



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

**COEFICIENTES DE DIGESTIBILIDAD APARENTE DE MATERIAS PRIMAS
ALTERNATIVAS EN CACHAMA BLANCA (*Piaractus brachypomus*) Y SUS
EFECTOS SOBRE EL DESARROLLO MORFOMÉTRICO DE LAS
VELLOSIDADES INTESTINALES**

Luis Fernando Puerta Rico

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agrarias
Departamento de Producción Animal
Medellín, Colombia

2016

**COEFICIENTES DE DIGESTIBILIDAD APARENTE DE MATERIAS PRIMAS
ALTERNATIVAS EN CACHAMA BLANCA (*Piaractus brachypomus*) Y SUS
EFECTOS SOBRE EL DESARROLLO MORFOMÉTRICO DE LAS
VELLOSIDADES INTESTINALES**

Luis Fernando Puerta Rico

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ciencias Agrarias

Directora

MVZ, PhD. Sandra Clemencia Pardo Carrasco

Profesora Asociada

Departamento de Producción Animal

Facultad de Ciencias Agrarias

Codirector

Zoot, PhD. Jaime Eduardo Parra Suescún

Profesor Asociado

Departamento de Producción Animal

Facultad de Ciencias Agrarias

Línea de Investigación

Acuicultura Sustentable

Grupo de Investigación

BIOGEM

Universidad Nacional de Colombia

Facultad Ciencias Agrarias

Departamento de Producción Animal

Medellín, Colombia

2016

AGRADECIMIENTOS

A mis directores de trabajo de grado, Sandra Clemencia Pardo y Jaime Eduardo Parra, por su gran compromiso y acompañamiento durante este bonito proceso de aprendizaje y crecimiento personal.

A mis padres Luis Fernando Puerta Echeverri y Luz Amparo Rico, por sus consejos y fortaleza los cuales me ayudaron a superar las diferentes dificultades que se presentaron durante la realización de este trabajo.

A mi tía Silvia Puerta Echeverri, por su gran compromiso con mi formación y desarrollo profesional y personal.

A mi familia y amigos por estar siempre a mi lado alentándome a nunca desistir.

Al grupo de investigación BIOGEM por permitirme compartir con sus grandes integrantes.

A la gobernación de Antioquia y su programa Generación de Conocimiento por la financiación de este proyecto.

A la Universidad de los Llanos por recibirme para llevar a cabo mi experimento en sus instalaciones.

A todos ellos Muchas Gracias.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. Planteamiento del problema y justificación.....	3
2 . OBJETIVOS	8
2.1 OBJETIVO GENERAL	8
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
3. MARCO TEÓRICO.....	9
3.1 NUTRICIÓN EN LOS PECES	9
3.1.1 PROTEÍNA	10
3.1.2 LÍPIDOS.....	12
3.1.3 CARBOHIDRATOS.....	13
3.1.4 ENERGÍA.....	14
3.1.5 RELACIÓN PROTEÍNA-ENERGÍA	15
3.2 USO DE FUENTES ALTERNATIVAS DE PROTEÍNA EN LA NUTRICIÓN DE PECES.....	16
3.2.1 Botón de oro (<i>Tithonia diversifolia</i>)	18
3.2.2 Morera (<i>Morus alba</i>)	19
3.2.3 Cratylia (<i>Cratylia argentea</i>)	19
3.4 Coeficiente de digestibilidad aparente	20
3.5 Fisiología digestiva de la Cachama blanca.	22
4. METODOLOGÍA.....	25
4.1 Localización	25
4.2 Dietas experimentales.....	25

4.3 Diseño experimental	28
4.4 Diseño y análisis estadístico	31
6. DISCUSIÓN	36
7. CONCLUSIONES.....	42
8. Recomendaciones.....	43
9. Bibliografía	43

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición bromatológica de Botón de Oro (<i>Tithonia diversifolia</i>)	18
Tabla 2. Composición bromatológica de Morera (<i>Morus alba</i>)	19
Tabla 3. Composición bromatológica de Cratylia (<i>Cratylia argentea</i>)	20
Tabla 4. Análisis proximal de Botón de oro, Morera y Cratylia utilizadas para evaluar su digestibilidad en Cachama blanca	25
Tabla 5. Composición de la dieta referencia DR para Cachama blanca	26
Tabla 6. Composición proximal de la dieta referencia y de las dietas experimentales utilizadas en Cachama blanca	27
Tabla 7. Efecto del Botón de Oro, Morera y Cratylia sobre los parámetros físicos de Cachama blanca	33
Tabla 8. Efecto del tiempo sobre los parámetros físicos de Cachama blanca	34
Tabla 9. Efecto de la inclusión de Botón de Oro, Cratylia y Morera sobre la altura de las vellosidades intestinales en Cachama blanca <i>Piaractus brachypomus</i>	35
Tabla 10. Efecto del tiempo sobre la altura de las vellosidades intestinales en Cachama Blanca <i>Piaractus brachypomus</i>	35
Tabla 11. Coeficientes de digestibilidad de diferentes nutrientes para Botón de Oro, Cratylia y Morera en Cachama blanca <i>Piaractus brachypomus</i>	36

RESUMEN

La acuicultura es uno de los sectores agroindustriales que viene creciendo notablemente en los últimos años con el fin de proveer alimento a la siempre creciente población humana. Para que esta actividad siga en constante desarrollo y pueda optimizar sus sistemas de producción, los productores deben buscar nuevas alternativas para ser más eficientes, sin aumentar sus costos económicos y sin olvidar que deben cuidar el medio ambiente que los rodea y sostiene sus sistemas. Una de éstas alternativas es utilizar peces nativos capaces de tener rendimientos productivos altos con alimentos poco convencionales, pero que estén a disposición del productor y reduzcan considerablemente los costos, sobretodo del alimento el cual representa un porcentaje muy importante en los sistemas acuícolas. No obstante, con la intensificación y con los sistemas alimenticios actuales, se incrementa la cantidad de residuos que los sistemas de producción acuícolas depositan al medio ambiente, generando una visión negativa y poco optimista sobre los sistemas utilizados actualmente. En los sistemas de producción intensivos, el costo del alimento representa generalmente, más del 50% de los costos de producción, siendo la proteína el nutriente más costoso. En el desarrollo de dietas para especies acuáticas, la fuente proteica ha sido generalmente la harina de pescado gracias a su excelente perfil de aminoácidos y a su gran aporte de ácidos grasos esenciales, energía vitaminas y minerales. Por los altos costos que representa la harina de pescado como fuente de proteína en la formulación de dietas para organismos acuáticos, además de la capacidad de la cachama de utilizar eficientemente fuentes de alimento de origen vegetal, esta propuesta se enfoca en evaluar la digestibilidad de tres diferentes materias primas: Botón de Oro (*Tithonia diversifolia*); Morera (*Morus alba*) y Cratylia (*Cratylia argentea*) como posibles materias primas alternativas y fuentes de proteínas en las dietas de organismos acuáticos, permitiendo entonces, disminuir el uso de la harina de pescado y disminuir el costo del alimento.

PALABRAS CLAVE: Nutrición, Cachama blanca, digestibilidad, materias primas alternativas

ABSTRACT

Aquaculture is one of the agro-industrial sectors that have been growing significantly in recent years to provide food to the human population growing. To achieve this objective this activity continues in constant development and optimizing their production systems, producers must find new ways to produce more efficiently without increasing production costs, this improvement in production cannot be against the environment that surrounds and supports their productions. One of these alternatives is to use native fish, this species is able of high yields when we use non-conventional raw materials, these raw materials are available to the producer and his use could reduce the cost of production, especially if we are talking about food, which represents a very significant percentage in aquaculture production systems. Actual intensifying production and the feed systems are the responsible of increasing the amount of waste that aquaculture production systems deposited into the environment, generating a negative and non optimistic view on production systems currently used. In intensive production systems, the cost of feed represents generally more than 50% of the production costs, being the most expensive nutrient protein. In developing diets for aquatic species the protein source has generally been fishmeal all this thanks to its excellent amino acid profile and its great contribution of essential fatty acids, vitamins, minerals and energy. Because of the high costs of fish meal as a protein source in diets for aquatic organisms, and the ability of the Cachama blanca to efficiently use plants as food, this proposal focuses on assessing the digestibility three different raw materials: Buttercup (*Tithonia diversifolia*); Mulberry (*Morus alba*) and Cratylia (*Cratylia argentea*) to provide an alternative to fish meal as a protein source in the diets of aquatic organisms, thus allowing, reduce the use of fishmeal and reduce the cost of diets.

Key Words: Nutrition, cachama, digestibility, alternative raw materials.

INTRODUCCIÓN

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

Situación actual de la acuicultura.

Desde mediados de 1990 la acuicultura ha sido la actividad responsable del incremento del consumo *per capita* de peces, ya que por presiones de las diferentes organizaciones mundiales y por reducciones de las poblaciones de peces marinos, la captura del medio se ha visto estancada. La contribución de la acuicultura a la producción pesquera se ha incrementado, pasando de 20,9% en 1995 a 40,3% en 2010; mientras que su aporte consumo humano de pescado alcanzó 47% en 2010 (FAO, 2014).

Actualmente, para seguir supliendo la creciente demanda de los productos acuícolas, se están utilizando nuevos sistemas de producción, los cuales buscan ser mucho más eficientes y no entrar en conflictos por la utilización de recursos como el agua y el suelo; desencadenando esta búsqueda en el desarrollo, tecnificación e intensificación de los cultivos acuícolas (Merino et al., 2013).

Para este proceso de intensificación de la producción hay que tener en cuenta el papel que juega la nutrición de los peces, ya que esta representa una gran porción de los costos de producción, alcanzando entre un 67% y un 80% del costo operacional sin importar la especie (Espinal et al., 2005); esto nos demuestra que el consumo de alimentos balanceados durante el ciclo de producción (cinco meses para la cachama y siete meses para la trucha) además de ser un factor principal que afecta el crecimiento y desarrollo de los peces, también es determinante desde el punto de vista económico. Vale la pena subrayar que la proteína representa un costo importante del alimento, siendo este el componente más costoso en las raciones de alimentos concentrados. Por lo general las dietas para

manejo de los cultivos de peces oscilan en un rango de 28 % hasta 38% de proteína bruta dependiendo de la etapa fisiológica, el tipo de especie y los hábitos alimenticios (por lo general los animales en sus primeros días de vida tienen requerimientos más elevados) (Craig y Helfrich, 2002). Para la cachama blanca, Vásquez (2004) menciona que los valores óptimos para que los juveniles alcancen un máximo de crecimiento es de 32% de proteína bruta.

La proteína, como se mencionó, cuenta con una gran participación en la formulación de las raciones para el alimento de los peces y se obtiene en su mayoría de la harina de pescado. Según la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO) de las Naciones Unidas, aproximadamente el 40% de la harina de pescado del mundo es utilizada para producir alimentos para el sector acuícola (Boyd et al., 2007).

Como se ha remarcado, la acuicultura sigue con un crecimiento constante para cubrir las demandas mundiales, por tanto es de esperar que los sistemas de producción busquen incrementar su tamaño y eficiencia. El crecimiento de la acuicultura implica impactos significativo sobre los recursos que utilizan o con los cuales se asocian (FAO, 2014); por ejemplo los recursos oceánicos de donde proviene la harina de pescado (principal fuente de proteína en las raciones para los alimentos de los peces), generando una destrucción de hábitat, y la producción de grandes cantidades de residuos en los sistemas de agua que utilizan estos sistemas de producción (Piedrahita, 2003). Es por esto que aunque existe una demanda por los productos provenientes de los sistemas de producción acuícolas, estos no son vistos con muy buenos ojos por la sociedad, ya que con los esfuerzos por aumentar y mejorar la oferta en los diferentes sistemas de producción se viene generando una afectación negativa en el medio ambiente (Ozório et al., 2009).

Al considerar estos impactos y el ritmo de crecimiento del sector acuícola, estimado actualmente en 8% a un 10% y se espera que continúe así hasta el año 2025; entonces el suministro de nutrientes y de insumos también debe crecer a un ritmo similar para poder sostener el ritmo de producción (Tacon, 2011). Adicionalmente es claro que se requerirá mayor cantidad de recursos naturales, especialmente agua y suelo, y se agravará la competencia por los recursos escasos y el deterioro de los ecosistemas.

Esta demanda creciente por alimentos de origen acuático no solo es originada en la cada vez mayor cantidad de personas sobre el planeta, sino también, por el creciente interés de la gente por consumir alimentos más saludables y con mejor calidad nutricional (Abimorad y Carneiro, 2007).

Conociendo entonces las perspectivas que tiene las producciones acuícolas y sabiendo que el incremento en la producción no puede ir en contra del medio ambiente y los recursos naturales, se han intensificado las producciones aumentando la concentración de biomasa, pero sin los resultados esperados. Al concentrar mayor cantidad de biomasa, los sistemas se hacen más eficientes al utilizar el mismo espacio y producir más cantidad de proteína de origen animal por área, sin embargo, los residuos generados por tales cantidades de biomasa están en contra de un medio ambiente saludable (Pahlow et al. 2015).

Especies cultivadas en Colombia

La producción piscícola en el país, está basada principalmente en tres especies, las cuales representan el 96% de la producción nacional total (Merino et al., 2013), estas especies son: tilapia (*Oreochromis* sp.), trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) y cachama blanca (*Piaractus brachypomus*). De estas tres especies solo la cachama blanca es nativa. .

La cachama blanca es un carácido ampliamente distribuido en las cuencas de los ríos Amazonas y Orinoco. Su hábito omnívoro, crecimiento rápido, calidad de la carne y su aceptación comercial son las principales características que la promueven como una de las especies más cultivadas en Colombia; sin embargo, su producción disminuyó alrededor del año 1999 y desde entonces muchos de los nichos que ocupaba la producción de cachama ha sido ocupado por la tilapia, (Merino et al. 2013). Las investigaciones sobre esta especie en el conocimiento de su biología dejan ver que tiene características distintivas en la cavidad oral que permite la ingestión de una gran variedad de alimentos, comenzando desde organismos planctónicos hasta muchos tipos de hojas, frutos y semillas (Cruz-Casallas et al., 2011); lo cual la identifica como omnívora con tendencia frugívora, abriendo un abanico enorme de materias primas que pueden ser utilizadas en su dieta, sin tener que recurrir a la harina de pescado.

Son estas ventajas las que nos impulsan a conocer cuál es el desempeño de la cachama blanca bajo este sistema y además utilizando materias primas de origen vegetal, las cuales puedan reemplazar un porcentaje de la proteína de harina de pescado que se utiliza en la formulación de las dietas balanceadas, esperando generar una mayor productividad, con costos de producción menores y un impacto ambiental menor, incentivando la producción de una especie nativa con un desempeño productivo adecuado, y un comportamiento comercial alentador para su producción, orientando esta actividad siempre hacia la producción de proteína de origen animal de una manera sostenible.

La piscicultura en Colombia reúne distintos actores, los cuales intervienen en distintas partes de la cadena productiva, para contribuir a generar un desarrollo productivo competitivo, con puntos clave como 1) la actividad de levante y engorde, etapas que en los sistemas de producción en Colombia no tienen diferenciación ya que los productores las llevan a cabo de manera secuencial, y 2) la elaboración de alimentos concentrados, especialmente en las etapas de levante

y engorde llegando a representar aproximadamente un 57 % del costo de la producción total piscícola (Cruz-Casallas et al. 2011) . Debido a la alta incidencia en los costos de producción, la competencia a la hora de elaborar alimentos concentrados para especies acuícolas por el uso de materias primas las cuales también son utilizadas en la fabricación de alimentos para otras especies que tienen mayor participación en el mercado (caso pollo de engorde, gallinas ponedoras y porcinos), hace aún más interesante el uso de materias primas alternativas que puedan aportar nutrientes dentro de la ración para los organismos acuícolas (Espinal et al., 2005). Además se debe considerar que aproximadamente el 99% de las materias primas utilizadas para la elaboración de los alimentos balanceados de todas las especies productivas en el país son importadas, y su precio varía según la tasa de cambio, cobrando aún más importancia el uso de materias primas nacionales, las cuales puedan ofrecer una estabilidad en precio, composición y abastecimiento (Merino et al., 2013).

Dada la importancia de la acuicultura en Colombia y en el departamento de Antioquia, tanto por su aporte de alimento para la sociedad, así como también por ser una fuente de empleo alternativa en el área pecuaria, la necesidad de hacerla de forma responsable con el medio ambiente y la importancia de la cachama este proyecto procura evaluar dietas constituidas con materias primas no tradicionales e identificar aquellas que al ser usadas generen menor impacto ambiental.

2 . OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la digestibilidad de tres materias primas alternativas para la formulación de raciones de cachama blanca

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar el efecto de la inclusión de Botón de oro, Morera y Cratylia en dietas experimentales para juveniles de Cachama blanca sobre parámetros de crecimiento
2. Evaluar el efecto de la inclusión de Botón de oro, Morera y Cratylia en dietas experimentales para juveniles de Cachama blanca sobre la morfología de las vellosidades intestinales.
3. Determinar los coeficientes de digestibilidad total aparente (CDA) de materia seca (MS), energía bruta (EB) y proteína cruda (PC) de dietas adicionadas con Botón de oro, Morera y Cratylia en juveniles de Cachama blanca.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 NUTRICIÓN EN LOS PECES

El crecimiento constante y acelerado de la acuicultura, demanda a la vez un desarrollo eficiente de nuevas y mejores dietas para aumentar la productividad y calidad de los animales, sin que esto implique un alto incremento en los costos de producción y mucho menos que estos desarrollos generen dietas con altos impactos ambientales (Gutiérrez-Espinosa y Vásquez-Torres, 2008).

Basados en las anteriores premisas, es claro que la intención de los sistemas de producción es obtener un producto económicamente rentable, saludable y de buena calidad para el consumidor final, pero que a la vez no genere un impacto negativo en el medio ambiente (Tacon 2011). Por lo anterior, es de suma importancia entonces considerar el renglón de la nutrición en los peces, la cual, manejada de una manera adecuada con raciones balanceadas, contribuirá al cumplimiento de estas premisas, generando un rápido y óptimo crecimiento de los animales para ofrecer un producto de calidad y disminuir la generación de residuos que afecten al medio ambiente (Craig y Helfrich 2002).

Por lo anterior, los alimentos concentrados o balanceados son el pilar de la nutrición en los sistemas de producción acuícolas intensificados. Estas raciones balanceadas deben contar con todos los elementos para llenar los requerimientos nutricionales de los peces, para que de esta manera se puedan llevar a cabo normal y eficientemente sus funciones, tales como: crecer a una tasa deseable, reproducirse adecuadamente y estar saludables durante su desarrollo. Las deficiencias de los nutrientes pueden generar que los animales no demuestren un gran desempeño productivo, y en algunos casos, los excesos también pueden ir en contra de la producción de los animales e incluso del medio ambiente, ya que se aumentan los niveles de excreción de desechos de los animales al medio

ambiente. Los elementos que deben hacer parte de un alimento balanceado para los peces son: energía, proteína, lípidos, minerales, vitaminas y aminoácidos libres (NRC National Research Council , 1993. Nutrient Requirements of Fish. National Academy Press & ton, DC 1993).

3.1.1 PROTEÍNA

Las proteínas se componen de carbono (50%), nitrógeno (16%), oxígeno (21,5%), e hidrógeno (6,5%). Por lo general y como se comentó anteriormente, las raciones para peces contiene altas cantidades de proteína; sin embargo, un gran porcentaje de esta proteína contenida en la dieta puede no ser retenida por el pez para funciones deseadas (formación de tejidos, formación de musculo y posterior crecimiento), sino que puede ser disipada al medio ambiente. La cantidad de proteína que puede ser desperdiciada por el pez alcanza hasta un 65% y ésta pérdida se hace en forma de amoníaco (NH_3) y se realiza a través de las branquias y solamente el 10% de estas pérdidas se presentan como desechos sólidos (Craig y Helfrich 2002). Como se observa, una gran cantidad de proteína es desaprovechada por el animal y eliminada hacia el medio ambiente en el cual puede generar problemas a los ecosistemas acuáticos como la eutrofización, problemática que resalta la importancia de ofrecer una dieta con materias primas adecuadas y bien balanceadas utilizando las materias primas más digestibles que se puedan encontrar para disminuir estas pérdidas (Piedrahita, 2003).

En el momento de estimar la cantidad de proteína que hará parte de la ración de alimento de los peces se debe tener en cuenta cuales son los requerimientos del animal, recordando que estos dependen de especie, edad, y hábitos alimenticios. Conociendo de antemano estos requerimientos y con considerando que la proteína es el componente más costoso en la dieta de los peces, se procede a balancear una dieta con un contenido óptimo de proteína para asegurar la máxima

eficiencia y la menor cantidad de pérdidas y generación de residuos en el ecosistema acuático por parte de los animales en los sistemas de producción acuícolas (Abdel-Tawwab et al., 2010).

Según Jena et al. (2012) la proteína es uno de los nutrientes más importantes de la dieta que afecta el crecimiento, la supervivencia y el rendimiento de los peces, proporcionando aminoácidos esenciales y no esenciales para sintetizar la proteína corporal. Sin embargo, el requisito de proteína de los peces muestra una diferencia entre especies, etapas de crecimiento, y además otros factores ajenos a los animales pero que van de la mano con el manejo del productor, tales factores son: el agua, la temperatura y el estrés (Abdel-Tawwab et al. 2010).

Para la formulación de dietas tanto para animales terrestres como para peces existen diferentes fuentes de proteína. En los peces, la fuente más utilizada es la harina de pescado, ya que contiene gran cantidad de aminoácidos esenciales (AAE) y su perfil de aminoácidos es muy similar a los requerimientos de los peces (Nyina-Wamwiza et al. 2009).

El contenido de aminoácidos en las proteínas puede ser variable, dependiendo del tipo de materia prima utilizada, es por esto que al momento de balancear un alimento para peces se debe tener en cuenta el tipo de materia prima a utilizar y los requerimientos del animal; además de correlacionar estos datos para saber si con las materias primas a utilizar se obtendrán los resultados en cuanto a crecimiento, eficiencia y reproducción esperados en la producción (NRC National Research Council, 1993. Nutrient Requirements of Fish. National Academy Press & ton, DC 1993), ya que algunas materias primas tienen un perfil de aminoácidos que se acerca mucho a los requerimientos de los peces, como es el caso de la harina de pescado.

3.1.2 LÍPIDOS

Los lípidos son otros de los componentes de la dieta necesarios para los peces, estos desempeñan un papel importante en la nutrición, ya que son una fuente de energía primaria para el animal y además aportan ácidos grasos esenciales, fundamentales para un adecuado desarrollo, crecimiento y funcionamiento de órganos vitales; además de cumplir funciones importantes en cuanto al mantenimiento de las membranas de las células (Gao et al., 2011).

A diferencia de la proteína, el costo de los lípidos no es limitante para su inclusión en la dieta; además, entre los componentes de la dieta son los que mayor cantidad de energía le aportan al animal; sin embargo la inclusión de altas cantidades de lípidos en la dieta pueden ocasionar problemas durante la fabricación de alimento, como baja durabilidad en pellet o dificultad para peletizar la dieta; también genera deterioro temprano del alimento cuando es almacenado durante mucho tiempo (Satpathy et al., 2003).

Aunque en otros experimentos se ha demostrado que los peces prefieren utilizar las proteínas y carbohidratos como fuente de energía, esto no significa que no se deba incluir o que no se impongan restricciones para el uso de los lípidos en la dieta por motivos diferentes a los mencionados anteriormente en los procesos de fabricación del alimento, Vásquez (2004) observó que niveles de lípidos mayores a 8% en la dieta de juveniles de cachama blanca afectaron negativamente el desempeño productivo de los animales.

3.1.3 CARBOHIDRATOS

Los carbohidratos son compuestos formados por almidones y azúcares compuestas por carbono, hidrógeno y oxígeno, dentro de las sustancias que los componen se encuentran la glucosa, maltosa, dextrosa, almidones, sucrosa y celulosa (Vásquez 2004) aunque no resultan ser esenciales en la formulación para alimentos balanceados de los peces, son la fuente de energía más económica disponible, los peces por lo general los acumulan en los músculos y en el hígado principalmente en forma de glucógeno (Craig *et al*, 2002).

Pero aunque son utilizados para disminuir los costos de producción de alimento para los peces, Gao *et al.* (2009) describieron que las especies carnívoras como la trucha hacen uso ineficiente de estos nutrientes. Sin embargo, se siguen utilizando por su mayor accesibilidad en el mercado y por su bajo costo, aunque los excesos de estos pueden generar una acumulación de lípidos poco deseable en los animales.

Honorato *et al.* (2010), sostienen que además de los efectos negativos de la acumulación de grasa por parte de un exceso de carbohidratos, la capacidad de los peces para utilizar dichos nutrientes es cuestionada, ya que los peces son capaces de llenar sus requerimientos de carbohidratos sintetizándolos a partir de proteínas y del glicerol, es por esto que su valor nutritivo en los peces es motivo de estudio.

Sin embargo, no se puede afirmar que la inclusión de carbohidratos en la dieta es innecesaria, ya que desde el punto de vista de eficiencia en la utilización de la proteína, Vásquez (2004) reportó que la inclusión de carbohidratos en la dieta mejoró la eficiencia en el uso de la proteína por parte de los peces, lo que resulta en menores cantidades de nitrógeno vertidas al medio ambiente, lo cual ayuda a disminuir el impacto negativo que tienen las explotaciones acuícolas y anima a los

productores y fabricantes de alimentos balanceados a incluir carbohidratos en la formulación de dietas balanceadas para disminuir las emisiones de nitrógeno amoniacal total (NAT) al ambiente.

En el caso de los peces omnívoros, Shiau (1997) demostró que pueden tener una mayor eficiencia cuando son alimentados con raciones que contienen altos contenidos de carbohidratos en la dieta, los cuales utilizan como fuente de energía. Esta diferencia en la utilización de los carbohidratos entre especies omnívoras y carnívoras es debida a que la actividad intestinal de la enzima responsable de hacer disponibles a los almidones, es mayor en peces omnívoros como tilapias, carpas y bagres de canal, que en peces carnívoros como la trucha, la anguila y los salmones. También existen diferencias por efecto de la temperatura del agua; las especies de climas tropicales usan más eficientemente el almidón que las especies de agua fría ya que la mayor temperatura del agua favorece la actividad de las enzimas en el tracto digestivo de tales especies (Gao et al. 2009).

3.1.4 ENERGÍA

La energía no es un nutriente, esta se libera durante la oxidación de los carbohidratos, grasas y aminoácidos. Los requisitos de energía por parte del animal pueden ser establecidos midiendo el consumo de oxígeno o la producción de calor de los animales (NRC National Research Council, 1993. Nutrient Requirements of Fish. National Academy Press & ton, DC 1993).

La energía que está en el alimento se puede dividir en muchos componentes cuando ingresa al organismo y dentro de este se pueden producir pérdidas de esa energía en: pérdidas en heces, pérdidas en la orina, pérdidas por las branquias y pérdidas en forma de calor. Para obtener el máximo rendimiento de los peces lo más adecuado es minimizar las pérdidas de energía que se entrega en el

alimento, esto se hace básicamente, balanceando adecuadamente según los requerimientos de los animales (NRC National Research Council, 1993. Nutrient Requirements of Fish. National Academy Press & ton, DC 1993).

Hasta el momento existe relativamente poca información útil sobre requerimientos de energía en dietas artificiales para peces, especialmente para las especies tropicales de agua dulce. Sin embargo, se tienen bien identificados varios factores que influyen en el requerimiento energético. Algunos de estos son:

- a) La temperatura del agua. La tasa metabólica y consecuentemente los requerimientos de energía para el mantenimiento aumentarán con el incremento de la temperatura.
- b) El tamaño del animal. Los requerimientos energéticos son inversamente proporcionales al tamaño del animal.
- c) El estado fisiológico. Los requerimientos energéticos aumentan durante los periodos de producción gonádica y actividad reproductiva.
- d) La calidad del agua y el estrés. Los contaminantes, el aumento de la salinidad, bajas concentraciones de oxígeno disuelto y un confinamiento excesivo, aumentan los requerimientos energéticos para mantenimiento (Vásquez, 2004).

3.1.5 RELACIÓN PROTEÍNA-ENERGÍA

Cuando se balancea una dieta para animales se procura brindar los elementos necesarios para que estos puedan llevar a cabo sus funciones normales como el desarrollo de tejidos, pero también que sirvan como fuente de energía para otras funciones como la absorción de nutrientes y demás funciones en su ciclo de vida normal (Craig y Helfrich, 2002; Diemer et al., 2014).

Mohanta et al. (2009) comentó que el exceso de energía con respecto a la cantidad de proteína presente en la dieta puede dar como resultado una

deposición de grasa elevada, reducción en el consumo de alimento y disminución en la ganancia de peso de los animales.

También se ha demostrado que a causa del desbalance entre estos dos componentes de la dietas (energía y proteína), en este caso por exceso de proteína, llevan a que el animal comience a utilizar los aminoácidos de la proteína como fuente de energía, generando así un exceso de NH_3 expulsado por el pez lo que conlleva a una contaminación del medio (Vásquez, 2004).

3.2 USO DE FUENTES ALTERNATIVAS DE PROTEÍNA EN LA NUTRICIÓN DE PECES

En la actualidad las proteínas de origen vegetal representan la principal fuente de este nutriente en alimentos para especies de peces herbívoros y omnívoros (tilapias, carpas, bagres) (Tacon, 2011).

Muchas especies tropicales, gracias a su fisiología han desarrollado hábitos alimenticios omnívoros, como es el caso de las cachamas, tanto la blanca (*Piaractus brachypomus*), como la negra (*Colossoma macropomum*) muestran preferencias por alimentarse de frutos y semillas, especialmente cuando las épocas de las inundaciones hacen de estas mucho más abundantes; no obstante, cuando la aguas bajan y estas fuentes alimenticias escasean pueden obtener su alimento de otras fuentes como caracoles, carroña y plancton (Vásquez, 2004). Con esta información, si los criadores desarrollaran alternativas alimenticias para su propios sistemas de producción, serían capaces de brindar a sus animales una alimentación saludable, y podrían reducir los costos de producción al fabricar su propio alimento con fuentes de proteína mucho más económicas que la harina de pescado (Bag et al., 2012).

El reemplazo de la harina de pescado en la nutrición de los peces por proteínas vegetales sería beneficioso para la industria ya que esto reduciría los costos de alimentación en las producciones alrededor del mundo. Proteínas, como por ejemplo la de soya, que están disponibles y son claramente mucho menos escasas que la harina de pescado, se deberían comenzar a implementar en mayor proporción en los concentrados para peces (Zhao *et al.*, 2010).

La harina de soya es la fuente más común de proteína vegetal utilizada en la formulación de alimentos concentrados para peces, utilizada generalmente para las especies herbívoras y omnívoras. Otras proteínas de origen vegetal cada vez más utilizadas son los subproductos de maíz y otros cereales, legumbres, y harinas de semillas oleaginosas (Tacon, 2011). A partir de estas inquietudes y observando los niveles de producción de plantas con niveles de proteína aptos para el consumo de los peces, los productores podrían apoyarse para el desarrollo de nuevas dietas balanceadas para sus sistemas de producción, y a su vez, reducir el costo de producción, maximizar su eficiencia y reducir el impacto que su actividad genera al medio ambiente.

Con el precio de la harina de pescado cada día más en aumento, la inclusión de materias primas no convencionales, en especial de proteína de origen vegetal, en las formulaciones para alimentos balanceados de peces es cada vez mayor, viéndose limitada muchas veces por la oferta de la materia prima o por la composición nutricional de la misma. Sin embargo, se calcula que la demanda prevista de proteína de soya para organismos acuáticos en el año 2020 será aproximadamente de más de 2,8 millones de toneladas (Tacon, 2011). Por lo anterior es necesario buscar y evaluar nuevas materias primas como alternativas para reemplazar la harina de pescado como fuente proteica en dietas balanceadas para peces.

3.2.1 Botón de oro (*Tithonia diversifolia*)

El botón de oro es una planta forrajera originaria de Centro América, la cual ha sido diseminada a lo largo de todo el trópico alrededor del mundo, y posee características apreciables: excelente productividad (hasta 55 ton/hect/año), baja exigencia en suelos y gran capacidad para captar nitrógeno (alto valor proteico) y buen contenido de proteína bruta (22-25%) (Mahecha et al., 2016), que la han ubicado como una gran elección a la hora de complementar planes nutricionales tanto de monogástricos como de rumiantes (Alberto et al., 2014; Verdecia et al., 2011) (Tabla 1).

Además de sus excelentes cualidades, *T. diversifolia*, también presenta algunos factores anti nutricionales, tales como taninos condensados, saponinas y fenoles totales; sin embargo se encuentran en bajas cantidades sin afectar el consumo y los parámetros productivos (Galindo et al., 2011).

Tabla 1. Composición bromatológica de Botón de Oro (*Tithonia diversifolia*)

Materia Prima	Humedad%	PB%	EE%	CZ%	FC %
Botón de Oro <i>(Tithonia diversifolia)</i>	81,1	21 -28	6	17	15

(Mahecha y Rosales, 2005)

PB % Porcentaje de proteína bruta, EE% Porcentaje de extracto etéreo, CZ% porcentaje de cenizas, FC% porcentaje de fibra cruda

3.2.2 Morera (*Morus alba*)

La morera es un árbol usado tradicionalmente en la producción de seda a lo largo del trópico, es conocido también por ser rico en proteína (15 a 25%) (Tabla 2). La morera es una planta exigente en su cultivo, por lo cual luego de cada corte se deben tener planes de abonamiento acorde a los requerimientos de las plantas para así poder obtener los rendimientos de 35 ton/hectárea/año de materia seca (Benavides, 1998). La composición química de la morera presenta gran cantidad de metabolitos secundarios, entre los cuales se encuentran; fenoles, triterpenos, carbohidratos reductores solubles, saponinas y alcaloides entre otros, metabolitos que pueden afectar tanto de manera negativa como positiva el desempeño productivo de los peces (García et al., 2003).

Tabla 2. Composición bromatológica de Morera (*Morus alba*)

Materia Prima	Humedad%	PB%	EE%	CZ%	FC %
Morera (<i>Morus alba</i>)	74	15 -20	3	20	19

(Botero Londoño, 2004). PB % Porcentaje de proteína bruta, EE% Porcentaje de extracto etéreo, CZ% porcentaje de cenizas, FC% porcentaje de fibra cruda

3.2.3 *Cratylia (Cratylia argentea)*

C. argentea, es un arbusto originario de la amazonia, que se encuentra tanto en Brasil, como en Perú y en el norte de Argentina, con exigencias nutricionales medias para su cultivo y con una muy buena adaptación a suelos ácidos; su contenido de proteína, se encuentra entre 20 y 25% (Wilson et al., 1995) (Tabla 3). Su capacidad productiva es de aproximadamente 30 toneladas/hect/año,

siempre que su manejo sea el adecuado con respecto a su nivel de fertilización y programa de riegos. También se destaca su tolerancia a la sequía (Llanero et al., 2007).

Tabla 3. Composición bromatológica de la Cratylia (*Cratylia argentea*)

Materia Prima	Humedad%	PB%	EE%	CZ%	FC %
Cratylia <i>(Cratylia argentea)</i>	72	15 -18	2,5	21,4	15,6

(Meza-Eraso, 2006). PB % Porcentaje de proteína bruta, EE% Porcentaje de extracto etéreo, CZ% porcentaje de cenizas, FC% porcentaje de fibra cruda

3.4 Coeficiente de digestibilidad aparente

La digestibilidad es uno de parámetros utilizados para medir el valor nutricional de los distintos insumos destinados a alimentación acuícola, debido a que no es suficiente que la proteína u otro elemento se encuentre en altos porcentajes en el alimento (o en materias primas) sino que debe ser digestible (disponible) para que pueda ser asimilado y, de esta manera, aprovechado por el organismo que lo recibe. La digestibilidad, por lo tanto, constituye una excelente medida de calidad y ello ha generado la idea medirla de diferentes formas, *in vitro* al someter las proteínas a una digestión artificial por pepsina que es una enzima que se encuentra en el estómago de los animales superiores o *in vivo* Manríquez, J. A. (1994).

Medición *In Vivo*

Consistente en la recolección cuantitativa de las heces de los animales que corresponden a uno o muchos alimentos, una de sus ventajas es que se puede usar tanto en dietas vivas como en alimentos balanceados, cuantificando los nutrientes aportados por la dieta y excretados en las heces, y por diferencia obtener el porcentaje de nutrientes asimilado por el organismo. La mayor desventaja de este método, es que se debe recolectar la totalidad del material excretado por los peces, lo que en la práctica es muy difícil de hacer, además no es posible asegurar que todos los elementos excretados son aportados por el alimento ofrecido a los animales. (Choubert *et al.*, 1979).

El proceso digestivo en las especies acuícolas piscícolas se debe a la acción de distintas enzimas digestivas, dentro de las que se encuentran, las enzimas proteolíticas (endoproteasas, exoproteasas y peptidasas) que presentan una actividad extremadamente elevada, superior o igual a la de los vertebrados omnívoros (Gutiérrez, *et al* 2011)

La calidad de un alimento balanceado, va a estar predeterminada por los elementos que lo componen, además de la capacidad que tiene la especie de absorber los nutrientes y la energía que el alimento contiene para balancear una ración eficiente y que cumpla con el objetivo de. satisfacer los requerimientos de nutrientes y energía del individuo con el menor impacto ambiental posible (Boyd *et al.*, 2007).

Conocer la composición nutricional de cada materia prima a utilizar es fundamental para formular raciones nutritivamente eficientes y además responsables con el medio ambiente; para esto es importante determinar y utilizar los coeficientes de digestibilidad de cada uno de los elementos a incluir en la ración (Vásquez, 2004).

En la actualidad la producción de las especies que más se consumen, sobretodo en los países más desarrollados, dependen casi en su totalidad de la utilización de alimentos concentrados, los cuales aparte de representar la porción más grande de los costos de producción, son también los mayores productores de materia orgánica, amoníaco y fósforo, factores que afectan negativamente la calidad del agua, y por ende, la calidad de los ecosistemas utilizados por estas producciones (Boyd et al., 2007).

El exceso de nutrientes en el agua de cultivo, es generado por la excreción de los peces, por lo general el animal aprovecha entre un 10% a un 20% de los nutrientes en el tracto gastrointestinal, excretando el resto en forma de CO₂ y nitrógeno amoniacal total (NAT). De otra parte, se debe hacer un cálculo correcto de cuánto alimento ofrecer a los animales, ya que los excesos de alimento junto con las heces se acumulan en el fondo de los estanques en donde favorecen el crecimiento de bacterias anaerobias, las cuales en un futuro pueden convertirse en un problema para el sistema de producción por la eutrofización del sistema. Por lo anterior, prácticas adecuadas de alimentación y un alimento de excelente calidad se transforman en herramientas indispensables a la hora de disminuir el impacto de la acuicultura en el medio ambiente (Boyd et al., 2007).

3.5 Fisiología digestiva de la Cachama Blanca.

Los distintos hábitats en los que se puede encontrar la cachama blanca, ofrecen una gran variedad de fuentes alimenticias, las cuales van desde plantas acuáticas hasta frutos y semillas de los arboles (Vásquez, 2004), lo que ha desencadenado a lo largo del tiempo, sus hábitos omnívoros con tendencia frugívora (Lucas, 2008).

Es precisamente por la gran diversidad de alimentos disponibles que cobra una gran relevancia el estudio y conformación de la fisiología digestiva de los peces,

ya que al disponer de tal variedad de fuentes alimenticias, su tracto digestivo debe estar preparado para obtener la mayor cantidad de nutrientes posibles que garanticen suplir los requerimientos nutricionales de los animales (NRC, 1993).

Al igual que los demás peces, el sistema digestivo está compuesto por una cavidad bucal y un tubo digestivo el cual se encuentra cubierto por una pared muscular (Vásquez, 2004). Histológicamente el tubo digestivo de los peces es menos complejo que el de otros organismos superiores, constando este de cuatro capas (mucosa, submucosa, muscular y serosa) (Mendoza et al., 2013). La mayor función del tracto digestivo, es digerir y absorber el alimento consumido de manera que el animal pueda utilizar los mismos para llenar sus requerimientos nutricionales (Vásquez-Torres et al. 2002).

Histológicamente en el intestino se pueden encontrar las siguientes estructuras.

Túnica mucosa: consiste en el epitelio mucoso que da hacia la luz del órgano, seguido de lámina propia (intermedia), la cual es un tejido conectivo vascularizado que contiene nervios y leucocitos, y por último la muscularis mucosae en la parte más externa. Submucosa: es una capa adicional de tejido conectivo, con menos celularidad que la primera capa, presenta vasos sanguíneos, tejido linfático y plexos nerviosos. Túnica muscularis (muscular): consiste en una capa de músculo (liso o estriado) distribuida de manera circular (interior) y longitudinal (exterior), algunos peces poseen una capa de músculo oblicuo (lampreas). Túnica serosa: se encuentra dentro de la cavidad celómica, está constituida por células mesoteliales y tejido conectivo laxo, con vasos sanguíneos y se encuentra rodeada por un epitelio escamoso peritoneal Mendoza *et al* (2013)

A lo largo del tracto digestivo podemos encontrar unas estructuras llamadas vellosidades intestinales, las cuales son las encargadas de la absorción de los nutrientes que se encuentran disponibles en el intestino; entre mayor sea su

tamaño (altura), mayor será la superficie que estas tendrán disponible para absorber los nutrientes que provienen del alimento (Rodriguez *et al* 2012).

El consumo de diferentes alimentos y fracciones de nutrientes (fibra, proteína, lípidos entre otros) por parte de los peces, puede afectar y modificar el tamaño y capacidad de absorción de las vellosidades intestinales, acción que genera un efecto directo en el desempeño zootécnico de los peces (Rodriguez *et al*, 2013).

4. METODOLOGÍA

Consideraciones éticas

El proyecto contó con aval del Comité de Ética de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín (CEMED 018 del 10 de marzo de 2014).

4.1 Localización

El experimento se llevó a cabo en el Laboratorio Experimental de Alimentación y Nutrición de Peces (LEANP), y en el Laboratorio de Ictiopatología, los cuales se encuentran en el Instituto de Acuicultura de la Universidad de los Llanos (IALL) ubicado en el kilómetro 4 vía Puerto López, en la vereda Barcelona de la ciudad de Villavicencio en el departamento del Meta (Colombia) a 418 msnm. La temperatura promedio anual es de 25°C, la precipitación de 4050mm y la humedad relativa de 75%.

4.2 Dietas experimentales

Las dietas utilizadas en este experimento para determinar el coeficiente de digestibilidad aparente (CDA) de cada materia prima, fueron elaboradas con base en una dieta referencia (DR) (Tabla 4) propuesta por Vásquez-Torres et al. (2002) y se mezcló con cada una de las materias primas Botón de Oro (DBO), Cratylia (DCR), Morera (DMO) en proporción 7:3. Como marcador inerte se utilizó óxido de cromo III (Cr_2O_3) en una razón de 0,5% de la dieta (Tabla 5).

Para la elaboración de las dietas, se obtuvieron hojas verdes con tallos de las materias primas. La Morera se cortó a los 60 días (García *et al* 2013). La Cratylia fue cortada a los 60 días (Llanero *et al* 2007) y por último el Botón de Oro fue cortado a los 50 (Galindo *et al* 2011) días después de su último corte. Todas las

materias primas se consiguieron verdes, fueron sometidas a secado natural al sol, luego fueron sometidas a molienda (0,3- a 0,4 mm); posteriormente se enviaron al Laboratorio de Análisis Químico y Bromatológico de la Universidad Nacional de Colombia (Sede Medellín), para análisis proximal (Tabla 4).

Tabla 4. Análisis proximal de las materias primas utilizadas para evaluar su digestibilidad en Cachama blanca.

Materia Prima	MS%	PB%	EE%	CZ%	EB Kcal/kilo MS
Botón de Oro (DBO)	96,6	23,1	2,2	16,9	3907,2
Morera (DMO)	98,3	27,2	2,1	20,7	4163,2
Cratylia (DCR)	99.0	16,5	2,1	5,8	4692,2

Fuente: Los autores. PB % Porcentaje de proteína bruta, EE% Porcentaje de extracto etéreo, CZ% porcentaje de cenizas, FC% porcentaje de fibra cruda, EB Kcal/kilo MS Energía bruta en kilocalorías por kilo de materia seca

Cuando las materias primas estuvieron secas y molidas, se mezclaron con los demás ingredientes de la dieta de referencia, en una proporción dieta referencia:materia prima de 7:3. Las dietas experimentales pasaron por un proceso de extrusión, secadas al horno por 12 horas a 60°C y luego almacenadas a 4°C hasta su distribución. Las muestras que se tomaron de las materias primas, dieta referencia y dietas experimentales, fueron almacenadas correctamente en bolsas selladas hasta el momento de su procesamiento.

La tabla 5 presenta la composición de la dieta referencia utilizada en las determinaciones de digestibilidad.

Tabla 5. Composición de la dieta referencia DR

Ingredientes	(g/100g dieta)
Caseína	33,3
Gelatina	3,4
Dextrina	40
Alfa-celulosa	14,1
Aceite de pescado	2,4
Aceite Vegetal	2,4
Pre-mezcla vitaminas	0,2
Pre-mezcla microminerales	0,1
Pre-mezcla macrominerales	4
Vitamina C	0,1

Vásquez, 2012

La tabla 6 presenta la composición proximal de las dietas de referencia y experimentales utilizadas en el presente experimento.

Tabla 6. Composición proximal de la dieta referencia y de las dietas experimentales utilizadas en Cachama blanca

Dietas	MS%	PB%	EE%	CZ%	EB Kcal/Kg
Refencia (DR)	95,4	32,8	7,9	4,0	4632,9
Botón de Oro (DBO)	97,8	29,2	8,2	7,8	4492,2
Morera (DMO)	98,1	28,2	10,4	7,3	4420,3
Cratylia (DCR)	98,4	27,4	8,6	4,6	5008,3

Fuente: Los autores

PB % Porcentaje de proteína bruta, EE% Porcentaje de extracto etéreo, CZ% porcentaje de cenizas, FC% porcentaje de fibra cruda, EB Kcal/kilo MS Energía bruta en kilocalorías por kilo de materia seca

4.3 Diseño Experimental

Se utilizaron 180 juveniles de cachama blanca con un peso inicial de 210 ± 10 g obtenidos de los estanques de levante del Instituto de Acuicultura de la Universidad de los Llanos (IALL), lugar en el que fueron alimentados con un alimento comercial para peces (32% de proteína bruta).

Parámetros de crecimiento

Los peces fueron pesados (g) y determinada la longitud total (cm) en cada uno de los tiempos de muestreo y se determinó la ganancia de peso (g/día)

Determinación de los coeficientes de digestibilidad aparente.

Las cachamas se distribuyeron en lotes homogéneos y se depositaron en tres piletas circulares cada una con capacidad de 3500 L, las cuales a su vez sirvieron como sitio de adaptación para los peces. Mientras los peces permanecían en estas piletas se alimentaron con la dieta referencia (DR) durante cinco días y luego en cada pileta se suministró la dieta experimental (DBO), (DCR) y (DMO), este suministro se hizo hasta saciedad aparente (mañana y tarde) por un periodo de 15 días; luego de la última alimentación del día 15, se seleccionaron 20 peces de cada tratamiento; los cuales fueron depositados en tanques cónicos de 200 L para determinar la digestibilidad (sistema Guelph modificado). Los tanques cónicos en los cuales fueron depositados los peces contaban con un sistema de recirculación compuesto por cuatro biofiltros ubicados en serie, lo que permitía mantener un flujo constante de 1L/min/tanque. El oxígeno disuelto se mantuvo en 7,9 ppm gracias a una permanente aireación; mientras que otros parámetros fisicoquímicos del agua se mantuvieron en el rango de cultivo para la especie como temperatura (25 °C); pH (7,1), dureza total (mayor de 40 ppm); y nitritos, nitratos y amonio (debajo de 0,02 ppm).

Luego de pasadas 10 horas en los tanques cónicos de 200 L (tanques de digestibilidad), tiempo en el cual el alimento ha recorrido el tracto gastrointestinal, se comenzaron a coleccionar las heces con intervalos de una hora, durante 12 horas.

Análisis de las heces. Las heces que se coleccionaron de los tanques de digestibilidad se le retiró el agua que contenía en exceso y de inmediato fueron secadas en una estufa (Marca, País) a temperatura de 60°C por 24 horas. Una vez las muestras estuvieron secas, se pulverizaron y luego se congelaron para posteriormente realizar los respectivos análisis de laboratorio (proteína, energía y contenido de óxido de cromo).

La determinación de la proteína se llevó a cabo con el método de Kjeldah. El valor energético de las materias primas fue medido en una bomba calorimétrica (Marca, País) y para medir la concentración de óxido de cromo se utilizó el método de digestión acida propuesto por (Furukawa, 1966).

Para la determinación de los coeficientes de digestibilidad aparente de las diferentes materias primas utilizadas en el experimento se utilizó el método indirecto propuesto por Cho et al.(1985).

En la determinación del coeficiente de digestibilidad aparente de la proteína y de la energía de todas las dietas se calcularon utilizando la ecuación de Nose(1966):

$$CDANut (\%) = 100 - \left(100 \times \left(\frac{\% Cr 2O3h}{\% Cr 2O3d} \times \frac{\% Nuth}{\% Nutd} \right) \right)$$

Dónde:

CDANut = Coeficiente de digestibilidad aparente del nutriente

%Cr₂O₃ d= Porcentaje de óxido de Cromo de la dieta.

%Cr₂O₃ h = Porcentaje de óxido de Cromo en las heces

% Nut *d* = Porcentaje de nutriente en la dieta

% Nut *h* = Porcentaje de nutriente en las heces

La digestibilidad total de cada materia prima se estableció por el método de la diferencia, teniendo en cuenta la ecuación descrita por Bureau, *et al* (2006).

$$CDAMP = CDANutde + \left[CDANutde - CDANutds \cdot \begin{matrix} X \cdot Dds \\ Y \cdot Ding \end{matrix} \right]$$

Dónde:

CDAMP = Coeficiente de digestibilidad de la materia prima

CDANutde = Coeficiente de digestibilidad aparente del nutriente dentro de la dieta experimental

CDANutds = Coeficiente de digestibilidad aparente dentro de la dieta semipurificada

Dds = Porcentaje del ingrediente dentro de la dieta semipurificada

Ding = Porcentaje del nutriente en la materia prima evaluada

Determinación del efecto del consumo de las dietas sobre la morfología de las vellosidades intestinales:

De cada dieta experimental se tomaron seis peces a los 0, 5 y 10 días para sacrificio y obtención de muestras de intestino. Día cero, tiempo inicial, en el cual se distribuyeron los peces en las tres piletas. De esta forma se estableció la condición inicial de los peces; día cinco, luego de cinco días de haber consumido las dietas con las respectivas materias primas;

día diez, luego de 10 días de haber consumido las dietas con las respectivas materias primas para determinar si hubo cambios en su estructura, tanto en las vellosidades del intestino anterior, como en su longitud total.

Para la obtención de las diferentes muestras de intestino, los peces fueron previamente anestesiados con aceite de clavo a razón 60 mg/L hasta que se observó pérdida del eje horizontal. El abordaje a la cavidad celómica se realizó mediante un corte parabólico ascendente para exponer el tracto gastrointestinal. Se retiró todo el paquete de vísceras y se tomó cuidadosamente el tracto gastrointestinal por completo, separando el intestino para proceder a su pesaje e identificación; luego se preservó con formaldehído bufferado al 4%. Se realizó fijación en bloques de parafina y cortes de 3 μm en micrótopo y se realizó la tinción con hematoxilina-eosina (H-E). Una vez obtenidos los cortes con tinción se realizó la toma de material fotográfico del intestino anterior con microscopio (10x9 de luz Nikon Eclipse E600; cámara Nikon Cam DMX 1200, y el uso del *software* de captura y manejo de imágenes (ACT-1®). La longitud de los vellosidades intestinales se midió desde la base de la vellosidad hasta el ápice que se encuentra hacia el lumen del órgano, y la amplitud se tomó de su parte basal, tomando en promedio 10 vellosidades por campo de microscopio.

4.4 Diseño y análisis estadístico

Los tratamientos asignados a las unidades experimentales tuvieron una estructura factorial, en la cual los factores en cuestión fueron Materia prima (Botón de Oro, Morera y Cratylia) y tiempo (0 días, 5 días y 10 días de consumo) cada uno con tres niveles; el esquema de aleatorización fue completamente al azar con tres repeticiones por tratamiento. Las variables medidas bajo la anterior premisa fueron altura de vellosidades, peso pez, longitud del pez y peso del intestino.

Se usó el software SAS 9.1, y se verificó el cumplimiento del supuesto de normalidad de los errores. Para el caso de las ganancias de peso y el análisis de los coeficientes de digestibilidad de las materias primas se utilizó un modelo Lineal General (GLM) bajo un esquema de aleatorización completamente al azar, en donde solo había un factor a probar. Se eligió un nivel de significancia del 5%; en los casos en que se hallaron diferencias significativas se llevaron a cabo las correspondientes pruebas de Tukey.

5. RESULTADOS

En general los peces que consumieron las diferentes dietas presentaron un buen estado de salud, y no presentaron signo alguno de enfermedad que causara su retiro y/o sacrificio inmediato. Además al nivel en que se fijó el suministro diario de alimento no hubo sobrantes ni desperdicio.

Morfología de los peces

Los datos obtenidos para la variable peso intestino arrojan una diferencia significativa ($P=0,0373$) mostrando los intestinos con un mayor peso en los animales que consumieron las dietas experimentales que contenían Harina de Morera.

En cuanto a la ganancia de peso de los animales, no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos $p > 0,05$, aunque con la dieta con harina de Morera, los peces ganaron más peso, pero no se presentó diferencia estadísticamente significativa (Tabla 7).

Tabla 7. Crecimiento de Cachama blanca alimentadas con dietas experimentales basadas en Botón de Oro, Morera o Cratyliá.

Parámetros	Botón de Oro	Morera	Cratyliá
Peso inicial (g)	210,7 ± 16,5 ^a	210,7 ± 16,5 ^a	210,7 ± 16,5 ^a
Peso final (g)	226,4 ± 18,5 ^a	218,8 ± 17,83 ^b	213,9 ± 14,86 ^b
Longitud inicial (cm)	21,7 ± 0,9 ^a	21,7 ± 0,9 ^a	21,7 ± 0,9 ^a
Longitud final (cm)	21,9 ± 1,50 ^a	22,4 ± 1,45 ^a	21,5 ± 1,28 ^a
Ganancia de peso (g/día)	2,56 ± 0,9 ^a	2,76 ± 0,85 ^a	1,32 ± 1,00 ^a
Longitud inicial (cm)	21,7 ± 0,9 ^a	21,7 ± 0,9 ^a	21,7 ± 0,9 ^a
Longitud final (cm)	21,9 ± 1,50 ^a	22,4 ± 1,45 ^a	22,4 ± 1,45 ^a

^{A,B,C} Dentro de una misma fila medias con un superíndice común no difieren estadísticamente ($P < 0.05$).

Los efectos del factor B (Tiempo 0, Tiempo 1 y Tiempo 2) sobre la variable peso de la cachama blanca, presentó una diferencia significativa ($P= 0,005$) observando un valor más alto en el tiempo final (Tabla 8). La longitud de las cachamas fue afectada por el factor B, con diferencia significativa ($P=0,0216$) para el Tiempo 2 siendo este el valor más alto. La variable peso intestino mostró un valor más alto para T2, observando diferencia significativa ($P=0,0112$) con respecto a los demás tiempos como se observa en la Tabla 8.

Tabla 8. Efecto del tiempo de consumo de las dietas experimentales sobre los parámetros de crecimiento de Cachama blanca

	Tiempo 0	Tiempo 1	Tiempo 2
Peso Pez (g)	210,7 ± 16,5 ^a	219,1 ± 16,5 ^a	229,4 ± 15,3 ^b
Longitud Pez (cm)	21,7 ± 0,9 ^a	21,4 ± 1,7 ^a	22,7 ± 1,2 ^b
Peso Intestino (g)	8,3 ± 0,9 ^a	9,0 ± 1,4 ^a	10,2 ± 2,1 ^b

^{A,B,C}Dentro de una misma fila medias con un superíndice común no difieren estadísticamente ($P < 0.05$).

Morfología de las microvellosidades de la cachama blanca

En el caso de la altura de las vellosidades del intestino anterior, no se observaron interacciones entre el factor A (Materia Prima: Harina de Botón de Oro, Harina de Morera y Harina de Cratylia) y el factor B (0 días, 5 días y 15 días); entonces se analizaron los efectos principales por separado encontrando un efecto principal significativo estadísticamente del factor A ($P= 0,0210$) sobre la altura de las vellosidades, siendo este mayor en las dietas que contenían Harina de Morera, como se evidencia en la tabla 9.

Tabla 9. Efecto de la inclusión de Botón de Oro, Cratylia y Morera sobre la altura de las vellosidades intestinales en Cachama blanca *Piaractus brachypomus*

	D Botón de Oro	D Morera	D Cratylia
Altura vellosidades inicial (μm)	637,2 \pm 104 ^a	637,2 \pm 104 ^a	637,2 \pm 104 ^a
Altura Vellosidades final (μm)	561,7 \pm 189,2 ^a	687,4 \pm 237,2 ^b	564,6 \pm 124,3 ^a

^{A,B,C}Dentro de una misma fila medias con un superíndice común no difieren estadísticamente ($P < 0.05$).

Al evaluar el efecto del factor B (Tiempo 0, Tiempo 1 y Tiempo 2) sobre la altura de las vellosidades del intestino anterior, se observa también un efecto principal significativo ($P=0,033$) encontrándose el menor valor en la primera medición luego de cinco días de estar consumiendo las dietas experimentales con las materias primas (Tabla 10).

Tabla 10. Efecto del tiempo de consumo de las dietas experimentales sobre la altura de las vellosidades intestinales en Cachama Blanca *Piaractus brachypomus*

	Tiempo 0	Tiempo 1	Tiempo 2
Altura vellosidades (μm)	637,2 \pm 104 ^a	474,5 \pm 143,9 ^b	702,0 \pm 240,4 ^a

^{A,B,C}Dentro de una misma fila medias con un superíndice común no difieren estadísticamente ($P < 0.05$).

Coefficientes de digestibilidad total aparente

En la tabla 11 se muestran los coeficientes de digestibilidad total aparente para materia seca, proteína y energía de cada una de las materias primas evaluadas.

Tabla 11. Coeficientes de digestibilidad de diferentes nutrientes para el Botón de Oro, Cratylia y Morera en Cachama blanca *Piaractus brachypomus*

CDA (%)	Botón de Oro	Morera	Cratylia
CDA MS	67,38 ± 1,51 ^a	18,13 ± 5,20 ^b	16,04 ± 1,97 ^b
CDA PB	69,42 ± 0,81 ^a	30,06 ± 3,76 ^b	44,84 ± 4,25 ^b
CDA EN	67,37 ± 1,35 ^a	10,75 ± 5,87 ^b	34,27 ± 0,57 ^c

^{A,B,C}Dentro de una misma fila medias con un superíndice común no difieren estadísticamente (P < 0.05).

CDA % = Coeficiente de digestibilidad aparente en porcentaje

CDA MS = Coeficiente de digestibilidad aparente de la materia seca.

CDA PB = Coeficiente de digestibilidad aparente de la proteína bruta.

CDA EN = Coeficiente de digestibilidad aparente de la energía neta.

Los CDA para MS, PB y EN, fueron diferentes estadísticamente (p<0.05) y superiores para la dieta que incluía botón de oro.

Para la digestibilidad de nutrientes que se presentan en la tabla 11, se presentaron diferencias significativas entre las materias primas de origen vegetal utilizadas en el experimento (p < 0,05) en donde la materia prima Botón de Oro arrojó los valores más altos para cada una de las variables en estudio.

6. DISCUSIÓN

Coeficiente de digestibilidad aparente

Para la formulación de raciones completas, tanto para acuicultura como para cualquier especie, es necesario conocer entre muchos otros, los componentes químicos, problemas de palatabilidad e inclusive los factores anti nutricionales que puedan tener las materias primas utilizadas, factores que pueden ser determinantes en cuanto a los resultados finales (Glencross et al., 2007). Junto con el conocimiento de las características y composición de las materias primas a

usar en la formulación de alimentos balanceados, también se deben tener muy claros los requerimientos nutricionales de los animales (Bicudo et al., 2009) con el conocimiento entonces de esta información se puede proceder a formular las dietas adecuadas para cualquier tipo de especie.

Las cachamas son peces de agua dulce, las cuales basan su alimentación en su medio ambiente natural en frutos y demás fuentes herbívoras que puedan encontrar a su alcance, por esto su facilidad para obtener nutrientes de diferentes tipos de materias primas de origen vegetal (Da Silva et al., 2003). Además con los datos obtenidos por Correa et al. (2014) se puede observar la capacidad que tiene la cachama blanca para adaptarse a diferentes ecosistemas y además adaptar sus hábitos alimenticios a estos diferentes ecosistemas. Sin embargo, es necesario determinar la digestibilidad de cada materia prima que pretenda ser usada en las dietas para cachama blanca.

En la variable de ganancia de peso diaria, aunque no se observó diferencia estadísticamente significativa ($p > 0.05$) entre las materias primas utilizadas en las dietas experimentales, se resalta que los peces que recibieron el alimento con la dieta que contenía morera fueron los peces que más peso ganaron durante la realización del experimento.

Además, reportó que los resultados zootécnicos obtenidos en cachama Blanca, cuando se usó botón de Oro y morera fueron mucho menores que cuando se usó la dieta testigo, lo que indica que se debe profundizar más en el completo conocimiento de una materia prima que se va a incluir en la alimentación de la cachama para no interferir con el desarrollo normal del pez. No obstante, utilizando Botón de Oro y Morera en el cultivo de tilapia, Castro (2012) encontró mejores resultados zootécnicos en tilapia nilótica, incluyendo en sus dietas Botón de Oro y Morera que con el uso de un alimento balanceado convencional,

mostrando así que es posible reemplazar un porcentaje de harina de pescado por materias primas proteicas alternativas de origen vegetal.

Especies como la tilapia, tal como lo presentan Richter et al. (2003), al ser sometidas a tratamientos con diferentes inclusiones de morera, demuestra disminución en el crecimiento, sobre todo, en las primeras etapas en las que los animales comienzan a recibir la dieta, efecto generado por la adaptación del intestino y sus vellosidades a la nueva materia prima que contiene el alimento. Dado el corto tiempo de duración de los experimentos para determinar los coeficientes de digestibilidad aparente (15 días), se podría pensar que es necesario un tiempo más prolongado de exposición a cada una de las materias primas para determinar cambios adaptativos en su morfología intestinal.

Los porcentajes de digestibilidad de la materia seca obtenidos para cada una de las materias primas usadas en este experimento, sugieren que solo el botón de oro, refleja un comportamiento parecido al de otras materias primas de origen vegetal utilizadas más frecuentemente en la formulación de alimentos balanceados, con un valor de 67,38% superando incluso los coeficientes de digestibilidad de la soya integral (CDA MS 44,2%) y de la torta de girasol (CDA MS 52,3%) reportadas por Vásquez-Torres et al. (2013); además de evidenciar diferencias significativas con respecto a los coeficientes de digestibilidad de la materia seca con la morera y la Cratylia, materias primas que arrojaron valores muy por debajo a las materias primas de origen vegetal más comúnmente utilizadas en la formulación de alimentos balanceados.

Los valores observados en cuanto a los coeficientes de digestibilidad de materia seca (67,38% para el Botón de Oro, 18,13% para la Morera, 16,04% para la Cratylia) , proteína bruta (69,42% para el Botón de Oro, 30,06% para la Morera, 44,84 % para la Cratylia) y energía (67,37% para el Botón de Oro, 10,75% para la Morera, 34,27 % para la Cratylia) de las tres materias primas utilizadas en las

dietas experimentales (Harina de Botón de Oro, Harina de Morera y Harina de Cratylia), son mucho más bajos que los reportados por Fernandes (2004) y por Guimarães et al. (2014) para las materias primas que normalmente son las más utilizadas en la formulación de dietas comerciales para estos peces, tales como: maíz, torta de soya y harina de trigo y algunas otras alternativas como harina de yuca. a excepción del aporte calórico en el caso de la materia prima Harina de Botón de Oro que demostró tener un mayor aporte que torta de soya y la harina de trigo.

Con respecto a los coeficientes de digestibilidad aparente de proteína, los valores reportados están por debajo de los valores esperados para materias primas proteicas los cuales se encuentran entre un 75% y un 95% (NRC National Research Council, 1993. Nutrient Requirements of Fish. National Academy Press & ton, DC 1993) (NRC National Research Council, 1993. Nutrient Requirements of Fish. National Academy Press & ton, DC 1993).

La energía neta demostró un comportamiento variable en cuanto a su coeficiente de variación en cada una de las materias primas utilizadas, siendo el mayor valor obtenido el del Botón de Oro 67,37% y el más bajo el de la Morera con un valor de 10,75%. Todo esto puede explicarse por el posible contenido de factores anti nutricionales presentes en estas materias primas, tales como, taninos condensados, saponinas, fenoles y polifenoles, encontrados en diferentes proporciones en cada una de las materias primas (García et al., 2003).

Conocer la fisiología y anatomía digestiva de la Cachama blanca ha permitido entender su capacidad de adaptación a diferentes materias primas de origen vegetal. El intestino de la cachama blanca se caracteriza por ser un tubo con forma sigmoidal, está dividido anatómicamente en tres porciones, anterior, medio y posterior, esta división es únicamente para para identificar las regiones a nivel

macroscópico, ya que según Mendoza et al. (2013) no existe diferencia histológicas entre las diferentes regiones intestinales.

Los resultados obtenidos en cuanto a los factores materias primas y tiempo sobre el crecimiento de las vellosidades intestinales en la cachama blanca muestra que el crecimiento de las vellosidades fue mayor con la dieta que contenía morera, mostrando diferencia significativa ($P=0,0210$) con respecto a las demás materias primas, cabe recordar que aunque la composición química de la morera ha sido ampliamente estudiada, se ha basado prácticamente en los compuesto de interés, dejando a un lado la cantidad de metabolitos secundarios que se encuentran presentes en esta materia prima. García et al. (2003) encontraron diversidad de metabolitos secundarios presentes en *Morus alba* tales como, taninos, saponinas y alcaloides.

Atencio et al. (2008) describieron las estructuras histológicas del tubo digestivo en juveniles de Rubio *Salminus affinis* y concluyeron la diferenciación de las estructuras intestinales de acuerdo a los hábitos alimenticios, las estructuras de los peces carnívoros son diferentes de las de los omnívoros. Mediante muchos trabajos histológicos en peces se reportó que la morfología del tubo digestivo presenta diferencias entre especies y que están estrechamente relacionadas con los hábitos alimenticios (Takashima y Hibiya 1995). Posteriormente, Sealey et al. (2009) estudiando la trucha arcoíris, concluyeron que la dieta es un factor fundamental del crecimiento de órganos como el intestino. De hecho los resultados obtenidos por Rodriguez (2013) muestran que el uso de materias primas alternativas, con una cantidad apreciable de fibra, generaron cambios en la morfología del intestino, afectando la velocidad de tránsito del bolo alimenticio por el tracto gastrointestinal generando esto un efecto tanto en la absorción de nutrientes como en la morfología del intestino.

Franco y Beltrán (2012) alimentaron cachamas blancas con una dieta que tenía 15% de Morera, encontrando cambios morfométricos en el intestino anterior. Los

peces alimentados con morera presentaron vellosidades más cortas ($533,13\mu\text{m}\pm 126,9$) que aquellos que no consumieron la planta ($602,57\mu\text{m} \pm 128,7$). Franco y Beltrán (2013) realizaron otro experimento donde aumentaron a 20% la inclusión de la morera y lo compararon con una dieta testigo, donde las vellosidades del intestino anterior fueron más cortas en los peces que consumieron morera ($765\pm 156 \mu\text{m}$), mientras que para los que consumieron el alimento balanceado fueron de $952\pm 139 \mu\text{m}$. Estos resultados, difieren de los obtenidos en este experimento en el cual los animales alimentados con Morera fueron los que obtuvieron los valores más altos en cuanto a la variable altura de vellosidades ($687,4\mu\text{m}\pm 237,2$) con respecto a los valores obtenidos con Botón de Oro ($561,7\mu\text{m}\pm 189,2$) y de la Cratylia ($564,6\mu\text{m}\pm 124,3$) respectivamente.

El cambio en el tamaño de las vellosidades en el tiempo 0 al tiempo 1 podría estar relacionado al proceso de adaptación del intestino a las nuevas dietas y materias primas, efecto que se nota (Rodríguez & Pinto 2013) al observar que en el tiempo 2 las vellosidades ya están nuevamente incrementando su tamaño.

En animales como los cerdos, la inclusión de materias primas fibrosas altera tanto la fisiología intestinal como los rangos de producción celular a lo largo del tracto digestivo además de modular las secreciones producidas por los animales (Botero Londoño, 2004). Los cambios fisiológicos en el tracto gastrointestinal de los animales, pueden ser modulado tanto por los componentes de las materias primas que son utilizadas en la fabricación de los alimentos pero también puede ser modulada por la presencia de componentes adicionados a la dieta como los MOS (manano oligosacarridos) (Sweetman & Dimitroglou, 1996).

La cachama blanca es un pez con una gran capacidad de adaptarse a numerosas ofertas alimenticias en el medio ambiente, todo esto gracias a la capacidad de los peces de modular y adaptar su tracto gastrointestinal a las condiciones a las que sean expuestas; es así como por ejemplo en el caso de la Guabina (*Hoplias*

malabaricus) Rios et al. (2004), demuestran como el tracto gastro intestinal de peces sometidos a una hambruna prolongada, sufre cambios de conformación y composición, caso similar sucede en los animales cuando son sometidos a un cambio de dieta o expuestos a alimentos con materias primas que cuentan con factores anti nutricionales como metabolitos secundarios.

No se encontraron referencias de otros autores, en cuanto a la medición de la digestibilidad de estas materias primas en peces; sin embargo, la digestibilidad de la materia prima Botón de Oro se comportó de manera muy similar a las materias primas de origen vegetal más utilizadas en la formulación de alimentos para peces, mientras que las restantes materias primas, Morera y Cratylia, arrojaron valores muy por debajo de lo esperado de una materia prima proteica de origen vegetal.

7. CONCLUSIONES

El uso de materias primas de origen vegetal, con alto contenido fibroso afecta la velocidad de transito del bolo alimenticio por el tracto gastro-intestinal, ejerciendo un efecto directo y negativo en el aprovechamiento de los nutrientes, efecto que puede interferir con el crecimiento y desarrollo normal del pez.

La inclusión de Botón de Oro, Morera y Cratylia, en dietas experimentales para cachama blanca demostraron tener un efecto negativo en cuanto al crecimiento de las vellosidades intestinales durante los primeros días de consumo sin embargo con el transcurrir de los días, las vellosidades intestinales comenzaron a recuperar su altura, demostrando la capacidad de adaptación de la cachama blanca a dietas con materias primas proteicas de origen vegetal.

Los coeficientes de digestibilidad aparente para el botón de oro en Cachama blanca indican que esta materia prima tiene un gran potencial para reemplazar los

ingredientes tradicionales en dietas para cachama blanca, permitiendo un buen aprovechamiento y, probablemente, una menor contaminación del medio ambiente.

8. Recomendaciones

A pesar de la importancia que la cachama blanca tiene para la producción colombiana, hace falta dedicar más esfuerzos investigativos a la búsqueda de materias primas alternativas, a determinar los coeficientes de digestibilidad aparente y proponer estas nuevas materias primas para la elaboración de alimentos balanceados de buena calidad.

Son necesarios experimentos de consumo de las materias primas incluídas en dietas comerciales, durante tiempos más largos, para evidenciar los cambios adaptativos a los ingredientes; además del estudio completo de las composiciones de dichas materias primas para que, a la hora de ser incluídas en una formulación sea experimental o comercial, se cuente con la información adecuada y se pueda obtener el mayor provecho posible de su inclusión.

9. Bibliografía

Abdel-Tawwab, M., Ahmad, M. H., Khattab, Y. A., & Shalaby, A. M. (2010). Effect of dietary protein level, initial body weight, and their interaction on the growth, feed utilization, and physiological alterations of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture*, 298(3), 267-274.

Abdel-Tawwab, M. et al., 2010. Effect of dietary protein level, initial body weight, and their interaction on the growth, feed utilization, and physiological alterations of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture*, 298(3-4),

- pp.267–274. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0044848609008849> [Accessed July 23, 2012].
- Abimorad, E.G. & Carneiro, D.J., 2007. Digestibility and performance of pacu (*Piaractus mesopotamicus*) juveniles - Fed diets containing different protein, lipid and carbohydrate levels. *Aquaculture Nutrition*, 13(Silva 1985), pp.1–9. Available at: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2095.2007.00438.x/full> [Accessed October 19, 2012].
- Bag, M.P. et al., 2012. INTERNATIONAL JOURNAL OF PHARMACY & LIFE SCIENCES Growth performance of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) fed with two leguminous plant leaf meals. , 3(10), pp.2010–2014.
- Benavides, J., 1998. Utilización de la Morera en sistemas de Producción Animal. *Pastos y Forrajes*, pp.195–200.
- Bicudo, Á.J.A., Sado, R.Y. & Cyrino, J.E.P., 2009. Dietary lysine requirement of juvenile pacu *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887). *Aquaculture*, 297(1-4), pp.151–156. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.09.031>.
- Botero Londoño, J.M., 2004. Valor nutricional de forrajes arbustivos para cerdas adultas. , p.136.
- Boyd, C.E. et al., 2007. *Indicators of Resource Use Efficiency and Environmental Performance in Fish and Crustacean Aquaculture*, Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10641260701624177> [Accessed November 13, 2012].
- BUREU, D.P., HAU, K., 2006. Letter to the Editor of Aquaculture. *Aquaculture*, 252, pp.103–105.
- Castro, J.H.C., 2012. Efecto sobre el rendimiento técnico de la Tilapia Nilotica Chitralada resultante de la sustitucion de la dieta con Falso Girasol y Morera en la etapa de ceba. *Citecsa*, 3(4), pp.38–49. Available at: <http://www.unipaz.edu.co/ojs/index.php/revcitecsa/article/view/27>.
- Cho, C.Y., Cowey, C.B. & Watanabe, T., 1985. *Finfish nutrition in Asia: Methodological approaches to research and development* IDRC, ed., Ottawa, Ont. (Canadá).
- Correa, S.B. et al., 2014. Diet shift of Red Belly Pacu *Piaractus brachypomus*

- (Cuvier, 1818) (characiformes: Serrasalminidae), a Neotropical fish, in the Sepik-Ramu River Basin, Papua New Guinea. *Neotropical Ichthyology*, 12(4), pp.827–834.
- Craig, S. & Helfrich, L., 2002. Understanding fish nutrition, feeds, and feeding. ... *Extension, Virginia Polytechnic Institute and State ...*. Available at: http://www.lssu.edu/faculty/gsteinhart/GBS-LSSU/BIOL372-Fish_Culture_files/Feed.pdf [Accessed November 9, 2012].
- Cruz-Casallas, P.E., Medina-Robles, V.M. & Velasco-Santamaría, Y.M., 2011. Fish farming of native species in Colombia: current situation and perspectives. *Aquaculture Research*, 42(6), pp.823–831. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2109.2011.02855.x> [Accessed October 30, 2012].
- Diemer, O. et al., 2014. Proteína e energia na alimentação de pacus criados em tanques-rede. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 66(4), pp.1243–1250.
- Espinal G, C.F., Martínez C, H.J. & Peña M, Y., 2005. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural Observatorio Agrocadenas Colombia Documento de Trabajo No . 61. *Min. Agricultura y Desarrollo Rural, Obs. Agrocadenas Colombia*, (58), p.40.
- Fao, 2014. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura*, Available at: <http://www.fao.org/3/a-i3720s/index.html>
<http://www.fao.org/3/7870db4d-2558-4714-9c56-0cf49f010f3e/i3720s.pdf>
<http://www.fao.org/fishery/sofia/es>.
- Fernandes, K., 2004. Apparent Digestible Energy and Nutrient Digestibility Coefficients of Diet Ingredients for Pacu. *Journal of World Aquaculture Society*, 35(2), pp.237–244.
- Furukawa A, T.H., 1966. On the acid digestion for the determination of chromic oxide as an index substance in the study of digestibility of fish feed. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries.*, pp.502–506.
- Galindo, J. et al., 2011. Efecto de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray (Botón de oro) en la población de protozoos y metanógenos ruminales en condiciones in vitro. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 45(hora 0), p.33. Available at: <http://www.ica.inf.cu/revista-cubana-de-ciencia-agricola/articulos/T45-N1-A2011-P033-Juana-Galindo.pdf>.

- Gao, W. et al., 2009. Effect of dietary carbohydrate-to-lipid ratios on growth performance, body composition, nutrient utilization and hepatic enzymes activities of herbivorous grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). *Aquaculture Nutrition*, 16(3), pp.327–333. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2095.2009.00668.x> [Accessed November 9, 2012].
- Gao, W. et al., 2011. Protein-sparing capability of dietary lipid in herbivorous and omnivorous freshwater finfish: a comparative case study on grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) and tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*). *Aquaculture Nutrition*, 17(1), pp.2–12. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2095.2009.00698.x> [Accessed November 9, 2012].
- García, D., Montejo, F. & Ojeda, I., 2003. Evaluación de los principales factores que influyen en la composición fitoquímica de *Morus alba* (Linn.). I. Análisis cualitativo de metabolitos secundarios. *Pastos y Forrajes*, 26(4), pp.335–346.
- GLENCROSS, B.D., BOOTH, M. & ALLAN, G.L., 2007. A feed is only as good as its ingredients – a review of ingredient evaluation strategies for aquaculture feeds. *Aquaculture Nutrition*, 13(1), pp.17–34. Available at: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00450.x>.
- Guimarães, I.G., Miranda, E.C. & Araújo, J.G., 2014. Coefficients of total tract apparent digestibility of some feedstuffs for Tambaqui (*Colossoma macropomum*). *Animal Feed Science and Technology*, 188, pp.150–155. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.11.007>.
- Gutiérrez, 2011. Digestibilidad aparente de materia seca, proteína y energía de harina de vísceras de pollo, quinua y harina de pescado en tilapia nilótica, *Oreochromis niloticus* Apparent digestibility of dry matter, protein and energy regarding fish meal, poultry by. *Orinoquia*, 15(2), pp.169–179.
- Honorato, C. a. et al., 2010. Effects of processing on physical characteristics of diets with distinct levels of carbohydrates and lipids: the outcomes on the growth of pacu (*Piaractus mesopotamicus*). *Aquaculture Nutrition*, 16(1), pp.91–99. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2095.2008.00644.x> [Accessed November 9, 2012].
- Jena, J.K., Mitra, G. & Biswal, S., 2012. Effect of dietary protein levels on growth and nutrient utilization of fringe-lipped carp, *Labeo fimbriatus* (Bloch) fingerlings. *Aquaculture Nutrition*, 18(6), pp.628–639. Available at:

<http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2095.2011.00920.x> [Accessed November 9, 2012].

Llanero, P. et al., 2007. Establecimiento , manejo y uso de la leguminosa arbustiva forrajera *Cratylia argentea* cv Veranera en el. *Manual Tecnico Corpoica*, 1, p.24.

LUCAS C.M, 2008. Within Flood Season Variation in Fruit Consumption and Seed Dispersal by Two Characin Fishes of the Amazon. *BIOTROPICA*, 40(5), pp.1–9.

Luis Alberto Gallego-Castro, Liliana Mahecha-Ledesma, J.A.-A., 2014. POTENCIAL FORRAJERO DE *Tithonia diversifolia* Hemsl . A Gray. *Agronomia Mesoamericana*, 25(2), pp.393–403.

Mahecha L, Escobar J P, S.J.F. y R.L.F., 2016. *Tithonia diversifolia* (hemsl.) Gray (botón de oro) como suplemento forrajero de vacas F1 (Holstein por Cebú). *Livestock Research for Rural Development.*, 19(16).

Mahecha Liliana y Rosales M, 2005. Valor Nutricional del Follaje de Botón de Oro *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray, en la Producción Animal en el Trópico. *Livestock Research for Rural Development.*, 17.

Mendoza R, M.Á., Comas Corredor, J. & Romero Hurtado, C.S., 2013. Estudio histológico del sistema digestivo en diferentes estadios de desarrollo de la cachama blanca (*Piaractus brachypomus*). *Revista de Medicina veterinaria*, 25, pp.21–38.

Merino, M.C., Bonilla, S.P. & Bages, F., 2013. *Diagnóstico del estado de la Acuicultura en Colombia*,

Meza Eraso, H., 2006. Revision general de los aspectos fundamentales de la leguminosa de *Cratylia Argentea*. , pp.1–48.

Nose, T., 1966. Recents advances in the study of fish digestión in Japan. *Symposium on feeding trout and salmon culture, II*, 17.

NRC National Research Council , 1993. Nutrient Requirements of Fish. National Academy Press, W.-. & ton, DC, 112 pp., 1993. *Nutrient requirements of fish*, Available at: <http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=M2aBtOUhRagC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Nutrient+Requirements+of+Fish&ots=ZTkhEUQHwh&sig=NOAMcs24MjOD0tzJkQ2madLCn94> [Accessed August 29, 2012].

- Nyina-Wamwiza, L. et al., 2009. Partial or total replacement of fish meal by local agricultural by-products in diets of juvenile African catfish (*Clarias gariepinus*): growth performance, feed efficiency and digestibility. *Aquaculture Nutrition*, 16(3), pp.237–247. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2095.2009.00658.x> [Accessed October 19, 2012].
- Ozório, R.O. a. et al., 2009. Growth, nitrogen gain and indispensable amino acid retention of pacu (*Piaractus mesopotamicus*, Holmberg 1887) fed different brewers yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) levels. *Aquaculture Nutrition*, 16(3), pp.276–283. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2095.2009.00662.x> [Accessed October 19, 2012].
- Pahlow, M. et al., 2015. Increasing pressure on freshwater resources due to terrestrial feed ingredients for aquaculture production. *Science of the Total Environment*, 536, pp.847–857. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.124>.
- Piedrahita, R.H., 2003. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture*, 226(1-4), pp.35–44. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0044848603004654> [Accessed October 6, 2012].
- Richter, N., Siddhuraju, P. & Becker, K., 2003. Evaluation of nutritional quality of moringa (*Moringa oleifera* Lam.) leaves as an alternative protein source for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Aquaculture*, 217(1-4), pp.599–611.
- Rios, F.S. et al., 2004. Changes in gut gross morphology of traíra, *Hoplias malabaricus* (Teleostei, Erythrinidae) during long-term starvation and after refeeding. *Brazilian journal of biology = Revista brasleira de biologia*, 64, pp.683–689.
- Rodriguez, J.E.F., 2013. Morfométria a nivel de intestino anterior y posterior en Cachama Blanca. *Revista CITECSA*, 4, pp.21–30.
- Rodriguez, J.E.F. & Amaris, L.M.B., 2012. Variaciones morfométricas a nivel de las vellosidades en intestino anterior y posterior, en Cachama blanca (*Piaractus brachyomus*) con la inclusion de Morera (*Morus alba*) al 15 % en la etapa de ceba. *Citecsa*, 2(3), pp.50–59. Available at: <http://www.unipaz.edu.co/ojs/index.php/revcitecsa/article/view/22>.
- Rodriguez, J.E.F. & Pinto, R.N.Q., 2013. Variaciones morfométricas a nivel de

- intestino anterior y posterior en Cachama Blanca (*Piaractus Brachypomus*) con base a la inclusión de Morera (*Morus alba*) al 20% y ensilaje al 20% en ceba. *Citecsa*, 4(6), pp.21 – 30. Available at: <http://www.unipaz.edu.co/ojs/index.php/revcitecsa/article/view/37>.
- Satpathy, B.B., Mukherjee, D. & Ray, A.K., 2003. Effects of dietary protein and lipid levels on growth, feed conversion and body composition in rohu, *Labeo rohita* (Hamilton), fingerlings. *Aquaculture Nutrition*, 9(1), pp.17–24. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1046/j.1365-2095.2003.00223.x> [Accessed November 9, 2012].
- Da Silva, J.A.M., Pereira Filho, M. & De Oliveira-Pereira, M.I., 2003. Frutos e sementes consumidos pelo tambaqui, *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818) incorporados em rações. Digestibilidade e velocidade de trânsito pelo trato gastrointestinal. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 32(6 SUPPL. 2), pp.1815–1824.
- Sweetman, J. & Dimitroglou, A., 1996. Gut morphology. *Aquaculture Research*, (1), pp.26–30.
- Tacon, A., 2011. *Demand and supply of feed ingredients for farmed fish and crustaceans*,
- Takashima F, Hibiya, T., 1995. *An atlas of fish histology normal and pathological features* 2nd ed., Tokio (Jap):
- Vásquez, W., 2004. Principios de nutrición aplicada al cultivo de peces. *Villavicencio, Universidad de los Llanos*. Available at: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Principios+de+nutrición+aplicada+al+cultivo+de+peces#0> [Accessed November 17, 2012].
- Vásquez-Torres, W., Pereira Filho, M. & Arias-Castellanos, J.A., 2002. Estudos para Composição de uma Dieta Referência Semipurificada para Avaliação de Exigências Nutricionais em Juvenis de Pirapitinga, *Piaractus brachypomus* (Cuvier, 1818). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 31(1), pp.283–292.
- Vásquez-Torres, W., Yossa, M.I. & Gutiérrez-Espinosa, M.C., 2013. Digestibilidad aparente de ingredientes de origen vegetal y animal en la cachama. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 48(8), pp.920–927.
- Verdecia, D.M. et al., 2011. Nutritive value of the *tithonia diversifolia* in a location of Valle del Cauto . *Calidad de la Tithonia diversifolia en una zona del Valle del*

Cauto, 12, pp.1–13. Available at:
<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-80052016199&partnerID=40&md5=b0f34cb6af9be8ba1d73baa22c71ecfb>.

Wilson, Q.T. & Lascano, C.E., 1995. *Cratylia argentea* como suplemento de un heno de gramínea de baja calidad utilizado por ovinos. *Pasturas tropicales*, 19, p.8.

Zhao, H. et al., 2010. Fishmeal can be completely replaced by soy protein concentrate by increasing feeding frequency in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* GIFT strain) less than 2 g. *Aquaculture Nutrition*, 16(6), pp.648–653. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2095.2009.00708.x> [Accessed November 9, 2012].