



UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y
TECNOLÓGICAS

POSGRADO EN BIOCENCIAS

**EVALUACIÓN DEL REEMPLAZO DE HARINA
Y ACEITE DE PESCADO POR HARINA DE
MICROALGAS EN ALIMENTOS BALANCEADOS
PARA LA PERCA HÍBRIDA RAYADA,
Morone chrysops ♀ × *M. saxatilis* ♂.**

TESIS

que para obtener el grado de:

MAESTRO EN BIOCENCIAS

presenta:

MARÍA LUISA JUÁREZ GÓMEZ

Hermosillo, Sonora, México

3 de diciembre de 2018

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

DERECHOS DE AUTOR

El presente trabajo de tesis se presenta como uno de los requisitos parciales para la obtención del grado de **Maestra en Biociencias** de la Universidad de Sonora.

Se deposita en la biblioteca de Ciencias Biológicas y de la Salud para ponerla a disposición de los interesados. Se permiten citas breves del material contenido en la tesis sin permiso del autor, siempre y cuando se otorgue el crédito correspondiente. Para reproducir, o en su caso referirse a este documento en forma parcial o total, se deberá solicitar la autorización al Coordinador del Programa del Posgrado.

Bajo cualquier otra circunstancia se debe solicitar permiso directamente al autor.

Atentamente

María Luisa Juárez Gómez

Autor

Dra. Nohemí Gámez Meza

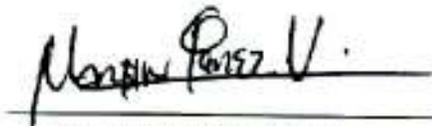
Coordinadora del Programa de Maestría en Biociencias

APROBACIÓN

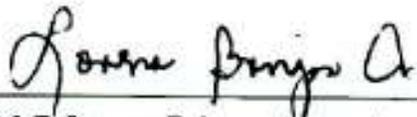
Los miembros del Comité designado para revisar la tesis intitulada Evaluación del reemplazo de harina y aceite de pescado por harina de microalgas en alimentos balanceados para la perca híbrida rayada, *Morone chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂ presentada por la L.E. María Luisa Juárez Gómez, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Biociencias.



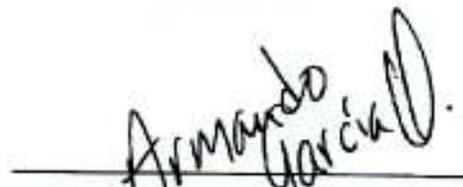
Dra. Mayra Lizett González Félix
Directora



Dr. Martín Pérez Velázquez
Co-director



M.C. Lorena Bringas Alvarado
Sinodal interno



Dr. Armando García Ortega
Sinodal externo

DEDICATORIA

A mi familia.

AGRADECIMIENTOS

A mi directora de tesis la doctora Mayra Lizett González Félix por su paciencia, tiempo, apoyo y por el aprendizaje adquirido tanto académicamente como emocionalmente.

A mi codirector el doctor Martín Pérez Velázquez por sus acertados comentarios, por su guía pertinente y el apoyo brindado.

A mis sinodales la maestra en ciencias Lorena Bringas Alvarado y al doctor Armando García Ortega por sus atinadas sugerencias, disposición y consejos para mejorar.

A mi papi aunque no esté en vida, sus enseñanzas y amor siempre perdurarán en cada etapa de mi vida.

A mi mamá y a mi familia por su apoyo incondicional, por motivarme en cada uno de los días buenos y malos.

A Ramón Enrique por brindarme ese apoyo en todo momento, por ser ese gran motor de motivación en mi vida.

A mis compañeros de laboratorio por brindarme de su conocimiento, risas y consejos académicos.

A Cristian y Erik por su invaluable apoyo en mi estancia en Kino, por brindarme tiempo y ayuda.

A mis amigos, Alejo, Fernando, Pablo, Karla, Génesis, Marielena, Diana, Anny por su mutuo apoyo incondicional.

A Carlos por todo tu apoyo académico, por brindarme y dedicarme todo ese tiempo y paciencia, también por su apoyo fraternal.

A CONACyT por brindarme la oportunidad de poder realizar esta meta de vida.

RESUMEN

El éxito en la producción de productos acuáticos se debe en gran medida al alimento balanceado. La harina y aceite de pescado son los ingredientes más utilizados para fabricarlo, y son de gran importancia pues proveen nutrientes esenciales para el adecuado desempeño biológico de los organismos cultivados, pero su gran demanda ha provocado su encarecimiento, impulsando la búsqueda de alternativas más económicas y sustentables, como las harinas de microalgas que poseen un alto contenido de ácidos grasos, tanto poliinsaturados (PUFA, por sus siglas en inglés) como altamente insaturados (HUFA, por sus siglas en inglés), y de proteína. El objetivo del presente estudio fue evaluar el reemplazo de harina y aceite de pescado por harina de *Schizochytrium* spp. y *Arthrospira* spp. en alimentos balanceados para la perca híbrida rayada *Morone chrysops* × *M. saxatilis*. Se evaluaron 5 dietas experimentales con 40% de proteína cruda y 10% de lípido dietario, con reemplazo de 10, 20, 30, 40 y 50% de harina de pescado por harina de *Arthrospira* spp. y de aceite de pescado por harina de *Schizochytrium* spp. Juveniles de esta especie con un peso promedio inicial de 10.6 g, mantenidos en un sistema de recirculación, se alimentaron durante 6 semanas con las dietas experimentales. En el desempeño biológico y en eficiencia alimenticia no se observaron diferencias estadísticamente significativas en factor de condición ($P=0.7280$), índice hepatosomático ($P=0.4459$), grasa intraperitoneal ($P=0.1061$) y tasa de eficiencia alimenticia ($P=0.221$), sin embargo, se observaron diferencias estadísticamente significativas en las variables de peso final ($P=0.0120$), peso ganado ($P=0.0127$), porcentaje de peso ganado ($P=0.0323$) y coeficiente térmico de crecimiento ($P=0.0168$). En la composición proximal no se observaron diferencias estadísticas para los porcentajes de proteína cruda, humedad y cenizas en los organismos experimentales; sin embargo, en el contenido de grasa cruda se observaron diferencias significativas ($P=0.0001$). El perfil de ácidos grasos de las dietas experimentales tuvo un efecto sobre la composición de ácidos grasos del tejido de los peces, con una tendencia a incrementar la concentración de algunos ácidos grasos como 16:0, 18:2n-6 y 22:6n-3. En el presente estudio se comprobó que se puede reemplazar hasta un 50% de harina y aceite de pescado por insumos microalgales sin afectar el desempeño biológico de la perca híbrida rayada bajo estas condiciones de cultivo.

ABSTRACT

The success in the production of aquatic products is largely due to balanced feeds. Fishmeal and fish oil are the main ingredients used in their manufacture, both of great importance because they provide essential nutrients for the adequate biological performance of the cultured organisms. Nevertheless, their growing demand has caused their staggering price, encouraging the search for inexpensive and sustainable alternative ingredients such as microalgae meals, rich in fatty acids, both polyunsaturated (PUFA) and highly unsaturated (HUFA), as well as protein. The aim of this study was to assess the replacement of fishmeal and fish oil by *Schizochytrium* spp. and *Arthrospira* spp. meals in balanced feeds for hybrid striped bass *Morone chrysops* × *M. saxatilis*. Five experimental diets containing 40% crude protein and 10% dietary lipid were evaluated, and the dietary replacement of 10, 20, 30, 40 and 50% of fishmeal by *Arthrospira* meal, and of fish oil by *Schizochytrium* meal, were assessed. Juveniles with 10.6 g of initial weight were kept in a recirculating system and fed the experimental diets during 6 weeks. Biological performance of cultured fish and the feed efficiency parameters showed no statistical differences for variables like the condition factor ($P= 0.7280$), hepatosomatic index ($P= 0.4459$), intraperitoneal fat ratio ($P= 0.1061$), and feed efficiency ($P=0.221$). However, statistically significant differences were observed in final weight ($P= 0.0120$), weight gain ($P= 0.0127$), percent weight gain ($P= 0.0323$) and thermal growth coefficient ($P= 0.0168$). With respect to the proximate composition of whole fish, no statistical differences were observed for crude protein, moisture, and ash; however, significant differences were observed in the crude fat content ($P = 0.0001$). The fatty acid profile of the diets influenced the fatty acid profile of fish tissues, eliciting an increment in the content of specific fatty acids, such as 16: 0, 18: 2n-6 and 22:6n-3. The present study proved that up to 50% of fishmeal and fish oil can be replaced by these microalgae meals without affecting the biological performance of hybrid striped bass under these experimental conditions.

ÍNDICE GENERAL

| | Página |
|---|--------|
| APROBACIÓN | i |
| DEDICATORIA | ii |
| AGRADECIMIENTOS | iii |
| RESUMEN | v |
| ABSTRACT | vi |
| ÍNDICE DE FIGURAS | ix |
| ÍNDICE DE TABLAS | x |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| I. ANTECEDENTES | 3 |
| I.1. Acuicultura | 3 |
| I.2. Familia Moronidae | 3 |
| 1.2.1. <i>Morone chrysops</i> | 4 |
| 1.2.2. <i>Morone saxatilis</i> | 5 |
| I.3. <i>Morone chrysops</i> ♀ × <i>M. saxatilis</i> ♂ | 6 |
| I.3.1. Sistemática de la perca híbrida rayada | 8 |
| I.4. Nutrición en la acuicultura | 9 |
| I.5. Proteínas | 9 |
| I.6. Lípidos | 10 |
| I.7. Reemplazo de harina y aceite de pescado por harina de microalgas ... | 12 |
| 1.7.1. <i>Arthrospira</i> sp. | 13 |
| 1.7.2. <i>Schizochytrium limacinum</i> | 15 |
| II. HIPÓTESIS | 18 |
| III. OBJETIVOS | 19 |
| III.1. Objetivo general | 19 |
| III.2. Objetivos específicos | 19 |
| IV. MATERIALES Y MÉTODOS | 20 |
| IV.1. Obtención y aclimatación de los organismos | 20 |
| IV.2. Sistema de cultivo experimental | 21 |
| IV.3. Dietas experimentales y mantenimiento | 22 |
| IV.3.1. Análisis proximal de dietas experimentales | 22 |
| IV.4. Parámetros de crecimiento y composición proximal | 25 |
| IV.5. Análisis estadístico | 26 |
| V. RESULTADOS | 27 |
| V.1. Índices de desempeño biológico | 27 |
| V.2. Eficiencia alimenticia | 27 |

| | Página |
|--|--------|
| V.3. Composición proximal de organismo completo | 29 |
| V.4. Perfil de ácidos grasos de dietas experimentales y organismos completos | 30 |
| VI. DISCUSIÓN | 36 |
| VI.1. Parámetros de calidad del agua | 36 |
| VI.2. Índices de desempeño biológico | 37 |
| VI.3. Eficiencia alimenticia | 39 |
| VI.4. Composición proximal de organismos completos | 40 |
| VI.5. Composición de ácidos grasos de dietas y organismos completos ... | 41 |
| VII. CONCLUSIONES | 44 |
| VIII. RECOMENDACIONES | 45 |
| IX. LITERATURA CITADA | 46 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| FIGURA | | PÁGINA |
|--------|--|--------|
| 1 | Género <i>Morone</i> . Imagen de Le François <i>et al.</i> (2010) | 4 |
| 2 | <i>Morone chrysops</i> . Imagen de Berra (2002) | 5 |
| 3 | <i>Morone saxatilis</i> . Imagen de Tomelleri (2013) | 6 |
| 4 | Perca híbrida rayada, <i>Morone chrysops</i> ♀ × <i>M. saxatilis</i> ♂. Imagen de Tomelleri (2013) | 7 |
| 5 | Juvenil de perca híbrida rayada. Imagen de Mayra González (2017) ... | 8 |
| 6 | Juvenil de perca híbrida rayada. Imagen de Mayra González (2017) ... | 20 |
| 7 | Sistema de cultivo experimental. Imagen de Martín Pérez (2017) | 21 |
| 8 | Apariencia de una dieta experimental. Imagen de Mayra González (2017)..... | 23 |
| 9 | Disección de organismos para la determinación de índices corporales. Imagen de Mayra González (2017) | 26 |

ÍNDICE DE TABLAS

| TABLA | | PÁGINA |
|--------------|--|---------------|
| 1 | Composición de ingredientes (g/kg) y composición proximal (%) de las dietas experimentales. | 24 |
| 2 | Desempeño biológico y eficiencia alimenticia de la perca híbrida rayada alimentada con diferentes niveles de reemplazo de harina y aceite de pescado por harina de microalgas durante 6 semanas. | 28 |
| 3 | Composición proximal de la perca híbrida rayada después de 6 semanas de alimentación con distintos niveles de reemplazo de harina y aceite de pescado por harinas de microalgas. | 29 |
| 4 | Perfil de ácidos grasos de ingredientes (% de ácidos grasos metil ésteres identificados). | 31 |
| 5 | Perfil de ácidos grasos de ingredientes (mg/g de ingrediente). | 32 |
| 6 | Perfil de ácidos grasos de las dietas experimentales (% de ácidos grasos metil ésteres identificados). | 33 |
| 7 | Perfil de ácidos grasos del cuerpo completo de perca híbrida rayada (% de ácidos grasos metil ésteres identificados). | 34 |
| 8 | Perfil de ácidos grasos del cuerpo completo de perca híbrida rayada (mg/g de tejido húmedo). | 35 |

INTRODUCCIÓN

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés), la acuicultura es la actividad en la que se cultivan organismos acuáticos, que comprenden crustáceos, moluscos, peces y algas, mediante la intervención del ser humano para incrementar su producción. Esta actividad se practica desde mucho tiempo atrás, aunque no se sabe con precisión su origen, sin embargo, algunos autores coinciden en que se inició en China hace aproximadamente 3,500 a 4,000 años (Stickney y Treece, 2012; Costa-Pierce, 2002).

El éxito de esta actividad ha provocado que su práctica se incremente en todo el mundo. La producción global de la acuicultura incluye una gran variedad de organismos de agua dulce, salobre y marina. En 2016, FAO reportó una producción mundial total de aproximadamente 74 millones de toneladas de productos acuáticos, de los cuales alrededor de 47 millones de toneladas fueron aportadas por la acuicultura continental.

El destacado crecimiento en la producción de organismos acuáticos, tanto marinos como dulceacuícolas, se ha logrado en gran medida gracias al alimento balanceado. Entre los principales insumos para la elaboración de alimento balanceado se encuentran la harina y aceite de pescado, los cuales son de gran importancia, pues proveen nutrientes esenciales para el adecuado desempeño biológico de los organismos cultivados. Sin embargo, dichos insumos son limitados, tienen un alto costo y su obtención genera un impacto sobre los recursos pesqueros disponibles (FAO, 1986; Tacon y Metian, 2008).

La demanda de harina y aceite de pescado es cada vez mayor como consecuencia del incremento de la producción acuícola. Debido a la limitada disponibilidad de dichos ingredientes, se ha impulsado la búsqueda de alternativas de origen vegetal y animal que se puedan producir de una forma más controlada, a menor costo y con menor impacto sobre el ambiente. Tal es el caso de los ingredientes derivados de microalgas, que se caracterizan por tener un alto contenido de ácidos grasos esenciales, tanto poliinsaturados (PUFA, por sus siglas en inglés), como altamente insaturados (HUFA, por sus siglas en inglés). Los peces cultivados, en especial los peces carnívoros marinos, tienen un importante requerimiento de proteína y de ácidos grasos esenciales, que suelen ser satisfechos por la harina y aceite de pescado. Estudios recientes han probado que las microalgas son una excelente fuente de dichos nutrientes, ejemplo

de algunas de ellas son las microalgas *Chrorella* sp., *Dunaliella* sp., *Nannochloropsis* sp., *Pavlova* sp., *Schizochytrium* sp., *Arthrospira* sp., *Desmoscloris* sp. y *Nannofrustulum* sp. (García-Ortega *et al.* 2015; Maisashvili *et al.* 2015; Shah *et al.* 2017).

La perca híbrida rayada es una especie que tiene gran relevancia en Estados Unidos; sin embargo, se estima que su cultivo pudiera expandirse a Europa y Asia (Harrell, 2016). Esta especie tiene características que le permiten competir en el mercado con otras especies. La perca híbrida ha demostrado tener un buen desempeño en cautiverio y la contribución de este trabajo es relevante para lograr que se incremente su producción de forma sustentable.

I. ANTECEDENTES

I.1. Acuicultura

La acuicultura ha incrementado su producción constantemente durante las últimas décadas. Esta actividad tan sólo representaba el 7% de la producción mundial total de productos acuáticos en el año de 1974, sin embargo, en 2014 aumentó hasta el 44% de dicha producción (FAO, 2016). Se predice que para el año 2025, la acuicultura generará más productos que la pesquería. Por ello, los estudios referentes a la sustitución de harina y aceite de pescado para la elaboración de alimento balanceado para el cultivo de peces son prioritarios.

Se calcula que se producen alrededor de 362 especies de peces de escama a nivel global en ambientes marinos, costeros y tierra adentro. La acuicultura continental ofrece una importante alternativa de generación de alimento para países en desarrollo. En el año 2014 esta modalidad de cultivo aportó el equivalente al 63.83% de la producción total de la acuicultura, que correspondió a 73.8 millones de toneladas (FAO, 2016). La perca híbrida rayada, generada a partir de hembras de *Morone chrysops* y machos de *Morone saxatilis*, es una cruce con potencial de cultivo en este tipo de ambiente.

1.2. Familia Moronidae

Los peces de la familia Moronidae son conocidos como percas. Está conformada por dos géneros, *Dicentrarchus* y *Morone*, y seis especies, distribuidas en las costas del Golfo de América del Norte y océano Atlántico, en Europa y en el norte de África (Etnier y Starnes, 1993; Nelson, 1994). Cuatro de las especies pertenecientes a esta familia se encuentran en el norte de Estados Unidos, *M. americana*, *M. mississippiensis*, *M. saxatilis* y *M. chrysops*. Las otras dos especies se encuentran en Europa y en el Norte de África, *D. labrax* y *D. punctata*. Dos de las especies americanas son salobres y de zonas costeras marinas, mientras que las otras dos son de agua dulce (Etnier y Starnes, 1993; Jobling, 1988).

El género *Morone* tienen líneas laterales continuas, dos aletas dorsales, la primera con 9 espinas y la segunda con dos espinas, 17 radios principales en la aleta caudal, 7 radios

branquiostales, una espina opercular, mandíbulas con dientes cónicos muy juntos, y escamas ctenoides en todo el cuerpo y gran parte de la cabeza (Figura 1).

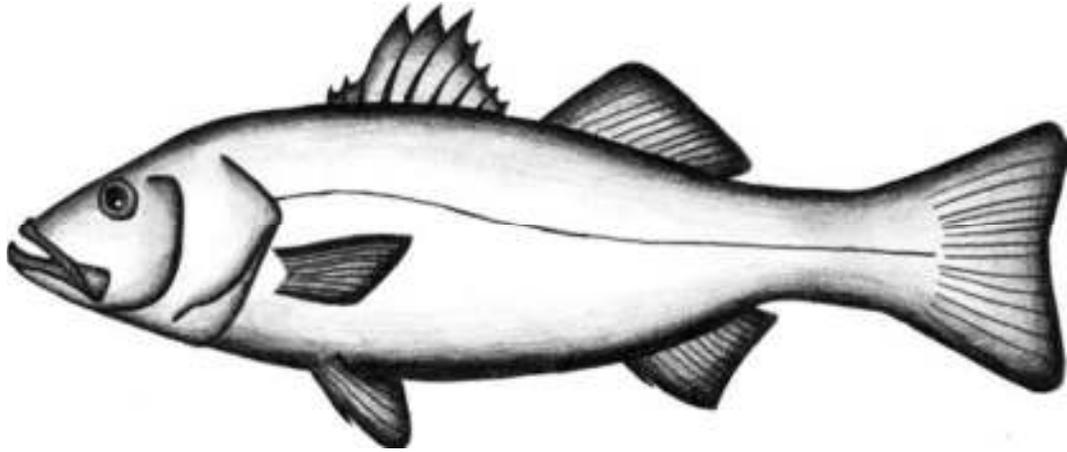


Figura 1. Género *Morone*. Imagen de Le François *et al.* (2010).

I.2.1. *Morone chrysops*

Es una especie que habita en aguas dulces de estanques, lagos y ríos; es demersal y potamodromo (Page y Burr, 1991; Etnier y Starnes, 1993). Es conocida como “ojo dorado”, “rayado”, o “perca blanca”. Durante su estadio juvenil se alimenta de pequeños invertebrados y cuando es adulta se alimenta de otros peces. Se aprovecha principalmente en la pesca deportiva y como alimento (Etnier y Starnes, 1993).

Tiene una longitud máxima registrada de 45.0 cm, sin embargo, su tamaño normal oscila alrededor de 32 cm. El peso máximo registrado es de 3.1 kg. Tiene en la línea lateral de 51-60 escamas, en las aletas dorsales tiene de 12-14 radios, en la aleta anal tiene de 11-13 radios, y en la aleta pectoral presenta 15-17 radios (Figura 2). Tiene un color gris plateado a azul acero dorsalmente y en el área lateral de blanco a verde pálido, con rayas horizontales de coloración oscura, y en el área del ojo a menudo una coloración dorada, de ahí surge el apodo de “ojo dorado” (Etnier y Starnes, 1993).

Se distribuye principalmente en Norte América, en las cuencas de los ríos de St. Lawrence y Great Salt Lakes, la bahía Hudson y Mississippi, desde Quebec hasta Manitoba en Canadá y al sur hasta Louisiana, y desde el río Mississippi hasta el Río Grande en Texas y Nuevo México, Estados Unidos (Etnier y Starnes, 1993).

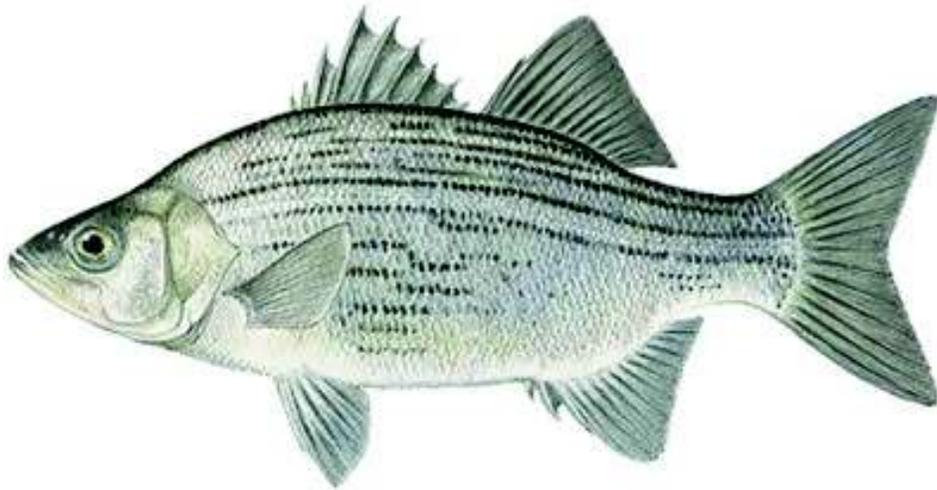


Figura 2. *Morone chrysops*. Imagen de Berra (2002).

1.2.2. *Morone saxatilis*

Es conocido como perca rayada, basa rayado, o pez roca. Habita en aguas costeras, pero ingresa en ríos para desovar durante la primavera (Eschmeyer *et al.*, 1983). Es de gran importancia en algunas regiones de Estados Unidos debido a la pesca deportiva y es bien aceptada como alimento. Es la especie de mayor abundancia en la familia Moronidae. Las larvas se alimentan de zooplancton, los juveniles de pequeños crustáceos y otros copépodos, y en la etapa adulta se alimentan de otros peces (Etnier y Starnes, 1993).

La longitud máxima registrada es de 200 cm, pero su longitud normal es de aproximadamente 120 cm, el peso máximo registrado es de 57 kg. Tiene una línea lateral de 57-68 escamas, en la aleta dorsal tiene 8-14 radios, en la aleta anal 7-12 radios, en la aleta pectoral 15-17 radios y de 20-29 branquiespinas (Figura 3). La coloración en la parte superior varía entre

gris plata y azul acero, en sus laterales es de blanca a verde pálido con rayas oscuras (Etnier y Starnes, 1993).

M. saxatilis se encuentra distribuida en el Atlántico occidental, desde Canadá hasta el norte del Golfo de México. En Canadá, habita desde el río San Lorenzo hasta el río St. John en el norte de Florida, en los afluentes frescos y salobres del oeste de Florida y hasta Louisiana en los Estados Unidos.

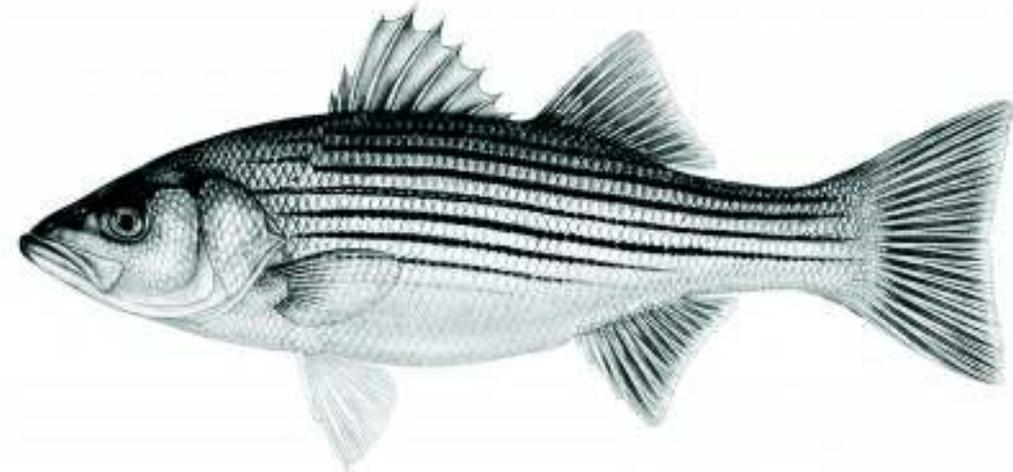


Figura 3. *Morone saxatilis*. Imagen de Tomelleri (2013).

I.3. *Morone chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂

La perca híbrida rayada es una cruce entre la hembra de *Morone chrysops* y el macho de *Morone saxatilis*. Es conocida como “sunshine bass” y “Back- cross”. La cruce recíproca es conocida como “original” o “palmetto bass” (*Morone saxatilis* ♀ × *M. chrysops* ♂) (McEntire *et al.*, 2015). La perca híbrida rayada es la cruce más popular en la familia Moronidae, ya sea para fines de pesca deportiva o como alimento. La especie es anádroma y habita en la costa del Atlántico, desde New Brunswick hasta Florida, y a lo largo del Golfo de México, desde la Costa de Florida hasta Texas, en áreas donde generalmente existen plantas. Son pelágicos y su actividad ocurre durante el crepúsculo, en períodos de poca luz, es decir, al amanecer y al anochecer. Son predadores de organismos pequeños, por ejemplo, cladóceros, copépodos,

insectos, zooplancton y peces menores a 50 mm. Es un híbrido fértil, producen aproximadamente 353,600 huevos por kilo de peso corporal una vez al año (Hodson, 1989).

La morfología de la perca híbrida rayada es intermedia entre sus progenitores (Figura 4 y 5). El cuerpo es ligeramente comprimido en su sección transversal, tiene rayas laterales similares a la perca rayada (*M. saxatilis*), pero las rayas son interrumpidas en el área detrás de la aleta pectoral y abajo de la línea lateral. Tiene dos aletas dorsales, la primera se encuentra cerca del centro del cuerpo y posee de 8 a 9 espinas, la segunda es una aleta blanda que contiene 13-14 rayos. La aleta anal tiene 3 espinas con 9 a 13 radios suaves, la aleta caudal está bifurcada en dos lóbulos. Posee varios tonos en su coloración, pero es generalmente de color negro en el dorso y blanco ventralmente (Hodson, 1989).

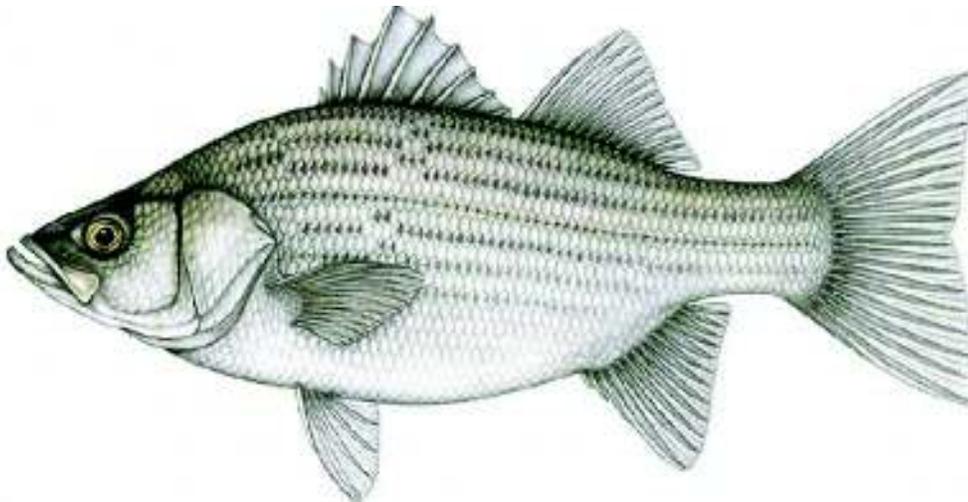


Figura 4. Perca híbrida rayada, *Morone chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂. Imagen de Tomelleri (2013).

La temperatura para el óptimo desempeño biológico de la perca híbrida rayada es de 25 a 27°C. Usualmente habita en agua dulce, sin embargo, toleran una salinidad de 0 a 25‰, e incluso pueden sobrevivir en agua de mar a una salinidad de 35‰. Puede tolerar niveles de oxígeno

disuelto tan bajos como 1 mg/L por un corto periodo, pero el óptimo valor es por arriba de 6 mg/L. El pH óptimo para su crecimiento es en un rango de 7 a 8.5. Tiene un rápido crecimiento durante los primeros dos años de vida. Durante el primer año crece en promedio hasta 257-375 mm de longitud, alcanzando un peso de 225 a 350 g. Durante el segundo año alcanza una longitud de 450 a 550 mm con un peso de 1 a 1.5 kg. El peso máximo registrado para esta especie es de 10 kg (Hodson, 1989).

I.3.1. Sistemática de la perca híbrida rayada

Reino: Animalia

Filo: Chordata

Clase: Actinopterygii

Orden: Perciformes

Familia: Moronidae

Género: *Morone*

Especie: *M. chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂



Figura 5. Juvenil de perca híbrida rayada. Imagen de Mayra González (2017).

1.4. Nutrición en la acuicultura

La acuicultura es una actividad que ha ido en incremento constante durante los últimos años a nivel global y se prevé que seguirá en constante crecimiento (FAO, 2016). Uno de los aspectos importantes que ha determinado el éxito en producción acuícola, al igual que para otras formas de producción animal, es la nutrición de los organismos en cultivo debido a la influencia que ésta tiene sobre el desarrollo biológico de los mismos, lo cual se puede observar en su crecimiento y en la calidad del filete. También se ha observado que la mayoría de los nutrientes incluidos en la dieta balanceada pueden tener una influencia en la función del sistema inmune, así como en la resistencia a enfermedades (Lim y Webster, 2001; Gatlin III, 2010).

Por otra parte, se considera que el alimento balanceado representa gran parte de los costos de producción, estimándose aproximadamente del 50 al 70%. Por ello, el adecuado manejo de la alimentación es de suma importancia; por ejemplo, el evitar sobre alimentar representa un ahorro de alimento, y por tanto de dinero, pero también evita la contaminación del agua, el incremento de bacterias, y la disminución del oxígeno disuelto, lo cual repercute directamente en la salud y el crecimiento de los peces cultivados. Por otra parte, se hace necesario que el alimento satisfaga los requerimientos nutricionales de la especie en cultivo, pues la adecuada nutrición promueve su crecimiento y su salud (Lim y Webster, 2001; Craig y Helfrich, 2009; Cashion *et al.*, 2017).

1.5. Proteínas

Las proteínas son un macronutriente importante para el adecuado desempeño de muchos organismos, entre ellos los peces. Son componentes tisulares y pueden utilizarse como fuente de energía, aportando 4 cal/g. Otras funciones importantes de las proteínas son aquellas que desempeñan como enzimas, siendo biocatalizadores de una multitud de reacciones metabólicas, desde reacciones que producen energía hasta reacciones que replican, transcriben y procesan ARN. Las proteínas también funcionan como hormonas y receptores de hormonas en paredes celulares, además de ser componentes del sistema inmune, entre otras funciones (Cho y Kaushik, 1990; Young, 1990; Murray *et al.*, 2013).

En el medio acuático, los peces requieren menos soporte estructural que los animales terrestres, por ello tienen menos tejido estructural y una textura muscular más suave. Los peces tienen carne blanca y oscura, la blanca es la más abundante, además el músculo está conformado por aproximadamente 18 a 23% de proteína, dependiendo de la especie, la época del año, y la dieta, entre otros factores (Kristinsson y Rasco, 2000).

Debido a que la proteína es el macronutriente de mayor costo, es necesario proveer otras fuentes de energía para que la proteína dietaria pueda ser utilizada para promover el crecimiento somático en los peces (González-Félix *et al.*, 2015). El requerimiento energético varía dependiendo de la etapa del ciclo de vida en que se encuentre un pez, la temporada del año y las características del medio ambiente. Se ha observado que alevines y juveniles que están en crecimiento tienen mayor requerimiento de energía en comparación con los peces adultos; sin embargo, un pez adulto puede incrementar su requerimiento de energía durante la etapa reproductiva (Cho y Kaushik, 1990).

I.6. Lípidos

Los lípidos son uno de los macronutrientes energéticos más importantes en la nutrición de peces, pues proporcionan 9 cal/g (Catacutan y Coloso, 1995). Participan en la absorción de vitaminas liposolubles, proveen ácidos grasos esenciales (Murray *et al.*, 2013), y también participan en el mantenimiento de la integridad estructural y funcional de las membranas. Otra función de gran relevancia es que son promotores de eicosanoides (Sargent *et al.*, 1999a; Turchini *et al.*, 2009) tanto en peces como en mamíferos. Los eicosanoides son compuestos derivados de ácidos grasos poliénoicos eicosá (20 carbonos), específicamente de los ácidos grasos eicosapentaenoico (EPA, 20:5n-3) y araquidónico (ARA, 20:4n-6) (Sargent *et al.* 1999a, Sargent *et al.* 1999b), y participan en diversas funciones fisiológicas como la regulación de la respuesta inmune e inflamatoria, la función renal, la osmoregulación y la reproducción (Sargent *et al.*, 1999b; Halver y Hardy, 2002; Murray *et al.*, 2013). Los eicosanoides incluyen compuestos como las prostaglandinas, prostaciclina, tromboxanos, leucotrienos y lipoxinas. Las prostaglandinas mantienen funciones homeostáticas y median mecanismos patogénicos, incluyendo la respuesta inflamatoria (Ricciotti y Fitzgerald, 2011). Las prostaciclina son vasodilatadores e inhibidores

endógenos de agregación plaquetaria (Moncada y Vane, 1981). Los tromboxanos inducen la agregación plaquetaria y la contracción de arterias (Samuelsson, 1977). Los leucotrienos son agentes proinflamatorios (Murray *et al.*, 2013). Las lipoxinas son anti-inflamatorios endógenos que participan en la reducción de lesiones en tejido e inflamación crónica, además regulan componentes del sistema inmune innato y adaptativo (Chandrasekharan y Sharma-Waila, 2015).

Otras de las biomoléculas lipídicas más simples son los ácidos grasos, que son cadenas hidrocarbonadas lineales que en general, poseen un grupo carboxilo y metilo terminales, y que varían en el número de átomos de carbono y el número de insaturaciones presentes en la cadena. El ácido docosahexaenoico (DHA, 22:6n-3) juega un papel importante en el sistema nervioso central y se encuentra en altas concentraciones en membranas neuronales y visuales. El EPA también es constituyente importante de fosfolípidos estructurales de membranas celulares. Los ácidos grasos altamente insaturados (HUFA, por sus siglas en inglés) como el DHA, EPA y ARA tienen gran relevancia fisiológica y funcional en peces y animales terrestres (Sargent *et al.* 1999a, b).

Algunos peces y mamíferos tienen la habilidad de bioconvertir ácidos grasos poliinsaturados (PUFA, por sus siglas en inglés) C₁₈ de las familias n-3 y n-6, en HUFA de C₂₀ y C₂₂ *in vivo* mediante una sucesión enzimática alterna y repetitiva de desaturación y elongación (Nakamura y Nara, 2004). Sin embargo, muchas especies de peces marinos han perdido esta habilidad biosintética, o bien es sumamente limitada, por lo que generalmente tienen un requerimiento dietario de DHA, EPA y ARA (Turchini *et al.*, 2009). En algunos organismos el requerimiento de ARA puede ser satisfecho con la inclusión de ácido linoleico (LA, 18:2n-6), el cual suele ser abundante en ingredientes de origen marino y terrestre; por el contrario, los requerimientos de ácidos grasos de la familia n-3 solo en algunos casos se satisfacen con la provisión exclusiva de ácido linolénico (18:3n-3), siempre que la biosíntesis de HUFA a partir de él sea eficiente. Sin embargo, es claro que las especies tienen requerimientos diferentes originadas por las diferencias ambientales, e.g., peces de agua dulce vs. marinos, y necesidades particulares determinadas por sus hábitos alimenticios, edad, sexo, etc. (Turchini *et al.*, 2009).

Crouse *et al.* (2013) evaluaron el uso de lípidos alternativos para mejorar el valor nutricional de la perca híbrida rayada mediante el uso de lípidos ricos en ácidos grasos saturados

como el aceite de coco (CO) y aceite de palma rojo (PO) en reemplazo de aceite de pescado (FO), con una posterior alimentación con una dieta de terminación rica en FO. A pesar de que se observó un desempeño en crecimiento similar en los juveniles de la perca híbrida rayada (597 g de peso promedio final) al alimentarse con las diferentes combinaciones de reemplazo de FO, se observó un menor contenido de DHA y EPA en organismos alimentados con CO y PO, lo que representa un claro ejemplo de que el reemplazo de aceite de pescado afecta el tipo y contenido de ácidos grasos en tejidos de peces. Por ello, es importante considerar que, en la búsqueda de alternativas de reemplazo, hay que enfatizar el uso de aquellos ingredientes que permitan conservar el perfil de ácidos grasos, particularmente aquellos de cadena larga con un gran número de insaturaciones, pues en ellos radica el beneficio de un mejor desempeño de los organismos en cultivo, así como el beneficio nutricional para el consumidor final, el ser humano.

Por otra parte, la utilización del lípido dietario como fuente de energía limita el uso de la proteína para este mismo fin, lo cual promueve un uso más eficiente del alimento, y dado que la proteína es el ingrediente de mayor costo en la formulación del alimento balanceado, mejora su rentabilidad (Bromley, 1980; Tacon y Metian, 2008; Craig y Helfrich, 2009).

I.7. Reemplazo de harina y aceite de pescado por harina de microalgas

La búsqueda de alternativas para el reemplazo de harina y aceite de pescado es un tema prioritario en acuicultura. Actualmente se están evaluando numerosos ingredientes de origen vegetal y animal que satisfagan los requerimientos nutricionales de los organismos en cultivo y que promuevan su desarrollo de forma más sustentable y rentable. Algunas fuentes de origen vegetal comúnmente evaluadas para el reemplazo de harina de pescado en alimentos balanceados para peces son las harinas de soya, canola y maíz, mientras que la harina de sangre y de subproductos de pollo son algunas de las fuentes de origen animal evaluadas en diferentes especies (Webster *et al.*, 1999; Lane *et al.*, 2006; Rawless, 2009; Bowyer *et al.*, 2012). Entre los aceites utilizados para el reemplazo parcial de aceite de pescado se encuentran los aceites de soya, canola, palma, colza y linaza, entre otros (Turchini *et al.*, 2009). Otra alternativa que ha promovido un exitoso desempeño biológico de peces cultivados son las harinas de microalgas,

y algunas especies han podido reemplazar parcial o totalmente la harina y el aceite de pescado en alimentos para peces.

El presente estudio contempla la evaluación de las especies de microalgas *Arthrospira* sp. y *Schizochytrium limacinum* en reemplazo de harina y aceite pescado.

1.7.1 *Arthrospira* sp.

Dominio: Bacteria

Reino: Eubacteria

Filum: Cyanobacteria

Clase: Cyanophyceae

Subclase: Oscillatoriothricidae

Orden: Oscillatoriales

Familia: Mycrocoleaceae

Género: *Arthrospira*

El género fue descrito por primera vez por Dangeard en 1940 (Abdulqader *et al.*, 2000). Durante muchos años se ha debatido su clasificación, y hasta hace pocos años se les conocía como el género *Spirulina* a muchas especies de cianobacterias con estructura helicoidal enrollada (Vonshak y Tomaselli, 2000). Suelen habitar en lugares alcalinos y, debido a ello, hay una baja probabilidad de contaminación de sus cultivos con otros microorganismos (Ramírez, 2006). No poseen celulosa (Berestov, 2001; Teimouri *et al.*, 2013) y son inocuas (Chamorro *et al.*, 1996).

Las microalgas pertenecientes a este género son ricas en proteínas, ácidos grasos esenciales, vitaminas, minerales y polisacáridos (Tokusoglu y Ünal, 2003; Zhang *et al.*, 2010; Holman y Malau-Aduli, 2013, Zhou *et al.*, 2013), lo que se ha aprovechado en diversos ámbitos, entre ellos la acuicultura, particularmente para reemplazar la harina de pescado en el alimento balanceado para organismos acuáticos.

El-Sayed (1994) evaluó el uso de harina de soya (SBM), harina de *Spirulina* sp. (SM) y harina de subproductos de pollo (COM) como fuentes de proteína en la dieta de alevines del

pargo plateado (*Rhabdosargus sarba*), utilizando niveles de reemplazo de 25, 50, 75 y 100% de harina de pescado (FM). Se observó que el pargo plateado utilizaba SM de manera más eficiente que SBM y COM. Además, se observó una eficiencia alimenticia significativamente superior en organismos alimentados con la dieta con 50% de reemplazo de harina de pescado por SM ($P < 0.05$); sin embargo, al incrementarse los niveles de reemplazo se observó una disminución en el crecimiento y en la eficiencia alimenticia, considerándose el nivel de reemplazo de 50% de harina de pescado por SM como óptimo para esta especie, sin producir efectos adversos en su crecimiento.

Burr *et al.* (2012) evaluaron mezclas de proteínas alternativas como sustitutos de harina de pescado en dietas para el salmón del Atlántico (*Salmo salar*). Nueve dietas experimentales con 63, 82 y 100% de reemplazo utilizando tres fuentes de proteína, concentrado de proteína de soya (SPC), harina de gluten de maíz (CGM) y concentrado de proteína de cebada (BPC), se evaluaron con y sin la inclusión de *Arthrospira* sp. La inclusión de 30% de *Arthrospira* sp. en la dieta provista durante la etapa tardía del salmón del Atlántico fue idónea para mantener el crecimiento del pez, observándose una alta digestibilidad de la proteína de *Arthrospira* sp. estimada en 84%.

Kim *et al.* (2013) reemplazaron 0, 5, 10 y 15% de harina de pescado por harina de *Spirulina pacífica* en dietas para el pez loro (*Oplegnathus fasciatus*). Los peces alimentados con el nivel de reemplazo de 15% mostraron una cantidad significativamente mayor ($P < 0.05$) de proteína en músculo en comparación con los peces alimentados con las otras dietas, el nivel más bajo de lípidos en el cuerpo fue observado en aquellos alimentados con la dieta control. Se recomendó un nivel de aproximadamente 7.3% de reemplazo de harina de pescado por harina de *S. pacífica* para obtener la mejor tasa de crecimiento sin afectar su desempeño biológico.

El-Sheek *et al.* (2014) evaluaron el uso de *Arthrospira platensis* como fuente de proteína en la tilapia roja (*Oreochromis niloticus* × *O. mossambicus*). La microalga fue incorporada a 0, 50, 75 y 100% de la dieta en reemplazo de harina de pescado. Se observó que puede reemplazarse hasta un 75% de la harina de pescado obteniendo con ello una mejor conversión alimenticia, mayor contenido de proteína corporal, y además se observó un mejor estado inmune de los organismos en comparación con aquellos de otros tratamientos.

Teimouri *et al.* (2013) reemplazaron hasta 7.5% de harina de pescado por harina de *S. platensis* para promover el desarrollo y la pigmentación de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). En otro estudio, Schafberg *et al.* (2017) reemplazaron harina y aceite de pescado por harina de *Arthrospira* sp. y del dinoflagelado marino *Cryptocodinium cohnii* en alimento para *O. mykiss* y *Sander lucioperca* con una buena aceptación del alimento y un buen estado de salud de los peces.

1.7.2. *Schizochytrium limacinum*

Dominio: Eukarya

Reino: Chromista

Superfilo: Heterokonta

Filum: Bigyra

Clase: Labyrinthulomycetes

Orden: Labyrinthulales

Familia: Thraustochytriaceae

Género: *Schizochytrium*

Especie: *limacinum*

Schizochytrium limacinum es una microalga esférica heterótrofa muy rica en ácido docosahexaenoico (Yokoyama y Honda, 2007; Luying *et al.*, 2008). Habita en estuarios y ambientes marinos, incluidos los manglares, y no existen reportes que describan que estos organismos sean patógenos o que produzcan sustancias tóxicas (De la Peña *et al.*, 2016). La harina de esta especie se ha utilizado recientemente como ingrediente en alimentos acuícolas (Hammond *et al.*, 2001). Diversos estudios han revelado resultados favorables al evaluar el reemplazo de aceite de pescado por harina de *Schizochytrium* sp.

Ganuja *et al.* (2008) sustituyeron aceite de pescado por harinas de *Cryptocodinium cohnii* y *Schizochytrium* sp. en microdietas para larvas de la dorada (*Sparus aurata*). Prepararon biomásas homogenizadas (C_H, S_H) y no homogenizadas (C, S) para la elaboración de las microdietas y efectuaron dos bioensayos, en el primero se sustituyó sólo el aceite de pescado, y

en el segundo se reemplazaron todos los lípidos dietarios en todas las dietas, con excepción de la dieta control. La inclusión de la biomasa, tanto homogenizada como no homogenizada, no afectó la concentración de DHA en el cuerpo de los peces (14.4 y 28.4% de los ácidos grasos totales en los experimentos 1 y 2, respectivamente). Sin embargo, en el experimento 2 se observó menor crecimiento y una concentración significativamente mayor ($P>0.05$) de ARA en las larvas alimentadas con *Schizochytrium* sp.

García Ortega *et al.* (2015) evaluaron el reemplazo de aceite de pescado (FO), harina de calamar (SQM) y harina de pescado (FM) por harina de proteína de soya (SBM), concentrado de proteína de soya (SPC) y harina de *S. limacinum* (ALG) en dietas para el mero gigante (*Epinephelus lanceolatus*). Se utilizó la combinación de SBM, SPC y ALG para reemplazar el 20% (FM80), 40% (FM60) y 80% (FM20) de la harina de pescado, y se observó que se puede sustituir hasta un 40% de harina de pescado por la mezcla de harinas sin afectar el desempeño biológico del pez. Sugirieron que tal vez pueda sustituirse más del 50% suministrando aminoácidos esenciales adicionales.

Por su parte, Kissinger *et al.* (2016) evaluaron el reemplazo parcial de 25, 40, 60 y 80% de harina de pescado por SPC, harina de calamar y harina desgrasada de la microalga *Haematococcus pluvialis* en dietas para *Seriola rivoliana*, mientras que el lípido en la dieta fue provisto mediante diferentes mezclas de aceite de pescado, harina de *S. limacinum* y aceite de canola. Los resultados indicaron que puede reemplazarse hasta un 80% de harina de pescado por SPC y harina de algas, aún en dietas con un bajo contenido de aceite de pescado, sin afectar significativamente el crecimiento o la integridad del tracto intestinal del pez.

Una contribución adicional fue realizada por Van Hoestenbergh *et al.* (2016), quienes utilizaron *Schizochytrium* sp. en reemplazo de aceite de pescado en una dieta libre de harina de pescado para la perca jade (*Scortum barco*). No se observaron diferencias al alimentar con aceite de pescado o con la mezcla de aceite de pescado y de *Schizochytrium* sp., además los organismos alimentados con *Schizochytrium* sp. almacenaron más eficientemente ácidos grasos de la familia n-3, especialmente ácidos grasos altamente insaturados.

Qiao *et al.* (2014) reemplazaron aceite de pescado por harina de microalga *Schizochytrium* sp. rica en DHA y de *Nannochloropsis* sp. rica en EPA en la dieta del lenguado *Paralichthys*

olivaceus. Utilizaron tres combinaciones de lípidos, proporcionadas por 50% de aceite de pescado y 50% aceite de soya (F50S50), 50% con ambas microalgas (M50F25S25) y 100% de microalgas exclusivamente (MRM) o bien, aceite de soya (S100) o pescado (M100) exclusivamente. Los resultados mostraron que la eficiencia alimenticia y el crecimiento del lenguado no variaron significativamente cuando el aceite de pescado fue sustituido en un 100% por las microalgas, y que esta fuente es suficiente para satisfacer las necesidades alimenticias del pez.

No sólo se ha utilizado *Schizochytrium* sp. para la sustitución de aceite de pescado en dietas para peces, sino también para el enriquecimiento de rotíferos y *Artemia* sp. Ejemplo de ello es el trabajo realizado por Barclay y Zeller (1996), que consistió en alimentar nauplios de *Artemia* sp. inmediatamente después de su eclosión, durante 24 horas con 400 mg/L de la microalga seca y pulverizada. Se observó un aumento en la concentración de DHA y EPA. El DHA, de ser apenas detectable, aumentó a 0.8%, y el EPA incrementó de 0.1% a 0.5% del peso seco. El mismo patrón se observó en los rotíferos, por lo que la utilización de esta microalga resultó ser efectiva para su enriquecimiento.

Existen trabajos referentes al reemplazo de harina y/o aceite de pescado en dietas para la perca híbrida rayada (Webster *et al.*, 1999; Gause y Trushenski, 2011; Crouse *et al.*, 2013; Trushenski y Aardsma, 2016), sin embargo, no se han realizado a la fecha estudios reemplazando estos ingredientes por insumos microalgales, por lo que es de gran interés evaluarlos en alimento para este organismo.

II. HIPÓTESIS

Es factible reemplazar parcialmente la harina y aceite de pescado por harina de *Schizochytrium limacinum* y *Arthrospira* sp. en alimento balanceado para la perca híbrida rayada sin afectar su desempeño biológico.

III. OBJETIVOS

III.1. Objetivo general

Evaluar el reemplazo de harina y aceite de pescado por harina de *Schizochytrium limacinum* y *Arthrospira* sp. en alimentos balanceados para la perca híbrida rayada *Morone chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂.

III.2. Objetivos específicos

- Formular y evaluar experimentalmente dietas para el reemplazo de harina y aceite de pescado por harinas de *Arthrospira* sp. y *Schizochytrium limacinum* para la perca híbrida rayada en condiciones de laboratorio.
- Evaluar el efecto de las dietas experimentales sobre el crecimiento y supervivencia de *Morone chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂.
- Evaluar el efecto del reemplazo de harina y aceite de pescado sobre la composición proximal y perfil de ácidos grasos de organismos experimentales.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

Se llevó a cabo un experimento de 6 semanas de duración con juveniles de perca híbrida rayada (*M. chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂) en la Universidad de Texas A&M Aquacultural Research and Teaching Facility, College Station, Texas, USA.

IV.1. Obtención y aclimatación de los organismos

Juveniles de perca híbrida rayada con un peso promedio inicial de 10.6 ± 0.02 g (promedio \pm desviación estándar) (Figura 6) fueron obtenidos de Keo Fish Farms, Keo, Arkansas, USA. Los peces se trasladaron a las instalaciones del Aquacultural Research and Teaching Facility de la Universidad Texas A&M en College Station y se sembraron en un tanque circular de 1,200 L con agua fluyendo en recirculación. Los peces fueron alimentados durante dos semanas a saciedad aparente con una dieta comercial con 40% de proteína cruda y 12% de grasa (Rangen, Inc, Angleton, TX, USA). Posteriormente se alimentaron con la dieta experimental que fungió como control (Tabla 1) durante un periodo de acondicionamiento adicional de 2 semanas.



Figura 6. Juvenil de perca híbrida rayada. Imagen de Mayra González (2017).

IV.2. Sistema de cultivo experimental

El sistema experimental consistió de tanques de 75 L (Figura 7) a través de los cuales el agua fluyó por gravedad a un tanque de asentamiento y un filtro biológico. Posteriormente el agua circuló a través de un filtro de arena y una cámara ultravioleta antes de retornar a los tanques. Se mezclaron sal sintética y agua de pozo para obtener una salinidad promedio de 3.29 ± 0.26 g/L, mientras que el fotoperiodo de luz establecido fue de 12 horas luz: 12 horas de oscuridad. Se realizaron mediciones diarias de temperatura, oxígeno disuelto y salinidad con un oxímetro multifunción (YSI, Modelo Y85, Yellow Springs, Ohio, EUA). Se realizaron mediciones de pH semanalmente (HACH, Modelo 9531006, Loveland, Colorado, EUA), al igual que de nitrógeno amoniacal total y nitritos (HACH, modelo DR/2000, Loveland, Colorado, EUA). Los valores promedios registrados para estos parámetros fueron $26.10 \pm 0.59^{\circ}\text{C}$, 7.68 ± 0.11 mg O₂/L, $3.29 \pm 0.26\%$, 7.93 ± 0.45 , 0.10 ± 0.07 mg NH₄-N/L y 0.01 ± 0.00 mg NO₂-N/L, respectivamente.



Figura 7. Sistema de cultivo experimental. Imagen de Martín Pérez (2017).

IV.3 Dietas experimentales y mantenimiento

Usando el software de formulación de alimento Mixit-Win (V. 6.24, Agriculture Software Consultants Inc, San Diego, CA, USA) se formularon las dietas experimentales (Tabla 1), incluyendo una dieta control con 40% de proteína cruda (CP), con iguales contribuciones de harina de pescado (FM) y concentrado de proteína de soya (SPC) como fuentes de proteína. Contenía también 10% de grasa cruda (CF) usando aceite de pescado (FO) como fuente de lípido. Se formularon adicionalmente 5 dietas experimentales con reemplazo de 10, 20, 30, 40 y 50% de FM, SPC y FO de la dieta control por harinas derivadas de la microalga heterótrofa marina *Schizochytrium limacinum* (SP1, Alltech Inc, Nicholasville, KY, USA) y de la microalga autótrofa *Arthospira* sp. (Spirulina feed grade, Earthrise Nutritional, Irvine CA, USA). Las dietas experimentales (Figura 8) fueron preparadas usando un mezclador (Avantco MX20, Lancaster, PA, USA) y un molino de alimento (Modelo 781, LEM Products Inc., West Chester Township, OH, USA) equipado con un dado de 4.5 mm. Fueron secadas a 60°C durante 20 horas y se molieron a un tamaño adecuado para la talla de los peces; se mantuvieron en refrigeración a -20°C hasta su uso.

IV.3.1 Análisis proximal de dietas experimentales

La composición proximal de las dietas se analizó siguiendo métodos oficiales: proteína cruda siguiendo el método 986.06 de la Association of Analytical Communities, (AOAC, 2005) mediante combustión (factor N=6.25). Para la determinación de la grasa cruda se siguió con el método descrito por Folch *et al.* (1957) utilizando cloroformo/metanol 2:1 como solvente, la cuantificación se realizó mediante una alícuota de 5 ml de extracto, la muestra restante (25 ml) se utilizó posteriormente para el análisis del perfil de ácidos grasos. La humedad se determinó mediante el método 930.15 (AOAC, 2005) con un peso conocido de aproximadamente 2 g de muestra y la determinación de las cenizas se realizó mediante el método 942.05 (AOAC, 2005). La energía bruta fue determinada por calorimetría (Modelo Parr 6200, Parr Instruments Company, Moline II, USA) (Tabla 1).



Figura 8. Apariencia de una dieta experimental. Imagen de Mayra González (2017).

Cada dieta experimental fue asignada aleatoriamente a tres tanques experimentales, y se sembraron 12 peces en cada tanque que se pesaron grupalmente. Las raciones de alimento diario fueron pre-pesadas basadas en un porcentaje del peso corporal grupal por tanque, que correspondió al 6% del peso de la biomasa en un inicio, y después decreció hasta 3% conforme los peces crecieron. Adicionalmente, la alimentación se ajustó también haciendo uso de indicadores visuales para evitar la sobrealimentación. Cada semana se determinaron los pesos grupales de los peces en los tanques experimentales y se contaron, con la finalidad de ajustar las raciones alimenticias. La ración diaria de alimento de cada tanque se dividió en dos porciones que se suministraron a las 8:00 y a las 16:00 horas.

Tabla 1. Composición de ingredientes (g/kg) y composición proximal (%) de las dietas experimentales.

| Ingredientes | Control | Niveles de Reemplazo (%) | | | | |
|--|---------|--------------------------|---------|---------|---------|---------|
| | | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| Harina de pescado ^a | 274.26 | 246.20 | 218.80 | 191.50 | 164.10 | 136.80 |
| Concentrado de proteína de soya ^b | 273.00 | 246.50 | 219.10 | 191.70 | 164.30 | 137.00 |
| Aceite de pescado Menhaden ^c | 69.21 | 62.40 | 55.40 | 48.50 | 41.60 | 34.70 |
| Harina de <i>Schizochytrium limacinum</i> ^d | 0.00 | 13.42 | 27.00 | 40.40 | 53.82 | 67.21 |
| Harina de <i>Arthrospira</i> sp. ^e | 0.00 | 55.61 | 12.80 | 171.45 | 230.20 | 288.72 |
| Dextrina ^f | 150.00 | 150.00 | 150.00 | 150.00 | 150.00 | 150.00 |
| Celulfil ^f | 147.53 | 134.68 | 122.39 | 109.45 | 96.49 | 83.56 |
| Alginato ^g | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 |
| Premezcla de vitaminas ^h | 30.00 | 30.00 | 30.00 | 30.00 | 30.00 | 30.00 |
| Premezcla de minerales ^h | 30.00 | 30.00 | 30.00 | 30.00 | 30.00 | 30.00 |
| Lisina ^g | 0.00 | 3.00 | 5.00 | 6.00 | 7.00 | 8.00 |
| Metionina ^g | 2.00 | 3.00 | 4.00 | 5.00 | 6.00 | 7.00 |
| Taurina ^g | 4.00 | 5.00 | 5.50 | 6.00 | 6.50 | 7.00 |
| <i>Composición proximal determinada</i> | | | | | | |
| Proteína cruda | 41.11 | 41.85 | 41.23 | 41.57 | 38.64 | 41.09 |
| Grasa cruda | 9.21 | 10.20 | 10.46 | 11.30 | 11.20 | 12.31 |
| Humedad | 6.36 | 6.38 | 6.45 | 6.39 | 6.29 | 6.34 |
| Cenizas | 5.43 | 5.74 | 5.88 | 5.84 | 5.59 | 6.00 |
| Energía (cal/g) | 6183.08 | 5932.12 | 6022.95 | 6180.69 | 5877.15 | 6381.45 |

^aLos valores son promedios de análisis duplicados. ^aFishmeal SeaPro75, Bio-Oregon Protein, Warrenton, OR, USA. ^bProfine VF, Solae LLC, St. Louis, MO, USA. ^cOmega Prime, TriVita Inc., Scottsdale, AZ, USA. ^d*Schizochytrium* SP1, Alltech, Inc., Nicholasville, KY, USA. ^eSpirulina “grado alimentación”, Earthrise Nutritional, Irvine, CA, USA. ^fUSB Corp., Cleveland, OH, USA. ^gSigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA: Sodium alginate (Cat. No. W201502), L-lysine (Cat. No. L5626), DL-methionine (Cat. No. M9500), Taurine (Cat. No. 86329), ^hSame as Moon and Gatlin (1991).

IV.4. Parámetros de crecimiento y composición proximal

Los índices de crecimiento y corporales evaluados en los peces fueron el peso final (g); peso ganado (g) = (peso final, g – peso inicial, g); porcentaje de peso ganado (%) = [(peso final, g – peso inicial, g) / peso inicial, g] × 100; coeficiente térmico de crecimiento (CTC) = [(peso final^{1/3}, g – peso inicial^{1/3}, g) / (temperatura, °C × tiempo, días)] × 100 (adaptación de Cho, 1990); el factor de condición (K) = peso, g × 100 / longitud total³, cm (Ricker, 1975); índice hepatosomático (IH, %) = (peso de hígado, g / peso final, g) × 100; grasa intraperitoneal (IPF, %) = (peso grasa intraperitoneal, g / peso final, g) × 100; y supervivencia = (número final de organismos / número inicial de organismos) × 100. La utilización del alimento fue evaluada en términos de la tasa de eficiencia alimenticia (FER) = (peso ganado, g / alimento consumido, g); tasa de eficiencia proteica (PER) = (peso ganado, g / CP consumida, g); y retención de proteína (PR, %) = [(proteína corporal final, g – proteína corporal inicial, g) × 100] / CP consumida, g.

Al finalizar el estudio, se tomaron tres peces de cada tanque los cuales fueron pesados, medidos y en seguida se llevó a cabo su disección (Figura 9) para estimar el peso de la grasa intraperitoneal y del hígado. Posteriormente, se homogenizaron los cuerpos completos de los tres organismos para obtener una muestra compuesta. Se utilizaron tres muestras compuestas de cada tratamiento para determinar la composición proximal, en términos de proteína cruda, grasa cruda, humedad y cenizas siguiendo los procedimientos oficiales anteriormente mencionados.

Para el análisis del perfil de ácidos grasos se utilizó la alícuota de 25 ml de extracto obtenida después de la determinación de la grasa cruda. Los ácidos grasos fueron transesterificados con trifluoruro de boro, analizando los metil ésteres de ácidos grasos (FAME, por sus siglas en inglés) en un cromatógrafo de gas Varian 3800 equipado con una columna capilar de sílice de 30 m × 0.25 mm y un detector de ionización de flama (FID) siguiendo la metodología descrita por Lochman y Gatlin (1993). La identificación de ácidos grasos se realizó por comparación de los tiempos retención con estándares conocidos, y se utilizó el ácido heptadecanoico (17:0) como estándar interno cuantitativo. Los valores presentados son el resultado del análisis de ácidos grasos duplicado para las dietas experimentales, y triplicado para muestras compuestas de organismos experimentales completos, y se expresaron en % de FAME identificados y en mg de ácido graso/g de dieta o de tejido húmedo.



Figura 9. Disección de organismos para la determinación de índices corporales.

Imagen de Mayra González (2017).

IV. 5. Análisis estadístico

Los datos de los parámetros de desempeño biológico, eficiencia alimenticia, composición proximal y composición de ácidos grasos de organismos completos se analizaron mediante un análisis de varianza de una vía (ANOVA) con un nivel de confianza de $P \leq 0.05$; para aquellos parámetros en los que se observaron diferencias estadísticamente significativas, se utilizó la prueba de Tukey para la separación de promedios. Para los valores de supervivencia se aplicó una transformación arcoseno, pero se presentan los datos no transformados. Los análisis estadísticos se realizaron con el software Statistical Analysis System (SAS Institute, 2002-2012 Software Release 9.4, Cary, NC, USA).

V. RESULTADOS

V.1. Índices de desempeño biológico

Al concluir el experimento, se observaron diferencias estadísticamente significativas en las variables de peso final ($P=0.0120$), peso ganado ($P=0.0127$), porcentaje de peso ganado ($P=0.0323$) y coeficiente térmico de crecimiento ($P=0.0168$). Los organismos alimentados con la dieta con 30% de reemplazo fueron los que presentaron numéricamente mejor desempeño en crecimiento, pero no fueron significativamente diferentes de los peces alimentados con las dietas con 10, 20, 40 o 50% de reemplazo. Sin embargo, en los peces alimentados con la dieta control se observó un peso ganado significativamente menor que en los organismos alimentados con las dietas con 30 y 50% de reemplazo. Los valores de CTC oscilaron en un intervalo entre 0.088 y 0.099, el peso ganado osciló entre 21.80 y 25.27 g, y el porcentaje de peso ganado entre 209.47 y 235.30%. Se observaron diferencias estadísticamente significativas ($P=0.0057$) en la proporción de músculo corporal, en la que los organismos que fueron alimentados con las dietas con 10, 20 y 40% de reemplazo de harina y aceite de pescado presentaron una mayor proporción de músculo con respecto a los peces alimentados con la dieta control. Los valores promedio para este parámetro oscilaron entre 29.21 y 35.92%. La supervivencia registrada fue de 100% para todos los tratamientos (Tabla 2).

V.2. Eficiencia alimenticia

Se observaron diferencias estadísticas en la tasa de eficiencia proteica ($P=0.0004$) y en la retención de proteína ($P=0.0008$). Los organismos alimentados con 40% de reemplazo mostraron una significativamente mayor eficiencia proteica (2.70 g/g) que los organismos alimentados con la dieta control y con la dieta con 10% de reemplazo, pero fueron semejantes al resto de los tratamientos, que oscilaron entre 2.41 y 2.60 g/g, sin una tendencia clara. La retención de proteína en los organismos alimentados con la dieta con 40% de reemplazo también fue significativamente mayor (53.13%) que en los organismos de los demás tratamientos, con excepción de aquellos alimentados con 20% de reemplazo. La eficiencia alimenticia osciló entre 0.99 y 1.08, y no se observaron diferencias estadísticas entre los tratamientos (Tabla 2).

Tabla 2. Desempeño biológico y eficiencia alimenticia de la perca híbrida rayada alimentada con diferentes niveles de reemplazo de harina y aceite de pescado por harina de microalgas durante 6 semanas.

| Parámetro | Nivel de reemplazo (%) | | | | | | ANOVA (<i>P</i> > <i>F</i>) |
|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| | Control | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | |
| Peso inicial (g) | 10.40 ± 0.00 | 10.53 ± 0.12 | 10.70 ± 0.17 | 10.73 ± 0.29 | 10.70 ± 0.30 | 10.53 ± 0.21 | 0.366 |
| Peso final (g) | 32.20 ^b ± 1.10 | 34.57 ^{ab} ± 0.45 | 35.03 ^a ± 0.91 | 36.00 ^a ± 0.60 | 33.93 ^{ab} ± 1.36 | 35.03 ^a ± 1.37 | 0.0120 |
| Peso ganado (g) | 21.80 ^b ± 1.10 | 24.03 ^{ab} ± 0.35 | 24.30 ^{ab} ± 0.75 | 25.27 ^a ± 0.90 | 23.23 ^{ab} ± 1.21 | 24.53 ^a ± 1.17 | 0.0127 |
| Porcentaje de peso ganado (%) | 209.47 ^b ± 10.02 | 227.90 ^{ab} ± 1.04 | 226.53 ^{ab} ± 3.94 | 235.30 ^a ± 14.42 | 217.07 ^{ab} ± 9.96 | 232.80 ^{ab} ± 7.67 | 0.0323 |
| Coefficiente Térmico de Crecimiento | 0.088 ^b ± 0.003 | 0.099 ^{ab} ± 0.001 | 0.094 ^{ab} ± 0.002 | 0.097 ^a ± 0.003 | 0.091 ^{ab} ± 0.003 | 0.095 ^a ± 0.003 | 0.0168 |
| Supervivencia (%) | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | * |
| Factor de Condición (K) | 1.23 ± 0.16 | 1.26 ± 0.07 | 1.29 ± 0.09 | 1.29 ± 0.07 | 1.27 ± 0.07 | 1.27 ± 0.06 | 0.7280 |
| Índice hepatosomático (%) | 2.23 ± 0.60 | 2.65 ± 0.30 | 2.34 ± 0.71 | 2.56 ± 0.59 | 2.59 ± 0.68 | 2.76 ± 0.64 | 0.4459 |
| Grasa intraperitoneal (%) | 4.58 ± 0.56 | 3.96 ± 0.91 | 3.70 ± 0.52 | 4.04 ± 0.85 | 4.44 ± 0.49 | 4.18 ± 0.73 | 0.1061 |
| Proporción de músculo (%) | 29.21 ^b ± 4.22 | 35.92 ^a ± 3.40 | 35.73 ^a ± 3.41 | 34.14 ^{ab} ± 3.62 | 35.66 ^a ± 4.27 | 34.44 ^{ab} ± 4.48 | 0.0057 |
| Tasa de eficiencia alimenticia | 0.99 ± 0.02 | 1.05 ± 0.01 | 1.05 ± 0.01 | 1.08 ± 0.03 | 1.04 ± 0.02 | 1.06 ± 0.02 | 0.221 |
| Tasa de eficiencia proteica (g/g) | 2.41 ^b ± 0.06 | 2.50 ^{ab} ± 0.02 | 2.56 ^{ab} ± 0.02 | 2.60 ^{ab} ± 0.07 | 2.70 ^a ± 0.06 | 2.58 ^{ab} ± 0.05 | 0.0004 |
| Retención de proteína (%) | 45.53 ^c ± 1.10 | 47.83 ^{bc} ± 0.49 | 50.80 ^{ab} ± 3.06 | 47.23 ^{bc} ± 0.76 | 53.13 ^a ± 0.93 | 48.10 ^{bc} ± 1.51 | 0.0008 |

Los valores son promedios ± desviación estándar de tres replicados. Los promedios con superíndice diferente en el mismo renglón son significativamente diferentes (Alfa de Tukey-HSD = 0.05).

V.3. Composición proximal de organismo completo

No se observaron diferencias estadísticas para los porcentajes de proteína cruda, humedad y cenizas en los organismos experimentales; sin embargo, el contenido de grasa cruda en peces alimentados con niveles de reemplazo de 30% (9.30%), 10 (8.93%) y 20% (8.70%) fue significativamente mayor ($P=0.0001$) que el de aquellos alimentados con la dieta control y con 50% de nivel de reemplazo (7.87 y 7.67%, respectivamente) (Tabla 3).

Tabla 3. Composición proximal de la perca híbrida rayada después de 6 semanas de alimentación con distintos niveles de reemplazo de harina y aceite de pescado por harinas de microalgas.

| Nivel de reemplazo (%) | Proteína cruda (%) | Humedad (%) | Cenizas (%) | Grasa cruda (%) |
|------------------------|--------------------|--------------|-------------|---------------------------|
| Control | 17.50 ± 0.10 | 70.57 ± 0.91 | 3.87 ± 0.21 | 7.87 ^c ± 0.15 |
| 10 | 17.73 ± 0.21 | 69.47 ± 0.06 | 3.63 ± 0.47 | 8.93 ^{ab} ± 0.31 |
| 20 | 18.23 ± 0.75 | 69.70 ± 0.75 | 3.67 ± 0.06 | 8.70 ^{ab} ± 0.26 |
| 30 | 17.10 ± 0.44 | 70.37 ± 0.23 | 3.83 ± 0.40 | 9.30 ^a ± 0.44 |
| 40 | 18.07 ± 0.35 | 70.27 ± 0.78 | 3.93 ± 0.06 | 8.37 ^{bc} ± 0.15 |
| 50 | 17.40 ± 0.46 | 70.50 ± 0.53 | 4.37 ± 0.06 | 7.67 ^c ± 0.21 |
| ANOVA ($P>F$) | 0.0631 | 0.2381 | 0.0637 | 0.0001 |

Los valores de los tratamientos son promedios ± desviación estándar de tres replicados. Los promedios con superíndice diferente en el mismo renglón son significativamente diferentes (Alfa de Tukey-HSD = 0.05).

V.4 Perfil de ácidos grasos de dietas experimentales y organismos completos

El perfil de ácidos grasos de los ingredientes proteicos utilizados en las dietas experimentales, específicamente de la harina de pescado, el concentrado de proteína de soya, y las harinas de *S. limacinum* y *Arthrospira* sp. se presentan en las Tablas 4 y 5. Se observó que *S. limacinum* tiene un alto contenido de DHA, 29.94% de los ácidos grasos metil ésteres identificados o 186.20 mg DHA/g de ingrediente, seguido por la harina de pescado con 14.05% o 25.88 mg/g, respectivamente. La gran cantidad de DHA presente en *S. limacinum* se vio reflejada posteriormente en el perfil de ácidos grasos de las dietas experimentales (Tabla 6), pues se observó una tendencia al aumento en el contenido de DHA conforme el nivel de reemplazo se incrementó, con 6.81% en el nivel de reemplazo del 10% y hasta 16.55% en el nivel de reemplazo de 50%. Las dietas tuvieron un efecto similar en el perfil de ácidos grasos de los organismos experimentales (Tablas 7 y 8). Se observó un aumento progresivo de DHA al incrementarse el nivel de reemplazo, desde 5.81 hasta 13.28%, o bien de 7.89 hasta 17.14 mg/g de tejido húmedo en peces de los tratamientos control y con 50% de reemplazo, respectivamente. Por otra parte, en peces alimentados con la dieta con 50% de reemplazo se observó una disminución significativa del contenido de ácido linolénico (18:3n-3) y EPA (0.97 y 6.17 mg/g de tejido húmedo, respectivamente), así como también en el contenido de ARA (1.23 mg/g de tejido húmedo) aunque para este último no se observaron diferencias estadísticas. También se observó que el reemplazo progresivo aumentó el contenido del ácido linoleico (18:2n-6), de 4.67 a 6.24%, o 6.35 a 8.06 mg/g de tejido húmedo en organismos del tratamiento control y con 50% de reemplazo, respectivamente. Se hizo evidente que los peces alimentados con 40% de reemplazo mostraron numéricamente un mayor contenido de DHA, EPA y ARA, incluso un mayor contenido que aquellos alimentados con la dieta con 50% de reemplazo.

Tabla 4. Perfil de ácidos grasos de ingredientes (% de ácidos grasos metil ésteres identificados).

| Ácido graso | <i>Schizochytrium limacinum.</i> | <i>Arthrospira</i> sp. | Harina de pescado | Concentrado de proteína de soya |
|------------------------------------|----------------------------------|------------------------|-------------------|---------------------------------|
| 14:0 | 4.36 | 0.93 | 1.68 | 7.31 |
| 14:1 | 2.03 | 0.00 | 0.26 | 0.28 |
| 16:0 | 50.21 | 48.66 | 20.90 | 13.31 |
| 16:1 | 0.00 | 0.00 | 0.15 | 0.00 |
| 16:2 | 0.13 | 3.08 | 5.44 | 0.30 |
| 18:0 | 1.45 | 1.04 | 4.52 | 5.94 |
| 18:1 | 0.17 | 2.10 | 25.53 | 18.04 |
| 18:2n-6 | | 19.67 | 1.50 | 16.55 |
| 18:3n-6 | | 19.12 | 0.03 | 1.60 |
| 18:3n-3 | | | 1.87 | |
| 20:0 | | | 0.66 | |
| 20:1 | | | 0.20 | 0.94 |
| 20:3n-6 | | | 0.10 | |
| 20:4n-6 | 0.81 | | 1.77 | 0.35 |
| 20:4n-3 | 0.33 | | 0.39 | 0.43 |
| 20:5n-3 | 0.50 | 0.30 | 12.59 | 0.56 |
| 21:5n-3 | 0.71 | | 0.78 | |
| 22:5n-6 | 5.16 | | 0.91 | |
| 22:5n-3 | | | 1.35 | 0.08 |
| 22:6n-3 | 29.94 | | 14.05 | 0.50 |
| 24:5n-3 | 1.44 | | 0.14 | |
| Total saturados ² | 56.02 | 50.63 | 27.75 | 26.57 |
| Total monoinsaturados ³ | 2.20 | 2.10 | 26.14 | 19.26 |
| Total PUFA + HUFA ⁴ | 39.01 | 42.17 | 40.92 | 20.37 |
| Total n-3 | 32.92 | 0.30 | 31.17 | 1.57 |
| Total n-6 | 5.96 | 38.79 | 4.30 | 18.50 |
| n-3/n-6 | 5.52 | 0.01 | 7.25 | 0.08 |

¹Los valores son promedios \pm desviación estándar de dos replicados. ²Total saturados: 14:0, 16:0, 18:0, 20:0. ³Total monoinsaturados: 14:1, 16:1, 18:1, 20:1, 22:1, 24:1. ⁴Total PUFA + HUFA: 16:2, 18:2n-6, 18:3n-6, 18:3n-3, 18:4n-3, 20:3n-6, 20:4n-6, 20:4n-3, 20:5n-3, 21:5n-3, 22:5n-6, 22:5n-3, 22:6n-3, 24:4n-6, 24:5n-3, 24:6n-3.

Tabla 5. Perfil de ácidos grasos de ingredientes (mg/g de ingrediente).

| Ácido graso | <i>Schizochytrium limacinum</i> | <i>Arthrospira</i> sp. | Harina de pescado | Concentrado de proteína de soya |
|------------------------------------|---------------------------------|------------------------|-------------------|---------------------------------|
| 14:0 | 26.99 | 1.95 | 3.09 | 1.61 |
| 14:1 | 12.57 | 0.00 | 0.48 | 0.06 |
| 16:0 | 311.43 | 102.79 | 38.50 | 2.89 |
| 16:1 | 0.00 | 0.00 | 0.27 | 0.00 |
| 16:2 | 0.80 | 6.52 | 10.03 | 0.06 |
| 18:0 | 9.06 | 2.18 | 8.33 | 1.29 |
| 18:1 | 1.07 | 4.44 | 47.03 | 3.92 |
| 18:2n-6 | | 41.56 | 2.75 | 3.59 |
| 18:3n-6 | | 40.40 | 0.05 | 0.35 |
| 18:3n-3 | | | 3.45 | |
| 20:0 | | | 1.21 | |
| 20:1 | | | 0.37 | 0.20 |
| 20:3n-6 | | | 0.19 | |
| 20:4n-6 | 5.01 | | 3.26 | 0.07 |
| 20:4n-3 | 2.08 | | 0.71 | 0.09 |
| 20:5n-3 | 3.11 | 0.62 | 23.20 | 0.12 |
| 21:5n-3 | 4.39 | | 1.43 | |
| 22:5n-6 | 32.08 | | 1.67 | |
| 22:5n-3 | | | 2.49 | 0.02 |
| 22:6n-3 | 186.20 | | 25.88 | 0.11 |
| 24:5n-3 | 9.55 | | 0.26 | |
| Total saturados ² | 347.48 | 106.93 | 51.13 | 5.78 |
| Total monoinsaturados ³ | 13.64 | 4.44 | 48.16 | 4.18 |
| Total PUFA + HUFA ⁴ | 243.23 | 89.10 | 75.38 | 4.41 |
| Total n-3 | 205.33 | 0.62 | 57.43 | 0.34 |
| Total n-6 | 37.10 | 81.96 | 7.92 | 4.01 |
| n-3/n-6 | 5.52 | 0.01 | 7.25 | 0.08 |

¹Los valores son promedios \pm desviación estándar de dos replicados. ²Total saturados: 14:0, 16:0, 18:0, 20:0. ³Total monoinsaturados: 14:1, 16:1, 18:1, 20:1, 22:1, 24:1. ⁴Total PUFA + HUFA: 16:2, 18:2n-6, 18:3n-6, 18:3n-3, 18:4n-3, 20:3n-6, 20:4n-6, 20:4n-3, 20:5n-3, 21:5n-3, 22:5n-6, 22:5n-3, 22:6n-3, 24:4n-6, 24:5n-3, 24:6n-3.

Tabla 6. Perfil de ácidos grasos de las dietas experimentales (% de ácidos grasos metil ésteres identificados).

| Ácido graso | Nivel de reemplazo (%) | | | | |
|------------------------------------|------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | Control | 10 | 20 | 30 | 50 |
| 16:0 | 21.19 ± 0.70 | 26.17 ± 0.23 | 30.79 ± 0.25 | 35.12 ± 0.00 | 41.79 ± 1.06 |
| 18:0 | 3.78 ± 0.08 | 3.30 ± 0.00 | 2.98 ± 0.00 | 2.72 ± 0.05 | 2.27 ± 0.01 |
| 18:2n-6 | 4.25 ± 0.00 | 4.66 ± 0.04 | 5.06 ± 0.14 | 5.46 ± 0.22 | 6.23 ± 0.04 |
| 18:3n-3 | 0.87 ± 0.01 | 0.73 ± 0.02 | 0.59 ± 0.00 | 0.47 ± 0.01 | 0.31 ± 0.05 |
| 20:4n-6 | 0.72 ± 0.02 | 0.63 ± 0.05 | 0.52 ± 0.01 | 0.47 ± 0.00 | 0.46 ± 0.09 |
| 20:5n-3 | 7.75 ± 0.22 | 6.53 ± 0.00 | 5.44 ± 0.02 | 4.55 ± 0.10 | 3.03 ± 0.01 |
| 22:6n-3 | 6.10 ± 0.28 | 6.81 ± 0.00 | 7.44 ± 0.09 | 8.18 ± 0.33 | 9.50 ± 0.28 |
| Total saturados ² | 28.00 ± 0.93 | 32.80 ± 0.21 | 37.24 ± 0.02 | 41.34 ± 0.04 | 48.05 ± 0.92 |
| Total monoinsaturados ³ | 43.78 ± 0.29 | 39.41 ± 0.16 | 32.23 ± 0.45 | 26.73 ± 0.59 | 17.67 ± 0.46 |
| Total PUFA + HUFA ⁴ | 27.89 ± 0.56 | 27.56 ± 0.04 | 27.66 ± 0.49 | 28.51 ± 0.40 | 31.41 ± 1.59 |
| Total n-3 | 16.46 ± 0.67 | 15.47 ± 0.05 | 14.53 ± 0.05 | 14.09 ± 0.45 | 14.74 ± 1.90 |
| Total n-6 | 5.68 ± 0.04 | 7.14 ± 0.01 | 8.20 ± 0.29 | 9.56 ± 0.37 | 12.41 ± 0.22 |
| n-3/n-6 | 2.90 ± 0.14 | 2.17 ± 0.00 | 1.77 ± 0.07 | 1.48 ± 0.10 | 1.19 ± 0.17 |

¹Los valores son promedios ± desviación estándar de dos replicados. ²Total saturados: 14:0, 16:0, 18:0, 20:0. ³Total monoinsaturados: 14:1, 16:1, 18:1, 20:1, 22:1, 24:1. ⁴Total PUFA + HUFA: 16:2, 18:2n-6, 18:3n-6, 18:3n-3, 18:4n-3, 20:3n-6, 20:3n-3, 20:4n-6, 20:4n-3, 20:5n-3, 22:5n-6, 22:5n-3, 22:6n-3, 24:4n-6, 24:5n-3, 24:6n-3.

Tabla 7. Perfil de ácidos grasos del cuerpo completo de perca híbrida rayada (% de ácidos grasos metil ésteres identificados).

| Ácido graso | Inicial | Control | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% | ANOVA (P>F) |
|------------------------------------|--------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|-------------|
| 14:0 | 4.71 ± 0.39 | 2.39 ± 0.30 | 2.42 ± 0.24 | 2.26 ± 0.26 | 2.33 ± 0.15 | 2.38 ± 0.25 | 1.86 ± 0.53 | 0.3091 |
| 16:0 | 16.41 ± 0.40 | 16.24 ± 3.11 | 19.41 ± 1.83 | 18.37 ± 1.92 | 20.29 ± 1.41 | 20.24 ± 1.77 | 18.24 ± 2.38 | 0.3080 |
| 16:2 | 8.93 ± 0.29 | 7.87 ± 1.29 | 7.62 ± 0.55 | 7.06 ± 0.86 | 7.26 ± 0.32 | 6.74 ± 0.25 | 6.20 ± 0.73 | 0.1472 |
| 18:0 | 4.65 ± 0.04 | 2.91 ± 0.23 | 3.01 ± 0.27 | 2.84 ± 0.13 | 2.87 ± 0.08 | 2.85 ± 0.12 | 2.81 ± 0.27 | 0.8378 |
| 18:1 | 16.78 ± 0.32 | 29.20 ^a ± 2.86 | 27.98 ^{ab} ± 3.14 | 27.41 ^{ab} ± 2.11 | 26.48 ^{ab} ± 0.86 | 24.08 ^{ab} ± 1.40 | 22.54 ^b ± 1.85 | 0.0294 |
| 18:2n-6 | 6.36 ± 0.13 | 4.67 ± 1.12 | 5.79 ± 0.08 | 5.60 ± 0.79 | 5.74 ± 0.35 | 6.74 ± 0.05 | 6.24 ± 0.84 | 0.0564 |
| 18:3n-6 | 0.24 ± 0.02 | 0.31 ^c ± 0.21 | 0.60 ^c ± 0.09 | 0.98 ^d ± 0.09 | 1.42 ^c ± 0.07 | 1.92 ^b ± 0.09 | 2.24 ^a ± 0.05 | <0.0001 |
| 18:3n-3 | 1.72 ± 0.03 | 0.99 ± 0.09 | 0.98 ± 0.03 | 0.94 ± 0.13 | 0.84 ± 0.06 | 0.93 ± 0.02 | 0.75 ± 0.15 | 0.0817 |
| 18:4n-3 | 3.02 ± 0.17 | 2.86 ± 0.03 | 3.02 ± 0.24 | 2.77 ± 0.37 | 2.64 ± 0.16 | 2.88 ± 0.12 | 2.62 ± 0.54 | 0.6113 |
| 20:0 | 1.56 ± 0.01 | 0.85 ^a ± 0.08 | 0.79 ^{ab} ± 0.03 | 0.71 ^{ab} ± 0.07 | 0.64 ^b ± 0.06 | 0.68 ^{ab} ± 0.04 | 0.67 ^{ab} ± 0.11 | 0.0444 |
| 20:1 | 0.45 ± 0.05 | 0.47 ± 0.11 | 0.36 ± 0.01 | 0.40 ± 0.09 | 0.36 ± 0.02 | 0.43 ± 0.03 | 0.45 ± 0.11 | 0.4316 |
| 20:3n-6 | 0.18 ± 0.01 | 0.24 ± 0.12 | 0.16 ^b ± 0.01 | 0.25 ^{ab} ± 0.08 | 0.23 ^{ab} ± 0.03 | 0.30 ^{ab} ± 0.04 | 0.36 ^a ± 0.03 | 0.0253 |
| 20:4n-6 | 2.24 ± 0.18 | 1.20 ± 0.34 | 1.03 ± 0.18 | 1.04 ± 0.11 | 0.94 ± 0.10 | 1.08 ± 0.04 | 0.95 ± 0.16 | 0.5332 |
| 20:4n-3 | 0.95 ± 0.04 | 0.72 ± 0.42 | 0.40 ± 0.01 | 0.39 ± 0.01 | 0.39 ± 0.02 | 0.43 ± 0.03 | 0.44 ± 0.07 | 0.1545 |
| 20:5n-3 | 8.62 ± 0.16 | 6.06 ^{ab} ± 0.42 | 6.28 ^a ± 0.30 | 5.73 ^{ab} ± 0.30 | 5.30 ^{bc} ± 0.22 | 5.21 ^{bc} ± 0.23 | 4.78 ^c ± 0.51 | 0.0021 |
| 22:5n-3 | 2.03 ± 0.06 | 3.26 ± 2.60 | 2.12 ± 1.24 | 3.12 ± 3.30 | 2.08 ± 1.72 | 1.18 ± 0.19 | 2.85 ± 1.94 | 0.8253 |
| 22:6n-3 | 8.80 ± 0.28 | 5.81 ^d ± 0.76 | 7.69 ^{cd} ± 0.43 | 8.91 ^c ± 0.35 | 9.65 ^{bc} ± 0.36 | 11.94 ^{ab} ± 0.15 | 13.28 ^a ± 1.81 | <0.0001 |
| Total saturados ² | 27.33 ± 0.76 | 22.39 ± 3.72 | 25.64 ± 2.29 | 24.18 ± 2.37 | 26.12 ± 1.66 | 26.14 ± 2.14 | 23.58 ± 2.52 | 0.4401 |
| Total monoinsaturados ³ | 17.94 ± 0.31 | 30.40 ^a ± 2.55 | 28.80 ^{ab} ± 3.13 | 28.33 ^{ab} ± 2.33 | 27.35 ^{ab} ± 0.90 | 25.21 ^{ab} ± 1.14 | 23.53 ^b ± 1.85 | 0.0272 |
| Total PUFA + HUFA ⁴ | 44.22 ± 0.68 | 41.26 ± 7.92 | 38.79 ± 2.38 | 40.75 ± 5.19 | 40.16 ± 3.27 | 42.00 ± 0.71 | 46.19 ± 1.73 | 0.3138 |
| Total n-3 | 25.95 ± 0.75 | 26.39 ± 9.16 | 23.11 ± 2.50 | 25.08 ± 6.91 | 23.54 ± 3.85 | 23.97 ± 0.97 | 28.40 ± 2.55 | 0.7380 |
| Total n-6 | 9.34 ± 0.28 | 7.00 ^{cd} ± 0.04 | 8.06 ^{cd} ± 0.27 | 8.60 ^{cd} ± 1.02 | 9.37 ^{bc} ± 0.35 | 11.28 ^{ab} ± 0.08 | 11.59 ^a ± 1.28 | <0.0001 |
| n-3/n-6 | 2.78 ± 0.07 | 3.77 ± 1.28 | 2.87 ± 0.28 | 3.00 ± 1.20 | 2.52 ± 0.50 | 2.13 ± 0.10 | 2.48 ± 0.45 | 0.2659 |

¹Los valores son promedios ± desviación estándar de tres replicados. Los promedios con superíndice diferente dentro del mismo renglón son significativamente diferentes (Alfa de Tukey-HSD = 0.05). La composición de los organismos iniciales se analizó por triplicado en muestras compuestas y se presenta como referencia, pero no fueron incluidos en el análisis estadístico. ²Total saturados: 14:0, 16:0, 18:0, 20:0. ³Total monoinsaturados: 14:1, 16:1, 18:1, 20:1, 22:1, 24:1. ⁴Total PUFA + HUFA: 16:2, 18:2n-6, 18:3n-6, 18:4n-3, 20:3n-6, 20:4n-6, 20:4n-3, 20:5n-3, 21:5n-3, 22:5n-6, 22:5n-3, 22:6n-3, 24:4n-6, 24:5n-3, 24:6n-3.

Tabla 8. Perfil de ácidos grasos del cuerpo completo de perca híbrida rayada (mg/g de tejido húmedo).

| Ácido graso | Inicial | Control | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% | ANOVA (P>F) |
|------------------------------------|--------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------|
| 14:0 | 4.36 ± 0.47 | 3.26 ^{ab} ± 0.28 | 3.75 ^a ± 0.40 | 3.33 ^{ab} ± 0.48 | 3.88 ^a ± 0.02 | 3.48 ^{ab} ± 0.40 | 2.42 ^b ± 0.73 | 0.0284 |
| 16:0 | 15.17 ± 0.81 | 22.08 ^b ± 3.44 | 30.01 ^{ab} ± 3.46 | 27.02 ^{ab} ± 3.59 | 33.86 ^a ± 1.40 | 29.57 ^{ab} ± 2.87 | 23.65 ^b ± 3.68 | 0.0116 |
| 16:2 | 8.26 ± 0.57 | 10.70 ^{ab} ± 1.38 | 11.77 ^a ± 1.04 | 10.39 ^{ab} ± 1.56 | 12.13 ^a ± 0.88 | 9.85 ^{ab} ± 0.45 | 8.04 ^{ab} ± 1.16 | 0.0105 |
| 18:0 | 4.30 ± 0.12 | 3.96 ^{ab} ± 0.17 | 4.66 ^a ± 0.51 | 4.16 ^{ab} ± 0.31 | 4.80 ^a ± 0.24 | 4.15 ^{ab} ± 0.21 | 3.62 ^b ± 0.25 | 0.0075 |
| 18:1 | 15.49 ± 0.28 | 39.75 ^{ab} ± 2.47 | 43.12 ^{ab} ± 3.91 | 40.28 ^{ab} ± 4.27 | 44.27 ^a ± 2.54 | 35.16 ^{bc} ± 1.73 | 29.13 ^c ± 1.91 | 0.0007 |
| 18:2n-6 | 5.87 ± 0.14 | 6.35 ^b ± 1.29 | 8.94 ^{ab} ± 0.28 | 8.24 ^{ab} ± 1.38 | 9.59 ^a ± 0.08 | 9.84 ^a ± 0.14 | 8.06 ^{ab} ± 1.00 | 0.0087 |
| 18:3n-6 | 0.22 ± 0.02 | 0.42 ^c ± 0.29 | 0.93 ^c ± 0.15 | 1.44 ^c ± 0.16 | 2.37 ^b ± 0.20 | 2.80 ^{ab} ± 0.15 | 2.90 ^a ± 0.02 | <0.0001 |
| 18:3n-3 | 1.59 ± 0.05 | 1.34 ^{ab} ± 0.08 | 1.51 ^a ± 0.07 | 1.39 ^a ± 0.23 | 1.39 ^a ± 0.02 | 1.36 ^a ± 0.04 | 0.97 ^b ± 0.18 | 0.0067 |
| 18:4n-3 | 2.79 ± 0.06 | 3.90 ± 0.11 | 4.68 ± 0.43 | 4.07 ± 0.62 | 4.41 ± 0.08 | 4.21 ± 0.18 | 3.38 ± 0.62 | 0.0502 |
| 20:0 | 1.44 ± 0.06 | 1.16 ^a ± 0.08 | 1.22 ^a ± 0.06 | 1.05 ^{ab} ± 0.13 | 1.07 ^{ab} ± 0.02 | 0.99 ^{ab} ± 0.06 | 0.87 ^b ± 0.12 | 0.0070 |
| 20:1 | 0.42 ± 0.03 | 0.63 ± 0.17 | 0.56 ± 0.01 | 0.58 ± 0.13 | 0.59 ± 0.01 | 0.62 ± 0.05 | 0.57 ± 0.13 | 0.9435 |
| 20:3n-6 | 0.16 ± 0.02 | 0.33 ± 0.18 | 0.26 ± 0.01 | 0.37 ± 0.13 | 0.39 ± 0.07 | 0.44 ± 0.05 | 0.46 ± 0.03 | 0.1263 |
| 20:4n-6 | 2.07 ± 0.18 | 1.65 ± 0.52 | 1.60 ± 0.30 | 1.54 ± 0.20 | 1.56 ± 0.13 | 1.58 ± 0.06 | 1.23 ± 0.18 | 0.3942 |
| 20:4n-3 | 0.88 ± 0.02 | 0.99 ± 0.61 | 0.62 ± 0.03 | 0.57 ± 0.03 | 0.64 ± 0.06 | 0.63 ± 0.04 | 0.56 ± 0.08 | 0.2555 |
| 20:5n-3 | 7.97 ± 0.25 | 8.26 ^{ab} ± 0.28 | 9.70 ^a ± 0.62 | 8.42 ^{ab} ± 0.60 | 8.87 ^{ab} ± 0.72 | 7.60 ^{bc} ± 0.25 | 6.17 ^c ± 0.48 | 0.0001 |
| 22:5n-3 | 1.88 ± 0.11 | 4.51 ± 3.71 | 3.27 ± 1.87 | 4.48 ± 4.63 | 3.56 ± 3.06 | 1.72 ± 0.25 | 3.71 ± 2.56 | 0.8785 |
| 22:6n-3 | 8.13 ± 0.19 | 7.89 ^d ± 0.75 | 11.89 ^c ± 0.90 | 13.08 ^{bc} ± 0.77 | 16.16 ^{ab} ± 1.41 | 17.44 ^a ± 0.25 | 17.14 ^a ± 1.84 | <0.0001 |
| Total saturados ² | 25.26 ± 1.42 | 30.45 ^b ± 3.97 | 39.63 ^{ab} ± 4.34 | 35.56 ^{ab} ± 4.50 | 43.60 ^a ± 1.54 | 38.19 ^{ab} ± 3.49 | 30.56 ^b ± 4.05 | 0.0106 |
| Total monoinsaturados ³ | 16.58 ± 0.32 | 41.40 ^{ab} ± 1.98 | 44.40 ^{ab} ± 3.86 | 41.64 ^{ab} ± 4.48 | 45.72 ^a ± 2.56 | 36.81 ^{bc} ± 1.31 | 30.41 ^c ± 1.87 | 0.0006 |
| Total PUFA + HUFA ⁴ | 40.85 ± 1.03 | 56.47 ± 12.82 | 59.92 ± 4.45 | 59.65 ± 5.73 | 67.37 ± 9.13 | 61.33 ± 0.60 | 59.73 ± 1.98 | 0.5281 |
| Total n-3 | 23.96 ± 0.28 | 36.22 ± 13.80 | 35.70 ± 4.05 | 36.61 ± 8.85 | 39.59 ± 8.47 | 35.00 ± 1.08 | 36.72 ± 3.20 | 0.9759 |
| Total n-6 | 8.63 ± 0.31 | 9.56 ^c ± 0.40 | 12.45 ^{bc} ± 0.70 | 12.65 ^{bc} ± 1.85 | 15.64 ^a ± 0.51 | 16.48 ^a ± 0.27 | 14.97 ^{ab} ± 1.39 | 0.0002 |
| n-3/n-6 | 2.78 ± 0.07 | 3.77 ± 1.28 | 2.87 ± 0.28 | 3.00 ± 1.20 | 2.52 ± 0.50 | 2.13 ± 0.10 | 2.48 ± 0.45 | 0.2659 |

Los valores son promedios ± desviación estándar de tres replicados. Los promedios con superíndice diferente dentro del mismo renglón son significativamente diferentes (Alfa de Tukey-HSD = 0.05). La composición de los organismos iniciales se analizó por triplicado en muestras compuestas y se presenta como referencia, pero no fueron incluidos en el análisis estadístico. ²Total saturados: 14:0, 16:0, 18:0, 20:0. ³Total monoinsaturados: 14:1, 16:1, 18:1, 20:1, 22:1, 24:1. ⁴Total PUFA + HUFA: 16:2, 18:2n-6, 18:3n-3, 18:4n-3, 20:3n-6, 20:4n-6, 20:5n-3, 21:5n-3, 22:5n-6, 22:5n-3, 22:6n-3, 24:4n-6, 24:5n-3, 24:6n-3.

VI. DISCUSIÓN

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del reemplazo de harina y aceite de pescado por harina de *Arthrospira* sp. y *Schizochytrium limacinum* en el alimento balanceado para la perca híbrida rayada *Morone chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂. Los niveles de reemplazo de la harina y aceite de pescado fueron de 10, 20, 30, 40 y 50%. Los organismos se desarrollaron adecuadamente durante las 6 semanas en que se llevó a cabo el cultivo experimental, los resultados del estudio se analizan a continuación.

VI.1. Parámetros de calidad del agua

Los parámetros de calidad de agua del sistema experimental registrados en este estudio mostraron valores similares a los reportados en investigaciones previas y que han sido considerados como valores óptimos para el cultivo de la perca híbrida rayada. La temperatura, por ejemplo, tuvo un valor promedio de $26.10 \pm 0.59^{\circ}\text{C}$ en este estudio, un valor comprendido dentro del rango de 25 a 27°C reportado por Hodson (1989) como óptimo para la especie. Por otra parte, Rudacille y Kohler (2000) reportaron una temperatura promedio de $23.5 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ en un estudio con la misma especie, observando también ellos un adecuado desempeño biológico y supervivencia. El valor promedio de oxígeno disuelto en este estudio fue de 7.68 ± 0.11 mg O₂/L, y de acuerdo a lo reportado por Hodson (1989), el rango óptimo para esta especie es de 6 a 12 mg O₂/L.

La perca híbrida rayada tiene una amplia tolerancia a la salinidad, el rango que puede tolerar sin afectarse su desempeño biológico es de 0 a 25‰ (Hodson, 1989). La salinidad registrada en este estudio tuvo un valor promedio de 3.29 ± 0.26 ‰, un valor comprendido dentro del rango antes mencionado y similar al reportado por Rudacille y Kohler (2000), de 3.13 ± 0.15 ‰. El mantener un pH de 7 a 9 es generalmente lo más adecuado para la mayoría de las especies cultivadas (Wurts y Durborw, 1992). El pH influye en la concentración de la forma ionizada (NH₄⁺) y no ionizada (NH₃) de nitrógeno amoniacal en el agua. La primera de ellas es menos tóxica que la segunda y es más abundante en el agua a menor pH, mientras que la segunda forma es más tóxica debido a su capacidad para difundirse rápidamente a través de la membrana celular. Estos desechos nitrogenados son producto del catabolismo de amino ácidos y proteínas en peces y se excretan como NH₄⁺ a través de sus agallas y heces; se generan también a partir de la proteína dietaria del alimento no consumido durante

la descomposición bacteriana (Tomasso, 1994; Durborow *et al.*, 1997). Los daños fisiológicos en peces causados por la toxicidad del amonio ionizado o no ionizado pueden manifestarse como reducción del crecimiento, daño al tejido branquial e hiperplasia de sus filamentos, daño renal y hepático, convulsiones e incluso la muerte (Fromm y Gillette, 1968). Para la perca híbrida rayada el pH idóneo se presenta entre los valores de 7 a 8.5 (Hodson, 1989). El valor promedio de pH en el presente estudio fue de 7.93 ± 0.45 , un valor dentro del rango antes mencionado. Rudacille y Kohle (2000) reportaron un pH similar de 7.0 ± 0.02 , observando también un buen desempeño biológico de la especie.

Otro desecho nitrogenado tóxico para organismos acuáticos son los nitritos, que ocurren naturalmente en las aguas marinas y continentales, generados como resultado del proceso de nitrificación bacteriana. Producido durante la descomposición bacteriana y la excreción animal, el amonio es primeramente oxidado biológicamente y convertido a nitritos y subsecuentemente a nitratos por bacterias aeróbicas autótrofas del género *Nitrosomonas* spp. y *Nitrobacter* spp., respectivamente. Para evitar la acumulación de desechos nitrogenados en el agua de cultivo se toman medidas como el hacer recambios de un porcentaje de agua del sistema y el sifoneo del alimento no consumido y heces. Se ha demostrado que dosis de nitrógeno amoniacal total ($\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3$) de 0.32 a 0.60 mg de NH_4^+ -N/L y 12.8 ± 1.6 mg NO_2 -N/L pueden ser letales para esta especie (Weirich *et al.*, 1993; Tomasso, 1994). En el presente estudio se llevó a cabo un recambio de 10 % del agua del sistema semanalmente y sifoneo diario del alimento no consumido y de las heces; los valores de nitrógeno amoniacal total y nitritos fueron 0.10 ± 0.07 mg de NH_4^+ -N/L y 0.01 ± 0.00 NO_2 -N/L, respectivamente, valores que están muy por debajo de los valores letales. Es evidente entonces que los parámetros de calidad del agua registrados en este estudio fueron óptimos para el buen desempeño biológico de esta especie.

VI.2. Índices de desempeño biológico

Ninguno de los niveles de reemplazo de harina y aceite de pescado por las harinas de *Arthrospira* sp. y *S. limacinum* evaluados en el presente estudio provocó disminuciones ni del desempeño en crecimiento ni de la supervivencia de los organismos. De hecho, para los niveles de reemplazo de 30 y 50%, el peso final, el peso ganado y el coeficiente térmico de crecimiento de los organismos fueron estadísticamente superiores a los de aquellos

alimentados con la dieta control. Por consiguiente, puede concluirse que es factible reemplazar con efectividad al menos el 50% de harina y aceite de pescado por harinas de *Arthrospira* sp. y *S. limacinum* en el alimento balanceado de la perca híbrida rayada, sin detrimento del crecimiento o la supervivencia. Sin duda, este resultado representa un firme y positivo avance hacia una acuicultura con menor impacto sobre el ambiente, al contribuir a eliminar la dependencia en la harina y aceite de pescado como componentes mayoritarios de los alimentos acuícolas. Es importante resaltar que, a diferencia de la harina y aceite de pescado, cuya sobreexplotación ha impactado excesivamente el ambiente marino, tanto la harina de *Arthrospira* sp., como la de *S. limacinum*, son productos renovables, producidos bajo condiciones controladas. Es decir, pueden estar disponibles continuamente para la producción de alimentos acuícolas, contribuyendo a una acuicultura sustentable.

El porcentaje de peso ganado en el presente estudio tuvo un valor de 235.30%, muy similar a lo reportado por otros autores para la perca híbrida rayada, por ejemplo, en el estudio realizado por Bowzer *et al.* (2016), se reportó un valor promedio de porcentaje de peso ganado de 230% y una supervivencia del 93% al alimentar a la perca híbrida rayada con pellets de tamaño uniforme y extruidos a baja temperatura. Wu *et al.* (2015) reportaron un porcentaje de peso ganado de 238% y hasta 292% y supervivencias de 100% cuando alimentaron juveniles de perca híbrida rayada (21.1 g de peso inicial) con una dieta sin carbohidratos (0% CHO) y otra con alto contenido de lípido (20.6% estimado en base seca), respectivamente, que coinciden con los valores obtenidos en este estudio.

El factor de condición es un índice que refleja la interacción entre efectos bióticos y abióticos reflejados el estado fisiológico de peces cultivados y que es indicativo de su bienestar general (Lizama y Ambrosio, 2002). El factor de condición obtenido en el presente estudio varió de 1.26 a 1.29 para peces alimentados con harinas de microalgas, y 1.23 para los peces alimentados con la dieta control. Coincide con valores reportados para otras especies de peces cultivados como *Totoaba macdonaldi* (1 a 1.3; González-Félix *et al.*, 2018; Minjarez-Osorio *et al.*, 2012) o el salmón del Atlántico *Salmo salar* (1.45; Kousoulaki *et al.*, 2015). Por otra parte, el IHS también se puede considerar un indicador del estado nutricional de los peces y fluctúa como resultado de cambios nutricionales dietarios o estacionales, infecciones, etc.; un valor alto es resultado del consumo de dietas con alto contenido de energía o nutrientes (Chaturvedi y Saksena, 2013). Gause y Trushenski (2011) reportaron valores entre 2.1 y 2.2 para el IHS de perca híbrida rayada de 4.4 g de peso inicial alimentada

con diferentes niveles de remplazo de harina de pescado por levadura que produce etanol mediante fermentación alcohólica, mientras que Qiao *et al.* (2014) reportaron valores desde 2.2 a 3.1% para el IHS de *Paralichthys olivaceus* al remplazar aceite de pescado por harina de *Schizochytrium* sp. y *Nannochloropsis* sp. En el presente estudio el IHS varió de 2.34 a 2.76% para peces alimentados con las dietas experimentales, y 2.23% con la dieta control, que nuevamente coinciden con valores observados en otras especies. A pesar de no ser estadísticamente diferentes, es interesante destacar que los peces de la dieta control tienen valores menores para estos índices.

Los resultados muestran entonces que para la perca híbrida rayada existe un beneficio en su crecimiento al reemplazar la harina y el aceite de pescado por harinas de *Arthrospira* sp. y *Schizochytrium limacinum* en su alimento balanceado. Este hecho puede estar sustentado en la contribución nutricional de ambas microalgas, pues es claro que la inclusión progresiva de *S. limacinum* incrementó el contenido de DHA, un ácido graso esencial que promueve el máximo crecimiento en los peces, y en su ausencia, lo restringe o limita como es el caso de lo observado en bagre (Wilson y Moreau, 1996). El remplazo de hasta 40% o más de aceite de pescado por *S. limacinum* se ha logrado eficientemente en peces como *Epinephelus lanceolatus* (García-Ortega *et al.*, 2015) o *Seriola rivoliana* (Kissinger *et al.*, 2016) sin afectar su desempeño biológico. *Arthrospira* sp. por su parte tiene un alto contenido de proteína y un perfil de amino ácidos bien balanceado, mejor que el de otras fuentes de proteína vegetal (Ciferri, 1995), y su uso en el remplazo de harina de pescado ha sido efectivo en niveles de hasta 40% en *Oreochromis mossambicus* (Olvera-Novoa *et al.*, 1998), e incluso mayores en *Cyprinus carpio* (Nandeeshha *et al.*, 1998). Es probable que la interacción de ambos nutrientes contribuyó a promover el mejor desempeño biológico de la perca híbrida rayada en este estudio, en comparación con los peces alimentados con la dieta control.

VI.3. Eficiencia alimenticia

Una óptima tasa de eficiencia alimenticia es clave para ahorrar costos en acuicultura, ya que el alimento representa un alto porcentaje del costo de producción (De Verdal *et al.*, 2017). La tasa de eficiencia alimenticia en este estudio fue de 0.99 para el tratamiento control y entre 1.04 y 1.08 para los diversos niveles de remplazo, pero no se observaron diferencias estadísticas. Sin embargo, la tasa de eficiencia proteica fue significativamente mayor, 2.70

g/g, en peces alimentados con 40% de reemplazo de harina y aceite de pescado, y también mostraron una significativamente mayor retención de proteína, 53.13%, que los peces alimentados con la dieta control y con 10% de reemplazo, pero no fueron diferentes del resto de los tratamientos. Esto puede ser indicativo de que, en comparación con la proteína de harina de pescado, la proteína de harina de microalgas tal vez satisfaga mejor los requerimientos por amino ácidos esenciales de la especie, o bien, que la proteína sea mejor digerida y/o absorbida, y posteriormente incorporada en nuevos tejidos, aunque esto merece investigación adicional. Wu *et al.* (2015) reportaron una tasa de eficiencia proteica entre 2.27 y 2.60 g/g para esta misma especie al evaluar la utilización de carbohidratos, amino ácidos no esenciales o lípido como fuente de energía. Por su parte, Webster *et al.* (1999) reportaron una tasa de eficiencia proteica de entre 0.92 y 1.29 g/g al reemplazar la harina de pescado por harina de carne y hueso, soya, subproductos de ave, y granos de destilería con solubles a diferentes niveles en dietas para juveniles (15 g) de esta misma especie. Los primeros valores coinciden con los observados en este estudio, mientras que los segundos son más bajos, y se pudieran explicar por un menor contenido o desbalance de amino ácidos esenciales en las fuentes proteicas alternativas utilizadas para el reemplazo en este último estudio, y/o la ausencia de amino ácidos suplementarios como la metionina, lisina, o taurina en dichas dietas.

Para *Sciaenops ocellatus*, Pérez-Velázquez *et al.* (2018) reportaron una eficiencia alimenticia de 0.64 a 0.74, una tasa de eficiencia proteica de 1.5 a 1.8 g/g, y una retención de proteína de 27.6 a 33.0% utilizando las mismas fuentes de microalgas para reemplazar la harina y aceite de pescado dietarios, y dado que son las mismas especies de microalgas, las diferencias pudieran atribuirse a que se trata de especies diferentes, la del presente estudio de agua dulce, y la del trabajo anterior el sciánido marino *Sciaenops ocellatus*.

VI. 4. Composición proximal de organismos completos

Se sabe que la composición proximal de peces puede variar dependiendo de varios factores, tales como la especie, la dieta y su propia composición proximal, la edad del organismo y la del ciclo de vida en la que se encuentre, el sexo, el medio ambiente, o la época del año, entre otros (FAO, 1988). El reemplazar harina y aceite de pescado por harina de microalgas no tuvo efecto sobre el contenido de proteína, humedad o cenizas del cuerpo completo de la

perca híbrida rayada. Sin embargo, la grasa corporal fue significativamente mayor en los organismos alimentados con las dietas con 30, 10 y 20% de reemplazo, respectivamente, en comparación con los peces que recibieron la dieta control. Pérez-Velázquez *et al.* (2018) no observaron diferencias en la composición proximal del cuerpo completo de *S. ocellatus* con ninguno de los niveles de reemplazo de harina y aceite de pescado evaluados cuando usaron las mismas harinas de microalgas. En general, los valores observados en la composición proximal de peces en el presente estudio son comparables a los reportados para otras especies de peces como *Cynoscion parvipinnis*, *C. othonopterus* y *T. macdonaldi* (González-Félix *et al.*, 2015, 2016; Minjarez-Osorio *et al.*, 2012). El contenido de grasa total en organismos alimentados con 40 y 50% de reemplazo disminuyó significativamente en comparación con los peces del tratamiento con 30% de reemplazo, que resulta interesante porque a pesar de observarse un mayor contenido de DHA en tales organismos, este ácido graso no contribuyó a un mayor contenido de grasa corporal, pero sí a su acumulación selectiva en tejidos corporales de la perca híbrida rayada, como se observa en el perfil de ácidos grasos del cuerpo completo de estos peces.

VI.5. Composición de ácidos grasos de dietas y organismos completos

Es común observar que el perfil de ácidos grasos de la dieta se vea reflejado en los tejidos corporales de los organismos a quienes se alimenta (González-Félix *et al.*, 2002, 2016), y este estudio no es la excepción. Se comprobó que al incrementar el nivel de reemplazo de la harina y aceite de pescado por harina de microalgas, el DHA aumentó en las dietas por efecto del incremento en la inclusión de harina de *S. limacinum* y, por el contrario, se observó una disminución de EPA a medida que se retiró el aceite de pescado rico en este ácido graso esencial, debido a que tanto en *Arthrospira* sp. como en *S. limacinum* se encuentra en forma limitada.

Se observó también una tendencia general al incremento de ácidos grasos saturados y al decremento de los ácidos monoinsaturados conforme el nivel de reemplazo se incrementaba. Los ácidos grasos de la familia n-6 también se incrementaron a medida que el reemplazo aumentó, y ello se vio reflejado en las proporciones dietarias de n-3/n-6 que, como era de esperarse, disminuyeron como resultado del incremento en las concentraciones de ácidos grasos n-6. Las mismas tendencias fueron observadas en los estudios de Perez-Velazquez *et al.* (2018) con *S. ocellatus*, y de García-Ortega *et al.* (2015) con *Epinephelus*

lanceolatus. Estos últimos autores reportan que los valores de EPA disminuyeron (desde 7.3 hasta 3.8 g100g⁻¹) y de DHA aumentaron (de 10.7 a 25.8 g100g⁻¹) con niveles de reemplazo de 0 a 80%, de manera muy similar a lo observado en el presente estudio.

Por su parte, Pérez-Velázquez *et al.* (2018) reportaron que el reemplazo de harina y aceite de pescado por harinas de *Arthrospira* sp. y *S. limacinum* incrementó las concentraciones de DHA (3.72 a 8.91% de FAME) y 16:0 (23.25 a 28.20% de FAME) y promovieron el decremento de 18:1n-9 (desde 25.06 hasta 16.68% de FAME) y 18:1n-5 (desde 6.04% a 3.85% de FAME) en cuerpo completo de *S. ocellatus*, imitando la composición de las dietas, algo muy similar a lo que se observó en el presente trabajo.

En el presente estudio con la perca híbrida rayada, el perfil de ácidos grasos del organismo completo mostró también una tendencia al decremento en ácidos grasos monoinsaturados, particularmente de ácido oleico 18:1-9 (desde 29.20 hasta 22.54% de FAME identificados) y también de EPA (de 6.06 a 4.78%), al mismo tiempo que ocurrió un incremento en la concentración de DHA (5.81 a 13.28%) y de 18:2n-6 (4.67 a 6.24%) al comparar los peces del grupo control con aquellos alimentados con 50% de reemplazo de harina y aceite de pescado por harinas de microalgas. Las proporciones n-3/n-6 observadas en peces fueron muy similares entre el tratamiento control y aquellos con reemplazo de 10 y 20%. Aquellos alimentados con 30 a 50% de reemplazo también mostraron similitud. Es evidente entonces que, si bien hay una clara influencia dietaria en el perfil corporal de ácidos grasos, este último se modifica menos drásticamente porque los ácidos grasos están siendo utilizados para cumplir funciones específicas en los organismos; es probable que los ácidos grasos saturados de cadena corta y media sean utilizados preferencialmente para satisfacer los requerimientos energéticos de los peces como se ha observado en crustáceos, mientras que los ácidos grasos altamente insaturados se conserven preferencialmente para la síntesis de tejidos neurales y corporales mediante su incorporación preferencial en lípidos polares (González-Félix *et al.*, 2002; D'Abramo y Sheen, 1993).

Es claro entonces que el reemplazo de harina y aceite de pescado por harina de microalgas favorece el perfil corporal de ácidos grasos del híbrido de *Morone chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂, otorgando un claro beneficio para el consumidor final, el ser humano, debido al incremento en la concentración de DHA, un ácido sumamente importante para prevenir enfermedades cardiovasculares, y mejorar la función y el desarrollo cerebral, entre otras funciones (Ruxton *et al.*, 2004), además de constituirse como una clara y viable opción

sustentable para el reemplazo de estos ingredientes (González-Félix *et al.*, 2010), no solo sin afectar el desempeño biológico de los peces en cultivo, sino mejorándolo. En este organismo se demostró que se puede llevar a cabo hasta un 50% de reemplazo, aunque en la práctica, el costo y la rentabilidad de estas harinas establecerán el grado de utilización que se les pueda dar en la industria acuícola para la manufactura de alimento balanceado.

VII. CONCLUSIONES

- Bajo estas condiciones experimentales, la perca híbrida rayada *Morone chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂, presentó un adecuado desempeño biológico, eficiencia alimenticia y supervivencia con un nivel de reemplazo dietario de harina y aceite de pescado por harinas de las microalgas, *Arthrospira* sp. y *Schizochytrium limacinum*, de hasta 50%.
- La composición proximal del cuerpo completo de perca híbrida rayada mostró que reemplazar la harina y el aceite de pescado por harina de microalgas puede elevar la concentración de grasa cruda.
- El análisis del perfil de los ácidos grasos del cuerpo completo de los peces mostró que el reemplazo de harina y aceite de pescado por las harinas de estas microalgas incrementa la concentración de DHA y 18:2n-6, y decrece la de EPA, 18:1, y la proporción de n-3/n-6.
- El uso de harinas de estas microalgas es una opción viable y sustentable para el reemplazo de harina y aceite de pescado, y favorece el perfil corporal de ácidos grasos que representa un claro beneficio para el consumidor final, el ser humano, pero su costo y rentabilidad establecerán su grado de utilización en la industria acuícola para la manufactura de alimento balanceado.

VIII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda el evaluar niveles más altos de reemplazo de harina y aceite de pescado por harina de las microalgas *Arthrospira* sp. y *Schizochytrium limacium* para establecer el máximo nivel de inclusión que puede tolerar la perca híbrida rayada en su dieta.
- Determinar si las harinas de las microalgas *Arthrospira* sp. y *Schizochytrium limacinum* confieren un beneficio individualmente cuando se reemplaza la harina o el aceite de pescado, y si es que existe una interacción cuando se combinan en el alimento balanceado.
- Evaluar el desempeño biológico de la perca híbrida rayada alimentada con harinas de las microalgas *Arthrospira* sp. y *Schizochytrium limacinum* por un periodo de engorda más prolongado con el fin de establecer el tiempo en que se pudiera alcanzar la talla comercial para comercialización.
- Evaluar si la inclusión de *Schizochytrium limacinum* en reemplazo de aceite de pescado puede utilizarse como estrategia para la formulación de dietas de finalización para mejorar el contenido de ácido docosahexaenoico en el filete de pescado.

IX. LITERATURA CITADA

- Abdulqader, G., L. Barsanti y M. R. Tredici. 2000. Harvest of *Arthrospira platensis* from Lake Kossorom (Chad) and its household usage among the Kanembu. *Journal of Applied Phycology* 12:493-498.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC), 2005. Official Methods of Analysis. Association of Analytical Chemists, Arlington, VA, USA.
- Barclay, W. y S. Zeller. 1996. Nutritional enhancement of n-3 and n-6 fatty acids in rotifers and *Artemia nauplii* by feeding spray-dried *Schizochytrium* sp. *Journal of the World Aquaculture Society* 27:314-322.
- Berestov, V. 2001. Our Experience in *Spirulina* Feeding to Minks in the Reproduction Period. *Nutrition & Nutritional Physiology* 25 (1):11-16.
- Berra, T. M. 2002. Freshwater distribution. *The university of Chicago Press* 3.
- Bowyer, J.N., J.G. Qin, R. P. Smullen y D. A. J. Stone. 2012. Replacement of fish oil by poultry oil and canola oil in yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*) at optimal and suboptimal temperatures. *Aquaculture*, 356-357:211-222. doi:10.1016/j.aquaculture.2012.05.014.
- Bowzer, J., M. Page, y J. Trushenski. 2016. Extrusion temperature and pellet size interact to influence growth performance of hybrid striped bass fed industrially compounded aquafeeds. *North American Journal of Aquaculture* 78(4):284-294. doi:10.1080/15222055.2016.1185066.
- Bromley, P. J. 1980. Effect of dietary protein, lipid and energy content on the growth of turbot (*Scophthalmus maximus* L.). *Aquaculture*, 19, 359-369.
- Burr, G. S., W. R. Wolters, F. T. Barrows, y R.W. Hardy, 2012. Replacing fishmeal with blends of alternative proteins on growth performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), and early or late stage juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 334:110–116. doi:10.1016/j.aquaculture.2011.12.044.
- Cashion, T., F. Le Manach, D. Zeller, D. Pauly. 2017. Most fish destined for fishmeal production are food-grade fish. *Fish and Fisheries* 18:837-844. doi:10.1111/faf.12209.
- Catacutan, M. R., y R. M. Coloso. 1995. Effect of dietary protein to energy ratios on growth, survival, and body composition of juvenile Asian seabass, *Lates calcarifer*. *Aquaculture*, 131(1-2), 125-133.
- Chamorro, G., M. Salazar, K. Gomes de Lima Araújo, C. Pereira dos Santos, G. Ceballos y L. F. Castillo. 2002. Actualización en la farmacología de *Spirulina* (*Arthrospira*), un alimento no convencional. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 52(3): 232-240.
- Chandrasekharan, J. y N. Sharma-Waila. 2015. Lipoxins: nature's way to resolve inflammation. *Journal of Inflammation Research* 8:181-192. doi:10.2147/JIR.S90380.

- Chatuverdi, J. y D. N. Saksena. 2013. Diet composition, feeding intensity, gastrosomatic index and hepatosomatic index of a catfish, *Mystus cavasius* from chambal river (Near, Rajghat) Morena, Madhya Pradesh. *International Journal of Recent Scientific Research* 4(9): 1350-1356.
- Cho, C.Y., 1990. Fish nutrition, feeds and feeding: with special emphasis on salmonid aquaculture. *Food Reviews. International* 6:333–357.
- Cho, C. Y. y S. Kaushik. 1990. Nutritional energetics in fish energy and protein utilization in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *World Review of Nutrition and Dietetics* 61: 132-172.
- Ciferri, O. 1995. *Spirulina*, the Edible Microorganism. *Microbiological Reviews* 47(4):551-578.
- Costa-Pierce, B. A. 2002. Ecological Aquaculture: The Evolution of the Blue Revolution. *Blackwell Science*. 4-16.
- Craig, S. y L. A. Helfrich. 2009. Understanding fish nutrition, feeds, and feeding, College of Agriculture and Life Sciences, Virginia Polytechnic Institute and State University. *Virginia Cooperative Extension*. 420-256.
- Crouse, C. C., R. A. Kelley, J. T. Trushenski y M. J. Lydy. 2013. Use of alternative lipids and finishing feeds to improve nutritional value and food safety of hybrid striped bass. *Aquaculture* 408-409: 58-69. doi:10.1016/j.aquaculture.2013.05.022.
- D’Abramo, L.R. y S.S. Sheen. 1993. Polyunsaturated fatty acid nutrition in juvenile freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*. *Aquaculture* 115:63-86.
- De la Peña, M. R., M. B. Teruel, J. M. Oclarit, M. J. A. Amar y E. G. T. Ledesma, 2016. Use of thraustochytrid *Schizochytrium* sp. as source of lipid and fatty acid in a formulated diet for abalone *Haliotis asinina* (Linnaeus) juveniles. *Aquaculture International*, 24(4), 1103-1118. doi:10.1007/s10499-016-9974-3.
- De Verdal, H., H. Komen, E. Quillet, B. Chatain., F. Allal, J. A. H. Benzie y M. Vandeputte. 2017. Improving feed efficiency in fish using selective breeding: a review. *Reviews in Aquaculture* 0: 1-19.
- Durborow, R. M., D. M. Crosby y M. W. Brunson. 1997. Ammonia in Fish Ponds. *Southern Regional Aquaculture Center* 463.
- El-Sayed, A. F. M. 1994. Evaluation of soybean meal, Spirulina meal and chicken offal meal as protein sources for silver seabream (*Rhabdosargus sarba*) fingerlings. *Aquaculture* 127:169–176.
- El-Sheekh, M., I. El-Shourbagy, S. Shalaby y S. Hosny. 2014. Effect of Feeding *Arthrospira platensis* (*Spirulina*) on Growth and Carcass Composition of Hybrid Red Tilapia (*Oreochromis niloticus* x *Oreochromis mossambicus*). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 14:471-478. Doi:10.4194/1303-2712-v14_2_18.

- Eschmeyer, W. N., E. S. Herald y H. Hammann. 1983. A field guide to Pacific coast fishes of North America. *Houghton Mifflin Company*, Boston, USA. 336 p.
- Etnier, D. A. y W. C. Starnes. 1993. The Fishes of Tennessee. *The University of Tennessee Press*. 389-396.
- FAO. 1986. The production of fish meal and oil. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma.
- FAO. 1988. El pescado fresco: su calidad y cambios de su calidad. Documento técnico de Pesca. *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*. Roma, Italia.
- FAO. 2016. El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Fisheries and Aquaculture Department, Roma. 3-5.
- Folch, J., M. Lees y C. H. Sloane-Stanley. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem* 226:497–509.
- Fromm, P.O. y J. R. Guillete. 1968. Effect of ambient ammonia on blood ammonia and nitrogen excretion of rainbow trout (*Salmo gairdnerii*). *Comparative Biochemistry and Physiology*, 26:887-896.
- Ganuza, E., T. Benítez-Santana, E. Atalah, O. Vega-Orellana, R. Ganga y M. Izquierdo. 2008. *Cryptocodinium cohnii* and *Schizochytrium* sp. as potential substitutes to fisheries-derived oils from seabream (*Sparus aurata*) microdiets. *Aquaculture* 277:109–116. doi:10.1016/j.aquaculture.2008.02.005.
- García-Ortega, A., K. R. Kissinger, J. T. Trushenski. 2015. Evaluation of fish meal and fish oil replacement by soybean protein and algal meal from *Schizochytrium limacinum* in diets for giant grouper *Epinephelus lanceolatus*. *Aquaculture* 452: 1-8. doi:10.1016/j.aquaculture.2015.10.020.
- Gatlin III, D. M. 2010. Principles of Fish Nutrition. *Southern Regional Aquaculture Center* 5003.
- Gause, B. y J. Trushenski. 2011. Replacement of Fish Meal with Ethanol Yeast in the Diets of Sunshine Bass. *North American Journal of Aquaculture* 73:97–103. doi:10.1080/15222055.2011.574940.
- González-Félix, M. L., A. L. Lawrence, D.M. III. Gatlin y M. Pérez-Velázquez. 2002. Growth, survival and fatty acid composition of juvenile *Litopenaeus vannamei* fed different oils in the presence and absence of phospholipids. *Aquaculture* 205:325-343. doi:10.1016/S0044-8486(01)00684-6.
- González-Félix, M. L., F. Soller Dias da Silva, D.A. Davis, T. M. Samocha, T. C. Morris, J.S. Wilkenfeld y M. Perez-Velazquez. 2010. Replacement of fish oil in plant based diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture* 309:152-158. doi:10.1016/j.aquaculture.2010.08.028.

- González-Félix, M. L., M. Pérez-Velázquez, C. Minjarez-Osorio y P. Urquidez-Bejarano. 2015. Influence of dietary lipid on growth performance and body composition of the Gulf corvina, *Cynoscion othonopterus*. *Aquaculture* 448:401-409. doi: 10.1016/j.aquaculture.2015.06.031.
- González-Félix, M. L., C. A. Maldonado-Othón y M. Perez-Velazquez. 2016. Effect of dietary lipid level and replacement of fish oil by soybean oil in compound feeds for the shortfin corvina (*Cynoscion parvipinnis*). *Aquaculture*, 454:217-228. doi:10.1016/j.aquaculture.2015.12.021.
- González-Félix, M. L., E. B. Santana-Bejarano, M. Pérez-Velázquez y A. G. Villalba-Villalba. 2018. Partial characterization, quantification and activity of pancreatic lipase in the gastrointestinal tract of *Totoaba macdonaldi*. *Archives of Biological Science*. doi:10.2298/ABS180202009G.
- Halver, J. E. y R. W. Hardy. 2002. Fish Nutrition, 199. *Elsevier Sciences*. San Diego, California.
- Hammond, B. G., D. A. Mayhew, K. Robinson., R. W. Mast y W. J. Sander, 2001. Safety Assessment of DHA-Rich Microalgae from *Schizochytrium* sp. III. Single-generation rat reproduction study. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 33: 356-362.
- Harrell, R. M. 2016. Cultured Aquatic Species Information Programme. Morone hybrid. Cultured Aquatic Species Information Programme. FAO Fisheries and Aquaculture Department. Rome.
- Holman, B. W. B. y A. E. O. Malau-Aduli. 2013. *Spirulina* as a livestock supplement and animal feed. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 97:615-623.
- Hodson, R. G. 1989. Hybrid Striped Bass, Biology and Life History. *Southern Regional Aquaculture Center* No. 300, 1-4.
- Jobling, M. 1988. A review of the physiological and nutritional energetics of cod, *Gadus morhua* L., with particular reference to growth under farmed conditions. *Aquaculture* 70:1-19.
- Kim, S. S., S. Rahimnejad, K. W. Kim y K. J. Lee. 2013. Partial replacement of fishmeal with *Spirulina pacifica* in diets for parrot fish (*Oplegnathus fasciatus*). *Turkish Journal Fish Aquatic Science* 13:197–204. doi:10.4194/1303-2712-v13_2_01.
- Kissinger, K. R., A. García-Ortega y J. T. Trushenski. 2016. Partial fishmeal replacement by soy protein concentrate, squid and algal meals in low fish-oil diets containing *Schizochytrium limacinum* for longfin yellowtail *Seriola rivoliana*. *Aquaculture* 452: 37-44. doi:10.1016/j.aquaculture.2015.10.022.
- Kousoulaki, K., T. K. Østbye, A. Krasnov, J. S. Torgersen, T. Mørkøre y J. Sweetman, 2015. Metabolism, health and fillet nutritional quality in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets containing n-3-rich microalgae. *Journal of Nutritional Science* 4, 24: 1-13.

- Kristinsson, H. G. y B. A. Rasco. (2000) Fish Protein Hydrolysates: Production, Biochemical, and Functional Properties, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 40:1, 43-81. doi:10.1080/10408690091189266.
- Lane, R. L., J. T. Trushenski y C. C. Kohler. 2006. Modification of Fillet Composition and Evidence of Differential Fatty Acid Turnover in Sunshine Bass *Morone chrysops* × *M. saxatilis* Following Change in Dietary Lipid Source. *Lipids* Vol. 41, no. 11.
- Le François, N., M. Jobling, C. Carter, P. U. Blier y A. Savole. 2010. Finfish Aquaculture Diversification. *CAB International* 338.
- Lim, C. y C. D. Webster. Nutrition and Fish Health, xix *Food Products Press*. Binghamton, New York.
- Lizama, M. de los A.P. y A. M. Ambrósio. 2002. Condition factor in nine species of fish of the Characidae family in the high Paraná River floodplain, Brazil. *Brazilian Journal of Biology* 62(1):113-124.
- Lochmann, R. T. D. y M. Gatlin. 1993. Evaluation of different types and levels of triglycerides, singly and in combination with different levels of n-3 highly unsaturated fatty acid ethyl esters in diets of juvenile red drum, *Sciaenops ocellatus*. *Aquaculture* 114:113–130.
- Luying, Z., Z. Xuecheng, R. Xueying y Z. Qinghua, 2008. Effects of Culture Conditions on Growth and Docosahexaenoic Acid Production from *Schizochytrium limacinum*. *Journal of Ocean University of China* 7(1):83-88. doi:10.1007/s11802-008-0083-4.
- Maisashvili, A., H. Bryant, J. Richardson, D. Anderson, T. Wickersham y M. Drewery. 2015. The values of whole algae and lipid extracted algae meal for aquaculture. *Algal Research* 9:133-142. doi:10.1016/j.algal.2015.03.006.
- McEntire, M., S. Snyder y D. Freeman. 2015. Comparison of Growth Between Morone Hybrids (Palmetto and Sunshine) in Earthen Ponds. *Journal of the World Aquaculture Society*. Vol. 46, 5:557-563. doi:10.1111/jwas.12213.
- Minjarez-Osorio, C., M. L. González-Félix, M. y Pérez-Velázquez, 2012. Biological performance of *Totoaba macdonaldi* in response to dietary protein level. *Aquaculture* 362-363:50-54. doi:10.1016/j.aquaculture.2012.07.028.
- Moncada, B. S., Vane, F. R. S. 1981. Prostacyclin: its biosynthesis, actions and clinical potential. *Philosophical Transactions of the Royal Society of the Royal Society A* 294:305-329.
- Moon, H.Y. y D.M. Gatlin. 1991. Total sulfur amino acid requirement of juvenile red drum, *Sciaenops ocellatus*. *Aquaculture* 95:97–106.
- Murray, R. K, Bender, D. A. Botham, K. M. Kennelly, P. J. Rodwell, V. W. y P. A. Weil. 2013. Harper, Bioquímica Ilustrada. 29ª Ed. México, D.F. *McGraw-Hill*. 25-144 pp.

- Nandeesha, M. C., B. Gangadhar, T. J. Varghese y P. Keshavanath. 1998. Effect of feeding *Spirulina platensis* on the growth, proximate composition and organoleptic quality of common carp, *Cyprinus carpio* L. *Aquaculture Research* 29:305-312.
- Nakamura, M. T. y T. Y. Nara. 2004. Structure, function, and dietary Regulation of $\Delta 6$, $\Delta 5$, and $\Delta 9$ desaturases. *Annual Review of Nutrition* 24:345-76. doi:10.1146/annurev.nutr.24.121803.063211.
- Nelson, J. 1994. Fishes of the World. *John Wiley & Sons, Inc.* 343-344.
- Olvera-Novoa, M.A. L. J. Domínguez-Cen, L. Olivera-Castillo, C. A. Martínez-Palacios. 1998. Effect of the use of the microalga *Spirulina maxima* as fish meal replacement in diets for tilapia, *Oreochromis mossambicus* (Peters), fry. *Aquaculture Research* 29:709-715.
- Page, L. M. y B. M. Burr, B. 1991. A field guide to freshwater fishes of North America north of Mexico. *Houghton Mifflin Company*, Boston, USA. 432 p.
- Pérez-Velázquez, M., D. M. Gatlin III, M. L. González-Félix y A. García-Ortega. 2018. Partial replacement of fishmeal and fish oil by algal meals in diets of red drum *Sciaenops ocellatus*. *Aquaculture* 487:41-50. doi:10.1016/j.aquaculture.2018.01.001.
- Qiao, H., H. Wang, Z. Song, J. Ma, B. Li, X. Liu, S. Zhang, J. Wang, y L. Zhang. 2014. Effects of dietary fish oil replacement by microalgae raw materials on growth performance, body composition and fatty acid profile of juvenile olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Aquaculture Nutrition* 20:646–653. doi:10.1111/anu.12127.
- Rawles, S. D. 2009. Evaluation of Poultry By-product Meal in Commercial Diets for Hybrid Striped Bass, *Morone chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂, in Pond Production. *Journal of the Aquaculture Society* 40 (2):141-156.
- Ricciotti, E. y G. A. FitzGerald. 2011. Prostaglandins and Inflammation. *National Institute of Health* 31 (5):986-1000. doi:10.1161/ATVBAHA.110.207449.
- Ricker, W. E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bull. Fish. Res. Board Can.* 191:1-382.
- Rudacille, J. y C. Kohler. 2000. Aquaculture Performance Comparison of Sunshine Bass, Palmetto Bass, and White Bass. *North American Journal of Aquaculture* 62 (2):114-124. doi:10.1577/1548-8454(2000)062<0114:APCOSB>2.0.CO;2.
- Ruxton, C. H. S., S. C. Reed, M. J. A. Simpson y K. J. Millington. 2004. The health benefits of omega-3 polyunsaturated fatty acids: a review of the evidence. *Journal of Human Nutrition and Dietetics: List of Issues* 17:449-459.
- Samuelsson, B. 1977. The role of prostaglandin endoperoxides and thromboxanes as bioregulators. *Academic Press* 133-154.

- Sargent, J., L. McEvoy, A. Estevez, G. Bell, M. Bell, J. Hendereson y D. Tocher. 1999a. Lipid nutrition of marine fish during early development: current status and future directions. *Aquaculture* 179: 217-229.
- Sargent, J., G. Bell, L. McEvoy, D. Tocher y A. Estevez. 1999b. Recent developments in the essential fatty acid nutrition of fish. *Aquaculture* 177, 191-199.
- Schafberg, M., K. Loest, U. Meister y E. Kurt. 2017. Partial fishmeal and oil substitution with a microorganism mix as an innovative diet for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and pike-perch (*Sander lucioperca*). *Eur food Res Technol*. DOI 10.1007/s00217-017-2939-6. doi:10.1007/s00217-017-2939-6.
- Shah, M. R., G. A. Lutz, A. Alam, P. Sarker, M. A. K. Chowdhury, A. Parsaeimehr, Y. Liang y M. Daroch, 2017. Microalgae in aquafeeds for a sustainable aquaculture industry. *Journal of Applied Phycology*. doi:10.1007/s10811-017-1234-z.
- Stickney, R. R. y G. D. Treece. 2012. Aquaculture Production Systems. Chapter 2 History of Aquaculture. First edition. *Jonh Wiley & Sons*. Inc. 16.
- Tacon, A. G. J. y M. Metian. 2008. Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. *Aquaculture* 285(1-4), 146-158. doi:10.1016/j.aquaculture.2008.08.015.
- Teimouri, M., A. K. Amirkolaie y S. Yeganeh. 2013. The effects of *Spirulina platensis* meal as a feed supplement on growth performance and pigmentation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 396-399, 14-19. doi:10.1016/j.aquaculture.2013.02.009.
- Tokusoglu, O. y M. K. Ünal. 2003. Biomass Nutrient Profiles of Three Microalgae: *Spirulina platensis*, *Chlorella vulgaris*, and *Isochrysis galbana*. *J. Food Sci.* 68: 4-9.
- Tomasso, J. R. 1994. Toxicity of nitrogenous wastes to aquaculture animals. *Rev. Fishery Sci.* 2: 291-314.
- Tomelleri, J. 2013. *Morone saxatilis* {Figura recuperada de <http://www.fishesoftexas.org/taxa/morone-saxatilis>} Fecha de acceso 15 de enero del 2018.
- Trushenski, J. y M. Aardsma. 2016. Different Dietary Lipid Sources Affect Plasma Lipid Composition but Not Stress Tolerance or Growth of Hybrid Striped Bass. *North American Journal of Aquaculture* 78:314-326. doi:10.1080/15222055.2016.1173608.
- Turchini, G. M., B. E. Torstensen y W. Ng. 2009. Fish oil replacement in finfish nutrition. *Reviews in Aquaculture* 1:10-57. doi:10.1111/j.1753-5131.2008.01001.x.
- Van Hoestenbergh, S., C. Fransman, T. Luyten, D. Vermeulen, I. Roelants, S. Buysens y B. Godderis. 2016. *Schizochytrium* as a replacement for fish oil in a fishmeal free diet for jade perch, *Scortum barcoo* (McCulloch & Waite). *Aquaculture Research* 47:6, 1747-1760. doi:10.1111/are.12631.

- Vonshak A. y L. Tomaselli. 2000. *Arthrospira (Spirulina)*: Systematics and Ecophysiology. In: Whitton B.A., Potts M. (eds) *The Ecology of Cyanobacteria*. Springer, Dordrecht. 505-522 pp.
- Webster. C., L. G. Tiu y A. M. Morgan, 1999. Effect of Partial and Total Replacement of Fish Meal on Growth and Body Composition of Sunshine Bass *Morone chrysops* × *M. saxatilis* Fed Practical Diets. *World Aquaculture Society* 30 (4): 443-453.
- Weirich, C. R., J. R. Tomasso y T. I. J. Smith. 1993. Toxicity of ammonia and nitrite to sunshine bass in selected environments. *Journal of Aquatic Animal Health* 5:64-72.
- Wilson, R.P., y Y. Moreau. 1996. Nutrient requirement of catfishes (Siluroidei). *Aquating. Living Resources* 9:103-111.
- Wu, X., Castillo, S., M. Rosales, A. Burns, M. Mendoza, D. M Gatlin III. 2015. Relative use of dietary carbohydrate, non-essential amino acids, and lipids for energy by hybrid striped bass, *Morone chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂. *Aquaculture* 435:116-119. doi:101016/j.jphotobiol.2015.08.035.
- Wurst, W. A. y R. M. Durborow. 1992. Interactions of pH, Carbon Dioxide, Alkalinity and Hardness in Fish Ponds. *Southern Regional Aquaculture Center* 464:1-4.
- Yokoyama, R. y D. Honda. 2007. Taxonomic rearrangement of the genus *Schizochytrium* sensu lato based on morphology, chemotaxonomic characteristics, and 18 S rRNA gen phylogeny (Thraustocjytriaceae, Labyrinthulomycetes): Remediation for *Schizochytrium* and erection of *Aurotionchytrium* and *Oblongichytrium* gen. nov. *Mycosciencie*, 48:329-341.
- Young, R. A. 1990. Stress proteins and immunology. *Annu. Rev. Imuno.*, 8:401-420.
- Zhang, P., Wang, Z., Xie, M., Nie, W., Huang, L. 2010. Detection of carbohydrates using a pre-column derivatization reagent 1-(4-isopropyl) phenyl-3-methyl-5-pyrazolone by high-performance liquid chromatography coupled with electrospray ionization mass spectrometry. *Journal of Chromatography B* 878:1135-1144.
- Zhou, H. N., Y. G. Xie, Z. P. Wang, B. Shao, X. Y. Liu, J. X Yu. y Z. Y. Chen. 2013. Evaluation of *Arthrospira (Spirulina) platensis* production trait using cpCHID operon. *Pakistan Journal of Botany* 45(2):687-694.