

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE ZOOTECNIA

DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE NUTRICIÓN



**“DIGESTIBILIDAD DE NUTRIENTES Y ENERGÍA DIGESTIBLE DE
TORTA DE SOYA (*Glycine max*) EN JUVENILES DE SÁBALO COLA
ROJA (*Brycon erythropterum*)”**

Presentado por:

ANDREA STEFANIA ESPINOZA LANDA

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ZOOTECNISTA

Lima – Perú

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE ZOOTECNIA
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE NUTRICIÓN

“DIGESTIBILIDAD DE NUTRIENTES Y ENERGÍA DIGESTIBLE DE
TORTA DE SOYA (*Glycine max*) EN JUVENILES DE SÁBALO COLA
ROJA (*Brycon erythropterum*)”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:
INGENIERO ZOOTECNISTA

Presentado por:

ANDREA STEFANIA ESPINOZA LANDA

SUSTENTADO Y APROBADO ANTE EL SIGUIENTE JURADO:

Dr. Víctor Guevara Carrasco

PRESIDENTE

Ing. Víctor Vergara Rubín

PATROCINADOR

Dr. Carlos Vélchez Perales

MIEMBRO

Ing. Jessie Vargas Cárdenas

MIEMBRO

Dedicado a mi madre Dora Pilar Landa Maguiña

El triunfo sobre la muerte es la memoria de quien te vive una y otra vez. Para mí eres en esencia inmortal. Algún día nos volveremos a ver y nos fundiremos en un abrazo eterno.

- *Andrea Stefania Espinoza Landa (ASEL).*

AGRADECIMIENTOS

A mi patrocinador por su apoyo y aporte en la elaboración de la presente investigación.

A INNÓVATE PERÚ, que mediante el Convenio N° 144-PNICP-PIAP-2015. “Determinación de los requerimientos de proteína y energía digestible del Paiche y Sábalo cola roja, a partir del valor nutricional de 4 ingredientes, bajo condiciones de cultivo en la selva central del Perú”, financió la ejecución de la presente investigación.

A la Estación Acuícola “Amazonic Aquaculture Service” (AAS) de Iquitos por apoyar la investigación.

A los miembros del jurado por el aporte que me brindaron para la culminación de la presente investigación.

A los responsables del área de investigación en acuicultura del LINAPC por su orientación y apoyo en la presente investigación.

A mi familia por su apoyo a lo largo de mi carrera y para culminar esta etapa de mi formación profesional con la presente investigación.

A mis amigos y compañeros que me brindaron su apoyo a lo largo de mi formación profesional hasta el presente.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	9
I. INTRODUCCIÓN	10
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	11
2.1. Sábalo cola roja (<i>Brycon erythropterum</i>)	11
2.1.1. Aspectos generales	11
2.1.2. Condiciones ambientales.....	11
2.1.3. Morfología y fisiología digestiva	13
2.1.4. Nutrición y alimentación.....	14
2.2. Torta de soya.....	16
2.2.1. Aspectos generales	16
2.2.2. Valor nutritivo de la torta de soya.....	17
2.2.3. Factores anti-nutricionales	17
2.3. Dietas experimentales	20
2.4. Digestibilidad.....	20
2.4.1. Aspectos generales	20
2.4.2. Métodos para determinar la digestibilidad in vivo.....	21
2.4.3. Factores que influyen en la digestibilidad.....	22
2.4.4. Coeficiente de digestibilidad.....	24
2.4.5. Cálculo de coeficiente de digestibilidad aparente de nutrientes y energía bruta	26
2.4.6. Cálculo de la digestibilidad de los nutrientes.....	27
2.4.7. Digestibilidad de los nutrientes	27
2.5. Energía digestible	29
2.5.1. Cálculo de la energía digestible	29
2.6. Evaluaciones de digestibilidad y energía digestible en peces.....	30

III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	34
3.1.	Lugar y duración de la fase experimental.....	34
3.2.	Instalaciones y equipos	34
3.3.	Animales experimentales.....	35
3.4.	Ingrediente evaluado.....	35
3.5.	Análisis de laboratorio.....	35
3.6.	Dietas experimentales.....	36
3.7.	Proceso experimental.....	39
3.7.1.	Suministro de alimento.....	39
3.7.2.	Colección y manejo de heces.....	39
3.7.3.	Control de parámetros ambientales.....	40
3.8.	Calculo de los coeficientes de digestibilidad aparente de los nutrientes y energía de las dietas y de la torta de soya.....	40
3.9.	Cálculo de la digestibilidad de los nutrientes de la torta de soya.....	42
3.10.	Cálculo de la energía digestible de la torta de soya.....	43
3.11.	Parámetros estadísticos.....	43
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	44
4.1.	Parámetros de calidad agua.....	44
4.2.	Coefficientes de digestibilidad aparente (CDA) de la torta de soya.....	46
4.3.	Energía digestible de la torta de soya.....	52
V.	CONCLUSIONES.....	54
VI.	RECOMENDACIONES.....	55
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	56
VIII.	ANEXOS.....	65

INDICE DE CUADROS

N°		Pag.
1	Condiciones ambientales para peces del género <i>Brycon</i> .	12
2	Análisis químico proximal (%) y el aminograma (g/16gN) de la torta de soya	18
3	Fórmula de la dieta estándar y valor nutricional estimado	37
4	Fórmula de la premezcla de vitaminas y minerales	38
5	Metodología de control de parámetros ambientales	41
6	Parámetros de calidad de agua y ambiental	45
7	Análisis químico de las dietas y heces	47
8	Contenido nutricional y digestibilidad de la torta de soya	48

INDICE DE ANEXOS

N°		Pag.
1	Equipos del LINAPC	65
2	Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos (LINAPC)	66
3	Distribución de las dietas en los acuarios	67
4	Parámetros de calidad de agua medidos durante el ensayo	68
5	Biomasa (g), peso (g), ganancia de peso (g), consumo de alimento (g) y conversión alimentaria (g) de la prueba de digestibilidad	69
6	Análisis químico proximal de la dieta referencial	70
7	Análisis químico proximal de la dieta prueba	70
8	Análisis químico proximal de las heces	71
9	Valores de óxido de cromo determinado en las dietas y heces	72
10	Cantidad de heces colectadas de los acuarios de digestibilidad	73-74
11	Coefficiente de digestibilidad aparente de nutrientes y energía bruta en la dieta referencial y dieta prueba (base seca)	75
12	Coefficientes de digestibilidad aparente de la torta de soya (base seca)	76
13	Digestibilidad y energía digestible aparente de la torta de soya (base seca)	77
14	Talla inicial y final de dieta referencial y dieta prueba	78

RESUMEN

La investigación se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos (LINAPC) del departamento académico de Nutrición de la facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), la elaboración del alimento fue en la Planta de Alimentos Balanceados de la facultad de Zootecnia de la UNALM. El estudio tuvo por objetivo determinar la digestibilidad aparente de la materia seca, proteína bruta, extracto etéreo, extracto libre de nitrógeno y la energía digestible de la torta de soya (*Glycine max*) para Sábalo cola roja (*Brycon erythropterum*) mediante la determinación del coeficiente de digestibilidad aparente (CDA) usando el método indirecto. Se utilizaron 24 juveniles de sábalo cola roja, con un peso inicial de 184.08 ± 4.37 gramos y una talla de 17.43 ± 0.16 cm, distribuidos en seis acuarios de digestibilidad tipo *Guelph*, con cuatro peces cada uno. La duración de la fase experimental fue de 30 días, entre mayo y junio del 2016, durante el cual se realizó colecciones diarias de heces. El coeficiente de digestibilidad aparente obtenido en base seca para la torta de soya en juveniles de Sábalo cola roja (*Brycon erythropterum*) fue 60.29 ± 2.12 por ciento para materia seca, 82.73 ± 2.72 para proteína, 96.16 ± 0.41 para extracto etéreo, 54.26 ± 4.18 para extracto libre de nitrógeno y 78.17 ± 2.79 por ciento para energía bruta. La energía digestible (ED) de la torta de soya en Sábalo cola roja fue 3.70 Mcal/kg en base seca y 3.32 Mcal/Kg en base fresca (89.60 % de materia seca).

Palabra clave: sábalo cola roja, torta de soya, digestibilidad, energía digestible, coeficiente de digestibilidad.

ABSTRAC

The research was carried out in the installations of the Laboratory of Research in Nutrition and Feeding of Fish and Crustaceans (LINAPC) of the academic department of Nutrition of the faculty of zootechnics of the Agraria La Molina University (UNALM), the elaboration of the food was in the plant of balanced foods of the faculty of zootecnia of the UNALM. The objective of this study was to determine the apparent digestibility of dry matter, crude protein, ethereal extract, nitrogen free extract and the digestible energy of soybean meal (*Glycine max*) for Red Sprout (*Brycon erythropterum*) by determining the coefficient of apparent digestibility (CDA) using the method. Twenty-four juveniles of red-tailed shad were used, with an initial weight of 184.08 ± 4.37 grams and a size of 17.43 ± 0.16 cm, distributed in six Guelph-type digestible aquariums, with four fish each. The duration of the experimental phase was 30 days, between May and June of 2016, during which daily collections of feces were performed. The coefficient of apparent digestibility obtained on dry basis for soybean meal in juveniles of Red Shad (*Brycon erythropterum*) was 60.29 ± 2.12 percent for dry matter, 82.73 ± 2.72 for protein, 96.16 ± 0.41 for ethereal extract, 54.26 ± 4.18 for nitrogen-free extract and 78.17 ± 2.79 percent for crude energy. The digestible energy (ED) of soybean meal was 3.70 Mcal / kg on dry basis and 3.32 Mcal / kg on fresh basis (89.60% dry matter).

Key words: red tailed shad, soybean meal, digestibility, digestible energy, digestibility coefficient.

I. INTRODUCCIÓN

La cosecha de recursos hidrobiológicos a nivel nacional en el 2015, alcanzó las 90 976,44 toneladas, la producción de origen continental fue de 45 757,96 toneladas. En el ámbito continental predominó la producción de trucha, seguido en segundo lugar tilapia, mientras el sábalo tuvo un total de cosecha a nivel nacional en el 2015 de 33,09 toneladas (PRODUCE, 2016). El Sábalo cola roja (*Brycon erythropterum*) es cultivado a nivel nacional principalmente en Loreto, Ucayali, Madre de Dios y San Martín (PRODUCE, 2015).

El cultivo de sábalo está experimentando un crecimiento en los últimos años gracias a la técnica de reproducción inducida (Vergara et al, 2007), lo cual incrementa la demanda de alimento balanceado, pero es escasa la información sobre los requerimientos nutricionales de esta especie para la formulación de alimentos balanceados. La torta de soya es un ingrediente proteico importante, utilizado en la alimentación de peces omnívoros, sin embargo, se desconoce la digestibilidad de sus nutrientes y el aporte de energía digestible para el Sábalo cola roja.

Por las razones expuestas, se tiene como objetivo en esta investigación determinar la digestibilidad de los nutrientes y energía digestible de la torta de soya (*Glycine max*) en juveniles de Sábalo cola roja (*Brycon erythropterum*) mediante la determinación del coeficiente de digestibilidad aparente (CDA) usando el método indirecto con el marcador óxido de cromo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Sábalo cola roja (*Brycon erythropterus*)

2.1.1. Aspectos generales

El género *Brycon* pertenece a la sub-familia *Bryconinae*, comprende un grupo de 43 especies. Este género se destaca dentro del orden de los characiformes por la presencia de algunas especies con elevado potencial zootécnico (Sato et al y Howes; citados por Zaniboni, 2006).

Las fases para el género *Brycon* son las siguientes: larvas de dos hasta los 14 días de edad, pre alevines de 15 a 19 días, alevines de 20 a 69 días, juveniles desde los 70 días y adultos a partir de los tres años. Según esas edades, la densidad por m² son 100 a 150, 20, 10, 3, 1 / 10, respectivamente (FAO, 2010).

El Sábalo cola roja es un pez típicamente fusiforme de hasta 56 cm de longitud total y de 4 kg de peso. La región dorsal es gris azulada; los lados plateados y blanquecinos; el vientre, y los extremos de los lóbulos de la aleta caudal tienen tonalidad rojiza. Maduran sexualmente a los dos años de edad con un peso aproximado de 1 kg., y su fecundidad alcanza a 150 000 óvulos aproximadamente (Pereyra, 2013).

2.1.2. Condiciones ambientales

El género *Brycon* está ampliamente distribuida en América Central y del Sur, y es considerado uno de los más grandes characiformes neotropicales (Howes, 1982). Las condiciones ambientales en las cuales se maneja se encuentran resumidas en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Condiciones ambientales para peces del género *Brycon*.

	<i>Brycon henni</i> ^a	<i>Brycon orbignyana</i> ^b	<i>Brycon cephalus</i> ^c	<i>Brycon sp</i> ^d	<i>Brycon erythropterus</i> ^e
Temperatura (°C)	24	23.7 - 30.2	27.5 - 29.7	-	28.5 - 30
pH	6.5 - 7.1	5.17 - 6.75	5.5 - 6.3	-	6.8 - 7.
Dióxido de carbono (mg/L)	45	-	-	-	-
Dureza (mg/L)	34.2	-	-	-	10
Amonio (mg/L)	0 - 0.2	0 - 0.25	-	-	-
Nitritos (mg/L)	-	0 - 0.20	-	0.86	-
Oxígeno disuelto (mg/L)	10	4.73 - 9.73	3.6 - 6.1	>3,0	3 - 4
Alcalinidad (mg/L)	51.3	-	-	-	10

a. Aguirre y Muñoz, 2015 b. Do Carmo y Fracalossi, 2002 c. Izel et al, 2004 d. FAO e. Ramos et al., 2011.

En investigaciones realizadas en *Brycon Henni* se mantuvo las siguientes condiciones del agua; temperatura 24°C, pH 6.5 a 7.1, dióxido de carbono 45 mg/L, dureza 34.2 mg/L, amonio 0 a 0.2 mg/L, oxígeno disuelto 10 mg/L, alcalinidad 51.3 mg/L (Aguirre y Muñoz, 2015).

Mientras que para *Brycon orbignyana* se mantuvo la temperatura en rango de 23.7 a 30.2 °C, oxígeno disuelto 4.73 a 9.73 mg/L, pH 5.17 a 6.75, amonio total 0 a 0.25 mg/L y nitritos 0 a 0.20 mg/L (Do Carmo y Fracalossi, 2002). En *Brycon cephalus* se manejan los siguientes parámetros para el agua; temperatura entre 27.5 a 29.7 °C, pH 5.5 a 6.3 y oxígeno disuelto 3.6 a 6.1 mg/L (Izel et al, 2004).

Las condiciones de calidad del agua establecidos por la FAO para el género *Brycon sp.* indican que presentan resistencia a bajas concentraciones de oxígeno, sin embargo, el mejor crecimiento se obtiene con concentraciones mayores a 3,0 mg/L, nitritos 0.86 mg/L. y debido a ser un pez de agua dulce, tolera salinidades de 6 a 8 ppt en situaciones de transporte hasta por 24 horas (FAO, 2010). Además, Ramos et al. (2011) señalan las siguientes condiciones para Sábalo cola roja; temperatura de 28.5 a 30 °C, oxígeno disuelto de 3 a 4 mg/L, transparencia de 30 a 45 cm, alcalinidad total 10 mg/L, dureza total 10 mg/L y pH de 6.8 a 7.

2.1.3. Morfología y fisiología digestiva

La morfología del tracto digestivo de los peces es muy variable dependiendo del régimen alimenticio y del hábitad. El sistema digestivo de los alevinos es muy primitivo y se constituye por una boca, faringe y tubo digestivo simple. El sistema digestivo de los peces teleósteos está formado en términos generales por un esófago poco evolucionado el cual puede estar ausente en algunas especies, asimismo, existen especies que no poseen estómago, es decir, el esófago se conecta directamente con el intestino, poseen pseudoestomago, estomago no funcional o ciegos pilóricos.

El Sábalo cola roja es un pez omnívoro. Los peces omnívoros poseen boca de tamaño mediano, dientes molariformes para triturar y roer, la estructura del aparato digestivo se asemeja a los vertebrados en cuanto los aspectos generales (Pereyra, 2013).

Las diferentes células glandulares del estómago secretan proteasas, pepsina y endopeptidasa, al igual que ácido clorhídrico, la actividad proteolítica tienen su valor óptimo a un pH ácido (Guevara, 2003). Los peces omnívoros y herbívoros tienen estómagos con poca capacidad de

volumen, con células secretoras de mucus, de ácido clorhídrico y pepsina, que mantienen el P.H entre 2 y 5 (Santamaría, 2014).

Existe una amplia variedad de estructuras especializadas encontradas en el intestino de diferentes especies de peces, una de las más importantes son los ciegos pilóricos, los cuales son divertículos ciegos de formato digitiforme que se encuentran en la región pilórica de la porción anterior del intestino medio, estando libres entre si u ocasionalmente fundidos a la pared del estómago. Sus características histológicas e histoquímicas son semejantes al intestino adyacente, sugiriendo que estos sirven para aumentar la superficie intestinal (Rotta, 2003). Es común para todos los peces la presencia de dos regiones intestinales, intestino delgado y grueso, la primera donde ocurre la absorción de los lípidos y la segunda donde ocurre la pinocitosis (reblandecimiento de las macromoléculas y prominencia de las células que realizan la absorción). Tanto en los peces con estomago como en los agastros, el pH del fluido intestinal es cercano a la neutralidad o básico. Generalmente es neutro en la parte anterior y se hace alcalino en la parte posterior. El páncreas vierte al intestino proteasas, carbohidrasas y lipasas. La bilis procedente del hígado y acumulada en la vesícula biliar aporta sales biliares (compuestos tenso activos) capaces de emulsionar los lípidos facilitando la acción de la lipasa (Guevara, 2003).

Finalmente, el recto, cuyas paredes son mucho más gruesas que el intestino y con mayor capacidad de distensión. Es diferenciado del intestino medio por la disminución de la vascularización, por el número de células secretoras y por el número de células productoras de mucos, las cuales pueden ser vistas histológicamente (Rotta, 2003).

Se debe destacar que los peces omnívoros y herbívoros presentan capacidad de alterar la estructura y las propiedades de absorción del sistema digestivo en respuesta a cambios en la dieta, siendo por lo tanto substrato dependiente (Rotta, 2003). Además, los herbívoros poseen un intestino delgado más largo que los omnívoros y carnívoros, lo que hace que el tiempo de digestión varíe (Guevara, 2003).

2.1.4. Nutrición y alimentación

El Sábalo cola roja es un pez omnívoro, encontrándose en su contenido estomacal frutos, semillas, restos vegetales, insectos, arácnidos, crustáceos y peces. En estadios tempranos tiende al canibalismo, razón por la que se debe estabular peces de igual tamaño (Pereyra, 2013). En un

estanque de cultivo, el primer alimento externo de algunas especies del género *Brycon* como por ejemplo la dorada (*Brycon sinuensis*), el yamú (*Brycon amazonicus*) y la piracanjuba (*Brycon orbignyanus*) es el zooplancton, compuesto principalmente de: protozoarios, rotíferos, cladóceros, copépodos, entre otros organismos (Lamadrid y Arroyo, 2005). Estas especies en condiciones de cultivo reciben y convierten muy bien los alimentos concentrados secos que se le suministran (Santamaría, 2014).

El cambio de alimento vivo a balanceado fue evaluado por Palacios y Ceballos (2012), determinaron en *Brycon melanopterus* que a partir del tercer día de la siembra y hasta el décimo día, las post-larvas prefieren el consumo de cladóceros, mientras que el consumo de alimento estándar se inicia únicamente después del onceavo día.

Se realizaron diferentes investigaciones para determinar los requerimientos nutricionales en el género *Brycon sp.* Do Carmo et al. (2002) evaluaron en alevines de *Brycon orbignyanus* seis dietas isocalóricas con 3.000 kcal de energía metabolizable (EM) / kg en distintos niveles de proteína cruda, se observó que el mejor desempeño de ganancia de peso ocurrió con 29 por ciento de proteína bruta y una relación de 10.4 Kcal EM/ g PB, además el crecimiento y supervivencia de los alevinos no se alteró cuando los niveles de proteína bruta subieron hasta 42 por ciento. Diferentes resultados obtuvieron Vergara et al. (2016) cuando determinaron el requerimiento de proteína cruda (PC) en alevines de Sábalo cola roja, evaluaron cinco dietas isocalóricas de 3.80 Mcal ED/Kg. con niveles de proteína cruda de 28, 30, 33, 37 y 42 por ciento, de sus resultados obtenidos se observó un crecimiento ascendente en ganancia de peso con el incremento del nivel de proteína en la dieta, hasta el nivel de 33 por ciento de proteína. Mientras que, en el nivel de 42 por ciento de proteína, la ganancia de peso disminuye. El análisis de regresión determina el requerimiento de proteína de 35.8 por ciento.

Además, los mismos investigadores determinaron el requerimiento de energía digestible (ED) en alevines de Sábalo cola roja utilizando el método de dosis-respuesta con cinco dietas isoproteicas de 36 por ciento de proteína cruda en niveles de energía digestible, 3.10; 3.20; 3.35; 3.50 y 3.60 Mcal.ED/Kg de alimento, los resultados obtenidos indican un crecimiento ascendente para ganancia de peso con cada nivel de energía digestible de la dieta, hasta el nivel de 3.50 Mcal de ED., luego se hace constante, mostrando diferencias al ANOVA. Utilizando el modelo broken-line, la regresión fija como requerimiento el nivel de 3.55 Mcal de ED/Kg de

alimento. Para el caso de eficiencia, los valores se hacen similares y constantes a partir de la dieta con 3.35 Mcal de ED/Kg. La regresión establece como requerimiento el valor de 3.49 Mcal de ED/Kg de alimento.

En el estadio juvenil, investigaciones realizadas por Izel et al. (2004) en juveniles de *Brycon cephalus* cinco niveles de proteínas cruda (16, 19, 22, 25 y el 28 por ciento) en dietas isocalórica (EB = 390 kcal / 100 g), se demostró que las dietas que contienen proteína bruta 28 por ciento promovieron el mayor aumento de peso, crecimiento y mejor conversión alimenticia entre las dietas probadas. Estos resultados difieren con lo determinado por Aguirre y Muñoz (2015), evaluaron dos niveles de proteína en juveniles de sabaleta (*Brycon henni*), con dos dietas formuladas semipurificadas con proteína 24 por ciento y 26 por ciento. El tratamiento con proteína 24 por ciento mostró mejores características en la ganancia de peso día, ganancia de peso porcentual, la tasa de eficiencia proteica y factores de conversión.

2.2. Torta de soya

2.2.1. Aspectos generales

El frejol de soya (*Glycine max*), originaria del norte y centro de China, es una leguminosa anual de porte erguido que alcanza entre 0.50 y 1.5 metros de altura, produce semillas oleaginosas (Ridner, 2006). Los principales países productores de soya en el continente americano son: Estados Unidos, Canadá, Brasil, Argentina, Paraguay y Bolivia (INN, 2007). En Perú, la producción total de soya en el 2014 fue 2 119 TM, siendo Amazonas el mayor productor de soya, seguido de Cajamarca y Piura (SIEA, 2015). En los dos primeros meses del 2016, el Perú importó 43 mil TM de frijol de soya y 163 mil TM de torta de soya (BCRP, 2016).

La torta de soya es el producto resultante de la extracción del aceite del grano de soya, ya sea por presión o por solvente (Newkirk, 2010). Actualmente, el sistema más común de procesamiento de la torta de soya es el de extracción por solvente. En este método el grano de soya es primero quebrado y descascarillado parcialmente luego calentado a 60°C por cerca de 10 minutos. Después pasan por un molino de rodillos donde se forman las hojuelas, éstas son enfriadas a 45°C y luego pasadas al equipo de extracción donde el aceite es removido mediante la adición de un solvente en un sistema de extracción contracorriente. Las hojuelas extraídas son secadas y el solvente se volatiliza pasando a un tostador, después se enfrían y muelen. En este

momento la torta de soya tiene 48 por ciento de proteína, se puede adicionar la cascarilla siendo el producto final la torta de soya de 44 por ciento de proteína (Campabadal, 2015).

2.2.2. Valor nutritivo de la torta de soya

La torta de soya es la fuente de proteína más importante utilizada en la alimentación animal y es un sub producto del procesamiento del frejol de soya. La torta de soya presenta el mejor patrón de aminoácidos de las fuentes de proteína de origen vegetal. Contiene un alto contenido de lisina, el primer aminoácido limitante en las dietas de cerdos y caballos, y el segundo en las dietas de aves y ganado lechero (Campabadal, 2015).

La torta de soya se ha considerado como un ingrediente alternativo adecuado en la sustitución de harina de pescado en dietas para peces, debido principalmente a su contenido relativamente alto de proteína y también a un balance de aminoácidos esenciales, siendo deficiente en metionina, que se acerca a los requeridos por los peces, es comúnmente disponible y fácilmente consumido por muchas especies de peces (Beltrán et al, 2000).

La torta de soya es muy utilizada por su disponibilidad, precio y sobre todo por su alto valor nutricional para la mayoría de los peces cultivados. Es rica en proteínas, contiene aproximadamente 48 por ciento si esta descascarillada y 44 por ciento si no lo está. El perfil de aminoácidos esenciales es bueno a pesar de ser deficiente en metionina. Es pobre en celulosas, como glúcidos complejos (Guillaume et al, 2004). En el Cuadro 2 se muestra el valor nutritivo de la torta de soya (NRC, 2011).

2.2.3. Factores anti-nutricionales

La soya cruda contiene diversos factores anti-nutricionales que se sabe afectan el crecimiento y salud de los peces (Lim y Akiyama, 1991). La principal sustancia antinutricional es el inhibidor de tripsina (IT), que además de afectar el crecimiento, causa hipertrofia pancreática.

Cuadro 2. Análisis químico proximal (%) y el aminograma (g/16gN) de la torta de soya.

Nutriente (%)	Torta de soya
Humedad	12
Proteína	47
Grasa	3.7
Fibra	3.5
Ceniza	8.0
Carbohidratos	27.5
Aminoácidos (g/16gN)	
Histidina	2.51
Isoleucina	4.51
Leucina	7.81
Lisina	5.40
Metionina	1.30
Cisteína	1.30
Metionina + cisteína	2.60
Fenilalanina	4.89
Tirosina	3.11
Fenilalanina + Tirosina	8.00
Treonina	3.89
Triptófano	1.30
Valina	4.81
Arginina	7.19
Minerales (%)	
Calcio	0.26
Fósforo	0.64
Sodio	0.01

Fuente: NRC (2011).

La harina de soya también contiene cantidades significativas de ácido fítico que forman un complejo con varios minerales y los vuelve no disponibles. Hay otros factores antinutricionales conocidas como hemaglutininas, que causan aglutinación de los glóbulos rojos; los goitrógenos que causan la inflamación de la glándula tiroidea; toxinas que causan el alargamiento del páncreas e inhibidores de proteasas que ligan las enzimas digestivas de proteína, la tripsina y quimiotripsina (Ruiz, 1990).

Sin embargo, diversos métodos de tratamientos con calor, por ejemplo, tostado, extrusión y peletizado han sido exitosamente utilizados para inactivar o eliminar los factores antinutricionales mejorando así el valor nutritivo de la soya (Lim y Akiyama, 1991). A pesar de eso, es fundamental un correcto control de la temperatura durante el proceso de manufactura porque la falta de cocción de la soya puede causar serios problemas de salud y desempeño de los animales monogástricos y rumiantes muy jóvenes (Fox, 2012).

Entre los métodos para medir el nivel de procesado a calor de la torta de soya esta la actividad ureásica, método indirecto, debido a que la destrucción de la ureasa en la soya equivale a la destrucción de la mayoría del resto de los factores antinutricionales. Otro método para determinar la calidad de la proteína es el Inhibidor de Tripsina (IT), un nivel de 1-3mg de inhibidor de tripsina / g de torta de soya se considera adecuado para alimentos acuícolas. Este nivel de IT se relaciona con un valor de actividad ureásica de cero a 0.23; aunque, una actividad ureásica de cero podría indicar un sobrecalentamiento, debido a que esta escala no tiene valores negativos. La mejor forma de determinar el adecuado procesamiento de la soya es a través de la determinación de solubilidad de proteína en KOH (Dale, 1992). Se considera como óptimo para especies acuícolas, un índice de solubilidad de la proteína de 60 – 80 por ciento, y para especies terrestres es cuando se tiene niveles de solubilidad de la proteína entre 75 y 85 por ciento. El índice de solubilidad de proteína parece correlacionarse mejor a la concentración inhibitoria de la tripsina (Akiyama, 1992).

En estudios realizados por Stech et al. (2010) al comparar la harina de soya, soya extruida, soya tostada, soya cruda y soya macerada. La solubilidad de la proteína fue mayor para la soya cruda y bajo drásticamente en la soya tostada, indicando que el tratamiento fue extremadamente severo, con posible desnaturalización de las proteínas. La actividad ureásica fluctuó de cero en harina de soya a 1.05 unidades de pH en soya cruda.

2.3. Dietas experimentales

Las dietas para digestibilidad no son dietas para crecimiento y su objetivo es acumular cantidades adecuadas de heces (base seca), representativas de las dietas (Fox y Lawrence; citados por Cruz et al., 2008).

Para la determinación de digestibilidad de un ingrediente, se usa el método propuesto por Cho y Slinger (1979), donde se usa una dieta de referencia y dieta prueba. La dieta de referencia se obtiene a partir de un alimento estándar para una especie dada, es nutricionalmente completa, balanceada a los requerimientos de la especie (Cruz et al., 2008), y contiene la cantidad de un nutriente para prevenir las enfermedades deficitarias (Carbajal, 2013). La dieta prueba, contiene 70 por ciento de la dieta de referencia y 30 por ciento del ingrediente a evaluar (Cruz et al., 2008).

2.4. Digestibilidad

2.4.1. Aspectos generales

La obtención de la digestibilidad, supone la determinación de la cantidad de un alimento, o un nutriente en particular, que no se degrada ni absorbe durante su paso por el aparato digestivo. Se trata de una fase importante de la utilización de los nutrientes (Bondi, 1989). Es uno de los parámetros utilizados para medir el valor nutricional de los distintos ingredientes destinados a alimentación acuícola, debido a que no basta que la proteína u otro elemento se encuentre en altos porcentajes en el alimento o en sus ingredientes, sino que debe ser digerible para que pueda ser asimilado, en consecuencia, aprovechado por el organismo que lo ingiere (Manríquez, 1993).

Según Guillaume et al. (2004) en acuicultura, los estudios de digestibilidad tienen un triple objetivo: un mejor conocimiento de la utilización potencial de los nutrientes, una mejora en la calidad de alimento para peces y, finalmente, una disminución de los desechos de origen alimentario de modo que se puede preservar la calidad del medio ambiente en general y agua en particular.

Las pruebas de digestibilidad han ido cambiando de técnica a través del tiempo, en 1960 se recogía muestras del contenido rectal por medio de opresión manual suave en el pez, en 1968 obtenían muestras del contenido rectal por succión a través del ano o mediante disección del pez. En 1971 se confinaba a los peces en cámaras metabólicas y se recogía las heces que eran

vertidas de manera natural al agua. En 1973 recogían las heces pasando el agua efluente de los tanques a través de una columna de filtración. En 1975, se usó una columna de sedimentación para separar las heces del agua efluente (Nose, Windell et al, Smith, Ogino et al., Cho et al; citados por Cho, 1986). En tanto que Choubert et al. (1979) utilizaron una pantalla rotatoria mecánica para filtrar el material fecal.

2.4.2. Métodos para determinar la digestibilidad in vivo

La determinación de la digestibilidad in vivo puede hacerse por el método directo o indirecto. El método directo, conocido también como método de recolección total, consiste en la recolección cuantitativa de las heces emitidas que corresponden a uno o muchos alimentos (Manríquez, 1993). Una de sus ventajas es que puede ser usado para evaluar dietas vivas y piensos, 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 la necesidad de recolectar la totalidad del material fecal excretado por los peces, lo que en la realidad es muy difícil de lograr, además que se presenta el inconveniente que no todos los elementos excretados corresponden a los incorporados por la ración diaria de alimento (Choubert et al., 1979).

Mientras que, el método indirecto es realizado con un indicador. Este método ha sido desarrollado para obviar los problemas de la recolección cuantitativa usando un marcador inerte indigerible; como el óxido crómico que es incorporado al alimento y luego analizado en él y en las heces. (Manríquez, 1993). La principal ventaja del método con indicador es la no necesidad de una recolección total, sino que sólo basta una muestra tomada al azar que contenga el indicador. Una de las desventajas de éste método es la lixivización que sufren las heces al estar en contacto con agua circulante. Al respecto es necesario ser muy uniforme en la realización de todos los procedimientos de manera que todas las muestras sufran el mismo grado de lixivización y los resultados continúan siendo válidos, porque son comparativos. En virtud a los antecedentes anteriormente expuestos, se prefiere utilizar el método indirecto (Choubert et al., 1979).

2.4.3. Factores que influyen en la digestibilidad

La digestión depende de tres factores principales: el alimento ingerido y el grado al cual es susceptible a los efectos de las enzimas digestivas; la actividad de las enzimas, y el tiempo que está expuesto a dichas enzimas. A su vez, los factores principales son influidos por múltiples factores secundarios (Hepher, 1988). Estos factores son explicados:

a. Especie

Un mismo alimento administrado a diferentes animales, no siempre será digerido a un mismo nivel, lo que muestra la importancia del efecto del animal sobre la digestibilidad (McDonald et al., 2006). La digestibilidad constituye un indicador de la materia prima que a veces varía notablemente, de una especie a otra; a priori se deberían esperar valores muy distintos en las especies carnívoras, herbívoras u omnívoras (Au y Bidart, 1992). El coeficiente de digestibilidad puede variar entre especies debido tanto a las diferencias en el aparato digestivo y sus enzimas (Hepher, 1988). La actividad y tiempo de exposición de las enzimas digestivas varían con el hábito alimenticio y la composición de la dieta entre las diferentes especies (Marculino, 2012). La experiencia muestra, sin embargo, que en los peces se observan a menudo, valores muy similares en especies, incluso zoológicamente diferentes; es así un salmónido, un róbalo y un turbot digerían casi de la misma forma las proteínas de la harina de pescado (Au y Bidart, 1992). Según Hepher (1988) las variaciones entre especies de peces en la digestibilidad de proteínas y de lípidos son pequeñas, pero son mucho más pronunciadas las variaciones en la digestibilidad de carbohidratos, en especial el almidón, ya que los peces carnívoros digieren esta sustancia en mucho menor medida que los peces omnívoros y herbívoros.

b. Edad del pez

El estadio de los peces también es un factor en el que se presenta diferencias de digestibilidad, lo cual se explica por la menor actividad enzimática de los peces jóvenes (Steffens, 1987). Sin embargo, Blanco (1995) señala que la digestibilidad de la proteína es mayor en los peces de menor edad, ya que sus necesidades de crecimiento son mayores y, por lo tanto, su capacidad de absorción también es mayor. En cuanto a la grasa, el mismo autor señala, que los peces de mayor edad o talla utilizan mejor, desde un punto de vista digestivo la grasa dietaria que los más jóvenes.

c. Nivel de ingesta

Al reducir la ingestión de alimento por debajo del nivel de mantenimiento, los animales se hacen más eficientes en la digestión y el metabolismo de los nutrientes (Bondi, 1989). Por el contrario, el aumento del nivel de alimentación, produce una disminución en la digestibilidad de la energía, esto puede explicarse básicamente por que la cantidad relativa de enzimas es menor y por qué el tránsito a través del tracto digestivo es más rápido (Buxade, 1994).

d. Composición y procesamiento del alimento

Hepher (1988), menciona que los alimentos de origen vegetal son digeridos en menor grado que los de origen animal, ya que las células vegetales poseen una pared celular que les da gran resistencia y dificulta la penetración de las enzimas digestivas. Nose citado por Hepher (1988) demostró que la digestibilidad de los lípidos depende de la composición y el nivel de saturación de estos, disminuye al aumentar el número de átomos de carbono en la cadena de ácido graso y se incrementa con el número de dobles enlaces. Por otro lado, a mayor contenido de fibra bruta, disminuye la digestibilidad de los compuestos orgánicos (Buxade, 1994). Otra limitación para el uso de fuentes proteicas vegetales es la existencia de factores antinutricionales que pueden reducir la actividad de las enzimas digestivas de peces, siendo los más conocidos los inhibidores de proteasas, presentes principalmente en semillas de leguminosas (Martínez y Ríos, 2012). Sin embargo, la digestibilidad también puede ser afectada por la forma del alimento y como se le procese. Lovell citado por Hepher (1988) demostró que la molienda, cocción, y el proceso de extrusión mejoran la digestibilidad de la proteína y el almidón, pero no de las grasas. El insuficiente calentamiento de la torta de soya, disminuye la disponibilidad de la proteína (NRC, 1993), mientras que, el sobrecalentamiento de la harina de pescado durante el proceso de secado podría reducir el valor nutritivo (Finley; citado por NRC, 1993). El grado de fragmentación del alimento desempeña evidentemente importante influencia sobre la digestibilidad (Steffens, 1987).

Otro aspecto importante es que, la digestibilidad de los alimentos no solo se ve afectada por su propia composición, sino también por lo de los alimentos consumidos al mismo tiempo. Este efecto asociativo de los alimentos supone un gran obstáculo para la determinación de la digestibilidad por diferencia de los alimentos concentrados. Los efectos asociativos suelen ser

negativos, es decir, la digestibilidad de las raciones mixtas es menor a la esperada (McDonald et al., 2006). Akiyama (1989) sugiere que las dietas de estudios de digestibilidad deben ser formuladas en su totalidad por el ingrediente a evaluar para eliminar cualquier efecto asociativo de los componentes de la dieta. Otros autores han recomendado el uso de una dieta de referencia compuesta debido a que las dietas de producción raramente son elaboradas con un solo ingrediente (Fox y Lawrence, 2008).

e. Condiciones medioambientales

Los peces son organismos poiquiloterms, por lo tanto, la temperatura del medio tiene una considerable importancia para su metabolismo. Un aumento en la temperatura puede incrementar tanto la secreción y la actividad de las enzimas e influye en la rapidez de absorción de los nutrientes digeridos, a través de la pared intestinal. La velocidad de tránsito está influida por la temperatura del agua, de tal forma que se acelera con las temperaturas altas, como mecanismo fisiológico de regulación, ya que el pez en estas condiciones necesita mayor cantidad de alimento. Una velocidad de pasaje más rápido tiene lugar a una menor digestibilidad, debido al corto el tiempo de exposición a las enzimas digestivas (Blanco, 1995). Guillaume et al., 2004, demostraron que al aumentar la temperatura del agua en donde se encuentran los peces, mejora la digestibilidad del componente graso de la dieta, igualmente la digestibilidad del almidón está en función de la temperatura del agua, siendo por lo general más elevado en peces de agua caliente que en los de zonas templadas. La temperatura del agua también puede influir sobre la digestibilidad de la proteína (Steffens, 1987), por ejemplo, en trucha arco iris se observó mejor digestibilidad aparente de la proteína cruda a 15 ° C mientras que, para la carpa común y la tilapia del Nilo, a 25 ° C (Watanabe et al.; citado por Fonseca et al. ,2006).

2.4.4. Coeficiente de digestibilidad

El coeficiente de digestibilidad (CD) permite cuantificar la digestibilidad. De este modo, se define para un nutriente dado el coeficiente de digestibilidad aparente (CDA) y el coeficiente de digestibilidad real (CDR). La digestibilidad aparente permite asumir que cantidad del alimento fue asimilado por el animal (Manríquez, 1993). El CDA no toma en cuenta en el balance la presencia eventual de una posible fracción de origen endógeno en el desecho fecal, esencialmente en el caso de lípidos, aminoácidos y minerales (Guillaume et al., 2004). Con este método no se conoce la porción de proteína que proviene de la dieta o de la secreción de

nitrógeno endógeno que provienen de mucoproteínas, enzimas pancreáticas e intestinales, saliva, secreciones biliares y gástricas, y células descamadas de la mucosa intestinal, así como de la proteína de origen bacteriano. En teoría, el CDA depende del estado fisiológico del pez y del nivel de ingesta, y permite evaluar la aptitud del animal en retener o utilizar una ración alimenticia. Los valores de digestibilidad aparente son afectados por el nivel de proteína cruda en la dieta. Con una dieta baja en proteína cruda, los aminoácidos de fuentes endógenas conforman una alta proporción del total de los aminoácidos que alcanzan el íleon terminal. A medida que el nivel de proteína cruda en la dieta e incrementa, la proporción de aminoácidos de fuentes endógenas disminuye y la digestibilidad aparente de la proteína cruda de la dieta aumenta (Parra y Gómez, 2008).

Sallum et al. (2002) evaluó el coeficiente de digestibilidad aparente (CDA) de la materia seca, proteína cruda y extracto etéreo de ingredientes como el maíz, harina de trigo, harina de semilla de algodón, harina de soya y harina de pescado, utilizados en la alimentación de la *Brycon cephalus*. Los resultados mostraron mayores coeficientes de digestibilidad aparente (CDA) de la materia seca de maíz, harina de trigo y harina de pescado. El CDA de la proteína cruda fue mayor para la harina de trigo, harina de soya y harina de pescado. En relación con el extracto etéreo, la harina de pescado presentó el mayor CDA con un valor de 67.7 por ciento.

La digestibilidad verdadera o real, viene a ser la digestibilidad aparente menos los valores de compuestos de origen metabólico o endógeno, tales como compuestos nitrogenados, lípidos y minerales que se mezclan en las heces (Bondi, 1989). Este contempla la excreción de nitrógeno endógeno en sus cálculos, por lo cual ofrece un valor más exacto de la digestión de un alimento. Como consecuencia, los valores de digestibilidad verdadera o real no son afectados por el contenido de proteína cruda de la dieta (Parra y Gómez, 2008). El CDR depende sobre todo de la naturaleza de la dieta y de las capacidades digestivas de la especie, permitiendo evaluar la aptitud del alimento para proveer al animal con el nutriente utilizable. De forma rutinaria se calcula el CDA ya que la determinación de la fracción endógena, reducida en un pez, es delicada (Guillaume et al., 2004).

2.4.5. Cálculo de coeficiente de digestibilidad aparente de nutrientes y energía bruta

Los coeficientes de digestibilidad aparente (CDA) para cada nutriente (materia seca, proteína cruda, extracto etéreo, extracto libre de nitrógeno) y para la energía bruta de las dietas ingeridas, se determina utilizando la ecuación descrita por Bureau y Cho (1999):

$$CDA (d) = 100 - \left[100 \left(\frac{\%Cr_2O_3 d}{\%Cr_2O_3 h} \right) \times \left(\frac{\%N h}{\%N d} \right) \right]$$

Dónde:

CDA_(d) = Coeficiente de digestibilidad aparente de la dieta.

% Cr₂O₃d = porcentaje de óxido de cromo en la dieta.

% Cr₂O₃h = porcentaje de óxido de cromo en las heces.

% Nd = porcentaje nutrientes en la dieta.

% Nh = porcentaje nutrientes en las heces.

Para determinar el coeficiente de digestibilidad para cada nutriente (materia seca, proteína cruda, extracto etéreo, extracto libre de nitrógeno) y para la energía del ingrediente evaluado, se usa la siguiente formula (Pezzato et al., 2004):

$$CDA (ing) = \frac{CDA (dp) - b * CDA (dr)}{a}$$

Dónde:

CDA (ing) = coeficiente de digestibilidad aparente del ingrediente

CDA (dp) = coeficiente de digestibilidad aparente de la dieta prueba

CDA (dr) = coeficiente de digestibilidad aparente de la dieta referencial

a = porcentaje del ingrediente evaluado en la dieta prueba

b = porcentaje de la dieta referencial en la dieta prueba

2.4.6. Cálculo de la digestibilidad de los nutrientes

El valor de la digestibilidad de nutrientes resulta del producto de la concentración del nutriente (%), obtenido del análisis proximal del ingrediente; y el coeficiente de digestibilidad aparente, calculado con las ecuaciones propuestas por Pezzato et al. (2004). Con la siguiente fórmula se obtendrá la digestibilidad aparente de la materia seca, proteína, extracto etéreo y extracto libre de nitrógeno (ELN) (Virães, 2008).

$$\text{DIG. Ingr. (\%)} = \text{Nutr. Ingrid. (\%)} * (\text{CDA nutr. ingr})$$

Dónde:

DIG. Ingr.: Digestibilidad de un nutriente en el ingrediente evaluado.

Nutr. Ingrid.: Concentración (%) de un nutriente en el ingrediente evaluado (determinado por análisis químico proximal).

CDA nutr. ingr: coeficiente de digestibilidad aparente de un nutriente del ingrediente evaluado.

2.4.7. Digestibilidad de los nutrientes

La digestibilidad aparente de la materia seca representa una buena estimación del grado en que un ingrediente es digerido y absorbido por el tracto digestivo. Los ingredientes purificados tienen valores más altos de digestibilidad aparente de materia seca, sin embargo, debido a su costo nos son utilizados normalmente en alimentos balanceados comerciales (Siccardi III et al., 2006). Según Gutiérrez et al. (2009), las altas concentraciones de fibra y ceniza reducen la digestión de materia seca. Además, los bajos valores de digestibilidad aparente de materia seca podrían relacionarse con el uso de dietas nutricionalmente incompletas (Akiyama, 1989).

La digestibilidad de la proteína en peces a comparación con otros animales vertebrados, los primeros muestran elevadas necesidades de proteína. En la proteína es necesario distinguir entre digestibilidad aparente y real. La digestibilidad aparente de la proteína varía de acuerdo con la ingestión de este (Steffens, 1987). Pero no se ve afectada por la presencia de lípidos en la dieta alimenticia, incluso a fuertes dosis (Guillaume et al, 2004), pero si disminuye a medida que la concentración de carbohidratos en la dieta aumenta (NRC, 1993).

La digestibilidad de los lípidos depende de la composición y el nivel de saturación de estos, disminuye al aumentar el número de átomos de carbono en la cadena de ácido graso y se incrementa con el número de dobles enlaces (Nose; citado por Hephher, 1988). De forma similar, la digestibilidad de los ácidos grasos saturados disminuye cuando la longitud de la cadena aumenta y, a igual longitud de la cadena, aumenta con el grado de insaturación. Según Guillaume et al (2004), los peces utilizan bien los lípidos de bajo punto de fusión. El CDA parece mejor cuando la tasa de incorporación es elevada, siempre que los ácidos grasos sean protegidos de los fenómenos de oxidación. Por lo general, cuando las grasas son administradas solas o en una dieta, su digestibilidad tiene un valor de 85 al 95 por ciento en peces (Cho et al., Windell et al., Cruz, Austreng, Cho and Slinger, Takeuchi et al., Cho and Kaushik; citados por NRC, 1993). Además, el cálculo de la digestibilidad de las grasas frecuentemente varía cuando la concentración de las grasas es baja (Smith et al; citado por NRC, 1993). Según Guerra et al. (1996) los niveles de grasa requeridos para los peces tropicales dependen de factores tales como edad del pez, por ejemplo, alevinos y juveniles requieren más altos niveles de grasa y proteínas que los adultos; niveles de proteínas en los alimentos y la naturaleza de los lípidos suplementarios. Para mejor crecimiento, el porcentaje de grasa recomendado para gamitana, paco y Sábalo cola roja es de 10 a 15 por ciento para alevinos hasta dos meses y ocho a 10 por ciento para juveniles de hasta un año.

La digestibilidad del extracto libre de nitrógeno mejora si es que el ingrediente es sometido a un adecuado tratamiento calor/ presión (Thiessen et al.; Jara, 2013). La digestibilidad de los glúcidos está ligada para un tipo de enlace glucídico dado, a la complejidad de la molécula, aumentando la eficiencia de la digestión cuando disminuye el peso molecular. (Guillaume et al, 2004). En los carbohidratos se cuenta con notables diferencias entre las diversas especies piscícolas. Ello es atribuible a considerables variaciones en la constitución del canal digestivo, así como a la alimentación naturalmente practicada por cada una de dichas especies (Steffens, 1987).

Por otro lado, a mayor contenido de fibra bruta, disminuye la digestibilidad de los compuestos orgánicos (Buxade, 1994). La fibra bruta, comprende la celulosa, el carbohidrato de las paredes celulares, y otras sustancias de sostén como la lignina y pentosanas. Fracciones elevadas de componentes vegetales en los alimentos balanceados dan lugar por lo regular a un alto contenido

de fibra bruta. Scerbina (1973) demostró de sus estudios en carpas que la digestibilidad de la fibra bruta es menor cuando se halla en pequeñas cantidades en el alimento. Takeuchi et al. (1979) estudio la relación existente entre la tasa de celulosa del alimento y la digestibilidad de la energía en carpas, y observó que la digestibilidad de la energía disminuye conforme aumenta la cantidad de celulosa en el alimento.

2.5. Energía digestible

La energía no es un nutriente, sino más bien un producto terminal de los alimentos absorbidos en el intestino, capaces de liberar calor cuando se oxidan y se metabolizan. La energía que contiene la unidad de peso de un determinado alimento se denomina energía bruta. Algunos componentes resisten a la acción del proceso digestivo y no son absorbidos, siendo eliminados en forma de heces, la energía que corresponde a este porcentaje de alimento eliminado en las heces se denomina energía fecal. La diferencia entre la energía bruta del alimento y la energía bruta contenida en las heces se denomina energía digestible (Blanco, 1995).

Según Cañas (1998) la energía digestible corresponde a aquella porción de la energía consumida que es absorbida por el animal y por lo tanto no aparece en las heces fecales, esta energía digestible es aparente, ya que resulta de la diferencia de energía bruta consumida y la energía bruta de las heces fecales. En las heces fecales, parte de la energía presente tiene su origen en fluidos digestivos que no fueron reabsorbidos y células descarnadas de la mucosa intestinal, denominada energía metabólica fecal (EMF). Por lo tanto, la energía digestible real está dada por la diferencia entre la energía digestible aparente y EMF. Si bien es cierto que la energía digestible real representa lo que ocurre con el alimento después del proceso de la digestión, la energía metabólica fecal es parte del requerimiento energético del animal, por lo que se usa preferentemente el valor de ED aparente.

2.5.1. Cálculo de la energía digestible

La energía digestible se determina hallando previamente la energía bruta del ingrediente mediante la bomba calorimétrica; posteriormente se multiplica el valor de la energía bruta con el coeficiente de digestibilidad aparente de la energía bruta, calculado con las ecuaciones propuestas por Pezzato et al. (2004). Con la siguiente fórmula se obtendrá la energía digestible aparente (Virães, 2008).

$$ED = CDA E^{\circ} \times EB$$

Dónde:

ED = Energía digestible del ingrediente o dieta.

EB = Energía bruta del ingrediente o dieta (determinada por bomba calorimétrica).

CDA E° = Coeficiente de digestibilidad aparente de la energía del ingrediente o dieta.

2.6. Evaluaciones de digestibilidad y energía digestible en peces

Existen diversos estudios realizados en el género *Brycon sp.* Sallum et al. (2002) evaluaron el coeficiente de digestibilidad aparente (CDA) de la materia seca, proteína cruda y extracto etéreo de ingredientes como el maíz, harina de trigo, harina de semilla de algodón, torta de soya y harina de pescado, utilizados en la alimentación de la *Brycon cephalus*. Los coeficientes de digestibilidad aparente (CDA) de la materia seca (MS), proteína bruta (PB) y extracto etéreo (EE) de la torta de soya fueron 44.31; 90.53; 47.08 por ciento, respectivamente.

Esos resultados difieren a los hallados por Marchán (2017), quien evaluó dos ingredientes energéticos en Sábalo cola roja (*Brycon erythropterus*), maíz y harinilla de trigo, obtuvo un valor para CDA de materia seca 75.66 y 52.29 por ciento, CDA de proteína bruta 73.90 y 88.71 por ciento, CDA de extracto etéreo 88.38 y 89.06 por ciento, CDA de extracto libre de nitrógeno (ELN) 83.40 y 45.89 por ciento, y CDA de energía bruta 68.92 y 53.29 por ciento respectivamente. Además, la energía digestible en base seca (Mcal/Kg) para maíz y harinilla de trigo fue 2.74 y 2.46, respectivamente. La evaluación de la digestibilidad de harina de pescado en la misma especie, obtuvo valores para CDA de materia seca 76 por ciento, CDA de proteína bruta 90.82 por ciento, CDA de extracto etéreo 95.82 por ciento, CDA de extracto libre de nitrógeno 37.02 por ciento, y CDA de energía bruta 78.90 por ciento respectivamente. Además, la energía digestible en base seca (Mcal/Kg) para harina de pescado fue 4.11 (Vilcapoma, 2017). Estos resultados se explican porque la harina de pescado tiene un contenido de lípidos mayor que otros ingredientes, y la oxidación lipídica rinde aproximadamente dos veces más energía que la oxidación de carbohidratos y proteínas. Además, se ve favorecido cuando el nivel de fibra cruda, material no digestible, es bajo (Gutiérrez et al., 2009), puesto que mayor contenido de fibra bruta, disminuye la digestibilidad de los compuestos orgánicos (Buxade, 1994).

Otras investigaciones realizadas en *Brycon cephalus*, no encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) en la digestibilidad de la fracción de proteína cruda de cinco dietas (isoproteicas: 35 por ciento de PC e isoenergética: 3000kcal / ED / kg), cuando la proteína de la harina de pescado se sustituyó por la harina de soya a niveles de 0 a 80 por ciento. El uso potencial de las proteínas de origen vegetal para peces tropicales se demuestra además con la misma especie y la dieta (25 por ciento PC), que contiene 45.7 por ciento de harina de soya y 31.4 por ciento de harina de pescado y consiguió pesos finales, respectivamente, de 1.343 kg y 1.149 kg y la conversión alimenticia 1.9 y 2.3 (Cyrino et al y por Mendonca et al.; citado por Fonseca et al. (2006).

En otras especies también se realizaron investigaciones. Barboza (2016) determinó digestibilidad de los nutrientes y la energía digestible de la torta de soya (*Glycine max*) en juveniles de Gamitana (*Colossoma macropomum*). Obtuvo resultados de CDA (%) para materia seca 61.16 ± 1.98 , proteína 82.76 ± 0.79 , extracto libre de nitrógeno 36.91 ± 2.61 , extracto etéreo 72.42 ± 1.52 , ceniza 36.44 ± 5.26 y energía bruta 67.31 ± 1.68 . Además, la energía digestible fue 3.36 Mcal/Kg (base seca). En la misma especie, Gutierrez (1999) evaluó el efecto de diferentes niveles de energía digestible y proteína dietaria con tres experimentos, los resultados demostraron que un incremento del nivel de energía dietaria mejora la ganancia de peso, conversión alimenticia, energía retenida y la razón e eficiencia proteica. La respuesta al nivel de energía indicó que las concentraciones mínimas de proteína y energía digestible para gamitana deben ser de 25 por ciento y 2.70 kcal/ g respectivamente.

Estudios realizados en el género *Piaractus sp*, por Gutiérrez y Vásquez (2008) quienes determinaron los coeficientes de digestibilidad aparente de la proteína y energía bruta de la soya (*Glycine max*), utilizada en la formulación de dietas para Paco (*Piaractus brachypomus*), encontraron que los coeficientes de digestibilidad aparente de la proteína y energía fueron para la soya integral cruda 75.6 ± 3.7 por ciento y 65.7 ± 7.5 por ciento, soya integral tostada 81.1 ± 0.1 por ciento y 59.1 ± 4.9 por ciento, y torta de soya 83.2 ± 1.6 por ciento y 59.9 ± 2.9 por ciento, respectivamente. Resultados similares en estudios con la torta de soya en la misma especie encontraron Vergara et al. (2011), obtuvieron un CDA de 63.19 por ciento para materia seca, 81.84 por ciento para proteína, 70.10 por ciento para extracto etéreo, 48.01 por ciento para extracto libre de nitrógeno y 69.64 por ciento para energía. Además, la energía digestible en base seca fue 3.49 Mcal/kg.

En Paco (*Piaractus mesopotamicus*), Stech et al. (2010) determinaron los coeficientes de digestibilidad de la proteína (%) de la torta de soya, soya extruida, soya tostada, soya cruda y soya macerada; cuyos valores fueron 93.88 ± 0.36 , 95.23 ± 0.23 , 94.99 ± 0.65 , 80.06 ± 1.76 , 82.80 ± 1.42 por ciento respectivamente. Además, determinó la proteína digestible en base seca cuyos valores expresados en porcentaje fueron 41.98 ± 1.33 en torta de soya, 40.49 ± 0.08 soya extruida, 37.61 ± 0.90 en soya tostada, 33.67 ± 2.50 en soya cruda y 34.77 ± 0.65 en soya macerada.

Para tilapia también se han realizado investigaciones. Boscolo et al. (2004) determinaron los coeficientes de digestibilidad aparente (%) de energía bruta y proteína bruta en harina de corvina, harina de tilapia y harina integral de camarón de río para tilapia de Nilo (*Oreochromis niloticus*) cuyos valores fueron 54.45 y 70.67; 48.52 y 67.09; 68.38 y 88.79 respectivamente. Además, determinó la energía digestible (kcal/kg) y proteína digestible (%) cuyos valores fueron 2107.46 y 37.50 en harina de corvina, 1927.18 y 28.72 en harina de tilapia, 2763.23 y 53.74 en harina integral de camarón de río. En la misma especie, se obtuvo coeficientes de digestibilidad de la fracción de proteína cruda: 92.20 en harina de filete de pescado, 92.60 en harina de pescado comercial, 96.20 en harina de carne, 91.10 en pulpa de gusanos de seda, 90.7 en gluten de maíz, 90.9 en torta de soya, 95.5 en germen de trigo, 88.3 en salvado de arroz desgrasado, y en salvado de trigo el valor fue 93.7 por ciento (Watanabe et al.; citado por Fonseca et al., 2006).

En otros estudios, Dallagnol et al. (2010) determinaron los coeficientes de digestibilidad aparente de derivados de soya en juveniles de tilapia de Nilo. Los resultados que obtuvieron de coeficientes de digestibilidad aparente (%) de la energía bruta y proteína bruta fueron los siguientes: harina de soya blanca, 77.77 y 95.15, aislado proteico de soya 84.33 y 96.42, harina de soya extruida y prensada 76.93 y 91.83, y harina de soya convencional 72.92 y 92.78 respectivamente. Respecto a la energía digestible (kcal/kg) y proteína digestible (%) los valores hallados fueron los siguientes: harina de soya blanca, 3306 y 47.97; aislado proteico de soya 4139 y 79.11; harina de soya extruida y prensada 3614 y 39.55; y harina de soya convencional 3070 y 46.59 respectivamente.

Vásquez-Torres et al. (2010) realizaron pruebas de digestibilidad en tilapia roja híbrida para hallar el CDA (%) de diferentes ingredientes, como la torta de soya, encontrando para materia seca un CDA de 90.7 ± 1.0 por ciento, 92.4 ± 0.2 para la proteína y 73.9 ± 1.7 para energía.

Furuya et al.; citados por Virães (2008), obtuvieron resultados similares cuando determinaron los coeficientes de digestibilidad aparente (%) de la torta de soya en tilapia: materia seca 89.01, 92.72 para proteína bruta, y 77.21 en energía bruta. Ambos resultados de CDA de la proteína bruta son similares.

En trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*); un estudio de digestibilidad de nutrientes y energía digestible de la torta de Sacha Inchi extruida en juveniles obtuvo los siguientes coeficientes de digestibilidad aparente para materia seca 97.33 por ciento, 96.77 en proteína cruda, 86.63 en extracto etéreo, 71.98 para extracto libre de nitrógeno y 96.17 en energía bruta. Por último, la energía digestible obtenida de la torta de Sacha Inchi extruida para trucha arco iris fue de 4671.53 kcal/kg en base fresca y 5187.12 kcal/kg en base seca (Jara, 2013). Resultado similar se obtuvo cuando se determinaron los coeficientes de digestibilidad aparente para torta de soya en trucha: materia seca 74 por ciento, y proteína bruta 96 por ciento (Cho y Bureau; citados por Virães, 2008).

Con el fin de evaluar la digestibilidad aparente de varias fuentes de proteínas se realizaron estudios con carpa común de peso promedio de 800 gramos. Los autores obtuvieron los siguientes resultados para proteína (%) y energía digestible (%) en harina de peces, 83.80 y 93.40; torta de soya, 69.80 y 74.70; y para harina de vísceras de aves, 47.20 y 63.90 por ciento respectivamente (Degani et al; citado por Fonseca et al., 2006). Scerbina (1973), evaluó un triturado de extractivos de la soya que contenía un 25.40 por ciento de carbohidratos en base seca y obtuvo una digestibilidad de 51 por ciento. También se evaluó la digestibilidad real de la proteína de diversos alimentos para carpas y se obtuvo para la harina de soya desengrasada el valor de 96 por ciento (Ogino y Chen, 1973). Mientras que, en estudios de comparación de las digestibilidades aparente y real de la proteína de diversos alimentos para las carpas realizadas por Kim (1974), la dieta que contenía como proteína de la ración a la proteína de soya purificada en una tasa de proteína de 12.3 por ciento obtuvo una digestibilidad aparente de 87 por ciento y digestibilidad real 92 por ciento.

Virães (2008) reportó en *Pterophyllum scalare*, pez ornamental, coeficientes de digestibilidad aparente de la torta de soya, 76.57 por ciento para materia seca, 97.10 en proteína bruta y 78.26 por ciento para energía bruta en base seca. Además, energía digestible en base seca de la torta de soya de 3.829 Mcal/kg.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar y duración de la fase experimental

La fase experimental de este trabajo se llevó a cabo en el Laboratorio de Investigación de Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos (LINAPC), que pertenece al Departamento Académico de Nutrición de la Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), ubicado en el distrito de La Molina, Departamento de Lima, Perú.

La elaboración del alimento balanceado se realizó en la Planta de Alimentos Balanceados del Programa de Investigación y Proyección Social en Alimentos. La proteína soluble en KOH e índice de actividad ureásica del ingrediente evaluado y el análisis químico proximal del ingrediente evaluado, las dietas y heces se determinaron en el Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos (LENA) de la Facultad de Zootecnia. La determinación del óxido de cromo, se realizó en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF) del Departamento de Suelos de la Facultad de Agronomía. El calor de combustión, energía bruta, se determinó mediante bomba calorimétrica en el Instituto de Investigación Nutricional (IIN). El periodo experimental duró 30 días, del 15 de mayo al 14 junio del 2016.

3.2. Instalaciones y equipos

El LINAPC cuenta con dos acuarios de adaptación, 18 acuarios de crecimiento y nueve acuarios para pruebas de digestibilidad (Anexo 1 y Anexo 2). La unidad experimental fue cada acuario de digestibilidad tipo *Guelph*, de fibra de vidrio con capacidad de 55 litros de agua y con medidas de 0.47 m x 0.47 m x 0.50 m, diseñados de resina poliéster de color blanco, liso por dentro y afuera, con base en plano inclinado a 13° para realizar la colección de heces y frontis de vidrio de 6mm incorporado de 43 cm. x 55 cm. visible.

Para el manejo de los sábalos se utilizó mallas SERA para capturarlos, una balanza analógica marca SORES modelo PS 4500.R1 con 0.01g de precisión y capacidad de 4500g, para pesar el alimento suministrado, peso individual de cada sábalo y peso de las heces, también se usó un ictiometro, para medir la longitud de los peces al inicio y final del periodo experimental. En el tratamiento de las heces se utilizó placas petri, mallas metálicas de 100µm para colectar las heces, estufa y refrigerador.

3.3. Animales experimentales

Se utilizó 24 sábalos cola roja (*Brycon erythropterum*) en estadio juvenil, lo cuales se adquirieron de la Piscigranja Amazonian Aquaculture Service EIRL de Iquitos de peso inicial de 184.08 ± 4.37 gramos y una talla inicial de 17.43 ± 0.16 cm. Además, se realizó mediciones de biomasa final de cada acuario, los datos se presentan en el Anexo 5. Se distribuyeron los peces aleatoriamente en seis unidades experimentales, es decir, cuatro peces por acuario de digestibilidad, como se muestra en el Anexo 3.

3.4. Ingrediente evaluado

El ingrediente evaluado fue torta de soya, el cual fue usado también para la preparación de la dieta de referencia. Es un subproducto obtenido a partir del proceso de extracción de aceite de la semilla de soya por el método de extracción por solvente (hexano). El análisis químico proximal de la torta de soya evaluada, reporta en base fresca el contenido nutricional, 89.60 de materia seca, proteína bruta 47.70, extracto etéreo 1.90, fibra cruda 4.00, ceniza 6.90, y extracto libre de nitrógeno 29.10 por ciento (LENA, 2016). El valor de energía bruta fue 4.24 Mcal/kg (IIN, 2016). El valor de proteína soluble en KOH, 76 % e índice de actividad ureásica ,0.15 (LENA, 2016).

3.5. Análisis de laboratorio

Se realizó el análisis químico proximal (AOAC, 2005) del ingrediente evaluado, las dietas y heces para determinar la materia seca mediante estufa a 105 °C por 24 horas, proteína cruda con el método semi microkjeldhal, lípidos con el extractor de grasa de Soxhlet, ceniza con mufla a 600°C por 24 horas, fibra cruda mediante doble digestión, ácida y alcalina, y el extracto libre de nitrógeno se halla por diferencia. La energía bruta se cuantifico utilizando la bomba calorimétrica, por el método de ASTM METHOD D-2015-66 (1972) en el Instituto de Investigación Nutricional (IIN). También se determinó las concentraciones de óxido de cromo

en las dietas y heces por espectrofotometría de absorción atómica la cual arroja la concentración total de cromo, previa digestión vía seca la cual se realizó por calcinación a 450°C/8h y la disolución en ácido clorhídrico (AOAC, 1990). Además, se determinó valor de proteína soluble en KOH en el ingrediente evaluado (Evan R.J. and J.L. Scoott, 1945) e índice de actividad ureásica.

3.6. Dietas experimentales

Se usó dos dietas, las cuales son detalladas a continuación:

- a. **Dieta referencial:** Contení 99.5 por ciento de un alimento estándar que contení torta de soya y 0.5 por ciento del indicador óxido de cromo (Cr_2O_3).
- b. **Dieta prueba:** Contení 70 por ciento de la dieta referencial y 30 por ciento del ingrediente evaluado, torta de soya.

Las dietas experimentales fueron preparadas a partir de un alimento estándar para Sábalo cola roja, dicha dieta fue formulada al mínimo costo, la fórmula de la dieta estándar, así como el valor nutritivo calculado, y la fórmula de la premezcla de vitaminas y minerales se muestran en los cuadros 3 y 4 respectivamente. El óxido de cromo (Cr_2O_3) fue usado como un indicador inerte.

Las dietas experimentales se prepararon en la Planta de Alimentos Balanceados de la UNALM. Se realizó la mezcla de 20 kg de dieta estándar. La dieta de referencia y la dieta prueba se prepararon según los porcentajes descritos a partir de la dieta estándar. Las dietas se peletizaron utilizando una peletizadora Buhler, a ambas dietas se les agregó humedad con agua caliente, lográndose una mezcla húmeda que se hizo pasar de forma directa por la prensa de la peletizadora con molde de 3.5 mm. Luego se secaron en una estufa eléctrica a 60° C durante 30 minutos y se tamizaron con la finalidad de reducir el porcentaje de finos. Una vez secos los pellets, se tamizaron para eliminar el polvillo y los pellets quebrados, obteniendo pellets de 3.5 mm de diámetro y 5 a 6 mm de longitud. Los pellets se colocaron en frascos debidamente rotulados y se almacenaron a temperatura ambiente hasta su posterior uso.

Cuadro 3. Fórmula de la dieta estándar y valor nutricional calculado.

Ingredientes (%)	Dieta Estándar
Torta de soya, 47%	36.20
Maíz	23.01
Harina de pescado prime	20.00
Harinilla de trigo	16.53
Aceite de soya	3.32
Sal	0.40
Premezcla vitaminas y minerales	0.20
Cloruro de colina	0.10
Anti fúngico	0.05
Antioxidante	0.20
TOTAL	100.00
Valor Nutricional Estimado	
Mat. Seca %	89.03
Proteína %	34.83
Fibra %	2.63
Grasa %	7.95
ED Sabalo (Mcal/Kg)	3.43
Lisina %	2.31
Metionina %	0.73
Cistina %	0.44
Arginina %	2.37
Treonina %	1.40
Triptofano %	0.45
Met. + Cist. %	1.21
Ac. Gs. N-3 %	1.02
Ac. Gs. N-6 %	2.20
Fosf. Total %	0.94
Calcio %	0.87
Sodio %	0.40

Cuadro 4. Fórmula de la premezcla de vitaminas y minerales

Nutriente	Cantidad	Unidad
Vitamina A	14 000 000	UI
Vitamina D3	2 800 000	UI
Vitamina E	140 000	UI
Vitamina K3	8.000	g
Tiamina (B1)	18.000	g
Riboflavina (B2)	20.000	g
Niacina	150.000	g
Ácido Pantoténico	50.000	g
Piridoxina (B6)	15.000	g
Biotina	0.800	g
Ácido fólico	4.000	g
Ácido ascórbico	315.000	g
Vitamina B12	0.030	g
Cloruro de colina, mg	600.000	g
Manganeso	40.000	g
Hierro	20.000	g
Zinc	20.000	g
Cobre	1.500	g
Yodo	1.500	g
Selenio	0.300	g
Cobalto	0.150	g
Antioxidante	120.00	g
Excipientes c.s.p.	3 000.000	g

Composición por 3 Kg. de premezcla.

Fuente: DSM Nutritional Products Perú S.A. (2016)

3.7. Proceso experimental

Para determinar los coeficientes de digestibilidad aparente de los nutrientes y energía de la torta de soya se utilizó el método indirecto usando como marcador inerte el óxido de cromo. Los 24 juveniles de Sábalo cola roja se distribuyeron en seis acuarios de digestibilidad tipo *Guelph*, cada uno representa una repetición, por lo que la dieta referencial y la dieta prueba tuvieron tres repeticiones cada una. Inicialmente en su llegada de Iquitos se llevó a cabo un proceso de aclimatación de los peces a los acuarios y al laboratorio, tuvo un lapso de 15 días, durante este periodo los peces fueron manejados en acuarios de adaptación los cuales eran cubiertos para evitar el ingreso de luz, la alimentación era con una dieta estándar y se realizaba con las luces apagadas, con ese manejo se disminuía el estrés de la adaptación. Progresivamente se fue retirando la cubierta de los acuarios, y los peces se fueron adaptando al manejo y a los acuarios. Posteriormente se distribuyeron los peces aleatoriamente en seis unidades experimentales, donde se llevó a cabo el proceso de adaptación a las dietas experimentales durante tres días, periodo en el cual no se realizó colección de heces.

3.7.1. Suministro de alimento

Los peces fueron divididos en dos grupos, tres acuarios consumieron la dieta referencial y tres acuarios consumieron la dieta prueba.

La alimentación de los peces fue a punto de saciedad, dos veces al día, a las 8:30 am y 4:30 pm, en cantidades que fue ajustando gradualmente conforme al incremento de consumo de los peces. La suministración del pellet se realizó uno a uno, para asegurar que todo el alimento ofrecido sea ingerido (Anexo 3 y 5). Después de la alimentación de los peces, se procedía a sifonear los acuarios con la finalidad de eliminar del sistema los residuos de alimento y heces.

3.7.2. Colección y manejo de heces

Inicialmente en la fase de adaptación de los peces a las dietas referencial y prueba no se realizó colección de heces, por un periodo de tres días. A partir del cuarto día, las 8:00 am y 4:00 pm, las heces sedimentadas fueron extraídas del colector de heces, pasadas por una malla de 100 μm y colocadas en una placa Petri, además se eliminaban las escamas que se pudieron encontrar. Las heces sin escamas, fueron secadas a 60°C por seis horas, e inmediatamente congeladas y almacenadas a -15 °C en recipientes en un refrigerador hasta su posterior análisis.

Las heces recolectadas en ese procedimiento libres de contaminación con partículas de alimento se consideraron como la muestra representativa de las heces producidas a lo largo de ocho horas. Se consiguió un promedio de 11 gramos de heces secas por cada acuario de digestibilidad. El procedimiento se realizó a lo largo del periodo de 30 días.

3.7.3. Control de parámetros ambientales

El agua utilizada para alimentar el sistema de recirculación provenía de la red de agua potable pública del distrito de La Molina. Los parámetros de calidad del agua se midieron en tres acuarios de digestibilidad escogidos al azar. El oxígeno disuelto, dureza, pH, nitrógeno amoniacal y nitritos se midieron tres veces por semana a cualquier hora del día, mientras que la temperatura del acuario y temperatura ambiental, se midió en tres momentos del día; 8:00 a.m, 12:00 m y 4:00 p.m. Dos veces por semana se realizó limpieza de los acuarios, filtros y recambio del 20 por ciento de agua del sistema. En el Cuadro 5. se explica a detalle la metodología de control de parámetros ambientales.

3.8. Calculo de los coeficientes de digestibilidad aparente de los nutrientes y energía de las dietas y de la torta de soya

Las estimaciones del porcentaje de digestibilidad aparente se realizaron sobre la base de la cantidad de heces en cada una de las réplicas colectadas durante 30 días. Los coeficientes de digestibilidad aparente (CDA) para materia seca, proteína bruta, extracto etéreo, extracto libre de nitrógeno y energía bruta, se determinaron utilizando las siguientes fórmulas:

Fórmulas para determinar digestibilidad de los nutrientes y energía las dietas ingeridas (Cho et al, 1982).

$$CDA (d) = 100 - \left[100 \left(\frac{\%Cr2O3 d}{\%Cr2O3 h} \right) \times \left(\frac{\%N h}{\%N d} \right) \right]$$

Dónde:

CDA_(d) = coeficiente de digestibilidad aparente de la dieta

Cr₂O_{3d} = % de óxido de cromo en la dieta

Cr₂O_{3h} = % de óxido de cromo en las heces

Cuadro 5. Metodología de control de parámetros ambientales.

Parámetro	Metodología
Dureza	Se utilizó el kit colorimétrico de dureza <i>Hardness Liquid Vers</i> marca <i>LaMotte</i> , el cual utiliza el valorador de lectura directa, que proporcionan una exactitud dentro de la gama habitual de 0-200 ppm, con una sensibilidad de 4 ppm de carbonato de calcio (CaCO ₃).
Nitritos	Se utilizó el kit colorimétrico de nitritos <i>Nitrit-Test (NO₂)</i> de la marca <i>Sera</i> el cual tendrá cinco niveles de coloración, que indicaran cinco valores de nitritos (NO ₂) respectivamente; 0.3 mg/L, 0.9 mg/L, 1.6 mg/L, 3.3 mg/L y 16.5 mg/L.
Nitrógeno Amoniacal	Se utilizó el kit colorimétrico de nitrógeno amoniacal <i>Ammonia Nitrogen Test Kit</i> marca <i>LaMotte</i> , el cual utiliza el valorador de lectura directa marca <i>Hanna Instruments</i> , que proporcionan una exactitud dentro de la gama habitual de 0 – 3 mg/L, con una sensibilidad de 0.01 mg/L de nitrógeno amoniacal.
Oxígeno disuelto	Se utilizó un monitor de oxígeno de la marca <i>PinPoint II</i> , el cual puede mostrar una lectura digital para el oxígeno disuelto. Su rango de medición es de 0.0 – 20.0 mg/L.
Potencial de hidrogeno (pH)	La medida del pH se realizó con un medidor de pH, <i>PHTestr10</i> , marca <i>Waterproof</i> con rango de medición de 1.0 – 10 pH, con 0.1 de precisión.
Conductividad eléctrica	Se utilizó el conductímetro marca <i>Hanna Instruments</i> , el cual mide la conductividad eléctrica con una sensibilidad de 0.01 mS.
Temperatura del acuario	Se utilizó el conductímetro marca <i>Hanna Instruments</i> , el cual mide también la temperatura del acuario con una sensibilidad de 0.1 °C y rango 0- 40°.
Temperatura ambiental	Se midió con un termómetro electrónico de la marca <i>Sper Scientific</i> , este dispositivo permite configurar la T° min/max y emitir una alarma en caso varíe el rango de °T configurado. Su rango de medición es de 10 – 50 °C, con 1°C de precisión.

Nd = % nutrientes en la dieta

Nh = % nutrientes en las heces

Fórmulas para determinar digestibilidad de los nutrientes y energía del ingrediente evaluado, torta de soya. (Pezzato et al., 2004)

$$CDA (ing) = \frac{CDA (dp) - b * CDA (dr)}{a}$$

Dónde:

CDA (ing) = coeficiente de digestibilidad aparente del ingrediente evaluado.

CDA (dp) = coeficiente de digestibilidad aparente de la dieta prueba.

CDA (dr) = coeficiente de digestibilidad aparente de la dieta referencial.

a = porcentaje del ingrediente evaluado en la dieta prueba= 30%.

b = porcentaje de la dieta referencial en la dieta prueba= 70%.

3.9. Cálculo de la digestibilidad de los nutrientes de la torta de soya

El valor de la digestibilidad de nutrientes resulta del producto de la concentración del nutriente (%), obtenido del análisis proximal de la torta de soya; y el coeficiente de digestibilidad aparente, calculado con las ecuaciones propuestas por Pezzato et al. (2004). Con la siguiente fórmula se obtendrá la digestibilidad aparente de la materia seca, proteína, extracto etéreo y extracto libre de nitrógeno (ELN) (Virães, 2008). Con la siguiente fórmula se obtendrá la digestibilidad aparente de la materia seca, proteína cruda, extracto etéreo y extracto libre de nitrógeno (ELN) de la torta de soya (Virães, 2008).

$$DIG. Ingr. (\%) = Nutr. Ingrid. (\%) * (CDA nutr. ingr)$$

Dónde:

DIG. Ingr.: Digestibilidad de un nutriente en la torta de soya.

Nutr. Ingrid.: Concentración de un nutriente (%) en la torta de soya (determinado por análisis químico proximal).

CDA nutr. ingr: coeficiente de digestibilidad aparente de un nutriente o energía de la torta de soya.

3.10. Cálculo de la energía digestible de la torta de soya

La energía digestible se determina hallando previamente la energía bruta del ingrediente mediante la bomba calorimétrica; posteriormente se multiplica el valor de la energía bruta con el coeficiente de digestibilidad aparente de la energía bruta, calculado con las ecuaciones propuestas por Pezzato et al. (2004). Con la siguiente fórmula se obtendrá la energía digestible de la torta de soya (Virães, 2008).

$$ED = CDA E^{\circ} \times EB$$

Dónde:

ED: Energía digestible de la torta de soya.

EB: Energía bruta de la torta de soya (determinada por bomba calorimétrica).

CDA E°: Coeficiente de digestibilidad aparente de la energía de la torta de soya.

3.11. Parámetros estadísticos

Se utilizó la estadística descriptiva, empleando valores como promedio, desviación estándar y coeficiente de variabilidad (Calzada, 1982).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Parámetros de calidad agua

Las condiciones de calidad de agua en el periodo experimental, se muestra a detalle en el Cuadro 6 y Anexo 4. Los parámetros de calidad de agua no afectaron las evaluaciones de la investigación.

La temperatura del acuario se mantuvo alrededor de 28 °C, semejante a las condiciones en las que se manejó *Brycon orbignyanus* (Do Carmo y Fracalossi, 2002) y *Brycon cephalus* (Izel et al, 2004). Además, se cumplió con las condiciones de temperatura de agua para Sábalo cola roja, 28.5 a 30 °C (Ramos et al, 2011).

El pH se mantuvo en un promedio de 7.39, superior al pH manejado para *Brycon orbignyanus* y *Brycon cephalus* (Do Carmo y Fracalossi, 2002; Izel et al, 2004). Sin embargo, es cercano a lo manejado en *Brycon Henni* (Aguirre y Muñoz, 2015) y a lo recomendado para sábalo cola roja (Ramos et al., 2011).

En nitrógeno amoniacal y nitritos, se mantuvo alrededor de 0.36 mg/L y 0.79 mg/L, respectivamente. Los nitritos están dentro de lo recomendado por la FAO para la especie *Brycon sp* (FAO, 2010).

La dureza se mantuvo en un promedio de 155.69 ppm, lo adecuado para la especie. El oxígeno disuelto se mantuvo en promedio en 5.34 mg/L, lo cual es similar a las condiciones manejadas en *Brycon orbignyanus* y *Brycon cephalus* (Do Carmo y Fracalossi, 2002; Izel et al, 2004). El valor es cercano a lo que Ramos et al. recomienda para sábalo cola roja en oxígeno disuelto (Ramos et al., 2011).

Cuadro 6. Parámetros de calidad de agua y ambiental

Parámetros		Promedio
	8.00 am	28.51
Temperatura del acuario (°C)	12.00 m	28.58
	4.00 pm	27.69
	8.00 am	22,75
Temperatura ambiental (°C)	12.00 m	23,63
	4.00 pm	21.25
pH		7.39
Nitrógeno amoniacal (mg/L)		0.36
Nitritos (mg/L)		0.79
Dureza (ppm)		155.69
Conductividad eléctrica (mS)		3.16
Oxígeno disuelto (mg/L)		5.34

4.2. Coeficientes de digestibilidad aparente (CDA) de la torta de soya

En el Cuadro 7. se muestran los análisis químicos de las dietas de referencia y prueba, así como las heces correspondientes a cada una, los cuales fueron usados para hallar los CDA de la dieta y el ingrediente. Los resultados de coeficientes de digestibilidad aparente (CDA) de la torta de soya en base seca para Sábalo cola roja (*Brycon erythropterum*) se muestran en el Cuadro 8 y Anexo 12., además se muestra el contenido nutricional, energía bruta y nutrientes digestibles en el Cuadro 7. Para la materia seca se obtuvo un CDA de 60.29 ± 2.12 por ciento lo cual es superior al hallado por Sallum et al. (2002) quien obtuvo un valor de 44.31 por ciento en sábalo (*Brycon cephalus*). Además, es un valor similar al que se encontró para torta de soya en Gamitana (*Colossoma macropomum*), 61.16 ± 1.98 por ciento (Barboza, 2016). En otras evaluaciones con la torta de soya en *Piaractus brachypomus*, Vergara et al., (2011) obtuvieron un CDA de 63.19 por ciento para materia seca, similar a lo obtenido por Barboza (2016), pero superior a los resultados de esta prueba. En estudios de digestibilidad en tilapia roja híbrida encontraron para la torta de soya CDA para materia seca de 90.70 por ciento, superior a los resultados obtenidos en otras especies anteriormente mencionadas (Vásquez-Torres et al., 2010), esta notoria diferencia podría deberse al uso una dieta de referencia semipurificada, puesto que los ingredientes purificados tienen valores más altos de digestibilidad aparente (Siccardi III et al., 2006). Virões (2008) reportó coeficientes de digestibilidad aparente de la torta de soya en *Pterophyllum scalare*, pez ornamental, para materia seca de 76.57 ± 5.36 por ciento.

Según Au y Bidart (1992) la digestibilidad constituye un indicador de la materia prima que a veces varía notablemente de una especie a otra y los estudios citados lo reflejan; excepto Vásquez-Torres; ya que a pesar de evaluar el mismo ingrediente en dietas prácticas donde el ingrediente a evaluar estaba en la dieta de referencia; existe diferencias en CDA de un ingrediente debido a que todos evaluaron en especies distintas, por ende, la digestibilidad de este ingrediente para cada especie será distinto.

Cuadro 7. Análisis químico de las dietas y heces

	Referencia	Prueba	
Dieta	Materia seca (%)	92.80	91.40
	Proteína Bruta(%)	36.30	39.50
	Extracto Etéreo (%)	7.30	6.10
	Fibra (%)	3.50	3.10
	Ceniza (%)	7.80	7.30
	ELN (%)*	37.90	35.40
	Energía Bruta (Mcal/kg)	4.45	4.38
Heces	Materia seca (%)	89.11 ± 0.38	88.41 ± 0.28
	Proteína Bruta(%)	13.76 ± 1.31	15.68 ± 0.66
	Extracto Etéreo (%)	1.50 ± 0.14	0.99 ± 0.04
	Fibra (%)	17.55 ± 1.57	18.68 ± 1.77
	Ceniza (%)	9.30 ± 0.47	10.69 ± 0.21
	ELN (%)*	47.00 ± 2.86	42.37 ± 2.45
	Energía Bruta (Mcal/kg)	3.72 ± 0.04	3.15 ± 0.04
% Óxido de Cromo Alimento	0.43	0.43	
% Óxido de Cromo Heces	1.60 ± 0.01	1.39 ± 0.03	

Los datos reportados muestran promedios más desviación estándar en tal como ofrecido.

* ELN: Extracto Libre de Nitrógeno.

Cuadro 8. Contenido nutricional y digestibilidad de la torta de soya

Contenido nutricional	Base Fresca	Base Seca
Materia seca (%)	89.60	100.00
Proteína cruda (%)	47.70	53.24
Extracto etéreo (%)	1.90	2.12
Fibra (%)	4.00	4.46
Ceniza (%)	6.90	7.70
Extracto Libre de Nitrógeno (ELN) (%)	29.10	32.48
Energía Bruta (Mcal/Kg)	4.24	4.73
Coefficientes de digestibilidad aparente		
Materia seca (%)		60.29 ± 2.12
Proteína cruda (%)		82.73 ± 2.72
Extracto etéreo (%)		96.16 ± 0.41
ELN (%)		54.26 ± 4.18
Energía Bruta (%)		78.17 ± 2.79
Nutrientes digestibles		
Materia seca (%)		60.29
Proteína cruda (%)		44.05
Extracto etéreo (%)		2.04
ELN (%)		17.62
Energía Digestible (Mcal/kg)		3.70

En cuanto a los CDA de materia seca de otros ingredientes evaluados en Sábalo cola roja (*Brycon erythropterum*), se puede comparar con los resultados obtenidos en otro ingrediente proteico y dos ingredientes energéticos. Vilcapoma (2017) reportó la digestibilidad de harina de pescado en Sábalo cola roja (*Brycon erythropterum*) y obtuvo un valor del CDA para materia seca de 76 por ciento, superior a lo obtenido para la torta de soya. Por otro lado, Marchán (2017) evaluó maíz y harinilla de trigo, y obtuvo un valor para CDA de materia seca en maíz de 75.66 por ciento, superior al obtenido en la presente investigación; mientras que para harinilla de trigo el valor de CDA en materia seca fue 52.29 por ciento, menor a lo obtenido en torta de soya para esta especie. Esto tiene relación con los niveles de fibra en base seca; harina de pescado, 0.33; maíz 1.68; torta de soya, 4.46 y harinilla de trigo 8.72 por ciento; ya que las altas concentraciones de fibra y ceniza reducen la digestión de materia seca (Gutiérrez et al., 2009). También, se evidencia que el Sábalo cola roja a pesar de ser una especie omnívora, aprovecha mejor los ingredientes de origen animal que los de origen vegetal, ya que las células vegetales poseen una pared celular que les da gran resistencia y dificulta la penetración de las enzimas digestivas (Hepher, 1988). Sin embargo, el maíz es mucho más digestible que la harinilla de trigo. Sallum et al. (2002) en su investigación en *Brycon cephalus* obtuvo mayores CDA en harina de pescado, seguido de harina de trigo, maíz y por último el valor más bajo lo obtuvo torta de soya, demostrando nuevamente que, a pesar que dos especies pertenecen a un mismo género, la digestibilidad para los mismos ingredientes será distinta.

El CDA de la proteína bruta de la torta de soya se muestra en el Cuadro 8 y Anexo 12. el valor obtenido de CDA de la proteína bruta para torta de soya fue 82.73 ± 2.72 por ciento, menor al hallado por Sallum et al. (2002) quien obtuvo un valor de 90.53 por ciento en sábalo (*Brycon cephalus*). Barboza (2016) determinó digestibilidad de los nutrientes de la torta de soya (*Glycine max*) en juveniles de Gamitana (*Colossoma macropomum*) y obtuvo para proteína 82.76 ± 0.79 por ciento, similar a lo hallado para Sábalo cola roja. Evaluaciones realizadas por Vergara et al. (2011) con la torta de soya en Paco (*Piaractus brachypomus*), obtuvieron un CDA 81.84 por ciento para proteína, menor a los resultados de esta prueba para Sábalo cola roja, esto tiene relación con el porcentaje de proteína y carbohidratos de las dietas prueba, ya que las dietas de esta investigación tuvieron mayor porcentaje de proteína y menor de carbohidratos en comparación con las usadas por Vergara et al. (2011) y se sabe que la digestibilidad de la proteína disminuye a medida que la concentración de carbohidratos en la dieta aumenta (NRC,

1993). En el mismo género, Stech et al. (2010) determinaron los coeficientes de digestibilidad proteína de la torta de soya para Paco (*Piaractus mesopotamicus*) cuyo valor fue 93.88 ± 0.36 por ciento, mayor al valor hallado para *Piaractus brachypomus*.

En Tilapia de Nilo, se obtuvo un coeficiente de digestibilidad de la fracción de proteína cruda en torta de soya de 90.9 por ciento (Watanabe et al.; citado por Fonseca et al., 2006), superior a los resultados obtenidos para sábalo cola roja pero similares a los obtenidos en *Brycon cephalus*. Vásquez-Torres et al. (2010) en tilapia roja híbrida hallaron el CDA para la torta de soya encontrando para la proteína el valor de 92.40 ± 0.2 por ciento, superior a lo obtenido en Sábalo cola roja. En estudios con *Pterophyllum scalare* (Virães, 2008) se reportó el CDA de proteína en torta de soya de 97.10, superior a lo encontrado en esta investigación, pero cercano a lo hallado en truchas por Cho y Bureau (Cho y Bureau; citados por Virães, 2008). Los estudios de Dallagnol et al. (2010) hallaron los CDA de ingredientes proteicos derivados de la soya para *Oreochromis niloticus*, donde se evidencio que la diferencia en el procesamiento de la soya tiene influencia sobre los valores del CDA para una misma especie, siendo el aislado proteico de soya el de CDA mas alto y proteína digestible mayor, seguido de harina de soya blanca, harina de soya convencional por último la harina de soya extruida y prensada. Stech et al. (2010), evidencio que la soya cruda es la que tiene menor CDA de la proteína seguida de la soya macerada y la torta de soya; por encima de estos se encuentran aquellas soyas cuyo proceso térmico fue más eficiente, la soya tostada y la soya extruida.

Los CDA de proteína bruta de otros ingredientes evaluados en Sábalo cola roja (*Brycon erythropterum*), se puede comparar los resultados obtenidos en esta investigación con otro ingrediente proteico. Vilcapoma (2017) evaluó la digestibilidad de harina de pescado en Sábalo cola roja (*Brycon erythropterum*) y obtuvo un valor para CDA proteína bruta de 90.82 por ciento, superior a lo obtenido para la torta de soya. Sin embargo, cabe aclarar que un sobrecalentamiento de la harina de pescado durante el proceso de secado podría reducir el valor nutritivo (Finley; citado por NRC, 1993). Por el contrario, el insuficiente calentamiento de la torta de soya, disminuye la disponibilidad de la proteína (NRC, 1993).

El CDA del extracto etéreo de la torta de soya se muestra en el Cuadro 8 y Anexo 12. El valor obtenido de CDA del extracto etéreo para torta de soya fue 96.16 ± 0.41 por ciento, superior al hallado para el mismo ingrediente por los diferentes autores citados: Sallum et al. (2002) quienes

obtuvieron un valor de 47.08 por ciento en sábalo (*Brycon cephalus*), Barboza (2016) en Gamitana (*Colossoma macropomum*) con un CDA 72.42 ± 1.52 por ciento y Vergara et al. (2011) en Paco (*Piaractus brachypomus*) obtuvieron un CDA de 70.10 por ciento. La concentración de lípidos en la dieta prueba de esta investigación fue menor que las usadas por Barboza (2016) y Vergara et al. (2011), esto podría explicar porque los resultados de esta investigación superan ampliamente los resultados de los otros autores, ya que el cálculo de la digestibilidad de las grasas frecuentemente varía cuando la concentración de las grasas es baja (Smith et al; citado por NRC, 1993).

Los CDA de extracto etéreo de otros ingredientes evaluados en Sábalo cola roja (*Brycon erythropterum*), se puede comparar con los resultados obtenidos en otro ingrediente proteico y dos ingredientes energéticos. Vilcapoma (2017) evaluó la digestibilidad de harina de pescado en Sábalo cola roja (*Brycon erythropterum*) y obtuvo un valor para CDA en extracto etéreo de 95.82 por ciento, similar a lo obtenido para la torta de soya. Por otro lado, con dos ingredientes energéticos, maíz y harinilla de trigo, se obtuvo un valor para CDA de extracto etéreo en maíz de 88.38 por ciento, mientras que para harinilla de trigo el valor de CDA fue de 89.06 por ciento (Marchán, 2017), ambos son inferior al obtenido en la presente investigación. El valor determinado en esta investigación es superior a los autores citados. Y supera lo esperado, ya que a partir de diversas investigaciones se demostró que cuando las grasas son administradas solas o en una dieta, su digestibilidad tiene un valor de 85 al 95 por ciento en peces (Cho et al., Windell et al., Cruz, Austreng, Cho and Slinger, Takeuchi et al., Cho and Kaushik; citados por NRC, 1993).

El CDA del extracto libre de nitrógeno de la torta de soya se muestra en el Cuadro 8 y Anexo 12. El valor obtenido de CDA del extracto libre de nitrógeno fue 54.26 ± 4.18 por ciento, superior al CDA para torta de soya en Gamitana (*Colossoma macropomum*), 36.91 ± 2.61 , hallado por Barboza (2016). Vergara et al. (2011) realizaron estudios con la torta de soya en Paco (*Piaractus brachypomus*) y obtuvieron un CDA de 48.01 por ciento. En general la digestibilidad del extracto libre de nitrógeno mejora si es que el ingrediente es sometido a un adecuado tratamiento calor/ presión (Thiessen et al.; Jara, 2013).

Los CDA de extracto libre de nitrógeno de otros ingredientes evaluados en Sábalo cola roja (*Brycon erythropterum*), se encuentran resultados de Vilcapoma (2017), encontró la

digestibilidad de harina de pescado en Sábalo cola roja (*Brycon erythropterum*) y obtuvo valor para CDA del extracto libre de nitrógeno de 37.02 por ciento, menor a lo obtenido para la torta de soya. Marchán (2017) obtuvo valores para CDA de extracto libre de nitrógeno en maíz de 83.40 por ciento, superior al valor hallado para torta de soya, mientras que para harinilla de trigo el valor de CDA en extracto libre de nitrógeno fue 45.89 por ciento, inferior al de torta de soya y maíz.

El coeficiente de digestibilidad aparente de la energía bruta (EB) de la torta de soya se muestra en el Cuadro 8 y Anexo 12. El valor obtenido de CDA de la energía bruta (EB) fue 78.17 ± 2.79 por ciento, similar al CDA para torta de soya en Gamitana (*Colossoma macropomum*), 67.31 ± 1.68 , hallado por Barboza (2016). En Paco (*Piaractus brachypomus*), obtuvieron CDA de valor de 69.94 por ciento, menor a lo hallado en esta prueba, pero superior a los resultados obtenidos en gamitana (Vergara et al., 2011).

Evaluaciones realizadas por Vásquez-Torres et al. (2010) de pruebas de digestibilidad en tilapia roja híbrida en torta de soya, se halló un CDA para la energía de 73.9 ± 1.7 por ciento, menor a lo obtenido en esta prueba para sábalo cola roja. Otros investigadores determinaron los coeficientes de digestibilidad aparente de la torta de soya para tilapia encontrando el valor de 77.21 por ciento en energía bruta (Furuya et al.; citados por Virães, 2008). En estudios con *Pterophyllum scalare*, pez ornamental, se reportó el CDA de energía en torta de soya de 78.26 ± 4.35 , similar a lo obtenido en la presente investigación (Virães, 2008).

Los CDA de energía bruta de otros ingredientes evaluados en Sábalo cola roja (*Brycon erythropterum*), se puede comparar con los resultados obtenidos en otro ingrediente proteico por Vilcapoma (2017) quien obtuvo un valor para CDA en energía bruta de 78.90 por ciento en harina de pescado, lo cual es similar a lo obtenido para la torta de soya. Marchán (2017) obtuvo CDA de la energía bruta en maíz y harinilla de trigo, 68.92 y 53.29 por ciento, respectivamente, menor a lo obtenido en torta de soya y harina de pescado.

4.3. Energía digestible de la torta de soya

La energía digestible (ED) de la torta de soya para Sábalo cola roja se muestra en el Cuadro 8 y el Anexo 13. El valor obtenido en la presente investigación fue 3.70 Mcal/kg en base seca. Este resultado es superior a la ED de la torta de soya determinado por Barboza (2016) en Gamitana

(*Colossoma macropomum*), quien obtuvo un valor de 3.36 Mcal/kg. Vergara et al. (2011), en estudios de la torta de soya en Paco (*Piaractus brachyomus*), obtuvieron 3.49 Mcal/kg de energía digestible, valor menor a lo que se obtuvo en las dos anteriores especies.

En tilapia roja híbrida, Vásquez-Torres et al. (2010) obtuvo resultados para energía digestible de la torta de soya cuyo valor fue 3.67 Mcal/kg. Virões (2008), en *Pterophyllum scalare* obtuvo ED para torta de soya de 3.83 Mcal/kg, ambos resultados similares a los resultados obtenidos en esta investigación.

En un ingrediente proteico como la harina de pescado, Vilcapoma (2017) obtuvo 4.11 Mcal/Kg de energía digestible, superior a lo obtenido en torta de soya en esta investigación en la misma especie. Marchán (2017) obtuvo en maíz y harinilla de trigo, 2.74 y 2.46 Mcal/Kg, menor a lo obtenido en torta de soya y harina de pescado. Estos resultados se explican porque la harina de pescado tiene un contenido de lípidos mayor que otros ingredientes, y la oxidación lipídica rinde aproximadamente dos veces más energía que la oxidación de carbohidratos y proteínas. Además, se ve favorecido cuando el nivel de fibra cruda, material no digestible, es bajo (Gutiérrez et al., 2009), puesto que mayor contenido de fibra bruta, disminuye la digestibilidad de los compuestos orgánicos (Buxade, 1994).

En los estudios citados: Sallum et al. (2002), Stech et al. (2010), Vergara et al. (2011), Barboza (2016), Vilcapoma (2017), Marchán (2017), donde se evaluaron otras especies, así como a sábalo cola roja, la dieta de referencia también contiene al ingrediente a evaluar. Contrariamente a otro estudio donde se usó dietas semipurificadas, como Vásquez-Torres et al (2010), sin embargo, estas han sido cuestionadas ya que no son dietas prácticas que se parezca a una dieta comercial, ya que los ingredientes purificados debido a su costo no son utilizados normalmente en alimentos balanceados comerciales a pesar que tengan valores más altos de digestibilidad aparente (Siccardi III et al., 2006). Akiyama (1989) sugiere que las dietas de estudios de digestibilidad deben ser formuladas en su totalidad por el ingrediente a evaluar para eliminar cualquier efecto asociativo de los componentes de la dieta. Otros autores han recomendado el uso de una dieta de referencia compuesta debido a que las dietas de producción raramente son elaboradas con un solo ingrediente (Fox y Lawrence, 2008). En esta investigación se hizo uso de una dieta práctica que incluía el ingrediente a evaluar, torta de soya, en la dieta referencial y no se espera que haya interacción entre sus componentes.

V. CONCLUSIONES

Bajo condiciones en que se desarrolló el presente trabajo de investigación y en función de los resultados obtenidos, puede establecerse las siguientes conclusiones:

1. El coeficiente de digestibilidad aparente obtenido en base seca para la torta de soya en juveniles de Sábalo cola roja (*Brycon erythropterum*) fue 60.29 ± 2.12 por ciento para materia seca, 82.73 ± 2.72 para proteína, 96.16 ± 0.41 para extracto etéreo, 54.26 ± 4.18 para extracto libre de nitrógeno y 78.17 ± 2.79 por ciento para energía bruta (76 por ciento de proteína soluble en KOH y 0.15 de índice de actividad ureásica).
2. La energía digestible (ED) de la torta de soya en Sábalo cola roja fue 3.70 Mcal/kg en base seca y 3.32 Mcal/Kg en base fresca (89.60 por ciento de materia seca, 76 por ciento de proteína soluble en KOH y 0.15 de índice de actividad ureásica).

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda utilizar los valores de digestibilidad y energía digestible obtenidos de la torta de soya en la formulación de alimentos balanceados para Sábalo cola roja (*Brycon erythropterum*).
2. Utilizar el valor de 3.32 Mcal de energía digestible por kilogramo, para la torta de soya en base fresca (89.60 por ciento de materia seca, 76 por ciento de proteína soluble en KOH y 0.15 de índice de actividad ureásica) en la formulación comercial de alimentos balanceados para sábalo cola roja.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AGUIRRE, M; MUÑOZ, L. 2015. Evaluación de dos niveles de proteína en dietas para juveniles de Sabaleta *Brycon Henni* (Eigenmann, 1913). Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales. Volumen 2. Enero - diciembre 2015. p 61 – 68.

AKIYAMA, D.M. 1989. Apprent digestibility of feedstuffs by the marine shrimp *Penaeus vannamei* Boone. Nippon Suisan Gakkaishi. p 91-98.

_____. 1992. Utilización de la pasta de soya en los alimentos acuícolas. Asociación Americana de Sova. ASA/MEXICO No.18. 1a REIMPRESION. 20 pp.

AU, N; BIDART, J. 1992. Manual de harina de pescado. Compañía pesquera San Pedro S.A.C.I., Coronel, Chile. 56 p.

A.O.A.C. 2005. Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists.

BARBOZA, C. 2016. Determinación de la digestibilidad de nutrientes y la energía digestible de la torta de soya (*Glycine max*) en juveniles de gamitana (*Colossoma macropomum*). Tesis ing. Zoot. Lima. PE. UNALM. Sin publicar

BCRP (Banco Central de Reserva del Perú, PE). 2016. Notas de estudios del BCRP N° 26 (en línea). Consultado el 28 de jun. 2016. Disponible en: <http://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Notas-Estudios/2016/nota-de-estudios-26-2016.pdf>

BELTRÁN, C; VILLANEDA, A. 2000. Perfil de la pesca y la acuicultura Colombia. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura – INPA.

BLANCO, C. 1995. La trucha cría industrial. Segunda edición. Ediciones Mundi-Prensa. ES. 503pp.

- BONDI, A.** 1989. Nutrición Animal. Editorial Acribia. Zaragoza. España. 546p.
- BOSCOLO, W; HAYASHI, C; MEURER, F; FEIDEN, A; BOMBARDELLI, R.** 2004. Digestibilidade Aparente da Energia e Proteína das Farinhas de Resíduo da Filetagem da Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e da Corvina (*Plagioscion squamosissimus*) e Farinha Integral do Camarão Canela (*Macrobrachium amazonicum*) para a Tilápia do Nilo.
- BUREAU, D; CHO, C.** 1999. Measuring Digestibility in fish. UG/OMNR Fish Nutrition Research Laboratory Technical Document, University of Guelph, Ontario, Canada.
- BUXADE, C.** 1994. Zootecnia. Bases de Producción Animal. Tomo II. Reproducción y Alimentación. Ediciones Mundi prensa. Madrid. ES. 344 p.
- CALZADA, B.** 1982. Métodos estadísticos para la investigación. Ed. Acribia. ES.
- CAMPABADAL, C.** 2015. Uso de la Pasta de Soya en la Alimentación Animal I (en línea). Consultado el 19 jul. 2016. Disponible en: <http://bmeditores.mx/uso-pasta-soya-en-alimentacion-animal/>
- CARBAJAL, A.** Manual de Nutrición y Dietética (en línea). Consultado el 26 jun. 2017. Disponible en: <https://www.ucm.es/nutricioncarbajal>
- CAÑAS, R.** 1998. Alimentación y Nutrición Animal. Publicación de la Facultad de Agronomía Pontificia Universidad de Chile. Chile. 550p.
- CHO, C.** 1986. Nutrición en acuicultura II. CAICYT. Plan de Formación de estudios superiores en Acuicultura. La energía en la nutrición de los peces. Pp 197- 244.
- CHOUBERT G; DE LA NOÛE, J; LUQUET, P.** 1979. Continuos quantitative automatic collector for fish feces. The Progressive Fish-Culturist, 41: 64–67.
- CRUZ, E; VILLAREAL, H; TAPIA, M; NIETO, M; VILLAREAL, D; RICQUE, D.** 2008. Manual de metodologías de digestibilidad in vivo e in vitro para ingredientes y dietas para camarón.
- DALE, N.** 1992. Solubilidad de la proteína: Indicador del procesado de harina (Pasta) de soya. ASA/MEXICO. A.N. No.89. 12 pp.

DALLAGNOL, J; LUI, T; LOSCH, J; DIETERICH, F; FEIDEN, A; BOSCOLO, W. 2010. Digestibilidad aparente de derivados da soja (*Glycine max*) em juvenis de tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*). II Simpósio Nacional de Engenharia de Pesca e XII Semana Acadêmica de Engenharia de Pesca – 30 de agosto a 03 de setembro de 2010.

DO CARMO E SÁ, M.; FRACALOSSO, D. 2002. Exigência protéica e relação energia/proteína para alevinos de piracanjuba (*Brycon orbignyanus*). R. Bras. Zootec 31(1):110.

DSM Nutritional Products Peru S.A. 2016. Fórmula de la premezcla de vitaminas y minerales.

FAO (Food and Agriculture Organization, IT). 2010. Peces nativos de agua dulce de América del Sur de interés para la acuicultura: Una síntesis del estado de desarrollo tecnológico de su cultivo (en línea). Consultado el 20 de ene. 2016. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/014/i1773s/i1773s.pdf>

FONSECA, L; CARVALHO, E; DA SILVA, F. 2006. O uso de ingredientes alternativos em dietas para peixes.

FOX, D. 2012. Industrias aceiteras procesadoras del grano de soja en la República Argentina. Tesis para optar el título de Ingeniero en Producción Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica Argentina. Argentina (en línea). Consultado el 28 jun. 2016. Disponible en: <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/industrias-aceiteras-procesadoras-grano-soja.pdf>

FOX, J; LAWRENCE, A. 2008. Revisión de la metodología utilizada para determinar la digestibilidad aparente de nutrientes en camarones Peneidos marinos. Manual de metodologías de digestibilidad in vivo e in vitro para ingredientes y dietas para el camarón. Universidad autónoma de Nuevo León, Mty. N. L., Mexico (en línea). Consultado el 22 jun. 2016. Disponible en: www.uanl.mx/utilerias/nutricion_acuicola/X/archivos/manual_metodologias.pdf

GUERRA, H; ALCÁNTARA, F; CAMPOS, L. 1996. Piscicultura amazónica con especies nativas. Lima: Tratado de Cooperación Amazónica. Secretaría Pro Tempore.

GUEVARA, W. 2003. Formulación y elaboración de dietas para peces y crustáceos.

GUILLAUME, J; KAUSHIK, S; BERGOT, P; MÉTAILLER, R. 2004. Nutrición y alimentación de peces y crustáceos. Madrid, ES. Editorial Mundi-Prensa. 514 p.

GUTIÉRREZ, M; VÁSQUEZ, W. 2008. Digestibilidad de *Glicine max L*, soya, en juveniles de cachama blanca *Piaractus brachypomus* Cuvier 1818.

GUTIÉRREZ, F; ZALDÍVAR, J; CONTRERAS, G. 2009. Coeficientes de digestibilidad de harina de pescado peruana y maíz amarillo duro para *Colossoma macropomum*. Rev. Perú. biol. 15(2): 111- 115. UNMSM. (en línea). Consultado el 05 abr. 2016. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rpb/v15n2/a18v15n2.pdf>

HEPHER, B. 1988. Nutrición de peces comerciales en estanques. 1ra-Ed. Limusa S.A. grupo noriega editores. Mexico

HOWES, G. 1982. Review of the generous *Brycon (Teleostei: Characoidei)*. Bulletin of the Bristish Museum Natural History (Zoology), 43(1):1-47.

IIN (Instituto de Investigación Nutricional, PE). 2016. Determinación de energía bruta mediante bomba calorimétrica.

INN (Instituto Nacional de Nutrición, VE). 2007. La Soya (en línea). Consultado el 07 de jul. 2016. Disponible en: <http://www.inn.gob.ve/pdf/docinves/lasoya.pdf>

IZEL, A; PEREIRA, M; MELO, L; MACEDO, J. 2004. Avaliação de níveis protéicos para a nutrição de juvenis de matrinxã (*Brycon cephalus*). Acta amazônica. VOL. 34(2) 2004: 179 – 184 (en línea). Consultado el 19 de ene. 2016. Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672004000200005

JARA, E. 2013. Determinación de la digestibilidad y energía digestible de torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* Línneo) extruida en trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). Tesis para optar el título de Ingeniero Zootecnista. UNALM. Lima.

KIM, Y. 1974. Dermination of true digestibility of dietary proteins in carp with Cr₂O₃ containing-diet. Bull. Jap. Soc. Sci. Fisheries 40. pp 651 – 653

LAMADRID, J; A. ARROYO. 2005. Evaluación del régimen alimentario del Bocachico *Prochilodus magdalenae* (Steindachner, 1878) en el alevinaje. Trabajo de Pregrado, Universidad de Córdoba, Montería, Colombia.

LASPAF (Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes, PE). 2016. Determinación de concentración de Oxido de Cromo.

LENA (Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos, PE). 2016. Análisis proximal de la torta de soya.

LIM, C; AKIYAMA, DM. 1991. Full-fat soybean meal utilization by fish. Proceedings of the aquaculture feed processing and Nutrition Workshop. Thailand and Indonesia. September 19-25. Edited by dean M. Akiyama and Ronnie K.H.tan. American Soybean Association. 188-198 p.

MANRÍQUEZ, J. 1993. La digestibilidad como criterio de evaluación de alimentos - su aplicación en peces y en la conservación del medio ambiente (en línea). Consultado el 12 ene. 2016. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/field/003/ab482s/AB482S08.htm#ch8>.

MARCHÁN, A. 2017. Digestibilidad y energía digestible de ingredientes energéticos y determinación del requerimiento de energía del Sábalo cola roja (*Brycon erythropterum*). Tesis para optar el título de Tesis para optar el grado Mg. Sc. Nutrición Animal. UNALM. Lima. Sin publicar.

MARCULINO, A. 2012. Influencia de la adición de proteasa y lipasa sobre la digestibilidad de ingredientes de una dieta para juveniles de pirarucu (*Arapaima gigas*). Tesis Mg. Sc. Acuicultura. Brasil. UNL. 53p.

MARTÍNEZ, C; RÍOS, M. 2012. Aspectos de la alimentación de los peces y el uso de microagregados en acuicultura. (en línea). Consultado 20 julio. 2017. Disponible en: http://www.iiap.org.pe/publicaciones/CDs/MEMORIAS_VALIDAS/pdf/Mart%C3%ADnez.pdf

MCDONALD, P; EDWARDS, RA; GREENHALGH, JFD; MORGAN, CA. 2006. Nutrición Animal. 6ta Edición. Editorial Acribia. Zaragoza. ES. 587 p.

NEWKIRK, R. 2010. Soybean Feed Industry Guide (en línea), CAN. Consultado el 12 nov 2016. Disponible en: <https://cigi.ca/wp-content/uploads/2011/12/2010-Soybean-Feed-Industry-Guide.pdf>

NRC (National Research Council, US). 1993. Nutrient Requirements of Fish. 124p.

_____. 2011. Nutrient Requirements of fish. (en línea). Consultado el 18 jun. 2016. Disponible en: <http://www.nap.edu/catalog/13039/nutrient-requirements-of-fish-and-shrimp>

OGINO, C; CHEN, M. 1973. Protein nutrition in fish III. Apparent and true digestibility of dietary proteins in carp. Bull. Jap. Soc. Sci. Fisheries 39. Pp 955-959

PALACIOS, P; CEBALLOS, L. 2012. Seguimiento del desarrollo post-larvario del sábalo amazónico (*Brycon melanopterus*) en un estanque excavado en la estación Piscícola del centro experimental amazónico de Corpoamazonia, Mocoa, departamento del Putumayo, Colombia (en línea). Consultado el 21 ene 2016. Disponible en: <http://www.corpoamazonia.gov.co/index.php/2013-11-01-16-44-09/investigaciones>

PARRA, J; GÓMEZ, A. 2008. Importancia de la utilización de diferentes técnicas de digestibilidad en la nutrición y formulación porcina (en línea). Córdoba, COL. Consultado el 17 jul 2017. Disponible en: <http://revistasunicordoba.edu.co/revistamvz/mvz-141/v14n1a11.pdf>

PEREYRA, G. 2013. Guía técnica Piscicultura (en línea). Consultado el 18 ene 2016. Disponible en: <http://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/037-a-piscicultura.pdf>

PEZZATO, LE; DE MIRANDA, EC; BARROS, MM; FURUYA, M; QUINTERO, LG. 2004. Digestibilidade aparente da matéria seca e proteína bruta e a energia digestível de alguns alimentos alternativos pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Acta Scientiarum. Animal Sciences; 26: 329-337.

PRODUCE (Ministerio de la Producción, PE). 2015. Anuario estadístico pesquero y acuícola 2014 (en línea). Consultado el 30 de may. 2016. Disponible en: <http://www.produce.gob.pe/images/stories/Repositorio/estadistica/anuario/anuario-estadistico-pesca-2014.pdf>

_____. 2016. Anuario estadístico pesquero y acuícola 2015 (en línea). Consultado el 19 de abril. 2017. Disponible en: <http://www.produce.gob.pe/documentos/estadisticas/anuarios/anuario-estadistico-pesca-2015.pdf>

RAMOS, A; ROJAS, J; CUSACANI, M; TORRES, Y; MORI, O; MORALES, R. 2011. Avances en la producción de semilla de sábalo (*Brycon erythroterum*) (en línea). Consultado el 29 de mayo 2016. Disponible en: http://rnia.produce.gob.pe/images/stories/archivos/pdf/eventos/seminario_sabalo_06122011/104_avances_reproduccion_sabalo_fondepes.pdf

RIDNER, E. 2006. Soya, propiedades nutricionales y su impacto en la salud. Grupo Q S.A.: Sociedad Argentina de Nutrición. 1ed.96 p. - Buenos Aires.

ROTTA, M. 2003. Aspectos gerais da fisiologia e estrutura do sistema digestivo dos peixes relacionados à piscicultura.

RUIZ, B. 1990. La soya en la alimentación acuícola. En: Memorias del seminario de Extrusión en alimentos balanceados. Guadalajara, Jalisco, México. 6 de diciembre de 1990. Asociación Americana de Soya. 49-59 p.

SALLUM, W; BERTECHINI, A; CANTELMO, O; PEZZATO, L; LOGATO, P. 2002. Coeficiente de digestibilidad aparente de la materia seca, proteína cruda y extracto etéreo de los ingredientes para Matrincha (*Brycon cephalus*, GÜNTHER 1869) (Teleostei, Characidae). Ciênc. agrotec., Lavras. 26(1): 174-181.

SANTAMARIA, S. 2014. Nutrición y alimentación en peces nativos.

SCERBINA, M.A. 1973. Perevarimost i effektivnost ispol'zovaniya pitatel'nykh vescestv iskusstvennykh kormov u karpa. Piscevaja proyslennost. Moscú.

SICCARDI III, A; LAWRENCE, A; GATLIN III, D; FOX, J; CASTILLE, F; PEREZ, M; GONZÁLEZ, M. 2006. Digestibilidad aparente de energía, proteína y materia seca de ingredientes utilizados en alimentos balanceados para el camarón blanco del pacífico *Litopenaeus vannamei*. México.

SIEA (Sistema Integrado de Estadística Agraria, PE). 2015. Anuario de producción agrícola 2014 (en línea). Consultado el 07 de jul. 2016. Disponible en: <http://siea.minag.gob.pe/siea/>

STECH, M; CARNEIRO, D; BARBIERI DE CARVALHO, M. 2010. Fatores antinutricionais e coeficientes de digestibilidade aparente da proteína de produtos de soja para o pacu (*Piaractus mesopotamicus*) (en línea). Consultado el 23 de sept. 2016. Disponible en: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAnimSci/article/view/5819>

STEFFENS, W. 1987. Principios fundamentales de la alimentación de los peces. Editorial Acribia, S.A.

TAKEUCHI, T; ARAI, S; WATANABE, T; SHIMMA, Y. 1979. Optimum ratio of dietary energy to protein for carp. Bull. Jap. Soc. Sci. Fisheries 45. pp 983- 987.

VÁSQUEZ-TORRES, W; YOSSA, M; HERNÁNDEZ, G; GUTIÉRREZ, M. 2010. Digestibilidad aparente de ingredientes de uso común en la fabricación de raciones balanceadas para tilapia roja híbrida (*Oreochromis sp.*) (en línea). Consultado el 04 de ene. 2016. Disponible en: <http://rccp.udea.edu.co/index.php/ojs/article/view/463/531>

VERGARA, V; FLORES, M; FERRER, S. 2007. Informe final del establecimiento de una tecnología apropiada para la reproducción y producción de semillas de "Doncella" *Pseudoplatyusoma fasciatum* y "Sábalo cola roja" *Brycon erythropterum*. CONCYTEC - Contrato N° 315-2007

_____ ; **LAFETA, Y; CAMACHO, R.** 2011. Determinación de la digestibilidad de ingredientes y el requerimiento de proteína y energía digestible en Paco (*Piaractus brachypomus*) (en línea). Consultado el 04 de ene. 2016. Disponible en: <http://acuicultura.pe/static/documents/presentations/v-vergara.pdf>

_____ ; **CAMACHO, R; BUSTAMANTE, P; FERRER, S.** 2016. Determinación del requerimiento de energía digestible para Sábalo cola roja (*Brycon erythropterum*). Conferencia Internacional LACQUA/SARA (WAS) '16. Lima, Perú.

_____; **CAMACHO, R; BUSTAMANTE, P; FERRER, S.** 2016. Determinación del requerimiento de proteína cruda para Sábalo cola roja (*Brycon erythropterum*). Conferencia Internacional LACQUA/SARA (WAS) '16. Lima, Perú.

VILCAPOMA, D. 2017. Determinación de la digestibilidad de nutrientes y energía digestible de la harina de pescado en juveniles Sábalo cola roja (*Brycon erythropterum*). Tesis para optar el título de Ingeniero Zootecnista. UNALM. Lima. Sin publicar.

VIRÃES, M. 2008. Digestibilidade aparente da proteína e energia e o tempo de passagem de alimentos para acará-bandeira (*Pterophyllum scalare* Lichtenstein, 1823). Tesis para optar el título Mg. Sc. Producción Animal con especialización acuicultura. Universidad del Estado de Río de Janeiro norte Darcy Brook. Brasil.

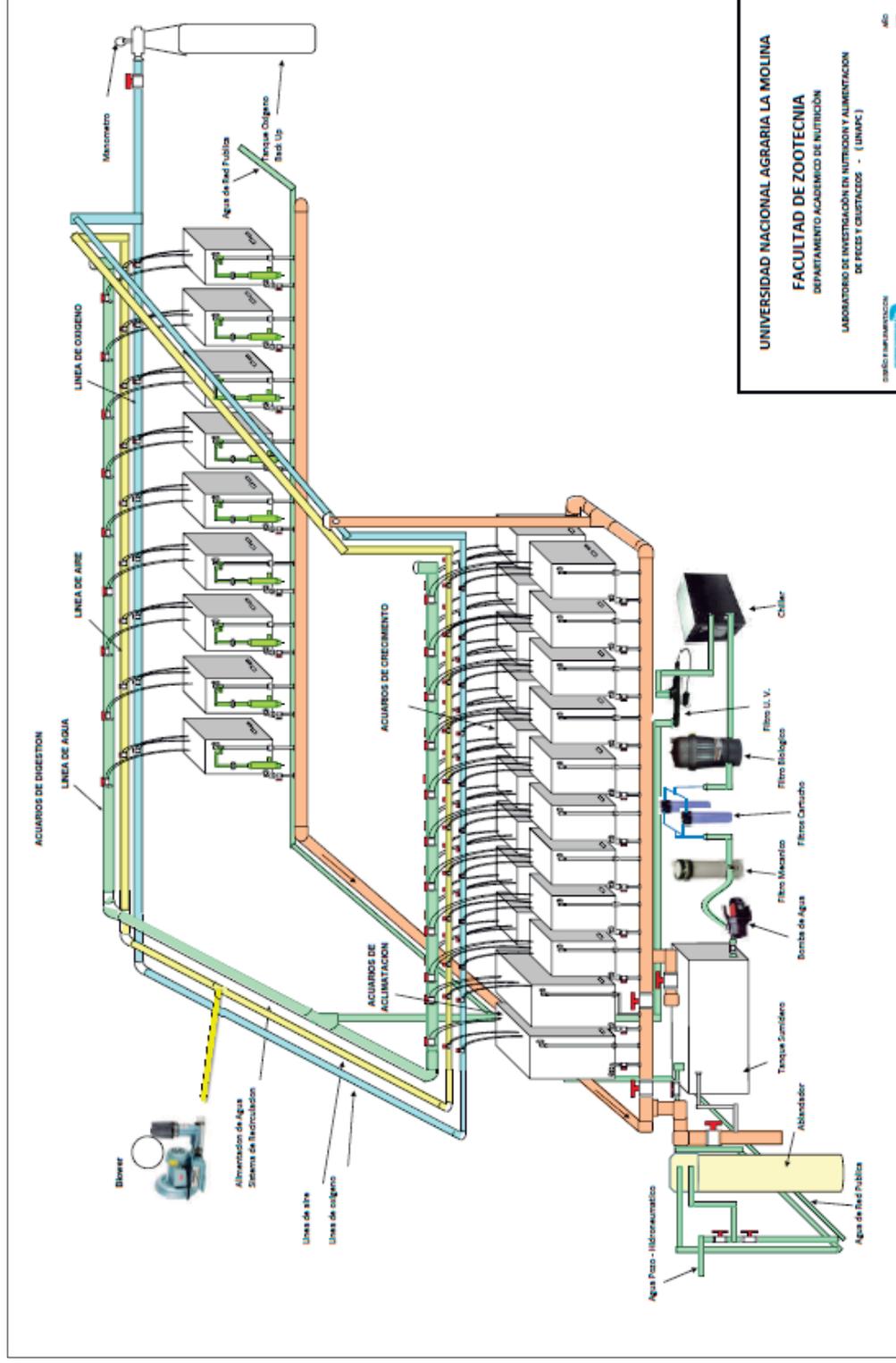
ZANIBONI, E; REYNALTE, D, WEINGARTNER, M. 2006. Potencialidad del género *Brycon* en la piscicultura brasileña.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1. Equipos del LINAPC

Equipo	Unidad	Función
Ablandador de agua	1m ³	Al poseer el agua de La Molina 1500 ppm (concentración de iones de Ca ⁺⁺ y Mg ⁺⁺), el ablandador cumple la función de disminuir la dureza hasta 16 ppm.
Tanque sumidero	Capacidad 360 Lt	Consta de un ingreso para el agua proveniente del ablandador. Desagüe por rebose y una salida hacia la bomba de agua.
Bomba de agua	1 HP de Potencia	Permite el movimiento del agua desde el tanque sumidero a través de todos los filtros hacia todos los acuarios.
Filtro mecánico Reemy	1 unidad	Tiene la capacidad para retener partículas de hasta un mínimo de 20µm.
Filtros mecánico Housing	2 unidades	Apoyan al filtro mecánico con la retención de partículas de 20µm
Enfriador/calentador de agua	2 HP de Potencia	Enfriar o calienta el agua entre un rango de 13 – 32 °C.
Esterilizador U.V	25 watts	Esteriliza el agua disminuyendo de esta forma la presencia de algas, bacterias y virus no deseada en los acuarios.
Filtros Cuno	4 unidades	Compuesto por dos pares de filtros (5µm y 1µm), permite que el agua llegue con mayor pureza a los acuarios.
Bomba de aire Blower	1/3 HP de Potencia	Toma aire del ambiente y lo traslada a través de las líneas de aire hacia los acuarios, donde se encuentran las piedras difusoras de aire.
Acuarios para pruebas de digestibilidad	9 unidades	Alberga a los peces durante la evaluación. Cada acuario de fibra de vidrio tiene capacidad de 55 litros, de color blanco, liso por dentro y fuera, con frontis de vidrio de 6mm y dimensiones de 0.47ancho x 0.47 profundidad x 0.50 altura m ³ y pendiente de 13°.

ANEXO 2. Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos (LINAPC)



ANEXO 3. Distribución de las dietas en los acuarios

Dieta	Repetición	Acuario
Dieta Referencial	R1	N° 1
	R2	N° 2
	R3	N° 3
Dieta Prueba	R1	N° 4
	R2	N° 5
	R3	N° 6

ANEXO 4. Parámetros de calidad de agua medidos durante el ensayo

Parámetros	Semanas				Promedio
	1	2	3	4	
Temperatura del acuario (°C)					
8:00 am	28.50	28.63	28.38	28.55	28.51
12:00 m	28.30	28.50	28.30	29.20	28.58
4:00 pm	27.75	27.50	27.90	27.60	27.69
Temperatura ambiental (°C)					
8:00 am	23,00	26,00	24,00	18,00	22,75
12:00 m	22,50	25,00	25,00	22,00	23,63
4:00 pm	22,50	20,50	21,00	21,00	21,25
pH	7.63	7.45	6.95	7.53	7.39
Nitrógeno amoniacal (mg/L)	0.39	0.33	0.31	0.42	0.36
Nitritos (mg/L)	0.60	0.90	0.90	0.75	0.79
Dureza (ppm)	174.00	135.00	151.00	162.75	155.69
Conductividad eléctrica (mS)	3.21	3.16	3.13	3.14	3.16
Oxígeno disuelto (mg/L)	5.60	5.25	5.10	5.43	5.34

ANEXO 5. Biomasa (g), incremento de peso (g), consumo de alimento (g) y conversión alimentaria (g) de la prueba de digestibilidad

Dieta	Repeticiones	Biomasa inicial (g)	Biomasa final (g)	Ganancia de biomasa (g)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Ganancia de Peso (g)	Consumo de alimento (g)	Conversión alimentaria
	R1	742.91	947.55	204.64	185.73	236.89	51.16	61.58	1.20
	R2	730.56	932.20	201.64	182.64	233.05	50.41	62.10	1.23
	R3	718.58	908.22	189.64	179.65	227.06	47.41	62.18	1.31
Dieta Referencial	Promedio	730.68	929.32	198.64	182.67	232.33	49.66	61.95	1.25
	R1	727.52	933.16	205.64	181.88	233.29	51.41	59.85	1.16
	R2	768.29	969.93	201.64	192.07	242.48	50.41	60.90	1.21
Dieta Prueba	R3	730.13	936.77	206.64	182.53	234.19	51.66	58.33	1.13
	Promedio	741.98	946.62	204.64	185.50	236.66	51.16	59.69	1.17

ANEXO 6. Análisis químico proximal de la dieta referencial

Componente (%)	Base Fresca	Base Seca
Materia seca ^a	92.80	100.00
Proteína cruda ^a	36.30	39.12
Extracto Etéreo ^a	7.30	7.87
Fibra ^a	3.50	3.77
Ceniza ^a	7.80	8.41
ELN ^a	37.90	40.84
Energía Bruta (Kcal/kg) ^b	4.45	4.79

a. LENA (2016) b. IIN (2016).

* ELN: Extracto libre de nitrógeno.

ANEXO 7. Análisis químico proximal de la dieta prueba

Componente (%)	Base Fresca	Base Seca
Materia seca ^a	91.40	100.00
Proteína cruda ^a	39.50	43.22
Extracto Etéreo ^a	6.10	6.67
Fibra ^a	3.10	3.39
Ceniza ^a	7.30	7.99
ELN ^a	35.40	38.73
Energía Bruta (Kcal/kg) ^b	4.38	4.79

a. LENA (2016) b. IIN (2016)

* ELN: Extracto libre de nitrógeno.

ANEXO 8. Análisis químico proximal de las heces

Análisis químico proximal de las heces obtenidas en la dieta referencia

Contenido Nutricional	Base Fresca			Base Seca		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Materia seca	89.48	89.13	88.72	100.00	100.00	100.00
Proteína cruda	13.77	12.44	15.06	15.39	13.96	16.97
Extracto etéreo	1.35	1.62	1.53	1.51	1.82	1.72
Fibra	19.11	15.98	17.56	21.36	17.93	19.79
Ceniza	9.26	8.86	9.79	10.35	9.94	11.03
Ext. libre de nitrógeno	45.99	50.23	44.78	51.40	56.36	50.47
Energía bruta (Mcal/Kg)	3.75	3.68	3.75	4.19	4.13	4.22

Análisis químico proximal de las heces obtenidas en la dieta prueba

Contenido Nutricional	Base Fresca			Base Seca		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Materia seca	88.13	88.68	88.42	100.00	100.00	100.00
Proteína cruda	18.51	15.00	15.72	18.32	16.91	17.77
Extracto etéreo	0.94	1.02	1.01	1.07	1.15	1.14
Fibra cruda	20.47	16.93	18.64	23.23	19.09	21.08
Ceniza	10.49	10.91	10.68	11.90	12.30	12.08
Ext. libre de nitrógeno	39.92	44.82	42.37	45.30	50.54	47.92
Energía bruta (Mcal/Kg)	3.19	3.11	3.15	3.62	3.51	3.56

ANEXO 9. Valores de óxido de cromo determinado en las dietas y heces

Muestra	Repeticiones	Oxido de cromo	
		Base fresca	Base seca
Dieta referencia	R1	0.43	0.47
Dieta prueba	R1	0.43	0.47
Heces de la dieta referencia	R1	1.61	1.80
	R2	1.58	1.78
	R3	1.60	1.80
	Promedio	1.60	1.79
Heces de la dieta prueba	R1	1.36	1.54
	R2	1.42	1.61
	R3	1.39	1.57
	Promedio	1.39	1.57

ANEXO 10. Cantidad de heces colectadas de los acuarios de digestibilidad

Cantidad de heces colectadas de los acuarios en la dieta referencial

Semana	Repetición	Promedio/ día (g)		Acumulado semanal (g)	
		Húmedas	Secas	Húmedas	Secas
Semana 1	R1	3.18	0.46	28.66	4.13
	R2	2.19	0.23	19.71	2.05
	R3	1.93	0.22	17.35	1.96
Semana 2	R1	4.84	0.67	43.59	6.01
	R2	3.72	0.55	33.47	4.99
	R3	2.64	0.41	23.80	3.71
Semana 3	R1	2.73	0.42	24.56	3.74
	R2	3.53	0.49	31.80	4.41
	R3	3.85	0.51	34.64	4.59
Semana 4	R1	3.07	0.42	30.68	4.23
	R2	2.56	0.34	25.59	3.49
	R3	2.35	0.30	23.52	2.98
Total	R1	3.45	0.49	127.49	18.11
	R2	2.99	0.40	110.57	14.88
	R3	2.68	0.36	99.31	13.24

Cantidad de heces colectadas de los acuarios en la dieta prueba

Semana	Repetición	Promedio/ día (g)		Acumulado semanal (g)	
		Húmedas	Secas	Húmedas	Secas
Semana 1	R1	2.60	0.36	18.24	2.50
	R2	2.16	0.28	15.12	1.43
	R3	1.96	0.26	13.78	1.79
Semana 2	R1	2.04	0.50	14.27	3.50
	R2	2.68	0.38	18.70	2.62
	R3	3.24	0.36	22.65	2.50
Semana 3	R1	2.12	0.56	14.77	3.98
	R2	3.10	0.42	21.70	2.97
	R3	3.12	0.46	21.88	3.24
Semana 4	R1	2.22	0.28	14.44	1.78
	R2	2.52	0.36	16.43	2.40
	R3	2.94	0.42	19.11	2.70
Total	R1	2.24	0.43	61.72	11.76
	R2	2.62	0.36	71.95	9.92
	R3	2.82	0.37	77.42	10.43

ANEXO 11. Coeficiente de digestibilidad aparente de nutrientes y energía bruta en la dieta referencial y dieta prueba (base seca)

Nutrientes	CDA Dieta Referencial			CDA Dieta Prueba		
	Promedio de repeticiones	R1	R2	R3	Promedio	
Materia seca (%)	73.94	69.20	70.48	69.85	69.84	
Proteína cruda (%)	89.71	86.81	88.44	87.60	87.62	
Extracto etéreo (%)	94.42	95.08	94.91	94.84	94.94	
ELN (%)*	66.34	63.98	61.47	62.70	62.72	
Energía bruta (%)	77.27	76.70	78.37	77.56	77.54	

Los CDA se determinaron según ecuaciones de Cho et al. (1982)

*ELN: Extracto libre de nitrógeno.

ANEXO 12. Coeficientes de digestibilidad aparente de la torta de soya (base seca)

	R1	R2	R3	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variabilidad
Materia seca (%)	58.15	62.40	60.32	60.29	2.12	3.52
Proteína cruda (%)	80.04	85.49	82.67	82.73	2.72	3.29
Extracto etéreo (%)	96.61	96.05	95.81	96.16	0.41	0.42
ELN (%)*	58.47	50.11	54.19	54.26	4.18	7.71
Energía bruta (%)	75.36	80.94	78.22	78.17	2.79	3.57

Los coeficientes de digestibilidad aparente del ingrediente prueba (torta de soya) se hallaron usando las ecuaciones descritas por (Pezzato et al., 2004)

*ELN: Extracto libre de nitrógeno.

ANEXO 13. Digestibilidad de nutrientes y energía digestible de la torta de soya (base seca)

Digestibilidad	R1	R2	R3	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variabilidad
Materia seca (g MS)	58.15	62.40	60.32	60.29	2.12	3.52
Proteína cruda (g PC)	42.61	45.51	44.01	44.05	1.45	3.29
Extracto eféreo (g EE)	2.05	2.04	2.03	2.04	0.01	0.42
ELN (g ELN)	18.99	16.27	17.60	17.62	1.36	7.71
Energía digestible (Mcal/kg)	3.57	3.83	3.70	3.70	0.13	3.57

*ELN: Extracto libre de nitrógeno.

ANEXO 14. Talla inicial y final de dieta referencial y dieta prueba

Dieta	Repeticiones	Talla inicial (cm)	Talla final (cm)	Ganancia de Talla (cm)
Dieta Referencial	R1	17.50	22.09	4.59
	R2	17.37	21.98	4.61
	R3	17.30	21.92	4.62
	Prom	17.39	22.00	4.60
Dieta Prueba	R1	17.33	22.53	5.20
	R2	17.72	22.90	5.18
	R3	17.37	22.98	5.61
	Prom	17.47	22.80	5.33