



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS Y
FORESTALES**

**ESTUDIO DEL PERFIL NUTRICIONAL DEL BALCHÉ
(*Lonchocarpus longistylus*) Y LA PATA DE CABRA
(*Bahuinia variegata* L.) PARA SU USO POTENCIAL EN
ALIMENTOS ACUÍCOLAS**

TESIS

Que para obtener el grado de:

Maestro en Producción Agropecuaria

Presenta

Biol. Eugenio Arroyo Reséndiz

Directora

Dra. María Gisela Ríos Durán

Co-director

Dr. Carlos Antonio Martínez Palacios

Morelia, Michoacán a Agosto del 2016



**INSTITUTO DE
INVESTIGACIONES
AGROPECUARIAS
Y FORESTALES**



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS Y
FORESTALES**

**ESTUDIO DEL PERFIL NUTRICIONAL DEL BALCHÉ
(*Lonchocarpus longistylus*) Y LA PATA DE CABRA (*Bahuinia
variegata* L.) PARA SU USO POTENCIAL EN ALIMENTOS
ACUÍCOLAS**

TESIS

Que para obtener el grado de:

Maestro en Producción Agropecuaria

Presenta

Biol. Eugenio Arroyo Reséndiz

Comité de tutores

Dra. María Gisela Ríos Durán

Dr. Carlos Antonio Martínez Palacios

Dr. Jorge Fonseca Madrigal

Dra. Mayra Toledo Cuevas

M.I.A. Sibila Concha Santos

Morelia, Michoacán a Agosto de 2016 del 2016



**INSTITUTO DE
INVESTIGACIONES
AGROPECUARIAS
Y FORESTALES**

DEDICATORIAS

ESPECIALMENTE A MIS PADRES Y MI HERMANO QUIENES ME HAN APOYADO EN DE MANERA INCONDICIONAL EN CADA MOMENTO, POR CREER EN MI Y EN LAS DECISIONES QUE TOMÉ.

EUGENIO ARROYO RODRIGUEZ , EFIGENIA RESÉNDIZ GARCIA Y MI HERMANO JUAN CARLOS ARROYO RESÉNDIZ

A MI FAMILIA QUIENES ME HAN TENDIDO MUCHO APOYO DURANTE EL TRANSCURSO DE LA MAESTRÍA.

AGRADECIMIENTOS

Al Laboratorio de Acuacultura del Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales a cargo del Dr. Carlos Antonio Martínez Palacios de abrirme las puertas para poder realizar mi tesis de maestría.

A mi Directora la Dra. María Gisela Ríos Durán por haberme asesorado con su amplia experiencia en el campo de la nutrición para realizar esta tesis, además que sin sus comentarios acertados y su asesoría este trabajo no hubiera sido posible.

A mi Co-director el Dr. Carlos Antonio Martínez Palacios por brindarme el apoyo con su amplio conocimiento y experiencia para el reforzamiento de este trabajo que sin el no hubiera sido posible.

A la Dra. Elva Mayra Toledo Cuevas por haber sido mi profesora de quien aprendí mucho, además siempre brindarme su apoyo con sus consejos.

Al Dr. Jorge Fonseca Madrigal por brindarme su apoyo con su amplios conocimientos y amplia experiencia sobre los ácidos grasos, además siempre darme acertados consejos para la realización de este trabajo.

A la M.I.A. Sibila Concha Santos por haberme apoyado con su conocimiento con las técnicas de laboratorio y además siempre contar con su apoyo en el momento que lo necesité.

Al Dr. Miguel Ángel Olvera Novoa de laboratorio del CINVESTAV Mérida por haberme apoyado con el material biológico con el que se realizó esta tesis y por su valiosa atención cuando lo requerí.

Al técnico Wilbert Che León del CINVESTAV por haberme apoyado con análisis que eran vitales para la realización de este trabajo.

A la M.C Patricia Silva Sáenz del Herbario de la Facultad de Biología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por apoyarme en la identificación de material biológico.

Al Dr. Jesús Campos García del Instituto de Investigaciones Químico Biológicas quien me apoyo en el liofilizado de la muestras.

Al Biol. Jesús López García Técnico del laboratorio de Acuicultura del IIAF por que siempre me brindó su apoyo cuando lo requería.

Especialmente a mis a mis amigos Eduardo, Nancy, Lizbeth, Annel, Paola, Cristella, Lázaro, Saúl, Sarahi, Ricardo, Lupita Torres, Lupita Cortés y Frida con quienes conviví durante mi estancia de laboratorio y además brindarme su apoyo cuando lo necesité y de contar con su valiosa amistad.

Al CONACYT por brindarme apoyo económico por la beca no. 350538 durante mis estudios de maestría ya que de otro modo este trabajo y el aprendizaje que obtuve no hubiera sido posible.

INDICE GENERAL

RESUMEN	<u>XX</u>
ABSTRACT.....	<u>XIIXII</u>
1.INTRODUCCIÓN	<u>14</u>
1.1 Fuentes proteínicas y lipídicas vegetales usadas en alimentos acuícolas ... 2	
2. ANTECEDENTES	<u>55</u>
2.1 Importancia de la harina y el aceite de pescado en la piscicultura	<u>55</u>
2.2 Reemplazo de fuentes proteínicas de pescado por fuentes proteínicas de origen vegetal en alimentos para peces	<u>66</u>
2.3 Fuentes lipídicas de origen vegetal utilizadas en alimentos para peces	<u>1144</u>
2.4 Descripción del Balché <i>Lonchocarpus longistylus</i> y su uso potencial en la formulación de alimentos acuícolas	<u>1545</u>
2.5 Descripción de pata de cabra <i>Bahunia variegata</i> y su potencial uso en la formulación de alimentación acuícolas.....	<u>1848</u>
2.6 Aplicaciones del uso de semillas de Balché y Pata de cabra en alimentos para peces.....	<u>2124</u>
3. JUSTIFICACIÓN.....	<u>2323</u>
4. OBJETIVOS.....	<u>2424</u>
4.1 Objetivo general	<u>2424</u>
4.1.1 <i>Objetivos particulares</i>	<u>2424</u>
5. HIPOTESIS	<u>2525</u>
6. METODOLOGÍA	<u>2626</u>
6.1 Análisis de composición proximal.....	<u>2626</u>
6.1.1 <i>Humedad</i>	<u>2626</u>
6.1.2. <i>Ceniza</i>	<u>2727</u>
6.1.3. <i>Proteína cruda</i>	<u>2727</u>
6.1.4. <i>Extracto etéreo</i>	<u>2727</u>
6.1.5. <i>Fibra cruda</i>	<u>2828</u>
6.1.6. <i>Extracto libre de Nitrógeno</i>	<u>2828</u>
6.2. Análisis del perfil de ácidos grasos	<u>2929</u>

6.2.1. Preparación de las muestras	<u>2929</u>
6.2.2. Derivatización directa de lípidos totales.....	<u>3030</u>
6.2.3 Condiciones cromatográficas.....	<u>3134</u>
6.2.4 Identificación y cuantificación del perfil de ácidos grasos	<u>3134</u>
6.3 Análisis estadístico	<u>3232</u>
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	<u>3333</u>
7.1 Análisis de la composición proximal.....	<u>3333</u>
7.1.1. Humedad	<u>3535</u>
7.1.2. Cenizas.....	<u>3535</u>
7.1.3. Proteína	<u>3636</u>
7.1.4. Extracto etéreo	<u>3737</u>
7.1.5. Fibra cruda.....	<u>3737</u>
7.2 Análisis de ácidos grasos	<u>3838</u>
7.3 Formulación de alimentos para Pez Blanco <i>Chirostoma estor</i>	<u>4545</u>
8. CONCLUSIÓN	<u>4848</u>
9. RECOMENDACIONES	<u>4949</u>
10. BIBLIOGRAFIA	<u>5050</u>

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Semilla de <i>Lonchocarpus longistylus</i>	1717
Figura 2. Árbol de <i>Lonchocarpus longistylus</i>	1818
Figura 3. Árbol de Pata de Cabra <i>Bahunia variegata</i>	2020
Figura 4. Semillas de <i>Bahunia variegata</i>	2020
Figura 5. Cromatograma de ácidos grasos de Balché <i>Lonchocarpus</i> <i>longistylus</i>	3939
Figura 6. Cromatograma de ácidos grasos de <i>Bahunia variegata</i>	4040

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ingredientes vegetales utilizadas como fuentes proteínicas.....	<u>1010</u>
Tabla 2. Ingredientes vegetales utilizados como fuentes lipídicas	<u>1515</u>
Tabla 3. Composición proximal de las semillas de Balché (<i>Lonchocarpus longistylus</i>)	<u>3434</u>
Tabla 4. Composición proximal de las semillas de Pata de cabra (<i>Bahuinia variegata</i>)	<u>3434</u>
Tabla 5. Composición del perfil de ácidos grasos de cinco semillas y dos aceites comerciales.....	<u>4242</u>
Tabla 6. Formulación de una dieta para Pez Blanco, al 41 % de proteína y 6.5% de lípidos, utilizando semillas completas y decorticadas de Balché (<i>L. longistylus</i>) (Los datos se expresan en g Kg ⁻¹).....	<u>4545</u>
Tabla 7. Formulación de una dieta para Pez Blanco, al 41 % de proteína y 5% de lípidos, utilizando semillas completas y decorticadas de Pata de cabra (<i>Bahuinia variegata</i>) (Los datos se expresan en g Kg ⁻¹).....	<u>4646</u>

RESUMEN

Se evaluó la composición nutricional de dos especies de leguminosas, el Balché (*Lonchocarpus longistylus*) y la Pata de cabra (*Bahuinia variegata*) y su potencial para ser utilizadas como ingredientes en alimentos para peces. En las dos especies se analizó la composición proximal de las semillas completas y decorticadas; además se analizó el perfil de ácidos grasos de las semillas completas. Se encontró un alto contenido de lípidos totales en las semillas de *L. longistylus* $32.88\pm 0.22\%$ para la semilla completa y $34.32\pm 0.18\%$ para la semilla decorticada, con diferencias significativas entre sí ($P < 0.05$). En las semillas de *B. variegata* se encontró un porcentaje de lípidos totales menor al encontrado en *L. Longistylus* ($10.80\pm 0.09\%$), sin embargo aumentó significativamente ($P < 0.05$) el porcentaje de lípidos cuando la semilla se decortizó ($14.27\pm 0.36\%$). En *L. longistylus* se encontró un porcentaje de proteína de $24.92\pm 0.56\%$ para la semilla completa y $25.38\pm 0.19\%$ para la semilla decorticada, sin diferencias significativas entre ellas ($P \geq 0.05$). Se encontró un alto contenido de proteína en las semillas de *B. Variegata*, de $31.32\pm 0.35\%$ para la semilla completa y $29.02\pm 0.94\%$ para la semilla decorticada, sin presentarse diferencias significativas ($P \geq 0.05$). El contenido de fibra en la semilla decorticada de *L. Longistylus* ($9.53\pm 0.30\%$) fue significativamente menor ($P < 0.05$) que en la semilla completa ($14.26\pm 0.30\%$), mientras que en *B. variegata* no se encontró diferencia significativa ($P \geq 0.05$) entre el contenido de fibra de la semilla decorticada ($12.27\pm 0.05\%$) y el de la semilla completa (13.81 ± 0.99). Al analizar el perfil de ácidos grasos en las semillas completas, se encontraron en *L. longistylus* niveles de ácido Linoléico (18:2 n-6) de 24.93% y de ácido Linolénico (18:3 n-3) de 16.33% , mientras que en *B. variegata* se encontraron niveles altos (57.59%) de ácido linoléico y niveles muy bajos (1.4%) de ácido Linolénico. Una vez evaluada la composición nutricional de las leguminosas estudiadas, se observó que tienen el potencial nutricional de ser usadas como ingredientes alternativos en dietas para peces, porque pueden ser una buena fuente de proteína. Además, las semillas de balché podrían ser utilizadas como fuente de lípidos para especies de peces que no requieran consumir en su dieta ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga (LC PUFAs). Se proponen formulaciones para el Pez Blanco

de Pátzcuaro, *Chirostoma estor*, un pez con la capacidad de elongar y desaturar ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) de 18 carbonos, para obtener LC PUFAs. Las semillas de Balché, además de ser una fuente potencial de proteína, pueden ser una fuente de ácido linolénico para el Pez Blanco, mientras que las semillas de Pata de Cabra, aunque podrían ser una buena fuente de proteína, no serían una buena fuente de lípidos, pues son ricas en PUFAs n-6 (ácido linoleico) y su contenido de ácido linolénico a nivel traza.

ABSTRACT

The nutritional composition of two species of legumes, Balché (*Lonchocarpus longistylus*) and Pata de cabra (*Bahuinia variegata*) and their potential to be utilized as feed ingredients for fish diets were evaluated. The proximal composition of complete and decorticated seeds was analyzed; furthermore, the fatty acid profile of the complete seeds was analyzed. It was found a high content of total lipids in *L. longistylus*, with values of $32.88\pm 0.22\%$ for complete seed and $34.32\pm 0.18\%$ for decorticated seed ($P < 0.05$). In the seeds of *B. variegata* it was found a lower total lipid content than that found in *L. longistylus* ($10.80\pm 0.09\%$); however the total lipid content rised significantly ($P < 0.05$) when the seed was decorticated ($14.27\pm 0.36\%$). In *L. longistylus* the protein content was about $24.92\pm 0.56\%$ for the complete seed and $25.38\pm 0.19\%$ for the decorticated seed, with no significant differences among them ($P \geq 0.05$). It was found a high protein content in the seeds of *B. Variegata*, $31.32\pm 0.35\%$ for the decorticate seed, and $29.02\pm 0.94\%$ for the decorticated seed, without significant differences ($P \geq 0.05$). The fiber content in the decorticate seed of *L. longistylus* ($9.53\pm 0.30\%$) was sinificantly lower than that found in complete seed ($14.26\pm 0.30\%$), while in *B. variegata* it was not found a significative difference ($P \geq 0.05$) in the fiber content between the decorticate seed ($12.27\pm 0.05\%$) and the complete seed (13.81 ± 0.99). In terms of fatty acids, *L. longistylus* had levels of Linoleic acid (18:2 n-6) of 24.93% and Linolenic acid(18:3 n-3) of 16.33%, while in *B. variegata*, high levels (57.59%) of Linoleic acid and low levels (1.4%) of Linolenic acid were found. Once the nutritional composition of these seeds was evaluated, we can conclude that both of them have the nutritional potential to be used as alternative protein sources in fish diets. Futhermore, *L. longistylus* seeds could be utilized as lipid source for fish species, whithout a dietary LC PUFAs requirement, like pike silverside. Dietary formulations for pike silverside *Chirostoma estor*, are proposed. In addition to being a potential protein source, the Balché seeds can be used as a linolenic acid source for pike silverside, while the Pata de cabra seeds could not be used as a good lipid source, although these seeds are a potential protein source.

1.INTRODUCCIÓN

Las pesquerías industriales de sardina, anchoveta y caballa es muy importante para el desarrollo de la acuicultura, debido a que son una fuente proteica y lipídica muy importante utilizada para desarrollar alimentos balanceados. Dentro de los nutrientes esenciales que contienen los peces marinos que este contiene en niveles altos se encuentran las proteínas y los ácidos grasos LC-PUFA (Ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga), además de calcio y fósforo (Bene *et al.*, 2015).

Aunque el pescado de captura es una fuente rica en nutrientes esenciales y cubre los requerimientos nutricionales de los peces para el cultivo comercial, las estimaciones apuntan a que habrá un decrecimiento del mismo y para el 2050 habrá un desabasto de pescado a nivel mundial. Se estima que se requerirá una cantidad de 147 millones de toneladas (MT) para consumo directo en el 2050 (Morrow *et al.*,1992). Actualmente, de las 150 MT por año de que dispone el mar (Morrow *et al.*,1992), 17 MT se destinan a la obtención de harina y aceites de pescado para desarrollar la acuicultura. Para el 2050 esta cantidad no se podrá destinar ni para la acuicultura, ni para ninguna actividad de producción animal (avicultura y porcicultura) (Merino *et al.*, 2012; FAO, 2014;Grafton y Daubjerg, 2015).

Debido a que en la actualidad la fuente proteica de pescado para la formulación de alimentos balanceados para peces es cada vez más escasa (Merino *et al.*,2012; Grafton y Daubjerg, 2015) ha surgido la búsqueda de fuentes proteicas vegetales alternativas que tengan una disponibilidad estable para la elaboración de alimentos para peces.

1.1 Fuentes proteínicas y lipídicas vegetales usadas en alimentos acuícolas

Muchos grupos de investigación se han centrado en la búsqueda de fuentes proteínicas y lipídicas para desarrollar alimentos para peces, surgiendo como alternativa las leguminosas, oleaginosas y concentrados de hojas (Gomesa *et al.*, 1995; Olvera- Novoa *et al.*, 1997; Carter y Hauler, 2000; Le Boucher *et al.*, 2011). Dentro de las fuentes vegetales evaluadas como fuentes de proteína en dietas para peces se encuentran la harina de soya, harina de lupinos, sesbania, canavalia, harina de maíz, semillas de girasol, cacahuete, lemna oscura, hojas de alfalfa y algunos concentrados proteínicos vegetales, cereales como amaranto, quinua, entre otros; además también ha surgido el uso de leguminosas endémicas (Robaina, 1995; Cabrera *et al.*, 2001; Kaushik *et al.*, 2004; Borgenson *et al.*, 2006; Olivera- Castillo *et al.*, 2007; Garduño y Olvera-Novoa, 2008; Peters *et al.*, 2009; Llanes y Toledo *et al.*, 2011; Contreras- Castro *et al.*, 2012; García *et al.*, 2015).

En algunas especies de peces cultivables a nivel comercial se han substituido parcialmente las proteínas de pescado por proteínas vegetales, aunque los costos no se han reducido en todos los casos. La idea es independizarse de las harinas y los aceites de pescado provenientes de la pesquería, debido a que en el futuro el uso de fuentes vegetales será más económico, puesto que la tendencia actual de producción está aumentando en gran medida (Robaina, 1995).

Por otro lado, como se ha mencionado, no solo se ha buscado independencia de las proteínas del pescado, sino también el reemplazo de los aceites de pescado usados ampliamente en la acuicultura, puesto que también se ha estancado la producción a nivel mundial (Tacon y Metian *et al.*, 2008), lo que está influyendo en el incremento de los costos de estos aceites (Drew *et al.*, 2007). Por ello, una gran cantidad de investigadores alrededor del mundo se han

centrado en estudiar el uso de los aceites vegetales como alternativa para su uso en los alimentos. Se han realizado varios experimentos de alimentación en peces, evaluando el crecimiento y la composición de ácidos grasos con la sustitución de aceites de pescado por aceites vegetales en la dieta, en especies comerciales con potencial económico como lo son peces dulceacuícolas como la Tilapia nilótica, *Oreochromis niloticus* (Borgenson *et al.*, 2006), *Tilapia rendalli* (Olvera- Novoa *et al.*, 2002) Bacalao del Murray, *Maccullochella peelii peelii* (Francis *et al.*, 2007) Trucha arcoíris, *Oncorhynchus mykiss* (Drew *et al.*, 2007; Turchini y Francis, 2009), y especies marinas como el Salmón, *Salmo salar* (Rosenlund *et al.*, 2001; Bransden *et al.*, 2003; Jordal *et al.*, 2007; Torstensen *et al.*, 2008; Menoyo *et al.*, 2011), la Dorada, *Spaurus aurata* (Menoyo *et al.*, 2004; Izquierdo *et al.*, 2005; Benedito- Palos *et al.*, 2007; Benedito-Palos *et al.*, 2008; Fountuoalaki *et al.*, 2009) y la Lubina Europea, *Dicentrarchus labrax* (Mourente *et al.*, 2005; Mourente *et al.*, 2006), entre otras.

La producción de aceites vegetales en la actualidad al contrario de los aceites de pescado han aumentado e incluso se tiene el reporte de un grupo de investigadores (Wing- Keong *et al.*, 2003; Wing- Keong *et al.*, 2004) que han experimentado con el uso de subproductos de aceites vegetales refinados que son mucho más económicos que los aceites vegetales convencionales, dando lugar a investigaciones que pueden mejorar el aprovechamiento y abaratar los costos de la producción de alimentos acuícolas.

Para enfrentarse al desafío de la problemática mencionada, se continúan buscando como alternativas las fuentes de proteína y aceite de origen vegetal que cubran los requerimientos nutricionales de los peces, con una cantidad alta de proteína y un buen perfil de ácidos grasos.

En el presente trabajo se pretende evaluar el perfil nutricional de las semillas de dos leguminosas, el balché (*Lonchocarpus longistylus*) y la pata de cabra (*Bahuinia variegata*) para su uso potencial como fuentes proteínicas y/o lipídicas

en alimentos acuícolas. Se proponen formulaciones para el Pez Blanco de Pátzcuaro, *Chirostoma estor*, utilizando semillas de estas leguminosas como fuentes proteínicas y, en el caso del balché, como fuente lipídica.

2. ANTECEDENTES

Actualmente las pequerías siguen siendo la base más importante para la formulación de alimentos para la acuicultura alrededor del mundo, por lo que varios grupos de investigación se han dado a la tarea de sustituir la harina y aceites de pescado, los cuales se utilizan como principal fuente proteínica y lipídica en las dietas acuícolas, por proteínas vegetales alternativas que cubran los requerimientos nutricionales de los peces (Tacon y Cowey, 1985); esto no solo por la mayor dificultad para conseguir harinas de pescado, sino también por el costo, que se han ido incrementando y que se incrementará con los años (Tacon y Metian *et al.*, 2008; Le Boucher *et al.*, 2011; Bene *et al.*, 2015), lo que haría de la acuicultura una actividad insostenible.

2.1 Importancia de la harina y el aceite de pescado en la piscicultura

Los requerimientos de proteína de los peces son altos puesto que son más eficientes en el aprovechamiento de la proteína por ser una fuente primordial para la obtención de energía. Debido a que los peces requieren altos niveles de proteína en su dieta, la elaboración de alimentos para su cultivo es altamente dependiente de la harina de pescado, puesto que este ingrediente posee grandes cantidades de proteína, además de ser fuente de aminoácidos esenciales que son requeridos para el crecimiento, mantenimiento y regeneración de tejidos (Tacon y Cowey, 1985; Mente *et al.*, 2003; Yamamoto *et al.*, 2000 Garduño- Lugo y Olvera-Novoa, 2008). Sin embargo, como se mencionó anteriormente, la harina de pescado proviene de la pesca de captura, cuya producción hoy en día está estancada con tendencia a la reducción. Debido a que algunas especies de peces requieren 3kg de harina de pescado como fuente proteínica para producir un 1kg de peso, como es el caso del Salmon (*Salmo salar*) (Llancabure, 2011), la acuicultura se está convirtiendo en una actividad insostenible. Por lo anterior, en la actualidad se buscan fuentes alternativas de proteína para no depender de las fuentes proteínicas de la pesca de captura.

Otro de los ingredientes importantes utilizados en los alimentos para peces es el aceite de pescado, el cual también es ampliamente utilizado por su alto contenido de energía y por ser fuente de ácidos grasos de cadena larga altamente insaturados (LC-HUFA). El uso de aceites de pescado mejora el crecimiento en peces marinos debido a que estos tienen un requerimiento de estos ácidos grasos (Fountoaki *et al.*,2009). Al igual que en el caso de la harina de pescado, hoy en día se reporta escasez de aceite de pescado (Piedecausa *et al.*,2007), por lo que también se buscan fuentes lipídicas alternativas para su uso en los alimentos acuícolas. En algunos estudios llevados a cabo en peces marinos se ha encontrado que el uso combinado de aceite de pescado con subproductos de aceite vegetal, como por ejemplo el aceite de palma, ha dado buenos resultados en crecimiento (Wing –Keon *et al.*,2003; Wing- Keon *et al.*,2004). Por otro lado, en el Pez gato africano (*Clarias garipenus*), pez de agua dulce, se ha reportado que el uso de aceites vegetales como el aceite refinado de palma y el aceite de girasol en las dietas, ha dado lugar a una mayor tasa de crecimiento y utilización de proteína neta comparando con el aceite de hígado de bacalao, siendo también los aceites vegetales una alternativa viable para esta especie (Wing- Keon *et al.*,2003).

2.2 Reemplazo de fuentes proteínicas de pescado por fuentes proteínicas de origen vegetal en alimentos para peces

Se ha reemplazado parcialmente la harina de pescado por harinas de soya como única fuente proteínica vegetal en algunas especies de peces, sin afectar significativamente el crecimiento, como es el caso de *Oreochromis niloticus* x *O. aureus* en aguas marinas (Cabrera *et al.*, 2001), *O. niloticus* en agua dulce (Llanes y Toledo,2011) y la Tenca (*Tinca tinca*), Ciprínido de alto potencial para la acuicultura, pero de difícil cultivo porque presenta alta mortalidad y deformidades. Con el remplazo parcial de la harina de pescado en un 25% en dietas con un 50% de proteína, por la harina de soya, en esta especie se observó una disminución

de las deformidades, con una supervivencia por arriba del 90% (García *et al.*, 2015). Por otro lado, Kaushik *et al.* (1995) probaron el reemplazo de 33% a 100% de la harina de pescado por concentrado de proteína de soya, en Trucha arcoíris (*O. mykiss*), obteniendo buenas tasas de crecimiento, pero cuando se reemplazó el 50% de la harina de pescado por harina de soya, la tasa de crecimiento se vio afectada. Posteriormente, Kaushik *et al.* (2004) hicieron nuevamente un reemplazo casi total de harina de pescado por harina de soya en Lubina Europea *Dicentraurux labrax*. En este estudio se pudo observar que el peso ganado no se vio afectado con el 98% de inclusión de harina de soya, pero si en la eficiencia alimenticia, siendo la más baja, al igual que se obtuvo un valor negativo en la utilización de proteína neta.

En la cachama (*Colossoma macroporum*), se reemplazó con éxito la harina de pescado en un 50% por amaranto, obteniéndose buena tasa de crecimiento y un buen factor de conversión alimenticia, con una supervivencia de 100% (Ortiz *et al.*, 2007; Morillo *et al.*, 2013).

También en la tilapia nilótica (*O. niloticus*) se ha probado el uso de diferentes fuentes vegetales como sustituto de la harina de pescado. Se han usado diversas fuentes vegetales no convencionales como sustituto parcial de la harina de pescado, como el Lupino (*Vigna unguiculata*) Cupea, (Olvera- Novoa, 1997), Falso Girasol, Morera (Contreras- Castro, 2012), hojas de alfalfa (Olvera- Novoa *et al.*, 1990) y pasta de semillas de ajonjolí (*Sesamun indicum*) (Abdel- Hakim *et al.*, 2008), entre otros, obteniendo mejorías en crecimiento con porcentajes cercanos al 15% a 35% de inclusión de harinas vegetales.

Por otro lado, se probó el uso de una halófito, *Salicornia bigelovii*, la cual mostró un efecto antinutricional debido a las saponinas en las semillas sobre los juveniles de *O. niloticus*. Sin embargo, se observó que puede disminuirse este efecto antinutricional con el uso de colesterol mejorando la supervivencia y los parámetros de desempeño en crecimiento (Ríos- Durán *et al.*, 2013). También se

ha probado la substitución parcial de la harina de pescado por extruidos de harina de maíz y subproductos animales (vísceras de atún) obteniendo un buen crecimiento en juveniles de la tilapia (*O. mossambicus*) (Martínez- Palacios *et al.*,2006).

Dentro de los trabajos realizados en el del género *Oreochromis*, el cual funciona como un excelente modelo para experimentar, se han encontrado importantes hallazgos, aunque no siempre positivos. Con ciertos tratamientos se han encontrado efectos positivos, por ejemplo, con el uso de *Canavalia ensiformis* tratada (eliminando los antinutrientes) y sin tratar sobre *O. mossambicus*). Con el uso de la *Canavalia* tratada con calor se pudo observar una mejoría en supervivencia con respecto al uso de la semilla sin tratar. (Martínez- Palacios *et al.*,1988). En un experimento en el que se probó el uso de *Sesbania grandiflora* en alimentos para la misma especie, se observaron comportamientos asociados a intoxicación atribuidos a la Canavanina, como nado errático, comportamiento aletargado y choques dentro del estanque, concluyendo que no era recomendable el uso de esta semilla. En un segundo experimento se observaron mejorías con un tratamiento 30 minutos en autoclave a la semilla (Olvera *et al.*, 1988).

Se ha encontrado en Tilapia rendalli que la deficiencia de aminoácidos como Leucina, Lisina y Metionina restringe el uso de harina de girasol como fuente proteínica alternativa a la harina de pescado, encontrándose que la harina de pescado se puede reemplazar por harina de girasol en un máximo de 20% (Olvera-Novoa *et al.*,2002). En el caso de la Trucha arcoíris (*Oncorhynchus mikyss*), se ha utilizado extracto de girasol y harina de trigo en las dietas sin encontrar efectos nocivos (Tacon *et al.*, 1984).

En peces marinos como el salmón, *Salmo salar*, una especie altamente dependiente de harina de pescado, se obtuvieron buenos resultados al reemplazar parcialmente por harina de soya (33%) y concentrados de proteína vegetal; los autores hicieron énfasis en que el uso de fuentes vegetales como un concetrado

de lupino, harina de trigo, harina de almidón y proteína de chicharo para dar buenos resultados (Carter y Hauler, 2000). Por otro lado, se ha utilizado el Lupino (*Lupinus albus*) o altramuz en el Salmón, aplicándose en diferentes formas: crudo, cocido sin cáscara y cocido con cáscara. Los Lupinos con cáscara cocidos no afectaron negativamente en los parámetros de desempeño de los peces, siendo innecesario descascarar las semillas (Borquez- Ramirez y Alarcón- Bruce, 2002).

Por otro lado, el Robalo (*Eleginops maclovinus*), una de las especies con gran potencial acuícola, que cuenta con un alto valor comercial, se puede cultivar reemplazando en su alimento la harina de pescado en un 40% por harina de lupino, obteniendo un producto de calidad a menor precio (Llancabure, 2011).

En la tabla 1 se presenta una síntesis de algunos trabajos realizados en las últimas décadas, en los que se han utilizado diferentes ingredientes vegetales como fuentes proteínicas en especies de peces con gran valor comercial en el mercado internacional.

Tabla 1. Ingredientes vegetales utilizados como fuentes proteínicas

Fuente vegetal	Porcentaje de sustitución	Parámetro evaluado	Especie	Autor
Harina de soya, Harina de lupino, harina de gluten de maiz	10, 20 y 30%	Tasa de crecimiento	de <i>Spaurus aurata</i> Dorada	Robaina et al., 1995
Harina de soya	53, 45 y 35%	Tasa de crecimiento, peso ganado y longitud.	de <i>Oreochromis niloticus</i> x <i>O.aureus</i> Hibrido de tilapia	Cabrera et al.,2001
Gluten de trigo, Gluten de maiz, Harina de Colza	50, 60, 30, 70 y 90%	Peso final, longitud, índice de crecimiento diario. tasa de eficiencia alimenticia y utilización de proteína neta	<i>Dicentrarchus labrax</i> Lubina europea	Kaushik et al.,2004
Harina de hojas de cacahuete	10, 20 y 30%	Peso final, longitud, supervivencia, índice de crecimiento diario, tasa de eficiencia alimenticia, utilización de proteína neta y digestibilidad	<i>Oreochromis niloticus</i> Tilapia nilotica	Garduño y Olvera - Novoa, 2008
Lemna obscura	15, 25 y 35%	Tasa de crecimiento, ganancia de peso, factor de conversión alimenticia y eficiencia proteica.	de <i>Oreochromis spp</i> Tilapia roja	Peters et al., 2009
Harina de soya	50, 55 y 60%	Tasa de crecimiento, factor de conversión alimenticia, tasa de eficiencia proteica y supervivencia	<i>Oreochromis niloticus</i> Tilapia nilotica	Llanes y Toledo, 2011
Falso girasol y Morera	15 y 15%	Ganancia de peso, conversión alimenticia y factor de eficiencia proteica	<i>Oreochromis niloticus</i> Tilapia nilotica	Contreras- castro et al.,2012

2.3 Fuentes lipídicas de origen vegetal utilizadas en alimentos para peces

Los aceites de pescado son una fuente rica de ácidos grasos omega 3 (DHA y EPA), beneficiosos para la salud humana, que tiene una producción estancada de 1.4 millones de toneladas por año, en contraste con el crecimiento del 8 al 10% de la acuicultura. La acuicultura usa el 56% del aceite de pescado total mundial que cercanamente será del 76% para el 2050 (Wing-Keong et al., 2003; Wing-Keong et al., 2004; Fountolouaki *et al.*, 2009; Drew *et al.*, 2014). Por el contrario los aceites vegetales hoy en día tienen un estatus de alta producción y se les usa internacionalmente para diferentes fines (Wing-Keong *et al.*, 2003; Wing-Keong *et al.*, 2004). Debido a la escasez de aceite de pescado, la acuicultura se ve forzada a buscar alternativas con aceites vegetales (Rosenlund *et al.*, 2001; Torstensen *et al.*, 2004; Pickova y Mørkøre, 2007; Torstensen *et al.*, 2008). Sin embargo, existe una restricción para poder sustituir los aceites vegetales, puesto que estos son ricos en ácidos grasos poliinsaturados C18 (PUFA), pero son deficientes en ácidos grasos altamente insaturados n-3 (HUFA), los cuales se encuentran en altas cantidades en el aceite de pescado. Por lo anterior, el desafío de agregar aceites vegetales es que haya un balance de ácidos grasos entre n-3 HUFA y C18 PUFA (Pickova y Mørkøre, 2007), para obtener un buen resultado en crecimiento y buena calidad en los filetes destinados al consumidor, teniendo en cuenta los hábitos alimenticios de la especie y la capacidad para elongar y desaturar ácidos grasos. En este aspecto, encontramos diferencias entre las especies de peces marinas y dulceacuícolas. Las especies dulceacuícolas tienen la capacidad de elongar y desaturar ácido Linoléico para convertirlo en ácido Araquidónico (ARA) y por otro lado ácido Linolénico para convertirlo en ácido Eicosapentanoico (EPA) y ácido Docosahexaenoico (DHA) (Almaida-Pagán *et al.*, 2007; Almaida-Pagán, 2008). Sin embargo, aunque se ha hecho uso de diferentes fuentes vegetales y en la gran mayoría de casos hay un porcentaje de sustitución de aceite de pescado por aceites vegetales exitoso en crecimiento, hay

una tendencia a la disminución de EPA y DHA en el músculo rojo, el músculo blanco y en el hígado (Pickova y Mørkøre, 2007; Petterson *et al.*, 2009), y lo que permanece es aún insuficiente, por lo que se ha optado por usar dietas de terminación con aceite de pescado para restablecer las cantidades de n-3 HUFA, sin obtener éxito hasta después de los 120 días, en el caso de La dorada *Spaurus aurata* y de los 150 días en la Lubina europea *Dicentrarchus labrax* (Fountolouaki *et al.*, 2009).

Se han usado distintas especies de peces como modelo para experimentar y saber sobre los efectos de aceites vegetales en el crecimiento de peces marinos. El Salmón (*Salmo salar*) es una especie altamente dependiente de los aceites de pescado, debido a que se requiere de 3kg de pescado para producir 1kg de salmón (Llancabure, 2011), lo cual lo hace una especie de cultivo insostenible. Esto ha obligado a experimentar el reemplazo el aceite de pescado y harina de pescado por diferentes fuentes vegetales. Tal es el caso del uso del gluten de trigo, la soya, colza, oliva y linaza, utilizando krill como ingrediente para agregar palatabilidad. Se observó un bajo crecimiento cuando se substituyó un 80% de la proteína y de 40 a 70 % de los lípidos por fuentes vegetales, pero se obtuvo buen resultado cuando se reemplazó un 40% de la proteína y 35 % de lípidos por fuentes vegetales, comparado con el control con harina y aceite de pescado. (Tortstensen *et al.*, 2008). Además de mostrar un resultado positivo en crecimiento con aceites vegetales con el aceite de colza se observó que a medida que aumentaba el remplazo había una mayor retención de ácidos grasos esenciales y se catabolizaban inmediatamente los ácidos grasos no esenciales (Torstensen *et al.*, 2004).

En el Sargo picudo (*Diplodus puntazzo*) que es una especie marina, se experimentó reemplazando aceite de pescado por aceite de soya y linaza en su totalidad; se estudiaron diferentes parámetros en los que se logró obtener buenos resultados con el aceite de soya, pero no con el de linaza. Dentro de los parámetros evaluados se encuentran el crecimiento, perfil de ácidos grasos en

músculo e impacto económico. El mejor crecimiento, y perfil de ácidos grasos se encontró con el aceite de soya y en cuanto a los costos, el aceite de soya fue el más económico, seguido por el de pescado y más caro el de linaza (Piedecausa *et al.*,2007).

La Dorada de cabeza negra (*Acantopogrus schlegeli*) es otra especie marina donde se ha remplazado el aceite de pescado por aceite vegetal en la dieta, en la cual se obtuvo un buen resultado en crecimiento con el 60% de inclusión de aceite de soya. En esta especie se pudo observar que, en relación al aumento del nivel de inclusión de aceite de soya, se observó una reducción de EPA y DHA en el hígado (Peng *et al.*,2008). Resultados similares se han encontrado en el Pez gato africano, *Clarias garipenus*, aunque este tenía una preferencia por los ácidos grasos n-6 sobre los n-3, mostrando mejor crecimiento utilizando aceite de palma y aceite de girasol (Wing- Keong *et al.*, 2003; Wing-Keong *et al.*, 2004).

Por otro lado, especies marinas como la Lubina Europea (*Dicentraurux labrax*) no tienen la capacidad para elongar y desaturar ácidos grasos de 18 carbonos, los cuales podemos encontrar en aceites vegetales. Se encontró una disminución de HUFA n-3 cuando estos peces fueron alimentados con dietas con aceites vegetales, encontrándose una disminución de EPA. Por su parte también se pudo observar que solo se puede sustituir el aceite de pescado por aceite de linaza en un 60% y por aceite de colza en un porcentaje más bajo, debido a que había disminución de crecimiento (Montero *et al.*,2005).

Aunque el uso de algunos aceites vegetales específicos ha mostrado buenos resultados en algunas especies, en otras no tiene el mismo efecto. Se han encontrado resultados negativos con el uso de aceite de palma, pero buenos resultados en crecimiento con aceite de colza y aceite de soya en la Dorada *Spaurus aurata*, aunque se observó una disminución de DHA y EPA en el músculo (Fountouloaki *et al.*, 2009).

En especies dulceacuícolas también se ha estudiado el reemplazo de los aceites de pescado por dos aceites vegetales (Patrona ®). Por ejemplo, en el Pejelagarto, (*Atractosteus tropicus*), se probó un reemplazo de un 10 a 15% de aceite vegetal comercial (Patrona ®). Sin embargo, en este experimento el uso de aceite vegetal no dio buenos resultados (Huerta- Ortiz *et al.*,2009). En el (Ciprínido) Rohu (*Labeo rohita*) se probó el uso de aceite de girasol, reemplazando 20, 40 y 60% de los lípidos. Se observó que la proteína corporal incrementó con el 40%, siendo este el reemplazo adecuado para el cultivo de esta especie (Chakrabarti y Srivastava, 2012). Por otro lado, en *L. rohita* se pudo observar que el crecimiento no se vio afectado con el uso de aceites vegetales, pero sí las proporciones de ácidos grasos n-6 y n-3 en el músculo y el hígado. De acuerdo a este estudio *L. rohita* pudo elongar y desaturar 18:3 n-6 en 20: 4 n-6 y 18:3 n-3 en 22:6 n-3 reduciéndose a 20:5 n-3 (Karanth *et al.*, 2009).

En trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) se ha intentado reemplazar los aceites de pescado no solo por la escasez, sino por los contaminantes que se han encontrado en los mismos. En los salmones de cultivo se han podido observar que los organoclorados (contaminantes cancerígenos para humanos) están presentes en altas cantidades. En *O. mykiss* se pudo observar una disminución considerable de estos organoclorados por el uso de aceites vegetales en la dieta sin afectar el crecimiento (Murray *et al.*,2007). En la misma especie, con el uso de aceite de palma, tampoco se observaron efectos negativos en crecimiento (Fonseca-Madrigal *et al.*,2005).

En la tabla 2 se resumen algunos trabajos en los que se han utilizado diferentes ingredientes vegetales como fuentes lipídicas en especies de peces con gran valor comercial (Tabla 2), y en los que se han evaluado distintos parámetros para conocer el efecto de la sustitución de estos ingredientes sobre los peces.

Tabla 2. Ingredientes vegetales utilizados como fuentes lipídicas

Fuente vegetal	Porcentaje de sustitución	Parametro evaluado	Especie	Autor
Mezcla de aceites vegetales (Linaza, oliva, palma y linaza)	25, 50, 75 y 100%	Tasa de crecimiento, digestibilidad de materia seca y digestibilidad de acidos grasos.	<i>Maccullochella peelii pelii</i> Bacalao del Murray	Francis <i>et al.</i> , 2007
Mezcla de aceite de oliva, palma y colza.	(80% de proteína, 35% y 70% de aceite vegetal) (40% de proteína y 20% de aceite vegetal)	Peso ganado, tasa de crecimiento, factor de condición, digestibilidad de proteína y materia seca	<i>Salmo salar</i> Salmon atlántico	Torstensen <i>et al.</i> , 2008
Mezcla de aceites vegetales (Linaza, oliva, palma y linaza)	33, 66 y 100%	Crecimiento de acidos grasos en musculo y deposición de grasa en tejidos hepaticos.	<i>Spaurus aurata</i> Dorada	Benedictos – Palos <i>et al.</i> , 2008
Aceite de linaza	100%	Crecimiento, digestibilidad y perfil de acidos grasos corporal	<i>Oncorhynchus mykiss</i> Trucha arcoiris	Turchini y Francis, 2009
Aceites vegetales (Linaza, palma y colza)	90% cada tratamiento	Peso gando, tasa de crecimiento, factor de conversión alimenticia, utilización de proteína neta y perfil de acidos grasos corporal.	<i>Spaurus aurata</i> Dorada	Fountouloaki <i>et al.</i> , 2009

2.4 Descripción del Balché *Lonchocarpus longistylus* y su uso potencial en la formulación de alimentos acuícolas

En México se cuenta con especies vegetales de leguminosas que pudieran ser usadas como fuentes alternativas de proteína y lípidos. Tal es el caso de Balché por su nombre Maya. Es una planta bien adaptada a climas tropicales, y crece bien en temperaturas de 26 °C a 37°C y sobrevive a temperaturas bajas de 14.9 °C. También se usa como ingrediente para preparar una bebida embriagante

en algunos rituales mayas desde tiempos prehispánicos hasta nuestros días (Sotelo *et al.*,1995; Avilés-Peraza, 2015). Además de usarse como bebida es usada su madera para la construcción y como planta ornamental en jardines por lo que se comercializa en viveros en el Sureste de México.

Es una planta ampliamente distribuida en la península de Yucatán abarcando los estados de Yucatán, Campeche, Quintana Roo, Veracruz y Puebla, además de Guatemala (Sousa *et al.*,2014). La semilla de balché (Figura 1) podría ser usada como ingrediente potencial para la formulación de alimentos para peces, debido a su disponibilidad, distribución y su alto contenido de proteína. Por otro lado, la disponibilidad de semilla es amplia ya que ésta sólo se usa para germinar plantas de Balché (Figura 2) en los viveros para su comercialización. Además, puede tener un potencial de uso para la acuicultura por no estar en ninguna norma de cuidado (SEDUMA, 2014).

El Balché pertenece al género *Lonchocarpus*, y su clasificación es la siguiente:

Reino: *Plantae*

División: *Magnoliophyta*

Clase: *Magnoliopsida*

Orden: *Fabales*

Familia: *Papilionoaceae*

Género: *Lonchocarpus*

Especie: *Lonchocarpus longistylus* Pittier

Aunque se ha descrito que algunas plantas del género *Lonchocarpus* presentan algunos antinutrientes como la canavanina (aminoácido antagonista de arginina), no todas presentan la misma composición fitoquímica y se han clasificado en secciones de acuerdo a su composición fitoquímica y morfología, por lo que el género representa un desafío aun para los quimiotaxónomos y

botánicos (Alavez *et al.*, 2010). El balché (*Lonchocarpus longistylus*) pertenece a la sección *Punctati* (Sousa *et al.*,2014) y en esta especie no se ha reportado la Canavanina en su composición fitoquímica (Lawson,2006), por lo que se ha catalogado en una sección distinta a las especies donde se reportó la presencia de este antinutriente.

Aunque se han realizado estudios para detectar antinutrientes en el Balché (*Lonchocarpus longistylus*) no se han detectado la presencia de saponinas, ni lectinas en las semillas, las vainas y toda la planta; tampoco se reporta la presencia de Canavanina en la planta completa y bajos niveles de inhibidores de tripsina (Sotelo *et al.*, 1995; Lawson *et al.*,2006).

Se requiere realizar más estudios para evaluar la presencia de otros antinutrientes en las semillas de Balché, para poder determinar que tratamiento debe aplicarse para eliminarlos. De acuerdo a la literatura la semilla de Balché podría tener potencial debido a su disponibilidad y composición proximal previamente reportada (Flores *et al.*,1988; Sotelo *et al.*,1995) es una especie con la que se puede experimentar para conocer su efecto en los peces cuando se utilizó en alimentos acuícolas.



Figura 1. Semilla de *Lonchocarpus longistylus*



Figura 2. Árbol de *Lonchocarpus longistylus*

Se tienen antecedentes de estudios de la composición de plantas, semillas y vainas de *L. longistylus*. Además de evaluar los macronutrientes se han evaluado los micronutrientes, observándose hallazgos importantes como son la riqueza de minerales K, Ca, y Mg, tanto en la semilla como las vainas (Flores *et al.*,1988; Sotelo *et al.*,1995). Dentro de los macronutrientes se encontró que la semilla completa es rica en lípidos (31.34 g/100 g), carbohidratos (32.81 g/100g) y proteínas (24 g/100 g) (Flores *et al.*,1988; Sotelo *et al.*,1995). No hay reportes de la composición nutricional de semillas de balché decorticadas y si el proceso de decortinado afecta la composición nutricional de las mismas. Hasta el momento no se ha reportado el perfil de ácidos grasos de la semilla de Balché (*L. longistylus*).

2.5 Descripción de pata de cabra *Bahunia variegata* y su potencial uso en la formulación de alimentación acuícolas.

El género *Bahunia* cuanta con 600 especies descritas y distribuidas alrededor del mundo. Algunas plantas de este género son usadas como ornamentales en diferentes ciudades (Connor, 2008). Tal es el caso de Pata de cabra (*Bahunia variegata*) (Figura 3) en la ciudad de Morelia, Michoacán, México, la cual además

de ser usada como ornamental se usa como medicinal para tratar diabetes mellitus, dolores y úlceras, entre otras enfermedades (Parekh *et al.*, 2006; Arain *et al.*, 2012). En la búsqueda de ingredientes alternativos con una buena composición proximal, se ha apuntado hacia el uso de especies de este género, las cuales se encuentran ampliamente distribuidas alrededor del mundo. Además estas plantas tienen una excelente germinación, creciendo y floreciendo a los 3-4 años (Pinto *et al.*, 2005; Parekh *et al.*, 2006; Connor, 2008; Arain *et al.*, 2012).

La clasificación taxonómica de la pata de cabra es la siguiente:

Reino: *Plantae*

División: *Magnoliophyta*

Clase: *Magnoliopsida*

Orden: *Fabales*

Familia: *Cesalpiniaceae*

Género: *Bahuinia*

Especie: *Bahuinia variegata* L.

Bahuinia variegata es una de las especies de leguminosas con mayor distribución en el mundo, y en la ciudad de Morelia está disponible en las áreas verdes como ornamental sin dársele un uso, aunque en otros países se usa como forraje (Pinto *et al.*, 2005). Pinto *et al.* (2005) y Arain *et al.* (2012) llevaron a cabo un estudio nutricional en el que analizaron la composición proximal y de ácidos grasos en semillas de *Bahuinia variegata* (Figura 4) y de *Bahuinia linnaei* para su uso en la nutrición animal y humana por su amplia disponibilidad. Hasta el momento no hay reportes de la composición nutricional de semillas de pata de cabra decorticadas.



Figura 3. Árbol de Pata de Cabra *Bahunia variegata*



Figura 4. Semillas de *Bahunia variegata*

2.6 Aplicaciones del uso de semillas de Balché y Pata de cabra en alimentos para peces

Las semillas de Balché y Pata de cabra, al ser abundantes, pueden ser fuentes nutritivas alternativas para su uso en los alimentos acuícolas por su alto contenido de grasas (Vioque *et al.*, 1994), y por tener un porcentaje relativamente alto de proteína (Flores *et al.*, 1988; Sotelo *et al.*, 1995; Arain *et al.*, 2012). Pueden ser usados como fuente proteínica en alimentos para peces, como se han utilizado en ganado (Avilés- Peraza, 2015). Existe una ventaja sobre el uso de Balché debido a que no se encuentra dentro de especies protegidas (Cab, 2011; Avilés- Peraza, 2015).

El balché y la pata de cabra pueden tener un uso potencial como fuentes proteínicas y lipídicas en la formulación de alimentos para peces de agua dulce, con la capacidad de elongar y desaturar ácidos grasos de 18 Carbonos y que no requieran consumir ácidos grasos esenciales (LC HUFA) en la dieta. Una especie de gran importancia con esta capacidad es el pez blanco de Pátzcuaro *Chirostoma estor*, pez endémico de la meseta Purhépecha.

Esta especie se encuentra amenazada debido a que en su hábitat natural se ha llevado a cabo su pesca exhaustiva y poco selectiva capturando peces de todas las tallas, lo que ha contribuido a una reducción de su población en su hábitat natural (Soto-Galera *et al.*, 1998; Martínez- Palacios *et al.*, 2002; Martínez- Palacios *et al.*, 2007). El pez blanco tiene un gran potencial de comercialización por su apreciado sabor, y cualidades nutricionales, por lo que se ha propuesto su cultivo, no solo como una alternativa para salvar la especie sino como actividad comercial.

En dietas para esta especie se ha sustituido parcialmente la harina de pescado por un aislado de proteína de soya, encontrando que se puede substituir

máximo en un 15 % (Ospina- Salazar, 2013). No se han probado otras fuentes vegetales para substituir la harina de pescado en dietas para esta especie. Los avances en el conocimiento de la nutrición del pez blanco pueden favorecer la aplicación de una fuente vegetal alternativa, como por ejemplo, la semilla de Balché la cual cuenta con disponibilidad debido a que esta no se comercializa, siendo una opción económica.

C. estor es una especie que por su capacidad de elongar y desaturar ácidos grasos, puede obtener ácidos grasos de cadena larga como el DHA, a partir de ácidos grasos de 18 carbonos. Es una especie que tiene una alta concentración de ácidos grasos omega- 3, teniendo una alta proporción de DHA (32- 23%) y una menor de EPA (1-3%), mostrando un perfil de ácidos grasos comparable con los de algunos peces marinos, e incluso mejor (Martínez- Palacios *et al.*, 2007; Fonseca *et al.*, 2012; Fonseca *et al.*,2014). Su capacidad para elongar y desaturar ácidos grasos lo convierte en una especie ideal para usar aceites vegetales alternativos que contengan ácidos grasos de 18 carbonos (C:18) (Vioque *et al.*, 1994; Siddhuraju *et al.*, 1997; Ortega *et al.*, 2003), a diferencia de los peces marinos que requieren consumir ácidos grasos ARA, DHA y EPA en la dieta (Fountoioaki *et al.*,2009; Fonseca *et al.*, 2012; Fonseca *et al.*,2014).

Sin embargo esta característica de elongar y desaturar los ácidos grasos de C:18 en omega 3 DHA y EPA no es única del Pez Blanco; existen otras especies en el mundo con potencial de cultivo que tienen esta capacidad, por medio de la misma ruta metabólica que *C. estor*, como son Pez Conejo (*Siganus caniculatus*) y el Lenguado senegalés (*Solea senegalensis*) (Monroig *et al.*, 2012; Morais *et al.*, 2012). En el caso de estas especies también podrían utilizarse fuentes de lípidos vegetales en su dieta.

3. JUSTIFICACIÓN

La identificación de nuevas fuentes proteínicas como alternativas a la harina de pescado son consideradas estrategias de gran relevancia para economizar los costos derivados de la fabricación de los alimentos para peces. Por su parte, la problemática del actual estancamiento en la producción de harina de pescado y la escasez estimada en el futuro de esta harina y del aceite de pescado, ha motivado a realizar estudios para evaluar fuentes alternativas que puedan utilizarse en la elaboración de alimentos acuícolas. En el presente estudio se pretende evaluar el perfil nutricional de las semillas de Balché (*Lonchocarpus longistylus*) y Pata de Cabra (*Bahuinia variegata*) con la finalidad de promoverlos como un ingrediente vegetal alternativo, debido a que el perfil nutricional podría tener potencial para satisfacer los requerimientos de proteína y/ o ácidos grasos de los peces sustituyendo a las harinas de pescado y aceites de pescado en la acuicultura.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Evaluar el perfil nutricional de semillas de Balché (*Lonchocarpus longistylus*) y Pata de Cabra (*Bahuinia variegata*) para su uso potencial como ingredientes en alimentos acuícolas.

4.1.1 Objetivos particulares

- Evaluar la composición proximal de las semillas completas y decorticadas de Balché (*L. longistylus*) y Pata de cabra (*Bahuinia variegata*) y determinar si el proceso de decorticado afecta su valor nutricional.
- Determinar el perfil de ácidos grasos de las semillas de *L. longistylus* y *Bahuinia variegata* y compararlo con el de otros ingredientes vegetales que tienen uso potencial en alimentos acuícolas.
- Generar formulaciones teóricas para el Pez Blanco (*Chirostoma estor*) en las que se incluya como ingredientes las semillas de balché y la pata de cabra.

5. HIPOTESIS

El decorticado en las semillas de Balché *Lonchocarpus longistylus* y Pata de Cabra *Bahuinia variegata* aumenta el valor nutricional de las mismas por la eliminación de la fibra; se encontrarán diferencias significativas en la composición proximal entre las semillas completas y las decortizadas.

6. METODOLOGÍA

Para realizar el estudio, las semillas de Balché (*Lonchocarpus longistylus*) fueron colectadas en Mérida, Yucatán. Las semillas de Pata de Cabra (*Bahuinia variegata*) fueron colectadas en la ciudad de Morelia, Michoacán en las áreas verdes de la ciudad y fueron identificadas taxonómicamente por la M.C. Patricia Silva Sáenz, del Herbario de la Facultad de Biología, de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Posteriormente las muestras de las dos semillas se trataron con dos diferentes procedimientos. Una parte de las semillas de cada especie se separó para molerlas completas y la otra parte se tomó para hacer un decortinado manual (eliminación de la cáscara), después del cual se hizo la molienda. Esto con la finalidad de conocer si el proceso de decortinado modificaba el valor nutricional.

6.1 Análisis de composición proximal

Las muestras de las semillas de balché y pata de cabra se analizaron por triplicado. Se realizaron análisis de la composición proximal de Weende: humedad, cenizas, proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda y extracto libre de nitrógeno (AOAC, 2000).

6.1.1 Humedad

El contenido de humedad se determinó por medio de la deshidratación de las muestras en una estufa de secado a 105 °C por un tiempo de 12 horas. El cálculo del contenido de humedad se realizó por método gravimétrico, teniendo en cuenta la diferencia entre el peso inicial (muestra húmeda antes de introducirla al horno) y final (después de las 12 h de deshidratación) (Olvera *et al.*, 1993, AOAC, 2000). Se utilizaron los siguientes cálculos:

Contenido de humedad (%) = $[(A-B) / A] * 100$

Dónde: A= Peso de la muestra húmeda (g)

B= Peso de la muestra seca (g)

6.1.2. Ceniza

Se realizó la determinación de cenizas por medio de la incineración total de la muestra en una mufla a 550 °C por 4 horas. El cálculo del contenido de ceniza se realizó por el método gravimétrico (Olvera *et al.*, 1993; AOAC, 2000). Se utilizaron los siguientes cálculos:

Cálculos:

Contenido de ceniza (%) = $100 - [(B-A) / C] * 100$

Donde:

A= Peso del crisol con muestras (g)

B= Peso del crisol con ceniza (g)

C= Peso de la muestra (g)

6.1.3. Proteína cruda

La proteína cruda se determinó utilizando un analizador elemental de CHNS/O (Thermo Scientific™ Flash 2000) por el método modificado de Dumas (conductividad de gases) (Ebling, 1968) multiplicando el resultado por el factor de conversión 6.25 para determinar la concentración de proteína (16% N) (AOAC, 2000).

6.1.4. Extracto etéreo

El contenido de lípidos totales de la muestra se determinó por el método Soxhlet, usando el equipo (SOXHTEC AVANTI TECATOR 2050) utilizando como solvente éter de petróleo para la extracción de grasa y se determinó por el porcentaje del

peso, después de que se evaporó el solvente del crisol (Olvera *et al.*, 1993; AOAC,2000).

Cálculos:

Contenido de extracto etéreo (%)=[(B-A)]*100

Dónde: A=peso del crisol limpio y seco (g)

B=peso de crisol con grasa (g)

6.1.5. Fibra cruda

El contenido de fibra cruda se estimó utilizando una muestra seca y desgrasada. La fibra se determinó mediante el sistema Fibercap (FOSS TECATOR) mediante digestión ácida, en la que se utilizó ácido sulfúrico (H₂SO₄, 0.255N) y digestión alcalina, para la que se utilizó hidróxido de sodio (NaOH, 0.313N). Posteriormente se pesó el residuo insoluble y se incineró la muestra en la mufla a 550°C por 3 horas. Por último, se enfrió en un desecador y se pesó (Olvera *et al.*, 1993; AOAC,2000).

A= Peso del crisol con el residuo seco (g)

B=Peso del crisol con ceniza

C=Peso de la muestra

Contenido de fibra cruda (%)= 100((A-B) /C)

6.1.6. Extracto libre de Nitrógeno

El extracto libre de nitrógeno se define como los nutrientes no evaluados por los métodos anteriores, los cuales están constituidos principalmente por carbohidratos digeribles. La determinación se realizó mediante la resta a 100 del resultado de la sumatoria de todos los porcentajes nutrientes evaluados anteriormente (Olvera *et al.*, 1993; AOAC, 2000).

Cálculo

Extracto Libre de Nitrógeno (%)= $100-(A+B+C+D)$

Donde:

A=Contenido de proteína cruda (%)

B=Contenido de lípidos crudos (%)

C=Contenido de fibra cruda (%)

D=Contenido de ceniza (%)

6.2. Análisis del perfil de ácidos grasos

La determinación del perfil de ácidos grasos se realizó mediante cromatografía de gases. Las muestras debieron ser colocadas en un congelador a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ para proceder posteriormente a la preparación para el análisis en el cromatógrafo de gases. Para la preparación de la muestra se utilizó la técnica establecida de (Christie, 2003) para realizar la extracción de grasa y se aplicó en las muestras de semilla completa y decorticada que habían sido previamente molidas. Se realizó por triplicado.

6.2.1. Preparación de las muestras

Metodología para preparación de muestras: Una vez que se tenía la muestra se tomaron 0.50 g de muestra (semilla completa y decorticada) molida previamente, se procedió a colocar en tubos de ensaye con un tapón de rosca de 13 mm de ancho, se les adicionó 6 ml de solución Folch (Cloroformo: Metanol, 2:1 v/v) y se les adicionó 10 μl de antioxidante Butilhidroxitolueno (BHT) (5mg de BHT/10 ml de cloroformo) Christie (2003). Por último, las muestras se depositaron en un sonicador (Fischer Scientific F5140H) para sonicarse en un baño de hielo

por un tiempo de 20 minutos. Posteriormente de haber concluido el proceso se almacenaron a una temperatura de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 horas.

Homogenizado de muestras: Después de haber transcurrido las 24 horas, las muestras se sonicarón por 15 minutos en un baño de hielo y se homogenizaron en un vortex (Genie Scientific Industries) por 10 segundos. De las muestras homogenizadas se tomaron 3ml para derivatizar y 3ml sobrantes se guardaron como respaldo (se almacenaron los respaldos a -20°C para una evaluación en caso de ser necesaria).

6.2.2. Derivatización directa de lípidos totales

Las muestras homogenizadas fueron derivatizadas (modificación química que facilita el análisis de los ácidos grasos) (Morrison y Boyd, 1990). La muestra se insufló con un gas inerte (nitrógeno gaseoso) hasta la evaporación. Después se adicionó una alícuota de 2.5 ml de una disolución de (Metanol: Ácido clorhídrico, 95:5 v/v) y se depositaron en un termo baño en un Termobloc (Fischer Scientific) a una temperatura de $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ por un tiempo de 2.5 horas. Posteriormente las muestras se atemperaron y se les adicionó 1 ml de hexano, se homogeneizaron en vortex por 10 segundos y se centrifugó en un equipo (Eppendorf, Centrifuge 5804 R) programado a 2000 rpm a una temperatura de 5°C por 5 minutos. Una vez separada la fase metanólica (fase inferior) de la fase hexano-lipídica (fase superior) se llevaron a cabo dos lavados, adicionando 2 ml de agua destilada, homogeneizándose en un vortex por 10 segundos y se volvieron a centrifugar a 2000 rpm a temperatura de $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 5 minutos. Las muestras fueron almacenadas por un tiempo de 24 horas a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta que se congeló la fase acuosa.

Por último, una vez congelada la fase acuosa (fase inferior) se realizó la separación de la fase hexano-lipídica (fase superior) en un vial ámbar de 1.5 ml (MS. Analyzed Vial Kits, Agilent Technologies) y se tomaron 60 μl de muestra que

se depositaron en un segundo vial ámbar con un inserto de pie de polímero (Tocher y Harvie, 1988) para inyectarse en el cromatógrafo de gases.

6.2.3 Condiciones cromatográficas

Los ácidos grasos se analizaron con las condiciones cromatográficas siguientes: un Cromatógrafo de gases (CG) (Agilent Technologies, 6850 network GS system) acoplado a un inyector (Agilent Technologies, serie 7083) con una columna para ácidos grasos (Durabond, DB- 23). Se programó el CG con una velocidad de rampa (30 °C/minuto) partiendo de 110 °C a 250 °C por 56.42 minutos (Agilent. Technologies, 2004).

6.2.4 Identificación y cuantificación del perfil de ácidos grasos

La identificación del perfil de ácidos grasos se realizó utilizando como referencia los tiempos de retención del cromatograma de ácidos grasos estándar (Marinol ®). El cálculo del porcentaje de los ácidos grasos se determinó con la formula siguiente:

$$\text{Ácidos grasos (\%)} = A/B*100$$

Donde:

A= Área total del ácido graso obtenido de la muestra.

B= Sumatorias de todas las áreas de los ácidos grasos.

La cantidad de cada ácido graso obtenido se expresa en porcentaje relativo al 100% de la muestra.

Se realizó una revisión y comparación del perfil de ácidos grasos de las semillas Balché y Pata de cabra, con el de semillas o aceites especies comerciales

obtenidas en los mercados locales de la ciudad de Morelia, como la Chía (*Salvia hispánica*), Canola (*Brassica napus*) var Oleífera, Moringa (*Moringa oleífera*) y linaza (*Linum usitattisium*), las cuales ya se usan como fuentes lipídicas alternativas. Para tal fin, aunque ya se ha reportado el perfil de ácidos grasos para estas especies, se analizó el perfil de ácidos grasos de estas semillas o aceites comerciales mediante cromatografía de gases, de la misma manera que se realizó para las semillas de Balché y Pata de Cabra.

6.3 Análisis estadístico

Los resultados obtenidos de composición proximal de las semillas completas y decorticadas de ambas especies de leguminosas se compararon por medio de una prueba T Student (Prism 7, Graphpad ©), con un nivel de significancia $\alpha=0.05$. Los resultados son expresados como la media \pm error estándar, considerando tres grupos y/o repeticiones.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Análisis de la composición proximal

En las tablas 3 y 4 se presentan los datos de la composición proximal (presentados en porcentajes promedio \pm error estándar) de las semillas completas y decortizadas de Balché (*Lonchocarpus longistylus*) y Pata de Cabra (*Bahuinia variegata*) respectivamente.

Análisis de composición proximal con semillas decortizadas se han realizado anteriormente en semillas de haba (*Vicia faba*) para realizar una formulación de alimentos para Salmones, encontrando diferencias significativas ($P < 0.05$) en fibra cruda y aumentando su valor nutricional al ser decortizadas (Daroch, 2002). Por otro lado se ha dado a conocer que en la Cobia (*Rachyctetrum canadum*) y la Perca amarilla (*Perca flavescens*) alimentadas con semillas decortizadas de soya se ha logrado una sustitución de la harina de pescado mayor. Al ser decortizadas las semillas presentaron una disminución de fibra, lo que permitió una mayor absorción de los nutrientes y dio lugar una mejor tasa de crecimiento y peso ganado en los animales en cultivo (Llanes y Toledo, 2011). De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente estudio, se observaron cambios con diferencias significativas con el decortizado en cenizas y lípidos, los cuales aumentaron el valor nutricional tanto en las semillas de Balché (*Lonchocarpus longistylus*) como en las semillas de Pata de cabra (*Bahuinia variegata*), resultados que se describen con más detalle en las siguientes secciones de la composición proximal.

Tabla 3. Composición proximal de las semillas de Balché (*Lonchocarpus longistylus*)

Parámetro	Semilla completa	Semilla decortificada
Humedad (%)	6.52±0.14 ^a	4.96±0.03 ^b
Cenizas (%)	3.78±0.05 ^b	3.97±0.03 ^a
Proteína (%)	24.92±0.56	25.38±0.19
Lípidos (%)	32.88±0.22 ^b	34.32±0.18 ^a
Fibra Cruda (%)	14.26±0.30 ^a	9.53±0.30 ^b
ELN (%)	24.16	26.8

Semilla completa= Semillas molidas con cáscara, Semilla decortificada= Semillas molidas sin cáscara. Con excepción de la humedad, los datos están expresados en porcentaje de peso seco ± error estándar (n=3). Las medias dentro de las filas, con diferentes letras son significativamente diferentes (P<0.05).

Tabla 4. Composición proximal de las semillas de Pata de cabra (*Bahuinia variegata*)

Parámetro	Semilla completa	Semilla decortificada
Humedad (%)	2.29±0.13 ^b	3.52±0.33 ^a
Cenizas (%)	4.11±0.04 ^b	4.27±0.04 ^a
Proteína (%)	31.32±0.35	29.02±0.94
Lípidos (%)	10.80±0.09 ^b	14.27±0.36 ^a
Fibra Cruda (%)	13.81±0.99	12.27±0.05
ELN (%)	36.67	36.97

Semilla completa= Semillas molidas con cáscara, Semilla decortificada= Semillas molidas sin cáscara. Con excepción de la humedad, los datos están expresados en porcentaje de peso seco ± error estándar (n=3). Las medias dentro de las filas, con diferentes letras son significativamente diferentes (P<0.05).

7.1.1. Humedad

Se presentó diferencia significativa en la humedad ($P < 0.05$) entre las semillas completas y decorticadas de balché, observándose un mayor porcentaje de humedad en las semillas completas comparadas con las decorticadas (Tabla 3). En relación a las semillas de pata de cabra se observó también una diferencia significativa ($P < 0.05$) en la humedad, pero en contraste con las semillas de Balché las semillas completas tuvieron un menor porcentaje de humedad comparadas con las decorticadas (Tabla 4).

Los resultados obtenidos en cuanto al porcentaje de humedad en las semillas de Balché completas concuerdan con los obtenidos por Flores *et al.* (1988). En este estudio el decortinado incrementó el porcentaje de materia seca en las semillas de balché, mientras que en las de Pata de cabra este se redujo.

7.1.2. Cenizas

Se presentó diferencia significativa ($P < 0.05$) entre el contenido de cenizas de las semillas completas y las decorticadas de balché y de la pata de cabra, siendo significativamente mayor en las semillas decorticadas que en las semillas completas de ambas especies (Tablas 3 y 4) lo que demuestra que de acuerdo a la proporción se encontrarán mayor cantidad de materia inorgánica que contiene minerales.

Comparando con semillas completas de otras especies vegetales, la cantidad de cenizas en ambas leguminosas es baja. En algunos estudios se ha observado una gran cantidad de minerales en semillas de *Sesbania bispinosa* (31.9%) e *Indigofera linifolia* (27.6%) (Siddhuraju *et al.*, 1995). Flores *et al.* (1988) y Sotelo *et al.* (1995) reportaron valores similares para la semilla completa de *L. longistylus* a los encontrados en este estudio, con valores entre 3.78% y 3.65%. En este estudio

se obtuvieron resultados muy similares a los encontrados en la semilla completa de *Lochocarpus capassa* (4.18%) (Aganga y Mosase *et al.*, 2001).

Por otro lado, las cenizas encontradas en las semillas completas de Pata de Cabra concuerdan con los valores reportados Arain *et al.* (2012) para semillas completas de la misma especie.

Los contenidos de cenizas de las semillas de balché y la pata de cabra permiten su inclusión en las dietas para peces, sin causar daños en los peces por exceso de minerales, que puedan ocasionar desequilibrio de minerales, tal como lo indican Daroch *et al.* (2002). Las harinas de pescado tienen un alto contenido de cenizas por la cantidad de minerales que contienen como calcio y fósforo.

7.1.3. Proteína

La cantidad de proteína obtenida en semillas completas de Balché es similar a la reportada por Sotelo *et al.* (1995) para semillas completas de la misma especie, con un 24.50%. En contraste, Flores *et al.* (1988) para la misma especie reporta una cantidad de proteína mayor (28.85%) para las semillas completas. En el presente estudio, aunque en las semillas Balché la proporción de proteína aumentó debido a la eliminación de cáscara, este aumento no fue significativo ($P \geq 0.05$) (Tabla 3). En contraste, en un trabajo realizado con semillas de lupino se encontró diferencia significativa en el contenido de proteína de semillas completas y decorticadas, debido a que solo quedaban los cotiledones, en los cuales se concentra una gran cantidad de proteína (Ortega-David *et al.*, 2010).

En el caso de la Pata de Cabra el contenido de proteína de semillas completas fue más bajo que el reportado por Arain *et al.* (2012) para semillas completas de la misma especie; los autores reportaron un contenido de proteína de casi un 10% más que el obtenido en el presente estudio. Por otro lado, en el presente estudio tampoco se encontró diferencia significativa en el contenido de proteína ($P \geq 0.05$) al ser decorticadas las semillas. Aunque se observó que la cantidad de proteína

tendía a disminuir con el decortinado, esta disminución no fue significativa (Tabla 4). Probablemente la cáscara de las semillas de la Pata de Cabra tenga un pequeño porcentaje de proteína, por lo que al decorticar se observó una tendencia a la disminución en el porcentaje de la proteína.

7.1.4. Extracto etéreo

La cantidad de extracto etéreo (lípidos) en las semillas decortinadas de Balché difirió significativamente ($P < 0.05$) del contenido de las semillas completas (Tabla 1). Por otro lado, las semillas de Pata de Cabra resultaron tener un porcentaje más bajo de extracto etéreo que las semillas de Balché (Tablas 3 y 4).

El contenido de lípidos en la semilla de Balché se incrementó significativamente ($P < 0.05$) con el proceso de decortinado, como lo encontrado en semillas de Lupino (Ortega- David *et al.*, 2010), debido a la eliminación de la cáscara, ya que esta contiene una cantidad mínima de lípidos. En contraste, Daroch (2002) no encontró una diferencia significativa en los lípidos de *Vicia faba* después de decorticarla. La información que se ha generado en el presente trabajo nos deja el conocimiento sobre estas semillas alternativas con gran potencial nutricional. Las cuales se pueden usar como ingredientes en la elaboración de alimentos acuícolas (Daroch *et al.*, 2002; Ortega-David *et al.*, 2010).

7.1.5. Fibra cruda

En el análisis de fibra cruda del Balché *Lonchocarpus longistylus* se pudo observar que hubo diferencias significativas ($P < 0.05$) entre la semilla completa y decortinada, siendo mayor el contenido de fibra en la semilla completa (Tabla 3). Esto concuerda con la disminución de fibra obtenida al decorticar la semilla de haba (*Vicia faba*) (Daroch, 2002). Las semillas de leguminosas cuentan con gran cantidad de fibra en la cáscara, la cual está formada por celulosa, hemicelulosa y

lignina (Viajakamuri *et al.*,1997). En este trabajo se encontraron valores mayores a los encontrados por Sotelo *et al.* (1995) en semillas completas (8.75%).

En el caso de Pata de Cabra no se observó diferencia significativa ($P \geq 0.05$) en la cantidad de fibra entre la semilla completa y la decorticada (Tabla 4). Los porcentajes encontrados en este trabajo fueron superiores a los reportados por Arain *et al.* (2012) quien encontró $6.9 \pm 0.08\%$ de fibra cruda en semillas completas. Este resultado en la semilla de Pata de Cabra muy probablemente es debido al porcentaje de cáscara encontrada de apenas un 19%, el cual pudo no ser suficiente para representar un cambio significativo, en contraste con la semilla de Balché que tiene un 31% de cáscara, la cual posee una gran cantidad de fibra cruda, como se ha reportado en especies como *Vicia faba* (Daroch, 2002) en donde se observó una diferencia significativa ($P < 0.05$) en semillas decorticadas, aumentando con el decorticado el valor nutricional y la energía metabolizable.

7.2 Análisis de ácidos grasos

En la Figura 5 se presenta uno de los cromatogramas obtenidos en el análisis de ácidos grasos de la semilla de Balché completa. Se observó que las semillas de esta especie contenían los siguientes ácidos grasos: ácido hexadecaenóico 16:0 (Palmítico), ácido Octadecaenóico 18:0 (esteárico), ácido octadecenóico 18:1 n-9 (oléico), ácido octadecadienóico 18:2 n-6 (linoléico), ácido octadecatrienóico 18:3 n-3 (linolénico) y ácido eicosanóico 20:0 (araquídico).

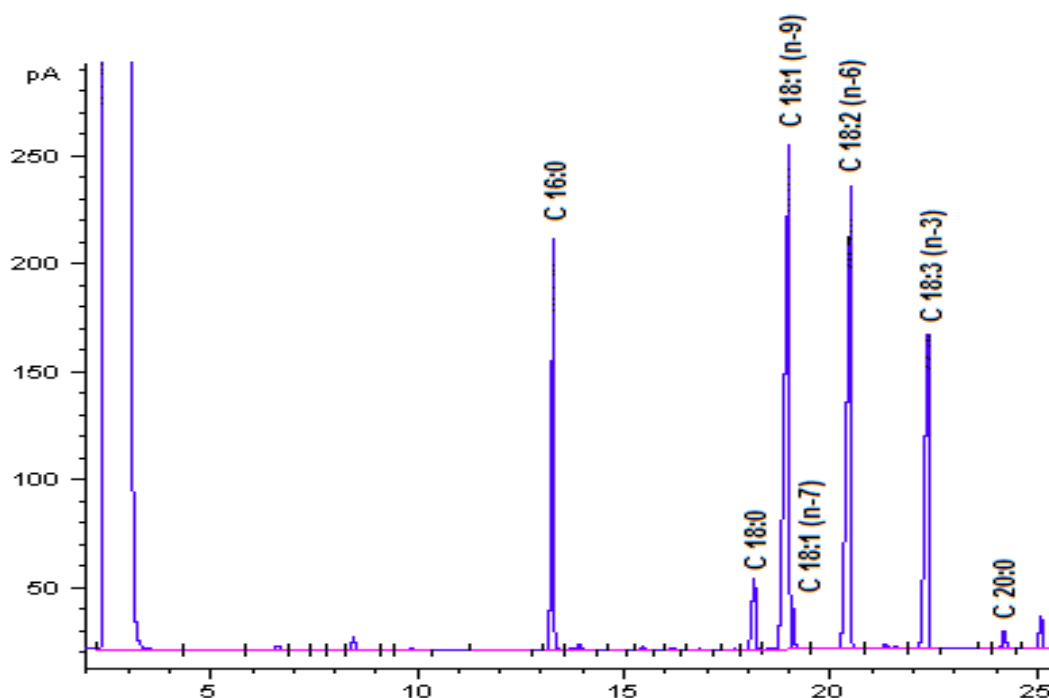


Figura 5. Cromatograma de ácidos grasos de Balché *Lonchocarpus longistylus*.

En el cromatograma de la Figura 6 se pueden observar los picos identificados para la semilla de Pata de Cabra completa *Bahunia variegata*. Las semillas de esta especie contenían los ácidos grasos: hexadecaenóico 16:0 (Palmítico), Octadecaenóico 18:0 (esteárico), octadecenóico 18:1 n-9 (oléico), octadecadienóico 18:2 n-6 (linoléico), octadecatrienóico 18:3 n-3 (linolénico) y por ultimo eicosanóico 20:0 (araquídico).

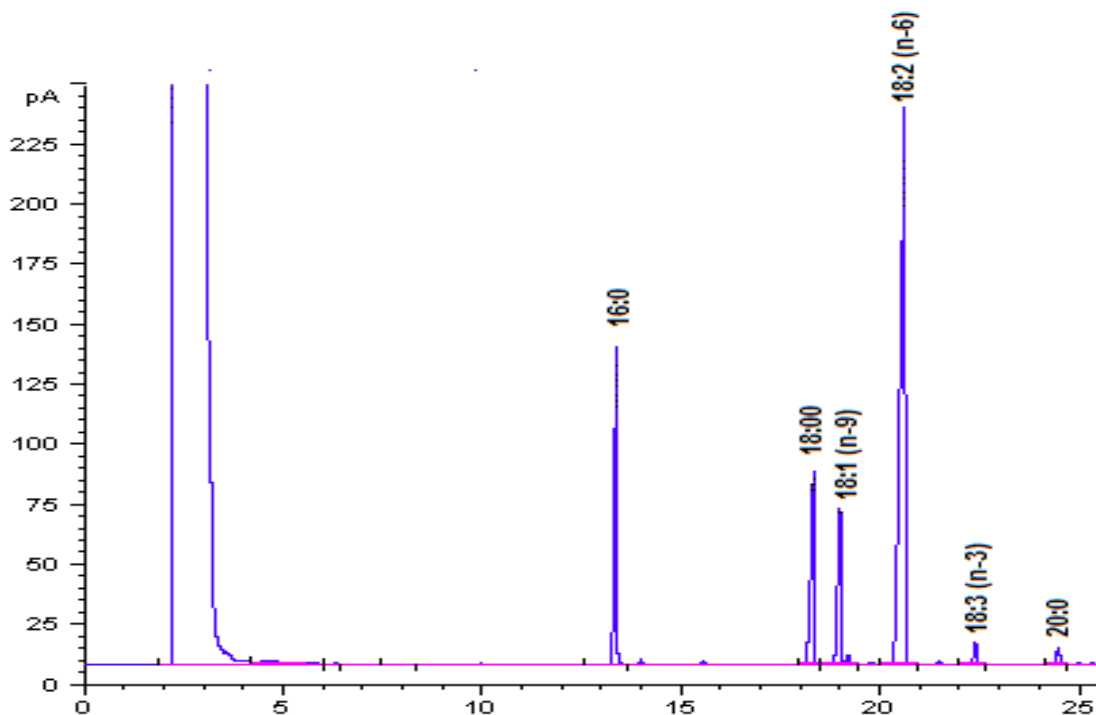


Figura 6. Cromatograma de ácidos grasos de *Bahuinia variegata*.

En el caso del Balché, dentro de los ácidos grasos saturados se obtuvo un gran porcentaje de ácido palmítico (16:0) con un 12.63%. El mayor porcentaje de ácidos grasos correspondió a los monoinsaturados, siendo el ácido oléico (18:1 n-9), el de mayor proporción con un 40%. En el caso de los poliinsaturados (PUFA), el linolénico (18:3 n-3) se encontró en un porcentaje menor que el Linoléico 18:2 n-6 (Tabla 5).

En el caso de la Pata de Cabra, los ácidos grasos que encontramos en mayor porcentaje son el ácido palmítico (16:0) dentro de los ácidos grasos saturados, el ácido Oléico (18:1 n-9) dentro de los monoinsaturados, y el ácido Linoléico (18:2 n-6), dentro de los poliinsaturados, el cual fue ácido graso encontrado en mayor proporción (57.56%). El ácido Linolénico (18:3 n-3) se encontró en baja cantidad (1.4%) (Tabla 5).

En la tabla 5, además de los perfiles de ácidos grasos encontrados en las semillas de blaché y pata de cabra, también se muestran los perfiles de ácidos grasos de las demás fuentes lipídicas vegetales analizadas, como son la semilla de Linaza, semilla de Chía, Aceite de Chía, aceite de canola y semilla de moringa. Las semillas de linaza y chía, así como el aceite de chía, dentro de los ácidos grasos insaturados, presentan altos porcentajes de ácido Linolénico (18:3 n-3), seguido del ácido Linoléico (18:2 n-6). En la semilla de linaza el ácido graso saturado con mayor porcentaje resulto ser el ácido esteárico (18:0). En el aceite de Canola se encontró un elevado porcentaje de ácido oléico, seguido en menor proporción por el ácido Linoléico (18:2 n-6) y el Linolénico. Por último, en la Moringa la concentración de PUFAs totales fue muy baja, de apenas 0.7%, mientras que se encontró un elevado porcentaje de ácido oléico (18:1 n-9) dentro de los ácidos grasos monoinsaturados, con un 84.72% del total de los acidos grasos.

Tabla 5. Composición del perfil de ácidos grasos de cinco semillas y dos aceites comerciales.

Ácido graso	Balché	Pata de cabra	Chía	Ac de Canola	Ac Chía	Moringa	Linaza
14:00	ND	ND	0.07	0.06	0.11	ND	ND
15:00	ND	ND	ND	ND	0.17	ND	ND
16:00	12.63	17.14	8.8	4.5	8.79	6.52	6.35
18:00	2.38	12.17	2.65	0.89	1.96	6.51	27.24
20:00	0.86	0.34	0.22	0.31	0.12	ND	ND
Total saturados	15.88	29.65	11.74	5.75	11.15	13.04	33.6
16:1n-7	0.14	0.28	0.08	0.20	0.17	1.48	ND
18:1n-9	40.84	10.54	5.76	59.74	4.88	84.72	0.98
18:1n-7	0.95	0.54	0.62	2.47	0.61	0.06	ND
Total monoinsaturados	41.93	11.36	6.45	62.42	5.67	86.26	0.98
16:2n-6	ND	ND	ND	0.07	0.15	ND	ND
18:2n-6	24.93	57.59	19.16	18.48	17.9	0.51	16.07
18:3n-6	ND	ND	0.2	0.28	0.23	ND	ND
Total n-6 PUFA	24.93	57.59	19.36	18.82	18.28	0.51	16.07
16:3 n-3	ND	ND	ND	0.07	ND	0.2	ND
16:4 n-3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2.81
18:3n-3	16.36	1.4	61.23	13	65.06	ND	46.54
18:4n-3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Total n-3 PUFA	16.36	1.4	61.23	13.08	65.06	0.2	49.35
Total PUFA	41.29	58.99	80.59	31.83	83.19	0.7	65.42

Balché= Semilla de Balché (*Lonchocarpus longistylus*), Pata de Cabra=Semilla de Pata de Cabra (*Bahunia variegata*), Chía= Semilla de Chía *Salvia hispanica* Ac. Canola= Aceite de Canola *Brassica napus* var *Oleifera* Ac chía=Aceite de Chía (*Salvia hispanica*), Moringa= Semilla de moringa (*Moringa oleífera*), Linaza=Semilla de Linaza (*Linum usitatissium*). Las concentraciones de ácidos grasos son expresadas en porcentaje.

Los resultados obtenidos de aceite de Canola (*Brassica napus* var *Oleifera*) concuerdan con los datos reportados para *Brassica napus*, variedad modificada para su uso comercial, debido a que el ácido graso en mayor proporción encontrado es el ácido oléico (18:1 n-9) (59.74%). Se observó que las semillas de balché (*Lonchocarpus longistylus*), contenían, al igual que el aceite de canola, un elevado porcentaje de ácido oléico (40.84%) , pero en la cantidad PUFAs el Balché supera al aceite de canola en la cantidad de ácidos Linoléico (18:2 n-6) y

linolénico (18:3 n-3). Esto hace que el Balché sea un ingrediente potencial, el cual podría aportar ácido linolénico (18:3 n-3) en dietas para el pez blanco de Pátzcuaro.

En contraste con lo encontrado en el Balché y el aceite de canola, la Pata de Cabra (*Bahuinia variegata*) apenas tiene un 10.54% de ácido oléico (18:1 n-9). Sin embargo, la Pata de Cabra tiene una mayor cantidad de ácido Linoléico (18:2 n-6) (57.59%) que el Balché y el aceite de canola, pero tiene muy poco ácido Linolénico (18:3 n-3). Por lo anterior, la semilla de pata de cabra (*B.variegata*), aunque puede ser un ingrediente utilizado como fuente de proteína en alimentos acuícolas, no es una buena fuente de ácidos grasos. Podría incluirse entonces como fuente de proteína en dietas para peces y para suplir los requerimientos de ácidos grasos, se deberían usar otras fuentes lipídicas.

En las semillas de Moringa (*Moringa oleífera*), también se encontraron cantidades altas de ácido oléico (84.72%), mayores que las encontradas en el Balché. Sin embargo, la moringa presenta muy bajas cantidades de PUFAs (0.7%) lo que hace que no sea una buena fuente lipídica en dietas para peces. En contraste, el Balché (*Lonchocarpus longistylus*) contiene un porcentaje total de PUFAs de 41.29%. Por otro lado, también la Pata de Cabra (*Bahuinia variegata*) tiene un porcentaje total de PUFAs (58.99%) que supera por mucho al de las semillas de moringa. Sin embargo, al hablar de la cantidad de PUFAs n-3, el Balché presenta mayor proporción (16.36%) comparado con la pata de cabra (1.4%) y la semilla de moringa (0.2%). Además, se encontró que la semilla de moringa no contiene ácido linolénico (18:3 n-3). Estos resultados sugieren que la semilla de Balché tiene mayor potencial que la pata de cabra y la Moringa para ser usada como ingrediente lipídico en los alimentos acuícolas, mientras que las dos últimas no son buenas fuentes de ácidos grasos para los peces.

En la Chía (*Salvia hispánica*) se encontraron valores altos de ácido Linolénico (61.23% en la semilla y 65.03% en el aceite) y valores menores de ácido Linoléico

(19.16% en semilla y 17.9% en aceite) (Tabla 5), resultado que concuerda con los reportes de Gutiérrez *et al.* (2014). Los valores de ácido Linolénico (18:3 n-3), encontrados en la Chía (*Salvia hispánica*) superan a los encontrados en la semilla de Balché (*Lonchocarpus longistylus*). Por otro lado, la pata de cabra (*Bahuinia variegata*) comparada con la Chía también es superada en cuanto el porcentaje de ácido Linolénico (18:3 n-3), pero no en el porcentaje de ácido Linoléico (18:2 n-6).

El Balché (*L. longistylus*) tiene un perfil de ácidos grasos comparable con el perfil del resto de las semillas evaluadas, las cuales ya están establecidas en la industria alimentaria (Kumar *et al.*, 2015). Aunque las semillas de Linaza (*Linum usitatissimum*) superan al balché en el contenido de PUFAs, el Balché presenta un perfil de PUFAs aceptable y con porcentajes cercanos a la semilla de linaza. La semilla de Pata de Cabra contenía un bajo porcentaje de oléico (18:1 n-9) de apenas un 10.57%, siendo el ácido Linoléico (18:2 n-6) el ácido graso con mayor proporción que supera al encontrado en Linaza. Estos resultados concuerdan con los reportados por Pinto *et al.* (2006) y Arain *et al.* (2012) para *B. variegata* y por Ramadan *et al.* (2006) para *B. Purpurea*.

Debido al perfil de ácidos grasos de la semilla de Balché, éste puede ser considerado como una alternativa para ser utilizado en los alimentos de pez blanco (*C. estor*), puesto que, como se mencionó anteriormente, este pez presenta la capacidad de elongar y desaturar ácido linolénico (18:3 n-3) para transformarlo en DHA (22:6 n-3) y EPA (20:5 n-3) (Fonseca *et al.*, 2014). Además cabe destacar que la semilla de Balché no tiene un uso, por lo que podría usarse como ingrediente en dietas para peces, como el pez blanco, y por otro lado, su aceite podría ser extraído de las semillas, para utilizarse como aceite vegetal y establecer un precio de acuerdo al tratamiento de recolección y extracción. Por otro lado, la semilla de pata de cabra, puede también ser considerada una alternativa para ser usada en los alimentos balanceados para pez blanco (*C. estor*), debido a su contenido proteínico, pero no sería una buena fuente lipídica para esta especie. El uso de esta semilla podría reducir los costos de producción

de los alimentos debido a su rápido crecimiento, fácil obtención y amplia distribución.

7.3 Formulación de alimentos para Pez Blanco *Chirostoma estor*

Después de observar el potencial nutricional de las semillas de balché y pata de cabra, se proponen a continuación dos formulaciones de alimentos para pez blanco de Pátzcuaro (Tablas 6 y 7).

Tabla 6. Formulación de una dieta para Pez Blanco, al 41 % de proteína y 6.5% de lípidos, utilizando semillas completas y decorticadas de Balché (*L. longistylus*) (Los datos se expresan en g Kg⁻¹)

FORMULA DE 1 Kg DE ALIMENTO		
INGREDIENTE (g Kg ⁻¹)	Balché completo	Balché decorticado
Harina de Pescado	378.46	378.46
Harina de Balché	87.98	84.99
Albúmina	82.21	82.21
Suero de leche	140.57	140.57
Proteína de soya	66.68	66.68
Mez. Vitaminas	15	15
Mez. Minerales	15	15
Almidon crudo	170.9	173.9
Lecitina	19.3	19.3
Goma arábica	18	18
Alginato de Sodio	2	2
BHT	0.5	0.5
Vitamina C	3.4	3.4
Total (g)	1000	1000

Balché Completo= Dieta con la semilla completa, Balché decorticado= Dieta con semilla decorticada.

En la formulación teórica mostrada en la Tabla 6, se sustituyó la proteína de la harina de pescado en un 5% por proteína de semilla de balché completa y decorticada. La sustitución se realizó al 5% debido a que el Balché aporta de un 2.67% a un 2.70% de lípidos en toda la dieta. La harina de pescado se utilizó como el 60% de fuente proteica y tiene un aporte de lípidos de un 3.78%. En las formulaciones con Balché no se requeriría agregar el aceite Canola, que actualmente se usa en la formulación de dietas para pez blanco, puesto que la semilla de Balché tiene un mayor porcentaje de ácido Linolénico (18:3 n-3) que el aceite de Canola. De acuerdo a los resultados obtenidos de composición proximal, para la elaboración del alimento sería recomendable usar la semilla decorticada debido a la eliminación de la fibra, además de que se aumenta el valor nutricional por el incremento del porcentaje de lípidos y cenizas.

Tabla 7. Formulación de una dieta para Pez Blanco, al 41 % de proteína y 5% de lípidos, utilizando semillas completas y decorticadas de Pata de cabra (*Bahuinia variegata*) (Los datos se expresan en g Kg⁻¹)

FORMULA DE 1 Kg DE ALIMENTO		
INGREDIENTES (g Kg⁻¹)	Pata de cabra completa	Pata de cabra decorticada
Harina de Pescado	378.46	378.46
Harina de Pata de cabra	66.99	70.96
Albúmina	82.21	82.21
Suero de leche	140.57	140.57
Proteína de soya	66.68	66.68
Mezcla de Vitaminas	15	15
Mezcla de Minerales	15	15
Aceite de Canola	4.4	1.2
Almidón crudo	187.5	186.71
Lecitina	19.3	19.3
Goma arábica	18	18
Alginato de Sodio	2	2
BHT	0.5	0.5
Vitamina C	3.4	3.4
Total (g)	1000	1000

Pata de cabra Completa= Dieta con la semilla completa, Pata de Cabra decorticada= Dieta con semilla decorticada.

En la formulación propuesta con semilla de Pata de Cabra completa y decorticada (Tabla 7), se requiere de aceite de canola para completar el nivel de lípidos requerido en la dieta, debido a que la pata de cabra tiene un bajo porcentaje de lípidos y una baja cantidad de ácido linolénico. En este caso también se sustituyó la proteína de la harina de pescado en un 5% por proteína de semilla de pata de cabra completa y decorticada. En la formulación con la semilla de pata de cabra lo recomendable sería usarla decorticada, pues el valor nutricional aumenta con el proceso de decorticado, incrementándose el porcentaje de lípidos y cenizas en la semilla.

En el presente trabajo se generó conocimiento sobre la composición nutricional de semillas de Balché *L. longistylus* y Pata de cabra *B. Variegata* y se evaluó la composición proximal de las semillas completas y decorticadas de las dos especies. En el Balché se logró ver una diferencia significativa en los lípidos y cenizas al ser decorticadas, pero aunque en Pata de Cabra no se obtuvo un cambio significativo en proteína y fibra, se encontró que es una especie con potencial por su contenido proteico. Se observó que las semillas de Balché tienen un perfil de ácidos grasos PUFA que supera a los aceites comerciales como el de canola, lo que permite su uso como un ingrediente alternativo en la formulación dietas para peces. En la determinación del perfil de ácidos grasos de la Pata de Cabra se observó que si bien no tiene un perfil de ácidos grasos como el balché, y tiene bajas concentraciones de ácido linolénico, puede ser usada como fuente de proteína en las dietas. Se recomienda realizar más análisis de ácidos grasos para poder determinar ácidos grasos que en este trabajo no se pudieron analizar y por ende no fueron reportados. Por último se recomienda probar las formulaciones propuestas para pez blanco en un experimento de crecimiento para conocer sus efectos en el desempeño de los peces.

8. CONCLUSIÓN

La semilla de Balché (*Lonchocarpus longistylus*) tiene potencial para ser usada como ingrediente alternativo en la formulación de dietas para peces como el Pez Blanco de Pátzcuaro (*C. estor*) por su composición proximal la cual contiene más de un 23% de proteína y de un 30% de lípidos totales. El valor nutricional de la semilla aumenta de manera significativa con el proceso de decortinado. Esto significa que tiene un gran potencial en los alimentos acuícolas teniendo en cuenta que los peces, aprovechan con eficiencia estos nutrientes. Cabe destacar que al decorticar las semillas mejoraría la digestibilidad debido a la eliminación de fibra. Sin embargo, el alto contenido de lípidos totales en la semilla junto con el contenido de lípidos de la harina de pescado sin desgrasar, no permite sustituir más de 5% de la proteína de la dieta. Por otro lado, debido al perfil de ácidos grasos de Balché, ya no sería necesaria la adición de un aceite comercial en la formulación de dietas para esta pez blanco.

La semilla de Pata de Cabra (*Bahuinia variegata*) tiene potencial como ingrediente alternativo debido a su contenido de proteína relativamente alto, superando incluso al de las semillas de Balché. A diferencia del anterior su contenido de lípidos es menor. Contrario a lo esperado, al decorticar las semillas no se observó un aumento en el porcentaje de proteína de las semillas, pero si se encontró un aumento significativo en el porcentaje de lípidos y en cenizas. Sin embargo, en la formulación propuesta la adición de pata de cabra para cubrir el requerimiento de proteína es menor que la de Balché lo que significa que con menor cantidad de semilla se cubre el requerimiento proteico. Por otro lado, su perfil de ácidos grasos es superado por el de aceites comerciales vegetales como el de canola, por lo que para completar el nivel de lípidos requerido y el perfil de ácidos grasos, en la formulación se debe adicionar aceite de canola.

9. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar estudios para evaluar la presencia de antinutrientes en las semillas de las dos especies de plantas y evaluar sus efectos en los peces con diferentes niveles de sustitución en la dieta.
- En el presente trabajo no se pudieron identificar algunos ácidos grasos por medio de cromatografía de gases, por lo que se requiere de una técnica con la que puedan ser identificados.
- Para comprobar la efectividad de las formulaciones propuestas se recomienda realizar un experimento de crecimiento para observar el desempeño de los animales.

10. BIBLIOGRAFIA

Abdel- Hakim, N. F., M.E Lashin, A.A. Al- Azab and H.M Nazmi. 2008. Effect of replacing soybean meal protein sources on growth performance and economical efficiency of monosex Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured in tanks. 8th International Symposium on Tilapia in Aquaculture. 739- 753.

A. O. A .C. 2000. Official methods of analysis of the association of analytical chemist. Seventeenth Edition. Washington, D. C. The United States. 1018pp

Aganga A.A., y K. W Mosase. 2001. Tannin content, nutritive value dry matter digestibility of *Lonchocarpus capassa*, *Zyzyphus mucronata*, *Sclerocarya birrea*, *Kirkea acuminata* and *Rhus lancea* seeds. Animal Feed Science and Technology. 91. 107-113.

Arain. S., N.Memon, M.T. Rajpud, S.T.H. Sherezi, M.I Bhanger y S. A Mahesar. 2012. Physico- chemical Characteristic of Oil and Seed Residues of *Bahuinia variegata* and *Bahuinia linnaei*. Pakistan Journal Anal Environment Chemistry. 13. 16-21.

Almaida-Pagán. P. F., M.D. Hernández, B. García García , J.A. Madrid , J. De Costa , P. Mendiola. 2007. Effects of total replacement of fish oil by vegetable oils on n-3 and n-6 polyunsaturated fatty acid desaturation and elongation in sharpnose seabream (*Diplodus puntazzo*) hepatocytes and enterocytes. Aquaculture. 272. 589-598

Almaida-Pagán. P.F., 2008. Caracterización del potencial metabólico y regulador de la ingesta del Sargo picudo (*Diplodus puntazzo*). Tesis de Doctorado. Universidad de Murcia. España. 179 pp.

Avilés- Peraza G., 2015. Balché (*Lonchocarpus longistylus*) árbol mágico usos ceremoniales y medicinales. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. 7: 46–48

Alavez D. 2010. Estudio químiotaxonomico del género *Lonchocarpus* y actividad biológica de sus metabolitos aislados. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México. 172pp.

Bene C., Barange. M, Subsainghe. R, Prinstrup- Andersen. P, Merino. G, Ingunn- Hemre. G, Williams M. 2015. Feeding 9 billions by 2050 – Putting fish back on menu. *Food Sec.* 7: 261-274.

Benedito- Palos L., A Saera-Vila, Josep-Alvar Calduch-Giner, S Kaushik and J Pérez-Sánchez. 2007. Combined replacement of fish meal and oil in practical diets for fast growing juveniles of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.): Networking of systemic and local components of GH/IGF axis. 267 (1-4). 199 -212.

Benedito-Palos L., J C. Navarro, A Sitjà-Bobadilla, J.GBell, S Kaushik and J Pérez-Sánchez. 2008. High levels of vegetable oils in plant protein-rich diets fed to gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.): growth performance, muscle fatty acid profiles and histological alterations of target tissues. *British Journal of Nutrition.* 100 (5) 992-1003.

Borgenson T.L., V.J. Racz, D.C. Wilkie, L.J. White and M.D. Drew. 2006. Effect of replacing fishmeal and oil with simple or complex mixtures of vegetable ingredients in diets fed to Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Nutrition.* 12. 141 - 149.

Borquez- Ramirez A., y P Alarcon Bruce. 2002. Reemplazo parcial de harina de pescado por harina de lupino en dietas para salmón de atlantico. *Columna tecnica.* Universidad Catolica de Temuco.

Brandsen MP., CG. Carter, PD. Nichols. 2003. Replacement of fish oil with sunflower oil in feeds for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.): effect on growth performance, tissue fatty acid composition and disease resistance. Comparative Biochemistry Physiology and Physiology Part B. 135. 611 -625.

Cab F.E., 2011. Morfología y potencial forrajero de leguminosas no convencionales nativas de México, para producción en pastoreo extensivo en el trópico. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. México. 125 pp

Cabrera T., J Millán, J. Rosas. y J. Rengel. 2001. Cultivo del híbrido de tilapia en un ambiente marino, sustituyendo harinas de pescado por soya. INP. SAGARPA. México. Ciencia Pesquera. 15.121 -125.

Carter C.G., y R. C Hauler. 2000. Fish meal replacement by plant meals in extruded feeds for Atlantic salmon, *Salmo salar* L. Aquaculture. 185. 299-311.

Connor K. F. 2008. Bahuinia L. Woody Plant Seed Manual. Auburn University, Alabama, USA.

Contreras M.P. 2006. Factibilidad tecno-económica de elaborar concentrados para la alimentación de salmones en base a ingredientes vegetales. Tesis de Licenciatura. Universidad Austral de Chile. 118pp.

Contreras- Castro J. H. 2012. Efecto sobre el rendimiento técnico de la Tilapia Nilotica Chilatrada resultante de la sustitución de la dieta con Falso Girasol y Morera en la Etapa de Ceba. Revista CITECSA. 3. 4

Chakrabarti R., y P. K Srivastava. 2012. Effect of dietary supplementation with *Achyranthes aspera* seed on larval rohu *Labeo rohita* challenged with *Aeromonas hydrophila*. Journal of aquatic animal health. 24. 213-218.

Christie, W. W. 2003. Lipid Analysis, 3rd edn. pp. 416. The oily press, U.K.

Daroch E.S. 2002. Sustitución parcial de la harina de pescado por harina de haba (*Vicia faba* var Minor (Har) Beck) en la formulación de alimento para salmonidos. Tesis de Licenciatura. Universidad Austral de Chile. Chile. 106pp.

Drew M.D., A. E Ogunkoya, D M. Janz, A G. Van Kessel. 2007. Dietary influence of replacing fish meal and oil with canola protein concentrate and vegetable oils on growth performance, fatty acid composition and organochlorine residues in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture. 267- 268.

Ebling M. E. 1968. The Dumas method for nitrogen in feeds. Journal Association of Official Chemist. 51. 766- 770.

FAO. 2014. El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Roma: FAO.

Flores J.S., C.A Martínez, M. A Olvera, R Galván y C Chávez. 1988. Potencial de Algunas Leguminosas de la flora Yucatenense como Alimento Humano o Animal. Turrialba.38 (2). 94 -95.

Fonseca- Madrigal J., V. Karalazos, P.J. Campbell, J.G. Bell y D.R. Tocher. 2005. Influence of dietary palm oil on growth, tissue fatty acid compositions, and fatty acid metabolism in liver and intestine in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture Nutrition. 11. 241-250.

Fonseca- Madrigal J., D. Pineda- Delgado, C. Martínez Palacios, C. Roriguez. D.R. Tocher. 2012. Effect of salinity of the biosynthesis of n-3 long chain polyunsaturated fatty acids in silverside *Chirostoma estor*. Fish Physiol Biochem.

Fonseca- Madrigal J., J.C. Navarro, F. Hontoria, D. R. Tocher. C.A Martínez-Palacios y O. Monroig 2014. Diversification of substrates specificities in teleostei Fads2: characterization of $\Delta 4$ y $\Delta 6$ $\Delta 5$ desaturases of *Chirostoma estor*. Journal of Lipid Research.1408-1419.

Fountoulaki E., A. Vasilaki , R. Hurtado, K. Grigorakis , I. Karacostas , I. Nengas ,G. Rigos ,Y. Kotzamanis , B. Venou , M.N. Alexis. 2009. Fish oil substitution by vegetable oils in commercial diets for gilthead sea bream (*Sparus aurata L.*); effects on growth performance, flesh quality and fillet fatty acid profile. Recovery of fatty acid profiles by a fish oil finishing diet under fluctuating water temperatures. Aquaculture 289. 317-326.

Francis D.S., GM. Turchini, P L. Jones, S S De Silva. 2007. Effects of fish oil substitution with a mix blend vegetable oil on nutrient digestibility in Murray cod, *Maccullochella peelii peelii*. Aquaculture. 269. 447- 455.

García V., ,J. D Celada, R. González, J. M Carral, M Sáez- Royula y A. González. 2015. Response of juvenile tench (*Tinca tinca L.*) fed practical diets with different protein contents and substitution levels of fishmeal by soybean meal. Aquaculture Research. 46. 28 -38.

Garduño- Lugo M.,y M.A Olvera- Novoa. 2008. Potential of the use of peanut (*Arachys hypogaea*) leaf meal as a partial replacement for fish meal in diets for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus L.*). 1299-1306.

Grafton R.Q., C. Daugbjerg, M. Ejaz Qureshi.2015. Toward food security by 2050. Food sec. 7. 179:183

Gomesa E.F., P Remab, J.S Kaushik. 1995. Replacement of fish meal by plant proteins in the diet of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) digestibility and growth performance. *Aquaculture*. 130. 177-186.

Gutiérrez R., M. L. Vega, S Vega, J. Fontecha, L. M Rodríguez y A Escobar. 2014. Contenido de ácidos grasos en semillas de (*Salvia hispanica* L) cultivadas en cuatro estados de México. 19.(1). 199- 207.

Huerta-Ortiz M., C.A Álvarez –González, G Marquez- Couturier, W.M Contreras-Sánchez, R . Civeda- Cerevedo, E Gortyutúa-Bores. *Kuxulkab Revista de Divulgación División Académica en Ciencias Biológicas*. 15. 9. 2009

Izquierdo M.S., D. Montero, L. Robaina, M.J. Caballero, G. Rosenlund, R. Gine´s. 2005. Alterations in fillet fatty acid profile and flesh quality in gilthead seabream (*Sparus aurata*) fed vegetable oils for a long term period. Recovery of fatty acid profiles by fish oil feeding. *Aquaculture*. 250. 431 -444.

Jordal A.E.O., Ø. Lie, y B.E . Torstensen. 2007. Complete replacement of dietary fish oil with a vegetable oil blend affect liver lipid and plasma lipoprotein levels in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture Nutrition*. 13. 114 -130.

Kaushik S.J., J.P Cravedi, J. P Lalles, J Stumper, B Fauconneau y M Lauroche. 1995. Partial or total replacement of fish meal by soybean protein on growth, protein utilization, potential estrogenic or antigenic effects, cholesterolemia and flesh quality in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*.

Kaushik S. J., D. Cove`s, G. Dutto, D. Blanc. 2004. Almost total replacement of fish meal by plant protein sources in the diet of a marine teleost, the European seabass, *Dicentrarchus labrax*. *Aquaculture*. 230: 391-404.

Karanth S., P Sharma, A K. Pal y G Vankes. 2009. Effect of Different Vegetable

Oils on Growth and Fatty Acid Profile of Rohu (*Labeo rohita*, Hamilton); Evaluation of a Return Fish Oil Diet to Restore Human Cardio- Protective Fatty Acids. Asian-Aust. J. Anim.Sci. 22 (4). 565- 575.

Kumar S.,F. M. You, S. Duguig, H. Booker, G Rowland y S Cloutier. 2015. QTL for fatty acid composition and yield in linseed (*Linum usitatissium* L.). Theor Appl Genet.

Lawson A. M.,2006. Etude phytochimique d'une fabacee tropicale, *Lonchocarpus nicou* evaluation biologique preliminaire. Tesis de Doctorado. Universite de Limoges.184pp.

Le Boucher R., Quillet E, Vandepute M. Lecalvez J.M, Goardon L, Chatain B, Medale F. Dupont- Nivent M. 2011. Plant- based diet in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum): Are there genotype- diet interactions for main production traits when fish are fed marine vs. Plant-based diets from the first meal?. Aquaculture. 321. 41-48.

Llancabure R.A, 2011. Determinación de las necesidades del Róbalo (*Eleginops maclovinus*). Tesis de Licenciatura. Universidad Austral de Chile. Chile. 86pp.

Llanes. J y J. Toledo. 2011. Desempeño productivo de la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) con la inclusión de altos niveles de harina de soya en la dieta. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 45. 2.

Martínez- Palacios C.A., R Galvan, M.A Olvera y C Chávez –Martínez. 1988. The Use the Jack Bean (*Canavalia ensiformis* Leguminosae) Meal as Partial Substitute for Fish Meal in Diets for Tilapia (*Oreochromis mossambicus* Cichilidae). Aquaculture. 68. 165-175.

Martínez-Palacios, C. A., Ríos-Durán M.G, Campos A, Toledo M y Ross L.G.

2002. Avances en el cultivo del Pescado Blanco de Pátzcuaro *Chirostoma estor estor*. Avances en Nutrición Acuícola VI. Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. Cancún, Quintana Roo, México. 346-352.

Martínez- Palacios C.A., A. Cabrera- González, M. G . Martínez-Rocha, M.A Olvera- Novoa, I Abo y L.G Ross. 2006. The use of an extruded meal comprising tuna viscera and maize meal as substitute for fish meal in diets for juvenile tilapia (*O. niloticus*, Linnaeus 1758). J. Aqua. Trop. 21. (3-4). 101 -109.

Martínez-Palacios. C. A., Ríos-Duran. M. G, Ambriz-Cervantez. L, Jauncey. K. J and Ross. L. G. 2007. Dietary protein requirement of juvenile Mexican Silverside (*Menidia estor* Jordan 1879), a stomachless zooplanktophagus fish. Aquaculture nutrition. 13. 304- 310.

Menoyo D., M. S. Izquierdo, L. Robaina, R. Gine's, C. J. Lopez-Bote. and J. M. Bautista. 2004. Adaptation of lipid metabolism, tissue composition and flesh quality in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) to the replacement of dietary fish oil by linseed and soyabean oils. British of Journal Nutrition. 92. 41-52.

Menoyo D., C. J. López-Bote, A. Obach, and J. M. Bautista. 2011. Effect of dietary fish oil substitution with linseed oil on the performance, tissue fatty acid profile, metabolism, and oxidative stability of Atlantic salmon. Journal of Animal Science. 83. 2853- 2862.

Mente E., S. Deguara, M. B. Santos, D. Houlihan. 2003. White muscle free aminoacid concentrations following feeding a maize gluten dietary protein in Atlantic salmon (*Salmo salar*). Aquaculture 225. 133-147.

Merino G., M Barнге, J L Blanchard, J Harle, R Holmes, I Allen, E H Allison, M C Badjeck, N K Duvly, J Holt, S Jennings, C Mulllon, L D Rodwell. 2012. Can marine

fisheries and aquaculture meet fish demand from a growing human population in a changing climate?. *Global Environmental Change*. 22. 795- 806.

Monroig O., S. Wang, L Zhang, C. You, D. R. Tocher y Y. Li. 2012. Elongation of long- chain fatty acids in Rabbitfish *Siganus caniculatus*: Cloning, functional characterisation and tissue distribution of Elo5- and Elo4- like elongases. *Aquaculture*. 350-353. 63 -70.

Morais S.,F. Castnheira, L. Martinez- Rubio, Conceicao L.E.C y D.R. Tocher. 2012. Long chain polyunsaturated fatty acid synthesis in a marine vertebrate: Ontogenetic and nutritional regulation of a fatty acyl desaturase with $\Delta 4$ activity, *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)- Molecular and Cell Biology of Lipids*, 1821 (4). 660-671

Morillo M., Visbal T, Rial L, Ovalles F, Aguirre P. A.L Medina. 2013. Alimentación de Alevines de *Colossoma macropomum* con dietas a base de *Erythrina edulis* y soya. *Interciencia*. 38.2. 121-127.

Morrison R.T., y R. N. Boyd. 1990. *Química Inorgánica*. 5ta. ed. Adison Wesley Longman de México. 1473 pp.

Morrow J B.,1992. A changing industry: from internal evolution to external responsiveness. En: *Seafoof Science of tecnology*. E . Graham Blight (Ed) Fishing News Books.1-11 pp.

Mourente G.,y J. G.Bell. 2006. Partial replacement of dietary fish oil with blends of vegetable oils (rapeseed, linseed and palm oils) in diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax L.*) over a long term growth study: Effects on muscle and liver fatty acid composition and effectiveness of a fish oil finishing diet. *Comparative Biochemistry and Phisiology*. 389- 399.

Mourente G., J. E. Good Y J. G Bell. 2005. Partial substitution of fish oil with rapeseed, linseed and olive oils in diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.): effects on flesh fatty acid composition, plasma prostaglandins E2 and F2a, immune function and effectiveness of a fish oil finishing diet. *Aquaculture Nutrition*. 11. 25 -40.

Ortega M.A. 2003. Valor nutrimental de la pulpa fresca de aguacate has. *Proceedings V World Avocado Congress (Actas V Congreso Mundial del Aguacate)*. 741- 748.

Ortega- David E., A. Rodríguez, A David y A Zamora-Burbano. 2010. Caracterización de semillas de lupino (*Lupinus mutabilis*) sembrado en los Andes de Colombia. *Acta agronómica*. 59 (1) .111- 118.

Olivera- Castillo L., F Pereira- Pacheco, E Polanco-Lugo, M Olvera-Novoa, J Rivas-Burgos y G Grant. 2007. Composition and bioactiva factor contnt of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) raw meal and protein concéntrate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 87: 112-119.

Olvera- Novoa M.A., C.A Martinez, R Galvan, Chavez C. 1988. The Use The Seed of The Leguminos Plant *Sesbania grandiflora* as a Partial Replacement for fish meal in diets for Tilapia (*Oreochromis mossambicus*). *Aquaculture*. 71. 51-60.

Olvera- Novoa, M. A., Martínez-Palacios, C.A. y Real de León. E, 1993. "Manual de técnicas para el laboratorio de nutrición de peces y crustáceos." Documento preparado para el Proyecto GCP/RLA/102/ITA Apoyo a las Actividades Regionales de Acuicultura para América Latina y el Caribe.(AQUILAI),fromhttp://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/W7283E/W7283E00.htm.

Olvera-Novoa M.A., F. Pereira-Pacheco, L. Olivera-Castillo, V. Pkrez-Flores, L.

Navarro, J. C. Sámano.1997. Cowpea (*Vigna unguiculata*) protein concentrate as replacement for fish meal in diets for tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry. *Aquaculture*. 158. 107-116.

Olvera- Novoa M.A.,L Olivera- Castillo y C.A Martínez –Palacios. 2002. Sunflower seed meal as a protein source in diets for Tilapia rendalli (Boulanger 1896) fingerlings. *Aquaculture research*. 33. 223-229.

Ortiz J. C., N. Saltos, J C. Giacometti, A. Arrobo, C. Peñafiel & R. Falconi. 2007. Alternativas alimenticias para el cultivo de *Colossoma macropomum* en jaulas flotantes. *Boletín Técnico 7, Serie Zoológica 3: 72-81*.

Peng S., L Chen , JG. Qin , J Hou , N Yu , Z Long , J Ye , X Sun. 2008. Effects of replacement of dietary fish oil by soybean oil on growth performance and liver biochemical composition in juvenile black seabream, *Acanthopagrus schlegeli*. *Aquaculture*. 276. 154-161.

Peters, R R., E.D. Morales. A ,N.M. Morales, S. y J. L. Hernández. R. 2009. Evaluación de la calidad alimentaria de la harina de *Lemna obscura* como ingrediente en la elaboración de alimento para la tilapia roja (*Oreochromis spp*). *Revista Científica, FCV-LUZ 21.(3), 303 – 310*

Parekh J., N. Karanthia y S Chanda. 2006. Evaluation of antibacterial activity and phitochemical analysis of *Bahuinia variegata*. *African Journal of Biomedical Research*. 9. 53 -56.

Pickova J., T Mørkøre. 2007. Alternative oils in fish feeds. *Eur. J. Lipid. Sci. Technol.* 109. 256-263.

Piedecausa M.A., M.J. Mazón, B. García García, M.D. Hernández. 2007. Effects of total replacement of fish oil by vegetable oils in the diets of sharpsnout seabream

(*Diplodus puntazzo*). Aquaculture. 263. 211 -219.

Pires A.M.L., E.R. Silveira, O.D.L. Pessoa. 2011. Flavonoides de *Lonchocarpus campestris*. *Quim. Nova*. 34.(2). 268-271.

Pinto L., M. Andrade, M. A. Bacarin, R. R. Castellon, T.S. Gadelha, C.A. Gadelha y B.S. Cavada. 2006. Caracterização química e bioquímica de sementes de *Bauhinia variegata* L. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 9 (3). 385 - 390.

Ramadan M. F., G. Sharanabasappa, Y.N. Seetharam, M. Shesarigi, M. Joerg-Thomas. Characterisation of fatty acids and bioactive compounds of kachnar (*Bauhinia purpurea* L.) seed oil. *Food Chemistry* 98. 359 -365.

Ríos- Durán M.G., I. R. Valencia y C.A. Martínez – Palacios. 2013. Nutritional evaluation of autoclaved *Salicornia bigelovii* Torr. seed meal supplemented with varying levels of cholesterol on growth, nutrient utilization and survival of the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquacult Int.* 21:1355–1371.

Robaina L. E., 1995. Utilización de fuentes de proteína alternativa de la harina de pescado en dietas de engorde para dorada (*Spaurus aurata*). Universidad de las Palmas del Gran Canaria. Tesis de Doctorado. 213 pp.

Ronsenlund G., A. Obach, M. G. Sandberg, H. Standal, y K. Tveit. 2001. Effect of alternative lipid sources on long-term growth performance and quality of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture research*. 323-328.

Santos E.L. E.V. Costa, F.A. Marques, N. P. Vaz y B.H.L.N. Sales-Maia. 2009. Toxicidade e actividade antioxidante de flavonoides das cascas das raízes de *Lonchocarpus filipies*. *Quim. Nova*, Vol. 32, No. 9, 2255-2258

Siddhuraju P., K. Vijayakamuri, y K. Jnardhanan. 1997. The biochemical composition and nutritional potential of tribal pulse, *Alysicarpus rugosus* (Willd.) DC. Food Chemistry .45. 251-255.

Siddhuraju P., K. Vijayakamuri, y K. Jnardhanan. 1995. Studies on the underexploited legumes, *Indigofera linifolia* and *Sesbania bispinosa*: Nutrition composition and antinutritional factors. International Journal of Food Sciences and Nutrition. 46.195-203.

Sotelo A., E. Contreras, y S. Flores. 1995. Nutritional value and content of antinutritional compounds and toxics in ten wild legumes of Yucantan Peninsula. Plants for human nutrition. 47. 115- 123.

Soto-Galera., E., Diaz-Pardo. E, Lopez-Lopez. E and Lyons. J. 1998. Fish as indicators of environmental quality in the Rio Lerma basin, Mexico. Aquatic Ecosystems and Health Management. 1. 267–276.

Sousa M., S. Sotuyo y E. Pedraza- Ortega. 2014. Sistemática de *Lonchocarpus* sección *Punctati* (Fabaceae: *Millettieae*) basada en datos morfológicos y moleculares, con la descripción de nueve especies nuevas. Acta Botanica Mexicana. 109: 79.- 131.

Tacon A. G. J., J. L Webster y C. A Martínez. 1984. Use the solvent extracted sunflower seed meal in complete diets for fingerling rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson). Aquaculture. 43. 381-389.

Tacon, AG.J., y C.B Cowey.1985. Protein and amino acid requirements. En: P. Tytler and P. Calow (Eds.), Fish Energetics: New Perspectives. Cromm Helm, London. 155-183 pp.

Tacon A. G. J., M Metian. 2008. Global Overview on the use fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. *Aquaculture*. 285. 146 -158.

Tocher, D. R. and D. G. Harvie. 1988. Fatty acid compositions of the major phosphoglycerides from fish neural tissues: (n-3) and (n-6) polyunsaturated fatty acids in rainbow trout (*Salmo gairdneri*, L.) and cod (*Gadus morhua*) brains and retinas. *Fish Physiol. Biochem.*, 5, 229-239.

Torstensen B. E., L Frøyland y Ø Lie. 2004. Replacing dietary fish oil with increasing levels of rapeseed oil and olive oil – effects on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) tissue and lipoprotein lipid composition and lipogenic enzymeactivities. *Aquaculture Nutrition*. 10. 175 -192.

Torstensen B.E., M. Espe , M. Sanden , I. Stubhaug , R. Waagbø, G.-I. Hemre , R. Fontanillas ,U. Nordgarden , E.M. Hevrøy , P. Olsvik , M.H.G. Berntssen. 2008. Novel production of Atlantic salmon (*Salmo salar*) protein based on combined replacement of fish meal and fish oil with plant meal and vegetable oil blends. *Aquaculture* 28. 193–200.

Turchini G. M., y D. S Francis. Fatty acid metabolism (desaturation, elongation and β -oxidation) in rainbow trout fed fish oil- or linseed oil-based diets. *British Journal of Nutrition*. 102. 69-81.

Vioque J., J.E. Pastor y E. Vioque. 1994. Estudio de la composición en ácidos grasos del aceite de las semillas en algunas plantas silvestres españolas. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. 45 (3). 161 -163-

Wing- Keong N. G, L. Phaik –Kim, B. Peng-Lim. 2003. Dietary lipid and palm oil source affects growth, fatty acid composition and muscle α -tocopherol

concentration of African catfish, *Clarias gariepinus*. *Aquaculture*. 215. 229-243.

Wing- Keong N. G., W. Yan , K. Preyah, Y Kah- Hay. 2004. Replacement of dietary fish oil with palm fatty acid distillate elevates tocopherol and tocotrienol concentrations and increases oxidative stability in the muscle of African catfish, *Clarias gariepinus*. *Aquaculture*. 233. 423- 437.

Yamamoto T., T Unuma y T Akiyama. 2000. The influence of dietary protein and fat levels on tissue free amino acid levels of fingerling rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*. 182. 353- 372.