenido rectal por succión a través del ano o mediante disección del pez. Sin embargo, la obtención de heces por cualquiera de estos métodos implica una manipulación del pez y un considerable estrés.

Smith (1971), confinó a los peces en cámaras metabólicas y recogió las heces que eran vertidas de manera natural al agua. Ogino y col. (1973), recogieron las heces pasando el agua del efluente de los estanques a través de una columna de filtración. Cho y col. (1975), usaron una columna de sedimentación para separar las heces del agua del efluente, en tanto que

Choubert y col. (1979) utilizaron una pantalla rotatoria mecánica para filtrar la materia fecal. A su vez Cho y col. (1982) realizaron un análisis comparativo de los valores de los coeficientes de digestibilidad aparente (CDA) conseguidos por diferentes métodos.

Generalmente para este tipo de estudios se requiere de un marcador inerte que debe cumplir los siguientes requisitos: a) tener la capacidad de ser incluido en el alimento en forma homogénea y fácil de determinar en el laboratorio aún en bajas concentraciones, b) debe ser indigestible y no afectar el metabolismo del animal y c) debe ser higiénico y amigable con el ambiente. Entre los marcadores más usado en estudios de digestibilidad en peces se encuentra el óxido de cromo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) y también se ha utilizado el óxido de itrio ( $\text{Y}_2\text{O}_3$ ) aunque su uso es menos masivo, ya que la metodología es menos conocida (Bórquez y col., 2002; Glencross, 2003).

Los resultados de digestibilidad son importantes para estudios de nutrición en los peces, para realizar cálculos energéticos y evaluar alimentos no-convencionales que pueden ser utilizados en la preparación de dietas balanceadas sobre todo cuando se utilizan ingredientes de origen vegetal como es el caso de la harina de soya, donde algunas veces hay que eliminar los factores antinutricionales (Burel, 2000).

## ANTECEDENTES

### **Antecedentes de la Tenguayaca *P. splendida***

A pesar de ser un cíclido nativo de importancia económica, ecológica y científica, las investigaciones realizadas sobre esta especie son escasas y diversas. Devresse y col. (1988), realizaron una valorización de las marismas por el desarrollo de la pesca y las potencialidades de explotación de los cíclidos en el río San Pedro, Tabasco, México. En 1989 Lamothe y col. encontraron una forma infectiva de *Gnathostoma* en cíclidos de la presa Temascal, Oaxaca, México; Noiset (1996), efectuaron un estudio sobre la dinámica de poblaciones y la explotación de tres cíclidos Teleósteos en la zona inundable del río San Pedro, Tabasco, México. Lamothe-Argumedo y col. (1997), estudiaron la especie *Campechetrema herrerae* en los intestinos de la *P. splendida*. En el año 2000, Valtierra y Schmitter desarrollaron un estudio sobre los hábitos alimenticios de diferentes especies de cíclidos; Wainwright y col. (2001), hicieron una evaluación del uso de ram y del mecanismo de succión en la mandíbula de esta especie durante la captura de presas; Waltzek y Wainwright (2003) desarrollaron un trabajo sobre la morfología funcional de la quijada protráctil en cíclidos neotropicales. Kifune y col. (2004), trabajaron con el parásito *Gnathostoma binucleatum* en peces dulceacuícolas de Tabasco, México. En el 2005, Hulsey y García de León realizaron un estudio sobre la mecánica de las quijadas de los Cíclidos; en el 2006, Pérez-Vega y col. hicieron una descripción del crecimiento del folículo ovárico en los cíclidos neotropicales *Petenia splendida* y *Parachromis managuensis*. Pérez-Sánchez y Páramo-Delgadillo en 2008, describieron el cultivo de los cíclidos del sureste

de México. Posteriormente, Vidal-López y col. en 2009, realizaron la masculinización del cíclido nativo tenguayaca, *Petenia splendida*, utilizando nauplios de *Artemia franciscana* como vehículo del esteroide 17- $\alpha$  metiltestosterona. Finalmente, Jiménez-Martínez y colaboradores en 2009, evaluaron el crecimiento larval y la sobrevivencia de la mojarra mexicana *Cichlasoma urophthalmus* y la Tenguayaca *Petenia splendida* bajo diferentes densidades.

### **Antecedentes sobre los requerimientos de proteínas y lípidos.**

Han sido diversas las investigaciones llevadas a cabo para conocer los requerimientos de lípidos y proteínas en diferentes especies de peces Teleósteos, con el principal objeto de optimizar su desarrollo y disminuir el tiempo de crecimiento, así como los costos de la alimentación. El porcentaje de estos requerimientos varía considerablemente entre las especies, siendo diferente entre las carnívoras y las herbívoras, principalmente en el porcentaje de proteínas, ya que las especies carnívoras requieren una mayor cantidad de proteína para su óptimo desarrollo, en comparación con las especies herbívoras. Dado que la Tenguayaca es una especie carnívora y sus requerimientos de proteína son elevados, a continuación se hace una revisión bibliográfica actualizada sobre este tema en particular.

No existen estudios publicados sobre los requerimientos nutricionales en las crías de la Tenguayaca (*P. splendida*), particularmente, en los que se refiere a las proteínas y lípidos. Sin embargo, la literatura científica publicada en las últimas décadas aborda el tema de los requerimientos de proteínas y lípidos, para diferentes especies carnívoras por lo que para fines de

comparación se revisó el estado del arte de la nutrición en las principales especies carnívoras.

Un trabajo pionero para analizar los requerimientos de proteínas se realizó en el salmón Chinook (*Oncorhynchus tshawytscha*) por De Long y col. en 1958, y el diseño experimental utilizado en este trabajo ha sido considerado como punto de referencia para la determinación de los requerimientos nutricionales de distintas especies de peces teleósteos. Los ensayos se llevaron a cabo con organismos juveniles de salmón durante un periodo de tiempo suficientemente largo, con dietas que contenían diferentes porcentajes de proteínas, un adecuado aporte calórico y una cantidad importante de nutrientes esenciales. A partir de este trabajo han sido incontables las investigaciones que se han hecho para medir los requerimientos de proteínas para diferentes especies. Una secuencia histórica relata que en 1964, Halver y col. trabajaron con el salmón (*Oncorhynchus nerca*) a una temperatura constante de 10 °C y obtuvieron un porcentaje óptimo de proteínas del 45 %. En 1973, Sabaut y Luquet investigaron con robalo rayado (*Chrysophrys aurata*) a una temperatura constante de 21 °C, obteniendo un porcentaje óptimo de proteína del 38%, en 1974, Alliot y col. al experimentar con la lubina (*Dicentrarchus labrax*) a una temperatura constante de 22 °C, encontraron un porcentaje óptimo de proteínas del 52 %; en 1975, Cowey y col. cultivaron el lenguado (*Pleuronectes platessa*) a una temperatura constante de 16 °C y registraron un porcentaje óptimo de proteínas del 50 %; en 1976, Cho y col. probaron distintas dietas con diferentes contenidos de proteínas en la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) a una temperatura constante de 15 °C, obteniendo un porcentaje óptimo de proteína del 40 %; en 1979, Murai y col.

trabajaron con el "American shad" (*Alosa canadiense*) y estimaron un porcentaje óptimo de proteínas del 42.5 %; en 1980, Kanasawa y col. experimentaron con el "Buffer fish" (*Fugu rubripes*) a una temperatura entre 25 y 26 °C y encontraron un porcentaje óptimo de proteína del 50 %. En 1981, Anderson y col. cultivaron la lobina negra (*Micropterus salmoides*) a una temperatura constante de 23 °C, y reportaron un porcentaje óptimo de proteína entre el 40 y 41 %. Millikin (1982) encontró que el robalo rayado (*Morone saxatilis*) a una temperatura de 24.5 °C, requiere un porcentaje óptimo de proteína del 55 %. Este mismo autor en 1983, analizó los efectos interactivos entre proteínas y lípidos en dietas experimentales con la misma especie de robalo rayado y encontró que en la dieta experimental con el más alto contenido de proteínas y lípidos (57 % de proteína cruda y 17 % de lípidos) los peces presentaron un mayor crecimiento, una mejor eficiencia alimentaria, una buena relación proteína/eficiencia y la retención de la proteína fue mejor.

Tibaldi y col. (1993) evaluaron la respuesta de crecimiento del Dentex (*Dentex dentex*) variando los niveles de proteína y lípidos en dietas prácticas Lazo y col. en 1998, publicaron un artículo sobre los efectos de los niveles de proteína sobre el crecimiento, eficiencia alimentaria y sobrevivencia del pámpano (*Trachinotus carolinus*); en este estudio se demostró que los juveniles del pámpano requieren un mínimo de 45 % de proteína para obtener un máximo crecimiento y una alta tasa de eficiencia alimentaria, siempre y cuando la harina de pescado y la harina de soya sean las fuentes de proteína.

En la última década, los estudios sobre los requerimientos de proteínas y lípidos en diferentes especies de peces teleósteos continuaron. Así por ejemplo en el 2001, Chou y col. desarrollaron una dieta óptima con niveles de

proteínas y lípidos para los juveniles de cobia (*Rachycentron canadum*), reportando que el óptimo de proteína en la dieta correspondió a 44.5 % para esta especie. En el año 2001 Morais y col., analizaron los efectos de crecimiento, utilización del alimento, composición del músculo y la histología hepática del Bacalao (*Gadus morhua*), utilizando diferentes concentraciones de proteínas y lípidos; los autores encontraron que una dieta que contenga 48 % de proteína cruda y 16 % de lípidos es la mejor para mantener la tasa de crecimiento, la utilización de alimento y el costo de producción; Catacutan y col. 2001, midieron los efectos de los diferentes niveles de lípidos y proteínas sobre las dietas y la relación que existe con la energía sobre el crecimiento, la sobrevivencia y la composición corporal de pargo de mangle rojo (*Lutjanus argentimaculatus*). Los resultados indicaron que las dietas conteniendo 44 % de proteína con una relación Proteína/Energía de 23.3 mg proteína  $\text{kJ}^{-1}$  fue la óptima para mantener el crecimiento de los pargos. Santinha y col. (2001) experimentaron sobre los efectos de la relación lípidos/proteína sobre el crecimiento y la utilización de nutrientes con la brema marina (*Sparus aurata*) encontrando que el crecimiento fue igual en las dietas conteniendo de 47 a 51 % de proteína y de 15 a 21 % de lípidos. Sin embargo, la retención de nitrógeno fue significativamente más alta en las dietas que contenían mayores niveles de lípidos. Lupatsch y col. (2001) trabajando con esta misma especie experimentaron variando la proteína y la energía suministrada en dietas prácticas incrementando los niveles de energía digerible (ED) y disminuyendo la proteína cruda digerible (PCD) y encontraron que la óptima utilización y depositación de proteína fue la que presentó un radio PCD/ED de 0.47. Gunasekera y col. en el 2001, realizaron una investigación con el "Murray cod"

(*Maccullochella peelii peelii*) una especie de agua dulce con potencial en la acuicultura, utilizando dietas experimentales con diferentes niveles de proteína de 40 a 60 %. Los resultados demostraron que la dieta experimental que presentó un mayor incremento en peso y una alta tasa específica de crecimiento fue la dieta que contenía 50 % de proteína, aunque no se observaron diferencias significativas en las dietas de 50 a 60 % de proteína. También en el 2001, Kim y Lall, analizaron el efecto de distintos niveles de proteína en dietas experimentales en el crecimiento, utilización de la proteína y energía de juveniles del “Haddock” (*Melanogrammus aeglefinus*), con niveles de proteína de 45 a 65 %, registrando que no se presentaron diferencias en la ganancia de peso entre las dietas. No obstante, la ganancia de energía más alta fue obtenida con la dieta que contenía 50 % de proteína; Kim y col. en el 2002, analizaron el nivel óptimo de proteína para obtener el máximo crecimiento en el lenguado (*Paralichthys olivaceus*), encontrando que el nivel óptimo se encuentra en 57.7 % para obtener el máximo crecimiento. También, en el año 2002 Lupatsch y col., estudiaron los requerimientos de energía y proteína para mantenimiento y crecimiento de la brema marina (*Sparus aurata*), los requerimientos de energía fueron calculados de  $55.8 \text{ kJ peso total (kg)}^{-0.83}$  y para la proteína de  $0.86 \text{ g peso total}^{-0.70}$  respectivamente y la utilización de la energía digestible y la digestibilidad de la proteína cruda para el crecimiento fue de 0.48 y 0.28. Lin y Shiau (2003) describieron los requerimientos de lípidos del guachinango (*Epinephelus malabaricus*) y sus efectos sobre la respuesta inmune; los organismos alimentados con 4 a 12 % de lípidos presentaron una mayor ganancia de peso, mayor cantidad de glóbulos blancos y actividad de las lisozimas, concluyendo que 9 % de lípidos es más que suficiente para

mantener un adecuado crecimiento. Poniak y col. (2004) evaluaron el efecto de dietas con diferentes proporciones de proteínas y lípidos sobre la respuesta productiva y características de la canal del salmón del Pacífico (*Oncorhynchus kisutch*) y observaron que los resultados de la respuesta productiva fueron similares entre los tratamientos, excepto en el peso final donde la dieta 2 que contenía 45 % de proteínas y 22 % de lípidos presentó resultados significativos con respecto a las otras dietas, además, señalaron que la decisión final del contenido de lípidos debe basarse en mejorar la eficiencia de conversión alimenticia y en la rentabilidad del cultivo. Skalli y col. (2004), evaluaron los efectos de diferentes concentraciones de lípidos y proteínas en el crecimiento y utilización de nutrientes en el Dentex (*Dentex dentex*) en diferentes estados de crecimiento. Los resultados mostraron que los niveles de energía dietéticos para el mantenimiento de los organismos fueron de 22 kJ g<sup>-1</sup> con niveles de proteína de 50%. Miller y col. (2005), analizaron el efecto de las proteínas y lípidos en el crecimiento y composición del cuerpo de juveniles y subadultos del guachinango (*Lutjanus campechanus*) y encontraron que las inclusiones de proteína de 32 a 36 % son suficientes para mantener un buen crecimiento, en tanto que los lípidos deben estar alrededor del 10% para cubrir las demandas energéticas de los juveniles y subadultos.

Bright y col. (2007), analizaron el efecto de la relación proteínas/lípidos sobre el crecimiento y composición del cuerpo en juveniles de la lobina negra (*Micropterus salmoides*). Los resultados mostraron que a un nivel de 40% de proteína y de 7 a 16 % de lípidos en las dietas es suficiente para soportar un eficiente crecimiento, sin impactar la composición del cuerpo. Portz y col. (2008) estudiaron la respuesta en el crecimiento y la composición del cuerpo

de juveniles de lobina negra (*M. salmoides*) alimentadas con dietas con diferentes niveles de tasa proteína/energía. Los resultados señalan que los juveniles requieren para ganar un máximo 8.0 g kg<sup>-1</sup>, de 435.9 g kg<sup>-1</sup> de proteína cruda y que los límites de energía de la relación proteína/energía es de 25.01 y 26.89 mg de proteína kJ<sup>-1</sup>, con lo que es posible obtener un factor de conversión alimenticio (FCA) de 0.96 a 1.10. Schuchardt y col. (2008) evaluaron el efecto de dietas experimentales con diferentes niveles de proteínas y lípidos, sobre el crecimiento, utilización del alimento y la composición del cuerpo de crías de pargo (*Pagrus pagrus*), observaron que todas las dietas evaluadas producen alta acumulación de glicógeno en el hígado y la dieta óptima sugerida de proteínas y lípidos para alimentar a las crías es de 500 y 150 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. En el 2009, Zuanon y col. realizaron un estudio para conocer los requerimientos de proteína y energía del Cíclido Pez Ángel (*Pterophyllum scalare*), los resultados indicaron que una dieta de 26% de proteína cruda y 3 100 kcal energía de la Dieta (ED)/kg puede cubrir los requerimientos de los juveniles.

## JUSTIFICACIÓN

Aunque la Tenguayaca *P. splendida* es un Cíclido nativo de importancia comercial, ecológica y de interés científico, los trabajos de investigación que se han desarrollado sobre esta especie, son escasos y dispersos. Debido a la falta de información y a una inconsciente sobreexplotación de las poblaciones naturales de esta especie que en los últimos años ha disminuido de manera drástica, con lo que se pone en riesgo su viabilidad económica, dado que la Tenguayaca ha sido el sustento de numerosas poblaciones rivereñas que viven de este recurso.

La acuicultura en México ha tenido un crecimiento considerable en las dos recientes décadas y ha alcanzado una gran importancia comercial, así como también cada día existe un mayor interés de la comunidad científica de realizar investigaciones con las especies nativas. El cultivo de especies nativas como la Tenguayaca puede ser la solución que permita recuperar a las poblaciones naturales que ahora se encuentran sobreexplotadas, en peligro o bien en riesgo de extinción.

Uno de los principales condicionantes para que se desarrolle el cultivo controlado de cualquier especie, es la nutrición y la alimentación, ya que esta directamente relacionada con el desarrollo del organismo en todas las etapas de su historia de vida. Una dieta balanceada que cubra las necesidades particulares de cada especie, permite que se desarrolle en un menor tiempo y de una mejor manera, disminuyendo considerablemente los costos de producción.

El presente trabajo se justifica debido a que hay pocos trabajos que estudien los requerimientos tanto de proteínas y lípidos para la especie objeto del presente estudio.

## PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

La acuicultura mundial se encuentra en constante crecimiento y adquiere un nivel de importancia económico fundamental para generar alimentos de elevada calidad nutritiva, generar empleos y captar divisas; sin embargo, el desarrollo y consolidación de esta rama científica requiere el apoyo de otras ciencias entre ellas cabe destacar a la biología reproductiva, la biología del desarrollo, la nutrición y alimentación, la economía y la sociología. La nutrición y alimentación juega un papel fundamental en el dominio del cultivo de una especie ya que está directamente relacionada con su crecimiento, desarrollo y reproducción; por lo que en la actualidad se busca elaborar dietas que cubran los requerimientos nutritivos de una especie lo que es vital para el éxito del cultivo y su rentabilidad.

Desafortunadamente, en nuestro país existe escasa información sobre los requerimientos individuales de alimentación y nutrición de las especies nativas como es el caso de la Tenguayaca y de otras especies de Cíclidos nativos. Por lo tanto, considerando la importancia relevante que tienen las proteínas y los lípidos en las dietas balanceadas de los peces Teleósteos, surge el interrogante de ¿Cuáles son los requerimientos de proteína y lípidos de las crías de Tenguayaca cultivadas en condiciones controladas en un sistema cerrado de recirculación?

## HIPÓTESIS

En el presente trabajo se presentan dos hipótesis:

Ho: Ninguna de las dietas elaboradas con diferentes concentraciones de proteínas (30%, 40% y 50%) y con diferentes concentraciones de lípidos (6% y 12% para cada dieta respectivamente), satisface los requerimientos nutricionales de las crías de la Tenguayaca (*P. splendida*).

Ha: Al menos, alguna de las dietas elaboradas con diferentes concentraciones de proteína (30%, 40% y 50%) y con diferentes concentraciones de lípidos (6% y 12%), satisface los requerimientos nutricionales de las crías de la Tenguayaca (*P. splendida*).

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Evaluar los requerimientos de proteínas y lípidos en crías de *P. splendida*, en un sistema cerrado de recirculación.

### **Objetivos particulares**

- a) Determinar las concentraciones adecuadas de proteínas y lípidos para elaborar una dieta balanceada que permita un mejor desarrollo de las crías de la Tenguayaca *P. splendida*.
- b) Evaluar los bioindicadores de desempeño de crecimiento y eficiencia alimentaria en crías de Tenguayaca *P. splendida*, con distintas concentraciones de proteínas y lípidos, así como los contenidos de aminoácidos y ácidos grasos.
- c) Evaluar la calidad del agua del sistema cerrado de recirculación.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Descripción del sistema experimental**

Para realizar el presente experimento se utilizó un sistema cerrado de recirculación (SCR) instalado en la Planta Experimental de Producción Acuícola (PEXPA) en la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa. El SCR consta de doce recipientes de vidrio con un volumen de 40 litros de agua cada uno. Cada recipiente dispone de una entrada y un desagüe independiente. El sistema está dividido en dos subsistemas independientes de seis recipientes, cada uno, ambos conectados a una cisterna de sedimentación de plástico de 1 000 litros, que contiene un biofiltro en el centro. El biofiltro consiste en un recipiente de plástico de 100 L, con cuatro perforaciones circulares en la parte inferior con un diámetro de 2 ½", que sirven como desagüe. El biofiltro está compuesto de cinco capas de materiales: la primera capa contiene rocas de río; la segunda biósferas, la tercera contiene una capa de carbón activado, la cuarta delcrón y por último, el filtro en el fondo tienen una base tela de fibra de vidrio para impedir el paso de partículas de materia orgánica al sistema (Figs. 3 a la 6).



**Figura 3. Vista general del SCR utilizado en el presente experimento.**



**Figura 4. Detalle del sistema de alimentación de agua de los recipientes.**

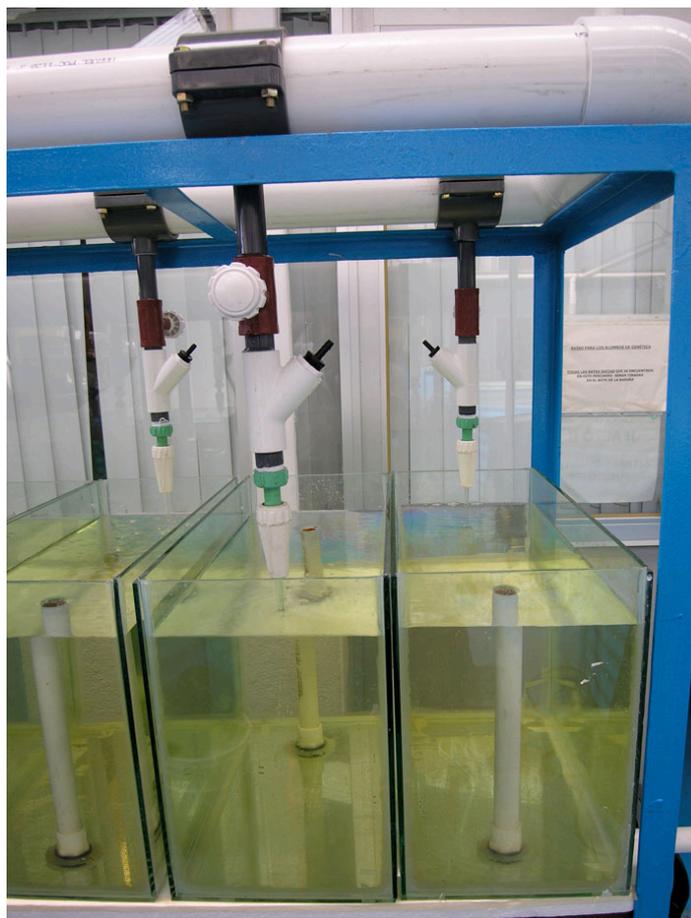


Figura 5. Se muestran la entrada y salida de agua de cada recipiente.

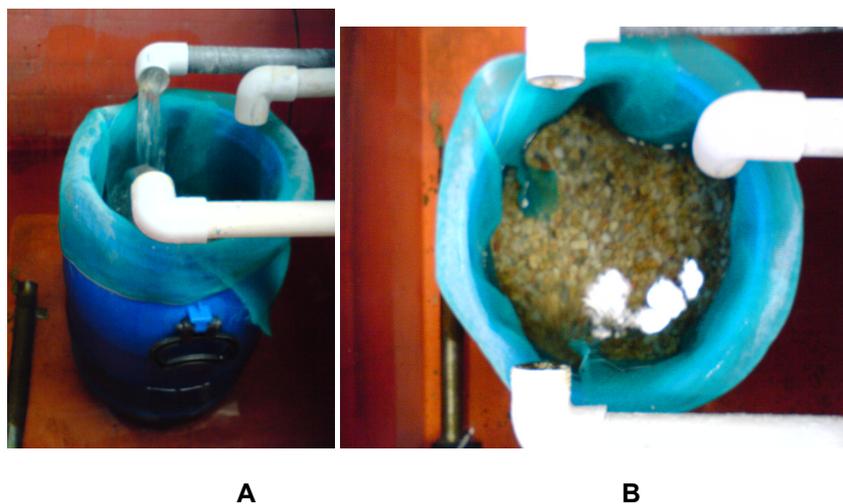


Figura 6. Filtro biológico incorporado al SCR: (A) vista lateral y (B) vista superior.

Cada recipiente recibe el agua de manera uniforme a través de un tubo tipo Venturi, conectado al sistema de aireación, donde se mantuvo en promedio

un flujo constante de 2.5 L/min, lo que permitió un recambio completo de agua cada 15 minutos, teniendo 96 recambios de agua cada 24 h. El agua de la cisterna es recirculada por medio de una bomba SeaLand modelo Ondina de ½ caballo de fuerza de 115 v; así también, en la cisterna se dispuso de dos calentadores marca Dymax digitales de 1,000 W que mantuvieron la temperatura del agua a  $29 \pm 1$  °C.

### **Origen de los organismos.**

Las crías de Tenguayaca *P. splendida* utilizadas en el presente experimento fueron donadas por la División Académica de Ciencias Agropecuarias, perteneciente a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco en Villahermosa, Tabasco. Las crías fueron seleccionadas y transportadas en una bolsa de plástico dentro de un recipiente de 50 L, donde se mantuvieron con aireación constante durante el viaje con ayuda de una bomba de aire de pilas marca AZOO. A su arribo a la PExPA, los organismos fueron colocados en un recipiente de plástico con una capacidad de 1 000 L, donde se mantuvieron en cuarentena previos al inicio del experimento. Durante este tiempo se alimentaron con el 20 % de su biomasa total diaria, con inicia-harina de trucha arco iris de la marca Silver Cup (El Pedregal, Silver Cup, Toluca, Estado de México) que contiene 47 % de proteína y 16 % de lípidos.

### **Análisis de calidad del agua**

A lo largo del experimento se registró diariamente la temperatura del agua y el oxígeno disuelto (OD) con un Oxímetro YSI modelo 55. Semanalmente se midieron el pH con un potenciómetro digital Lauka modelo

8010 y las especies químicas derivadas del nitrógeno: nitritos ( $\text{N-NO}^{2-}$ ), nitratos ( $\text{N-NO}^{3-}$ ) y nitrógeno amoniacal total (NAT) con un equipo digital marca Hach, modelo DR 5000.

### **Diseño experimental**

Se utilizó un diseño experimental de bloques completamente aleatorizado con dos repeticiones. En cada recipiente se colocaron 17 crías de Tenguayaca con un peso total húmedo (PT) de  $0.18 \pm 0.05$  g y una longitud total (LT) de  $2.17 \pm 0.25$  cm.

Las crías se mantuvieron en el SCR durante dos semanas previo al inicio del experimento, con la finalidad de que se adaptaran al sistema. Durante este tiempo se alimentaron con iniciaharina de trucha (El Pedregal, Silver Cup, Steelhead: 47 % de proteína y 16 % de lípidos) y una semana antes de iniciar el experimento se les suministró las dietas experimentales correspondientes. Un día antes de dar inicio al experimento se les dejó en ayuno completo para vaciar el contenido estomacal e iniciar en tiempo cero. Al inicio del experimento y cada 15 días durante cuatro meses, las crías se pesaron con una balanza analítica Plus modelo AP110S y se midieron con un vernier graduado en milímetros y decimas de milímetros.

Las crías se alimentaron con sus respectivas dietas, en proporción del 8 % de su biomasa diaria en tres raciones (10:00, 14:00 y 18:00 h), durante un periodo de 120 días. El alimento se pesó diariamente, antes y después de la ingesta para conocer la cantidad exacta de alimento total consumido.

## Formulación de las dietas

Con la ayuda de un programa creado en una a hoja de cálculo Excel (**Anexo I**), se elaboraron las seis dietas experimentales con la siguiente proporción de proteína/lípidos: 1 (30/6), 2 (30/12), 3 (40/6), 4 (40/12), 5 (50/6) y 6 (50/12). El total requerido de los ingredientes necesarios para cada dieta se presenta en la tabla 3.

**Tabla 3 Total requerido en gramos de los insumos para preparar 500 g de las dietas experimentales**

Ingredientes	Dietas experimentales					
	1 (30/6)	2 (30/12)	3 (40/6)	4 (40/12)	5 (50/6)	6 (50/12)
Harina de pescado (Prime) <sup>1</sup>	132.5	132.5	176.6	176.6	154.54	287.0
Extrudizado de Soya <sup>2</sup>	142.5	142.5	190.0	190.0	308.8	166.3
Aceite de pescado	0	8.2	0	0.95	0	0
Aceite de maíz	8.2	30.0	0.95	30	2.2	15.18
Almidón	186.8	156.8	102.4	72.4	4.4	1.5
Premezcla mineral <sup>3</sup>	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Premezcla vitamínica <sup>4</sup>	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Carboximetil celulosa	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Óxido de cromo	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
<b>Total</b>	<b>500</b>	<b>500</b>	<b>500</b>	<b>500</b>	<b>500</b>	<b>500</b>

**Dietas:** 1 (30/6) = 30% de proteína y 6% de lípidos; 2 (30/12) = 30% de proteína y 12% de lípidos; 3 (40/6) = 40% de proteína y 6% de lípidos; 4 (40/12) = 40% de proteína y 12% de lípidos; 5 (50/6) = 50% de proteína y 6% de lípidos y 6 (50/12) = 50% de proteínas y 12% de lípidos.

**Insumos:** 1) Harina de pescado: proteínas = 56.6%; lípidos = 14.6%; carbohidratos = 0.05%; ELN = 5.64%; energía bruta = 20.12 kJ g<sup>-1</sup>; energía digerible = 28.4 kJ g<sup>-1</sup>. 2) Extrudizado de soya = proteínas = 52.6%; lípidos = 1.7%; carbohidratos = 3.5%; ELN = 28.1%; energía bruta = 17.91 kJ g<sup>-1</sup>; energía digerible = 6.70 kJ g<sup>-1</sup>, 3) Premezcla de minerales de acuerdo con Merola y Cantelino (1987), 4) Premezcla de vitaminas de acuerdo con Dickson (1987).

Las premezclas tanto de vitaminas como de minerales fueron constantes en cada dieta. Las harinas de trigo y de pescado fueron las principales fuentes de proteína. Los ingredientes secos fueron mezclados de manera manual, de menor a mayor porcentaje del nivel requerido en las dietas, en una mezcladora casera. Con el objetivo de lograr una mejor homogeneización de los ingredientes se colocaron los ingredientes secos y por último se agregaron los

aceites. Una vez obtenida esta mezcla, se adicionó agua con almidón previamente gelatinizado. Para formar los piensos, la pasta obtenida se pasó varias veces en un molino para carnes. Los piensos obtenidos se secaron en una estufa a 50 °C por 24 horas; posteriormente se almacenaron en bolsas de plástico etiquetadas para finalmente refrigerarse a 4 °C. Cada semana se extrajo el porcentaje de alimento requerido para proporcionar a los crías.

### **Análisis químicos proximales (AQP)**

De cada dieta se tomó una muestra de 30 g para realizar los análisis químico proximales (AQP) y se cálculo la energía bruta y la energía digerible (Tabla 4). La energía bruta fue estimada usando los siguientes coeficientes: 23.6 kJ g<sup>-1</sup> para la proteína cruda; 39.5 kJ g<sup>-1</sup> para fibra cruda y 17.2 kJ g<sup>-1</sup> para carbohidratos (NRC, 1991). El contenido de la energía digerible en las dietas experimentales fue calculado usando los coeficientes de digestibilidad 20.9, 35.1 y 11.0 para proteína cruda, lípidos y carbohidratos respectivamente (Hillestad y col., 1999). También, se calculó la relación proteína/energía bruta y la relación proteína cruda digerible/ energía digerible de acuerdo con Lupatsch y col., (2001 y 2002), Skalli y col. (2004) y Portz y col (2008).

#### *Materia seca*

Se utilizaron 2 g de las dietas experimentales, que se colocaron en charolas de aluminio en una estufa a una temperatura de 105 °C. Dos horas antes de iniciar la determinación se sacaron las cápsulas de la estufa y se colocaron en el secador, dejando entre abierta la tapa 15 min; transcurrido este tiempo se cerró la tapa y se dejó así cinco minutos antes de pesar. Se pesó la

charola y los dos gramos de la muestra seca, se colocó en la estufa a secar toda la noche a una temperatura de 95 a 100 °C; transcurrido este tiempo las cápsulas se colocaron en un desecador para mantenerlo a peso constante, después de esto se pesó y con los datos obtenidos se calculó el porcentaje de materia seca con la siguiente fórmula:

$$\% M.S. = \left[ \frac{P_{cms} - P_{cc}}{P_{mi}} \right] (100)$$

Donde:

M.S. = materia seca, P<sub>cms</sub> = peso de la cápsula con muestra seca, P<sub>cc</sub> = peso de la cápsula constante y P<sub>mi</sub> = peso de la muestra inicial

### *Proteínas*

Para la determinación de proteína cruda (PC), se pesó un gramo de cada muestra y se colocaron dentro de los tubos digestores con todo y el papel en el que se peso. Se agregó 4 g de mezcla reactiva de selenio, luego se agregaron 20 mL de ácido sulfúrico concentrado (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Una vez preparada la muestra, se introdujeron los tubos en las rejillas del digestor, se colocó el tubo extractor en la boquilla de los tubos digestores y se conectó el extractor al purificador de gases. Una vez listo se comenzó con la digestión, primero con una temperatura media para el calentamiento y después se aumento la temperatura para iniciar la digestión. Una vez terminada la digestión en aproximadamente 45 min las muestras cambiaron de color a un verde claro, y se procedió a analizar las muestras en el determinador de proteína Buchi.

### *Grasa cruda ó extracto Etéreo*

Para la determinación de extracto etéreo (EE), se prepararon los vasos a peso constante por duplicado y se pesaron aproximadamente 2 g de muestra en un papel por duplicado y se colocaron dentro del dedal de celulosa. Se taparon con algodón y se colocó el anillo para después trasportarlos al extractor de grasa. A cada vaso se le agregaron aproximadamente 60 mL de éter de petróleo; se programó el extractor de grasa (modelo VELP scientific) y se procedió a la extracción. Una vez terminada la extracción, los vasos fueron llevados a la estufa a una temperatura de 100 °C, para después dejarlos secar y colocarlos en un desecador para obtener un peso constante, una vez en peso constante los vasos fueron pesados.

Los dedales fueron llevados a la campana por 10 a 15 minutos y posteriormente se colocaron en la estufa por 25 min para secarlos y guardarlos ya que sirven para la determinación de fibra cruda.

### *Fibra cruda*

La determinación de fibra cruda se hizo por medio de una digestión ácida y alcalina usando el método de filtrado. Primero, se pesaron las muestras desengrasadas, se colocaron las muestras en vasos de Berzelius de 600 mL, marcados previamente.

Para la digestión ácida, se agregaron 200 mL de solución de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) 0.26 N precalentado 15 min en cada vaso; se colocó el vaso Berzelius en el digestor y se esperó a que el contenido del vaso entrara en ebullición y a partir de ese momento se contaron 30 min.

Se filtro el contenido de los vasos con la ayuda de una tela de filtro sobre el embudo Buchner de porcelana, adaptado a un matraz de filtración conectado a una bomba de vacío: Los vasos fueron lavados con 200 mL de agua destilada precalentada procurando no dejar residuos. Con la ayuda de una espátula se raspó la tela intentando retirar la mayor cantidad de muestra, la cual se colocó nuevamente en un vaso para la digestión alcalina.

Para la digestión alcalina se agregaron 200 ml precalentados de la solución de hidróxido de sodio (NaOH) 0.32 N, se dejó 30 min en ebullición. Transcurridos los 30 min se volvió a filtrar; las muestras se lavaron con una porción precalentada de 25 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, tres porciones de 50 ml de agua destilada caliente y una porción de 25 ml de alcohol etílico.

Los residuos de las muestras se secarán en la estufa toda la noche a una temperatura de 50 °C. Al día siguiente con la espátula se rasparon los filtros que contenían las muestras tratando de recuperar la mayor cantidad posible.

Los residuos de las muestras se colocaron en crisoles que estaban a peso constante. Los crisoles con el residuo se colocaron en la estufa por una hora a una temperatura de 100 °C. Los crisoles se sacaron y se pusieron en un desecador para alcanzar el peso constante y posteriormente se pesaron. Estos crisoles con las muestras secas se mantuvieron en la mufla a 550 °C por 30 min, una vez fríos los crisoles se pusieron en el desecador para que alcanzaran el peso constante y una vez así se pesaron. El porcentaje de fibra cruda, se obtuvo por medio de la siguiente formula:

$$\%F.C. = \left[ \frac{P_{ics} - P_{f cc}}{P_{mi}} \right] (100)$$

Donde:

Pics = Peso inicial del crisol con muestra seca, Pfcc = Peso final del crisol con la muestra calcinada y Pmi= Peso muestra inicial

### *Cenizas*

Los crisoles se colocaron en la estufa a una temperatura de 105 °C durante 1 hora. Se pesaron aproximadamente 2 g de muestra seca en los crisoles de porcelana y se calcinó durante 3 horas en una mufla precalentada a 550 °C; al término de este tiempo se esperó a que la temperatura de la mufla bajara para posteriormente sacar los crisoles de porcelana con las pinzas; se enfriaron los crisoles en el desecador y se pesaron rápidamente. El porcentaje de cenizas se obtuvo mediante la siguiente formula:

$$\%Cenizas = \left[ \frac{P_{cmc} - P_{cpc}}{P_{mi}} \right] (100)$$

Donde:

Pcmc = peso del crisol con la muestra calculada, Pcpc = peso del crisol a peso constante y Pmi = peso muestra inicial.

### Digestibilidad con óxido de cromo

La cuantificación se realizó siguiendo el método descrito por Furukawa y Tsukahara (1966) y de Silva y Anderson (1995), que consistió en pesar 50 mg de muestra y colocar en un matraz Kjeldahl, añadir 8 ml de ácido nítrico concentrado y digerir durante aproximadamente 40 minutos, hasta la desaparición completa de los vapores ocreos.

Al terminar la disolución se tornó verde, ligeramente clara. Posteriormente, a la disolución fría se le agregaron 5 ml de ácido perclórico y se continuó con la digestión hasta que la disolución pasó de verde claro a amarillo limón. Al enfriarse, la disolución cambió a un color salmón y se pasó a un matraz aforado de 25 ml. Por último se procedió a registrar la absorbancia a 350 nm y se calculó mediante la fórmula siguiente: %.

$$\% \text{Oxido de cromo} = \left[ 4 \times \left( \left( \text{Absorbancia} - 0.0032 \right) \div 0.2089 \right) \right]$$

La digestibilidad aparente de la materia orgánica (DAMO), se calculó de la manera siguiente:

$$DAMO = \left( 100 - \left( \% \text{ de o.c. en el alimento} \div \% \text{ de o.c. en las heces} \right) \right)$$

### **Análisis de aminoácidos**

El análisis de aminoácidos fue realizado mediante la técnica propuesta por Vázquez-Ortíz y col. (1955). Para la preparación de la muestra derivatizadora se diluyó una muestra del extracto de TCA (Ácido tricloroacético) en 5 ml de buffer de citrato de sodio con un pH de 2.2, se filtró y diluyó con ácido alfa-aminobutírico (2.5 µM/mL) en un estándar interno (IS) de la siguiente forma (100 µL de extracto de TCA + 40 µl IS → 1 mL). Antes de cargar la inyección, se preparó una pequeña muestra en un tubo compuesta por 0.5 mL de solución OPA (orto-paraldeído) y 0.5 mL de la muestra ó la solución de aminoácidos estándar (IS), antes de inyectar se dejó pasar dos minutos.

Se combinaron volúmenes iguales de la muestra del extracto de TCA, buffer de burato con 0.4M y la solución NBD (2 mg/mL en metanol), esta mezcla se calentó por 5 min a 60 °C en un recipiente cerrado con tapa atornillada. La reacción fue detenida enfriando la mezcla a 0 °C, posterior a esto se inyectaron 10 µl a la columna, la cuantificación se llevó a cabo con un estándar extremo.

Los instrumentos utilizados fueron en un equipo Varian modelo 5000 controlado por un microprocesador de cromatografía de líquidos acoplado a un detector de fluorescencia equipado con una lámpara de deuterio, el detector fue conectado a un sistema de colección de datos modelo Vista 401.

Los derivados OPA y NBD fueron detectados con un monocromador con un corte de filtro de 330 nm y 418 nm, la sensibilidad fue de 1µl, la muestra fue introducida a una válvula Rheodyne modelo 7120.

La separación de los aminoácidos esenciales se llevó a cabo en una columna de diámetro esférico Microsorb HPLC de 10 cm x 4.6 mm I.D. empacada con 3 µm de partículas de C-18 octadecil dimetilsilano, conectada a una columna de 3 cm x 4.6 mm I.D. empacado con el mismo material.

Una columna de Lichrosorb RP-C18, 5µm (30 cm x 4.6 mm I.D.) fue usada para la determinación y separación de los aminoácidos no esenciales.

### **Análisis de ácidos grasos**

La extracción de los lípidos contenidos en el alimento se realizó en frío de acuerdo a la metodología propuesta por Folch y col. (1957). Para este propósito se utilizó 1.0 g de alimento molido el cual fue posteriormente sometido a lavados con 10 ml de metanol y 20 ml de cloroformo.

Posteriormente, la muestra se filtró y se lavó con una mezcla de cloroformo-metanol (2:1). En ambos lavados la muestra fue mezclada empleando un homogenizador marca Ultraturrax IKA (1100 rpm). Posteriormente, se adicionó cloruro de potasio al 0.88 % y se realizó un tercer lavado con una mezcla de agua-metanol (1:1). Enseguida, se utilizó nitrógeno comprimido para evaporar el cloroformo de la muestra y obtener así los lípidos.

Después de la extracción, la fase lipídica se esterificó con trifloruro de boro. Los esteres de metilo para la determinación del contenido de Ácidos Grasos Totales (AGT) y el perfil de composición de los ácidos grasos, se prepararon de acuerdo al método oficial del AOAC 969.33 (2005).

Para la detección de los AG se utilizó el equipo Hewlett Packard Serie 6890 equipado con un detector de flama ionizante (FID) y automuestreador 6890 con capacidad para 100 viales. La columna empleada fue capilar de sílica DB -23 de 30 metros de longitud por 0.25 mm de diámetro interno. Se utilizó gas helio UAP (Ultra Alta Pureza) como acarreador.

### **Indicadores de desempeño del crecimiento y eficiencia nutricional**

Para evaluar el efecto de las dietas experimentales en las crías de tenguayaca *P. splendida*, se aplicaron los siguientes indicadores de desempeño y de eficiencia alimenticia: peso total inicial (PTi), peso total final (PTf), ganancia de peso total (GPT %), ganancia de PT (g), tasa específica de crecimiento (TEC), consumo de alimento (CA), factor de conversión de alimento (FCA), eficiencia alimenticia (EA), consumo diario de energía (CDE, KJ g<sup>-1</sup>), consumo diario de alimento (CDA), consumo diario de proteína (CDP), tasa de eficiencia proteíca (TEP), factor de condición (FC), y sobrevivencia (S).

Estos indicadores fueron propuestos por Utne (1969), New (1987), Harper (1988), Hopkins (1992) y Ergün y col. (2010) (Tabla 4).

**Tabla 4. Indicadores de desempeño de crecimiento y eficiencia nutricional, evaluados en el presente experimento**

Parámetros	Expresión	Fórmula
Peso total inicial (g).	PTi	
Peso total final (g).	PTf	
Ganancia de peso total (%)	GPT	$PTf(g) - PTi(g) / 100$
Ganancia de peso total (g)	GPT	$PTf(g) - PTi(g)$
Tasa específica de crecimiento (%/día).	TEC	$(LnPf - LnPi / T) * 100$
Consumo total de alimento	CTA	$\sum CTA \text{ quincenal (g)}$
Eficiencia alimenticia	EA	$GPT(g) / CTA(g)$
Factor de conversión de alimento	FCA	$CAT(g) / GPT(g)$
Eficiencia alimentaria	EA	$GPT(g) / CTA(g)$
Consumo diario de energía	CDE	$CA(g) \times EB(Kj)$
Consumo diario de alimento	CDA	$CA \text{ diario (g)} / PTF(g) \times 100$
Consumo diario de proteína	CDP	$CA \text{ diario (g)} \times \text{proteína cruda (\%)}$
Tasa de eficiencia proteica.	TEP	$GPT(g) / \text{consumo de proteína (g)}$
Factor de condición.	K	$(PTf / LTf^3) \times 100$
Sobrevivencia	S	$Nf - Ni \times 100$

### Colecta del alimento remanente

La colecta del alimento remanente se llevó a cabo diariamente. Antes de proporcionarles el alimento, se retiró el alimento sobrante con una manguera (sifón), al final de la misma se colocó una malla previamente pesada, se etiquetó y se colocó en una mufla a 60 °C, hasta que se seco completamente, para posteriormente volverlo a pesar.

### Análisis estadísticos

Los datos obtenidos fueron capturados en una bitácora y posteriormente vaciados en una hoja de cálculo Excel (Microsoft Office, 2007). Las gráficas de crecimiento de peso total (PT) y longitud total (LT) contra el tiempo de cultivo fueron elaboradas con el mismo programa. Los análisis estadísticos se realizaron de acuerdo con Montgomery (1984). Los datos se analizaron para conocer la homocedasticidad de las varianzas de acuerdo con la prueba

estadística de Levene. Cuando no se cumplieron los supuestos del ANDEVA paramétrico, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, que compara k poblaciones, es equivalente a un ANDEVA de una vía en la estadística paramétrica, considera el diseño de bloques aleatorios y no requiere el supuesto de normalidad ni de homogeneidad de la varianza. Estas pruebas estadísticas se aplicaron para separar los valores de las medias que presentaron diferencias significativas tanto en las variables de respuesta del crecimiento PT (g) y LT (cm), como en los contrastes de los indicadores de desempeño del crecimiento y eficiencia alimenticia. Un valor de significancia de 0.05 fue utilizado como referencia. Para el caso de la sobrevivencia se utilizó la transformación arcoseno antes del análisis (Sokal y Rohlf, 2000). Para determinar si existían diferencias significativas en los valores de la digestibilidad aparente de la materia orgánica (DAMO) se aplicó un ANDEVA de una vía. Para los análisis estadísticos se utilizó el paquete estadístico SPSS (Statistical Package for Social Science) versión 17.

## RESULTADOS

### Análisis químicos proximales de las dietas experimentales

Los resultados de los análisis QP, energía bruta (EB), energía digerible (ED), así como la relación proteína cruda/ energía bruta (PC/EB), proteína cruda digerible/energía digerible (PCD/ED) y digestibilidad aparente de la materia orgánica (DAMO) de cada dieta experimental se presentan en la tabla 5. Las dietas que contienen un mayor porcentaje de lípidos presentaron mayores valores de energía.

**Tabla 5. Análisis químicos proximales (100 g de materia seca) y energía para cada dieta experimental**

Componentes	Dietas experimentales					
	1 (30/6)	2 (30/12)	3 (40/6)	4 (40/12)	5 (50/6)	6 (50/12)
Proteína Cruda (g)	31.9	31.9	41.7	41.7	51.3	51.4
Extracto Etéreo (g)	6.0	12.1	6.1	12.0	6.3	11.9
Fibra Cruda (g)	1.2	0.4	0.7	0.7	1.3	0.6
Cenizas (g)	10.2	10.4	12.6	12.9	13.2	16.7
ELN (g) <sup>1</sup>	44.6	40.5	33.2	27.9	22.6	14.5
Energía Bruta (kJ) <sup>2</sup>	1,757	1,927	1,796	1,938	1,848	1,932
Energía Digerible (kJ) <sup>2</sup>	1,368	1,537	1451	1,600	1,542	1,651
PC/EB <sup>2,3</sup>	18.15	20.7	23.21	21.51	27.71	26.60
PCD/ED <sup>2,4</sup> mg de proteína kJ <sup>-1</sup>	23.3	20.75	28.70	26.06	33.26	31.13
DAMO (%) <sup>5</sup>	99.82	99.84	99.82	99.83	99.83	99.84

Dietas: 1 (30/6) = 30% de proteína y 6% de lípidos; 2 (30/12) = 30% de proteína y 12% de lípidos; 3 (40/6) = 40% de proteína y 6% de lípidos; 4 (40/12) = 40% de proteína y 12% de lípidos; 5 (50/6) = 50% de proteína y 6% de lípidos y 6 (50/12) = 50% de proteínas y 12% de lípidos.

<sup>1</sup> Extracto Libre de Nitrógeno.

<sup>2</sup> Calculada.

<sup>3</sup> PC = Proteína cruda.

<sup>3</sup> EB = Energía bruta.

<sup>4</sup> PCD = Proteína cruda digerible.

<sup>4</sup> ED =Energía digerible.

<sup>5</sup> DAMO = Digestibilidad aparente de la materia orgánica.

## Análisis de aminoácidos

Los análisis muestran que las dietas presentaron cantidades similares de aminoácidos esenciales (AAE), no faltando ninguno de ellos; los valores más elevados registrados correspondieron al ácido glutámico y los más bajos a la metionina (Tabla 6).

**Tabla 6. Composición de aminoácidos de las seis diferentes dietas (g de A.A. /100 g de proteína)**

Aminoácidos	Dietas					
	1 (30/6)	2 (30/12)	3 (40/6)	4 (40/12)	5 (50/6)	6 (50/12)
Aspártico	10.17	8.79	9.19	9.39	10.05	10.43
Glutámico	17.83	15.05	15.06	15.98	16.46	16.86
Serina	4.27	3.62	4.32	4.07	4.35	3.85
Histidina	3.05	2.57	2.77	2.81	2.60	3.13
Glicina	7.05	5.87	3.85	5.59	6.22	7.47
Treonina	3.76	3.34	5.76	4.28	4.24	3.59
Arginina	8.29	6.91	6.74	7.31	7.41	7.65
Alanina	6.43	5.49	5.26	5.72	4.99	6.06
Tirosina	4.17	3.18	3.15	3.50	5.47	3.83
Metionina	2.36	2.05	1.90	2.10	1.96	0.57
Valina	5.60	4.84	4.68	5.04	5.22	5.98
Fenilalanina	5.24	4.45	4.44	4.71	4.95	5.25
Isoleucina	5.54	4.67	4.71	4.98	4.51	5.67
Leucina	9.13	7.62	7.69	8.15	7.96	8.95
Lisina	8.35	7.07	6.74	7.39	6.88	8.19

**Dietas: 1 (30/6) = 30% de proteína y 6% de lípidos; 2 (30/12) = 30% de proteína y 12% de lípidos; 3 (40/6) = 40% de proteína y 6% de lípidos; 4 (40/12) = 40% de proteína y 12% de lípidos; 5 (50/6) = 50% de proteína y 6% de lípidos y 6 (50/12) = 50% de proteínas y 12% de lípidos.**

## Análisis de ácidos grasos

En la tabla 7, se muestran los resultados de la composición de ácidos grasos de cada una de las dietas experimentales. De manera general los valores

más altos registrados corresponden a los ácidos grasos saturados y los valores más bajos al ácido graso pentadecanoico (C 15:0).

**Tabla 7. Resultados de los análisis de ácidos grasos de las dietas experimentales (% por 100 g de la muestra)**

Ácidos grasos	Dietas					
	1 30/6	2 30/12	3 40/6	4 40/12	5 50/6	6 50/12
Mirístico C14:0	0.56	1.13	0.39	0.79	0.28	0.56
Pentadecanoico C 15:0	0.08	0.16	0.05	0.11	0.04	0.08
Palmitico C16:0	0.04	0.09	1.54	3.09	1.15	2.31
Palmitoleico C16:1	nd	nd	0.42	0.85	0.31	0.62
Cis-10- Heptadecenoico C 17:1	0.11	0.23	0.09	0.18	0.06	0.13
Estearico C18:0	0.71	1.41	0.45	0.90	0.33	0.67
Elaidico C18:1, trans-9	0.08	0.17	0.98	1.97	0.33	0.66
Oleico C18:1	0.49	0.98	0.25	0.49	0.90	1.80
Linolelaidico C 18:2, 6 trans	1.38	2.77	0.43	0.86	0.52	1.05
Linolenico C18:3	0.46	0.93	0.10	0.19	1.14	2.28
Cis-11-Eicosenoico C20:1	0.18	0.37	0.10	0.20	0.07	0.15
Araquidonico C20:4	0.12	0.25	0.08	0.17	0.06	0.12
Heneicosanoico C21:0	0.79	1.58	0.49	0.99	0.36	0.72
Nervónico C24:1	0.97	1.95	0.61	1.21	0.44	0.89
Saturados	2.18	4.36	2.94	5.87	2.16	4.33
Monoinsaturados	1.85	3.69	2.45	4.91	2.13	4.25
Poliinsaturados	1.97	3.95	0.61	1.22	1.73	3.45

nd = no detectable.

Dietas: 1 (30/6) = 30% de proteína y 6% de lípidos; 2 (30/12) = 30% de proteína y 12% de lípidos; 3 (40/6) = 40% de proteína y 6% de lípidos; 4 (40/12) = 40% de proteína y 12% de lípidos; 5 (50/6) = 50% de proteína y 6% de lípidos y 6 (50/12) = 50% de proteínas y 12% de lípidos.

### Efecto de las dietas sobre el crecimiento

En las figuras 7 y 8, se presentan los resultados del crecimiento promedio expresados en peso total (PT) en gramos y longitud total (LT) en centímetros, de las crías de Tenguayaca cultivadas durante 120 días, para cada una de las dietas utilizadas en el presente trabajo. En las figuras se observa que las dietas 6 y 2 fueron las que presentaron un mayor incremento tanto en PT y LT.

Los datos de PT y LT a lo largo del experimento no cubrieron los supuestos de normalidad y de homogeneidad de la varianza, por lo cual se realizó un análisis

no paramétrico de Kruskal-Wallis, que compara k poblaciones, equivalente al ANDEVA de una vía en la estadística paramétrica y que considera un diseño independiente y completamente aleatorio. Los resultados de la prueba de Kruskal-Wallis se presentan en la tabla 8. Se observaron diferencias significativas entre las dietas ( $P < 0.05$ ), por lo que existe evidencia suficiente para concluir que hay diferencias en el crecimiento en peso o longitud de los animales sometidos a las diferentes dietas experimentales.

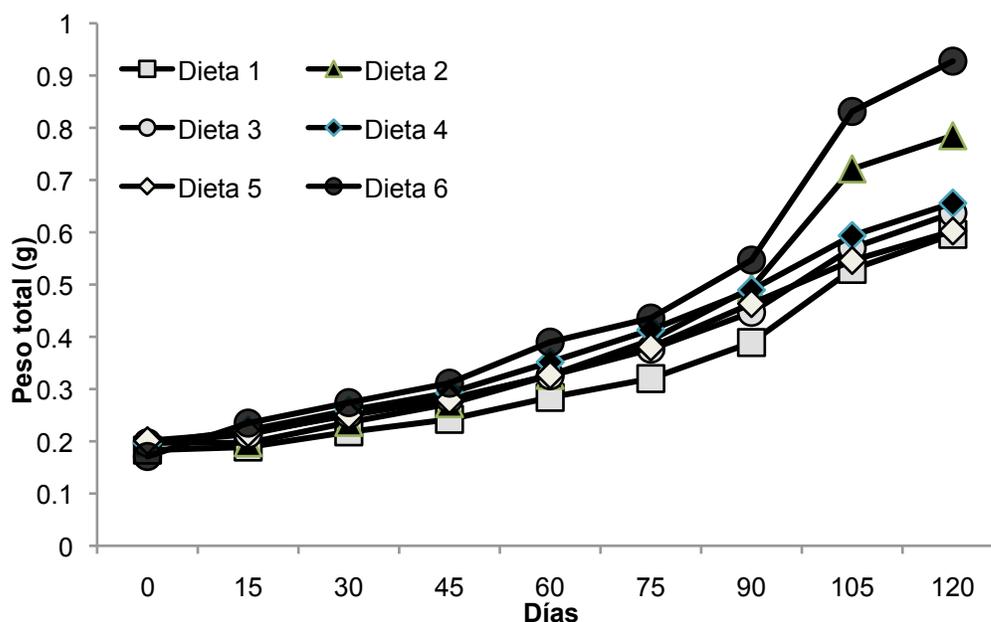
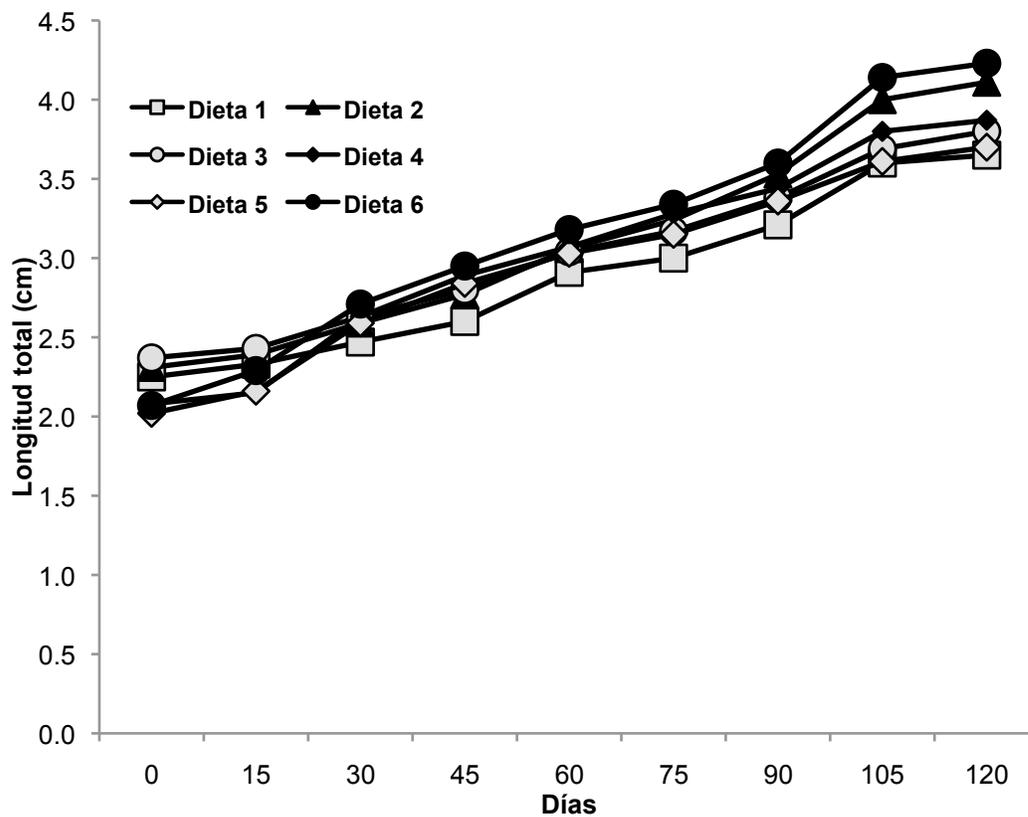


Figura 7. Crecimiento en peso total de las crías de Tenguayaca a lo largo del experimento.

Tabla 8. Resultados de los estadísticos de contraste de la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, considerando como variables de respuesta el peso total (PT g) y la longitud total (LT cm).

Variable de respuesta	LT (cm)	PT (g)
Xi-cuadrada	29.678	33.591
Grados de libertad (gl)	5	5
Significancia	0.000	0.000



**Figura 8. Crecimiento en longitud total de las crías de Tenguyaca a lo largo del experimento.**

### **Indicadores de desempeño del crecimiento y eficiencia alimenticia**

En la tabla 9 se presentan los resultados del análisis estadístico no paramétrico de Kruskal-Walis aplicado a los indicadores de desempeño del crecimiento y eficiencia alimenticia calculados para cada una de las dietas experimentales.

**Tabla 9. Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis aplicada a los indicadores de desempeño del crecimiento y eficiencia alimentaria de las dietas experimentales.**

Prueba estadística	Ji-cuadrada	gl	Significancia
Peso inicial (g)	8.623	5	0.125*
Peso final (g)	31.18	5	0.000
Ganancia de peso total (%)	35.01	5	0.000
Ganancia de peso total (g)	34.98	5	0.000
Tasa específica de crecimiento (%/día)	31.75	5	0.000
Consumo de alimento (g)	176.14	5	0.000
Eficiencia alimenticia	14.33	5	0.014
Consumo diario de energía (kj g <sup>-1</sup> )	176.137	5	0.000
Consumo diario de alimento	14.43	5	0.013
Consumo diario de proteína	176.23	5	0.000
Tasa de eficiencia proteica	14.33	5	0.014
Factor de conversión de alimento.	14.24	5	0.014
Factor de condición.	15.83	5	0.007

\*No fue significativo

**Tabla 10. Resultados de los indicadores de desempeño del crecimiento y eficiencia alimenticia de las dietas experimentales**

Indicadores	Dietas					
	1 (30/6)	2 (30/12)	3 (40/6)	4 (40/12)	5 (50/6)	6 (50/12)
Peso total inicial (g)	0.186±0.05 <sup>a</sup>	0.196±0.39 <sup>a</sup>	0.199±0.05 <sup>a</sup>	0.196±0.05 <sup>a</sup>	0.240±0.05 <sup>a</sup>	0.171±0.05 <sup>a</sup>
Peso total final (g)	0.625±0.17 <sup>a</sup>	0.784±0.14 <sup>b</sup>	0.636±0.23 <sup>ab</sup>	0.656±0.25 <sup>a</sup>	0.627±0.21 <sup>a</sup>	0.928±0.41 <sup>c</sup>
Ganancia de peso total (%)	43.97±16.32 <sup>a</sup>	58.90±14.98 <sup>b</sup>	43.82±23.61 <sup>a</sup>	46.04±27.0 <sup>a</sup>	42.27±21.45 <sup>a</sup>	75.63±41.04 <sup>c</sup>
Ganancia de peso total (g)	0.44±0.16 <sup>a</sup>	0.59±0.15 <sup>b</sup>	0.44±0.23 <sup>a</sup>	0.46±0.27 <sup>a</sup>	0.42±0.21 <sup>a</sup>	0.76±0.41 <sup>c</sup>
Tasa específica de crecimiento (%/día)	1.02±0.28 <sup>ab</sup>	1.16±0.22 <sup>b</sup>	0.94±0.36 <sup>a</sup>	0.96±0.45 <sup>a</sup>	0.93±0.31 <sup>a</sup>	1.37±0.41 <sup>c</sup>
Consumo de alimento (g)	0.34±0.0 <sup>a</sup>	0.43±0.0 <sup>b</sup>	0.39±0.0 <sup>a</sup>	0.41±0.0 <sup>b</sup>	0.38±0.0 <sup>a</sup>	0.49±0.0 <sup>c</sup>
Consumo diario de energía (kj g <sup>-1</sup> )	1.29±0.48 <sup>a</sup>	1.38±0.35 <sup>b</sup>	1.12±0.61 <sup>a</sup>	1.13±0.66 <sup>a</sup>	1.10±0.56 <sup>a</sup>	1.53±0.83 <sup>c</sup>
Consumo diario de alimento	5.0 ±0.4 <sup>a</sup>	6.9±0.0 <sup>b</sup>	5.8± 0.0 <sup>ab</sup>	6.6±0.0 <sup>b</sup>	5.9±0.0 <sup>ab</sup>	6.8±0.0 <sup>b</sup>
Consumo diario de proteína	0.72±0.22 <sup>a</sup>	0.64±0.19 <sup>a</sup>	1.01±0.76 <sup>b</sup>	1.5±1.9 <sup>c</sup>	0.90±0.38 <sup>ab</sup>	0.69±0.31 <sup>a</sup>
Tasa de eficiencia proteica	1.09±0.0 <sup>a</sup>	1.4±0.0 <sup>b</sup>	1.6±0.0 <sup>b</sup>	1.7±0.7 <sup>b</sup>	1.9±0.0 <sup>b</sup>	2.5±0.8 <sup>c</sup>
Factor de conversión de alimento	1.3±0.48 <sup>ab</sup>	1.4±0.35 <sup>ab</sup>	1.1±0.6 <sup>a</sup>	1.1±0.70 <sup>a</sup>	1.1±0.56 <sup>a</sup>	1.5±0.82 <sup>b</sup>
Factor de condición	0.87±0.27 <sup>b</sup>	0.77±0.23 <sup>a</sup>	1.22±0.9 <sup>a</sup>	1.80±2.4 <sup>b</sup>	1.08±0.05 <sup>a</sup>	0.83±0.37 <sup>a</sup>
Sobrevivencia (%)	1.31±0.32 <sup>b</sup>	1.15±0.14 <sup>a</sup>	1.14±0.08 <sup>a</sup>	1.10±0.19 <sup>a</sup>	1.20±0.28 <sup>a</sup>	1.20±0.08 <sup>a</sup>
	91.2	97.1	82.4	76.5	85.3	94.1

Los datos representan el promedio y la desviación estándar de dos réplicas

<sup>a..c</sup>) Diferentes letras superíndices en la fila indican diferencias significativas ( $P < 0.5$ ) entre las dietas experimentales.

La tabla 10, muestra los resultados del desempeño del crecimiento y la eficiencia alimenticia de las dietas experimentales. Las dietas 2 y 6 presentaron diferencias estadísticas significativas ( $P < 0.05$ ) con respecto a las otras dietas en los siguientes indicadores de desempeño: peso total final, ganancia de peso (%) y en

gramos), tasa específica de crecimiento, eficiencia alimenticia. El consumo de alimento fue igual en las dietas 1,3 y 5 diferente con las dietas 2,4 y 6 siendo esta diferente a las demás. El consumo diario de proteína fue igual en las dietas 2,3,4,5 diferentes con la 1 y la 6 quien presento el valor más alto resultados y en la tasa de eficiencia proteica la dieta 6 presentó diferencias con las dietas 1 y 2 y con la 3, 4 y 5 quienes presentaron los valores más bajos. El consumo diario de energía en  $\text{Kj g}^{-1}$  fue igual en las dietas 2, 4, 6, diferente con las dietas 3, 5 y 1, siendo esta última diferente a todas. El consumo diario de alimento fue mayor en la dieta en la dieta 3. El factor de conversión de alimento fue mayor en las dietas 1 y 4 y el valor más bajo se presentó en las dietas 2 y 6. El valor más alto de factor de condición se presentó en la dieta 1. Finalmente, la sobrevivencia fue más alta en las dietas 2 y 6 y la más baja en la dieta 4. En términos generales, las dietas 2 conteniendo 30 % de proteína y 12 % de lípidos y la dieta 6 con 50 % de proteína y 12 % de lípidos fueron las que presentaron los mejores resultados del desempeño en el cultivo experimental, siendo esta última la que se puede considerar óptima de acuerdo a las condiciones en que se desarrolló el presente experimento.

### **Digestibilidad de las dietas**

Al estimar el efecto de la digestibilidad aparente de la materia orgánica (DAMO) en las dietas experimentales, el análisis de varianza (ANDEVA) indicó que no existieron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) entre las dietas suministradas (Tabla 11). Se observó que los valores de la digestibilidad aparente de la materia orgánica (DAMO) de las dietas experimentales presentaron valores

superiores al 99 %, lo que indica que las dietas presentaron valores elevados de digestibilidad.

**Tabla 11. Resultados (media  $\pm$  desviación estándar) de la digestibilidad aparente de la materia orgánica (DAMO) de las dietas experimentales utilizadas.**

Dieta	Proteína (%)	Lípidos (%)	DAMO
1	30	6	99.81 $\pm$ 0.0032 <sup>a</sup>
2	30	12	99.84 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>
3	40	6	99.82 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>
4	40	12	99.83 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>
5	50	6	99.83 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>
6	50	12	99.84 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>

Diferentes superíndices en la columna indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ ).

### Calidad del agua

En la tabla 12 se presentan los resultados de los parámetros fisicoquímicos analizados a lo largo del experimento.

**Tabla 12. Resultados de los parámetros fisicoquímicos analizados a lo largo del experimento en el SCR.**

Tiempo (días)	Nitrato (mg/l)	Nitrato (mg/l)	NAT (mg/l)	pH	T°C	OD (mg/l)
0	0.017	9.7	0.19	8.8	29.1	4.0
15	0.013	8.9	0.17	8.9	28.7	4.2
30	0.017	9.7	0.20	9.0	29.0	4.1
45	0.015	9.1	0.12	9.2	29.1	4.0
60	0.008	7.2	0.09	9.5	28.9	4.1
75	0.01	9.2	0.11	9.3	19.0	4.2
90	0.019	8.5	0.15	9.3	28.4	4.1
105	0.013	9.0	0.12	9.2	28.7	4.0
120	0.017	9.1	0.13	9.6	29.1	4.4
<b>Promedio</b>	0.01	8.93	0.14	9.2	28.9	4.3
<b>DE</b>	0.00	0.75	0.04	0.26	0.24	0.15
<b>Mín</b>	0.008	7.2	0.09	8.8	28.4	4.0
<b>Máx</b>	0.019	9.7	0.20	9.6	29.1	4.4

NAT = Nitrógeno amoniacal total; OD = Oxígeno disuelto; T°C = Temperatura del agua; DE = Desviación estándar; Mín = valor mínimo; Máx = Valor máximo

De acuerdo con esta información, se observa que los parámetros fisicoquímicos evaluados durante la etapa experimental, se mantuvieron constantes a lo largo de

los 120 días de cultivo, y no se observaron variaciones bruscas que pudieran afectar el desarrollo, crecimiento y sobrevivencia de las crías de la Tenguayaca.

## DISCUSIÓN

### Crecimiento en peso total y longitud total

De acuerdo con los resultados de crecimiento de las crías de Tenguayaca, expresado en peso total (g) y longitud total (cm); a partir de organismos con un intervalo de PT de 0.186 a 0.240 g se observó que en general las crías mantuvieron una tendencia de aumento constante a lo largo de los 120 días de cultivo. El comportamiento del peso total con respecto al tiempo, marcó un incremento mayor en las dietas 2 y 6 a partir de los 90 días de cultivo, separándose de las otras dietas experimentales, que en general mantuvieron una tendencia similar. La LT fue semejante y nuevamente los peces alimentados con las dietas 2 y 6 se separaron de las demás dietas. Al parecer en esta etapa temprana de su desarrollo, las crías aumentan más en peso que en longitud, mientras que por ejemplo en la dieta 6 el incremento en peso es de aproximadamente 0.7 g, en la longitud total es de sólo 4 cm, a pesar de que el PT inicial y la LT de las crías de Tenguayaca fue igual en las seis dietas. En la Tenguayaca cuando la densidad de la población aumenta, el crecimiento en PT y LT disminuye. Experimentos realizados con crías de *P. splendida* con una edad de cinco días después de la absorción del saco vitelino y cultivadas a diferentes densidades durante 45 días, mostraron diferencias estadísticamente significativas entre las densidades bajas y las altas. Las bajas densidades (0.5 y 1 cría/L) alcanzaron en promedio 0.81 g de PT y 5.26 cm de LT, mientras que a densidades altas (5, 10 y 20 crías/L) alcanzaron 0.56 g y 3.92 cm, 0.24 g y 2.8 cm y 0.19 g y

2.47 cm respectivamente, y se consideró que una densidad de 12 a 14 crías/L es la óptima para el cultivo en esta etapa de desarrollo (Jiménez-Martínez y col., 2009). En el presente experimento, se manejó una densidad constante de aproximadamente 2 crías/L en cada uno de los recipientes utilizados y alcanzaron en promedio 0.928 g de PT y 4.5 cm de LT en 120 días de cultivo que corresponde al doble del tiempo utilizado en el reporte anterior. De acuerdo con los datos reportados por estos autores, el presente experimento se llevó a cabo en condiciones óptimas de densidad, a pesar de que el crecimiento fue menor, esto puede explicarse debido a las condiciones en que se llevó a cabo el trabajo anteriormente mencionado, donde la calidad del agua utilizada en el SCR fue diferente, además el balanceado que se utilizó fue alimento comercial para trucha Steelhead (Silver Cup con 45 % de proteína y 16 % de lípidos) y fue realizado al nivel del mar.

En el experimento no se pudo apreciar una conducta agresiva de los peces ni canibalismo, a pesar de que *P. splendida* ha sido reportada como una especie carnívora y principalmente consumidora de peces después de su etapa larval (Reséndez y Salvadores, 1983). Resultados que se corroboran con los obtenidos anteriormente en la Planta Experimental de Producción Acuícola en la Universidad Autónoma Iztapalapa, que demuestran que esta especie cultivada en un SCR de 4,000 L de volumen de agua y a densidades altas (25 org./L), mantuvo un tendencia de crecimiento aceptable y no presentaron conducta agresiva ni canibalismo, siempre y cuando se les suministre alimento balanceado en cantidad suficiente para cubrir sus requerimientos alimenticios (Arredondo y col., en proceso). Sin embargo, es un hecho que a cierta talla sobre todo cuando el

organismo madura e inicia su etapa reproductiva, el macho marca su territorio y se vuelve agresivo, mientras que las crías utilizan su energía para completar los cambios morfológicos y por lo tanto son menos agresivas. No obstante, el cultivo a densidades elevadas puede incrementar la tensión y generar interacciones agresivas entre los individuos (Greaves y Tuene, 2001), por lo que es importante no rebasar los límites de 25 orgL<sup>-1</sup>, para mantener una tendencia adecuada del crecimiento.

### **Requerimientos de proteínas y lípidos**

De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente trabajo, las crías de *P. splendida* requieren niveles de proteína cruda de 50 % y 12 % de lípidos; una relación proteína cruda/ energía bruta (PC/EB) de 26.6, una relación de proteína cruda digerible/energía digerible (PC /ED) de 31.1 mg de proteína kJ<sup>-1</sup> y una energía bruta de 19.3 MJ kg<sup>-1</sup>. Esta dieta permite mantener un buen crecimiento y una alta tasa de sobrevivencia superior al 90 %. No obstante, habrá que considerar que la estimación de los requerimientos de proteína y lípidos puede ser afectada por diversos factores tales como las condiciones del cultivo, el estado de desarrollo del pez y la fuente de proteína, pero más significativamente por el contenido de energía contenido en la dieta (Wilson, 1989); de tal manera que los requerimientos de proteína pueden variar dependiendo del nivel de energía que tiene la dieta. En algunas especies como el huachinango (*Epinephelus malabaricus*) el nivel de proteína reportado difiere cuando la energía es mantenida bajo cierto intervalo (Shiau y Lan, 1966; Chen y Tsai, 1994). Los requerimientos de proteína cruda para el huachinango pueden ser tan altos como 50 % (18 a 20 MJ

kg<sup>-1</sup>), lo que da mejores resultados que una dieta con 35 % de proteína (14.5 a 17 MJ kg<sup>-1</sup>). Las dietas con una relación PC/EB de 24 a 24.4 mg kg<sup>-1</sup>, pero diferentes niveles de proteína no presentan la misma respuesta en la tasa de crecimiento específico (TCE). La dieta óptima a nivel de cría para la Tenguayaca desde el punto de vista de la energía es semejante a la del huachinango, debido a que ambas especies son carnívoras. Miller y col. (2005) en el cultivo experimental del huachinango (*Lutjanus campechanus*) sometido a incrementos en la dieta de proteínas y lípidos, no observaron una relación directa con el crecimiento, al contrario de otros autores como Thoman y col. (1999), Chou y col. (2001) y Catacutan y col. (2001), donde si registraron una relación entre el incremento de peso y la cantidad de proteínas y lípidos agregados en las dietas experimentales realizadas con diferentes especies como la corvina roja (*Scianops ocellatus*), la cobia (*Rachycentron canadum*) y el pargo rojo del manglar (*Lutjanus argentimaculatus*). En el caso de la corvina roja, la tasa de consumo de alimento aparentemente es influenciado por el peso del pez y no por el contenido de energía en la dieta, con lo cual se recomienda una dieta que contenga 44 % de proteína cruda y 348 kcal/100 g de energía digerible y 9.2 % de lípidos. La cobia a su vez requiere una dieta que contenga 44.5 % de proteína cruda y 5.76 % de lípidos. A su vez el huachinango rojo del manglar requiere 40 % de proteína con una relación Proteína/ Energía (P/E) de 23.3 mg proteína KJ<sup>-1</sup>.

De manera comparativa y con base en los resultados obtenidos las crías de Tenguayaca requieren mayores valores de proteína y de relación P/E, que las especies antes mencionadas. Sin embargo, se observó una relación significativa

del crecimiento en PT y LT con respecto al contenido de proteína y lípidos en las dietas experimentales.

Un trabajo interesante que arroja luz sobre la importancia de precisar los requerimientos de lípidos fue realizado por Ling y Shiau (2003) quienes trabajaron con el huachinango (*Epinephelus malabaricus*) y encontraron que una dieta con 50 % de proteína y 9 % de lípidos fue adecuada para mantener un buen crecimiento y sobrevivencia; sin embargo, un nivel alto de lípidos por ejemplo 16 %, deprime el crecimiento pero no la respuesta inmune en el huachinango. Además, se ha encontrado que la actividad respiratoria de los fagocitos decrece cuando se incrementan los niveles de lípidos de 9 a 17 %. Las células blancas juegan un papel importante en la respuesta inmune en los peces, particularmente en la inflamación. Los fagocitos poseen en su membrana la oxidasa NADPH que es capaz de reducir el oxígeno molecular a un anión superóxido ( $O_2^-$ ) durante el proceso respiratorio; la producción de este ión representa el más importante microbicida que existe y protege a los organismos de enfermedades infecciosas.

Se estima que es necesario realizar investigaciones en torno a los requerimientos de lípidos en la Tenguayaca en diferentes etapas de su ciclo de vida, así como buscar el máximo porcentaje de lípidos que se deben incluir en la dieta, sin que se altere la respuesta inmunológica y además, se obtenga una tasa de crecimiento adecuada y una alta sobrevivencia.

### ***Aminoácidos esenciales***

La deficiencia de algún aminoácido esencial (AAE) en la dieta de los peces, generalmente tiene efectos sobre el organismo, ya que reduce su tasa de

crecimiento, disminuye el factor de conversión de alimento (FCA), afecta el apetito y provoca mortalidad y anormalidades morfológicas; así como la presencia de enfermedades nutricionales tales como la lordosis, escoliosis y cataratas entre otras (Kloppel y Post, 1975; Poston y col., 1977). Cowey (1994) determinó que los AAE en la dieta, pueden tener pérdidas en el integumento del intestino debido a procesos de oxidación y su conversión a otras moléculas de nitrógeno. También, otros factores pueden contribuir a esta pérdida son la calidad del agua y las fuentes de aminoácidos incluidas en la dieta.

Los aminoácidos más estudiados son la arginina, histidina, isoleucina, leucina, licina, cisteína, tirosina, treonina, triptófano y valina considerados como los 10 aminoácidos esenciales (AAE) (Ketola, 1982). Los requerimientos de AAE han sido estudiados en diferentes especies de peces Teleósteos como la trucha arco iris, el salmón, el bagre de canal, la carpa común, la anguila Japonesa y los peces planos entre otros. Para propósitos comparativos los resultados se expresan como % de proteína ( $100 \text{ g}^{-1}$ ), porque la proteína total y los aminoácidos requeridos por los peces, varía de acuerdo a la especie, sus hábitos alimenticios, la edad y el contenido energético de la dieta. Los resultados indican que se observan grandes variaciones en las cantidades particulares de los aminoácidos. Los estudios se han avocado a evaluar la sustitución de proteínas no convencionales como el gluten de maíz y la soya, para la elaboración de las dietas experimentales. Wilson y Poe (1985), encontraron una relación entre la composición de AAE del cuerpo y de los huevos con los requerimientos de aminoácidos del bagre de canal (*Ictalurus punctatus*). Tacon y Cowey (1985) sugieren que a través de la valoración de la proporción individual de AAE (+

cystina y tyrosina), se puede estimar la proporción de aminoácidos requeridos en la dieta. Además, existe una relación que ha sido utilizada para calcular la proporción de AAE en la dieta y se refiere como A/E (AAE/total de aminoácidos en el cuerpo x 1000). No obstante, algunos autores como Ng y Hung (1994) señalan inconsistencias en este modelo, por lo que no están de acuerdo en utilizar esta relación. Sin embargo, esta relación ha sido utilizada para predecir los requerimientos de AAE en dos especies de salmón y en la corvina roja (Tacon y Cowey (1985), Arai (1981) y Moon y Gatlin (1991). Ngamsnae y col. (1999), estimaron los requerimientos de AAE de la perca plateada (*Bidyanus bidyanus*) y encontraron valores expresados en g 100 g<sup>-1</sup> de la dieta para la arginina de 2.7, histidina de 1.03, Isoleucina de 1.84, lisina de 3.61, metionina 1.50, fenilalanina de 2.22, treonina de 2.77 y valina de 2.29. Los resultados de los contenidos de los 15 AA en las dietas experimentales utilizadas en la presente investigación, mostraron una consistencia en cada uno de ellos entre las diferentes dietas y no se observaron grandes variaciones, con valores de casi el doble en contraste con el estudio realizado con la perca plateada (*Bidyanus bidyanus*), ya que la arginina varió de 7.31 a 8.29; la histidina de 2,57 a 3.13; la isoleucina de 4.51 a 5.67; la lisina de 6.74 a 8.35; la metionina de 0.57 a 2.36, la fenilalanina de 4.44 a 5.25, la treonina de 3.34 a 5.76 y la valina de 4.84 a 5.98. Hay información que indica que hay un bajo desempeño en el crecimiento de los peces cuando se utilizan dietas purificadas, comparado con las dietas prácticas y sobre todo si el cultivo es realizado en sistemas intensivos controlados cuando los peces no tienen acceso al alimento natural (Tacon y Cowey, 1985), aunque los resultados de dietas

purificadas son más precisos en estados tempranos de desarrollo, como larvas y crías.

El experimento realizado en la presente investigación determinó que los requerimientos de arginina y fenilalanina fueron de  $7.0 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$  y  $5.0 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$  respectivamente en la dieta, más del doble del requerido por la perca plateada. Estos valores son superiores a los reportados en otras especies tales como la trucha arco iris, salmón y tilapia (Klein y Halver, 1970; Akiyama, 1987; Kaushick y col., 1988; Santiago y Lovell, 1988); lo cual significa que una dieta balanceada para la Tenguayaca debe contener valores elevados de AAE. Sin embargo, hay que tomar en consideración que niveles altos o bajos de algún AAE pueden tener repercusiones en la ingesta del alimento, en la aparición de deformidades en la espina dorsal, en la formación de cataratas, en el incremento en los niveles de calcio y magnesio en el hígado, aún, estos síntomas pueden estar presentes donde se provee de triptofano a niveles óptimos (Tibaldi y col. 1993; Tulli y col. 1997). Durante el presente experimento, no se observaron síntomas de síndromes patológicos, las crías de Tenguayaca aceptaron bien las dietas experimentales sin mayores problemas y el desperdicio de alimento fue insignificante, además, de que se obtuvo una buena tasa de crecimiento y elevada sobrevivencia.

Por otra parte, se ha encontrado que aumentando la frecuencia de la alimentación, se mejora el crecimiento ya que se puede modular los niveles de absorción de los AAE en el plasma sanguíneo, por lo que en algunos casos los AAE son encapsulados con agar obteniendo buenos resultados en especies tales como la brema marina, el robalo y los peces planos (Fournier y col., 2002) y aunque no existen trabajos sistemáticos hay evidencias de que el consumo

voluntario de alimento en juveniles de robalo marino puede ser afectado si se limitan o exceden los niveles de ciertos aminoácidos (Tibaldi y Kaushik, 2005). A pesar de los avances considerables que se han tenido en los años recientes en referencia a la dosis-respuesta en un amplio intervalo de AAE, todavía falta información para esclarecer y entender el efecto de los AAE en el metabolismo de los peces. Dada la importancia cuantitativa de las dietas balanceadas y la inclusión idónea de AAE para suplir de nitrógeno a los organismos y las implicaciones sobre la pérdida del mismo, es necesario realizar investigaciones tendientes para conocer los requerimientos de AAE de las especies y la inclusión de proteínas no convencionales que aseguren disponer de alimentos comerciales de elevada calidad y bajo costo. Este podría ser un reto para el futuro próximo.

Hasta este momento, los resultados obtenidos en el presente experimento utilizando dos fuentes de proteína: harina de pescado y extrudizado de soya para consumo humano, muestran que estos insumos cubren en amplia medida los requerimientos de proteína y AAE, necesarios para mantener un crecimiento adecuado y alta sobrevivencia en las crías de Tenguayaca.

### ***Ácidos grasos esenciales***

La deficiencia de algún ácido graso esencial afecta la respuesta inmune en el bagre de canal (*Ictalurus punctatus*), en la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) y en el salmón del Atlántico (*Salmo salar*) (Fracolossi y Lovell, 1994; Kiron y col., 1995 y Thompson y col. 1996). Una mezcla de 1:1 de aceite de pescado y aceite de maíz provee suficientes ácidos grasos de las series n-3 y n-6 para prevenir la deficiencia de algún ácido graso esencial (AGE) que pudiera afectar la respuesta

inmune del huachinango. En las dietas experimentales utilizadas en la presente investigación, la fuente principal de ácidos grasos fue el aceite de maíz (en mayor proporción en las dietas 2 y 4, seguida de la dieta 6 y menor proporción en las dietas 1,5 y 3) y solo en las dietas 2 y 4 se utilizó aceite de pescado, sobre todo en la primera. El análisis de ácidos grasos esenciales de la dietas indicó que la dieta 2 presentó una mayor cantidad de ácidos grasos como el mirístico, pentadecanoico, esteárico, linolelaídico, eicosenoico, araquidónico, heneicosanoico y nervónico y por eso fue la dieta que después de la 6, presentó los mejores resultados de desempeño productivo al final del experimento. A su vez la dieta 6 que fue la que presentó una mayor respuesta de desempeño productivo con niveles más altos de ácido oleico y linolénico y una mayor proporción de ácidos grasos monoinsaturados y una buena proporción de ácidos poliinsaturados muy semejante a la dieta 2. Los resultados mostraron además, que la mayoría de los ácidos grasos esenciales (AGE) estuvieron presentes en las dietas experimentales y sólo el ácido palmitoleico estuvo ausente en las dieta 1 y 2. Los resultados demuestran que un balance adecuado de AGE derivados del aceite de pescado puede reducir el requerimiento de proteína cruda de 50 % a 30 %. Los resultados además, confirmaron que se cubrieron los requerimientos de AGE en las dietas, por lo que la salud de los organismos no fue afectada.

### **Indicadores de crecimiento y eficiencia alimenticia**

El análisis de los indicadores de crecimiento en donde se ha evaluado los requerimientos de proteína y lípidos de distintas especies de peces Teleósteos, muestra variaciones marcadas y generalmente algunos de ellos son más usados,

como por ejemplo la ganancia de peso total, la tasa específica de crecimiento, el factor de conversión alimenticio (FCA), el consumo de alimento, la sobrevivencia, el factor de condición (K) y la tasa de eficiencia proteica (TEP). Así por ejemplo Catacutan y col. (2001) encontraron en el pargo (*Lutjanus argentimaculatus*) en un experimento preliminar que la sobrevivencia, el factor de conversión de alimento (FCA) y el factor de condición (K) no presentaron diferencias significativas con respecto a los niveles de proteína y lípidos incluidos en las dietas experimentales. No obstante, en un segundo experimento en donde se varió la relación Proteína/Energía (P/E), se encontró que el peso total final, la (TEC) y el FCA presentaron diferencias significativas, pero no hubo diferencias en la sobrevivencia y la TEP, lo cual llevó a la conclusión de que una dieta conteniendo 44 % de proteína y una relación P/E de 23.3 mg de proteína  $\text{kJ}^{-1}$  es la óptima para el crecimiento del pargo. En otro trabajo realizado con el cíclido (*Labidochromis caeruleus*) utilizando dietas con diferentes niveles de proteína, se encontró que el nivel de proteína cruda incluida en la dieta influyó significativamente el peso total final, la ganancia de peso, la TEC y el consumo del alimento; con lo cual se concluyó que esta especie requiere 35 % de proteína para mantener un crecimiento óptimo (Ergün y col., 2010). Bahnasawy (2009), al analizar el efecto de diferentes niveles de proteína en la dieta sobre el desempeño del crecimiento y la composición del cuerpo de la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) de poblaciones monosexo, cultivadas en estanques fertilizados encontró que la ganancia del peso total y la TEC se incrementaron de manera significativa con respecto al nivel de proteína incluida, siendo la dieta que contiene 35 % la mejor. La TEP estuvo inversamente relacionada con el nivel de proteína y ninguna dieta

presentó efectos sobre la sobrevivencia. La conclusión señala que una dieta conteniendo 30 % de proteína es óptima para el cultivo de la tilapia del Nilo en estanques fertilizados.

En otro trabajo realizado por Raj y col. (2007) con el bagre (*Mystus montanus*) variando los niveles de lípidos en las dietas, encontró que el peso total final y la sobrevivencia fueron significativamente diferentes entre las dietas; el FCA fue mayor cuando se incluyó 14 % de lípidos y la conclusión indica que una dieta óptima debe incluir 40 % de proteína cruda y 7 % de lípidos. En otro estudio realizado por Zuanon y col. (2009) con el pez Ángel (*Pterophyllum scalare*) para determinar los niveles de proteínas y energía en la dieta que requiere para su óptimo crecimiento, encontraron que la dieta conteniendo 26 % de proteína y 3 100 Kcal/kg fue la mejor, presentando un peso total final de 3.70 a 3.73 g, una ganancia de peso de 1.37 a 1.64 g, un consumo de alimento de 3.07 a 3.08 g, un FCA de 2.25, una TEC de 0.93, una TEP de 1.71 a 2.06 y un factor de condición (K) de 1.52 a 1.57.

Lee y col. (2008) trabajando con el pez plano (*Paralichthys olivaceus*) con dietas prácticas con niveles de 40 a 65 % de proteína cruda, encontraron que la ganancia de peso, la eficiencia alimenticia y la TEP fueron significativamente más alta en las dietas que contenían 45 y 50 % de PC, con lo cual se demostró en este estudio que el requerimiento óptimo de proteína cruda en la dieta es de 45 % para esta especie. Schuchardt y col. (2008), analizaron el efecto de la incorporación en la dieta de diferentes niveles de proteína y lípidos sobre el crecimiento, utilización de alimento y composición del cuerpo del pargo rojo (*Pagrus pagrus*). Los resultados demostraron que el peso ganado, la TEC y la eficiencia alimenticia

fueron significativamente mayores en las dietas que contenían altos niveles de proteína. La TEP más alta fue obtenida en la dieta que contenía 500 g kg<sup>-1</sup> de proteína cruda. En un segundo experimento se demostró que a medida que se incrementó el nivel de lípidos incluidos en la dieta la ganancia de peso fue mayor, por lo que se concluyó que la dieta recomendada para las crías de esta especie debe contener 500 y 150 g kg<sup>-1</sup> de PC y lípidos respectivamente.

Bright y col. (2007) evaluaron los efectos de los niveles de lípidos y la relación proteína/energía (P/E) en crías de la lobina negra (*Micropterus salmoides*) y encontraron que no hubo diferencias significativas en el peso total final (g), TEC, sobrevivencia y TEP entre los organismos alimentados con 7, 10, 16, 20 y 23 % de lípidos, lo cual indica que una dieta que contenga entre 7 y 16 % de lípidos (P/E: 137 a 106 mg/Kcal) y 40 % de PC es suficiente para mantener un crecimiento eficiente de las crías de lobina. Meyer y Fracalossi (2004), al trabajar con dietas en crías del bagre (*Rhamdia quelen*) con cinco niveles de proteína 26 a 41 % de PC, encontraron que la ganancia de peso (g), TEC, eficiencia alimentaria, TEP, consumo de alimento y composición del cuerpo fueron afectados por las dietas experimentales, también, se observó una interacción significativa entre la ganancia de peso, TEC y TEP. El experimento demostró que esta especie requiere de 32.6 a 37.3 % de proteína. Kim y col. (2002), analizaron el efecto de seis dietas con diferentes niveles de proteína (35 a 65 %) en crías del pez plano (*Paralichthys olivaceus*) y encontraron que la ganancia en peso (g) y la eficiencia alimentaria no fue significativa entre las dietas que contenían 50 y 65 % de PC, con altos valores de TEC. La tasa de eficiencia proteica (TEP) estuvo inversamente relacionada con

el nivel de proteína en la dieta. Estos hallazgos sugieren que las crías de esta especie requieren un máximo de 46.4 % de PC.

Por otra parte, Wester y col. (1995) examinaron el efecto de dietas con diferentes niveles de proteína y lípidos en el crecimiento y la composición del cuerpo del híbrido del robalo rayado (*Morone chrysops* x *M. saxatilis*) cultivado en jaulas y encontraron que el porcentaje de peso ganado y la TEC fue significativamente más alta en las dietas que contenían de 41 a 46 % de PC, con niveles de lípidos de 13 a 17 %, a su vez no se observaron diferencias en la sobrevivencia y en el FCA. Biswas y col. (2008), evaluaron los requerimientos de proteínas y lípidos en juveniles de atún del Pacífico (*Thunnus orientalis*) utilizando cinco dietas variando la proporción de proteínas/lípidos, la dieta 3 conteniendo una relación P/L de 61.9/17.9 fue la que presentó el desempeño productivo y alimenticio más alto con peso total final (g), TEC y eficiencia alimenticia con similar tasa de sobrevivencia con respecto a los otros grupos estudiados. Estos resultados demostraron que una dieta preparada con 61.9 % de PC y 17.9 % de lípidos puede ser usada de manera exitosa con los juveniles de esta especie.

Lazo y col. (1998) analizaron el efecto de diferentes niveles de proteína en la dieta sobre el crecimiento, eficiencia alimentaria y sobrevivencia de juveniles del Pámpano de Florida (*Trachinotus carolinus*). Utilizaron cuatro dietas prácticas de 30 a 45 % de PC) y los resultados mostraron que el crecimiento y eficiencia alimentaria como la ganancia de peso, la proteína consumida diaria y la TEP fue mayor con el incremento de la proteína. Los resultados indicaron que esta especie requiere un mínimo de 45 % de proteína cuando se utilizan como fuentes de proteína la harina de pescado y la harina de soya.

Miller y col. (2005) evaluaron el efecto de dietas experimentales conteniendo diferentes niveles de proteínas y lípidos sobre el crecimiento y la composición del cuerpo de juveniles y subadultos del huachinango (*Lutjanus campechanus*). Tanto en los juveniles como en los subadultos se encontró que no hubo diferencias significativas en el crecimiento, en la relación de eficiencia alimentaria y en la sobrevivencia entre los niveles de proteína de 32 a 44 %. Basado en esta información se recomienda una inclusión en la dieta de 32 a 36 % de PC y aproximadamente 10 % de lípidos para cubrir las demandas energéticas de esta especie.

Si se analiza la información anterior para comparar el desempeño productivo y la eficiencia alimentaria de las dietas experimentales utilizadas en este experimento, se observa que existió una relación de incremento con respecto a la relación de proteínas y lípidos incluidos en las dietas, así por ejemplo el peso total final (g), la ganancia de peso total (% o g), la TEC, el consumo de alimento, la eficiencia alimenticia y el consumo diario de proteína, mostraron que la dieta 6 (50 %P/12 %L) presentó los valores más altos y diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0.05$ ) con respecto a las otras dietas. Estos indicadores son más que suficientes para demostrar que las crías de Tenguayaca requieren una dieta que contenga al menos 50 % de PC y 12 % de lípidos, derivados de harina de pescado, extruido de soya y aceites de maíz y pescado, con una alta digestibilidad aparente de la materia orgánica (DAMO) que es suficiente para mantener el crecimiento y desarrollo de las crías bajo las condiciones en que se realizó el presente experimento. Comparativamente, los requerimientos son semejantes a los del pargo (*Lutjanus argentimaculatus*) con 44 % de PC; el bagre (*Mystus*

*montanus*) con 40 % de PC y 7 % de lípidos; el pez plano (*Paralichthys olivaceus*) con 45 a 50 % de PC; la lobina negra (*Micropterus salmoides*) con 40 % de PC y hasta 16 % de lípidos; el híbrido de robalo rayado (*Morone chrysops* x *M. saxatilis*) con 46 % de PC y hasta 17 % de lípidos; el atún del Pacífico (*Thunnus orientalis*) con 62 % de PC y 18 % de lípidos; el pámpano (*Trachinotus carolinus*) con 45 % de PC y el huachinango (*Lutjanus campechanus*) con 36 % de PC y 10 % de lípidos. Esta información brinda una idea de que existe una semejanza en los requerimientos de proteínas y lípidos en especies de hábitos alimenticios similares en este caso carnívoras, que si bien puede servir de modelo, no necesariamente se pueden cubrir perfectamente los requerimientos alimenticios; razón por la que es necesario evaluar de manera individual a las diferentes especies de peces Teleósteos.

Si bien las dietas experimentales utilizadas en este trabajo presentaron buenos resultados en cuanto a la sobrevivencia de los organismos (de 76.5 a 94.1 %), en cuanto a la TEP (1.1 a 1.5), siendo mayor en la dieta seis; sin embargo, que no presentaron diferencias significativas con respecto a las dietas 1 y 2; el factor de condición (K) no registró diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) entre las dietas y el FCA fue más alto en la dieta 4 y más bajo en la dieta 2, este valor sólo en tres casos rebasó el valor de 1 (dietas 3, 4 y 5), lo cual significó que las crías de Tenguayaca consumieron más alimento para tratar de cubrir sus requerimientos de energía. Por lo tanto, esta información nos arroja luz acerca de los requerimientos de los niveles de proteína y lípidos de este cíclido nativo, no obstante, es necesario continuar con los estudios para afinar los requerimientos de

lípidos manejando niveles superiores al 12 % y viendo la respuesta en los indicadores de desempeño y eficiencia alimenticia.

## **Digestibilidad**

En la actualidad la necesidad de elaborar alimentos de alta calidad y de bajo costo que permitan un óptimo desarrollo de la especie cultivada ha impulsado el desarrollo de métodos, que permitan entender el grado en que los nutrientes son absorbidos por los organismos. Uno de estos métodos es la digestibilidad aparente de los nutrientes.

El uso de sustancias que no se pueden digerir en la dieta o la adición de marcadores externos, permiten disminuir considerablemente la cantidad de heces recolectadas, pero requiere de una cantidad representativa de las mismas. (Venderberg, 2001).

El uso de cenizas insolubles en ácido presentes en el pienso es otra posibilidad para poder determinar la digestibilidad sin utilizar marcadores externos; sin embargo, con este método un porcentaje significativo de cenizas es absorbido por el animal distorsionando así los resultados finales de la digestibilidad (Venderberg, 2001).

Austreng y col. en el 2000, mencionan que un marcador inerte debe de cumplir con ciertas condiciones, como son: ser fácil de determinar en bajas concentraciones a demás de tener la capacidad de ser introducido en un alimento de forma homogénea, no afectar el metabolismo del animal, ser indigerible y no provocar contaminación.

El óxido de cromo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), es uno de los marcadores inertes más utilizados para los análisis de digestibilidad aunque no es el único, algunos autores como Hillestad (1999) y Refstie y col. (2000), realizaron análisis de digestibilidad a partir del óxido de itrio ( $\text{Y}_2\text{O}_3$ ). Hillestad en 1999 y Austreng y col. en el 2000, concluyen que no hay diferencias significativas entre los valores de digestibilidad utilizando óxido de cromo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), óxido de Itrio ( $\text{Y}_2\text{O}_3$ ), óxido de lantano ( $\text{La}_2\text{O}_3$ ) y óxido de iterbio ( $\text{Yb}_2\text{O}_3$ ).

Algunos trabajos muestran valores por encima del 90 % de digestibilidad, como lo es el Burel en el 2000, quien trabajó con trucha y lenguado registrando valores de 96 y 98 % respectivamente. Álvarez y col. en el 2008, trabajando con juveniles de Tenguayaca obtuvieron valores para el coeficiente de digestibilidad aparente de la proteína (CDAP) de 96.75, 96.94, 94.49, 98.06 y 97.63 % para 30, 35, 40, 45, 50 y 55 % de proteína respectivamente, siendo el porcentaje de 50 % proteína el que tuvo el valor más elevado de CDAP, con 98.06 %.

En el presente trabajo se obtuvieron valores de la digestibilidad aparente de la materia orgánica (DAMO) superiores al 99 % y no se observaron diferencias significativas entre las seis dietas experimentales, lo cual significó que las dietas experimentales presentaron una elevada digestibilidad, lo cual fue confirmado por el alto consumo del alimento, durante el proceso experimental.

### **Calidad del agua**

Si bien existe escasa información acerca de la calidad del agua que requiere la Tenguayaca para su buen desempeño productivo, existen algunos datos que acercan a su marco ambiental de referencia, así por ejemplo, las preferencia

térmicas de la especie varían de 30.7 a 31.9 °C (García, 2003), que es similar a otros cíclidos Neotropicales como *Cichlasoma urophthalmus* el cual tiene un intervalo óptimo de 28 a 33 °C (Caso-Chávez y col., 1986; Martínez-Palacios y col., 1996). Stauffer y Boltz (1994) reportaron una temperatura letal de 38 °C con una preferencia de 32.8 °C para dicha especie. Para otras especies como *Vieja synspila* la temperatura de reproducción varía entre 26 y 31 °C (Paramo-Delgadillo, 1984). Cochran (2008) reportó valores promedio de calidad del agua en condiciones naturales en donde viven algunos cíclidos nativos entre ellos *P. splendida* en la Cuenca alta del Río Bladen en Belice, CA. Él menciona valores de temperatura del agua de 24.1 °C; pH de 7.6; conductividad de 222 $\mu$ s/cm; salinidad de 0.1 g/L y oxígeno disuelto de 7.6 mg/L. Arredondo y col. (2010) indicaron que en sistemas cerrados de recirculación se han mantenido larvas, crías, juveniles y adultos de *P. splendida*, sin ningún problema a temperaturas de 28.3 $\pm$  1.4 °C; oxígeno disuelto de 6.2 $\pm$ 0.76 mg/L; pH de 8.1 $\pm$ 0.1; nitrito de 0.1 $\pm$ 0.14 mg/L; nitrato de 6.7 $\pm$ 12.3 mg/L y nitrógeno amoniacal total de 0.06 $\pm$ 0.57 mg/L. Recientemente, Jiménez-Martínez y col. (2009), señalan algunos datos de la calidad del agua en sistemas cerrados de recirculación en donde realizaron experimentos de crecimiento a diferentes densidades de *P. splendida* y reportaron temperatura del agua de 31.1 $\pm$ 1.2 °C; pH de 6.3 $\pm$ 0.2, oxígeno disuelto de 7.5 $\pm$ 0.2 mg/L, nitrógeno amoniacal total de 0.4 $\pm$ 0.1 mg/L y nitritos de 0.29 $\pm$ 0.1 mg/L. En 2009, Vidal-López y col. reportan en sistemas cerrados de recirculación valores de oxígeno disuelto de 5.8 $\pm$ 0.30 mg/L; temperatura de 29.1 $\pm$ 0.25 °C; pH de 6.78 $\pm$ 0.40, nitrógeno amoniacal total de 0.37 $\pm$ 0.06 mg/L, nitritos de 1.3 $\pm$ 0.32 mg/L y nitratos de 2.25 $\pm$ 0.07 mg/L.

Estos datos refuerzan la idea de que la calidad del agua evaluada en el sistema cerrado de recirculación utilizado en el presente experimento, se encontró dentro de los niveles óptimos reportados en la literatura y no afectó el crecimiento, el desarrollo y la sobrevivencia de las crías de Tenguayaca.

## CONCLUSIONES

En el presente experimento se demostró que a lo largo de 120 días de cultivo, el crecimiento en peso total y en longitud total mostraron una tendencia de incremento gradual y a partir de los 90 días de cultivo las dietas experimentales dos (30%P/12%L) y la seis (50%/12%L), se separaron marcadamente de las otras dietas presentando diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0.05$ ).

Comparativamente la tasa de crecimiento en PT y LT fue inferior a la registrada en otros experimentos similares, debido fundamentalmente a las condiciones experimentales utilizadas en el presente trabajo.

El crecimiento no fue afectado por la densidad de cultivo y no se apreció una conducta agresiva ni canibalismo a lo largo de la etapa experimental.

De acuerdo con los datos obtenidos en la presente investigación, la dieta óptima requerida por las cría de *P. splendida* es de 50 % de proteína cruda y 12 % de lípidos, con una relación PC/EB de 26.6, una relación de PC/DE de 31.2 mg de proteína  $\text{kJ}^{-1}$ , una energía bruta de  $19.3 \text{ MJ kg}^{-1}$  y un DAMO de 99.4 %, que es similar a otras especies de peces Teleósteos carnívoros como la corvina roja, la cobia y el pargo rojo de Manglar, aunque con valores ligeramente superiores.

Durante la fase experimental no se observaron síntomas de enfermedades infecciosas, ni un comportamiento errado, que pudiera significar alteraciones provocadas por un nivel bajo o elevado de lípidos en las dietas.

Los valores de los 15 aminoácidos esenciales incluidos en las dietas experimentales indicaron que las dietas cubrieron completamente los niveles requeridos por la *P. splendida* y fueron superiores a los reportados en otras especies. Esto se demostró debido a que no se observaron deformidades de los organismos que son causado por la falta de algún AAE o bien un valor elevado de alguno de ellos. Las crías aceptaron bien el alimento y el desperdicio del mismo fue insignificante, repercutiendo en las tasas de crecimiento y sobrevivencia.

El balance de ácidos grasos esenciales (AGE) en las dietas experimentales fue satisfactorio, siendo la dieta dos la que presentó una mayor cantidad de AGE, derivados fundamentalmente del aceite de pescado, razón por la cual esta dieta fue superior a las demás excepto la dieta seis que fue la mejor. Este resultado demostró que se obtienen mejores resultados cuando se incrementan los valores de ácido oleico y ácido linolénico.

Los indicadores del desempeño de crecimiento y de eficiencia del alimento demostraron que la dieta seis fue la mejor ya que se observaron diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ) en el peso final, la ganancia de peso, la tasa específica de crecimiento, el consumo de alimento, la eficiencia alimenticia y el consumo diario de proteína.

La información registrada de los parámetros físico-químicos del agua del sistema cerrado de recirculación, mostró que la calidad del agua fue adecuada para mantener el crecimiento y la sobrevivencia de las crías de *P. splendida* y no alteró los resultados obtenidos en la presente investigación.

## LITERATURA CITADA

- Akiyama, T. 1987. Studies on the essential amino acids and scoliosis caused by tryptophan deficiency of chum salmon fry. PhD Diss. University of Kyushu, Kyushu, Japan.
- Alliot, E., Febvre, A., Metailler, R. and Pastoureau, A. 1974. Besoins nutritifs du bar (*Dicentrarchus labrax*). Etude du taux proteique en fonction du taux de lipides dans le regime. *Actes de Colloques. Colloque sur l'Aquaculture*, Brest (1): 215-231.
- Álvarez-Gonzalez, C.A., Márquez-Couturier, G., Arias-Rodriguez, L., Contreras Sánchez, W.N., Uscanga Martínez, A., Perales García, N., Moyano López, F.J. Hernández-Jiménez, R., Civera-Cerecedo, R., Goytortua-Bores, E., Isidro-Olán, L.M., Almeida-Madrigal, J.A., Tovar-Ramírez, D., Gutiérrez-Ribera, J.N., Arévalo-Galán, L.M., Enric G., Treviño, L., Morales-Sánchez, B., 2008. Avances en Nutrición Acuícola IX. Memorias del Noveno Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. 24 - 26 Noviembre, 2008. Ensenada, Baja California, México. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, N.L., México, pp.190-200.
- Anderson, R.J., Kienholz, E.W., and Flickinger, S.A. 1981. Protein requirements of smallmouth bass and largemouth bass. *J. Nutr.* (111), 1085-1097.
- Official Methods of Analysis AOAC NCh 2550 of 2001. International 18<sup>th</sup> Edition 2005, Method 969.33 GLC/FID.

- Arai, S. 1981. A purified test diet for coho salmon, *Oncorhynchus kisutch* fry. *Bull. Jpn. Soc. Fish.*, 47: 547-550.
- Arredondo-Figueroa, J.L., Núñez-García, G.L., Pérez-Vega, M.H., Ponce-Palafox, T.J. y Barriga-Sosa, I. de los A. (sometido). Culture of founders and breeding of the Bay Snook *Petenia splendida* (Pisces: Cichlidae) in a recirculation Aquaculture system. *J. of Appl. Ichthyol.*
- Austreng, G.W., Storebakken, T., Thomassen, S., Refstie, S., and Thomassen, Y. 2000. Evaluation of selected trivalent metal oxides as inert markers used to estimate apparent digestibility in salmonids. *Aquaculture* 188: 65-78.
- Bahnasawy, M. 2009. Effect of dietary protein levels on growth performance and body composition of monosex Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. reared in fertilized tanks. *Pakistan Journal of Nutrition* 8 (5): 674-678.
- Baras, E., Prignin, C., Gohoungou, J. and Mélard, C. 2000. Phenotypic sex differentiation of blue tilapia under constant and fluctuating thermal regimes and its adaptive and evolutionary implications. *J. Fish Biol.* 57: 210-223.
- Biswas, B.K., Ji, C.S., Biswas, K.A., Seoka, M., Kim, Y.S. Kawasaki, K., and Takii, K. 2008. Dietary protein and lipid requirements for the Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* juvenile. *Aquaculture* 288(1-2): 114-119.
- Bórquez, A., Valdevenito, I., Dantagnan, H.P. y Bariles, J. 2002. Rendimientos productivos de dietas extruídas y peletizadas en cultivo intensivo de trucha Arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*). *Revista de Investigación y Ciencias Tecnológicas* 4: 50-55.

- Bright, A.L., Coyle, D.S., and Tidwell, H.J. 2007. Effect of dietary lipid level and protein energy ratio on growth and body composition of largemouth bass *Micropterus salmoides*. *J. World Aquacult. Soc.* 36(1): 129-134.
- Burel, C., Boujard, T., Tulli, F., and Kaushik, J.S. 2000. Digestibility of extruded lupin, and rapeseed meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture* 188 (3-4): 285-298.
- Campabadal, C. y Celis, A. 1996. Factores que afectan a la calidad de los alimentos acuícolas. *In: Avances en nutrición Acuícola III. Memorias del III Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. 3 al 6 de Septiembre de 1996. Cancún. Quintana Roo, México.*
- Catacutan, M.R., Pagador, G.E. and Tashima, S. 2001. Effect of dietary protein and lipid levels and protein to energy ratios on growth, survival and body composition of the mangrove red snapper, *Lutjanus argentimaculatus* (Forsskal 1775). *Aquaculture*. (32): 811-818.
- Chávez, L.M.O., Mattheeuws, A.E., y Pérez V.M.H. 1989. Biología de los peces del Río San Pedro. En vista de determinar su potencial para la piscicultura. INIREB-FUCID. pp. 222.
- Chen, H.Y. and Tsai, J.C. 1994. Optimal dietary protein level for the growth of juvenile grouper, *Ephinephelus malabaricus*, fed semipurified diets. *Aquaculture* 119: 265-271.
- Cho, C.Y., Bayley, H.S., and Slinger, S.J. 1975. An automated fish respirometer nutrition studies. Proc. 28<sup>th</sup> Ann. Meeting of Can Conf. for Fish. Res. Vancouver, B.C.

- Cho, C.Y., Slinger, S.J. and Bayley, H.S. 1976. Influence of level and type of dietary protein and level of feeding on feed utilization by rainbow trout. *J.Nutr.* 106: 1547-1556.
- Cho, C.Y., Slinger, S.J., and Bayley, H.S. 1982. Bionergetics of salmonid fishes: Energy intake, expenditure and productivity. *Comp. Biochem. Physiol* (73) B: 25-41.
- Choubert, G.Jr., de la Noüe, J. and Luquet, P. 1979. Continuous quantitative automatic collector for fish feces. *Prog. Fish-Cult.* (41): 64-67.
- Chou, R-L., Su, M-S., and Chen, H-Y. 2001. Optimal dietary protein and lipid levels for juvenile cobia (*Rachycentron canadum*). *Aquaculture* 193 (1-2): 81-89.
- Cochran J.L. 2008. Diet, Habitat and Ecomorphology of cichlids in the upper bladen river, Belize. Submitted to the Office of Graduate Studies of Texas A&M University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science.
- Corraze G. 1994. Nutrition lipidique des poissons: importance et conséquences. *La Pisciculture Française* (117): 25-36.
- Cowey, C.B.; Pope, J.A.; Adron, J. W. y Blair, A.: 1975, Studies on the nutrition of marine flatfish. The protein requirements of plaice (*Pleuronectes platessa*). *Br. J. Nutr.* (28): 447-456.
- Cowey, C.B. 1994. Amino acid requirements of fish: a critical appraisal of present values. *Aquaculture* 124(1-4): 1-11.
- Cuzon, G., Guillaume, J. and Cahu, C. 1994. Review. Composition, preparation and utilization of feeds for crustacean. *Aquaculture* (124): 253-267.

- Danko, D. 1997. Care and breeding of the Red Bay Snook, *Petenia splendida* <http://www.ciclidae.com-articles-ao62.html>. Febrero-2005
- De Long, D.C., Halver, J.C. and Mertz, E.T. 1958. Nutrition of salmonid fishes. VI. Protein requirements of chinook salmon at two water temperatures *J. Nutr.* (65): 589-599.
- De Silva, S.S. and T.A. Anderson, 1995. *Fish Nutrition in Aquaculture*, Chapman and Hall Aquaculture Series 1, London, 319 p.
- Devresse, B., Hernandez, A., and Micha, J.C. 1988, Marshes valorization bi fisheries development in San Pedro area (Tabasco, México). Potentialités of Cichlidae exploitation. *Facultés Universitaires Notre-Dame-De-La-Paix, Namur (Belgium)*.
- Díaz, P.E. 1973. Concepto sobre el origen y distribución de los Cíclidos. *Ciencia* pp. 9-14
- Dickson, M.W. 1987. The supply of vitamins in feed for intensive tilapia farming in Zambia, *Aquac. Fish. Managm.* 18:221-230.
- Ergun, S., Guroy, D., Tekesoglu, H., Guroy, B., Celic, I., Tekinay, A.A., and Bulut, M. 2010. Optimum dietary protein level for Blue Streak Hap, *Labidochromis caeruleus*. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 10: 27-31.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2005. Estadística de la producción acuícola, Servicios de información, datos y estadísticas de pesca, FAO Roma. 293 pp. [www.semarnat.gob.mx/acuacultura](http://www.semarnat.gob.mx/acuacultura).
- Folch, J., Lees, M., and Sloane-Stanley, G. H. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.*, 193: 265-275.

- Fournier, V., Gouillou-Coustans, M.F., Metailler, R., Vachot, C., Guedes, M.J., Tulli, F., Oliva-Teles, A., Tibaldi, E., and Kaushik, S.J. 2002. Protein and arginina requirements for maintenance and nitrogen gain in four teleosts. *Br. J. Nutr.* 87: 1-12.
- Fracalossi, D.M. and Lovell, R.T. 1994. Dietary lipid sources influence responses of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) to challenge with the pathogen *Edwardsiella ictaluri*. *Aquaculture* 119: 287-298.
- Furukawa, A. and H. Tsukahara, 1966. On the acid digestion method for the determination of chromic oxide as an index substance in the study of digestibility of fish feed, *Bull. Jon. Soc. Sci. Fish.* 32: 502–6.
- García, M. 2003. Determinación de la temperatura preferencial y metabolismo de rutina de la tenguayaca (*Petenia splendida*, Günther 1862). Tesis profesional de Licenciatura. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 42 p.
- Glencross, B., Curnow, J., Hawkins, G., Kissil, W.M., and Peterson, D. 2003. Evaluation of the feed value transgenic strain of the narrow leaf lupin (*Lupinus angustifolius*) in the diet of the marine fish, *Pagrus pagrus*. *Aquacult. Nutr.* 9: 1-10.
- Greaves, K. y Tuene, S. 2001. The form and context of aggressive behavior in farmed Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*). *Aquaculture* 193: 139-147.
- Gunasekera, M.R., De Silva, S.S., Collins, A.R., Gooley, G. and Ingram, A.B. 2001. Effect of dietary protein level on growth and food utilization in juvenile Murray cod *Maccullochella peelii peelii* (Mitchell). *Aquaculture Research* 31(2): 181-187.

- Halver, J.E., Bates, L.S., and Mertz, E.T. 1964. Protein requirements for sockeye salmon and rainbow trout. *Fed. Proc.* 23(1): 397.
- Hillestad, M., Asgard, T. and Berge M.G. 1999. Determination of digestibility of commercial salmon feeds. *Aquaculture* 179(1-4): 81-94.
- Hulsey, C.D., and García de León, F. 2005. Cichlid jaw mechanics: linking morphology to feeding specialization. *Funct. Ecol.* (19): 487-494.
- Jiménez-Martínez, D.L., Álvarez-González, A. C., Contreras-Sánchez, M.W., Márquez-Couturier, G., Arias-Rodríguez, L. and Almeida-Madriral, J. 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(6): 753-761.
- Jobling, M. 1994. *Fish Bioenergetics*. The Norwegian Collage of Fishery Science University of Tromso, Norway. Eds. Chapman & Hall, 309 p.
- Kanazawa, A., Teshima, S., Sakamoto, M., and Shinomiya, A. 1980. Nutritional requirements of the buffer fish: purified test diet and the optimum protein level. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 46: 1357-1361.
- Kaushick, S., Fauconneau, B., Terrier, L., and Gras, J. 1988. Arginine requirement and status assessed by different biochemical indices in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Aquaculture* 70: 75-90.
- Ketola, H.G. 1982. Amino acid nutrition of fishes: Requirements and supplementation of diets. *Comp. Biochem. Physiol.* 73 B(1): 1-17.
- Kifune, T., Lamothe Argumedo, R., Garcia Prieto, L., Ocegüera-Figueroa, A., Leon-Regagnon, V. 2004. *Gnathostoma binucleatum* (Spirurida:

- Gnathostomatidae) in freshwater fish of Tabasco, México. *Rev. Biol. Trop.* (52): 371-376.
- Kim, J-D. and Lall, P.S. 2001. Effects of dietary protein level on growth and utilization of protein and energy by juvenile haddock (*Melanogrammus aeglefinus*). *Aquaculture* 195(3-4): 311-319.
- Kim, K.W., Wang J.X. and Bai, C.S. 2002. Optimum dietary protein level for maximum growth of juvenile olive flounder *Paralichthys olivaceus* (Temminck et Schlegel). *Aquacult. Res.* 33(9): 673-679.
- Kiron, V., Fukuda, H., Takeuchi, T. and Watanabe, T. 1995. Essential fatty acid nutrition and defense mechanisms in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Comp. Physiol. Biochem.* 111A: 361-367.
- Klee, A.J. 1971. In quest of the Mayans. V. *The Aquarium* 4(6); 6-7.
- Klein, R.G., and Halver, J.E. 1970. Nutrition of salmonid fishes: arginina and histidina requirements of Chinook and coho salmon. *J. Nutr.*, 100: 1105-1110.
- Kloppel, T.M. and Post, F. 1975. Histological alterations in tryptophan-deficient rainbow trout. *J. Nutr.* 105: 861-866.
- Lamothe Argumedo, R; Medina Vences, R.L., López Jiménez, S., and Garcia Prieto, L. 1989. Finding of the infective form of *Gnathostoma sp.* in fishes from Temascal, Oaxaca, México. *An. Inst. Biol. Univ. Nac. Auton. Mex.* (60): 311-320.
- Lamothe Argumedo, R., Salgado-Maldonado, G., Pineda-Lopez, R. 1997. *Campechetrema herrarai* n. gen., n. sp. (Trematoda: *Cryptogonimidae*) from the intestine of *Petenia splendida* (Pisces: Cichlidae) from Campeche, México *J. Parasitol.* (83): 137-139.

- Lazo, P.J., Davis, A.D. and Arnold, R.C. 1998. The effects of dietary protein level on growth, feed efficiency and survival of juvenile Florida pompano (*Trachinotus carolinus*). *Aquaculture* 169: 225-232.
- Lee, A.M., Park, S.C., and Bang, A.I.C. 2008. Dietary protein requirement of young flounder *Paralichthys olivaceus* fed isocaloric diets. *Aquaculture* 68(1): 158-164.
- Ling, Y-H. and Shiau, S.Y. 2003. Dietary lipid requirement of grouper, *Epinephelus malaricus*, and effects on immune responses. *Aquaculture* 225: 243-250.
- Lovell T. R. 1991. Nutrition of Aquaculture species. *J. Anim. Sci.* 69: 4193-4200.
- Lupatsch, W.G., Kisil, D. and Pfeffer, E. 2001. Effects of varying dietary protein and energy supply on growth, body composition and protein utilization in gilthead seabream (*Sparus aurata* L.). *Aquacult. Nutri.* 7(2): 71-80.
- Lupatsch, W.G., Kissil, D. and Pfeffer E. 2002. Energy requirements for maintenance and growth in gilthead seabream (*Sparus aurata* L.). *Aquacult. Nutr.* 4(3): 165-173.
- Martínez-Palacios, C., Harfush-Melendez, M. y Chávez-Sánchez, C. 1996. The optimum dietary protein level for the Mexican Cichlid *Cichlasoma urophthalmus* (Gunter): A comparison of estimates derived from experiments using fixed-rate feeding and satiation feeding. *Aquacult. Nutr.* 2: 11-20.
- Mendoza, R., Montemayor, J., Verde, J., y Aguilera, C. 1996. Quimioatracción en crustáceos: papel de moléculas homologas. Avances en nutrición Acuícola III. Memorias del III Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. 3 al 6 de Septiembre de 1996. Cancún. Quintana Roo, México.

- Merola, N., and Cantelmo, O.A. 1987. Growth, feed conversion and mortality of cage-reared tambaqui, *Colossoma macropomum*, fed various dietary feeding regimes and protein levels. *Aquaculture*, 66: 223-233.
- Meyer, G. and Machado Fracalossi, D. 2004. Protein requirement of jundia fingerlings, *Rhamdia quelen*, at two dietary energy concentrations. *Aquaculture* 240(1-4): 331-343.
- Millikin, M.R. 1982. Qualitative and quantitative nutrient requirements of fishes: a review. *Fish. Bull.* 80(4): 655-686.
- Millikin, M.R. 1983. Interactive effects of dietary protein and lipids on growth and protein utilization of age-0 striped bass. *Trans. Amer. Fish. Soc.* 112: 185-193.
- Miller, R. R. 1966. Geographic distribution of Central American freshwater fishes *Copeia*. (4); 740-807
- Miller, R. R., W. L. Minckley y S. M. Norris. 2005. *Freshwater fishes of Mexico*. University of Chicago Press, Illinois. 490 p.
- Miller, L.C., Davis, A. D., Phelps, R.P., 2005. The effects of dietary protein and lipid on growth and body composition of juvenile and sub-adult red snapper (36): 52–60.
- Montgomery, D.C. 1984. *Design and analysis of experiments*. John Wiley and Sons, New York.
- Morais, S., Bell, G.J., Robertson A.D., Roy, J.W., and Morris, C.P. 2001. Protein/Lipid ratios in extruded diets for Atlantic cod (*Gadus Morhua* L.):

- effects on growth, feed utilization, muscle composition and liver histology. *Aquaculture*. (203): 101-119.
- Moon, H.Y., and Gatlin, D.M. III. 1991. Total sulfur amino acid requirement of juvenile red drum, *Sciaenops ocellatus*. *Aquaculture*, 95: 97-106.
- Murai, T., Fleetwood, M.A., and Andrews, J.W. 1979. Optimum levels of dietary crude protein for fingerling American shad. *Prog. Fish. Cult.* (41), 5-6.
- Ng, W.K., and Hung, S.S.O. 1994. Amino acid composition of whole body, egg and selected tissues of white sturgeon (*Acipenser transmontanus*). *Aquaculture* 126: 323-329.
- Ngamsnae, P., De Silva, S.S. and Gunasekera, M.R. 1999. Arginine and phenylalanine requirement of juvenile silver perch *Bidyanus bidyanus* and validation of the use of body amino acid composition for estimating individual amino acid requirements. *Aquacult. Nutr.* 5: 173-180.
- Noiset, J.L. 1996. Population dynamics and exploitation of three cichlids (teleostei) in the floodplain of the San Pedro River (Tabasco, México), *Facultes Universitaires Notre-Dame de la Paix, Namur* (Belgium).
- NRC (National Research Council). 1991. *Nutrient requirements of fish*. National Academy of Press, Washington, D.C.
- Norris, R.E. 1971. In quest of the Mayans. Sequel I. *The Aquarium* 4(6): 38-44.
- Nose, T. 1960. On the digestion of food protein by gold fish (*Carassius auratus L.*) and rainbow trout (*Salmo irideus G.*) *Bull. Freshwater Fish. Res. Lab.* (10):23-28.

- Ogino, C., Kakino, J., and Chen, M.S. 1973. Determination of metabolic fecal nitrogen and endogenous nitrogen excretion of carp. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* (39): 519-523.
- Páramo-Delgadillo, S. 1984. Ictiofauna de Río Gonzáles y lagunas adyacentes, Tabasco, México. *Universidad y Ciencia* 1: 5-19.
- Pérez-Sánchez, E. and Páramo-Delgadillo, S. 2008. The culture of cichlids of southeastern Mexico. *Aquacult. Res.* 39(7): 777-783.
- Perez-Vega, M.H., Uribe-Aranzabal, M.C. Garcia-Lorenzana, M., Romero-Ramirez, M.C., and Arredondo-Figueroa, J.L: 2006. Description of the ovarian follicle growth of the Neotropical cichlid *Petenia splendida* and *Parachromis managuensis* (Perciformes: Cichlidae). *J. Appl. Ichthyol.* (22): 515-520.
- Poniak, J., Muñoz, S., Díaz, N., González, C. y Díaz, I. 2004. Efecto de dietas con diferentes proporciones de proteínas y lípidos sobre la respuesta productiva y características de la canal del salmón del Pacífico (*Oncorhynchus kisutch*). *Arch. Med. Vet.* 36(2): 163-172.
- Portz, L., Cyrino, J.E.P., and Martino, R.C. 2008. Growth and body composition of juvenile largemouth bass *Micropterus salmoides* in response to dietary protein and energy levels. *Aquacult. Nutr.* 7(4): 247-254.
- Poston, H.A., Riss, R.C., Rumsey, G.L and Ketola, H.G. 1977. *Cornell Vet.* 67: 472-502.
- Raj, A.J.A., Haniffa, M.A., Seetharaman, S., and Appelbaum, S. 2007. Effect of dietary lipid levels on survival and growth of the threatened freshwater catfish *Mystus montanus*. *E.U. J. Fish. Aquat. Sci.* 24(1-2): 51-54.

- Ravi, J., and Devaraj, K.V. 1991. Quantitative essential amino acid requirement for growth of catla, *Catla catla* (Hamilton). *Aquaculture*, 96: 281-291.
- Refstie, S., Korsoen, O., Storebakken, T., Baeverfjord, G., Lein, I., and Roem, A. 2000. Differing nutritional responses to dietary soybean meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 190: 49-63.
- Reséndez, M.A. y Salvadores, B. M.L. 1983. Contribución al conocimiento de la Biología del pejelagarto *Lepisosteus tropicus* (Gill) y la Tenguayaca *Petenia splendida* (Günther), del estado de Tabasco. *Biotica* 8: 413-426.
- Rodríguez-Serna, M. y Carmona, O.C 2002. Balance energético de Acocil *Cambarellus montezumae* (Saussure) (Crustacea: Astacidae. Cambaridae) perdida de energía en la tasa metabólica., I *Congreso Americano Virtual de Acuicultura (CIVA)*, pp. 932-938.
- Rosas, V.C. 1996. Bioenergética de camarones pendidos: Una forma de comprender los mecanismos fisiológicos involucrados en la nutrición. *In: Avances en nutrición Acuícola III*. Memorias del III Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. 3 al 6 de Septiembre de 1996. Cancún. Quintana Roo, México.
- Sabaut, J.J. and Luquet, P. 1973. Nutritional requirements of the gilthead bream *Chrysophrys aurata*, Quantitative protein requirements. *Mar. Biol.* (18): 50-54.
- Santiago, C.B., and Lovell, R.T. 1988. Amino acid requirements for growth of Nile tilapia. *J. Nutr.* 118: 1540-1546.

- Santinha, P.J.M., Medale, F., Corraze, G. and Gomes, E.F.S. 1999. Effects of the dietary protein: lipid ratio on growth and nutrient utilization in gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Aquacult. Nutr.*, 5: 147-156.
- Schuchardt, D., Vergara, J.M., Fernández-Palacios, H., Kalinowski, C.T., Hernández-Cruz, C.M., Izquierdo, M.S. and Robaina, L. 2008. Effects of different dietary protein and lipid levels on growth, feed utilization and body composition of red porgy (*Pagrus pagrus*) fingerlings. *Aquacult. Nutr.* 14(1): 1-9.
- Sheridan M.A. 1988. Lipid dynamics in fish: aspects of absorption, transportation, deposition and mobilization. *Comp. Biochem. Physiol.* 9013: 679-690.
- Shiau, S. and Lan, C. 1996. Optimum dietary protein level and protein to energy ratio for growth of grouper (*Epinephelus malabaricus*). *Aquaculture* 145: 259-266.
- Skalli, A., Hidalgo, M.C., Abellán, E., Arizcun, M., and Cardenete, G. 2004. Effects of dietary protein/lipid ratio on growth and nutrient utilization in common dentex (*Dentex dentex* L.) at different growth stages. *Aquaculture*, (235): 1-11.
- Smith, R.R. 1971. A method for measuring digestibility and metabolizable energy of feeds. *Prog. Fish-Cult.* (33): 132-134.
- Sokal, R.R., and Rohlf, F.J. 2000 *Biometry. The principles and practice of statistics in biological research.* 3<sup>rd</sup>. Ed., Freeman and Company, New York.
- Staeck, W. 1978 Ein nouer Cichlide aus dem sii dlichen Tangaanikasee *Lamprologus nkambae* sp. (Piscis Cichilae). *Rev. Zool. Art.* 94(1): 11-14.

- Stauffer, J. R. Jr., and S. E. Boltz. 1994. The effect of salinity on temperature preference and tolerance of age-0 Mayan cichlid. *Trans. Amer. Fish. Soc.* 123:101-107.
- Tacon, A.G.J., and Cowey, C.B. 1985. Protein and amino acid requirements. *In*: Tytler, P., and Calow, P. (Eds.), *Fish energetic*. Croom Helm, London, UK, pp. 155-183.
- Takeuchi, T., Watanabe, T., and Ogino, C. 1979. Digestibility of hydrogenated fish oil in carp and rainbow trout, *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish*, (45): 1521-1525.
- Thoman, S.E., Davis A.D., and Arnold, R.C. 1999. Evaluation of growout diets with varying protein and energy levels for red drum (*Sciaenops ocellatus*). *Aquaculture* 176: 343-353.
- Thompson, K.D., Tatner, M.F. and Henderson, J.R. 1996. Effects of dietary (n-3) and (n-6) polyunsaturated fatty acid ratio on immune response of Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Aquacult. Int.* 4: 31-41.
- Tibaldi, E., Lanari, D., Ballestrazzi, R., Tulli, F., and Pinosa, M. 1993. Preliminary evaluation of the arginine requirements of fingerling sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Rivista Italiana di Acquacoltura* 28: 105-115.
- Tibaldi, E., and Kaushik, S.J. 2005. Amino acid requirements of Mediterranean fish species. *Cahiers Options Mediterraneeennes* (63): 59-65.
- Tulli, F., Tibaldi, E., and Colitti, M. 1997. Effeti della carenza dietetic di triptofano in giovanili di branzino. *In*: Atti XII Congresso Nazionale dell'Associazione Scientifica di Produzione Animale, Pisa. Ed. ASPA, Pisa, Italy, pp. 401-402.

- Valtierra-Vega, M.T. and J.J. Schmitter-Soto 2000 Hábitos alimentarios de las mojarras (Perciformes: Cichlidae) de la laguna Caobas, Quintana Roo, México *Rev. Biol. Trop.* 48(2/3):503-508.
- Vanderberg, G.W, and De la Noüe, J. 2001. Apparent digestibility comparison in rainbow trout (*Onchorynchus mykiss*). Assessed using three methods of faeces collection and three digestibility markers. *Aquacult. Nutr.* 7: 237-245.
- Vázquez-Ortiz, F.A., Caire, G., Higuera, I., and Hernández, G. 1995. High performance liquid chromatographic determination of free amino acids in shrimp. *J. Liquid Chrom.* 18(10): 2059-2068.
- Vidal-López J.M., Álvarez-González, C.A., Contreras-Sánchez, W.M. y Hernández-Vidal, U. 2009. Masculinización del cíclido nativo tenhuayaca, *Petenia splendida* (Günther, 1862), usando nauplios de *Artemia* como vehículo del esteroide 17- $\alpha$  metiltestosterona. *Hidrobiológica* 19 (3): 211-216.
- Wainwright, P.C., Ferry-Graham, L.A., Waltzek, T.B., Carroll, A.M., Hulsey, C.D., and Grubich, J.R. 2001. Evaluating the use of ram and suction during prey capture by cichlid fishes. *J. Exp. Biol.* (204): 3039-3051.
- Watanabe T. 1982. Lipid nutrition in Fish. *Comp. Biochem. Physiol.*, 73B: 3-15.
- Watzek, T.B. and Wainwright, P.C. 2003. Functional morphology of extreme jaw protrusion in Neotropical cichlids. *J. Morphol.* (257): 96-106.
- Wester, D.C., Tiu, G.L., Tidwell, H.J. Van Wyk, P., and Howerton, D.R. 1995. Effects of dietary protein and lipid levels on growth and body composition of sunshine bass (*Morone chrysops* X *M. saxatilis*) reared in cages. *Aquaculture* 131(3-4): 291-301.

- Wilson, R.P. 1989. Amino Acids and Proteins. In: *Fish nutrition* (ed. By J.E. Halver), Academic Press. New York, pp. 111-151.
- Wilson, R.P., and Poe, W.E. 1985. Relationship of whole body and egg essential amino acid patterns to amino acid requirement patterns in channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *Comp. Biochem. Physiol.* 80B: 385-388.
- Windell, J.T., Foltz, J.W., and Sarokon, J.A. 1978. Methods of fecal collection and nutrient leaching in digestibility studies. *Prog. Fish-Cult.* (40): 51-55.
- Zuanon, J.A.S., Salaro, A.L., Moraes, S.S.S., Alves, M.O.L., Balbino, M.E., and Araujo, S.E. 2009. Dietary protein and energy requirements of juvenile freshwater angelfish. *R. Bras. Zootec.* 38(6): 989-993.















Casa abierta al tiempo

## AGRADECIMIENTOS

El jurado designado por la **División de Ciencias Biológicas y de la Salud** de la Unidad Iztapalapa aprobó la tesis que presentó

**José Jiro Matsumoto Soulé**

El día 25 de Octubre del año 2010

Comité Tutorial

**Director:** Dr. José Luis Arredondo Figueroa

**Asesor:** Dra. Keiko Shirai Matsumoto

**Asesor:** Dr. José Luis Gómez Márquez

**Sinodal:** Dra. Bertha Peña Mendoza

**Sinodal:** Dr. Isaías Hazarmabeth Salgado Ugarte