

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE ZOOTECNIA**



“DETERMINACIÓN DE LA DIGESTIBILIDAD Y ENERGÍA  
DIGESTIBLE DE LA TORTA DE SACHA INCHI (*Plukenetia volubilis*  
Linneo) CRUDA EN PAICHE (*Arapaima gigas*)”

Presentado por:

ADRIANO PAOLO SALINAS MONTOYA

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO ZOOTECNISTA

Lima - Perú

2017

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

**FACULTAD DE ZOOTECNIA**

**“DETERMINACIÓN DE LA DIGESTIBILIDAD Y ENERGÍA  
DIGESTIBLE DE LA TORTA DE SACHA INCHI (*Plukenetia volubilis*  
Linneo) CRUDA EN PAICHE (*Arapaima gigas*)”**

**Tesis para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO ZOOTECNISTA**

**Presentada por:**

**ADRIANO PAOLO SALINAS MONTOYA**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

**Dr. Carlos Vélchez Perales**

**PRESIDENTE**

**Ing. Víctor Vergara Rubín**

**PATROCINADOR**

**Dr. Mariano Echevarría Rojas**

**MIEMBRO**

**Ing. Jessie Vargas Cárdenas**

**MIEMBRO**

*A mis padres, por ser mi mayor motivación y a quienes dedico todo el esfuerzo puesto en la realización del presente trabajo.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Ing. Víctor Vergara, por su constante motivación y apoyo durante la ejecución de esta investigación.

A Silver Corporation SAC, por el financiamiento del presente trabajo de investigación.

A los miembros del jurado, por los valiosos consejos brindados para la culminación de esta tesis.

A la Planta de Alimentos Balanceados La Molina, por la elaboración del alimento para el presente estudio.

Al Ing. Roberto Camacho, por su apoyo constante durante la parte experimental de la investigación

A todos aquellos que de alguna manera me apoyaron durante la ejecución del presente trabajo de investigación

# ÍNDICE GENERAL

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>II.</b>	<b>REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
	2.1 El paiche ( <i>Arapaima gigas</i> ) .....	3
	2.1.1 Características biológicas .....	3
	2.1.2 Hábitos alimenticios y requerimientos nutricionales.....	5
	2.1.3 Requerimientos medioambientales.....	8
	2.2 Digestibilidad.....	9
	2.2.1 Coeficiente de digestibilidad aparente.....	10
	2.2.2 Métodos de determinación de digestibilidad .....	10
	a. Método directo.....	10
	b. Método indirecto .....	11
	2.2.3 Factores que afectan la digestibilidad.....	12
	a. Composición de los alimentos .....	12
	b. Composición de la ración .....	12
	c. Preparación de los alimentos .....	13
	d. Factores dependientes de los animales .....	13
	e. Nivel de alimentación .....	13
	2.2.4 Digestibilidad en el paiche .....	14
	2.3 Energía digestible .....	14
	2.4 Sacha Inchi ( <i>Plukenetia volubilis</i> Linneo).....	15
	2.4.1 Aspectos generales .....	15
	2.4.2 Obtención de la torta de sachá inchi .....	16
	2.4.3 Valor nutricional.....	19
	2.4.4 Torta de sachá inchi en la alimentación animal.....	23
<b>III.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>24</b>
	3.1 Lugar y duración de la evaluación .....	24
	3.2 Instalaciones y equipos .....	24
	3.3 Animales experimentales .....	25
	3.4 Ingrediente evaluado.....	25
	3.5 Dietas experimentales .....	25
	3.6 Procedimiento experimental .....	26
	3.6.1 Suministro de alimento.....	26

3.6.2	Colección y manejo de heces.....	26
3.6.3	Análisis de laboratorio.....	29
3.6.4	Determinación de los CDA.....	29
3.6.5	Cálculos de la energía digestible y nutrientes digestibles de la TSI.....	29
3.6.6	Evaluación de la calidad de agua.....	31
3.7	Parámetros estadísticos .....	31
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>33</b>
4.1	Calidad de agua.....	33
4.2	Coefficientes de digestibilidad aparente de la torta de sachá inchi.....	35
4.3	Energía digestible de la torta de sachá inchi.....	39
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>40</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>41</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>42</b>
<b>VIII.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>51</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>		<b>Página</b>
1	Clasificación del paiche por estado fisiológico	4
2	Requerimientos nutricionales del paiche por etapa de crianza	7
3	Parámetros de calidad de agua para el cultivo de paiche ( <i>Arapaima gigas</i> )	9
4	Contenido nutricional de la torta de sachá inchi cruda	21
5	Aminograma de los residuos de la extracción del aceite de <i>Plukenetia volubilis</i> L.	22
6	Fórmula y valor nutritivo de las dietas	27
7	Fórmula de la premezcla de vitaminas, minerales y aditivos	28
8	Parámetros de evaluación de la calidad de agua	32
9	Parámetros de calidad de agua registrados durante el experimento	34
10	Análisis químico de las dietas y heces	37
11	Contenido nutricional y digestibilidad de la torta de sachá inchi cruda	38

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
1	Diagrama de flujo de obtención de la torta de sachá inchi ( <i>Plukenetia volubilis</i> Linneo)	18

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo</b>		<b>Página</b>
I	Distribución de las dietas en los acuarios	51
II	Instalaciones y equipos del LINAPC	52
III	Laboratorio de investigación en nutrición y alimentación de peces y crustáceos (LINAPC)	53
IV	Parámetros de calidad de agua medidos durante el ensayo	54
V	Contenido de materia seca, proteína, extracto etéreo y energía de la dieta referencia y dieta de prueba (base fresca)	55
VI	Contenido de materia seca, proteína, extracto etéreo y energía de la dieta referencia y dieta de prueba (base seca)	55
VII	Contenido de materia seca, proteína, extracto etéreo y energía de las heces obtenidas de la dieta referencia y dieta de prueba (base fresca)	56
VIII	Contenido de materia seca, proteína, extracto etéreo y energía de las heces obtenidas de la dieta referencia y dieta de prueba (base seca)	56
IX	Valores de óxido de cromo en las dietas y heces	57
X	Cantidad de heces colectadas de los acuarios con la dieta referencial	58
XI	Cantidad de heces colectadas de los acuarios con la dieta de prueba	59
XII	Coeficientes de digestibilidad aparente de la torta de sachu inchi (base fresca)	60

XIII	Coeficientes de digestibilidad aparente de la torta de sachá inchi (base seca)	60
XIV	Digestibilidad y energía digestible aparente de la torta de sachá inchi (base fresca)	61
XV	Digestibilidad y energía digestible aparente de la torta de sachá inchi (base seca)	61

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en las instalaciones del Laboratorio en Investigación en Nutrición y Alimentación en Peces y Crustáceos (LINAPC), Departamento Académico de Nutrición, Facultad de Zootecnia, Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). El objetivo del presente estudio fue determinar la digestibilidad aparente de la materia seca, proteína y extracto etéreo, así como la determinación de la energía digestible de la torta de sachá inchi cruda en juveniles de paiche (*Arapaima gigas*), usando el método indirecto con un marcador de óxido de cromo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), con el fin de obtener información importante para asegurar la calidad del agua al formular dietas más eficientes y reducir la excreción de nutrientes. Se utilizaron 18 juveniles de paiche, adquiridos de la estación piscícola “Fundo Palmeiras”. Los peces fueron recepcionados en dos acuarios de adaptación, donde permanecieron por tres días. Posteriormente fueron distribuidos aleatoriamente en seis acuarios de digestibilidad tipo *Guelph*, en número de tres peces por acuario. La duración de la fase experimental fue de 21 días, durante la cual se realizó las colecciones diarias de heces. Los resultados de coeficientes de digestibilidad aparente de la torta de sachá inchi cruda son para materia seca 77.91 por ciento, para proteína cruda 81.11 por ciento, para extracto etéreo 76.48 por ciento y para energía bruta 79.68 por ciento. La energía digestible obtenida para el paiche fue de 3730 Kcal/kg.

Palabras clave: paiche, torta de sachá inchi, energía digestible, digestibilidad, sostenibilidad.

## ABSTRACT

The present research work was conducted at the Laboratory of Nutrition and Food Research of fish and crustaceans (LINAPC), academic department of Nutrition, at National Agrarian University La Molina (UNALM). The aim of this study was to determine the apparent digestibility coefficients of dry matter, protein and lipid, as well as the determination of the digestible energy of raw sachu inchi meal in juvenile paiche (*Arapaima gigas*), using an indirect method with a marker of chromium oxide ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), in order to obtain important information to ensure water quality by formulating more efficient diets and reducing nutrient excretion. A total of 18 juvenile paiche, from "Fundo Palmeiras" fish station, were used. The fish were received in two adaptation aquariums, where they remained for three days. They were then randomly distributed in six Guelph-type digestible aquariums, three fish per aquarium. The duration of the experimental phase was 21 days, during which the daily collections of feces were performed. The results of apparent digestibility coefficients of raw sachu inchi meal are for dry matter 77.91 percent, for crude protein 81.11 percent, for ethereal extract 76.48 percent and for crude energy 79.68 percent. The digestible energy obtained for the paiche was 3730 Kcal / kg.

Palabras clave: paiche, sachu inchi meal, digestible energy, digestibility, sustainability.

## I. INTRODUCCIÓN

La acuicultura es una actividad que se viene realizando en forma dinámica e intensiva en nuestro país, debido a la creciente demanda de productos de origen hidrobiológico, como las especies amazónicas, entre ellas, la gamitana (*Colossoma macropomun*), el paco (*Piaractus brachypomus*), el paiche (*Arapaima gigas*), y otras. De las especies antes mencionadas, el paiche es una de las más apreciadas, cuya producción se ha ido incrementando durante los últimos años de 2 TM en el año 2004 a 135 en el año 2015 (PRODUCE, 2015), teniendo gran acogida tanto en el mercado local, nacional e internacional.

La alimentación es uno de los aspectos más importante del proceso productivo, constituyendo aproximadamente el 70% de los costos de producción. De ésta, los ingredientes proteicos son los más costosos, por lo cual es necesario utilizar ingredientes alternativos para su uso en la alimentación animal. Uno de ellos es la torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo), obtenida del proceso de extracción del aceite de esta oleaginosa. El rendimiento en el cultivo de esta semilla se ha incrementado en los últimos años (MINAGRI, 2015), generando una mayor disponibilidad de su subproducto, el cual por su alto valor nutritivo puede ser considerado en su inclusión en alimentos destinados a especies acuícolas de la región amazónica.

Sin embargo, el aporte nutricional de un alimento o ingrediente depende en gran medida de la digestibilidad de sus nutrientes y el contenido de energía digestible (ED), entre otros indicadores biológicos que varían de acuerdo a cada especie, que son información necesaria para el desarrollo de alimentos balanceados que nos otorguen mejores rendimientos en cuanto a parámetros productivos. Asimismo, los estudios de digestibilidad tienen un papel importante en la conservación de la calidad del agua ya que, al formular dietas más eficientes, se reducen las pérdidas de nutrientes y su posterior excreción al medio, lo cual contribuye al bienestar ambiental y a la capacidad de desarrollar una actividad sostenible en el tiempo.

El objetivo de la presente investigación es determinar los coeficientes de digestibilidad aparente (CDA) de la materia seca, proteína, extracto etéreo y estimar el contenido de energía digestible de la torta de sachá inchi cruda en el paiche, utilizando el método indirecto con el uso del indicador óxido de cromo.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. El paiche (*Arapaima gigas*)

El Paiche, originario de la cuenca del Amazonas, es un pez que se conoce con varios nombres, “Pirarucu” en Brasil, “Warapaima” en Guyana y “De-chi” en Colombia (IIAP, 2007). Perteneció a la familia de los Arapaimidae (Osteoglossidae), orden Clupeiforme y súper orden Osteoglossomorpha, grupo de peces primitivos que con la excepción de la familia Hiodontidae son tropicales. Es considerado uno de los mayores peces de agua dulce, alcanzando en estado adulto la longitud de 3 metros y pesos superiores a los 200 kg (Campos, 2001); llegando a los 10 kg en el primer año, con una producción estimada de 25 tn/ha al año cuando es criado en sistemas intensivos (Cresencio et al., 2005). Es un recurso pesquero tradicional y popular en la Cuenca Amazónica, de gran importancia económica debido a la calidad y cantidad de su carne. Es un pez de gran interés, por ser una especie primitiva única en su género (Franco, 2005).

#### 2.1.1. Características biológicas

Se denomina larva a la etapa de desarrollo del paiche que comprende desde la eclosión hasta la desaparición del saco vitelino (8 a 9 días de nacido), mientras que la denominación de alevino se da desde los 10 días hasta que se independiza de sus padres, entre los 3 y 4 meses de edad aproximadamente (IIAP, 2002). En el cuadro 1 se presenta la clasificación del paiche según IIAP (2007).

La larva de paiche recién eclosionada es transparente y posee un saco vitelino verde oscuro. Al cuarto día post eclosión se da la apertura del ano y la boca; al quinto día, las larvas empiezan procurar su propio alimento, cuando las reservas del saco vitelino presentan una gran reducción de volumen; al séptimo día, las larvas presentan su coloración característica (verde oscura); al octavo día, el saco vitelino está completamente absorbido. A partir del noveno día, las larvas forman cardúmenes, nadando de forma ordenada y subiendo a la superficie para respirar (EMBRAPA, 2015). El paiche presenta cabeza pequeña con relación al cuerpo. Su coloración es ceniza oscura (pardo y acero) con el borde de las

escamas amarillas o color rojizo como el achiote. Sus aletas son pequeñas están orientadas hacia atrás. Su lengua es una porción ósea de 25 cm de longitud total y 5 cm de ancho y posee dientes filiformes (Campos, 2001). Tiene un cuerpo alargado, circular y elipsoidal en sección, revestido de grandes escamas cicloideas; las aletas pectorales están separadas de las ventrales, en tanto que las dorsales y anales se encuentran cerca de la aleta caudal. El color del paiche es negro cuando están en estado larval y de alevinos, y castaño claro, del octavo al noveno mes de edad. La cabeza es parda y el dorso negruzco; las escamas abdominales, en la mitad posterior del cuerpo, son ribeteadas de rojo oscuro; las aletas ventrales en adultos poseen manchas negras y amarillas, dispuestas en forma de ondas, irregulares; las aletas dorsal, anal y caudal tienen manchas claras. Durante el período de reproducción, los ejemplares machos tienen una acentuada coloración oscura en la región dorsal (Franco, 2005).

**Cuadro 1. Clasificación del paiche (*Arapaima gigas*) por estado fisiológico**

	<b>Larva</b>	<b>Post larva</b>	<b>Alevino</b>	<b>Juvenil</b>	<b>Reproductor</b>
Edad	0 a 4 días	5 a 15 días	15 días a 3 meses	3 meses a 3 años	A partir de 4 a 5 años
Talla	12 mm	<4 cm	4-5 a 20 cm	Hasta 1.5 m	>1.7 m

Fuente: IIAP, 2007.

Cuenta con pequeños dientes cónicos en la mandíbula, y la aprehensión de la presa es ayudada por la presencia de placas dentales en la región palatina en conjunto con la lengua ósea. Su estómago es bastante musculoso, con pliegues bien desarrollados que permiten su distensión (Rotta, 2003), siendo capaz de almacenar grandes cantidades de alimento. Se pueden distinguir dos porciones: una bastante plegada y de coloración rosa (estómago enzimático) y una porción más musculosa y lisa, de coloración ligeramente amarilla (estómago mecánico) (EMBRAPA, 2015).

Posee un intestino relativamente corto; ya que la cantidad de alimento ingerido es menor y de una calidad superior, su paso por el tracto intestinal es más lento, lo cual es un aspecto importante para favorecer la difusión de nutrientes en la mucosa intestinal (Rotta, 2003), la cual se ve complementada por la presencia de dos ciegos pilóricos en la porción inicial del intestino (EMBRAPA, 2015).

### **2.1.2. Hábitos alimenticios y requerimientos nutricionales**

Durante el desarrollo de las larvas, tanto las especies omnívoras como las carnívoras, pasan por un cambio de hábito alimenticio, que inicialmente es a base de fitoplancton y zooplancton y luego se va especializando a la ingesta de organismos animales o vegetales. Los peces carnívoros generalmente comen con menor frecuencia, sin embargo consumen una ración mayor. Además, requieren un mayor contenido de proteínas cuando son criados en cautiverio y no aprovechan bien los alimentos de origen vegetal (García, 2010).

El paiche presenta un hábito alimenticio carnívoro; durante sus primeras etapas su dieta natural está compuesta principalmente de invertebrados acuáticos, como insectos, moluscos y crustáceos (EMBRAPA, 2015), y en etapas posteriores se alimenta de otros peces pequeños, entre ellos bujurqui, boquichico, guppi, mojarras, etc. en proporción de 8 a 10% de su peso vivo, cuando joven, y de 6% cuando es adulto (IIAP, 2007). El paiche captura su presa mediante una fuerte succión con la boca, produciendo un chasquido y brusco movimiento de la cabeza, acompañado muchas veces, de un coletazo. Las formaciones óseas de la boca indican que el paiche tritura la presa matándola antes de tragarla (Franco, 2005). Suele comer peces de los géneros *Prochilodus*, *Tetragonopterus*, *Leporinus*, prefiriendo claramente las carachamas (*Loricariídeos*). Los peces carnívoros hacen mejor uso de los alimentos de origen animal, lo que requiere un alto contenido de proteínas en la alimentación cuando se crían en cautiverio (Marculino, 2012). La producción de peces carnívoros se ve dificultada al no aceptar de manera voluntaria raciones balanceadas (Sagratzki et al., 2003); aunque el paiche acepta con facilidad el alimento concentrado (Franco y Peláez, 2007).

Como la gran mayoría de peces de agua dulce, el paiche procura alimentarse en el atardecer o amanecer; durante el día cuando el calor es intenso, se esconde debajo de la vegetación acuática en busca de cualquier sombra para huir de los fuertes rayos solares, manteniéndose quieto en el fondo del agua, emergiendo algunas veces para tomar aire. Considerando sus hábitos alimenticios y características anatómicas y morfológicas del tracto digestivo, EMBRAPA (2015) recomienda alimentar a los paiches adultos una vez al día, seis veces a

las semana, a una tasa entre 0.5% y 1.0% de peso vivo. Para las fases de levante de larvas y alevinaje, recomienda como mínimo ocho raciones al día, divididas en los periodos diurno y nocturno. Padilla, et al. (2005) evaluaron el efecto de la tasa de alimentación en el crecimiento de paiche, utilizando una ración peletizada del 50% de proteína bruta y tres tasas de alimentación (6, 8 y 10%), no encontrando diferencias significativas entre tratamientos en los promedios de longitud y peso. Sin embargo, la mejor conversión alimenticia fue obtenida con la tasa de alimentación del 6%. Por otro lado, Oliveira et al. (2013) utilizaron tasas de alimentación de 2 y 3% con un alimento comercial extruido de 40% de proteína cruda. No se encontraron diferencias significativas en los parámetros longitud, peso y sobrevivencia, sin embargo, sí se presentaron diferencias en cuanto a la conversión alimenticia, obteniéndose un valor de  $2.8 \pm 0.1$  con la tasa de 2% y  $4.3 \pm 0.1$  con la tasa de 3%.

Los animales terrestres y los peces presentan similares rutas metabólicas para convertir aminoácidos, carbohidratos y lípidos en energía. Es preferible que los carbohidratos y lípidos sean metabolizados a energía de manera que la proteína (aminoácidos) puedan ser usados para síntesis de tejidos. Para asegurar esto, debe haber un adecuado balance de proteína y energía en la dieta para optimizar el crecimiento y producción de tejido magro. Las relaciones de energía:proteína que varían de 8 a 10 kcal ED/g de proteína son óptimas para varias especies de peces (Gatlin, 2010).

A pesar del gran potencial que tiene el paiche para su explotación comercial, hasta ahora no se tiene mucho conocimiento de los hábitos alimenticios y de sus requerimientos nutricionales (EMBRAPA, 2015). Sin embargo, los resultados de investigación conducidos tanto en Brasil como en Perú indican que raciones balanceadas con 40-45% de proteína propician el crecimiento óptimo de juveniles de paiche para la producción de carne (IIAP, 2007).

Durante la fase de inicio se debe entrenar a los alevinos a consumir alimento balanceado, de preferencia utilizando alimentos extruidos libres de polvo y finos que son perjudiciales para los peces pequeños. Esta dieta con alto contenido de proteína debe utilizar harina de pescado de alta calidad y productos animales. Las dietas para juveniles incluyen niveles de proteína entre 35 y 55%, siendo los niveles entre 40 y 50% los que han producido mejores resultados de ganancia de peso. La alimentación de reproductores en pequeños lotes se realiza utilizando pez forraje o productos de faenamiento. Si se tiene una explotación comercial de

mediana escala se deben utilizar raciones balanceadas. Los niveles de proteína adecuados para esta fase deben ser menores a 40% y también se deben reducir los niveles de energía digestible. En el cuadro 2 se muestran los requerimientos nutricionales recomendados por etapa de crianza (IIAP, 2007).

**Cuadro 2. Requerimientos nutricionales del paiche por etapa de crianza**

<b>Nutriente</b>	<b>Alevinos (inicio)</b>	<b>Alevinos (crecimiento)</b>	<b>Juveniles</b>	<b>Reproductores</b>
Proteína, %	55	45	40	35
Grasa, %	12	12	10	8
Fibra, %	<2	<3	<4	<5
Ceniza, %	<10	<9	<9	<7

Fuente: IIAP, 2007.

Según Aldea et al. (2002), quienes evaluaron el rendimiento de esta especie utilizando dietas artificiales con tres niveles de proteína bruta (45, 50 y 55%), el nivel de 50 % de proteína bruta fue el que presentó las mejores condiciones en comparación a los demás tratamientos, con un índice de conversión alimenticia de 4.27, una tasa específica de crecimiento de 1.38 y un factor de condición de 0.93. Asimismo, Ituassú et al., (2005) evaluaron el efecto de cuatro niveles de proteína bruta (32, 39, 43 y 49 %) en juveniles de paiche, encontrando una mejor ganancia de peso, crecimiento específico y composición corporal con un nivel de 48.6%. Por otra parte, Del Risco et al (2008) evaluó el efecto de alimento extruido con tres niveles de proteína (35, 40 y 45%) en el crecimiento de alevinos de paiche, encontrando un nivel óptimo con 40% de proteína. En estudios recientes, Vergara et al., (2016) evaluaron 7 niveles de proteína cruda (44, 46, 48, 50, 52, 54 y 57%) en alevines de paiche, obteniendo con el análisis de regresión un requerimiento de 58%. Por otro lado, estos autores evaluaron 5 niveles de energía digestible de 4.4; 4.6; 4.8; 5.0 y 5.2 Mcal/kg, obteniendo el nivel de 4.8 Mcal/kg como requerimiento para esta especie. Cabe indicar que es importante que los animales estén entrenados para consumir alimento artificial a una temprana edad para poder ofrecerles una ración óptimamente formulada para satisfacer sus necesidades de proteína, energía, minerales, vitaminas, ácidos grasos y aminoácidos esenciales (IIAP, 2007).

#### **2.1.4. Requerimientos medioambientales**

El paiche es considerado como pez de clima ecuatorial, con temperatura ambiental elevada todo el año (con promedio de 26° C) y más de 2000 mm de precipitación anual. Habita en regiones de tierras bajas del Río Amazonas y sus tributarios (Franco, 2005), en aguas claras, cristalinas y oscuras, la mayoría de ellas deficientes en oxígeno, y ubicadas en las áreas inundables de la selva (<450 m.s.n.m.) (IIAP, 2007).

La temperatura del agua juega un papel muy importante en la biología de los organismos acuáticos, principalmente en los peces, influyendo en su desarrollo por ser organismos poiquiloterms. La temperatura condiciona la maduración gonadal, el tiempo de incubación de las ovas, el desarrollo larval, la actividad metabólica y el ritmo de crecimiento de larvas, alevinos y peces adultos. Además, este parámetro influye indirectamente en la respiración, al condicionar la concentración de oxígeno disuelto en el agua y el ritmo respiratorio de los peces (Franco, 2005).

En relación a los gases disueltos en el agua, el oxígeno es el más importante, debido a que es necesario para la respiración de los peces y demás organismos aerobios. Es importante anotar que el paiche tiene respiración aérea en gran parte a través de la vejiga natatoria, por lo que es independiente de la cantidad de oxígeno disuelto en el agua (IIAP, 2007). Esta característica permite una mayor densidad de cultivo en comparación a otras especies (Cresencio et al., 2005)

La presencia del nitrito en los estanques se debe a la nitrificación, en la que el amonio derivado de la excreción y de la descomposición de la materia orgánica es oxidado a nitrito. Cuando el nitrito es absorbido por los peces, reacciona con la hemoglobina formando metahemoglobina, y hace que la sangre pierda su capacidad de transportar oxígeno para los procesos biológicos (IIAP, 2007).

Por otro lado, el amonio se encuentra presente en los estanques como un producto del metabolismo de los organismos y como resultado de la descomposición de la materia orgánica por medio de las bacterias. En la forma no ionizada es tóxico y los peces sólo pueden soportar pequeñas cantidades, que varían con el tiempo de exposición (0,6 a 2,0 mg/l). Sin embargo, en la forma ionizada no es tóxico, salvo que se encuentre presente en grandes concentraciones. El pH y la temperatura interactúan con el nitrógeno amoniacal y, en cierta forma, regulan la presencia de uno u otro ion. (IIAP, 2007) El nitrógeno amoniacal

es la suma del ion amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y del amoniaco disuelto ( $\text{NH}_3$ ). Estas dos formas se encuentran en equilibrio químico de la manera que la concentración relativa de cada una depende del pH del medio y la temperatura. Entre mayor es el pH y la temperatura, mayor es el porcentaje de  $\text{NH}_3$  y su efecto nocivo sobre los peces (Camacho, 2012). En el Cuadro 3 se presentan los parámetros de calidad de agua para el cultivo de paiche.

**Cuadro 3. Parámetros de calidad de agua para el cultivo de paiche**

Temperatura ambiental (C°)	Temperatura del agua (C°)	pH	Oxígeno disuelto (mg/L)	Dureza (mg/L)
23,0 – 28,0	26,0 – 29,0	5,0 – 9,5	2,16 – 6,0	30,0

Fuente: FAO (2010), Franco (2005), IIAP (2003) y IIAP (2007).

## 2.2. Digestibilidad

La primera tarea para evaluar el potencial de cualquier ingrediente para incluirlo en una dieta es la cuantificación de su digestibilidad (Young y Bureau, 1999). La digestibilidad de los alimentos puede definirse, con cierto grado de precisión, como la cantidad que no se excreta en las heces y que, por tanto, se considera absorbida por el animal (McDonald, et al. 2006). Puesto que las heces también contienen una cierta cantidad de nutrientes perdidos por el intestino como un resultado de la descamación del epitelio intestinal, estos valores son normalmente restados de la producción fecal para obtener una medida más precisa o “verdadera” de la digestibilidad. Debido a que es difícil determinar éstas pérdidas con algún nivel de precisión usando métodos empíricos, la mayoría de los nutricionistas de organismos acuáticos determinan la “digestibilidad aparente”. Aunque no es una medida verdadera de la digestibilidad, todavía proporciona una estimación útil de la digestibilidad del ingrediente o del alimento (Fox y Lawrence, 2008).

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 los alimentos para peces y, finalmente, una disminución de los desechos de origen alimentario de modo que se pueda preservar la calidad del medio ambiente en general y el agua en particular (Guillaume et al. 2004). Este último punto tiene una gran importancia en la actualidad debido a los diversos impactos negativos generados por las actividades

productivas del hombre, razón por la cual se busca fomentar una acuicultura sostenible con el fin de conservar el recurso hídrico a largo plazo, asegurando el bienestar ambiental, social y económico.

### **2.2.1. Coeficiente de Digestibilidad Aparente**

La determinación de los coeficientes de digestibilidad permite cuantificar la digestibilidad y viabiliza la inclusión de una gran variedad de productos y subproductos de la agroindustria en raciones para peces (Vásquez et al. 2013). Puede definirse de dos maneras, según tengamos en cuenta o no 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). Según Guillaume, et al. (2004) se determina el CDA (coeficiente de digestibilidad aparente) y el CDR (coeficiente de digestibilidad real) para un nutriente dado de la siguiente manera:

$$\text{CDA} = (\text{ingesta} - \text{fecal})/\text{ingesta}$$

$$\text{CDR} = [\text{ingesta} - (\text{fecal} - \text{fecal endógeno})]/\text{ingesta}$$

### **2.2.2. Métodos de determinación de digestibilidad**

#### **a. Método directo**

Este método implica la medición de la totalidad del alimento ingerido y de las heces emitidas, correspondientes a una o varias raciones. (Guillaume, et al. 2004). Es necesario un periodo previo para que el aparato digestivo quede libre de restos de raciones anteriores, y adaptar al animal a las dietas experimentales. Este procedimiento es utilizado cuando el alimento a evaluar es un sólo ingrediente, pero cuando se quiere evaluar un ingrediente (que no puede ser dado como un único alimento) teniendo como base una dieta compleja se utiliza el método llamado digestibilidad por diferencia; determinándose en primer lugar la digestibilidad de la dieta compleja y acto seguido la digestibilidad conjuntamente con el ingrediente a evaluar, y realizando luego los cálculos necesarios para obtener esta digestibilidad (Bondi, 1989). Debido a la dificultad de estimar con exactitud el consumo de alimento y de colectar la totalidad de las heces emitidas, se opta por utilizar un método indirecto. (Ricque-Marie, et al. 2008).

## **b. Método indirecto**

El método indirecto no implica la medición de la totalidad de la ingestión alimenticia ni de la emisión fecal. Su originalidad reside en la utilización de un marcador inerte incluido en los ingredientes alimentarios o incorporados a la dieta que cumpla las siguientes características: debe ser totalmente indigerible y con una tasa de evacuación igual a la del contenido estomacal; debe analizarse en laboratorio fácilmente; y no debe afectar la palatabilidad de la dieta ni causarle algún daño al animal (Clavijo, 2011). Por sus particulares propiedades, esta sustancia, después de haber transitado en el bolo alimenticio, se recupera totalmente en las heces. El aumento de la concentración del marcador, en comparación con la de los nutrientes, permite cuantificar la desaparición de estos nutrientes y esta desaparición se equipara a la absorción (Guillaume, et al. 2004). El indicador más empleado para mezclar con los alimentos es el cromo, en forma de óxido de cromo,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . El óxido de cromo es muy poco soluble y, por consiguiente, indigestible; además, es poco probable que el cromo se encuentre como componente natural de los alimentos en cantidades apreciables (McDonald et al. 2006).

Uno de los sistemas utilizados para su cuantificación biológica en peces es el sistema Guelph, que consiste en el uso de tanques con fondo inclinado. El flujo de agua es continuo y las heces decantan en una columna de sedimentación (Young y Bureau, 1999) donde permanecen depositadas hasta el momento de la recolección (Abimorad y Carneiro, 2004).

La ventaja del Sistema Guelph es que permite que los peces sean alimentados normalmente, no es necesario un manejo del pez, esto permite tener determinaciones repetidas en el tiempo y evaluar la digestibilidad aparente de diferentes dietas al mismo tiempo que se hacen observaciones sobre tasa de crecimiento y análisis de canal. Una crítica de este método es que el material soluble puede perderse de las heces debido a la lixiviación. La gran concordancia entre la digestibilidad de la materia seca, proteína cruda y lípidos obtenidos por disección intestinal y colecta de contenido rectal por succión con los resultados obtenidos usando una columna de decantación, indican que la lixiviación no es una fuente importante de error. Por otra parte, cuando las heces permanecieron en el recolector de sedimentación por 15 horas no se observaron pérdidas importantes por lixiviación. La principal causa de la lixiviación es la ruptura de las partículas de las heces que resulta del manejo físico durante su retiro del agua (pérdida por manejo), lo que debe ser evitado (Young y Bureau, 1999). 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 lixiviación y los resultados continúan siendo válidos, porque son comparativos (Manríquez, 1994).

### **2.2.3. Factores que afectan la digestibilidad**

#### **a. Composición de los alimentos**

La digestibilidad de los alimentos guarda estrecha relación con la composición química de los mismos. La fracción fibra de los alimentos es la que más afecta su digestibilidad, siendo importantes tanto la cantidad como la composición química de la fibra. Así mismo, los componentes que se unen a las proteínas y aminoácidos, como los taninos, reducen su digestibilidad (McDonald et al. 2006).

Se reportan valores relativamente altos de digestibilidad para la harina de maíz (58.59%), debido a su alto contenido de carbohidratos solubles, fácilmente asimilables y a su bajo contenido de fibra. Por el contrario en la harina de coronta de maíz fue baja (21,96%) debido a su alto contenido de fibra (30.00%). En cuanto a ingredientes proteicos de origen animal, obtuvieron para la harina de pescado, tanto de la materia seca como de la materia orgánica, valores de 68,79 y 62,90%, respectivamente. Esto debido a su alto contenido de carbohidratos solubles (Rosales y Tang, 1996).

#### **b. Composición de la ración**

La digestibilidad de los alimentos está afectada, no solo por su propia composición, sino también por la de los alimentos consumidos al mismo tiempo. Este efecto asociativo de los alimentos supone un serio 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) y más notable cuando los alimentos groseros de baja calidad se suplementan con concentrados amiláceos (McDonald et al., 2006). 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).

Los efectos de la composición de la dieta en la digestibilidad también han sido verificados por Córdova y García (2002), quienes determinaron que la digestibilidad in vitro e in vivo era afectada no solamente por la fuente de suplemento proteico, si no también, por la cantidad de proteína en la dieta. Fox y Lawrence (2008) proponen que la actividad de las

enzimas digestivas aumenta con el nivel de proteína de la dieta, y que estas deben ser formuladas en su totalidad por el ingrediente a evaluar para eliminar cualquier efecto asociativo de los componentes. Otros autores han recomendado el uso de una dieta de referencia debido a que las dietas de producción raramente están compuestas de un solo ingrediente.

### **c. Preparación de los alimentos**

Los tratamientos más corrientes a que se someten los alimentos son el picado, troceado, aplastamiento, molienda y cocción. En ocasiones, los alimentos se someten a tratamientos térmicos para mejorar su digestibilidad. Estos métodos son más eficaces al aplicarlos con la finalidad específica de inactivar los inhibidores de enzimas existentes en algunos alimentos (McDonald et al., 2006). Se ha visto que las técnicas de extrusión afectan los coeficientes de digestibilidad aparente. Las diferencias en digestibilidad aparente atribuidas a la metodología de extrusión no son universales para todos los ingredientes, lo que sugiere la importancia de utilizar un método de extrusión de referencia que permita la comparación entre distintos estudios (Lawrence y Fox, 2008). Si bien es cierto, la extrusión mejora la digestibilidad de los nutrientes, una extrusión muy severa podría reducir la digestibilidad de aminoácidos y proteínas (Guimaraes et al, 2013).

### **d. Factores dependientes de los animales**

La digestibilidad es una propiedad que guarda más relación con los alimentos que con los animales que los consumen. Sin embargo, esto no quiere decir que el mismo alimento administrado a distintos animales sea siempre digerido al mismo nivel. El factor animal más importante es la especie a la que pertenece. Los alimentos de bajo contenido de fibra son bien digeridos por los animales rumiantes y no rumiantes, pero los alimentos fibrosos son mejor digeridos por los rumiantes (McDonald et al., 2006).

### **e. Nivel de alimentación**

En general, al aumentar la cantidad consumida de un determinado alimento, se produce un ritmo de paso más rápido por el tracto digestivo. Como consecuencia, los alimentos quedan expuestos a la acción de enzimas digestivas durante menos tiempo, lo que puede determinar una reducción en la digestibilidad. Como es natural, las reducciones en la digestibilidad debidas al aumento en el ritmo de paso, son mayores para los componentes de los alimentos de digestión más lenta, es decir, los componentes de la pared celular (McDonald et al., 2006).

Al reducir la ingestión de alimento por debajo del nivel de mantenimiento, los animales se hacen más eficientes en la digestión de los alimentos y el metabolismo de los nutrientes (Bondi, 1989).

#### **2.2.4. Digestibilidad en paiche**

De acuerdo con Akifumi et al., (2008), quienes determinaron la digestibilidad aparente de dietas con diferente relación energía:proteína (11, 10, 9 y 8 Kcal ED/ gramo de proteína) y dos fuentes de energía (aceite de soya y grasa de aves) en juveniles de paiche, los coeficientes aparentes de digestibilidad más altos para proteína y materia seca se obtuvieron con la dieta de 11 Kcal ED/ gramo de proteína. Además, encontraron mayor digestibilidad de las dietas en base a grasas insaturadas (aceite de soya). Asimismo, Dos Santos et al. (2015) evaluaron la digestibilidad de materia seca, proteína, y aminoácidos para ingredientes energéticos en juveniles de paiche. La harina de maíz y el almidón de maíz presentan los mejores CDA de la materia seca, 76,37% y 70,66% respectivamente, seguidos por el salvado de arroz (46,23%) y salvado de trigo (45,13%). Los mejores CDA de la proteína bruta se determinaron para harina de maíz (93,44%) y almidón de maíz (90,94%), en relación al salvado de arroz (68,23%) y salvado de trigo (68,58%). Para el CDA de la energía bruta no fue registrada diferencia estadística, variando entre 47,10% para el almidón de maíz y a 40,10%, para la harina de maíz. La harina de maíz y el almidón de maíz presentaron los mejores CDA de todos los aminoácidos evaluados, seguidos por el salvado de arroz y salvado de trigo.

Por otro lado, Marculino (2012) evaluó el efecto de la inclusión de enzimas digestivas exógenas (lipasas y proteasas) sobre la digestibilidad aparente en juveniles de paiche alimentados con dietas a base de harina pollo y harina de carne y huesos. Los resultados sugirieron que las enzimas exógenas no fueron eficaces en la mejora de la digestibilidad aparente de las dietas, ya que diversos factores pueden influenciar la eficacia de la acción de enzimas y la digestibilidad de los nutrientes.

### **2.3. Energía digestible**

La energía digestible (ED) corresponde a la energía bruta (EB) ingerida menos la EB de las heces, que suele oscilar generalmente entre el 10 y 30% de la dieta. La digestibilidad de la energía de una dieta es resultado de la digestibilidad de cada uno de sus ingredientes

(Guillaume, et al., 2004). En el proceso de transformación de la energía contenida en los alimentos en energía disponible para el metabolismo y el crecimiento, siempre hay una considerable proporción que se pierde por excreción o se disipa en forma de calor. De manera general, las exigencias de los peces son expresadas en términos de Energía Digestible (ED). Del total de la energía absorbida solamente una fracción queda disponible para el animal como Energía Neta (EN) después de descontar la energía perdida como calor de producción (generada durante los procesos de digestión, absorción y excreción y formación de productos y desechos); parte de esta EN es utilizada para mantenimiento, metabolismo basal y actividad voluntaria; en síntesis, aproximadamente 70% de la energía ingerida (EI) es perdida como alimento no absorbido (heces), por excreción metabólica y como calor. De cualquier manera, tales pérdidas energéticas variarán dependiendo de la composición y digestibilidad de los ingredientes alimenticios utilizados, del régimen de alimentación, de la temperatura del agua, del tamaño del pez y de su estado fisiológico, entre otros factores. De lo expuesto anteriormente resulta evidente que los requerimientos energéticos, para el mantenimiento y para las actividades de nado voluntario, deberán ser satisfechos antes de poder contar con energía disponible para el crecimiento. Por lo tanto, y dado que los peces, a semejanza de otros animales comen para satisfacer en primera instancia sus requerimientos energéticos, es necesario que tengan un acceso no restringido al alimento para que lo puedan consumir hasta saciarse o bien, que reciban una ración con una densidad energética adecuada que les garantice el cubrimiento de todas sus necesidades energéticas para mantenimiento y crecimiento (Vásquez, 2004). En los peces carnívoros como el paiche, los aminoácidos y los ácidos grasos son los principales sustratos energéticos, mientras que los carbohidratos son los peores utilizados (Sanz, 2009).

## **2.4. Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo)**

### **2.4.1. Aspectos generales**

El sachá inchi, es una oleaginosa que pertenece a la familia Euphorbiaceae y se encuentra distribuida desde América Central hasta Bolivia (IIAP, 2009). En el Perú, es conocido como sachá inchi, sachá inchik, amui, sachá yuchi, sachá yuchiqui, sampannankii, suwaa, maní del monte, sachá maní, maní del inca, maní jíbaro o inca peanuts, y crece en estado silvestre en los departamentos de Loreto, San Martín, Ucayali, Madre de Dios, Amazonas y Junín (IIAP, 2009). De acuerdo con información obtenida del Banco Central de Reserva del Perú (BCRP)

para el año 2007, toda la producción de sacha inchi proviene de la zona Nororiental del país, principalmente de los departamentos de Ucayali, Loreto y San Martín (Chirinos et al. 2009).

El sacha inchi es una planta en su definición agronómica, rústica, trepadora y semileñosa de poca exigencia nutricional; que se adapta a diferentes tipos de suelo, con pH entre 4.5 y 6.5, altitud de 80 a 1700 msnm (Betancourth, 2013). Sus hojas son alternas, de color verde oscuro, oval - elípticas, aserradas y pinninervadas, de 9 a 16 cm de largo y 6 a 10 cm de ancho. Crece y tiene buen comportamiento a diversas temperaturas que caracterizan a la Amazonía Peruana (mínimo 10°C y máximo 36°C). Las temperaturas muy altas son desfavorables y ocasionan la caída de flores y frutos pequeños, principalmente los recién formados. Es una planta que requiere de disponibilidad permanente de agua, para tener un crecimiento sostenido; siendo mejor si las lluvias se distribuyen en forma uniforme durante los 12 meses (850 a 1000 mm) (CIED, 2008). Los frutos son cápsulas de 3 a 5 cm. de diámetro con 4 a 7 puntas, son de color verde y al madurar marrón negruzco. Usualmente están formados por cuatro lóbulos, pero algunos presentan cinco y hasta siete. Dentro de estas se encuentran las semillas o almendras, ovales, de color marrón-oscuro, de 1.5 a 2 cm. de diámetro y de 0.48 g a 100 g de peso ligeramente abultadas en el centro y aplastadas hacia los bordes (Aire y Taípe, 2011).

El sacha inchi fue descrito por Linneo en 1753 (CIED, 2008). La clasificación taxonómica del sacha inchi, según Betancourth (2013), es la siguiente: Reino, Plantae, División, Spermatophyta, Sub división, Angiospermae, Clase, Dicotiledónea, Orden, Euphorbiales, Familia, Euphorbiaceae, Género, *Plukenetia* y Especie, *Plukenetia volubilis* Linneo. En los últimos años ha venido tomando importancia económica e industrial en el mercado local, nacional e internacional debido a la demanda de ácidos grasos esenciales (ácido linolénico, linoléico y oleico, conocidos como omega 3, 6 y 9 respectivamente) y vitamina E, sustancias que las semillas de sacha inchi concentran en cantidades elevadas, con respecto a semillas de otras oleaginosas (Sihuayro, 2013).

#### **2.4.2. Obtención de la torta de sacha inchi**

Las etapas para la obtención de aceite y torta de la semilla de sacha inchi, según Chirinos et al. (2009), son la molienda, el calentamiento y el prensado; este último puede ser mecánico o por solvente. De forma general y esquemática, el proceso de extracción de aceite a partir de las semillas se muestra en la Figura 1; sin embargo, se debe destacar que existen algunas

variantes en este proceso que tienen consecuencias tanto sobre su calidad como en la productividad.

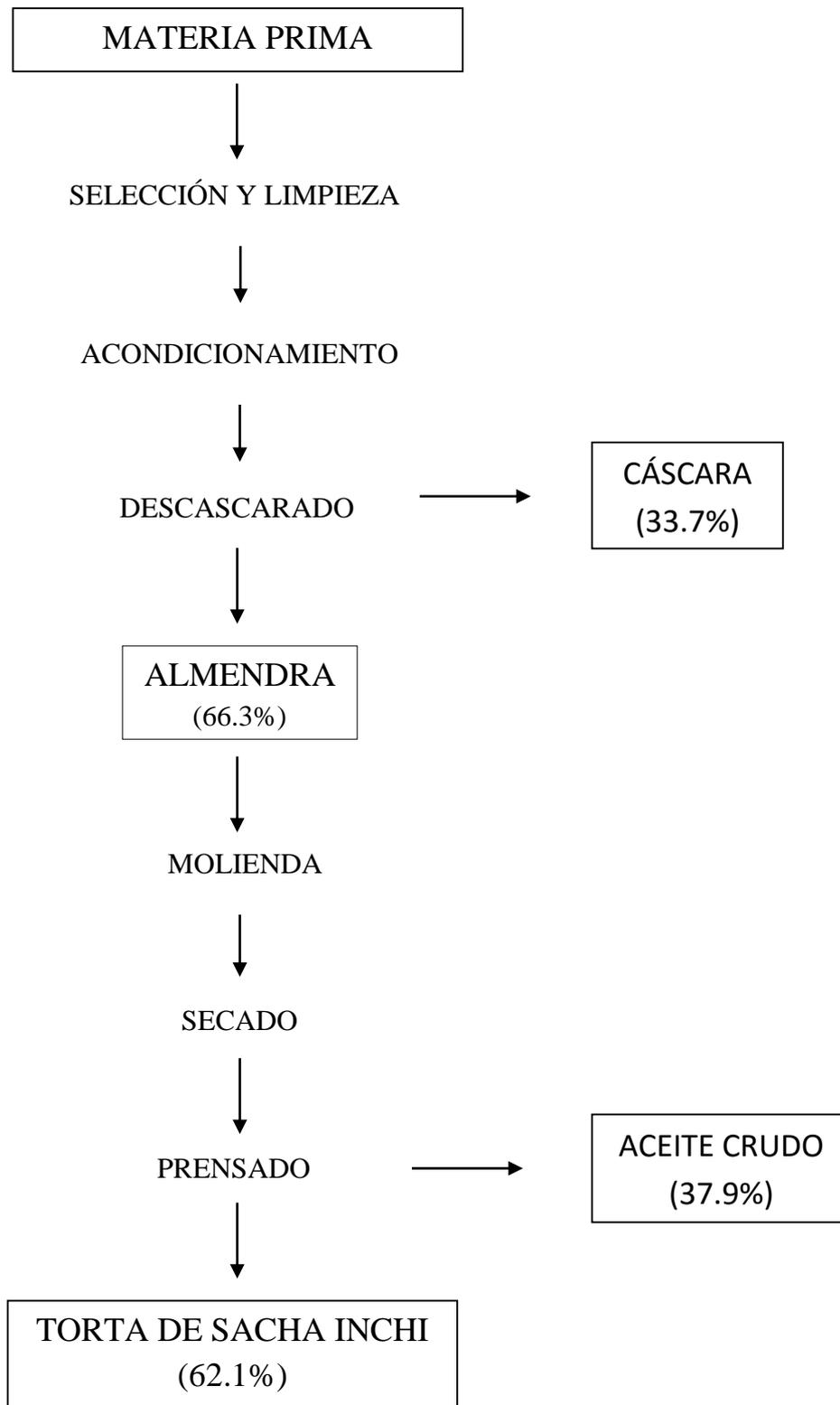
La extracción del aceite se realiza con mayor eficiencia cuando la semilla se somete a una trituration previa o a una laminación. Para esta operación existen molinos diseñados para producir la rotura de la semilla. El diámetro de los cilindros de un molino de rodillos varía de 200 a 400 milímetros y su longitud es de 1000 milímetros. También se utilizan con este fin los molinos de martillo o cilindros dentados.

El calentamiento favorece el proceso posterior de extracción. Mondragón (2009) señala que es fundamental el correcto control de la temperatura durante el proceso de manufactura, porque la falta de cocción puede causar serios problemas de salud y desempeño en los animales (monogástricos y rumiantes muy jóvenes); sin embargo los excesos de calor también pueden dañar la calidad de las proteínas. Si las temperaturas son excesivamente altas y aplicadas por tiempos muy prolongados las proteínas cambian su configuración, ya que el exceso de calor conduce a la formación de productos indigeribles.

Posteriormente, se realiza la extracción del aceite. El principio de extracción mecánica se basa en la aplicación de presión sobre una masa de productos oleaginosos combinados en bolsas, telas, mallas u otros. Este proceso puede hacerse mediante prensas continuas o discontinuas. Otra alternativa es la extracción por solvente, que se realiza con hexano, el cual elimina los constituyentes no oleosos, como la proteína y la fibra. Prácticamente es el único método para conseguir una extracción casi completa del aceite. El residuo obtenido constituye la torta, que contiene una alta cantidad de proteína y lípidos, y surge como alternativa de la torta de soya para su uso en la actividad pecuaria (Chirinos et al. 2009).

Hurtado (2013) encontró que la semilla de *sacha inchi* estaba constituida por un 33.7% de cáscara y 66.3% de almendra, siendo a partir de esta última que obtuvo 62.1% de torta y 37.9% de aceite luego del prensado.

**Figura 1. Diagrama de flujo de la obtención de torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo)**



Fuente: Aire y Taipe (2011); Hurtado (2013)

Al igual que la torta, la cáscara también constituye un subproducto con alto potencial de aprovechamiento. La cáscara de sachá inchi está constituida principalmente de fibra (77.8%), por lo que posee una baja digestibilidad y bajo valor energético para peces, pudiendo dirigirse principalmente a la alimentación de rumiantes; sin embargo, no debe suministrarse como alimento único debido a su bajo contenido de proteína (2.75%). Asimismo, por su alto contenido de minerales, especialmente de calcio (Ca), potasio (K) y magnesio (Mg), puede ser utilizado como fertilizante, disminuyendo así el uso de fertilizantes químicos que pueden causar un deterioro de la calidad del suelo y del agua o ser altamente peligrosos para los seres humanos y animales (Benitez et al., 2013). Por lo tanto, el aprovechamiento de este subproducto también puede tener un efecto positivo sobre el medio ambiente, llevando el proceso de la extracción del aceite de sachá inchi dentro del marco del desarrollo sostenible.

El proceso de extracción de aceites genera diferentes residuos que tienen impactos negativos sobre el medio ambiente, tales como contaminación del aire por emisión de hexano, hidrógeno y amoníaco, contaminación del agua por alto contenido de sólidos suspendidos, aceites y grasas, así como también la producción de residuos sólidos (papel, plástico, etc.) y generación de olores molestos. Es importante realizar un correcto manejo durante todo el proceso de extracción de aceite (políticas de prevención, mantenimiento de maquinarias, reciclaje) para minimizar estos impactos, así como también para aumentar la rentabilidad, ya que se pueden recuperar productos comercializables y reducir costos de tratamientos de efluentes.

#### **2.4.3. Valor nutricional**

Una de las características principales que hace atractiva la semilla de sachá inchi frente a otros productos alternativos es su alto contenido de aceites (54%) y proteínas (33%). Además, es una de las semillas que posee mayor cantidad de ácidos grasos omega 3 (48.6%) (Chirinos et al, 2009).

Ruiz et al. (2013), determinaron la composición proximal, el perfil de ácidos grasos y de aminoácidos de la semilla y torta de dos especies de *Plukenetia* (*P. huayllabambana* y *P. volubilis*). Ambas especies presentaron mayor contenido de aceite que otras semillas oleaginosas como la soya (19%), el maní (45%) o el algodón (16%). En cuanto al porcentaje de proteína, tanto en la semilla como en la torta se observó un mayor porcentaje en *P.*

*volubilis*. En cuanto al perfil de ácidos grasos de las 4 muestras, el contenido en semillas y tortas fue similar. Cabe destacar que el contenido de ácido linoleico (omega-6) es mayor en *P. volubilis*, mientras que el linolénico (omega-3) se encuentra en mayor proporción en *P. huayllabambana*.

Hurtado (2013) realizó el análisis composicional de la torta de sacha inchi, obteniendo 7.15% de humedad, 5.19% de cenizas, 4.84% de grasa, 51.23% de proteína, 4.79% de fibra bruta y 26.5% de extracto no nitrogenado. Asimismo, Mondragón (2009) también determinó la composición de la torta de sacha inchi, obteniendo 5.09% de humedad, 3.24% de cenizas, 37.33% de grasa, 34.26% de proteína, 3.16% de fibra bruta y 22.01% de extracto no nitrogenado. El Cuadro 4 y 5 muestran el contenido nutricional y el aminograma de la torta de sacha inchi, respectivamente.

En relación a la presencia de sustancias que interfieren con la nutrición, determinaron el contenido de taninos y saponinas en semillas y torta de las dos especies de *Plukenetia* antes mencionadas. Mondragón (2009) señala que las saponinas son inhibidores del consumo por su baja palatabilidad. Asimismo, el contenido de taninos es importante ya que se sabe que puede unirse o precipitar las proteínas digestivas disminuyendo su capacidad de digerir alimentos. En los resultados obtenidos se observó que la concentración de taninos fue mayor en semillas y torta de *P. volubilis*; sin embargo son valores menores a lo reportado en semillas de soya (34.9 mg/100g muestra).

#### Cuadro 4. Contenido nutricional de la torta de sachu inchi cruda

<b>Nutriente*</b>	<b>%</b>
Materia seca	91.88
Extracto etéreo	15.02
Proteína	50.14
Ceniza	4.45
Fibra cruda	4.08
ELN	18.19
EB (Kcal/Kg)	5170.20

<b>Aminoácidos**</b>	<b>%</b>
Arginina	3.51
Isoleucina	4.26
Leucina	9.48
Lisina	2.91
Metionina	0.90
Fenilalanina	3.21
Tirosina	2.16
Treonina	3.11
Valina	4.11
Glicina	4.01
Ac aspártico	2.51
Ac glutámico	5.21
Serina	2.26
Glicina	4.01
Prolina	1.86

\*LENA (2013)

\*\* La Molina Calidad Total Laboratorios

**Cuadro 5. Aminograma de los residuos de la extracción del aceite de *Plukenetia volubilis* L. (mg/g).**

<b>Aminoácido</b>	<b>mg/g</b>
Aspártico	132
Glutámico	239
Serina	58
Glicina	38
Histidina	9
Treonina	68
Alanina	35
Arginina	63
Prolina	24
Tirosina	22
Valina	31
Metionina	13
Isoleucina	180
Leucina	69
Fenilalanina	9
Lisina	39

Fuente: Mondragón, 2009.

#### **2.4.4. Torta de sachá inchi en la alimentación animal**

Se ha evaluado el uso de torta de sachá inchi (TSI) cruda y extruida en reemplazo de la torta de soya en dietas para alevinos de tilapia gris (*Oreochromis niloticus*), con un nivel de inclusión de 20% (Ríos, 2012). Los resultados no mostraron diferencias significativas en ninguno de los parámetros evaluados, sin embargo se mostró un mejor rendimiento numérico de los parámetros para el nivel de 20% de TSI extruida, seguido del tratamiento con 20% de TSI cruda en comparación con el tratamiento control. Adicionalmente, se encontró un ahorro importante del costo por kilogramo de peso vivo al utilizar TSI cruda. El estudio concluyó en que la TSI puede reemplazar satisfactoriamente la torta de soya en dietas para alevines de tilapia.

Asimismo, se evaluó cuatro niveles de inclusión de torta de sachá inchi cruda (0, 20, 30, 40 por ciento) en pollos de engorde Cobb 500 (Reátegui et al., 2010), en el cual no se consiguió una buena performance con ningún nivel de inclusión, por el contrario, disminuyó la performance de las aves a los 25 y 45 días de evaluación. Se concluyó la existencia de un factor anti nutricional o nutriente faltante en el sachá inchi que inhibe la buena performance del pollo.

Por otra parte, Ruiz y Vela (2007) utilizaron la torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo) cruda (0, 10, 20, y 30 por ciento) en dietas para alevines de gamitana (*Colossoma macropomun*) criados en jaulas flotantes, resultando que el nivel de 20 por ciento de este producto presenta un ligero incremento en la longitud y ganancia de peso respecto a los demás tratamientos, aunque no se encontraron diferencias significativas respecto al crecimiento y conversión alimenticia. Jara (2013), determinó los coeficientes de digestibilidad aparente de la torta de sachá inchi extruida en trucha arco iris, obteniendo para materia seca 97.33 por ciento, para proteína cruda 96.7%, para extracto etéreo 86.63%, para extracto libre de nitrógeno 71.98% y para energía bruta 96.17%. Asimismo, estimó 4671 Kcal/kg de energía digestible en base fresca.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Lugar y duración de la evaluación**

La evaluación se realizó durante 21 días en las instalaciones del Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación en Peces y Crustáceos (LINAPC), Departamento Académico de Nutrición, Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM). La elaboración del alimento balanceado en la Planta de Alimentos del Programa de Investigación y Proyección Social en Alimentos (PIPSA). La determinación de óxido de cromo y nitrógeno se realizó en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF), Departamento de Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM). La determinación de la energía bruta se realizó en el Instituto de Investigación Nutricional (IIN). La determinación del extracto etéreo se realizó en el Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos (LENA). La determinación del contenido de materia seca se realizó en el LINAPC.

#### **3.2. Instalaciones y equipos**

Las instalaciones del LINAPC cuentan con un sistema de recirculación, el cual permite el control de los estándares de calidad de agua para la especie en estudio. El laboratorio cuenta con dos acuarios de adaptación (120 litros de capacidad), 18 acuarios para pruebas de crecimiento (55 a 75 litros de capacidad, de 50 cm de alto, 47 cm de ancho y 47 cm de profundidad) y nueve acuarios para pruebas de digestibilidad. Para el experimento se utilizó seis acuarios de digestibilidad tipo *Guelph* de fibra de vidrio con una capacidad de 54 litros, de 45 cm de ancho, 45 cm de profundidad y 55 cm de altura, color blanco, liso por dentro y por fuera, con base en plano inclinado para realizar la colección de heces (pendiente de 13°) y frontis de vidrio de 6mm incorporado (Anexo III).

Durante el manejo de los juveniles se utilizaron placas petri, mallas metálicas de 100µm, una balanza con 0.005g de precisión utilizada en el pesaje del alimento suministrado y heces recolectadas, así como envases de plástico y un refrigerador para su posterior

almacenamiento. Además se utilizaron instrumentos para medir la calidad de agua, midiéndose temperatura, oxígeno disuelto, dureza, pH y amonio.

### **3.3. Animales experimentales**

Se utilizaron 18 juveniles de paiche provenientes de la estación piscícola “Fundo Palmeiras” ubicado en Rio Negro – Satipo – Junín. Iniciaron con un peso promedio de 180 g y una talla promedio de 28 cm. Los peces fueron recepcionados en dos acuarios de adaptación donde permanecieron por 3 días. Luego fueron distribuidos aleatoriamente en seis acuarios de digestibilidad, con tres peces por acuario.

### **3.4. Ingrediente evaluado**

El producto evaluado fue la torta de sacha inchi cruda, que es un subproducto obtenido a partir del proceso de extracción de aceite de la semilla de sacha inchi, proveniente de Juanjui – Tarapoto.

### **3.5. Dietas experimentales**

Se prepararon dos dietas experimentales a partir de una dieta estándar para paiches, las cuales se detallan a continuación:

- Dieta referencial; con 99.5 por ciento de dieta estándar y 0.5 por ciento de óxido de cromo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ).
- Dieta de prueba; con 30 por ciento de torta de sacha inchi cruda, 69.5 por ciento de dieta estándar y 0.5 por ciento de óxido de cromo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ).

Se utilizó la formulación al mínimo costo, por programación lineal. La elaboración de las dietas tuvo lugar en la Planta de alimentos, UNALM. Se realizó la mezcla de 20 kg de dieta estándar para paiches y se dividió en dos partes, cada una de 10 kg. Para obtener la dieta referencial se reemplazó el 0.5 por ciento de la dieta estándar por óxido de cromo en el mismo porcentaje. Para obtener la dieta de prueba se reemplazó el 30.5 por ciento de la dieta estándar por 0.5 por ciento de óxido de cromo y 30 por ciento de torta de sacha inchi cruda. 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 mm. Obtenidos los pellets, se llevaron a secar en una estufa eléctrica a 60° C durante 30 minutos. Una vez secos los pellets, se tamizaron para eliminar el polvillo y los pellets quebrados, obteniendo pellets

de 3 mm de diámetro. Los pellets se colocaron en frascos debidamente rotulados y se almacenaron a temperatura ambiente hasta su posterior uso.

El Cuadro 6 muestra la fórmula y valor nutritivo estimado de las dietas y el Cuadro 7 el aporte nutricional de la premezcla de vitaminas y minerales para acuicultura utilizado en la preparación de las dietas.

### **3.6. Procedimiento experimental**

Para determinar los CDA de la materia seca, proteína y la energía digestible se utilizó el método de digestibilidad indirecta usando como marcador inerte al óxido de cromo. Para ello se trabajó en una etapa de adaptación a la dieta de cuatro días, sin colección de heces, y a partir del quinto día se inició la colección. Cada acuario representa una repetición, por lo que se tuvo tres repeticiones por cada dieta suministrada.

#### **3.6.1. Suministro de alimento**

Los peces recibieron dos comidas diarias, ofrecidas a las 8:30 am y 5:00 pm, asegurándose que todo el alimento ofrecido sea ingerido por los peces. La cantidad de alimento brindado se fue ajustando en el tiempo, aumentando conforme al crecimiento de los peces. Se brindó alimento hasta llegar al punto de saciedad.

#### **3.6.2. Colección y manejo de las heces**

Al inicio del ensayo los peces fueron alimentados con la dietas referencia y la dieta de prueba durante cuatro días sin realizar la colección de las heces. A partir del quinto día, una hora después de la última alimentación cada acuario de digestibilidad fue limpiado a fin de eliminar del sistema los residuos de alimento y heces. Se eliminó un tercio del agua de los acuarios para asegurar que el proceso de limpieza sea completo. A las 8:00 am y 4:30 pm del día siguiente, las heces sedimentadas fueron cuidadosa y suavemente extraídas del colector de heces y pasadas a través de una malla de 100µm para luego ser colocadas en placas petri, eliminando escamas que se pudieran encontrar, posteriormente fueron secadas en una estufa a 60 °C por seis horas, para reducir la humedad e inmediatamente congeladas y almacenadas. Luego con la ayuda de un mortero se pulverizaron y eliminaron las escamas y cuerpos extraños. Las heces libres de contaminación con partículas de alimento se consideran una muestra representativa de las producidas a lo largo de un periodo de ocho horas. Este procedimiento se repitió durante 21 días, consiguiéndose

**Cuadro 6. Fórmula y valor nutritivo de las dietas**

<b>Ingredientes</b>	<b>Dieta estándar</b>	<b>Dieta referencial</b>	<b>Dieta prueba</b>
Hna. de pescado prime, 60	29.99	29.85	20.84
Harina de trigo	37.48	37.29	26.05
Torta de soya, 47	26.00	25.87	18.07
Aceite crudo de soya	5.01	4.98	3.48
Sal	0.60	0.60	0.42
Ligante (Goma Xantan)	0.40	0.40	0.28
Premezcla de Vit. y Min.	0.30	0.30	0.21
Manano-oligosacáridos	0.10	0.10	0.07
Rumicell	0.10	0.10	0.07
Antioxidante	0.02	0.02	0.01
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.5	0.5
Ingrediente prueba (TSIC)	0.00	0.00	30
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>Contenido nutricional estimado (%)</b>			
Materia seca	90.93	90.48	90.76
Proteína	38.34	38.15	41.69
Fibra	3.10	3.08	3.38
Grasa	10.90	10.85	12.08
ED (Mcal/kg)	3.90	3.88	4.26
Lisina	2.62	2.61	2.70
Metionina	0.87	0.87	0.88
Cistina	0.46	0.46	0.65
Arginina	2.51	2.50	2.80
Treonina	1.55	1.54	2.01
Triptófano	0.47	0.47	0.66
Valina	2.00	1.99	2.62
Fosforo total	1.25	1.24	1.06
Calcio	1.25	1.24	1.02

**Cuadro 7. Fórmula de la premezcla de vitaminas, minerales y aditivos**

<b>Nutriente</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
Vitamina A	14 000 000	UI
Vitamina D3	2 800 000	UI
Vitamina E	140 000	UI
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	600.000	g
Vitamina B12	0.030	g
Cloruro de colina	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	120.000	g
Excipientes c.s.p.	3 000.000	g

3 kg de premezcla por 1 Tn de alimento

Fuente: DSM Nutritional Products Perú S.A. (2014)

aproximadamente 8 gramos de heces secas por cada acuario de digestibilidad para los análisis químicos.

### 3.6.3. Análisis de laboratorio

Se determinó el porcentaje de humedad en el LINAPC empleando el método AOAC (1990); y la energía bruta de las dietas y de las heces de cada unidad experimental en el laboratorio del IIN, para obtener la energía bruta se realizó el ensayo del valor calorífico empleando el método ASTM D-2015-66 (1972). Se realizó el análisis químico para obtener la concentración del óxido de cromo de las dietas y heces de cada unidad experimental, el cual se realizó en el LASPAF del departamento de suelos empleando el método de espectrofotometría por absorción atómica por el método AOAC (1990). La determinación del contenido de extracto etéreo se realizó en el LENA empleando el método AOAC (1990).

### 3.6.4. Determinación de los coeficientes de digestibilidad aparente

Las estimaciones del porcentaje de digestibilidad aparente fueron realizadas sobre la base de la cantidad de heces en cada una de las réplicas colectadas durante 21 días. Con los resultados de laboratorio obtenidos de las dietas y heces colectadas se determinaron los CDA de las dietas para materia seca, proteína, extracto etéreo y energía bruta; posteriormente se utilizaron estos CDA para determinar el CDA de la torta de sachá inchi cruda. Las ecuaciones utilizadas fueron las siguientes:

- a. Fórmula de la determinación del CDA de nutrientes en las dietas (Cho y Slinger, 1982)

$$CDA_{(d)} = 100 - \left[ 100 \left( \frac{\%Cr_2O_{3(d)}}{\%Cr_2O_{3(h)}} \right) \times \left( \frac{\%Nut_{(h)}}{\%Nut_{(d)}} \right) \right]$$

Donde:

$CDA_{(d)}$  = coeficiente de digestibilidad aparente de la dieta referencial y prueba

$Cr_2O_{3(d)}$  = % de óxido de cromo en las dietas

$Cr_2O_{3(h)}$  = % de óxido de cromo en las heces

$Nut_{(d)}$  = % del nutriente en las dietas

$Nut_{(h)}$  = % del nutriente en las heces

b. Fórmula de la determinación del CDA de nutrientes del ingrediente (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 prueba

b = porcentaje de la dieta referencial

### **3.6.5. Cálculo de la energía digestible y nutrientes digestibles de la torta de sachá inchi cruda**

Con los resultados que se obtuvieron del coeficiente de digestibilidad aparente de la torta de sachá inchi se determinaron los nutrientes digestibles mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Dig (Nut/ED Ing)} = (\% \text{ Nut/EB}) * (CDA_{ing})$$

Dónde:

- Dig (Nut/ED ing): Valor obtenido de la energía digestible (ED) o digestibilidad de la proteína, EE ó MS de la torta de sachá inchi
- % Nut: Contenido de energía bruta o porcentaje de proteína, EE ó MS de la torta de sachá inchi
- $CDA_{ing}$ : coeficiente de digestibilidad aparente de la energía o nutrientes obtenidos en la prueba de digestibilidad.

### **3.6.6. Evaluación de la calidad de agua**

El agua utilizada para alimentar el sistema de recirculación viene de la red de agua potable pública del distrito de La Molina. Dos veces por semana, se procedió a la limpieza de los acuarios, filtros y recambio del 20 por ciento de agua del sistema. En el cuadro 8 se presentan los parámetros de calidad de agua, así como los equipos y kits colorimétricos utilizados y el lugar de muestreo y la periodicidad con la que se realizaron las evaluaciones.

### **3.7. Parámetros estadísticos**

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

**Cuadro 8. Parámetros de evaluación de la calidad de agua**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Periodicidad</b>	<b>Lugar de muestreo</b>
Temperatura	° C	Termómetro <i>Sper Scientific</i>	2 veces por semana (3 veces al día)	Acuarios de digestibilidad
Oxígeno disuelto	mg/L	Oxímetro Pinpoint II <i>American Marine Inc</i>	2 veces por semana (2 veces al día)	Acuarios de digestibilidad
pH		pHmetro <i>OAKTON</i>	2 veces por semana (2 veces al día)	Acuarios de digestibilidad
Dureza	ppm (CaCO <sub>3</sub> )	Kit colorimétrico <i>La Motte</i>	2 veces por semana (2 veces al día)	Tanque sumidero
Nitrógeno amoniacal	mg/L	Kit colorimétrico <i>Sera</i>	2 veces por semana (2 veces al día)	Tanque sumidero

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. Calidad de agua**

Los parámetros de calidad de agua como temperatura, oxígeno disuelto, pH, dureza y nitrógeno amoniacal que se presentan en el Cuadro 9 y Anexo IV; los mismos que se encuentran dentro del rango recomendado para el paiche. El valor de temperatura del agua registrado durante el experimento fue en promedio de 27° C, encontrándose dentro de los valores recomendados por el IIAP (1999) para crianza de paiche; así mismo, Da Costa et al. (2010) indican que los peces tropicales crecen mejor cuando la temperatura del agua permanece entre 25 y 32° C.

La medida de oxígeno disuelto registrada durante el experimento fue de 7.4 mg/L en promedio, siendo este superior al recomendado por Dal (2015) como mínimo para la preservación de la vida acuática, el cual es de 5.0 mg/L. Así mismo, Dos Santos et al. (2015) indica valores óptimos para este parámetro en la crianza de paiche cercanos a 7.2 mg/L. En cuanto a la medida del pH, el presente trabajo registró en promedio un valor de 6.9, siendo este similar a los recomendados por el IIAP (1999), que indica un valor óptimo de 6.5. Por otra parte, Akifumi et al. (2008) indica valores de pH cercanos a 5.8 para crianza de paiche. En cuanto a los valores de dureza, el IIAP (1999) indica valores desde 20 hasta 350 mg/L, encontrándose el valor promedio determinado en esta investigación dentro del rango recomendado (162.5 mg/L).

**Cuadro 9. Parámetros de calidad de agua registrados durante el experimento**

<b>Parámetros</b>		<b>Promedio</b>
<b>Temperatura en el acuario (°C)</b>	8.00 am	27.3
	12.00 m	27.2
	4.00 pm	27.2
<b>Temperatura ambiental (°C)</b>	8.00 am	21.5
	12.00 m	24.4
	4.00 pm	25.1
<b>Oxígeno disuelto (mg/L)</b>	10:00 a. m.	7.4
	5:00 p. m.	7.6
<b>Dureza (ppm)</b>	10:00 a. m.	162.5
	5:00 p. m.	168.0
<b>pH</b>	10:00 a. m.	6.9
	5:00 p. m.	6.8
<b>Nitrógeno amoniaco (mg/L)</b>	10:00 a. m.	0.21
	5:00 p. m.	0.2

#### **4.2. Coeficientes de digestibilidad aparente de la torta de sachá inchi cruda**

El análisis químico de las dietas y heces se muestran en el cuadro 10. El Coeficiente de Digestibilidad Aparente de la materia seca de la torta de sachá inchi cruda se presenta en el Cuadro 11 y Anexo XIII, cuyo valor fue de 83.01. Dicho resultado es inferior al determinado por Jara (2013) para torta de sachá inchi extruida en juveniles de tilapia, quien obtuvo un CDA de la materia seca de 97.33 por ciento. Por otro lado, este valor es superior al determinado por Vergara et al (2015) para torta de sachá inchi en gamitana (54.06 por ciento).

El resultado obtenido es inferior al encontrado por Dos Santos (2015) para harina de pollo y harina de pescado hidrolizadas (93.46 y 89.19 por ciento, respectivamente) y superior al de harina de plumas (79.49) salvado de soya (76.71 por ciento), harina de huesos y carne (70.76 por ciento) y gluten de maíz (61.18 por ciento), siendo éstos ingredientes proteicos. Este resultado es superior a la digestibilidad de materia seca determinada por el mismo autor para harina de maíz y almidón de maíz, con valores de  $76.37 \pm 0.42$  y  $70.66 \pm 2.56$  por ciento para ambos ingredientes energéticos, respectivamente, en juveniles de paiche. También es inferior al valor obtenido para torta de soya y superior al de torta de girasol y torta de palmiste, con coeficientes de digestibilidad de  $90.7 \pm 1.0$ ,  $34.7 \pm 2.7$  y  $42.2 \pm 4.7$  por ciento, en dietas para tilapia roja híbrida (Vásquez-Torres et al, 2010). Por otro lado, este valor es superior al determinado por Barboza (2015), quien halló un valor de  $61.16 \pm 1.98$  por ciento para torta de soya en gamitana. Las diferencias podrían deberse al contenido de fibra de la torta de sachá inchi (4.08 por ciento) en comparación a los demás ingredientes, ya que según señala Vásquez-Torres et al (2010), los ingredientes de origen vegetal generalmente tienen CDA de MS más bajos conforme aumenta su nivel de fibra.

El CDA de la proteína de la torta de sachá inchi cruda, cuyo valor fue 86.42, se presenta en el Cuadro 11 y Anexo XIII. Este valor es inferior a la digestibilidad proteica de la torta de sachá inchi extruida determinada por Jara (2013), quien halló un valor de 96.77 por ciento en juveniles de trucha arco iris. Asimismo, este valor es similar al encontrado por Vergara (2015) para torta de sachá inchi en gamitana (86.37 por ciento).

Por otro lado, este valor es inferior al obtenido por Vásquez-Torres et al. (2013) para torta de soya ( $92.1 \pm 0.7$  por ciento) y superior al de torta de girasol ( $84.9 \pm 3.5$  por ciento) en dietas para paco, así como al valor determinado por Barboza (2015) para torta de soya en gamitana ( $82.76 \pm 0.97$  por ciento).

De igual manera, el valor hallado es inferior al encontrado por Dos Santos et al (2015) para harina de pollo (90.31 por ciento), harina de pescado (97.64 por ciento), harina de huesos y carne (89.38 por ciento), harina de maíz ( $93.44 \pm 3.44$  por ciento) y almidón de maíz ( $90.94 \pm 3.50$  por ciento) y superior al de harina de plumas (80.39 por ciento), salvado de soya (83.85 por ciento), gluten de maíz (74.22 por ciento), salvado de arroz (68.23 por ciento) y salvado de trigo (68.58 por ciento), en juveniles de paiche.

La diferencia en valores de digestibilidad de la torta de sachá inchi cruda y extruida está explicada por Bortone (2002), quien indica que la extrusión mejora la digestibilidad de los nutrientes al romper su estructura molecular y generar una mayor superficie de acción de enzimas digestivas sobre el sustrato. Además, de acuerdo con Guimaraes et al (2013) y Koprucu et al (2005), las diferencias entre los diferentes coeficientes de digestibilidad de proteína observados en diversos estudios pueden deberse al resultado de diferencias en el método de colección de heces utilizado o el proceso de elaboración de la ración. Campagnoli y Machado (2006) atribuyen mejores digestibilidades en especies carnívoras para ingredientes proteicos con bajos niveles de fibra. Koprucu et al (2005), también afirman que los CDA de proteína en alimentos ricos en este nutriente va de 75% a 95% en peces, lo que concuerda con el valor encontrado en el presente estudio.

El CDA del extracto etéreo de la torta de sachá inchi cruda se presenta en el Cuadro 11 y Anexo XIII, el cual fue 81.49. Este valor fue inferior al hallado por Jara (2013), quien obtuvo 86.63 por ciento en juveniles de trucha arco iris para la torta de sachá inchi extruida. Del mismo modo, este valor fue menor al determinado por Vergara et al. (2015) para torta de sachá inchi cruda en gamitana (90.61 por ciento). Por otro lado, este valor es superior al encontrado por Barboza (2015), quien determinó un valor de  $72.74 \pm 1.52$  por ciento para torta de soya en gamitana. También fue inferior al determinado por Koprucu et al. (2005) quien encontró valores de 92.1 % para harina de soya y 94.0% para gluten de maíz en tilapia.

**Cuadro 10: Análisis químico de las dietas y heces (base parcialmente seca)**

<b>Grupo experimental</b>	<b>MS dieta (%)</b>	<b>MS heces (%)</b>	<b>Proteína dieta (%)</b>	<b>Proteína heces (%)</b>	<b>Extracto etéreo dieta (%)</b>	<b>Extracto etéreo heces (%)</b>	<b>EB dieta (Mcal/kg)*</b>	<b>EB heces (Mcal/kg)*</b>	<b>Óxido de cromo en dietas (%)**</b>	<b>Óxido de cromo en heces (%)**</b>
<b>REFERENCIAL</b>	88.90	92.38	37.81	12.19	9.42	2.04	4.27	3.85	0.51	1.42
<b>PRUEBA</b>	92.30	91.67	48.50	18.79	9.44	3.30	4.35	3.77	0.49	1.54

MS = Materia seca

EB = Energía bruta

\*Determinación de la energía bruta realizada en el Instituto de Investigación Nutricional (IIN)

\*\*Análisis de óxido de cromo realizados en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF)

**Cuadro 11. Contenido nutricional y digestibilidad de la torta de sachá inchi cruda  
(base seca)**

<b>Contenido nutricional (%) y EB (Mcal/kg)</b>	
Materia seca	100.00
Proteína cruda	65.75
Extracto etéreo	9.05
Energía bruta	4.99
<b>Coefficientes de digestibilidad aparente (%)</b>	
Materia seca	83.01±3.21
Proteína cruda	86.42±2.25
Extracto etéreo	81.49±4.60
Energía bruta	84.90±2.50
<b>Nutrientes digestibles</b>	
Materia seca (g MS)	83.01
Proteína cruda (g PC)	56.82
Extracto etéreo (g EE)	7.37
Energía digestible (Mcal/kg)	4.24

De igual manera fue inferior al valor determinado por Gutiérrez et al (2009) para harina de pescado ( $85.87 \pm 2.69$  por ciento) y superior al del maíz amarillo duro ( $76.17 \pm 2.43$  por ciento) en gamitana. El valor determinado se encuentra fuera del rango que indica Koprucu et al (2005), quienes señalan un rango de 85% a 95% para CDA de grasas en peces.

El CDA de la energía bruta de la torta de sachá inchi cruda, que fue 84.90, se presenta en el Cuadro 11 y Anexo XIII. Este valor es inferior al obtenido por Jara (2013), quien obtuvo 96.17 por ciento para torta de sachá inchi extruida en trucha arco iris. Asimismo, este valor es superior al encontrado por Vergara et al. (2005) para torta de sachá inchi cruda en gamitana (59.64 por ciento) y al determinado por Barboza (2015) para torta de soya en gamitana ( $67.31 \pm 1.68$  por ciento). Este valor es también superior a los encontrados por Vásquez-Torres et al (2013) para torta de soya y torta de girasol en paco ( $79.3 \pm 3.0$  y  $44.7 \pm 1.2$  por ciento respectivamente). Asimismo, este valor es superior al encontrado por Vásquez-Torres et al (2010) para torta de soya, torta de palmiste y torta de girasol en tilapia, los cuales fueron de  $73.9 \pm 1.7$ ,  $62.0 \pm 4.8$  y  $38.5 \pm 2.3$  por ciento respectivamente. Además, este valor supera ampliamente a los hallados por Dos Santos et al (2015), quienes registraron valores de  $40.10 \pm 5.42$ ,  $47.87 \pm 5.37$ , 58.00, 75.36 y 59.76 para harina de maíz, almidón de maíz, salvado de soya, harina de huesos y carne y gluten de maíz, respectivamente; sin embargo, es inferior al de harina de pollo (96.25 por ciento) y harina de pescado (89.05 por ciento).

Los resultados obtenidos no fueron influenciados por el tiempo de colecta tal y como indica Silva (2012), quien evaluó el efecto del tiempo de muestreo de heces (60, 120, 240 y 480 minutos) sobre la digestibilidad de insumos en gamitana sin encontrar diferencias significativas.

### **4.3. Energía digestible de la torta de sachá inchi cruda**

La energía digestible (ED) de la torta de sachá inchi cruda se muestra en el Cuadro 11 y Anexo XV. El valor obtenido es menor al hallado por Jara (2013) quien reportó un valor de 4.67 Mcal/kg en torta de sachá inchi extruida en trucha. Asimismo, este valor es superior al determinado por Torres (2009) en tilapia (3.89 Mcal/kg), y superior al encontrado por Barboza (2015), quién obtuvo un valor de 2.97 Mcal/kg para torta de soya en gamitana. De igual manera, el presente valor es superior al determinado por Vásquez-Torres et al (2013) para torta de soya, torta de girasol y soya integral (3.65, 2.06 y 3.14 Mcal/kg respectivamente) e inferior al encontrado en gluten de maíz (4.35 Mcal/kg) en gamitana.

## V. CONCLUSIONES

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

1. El coeficiente de digestibilidad aparente obtenido para la torta de sachá inchi cruda en juveniles paiche fue de 83.01% para la materia seca, 81.49% para el extracto etéreo, 86.42% para la proteína cruda y 84.90% para energía bruta.
2. La energía digestible (ED) de la torta de sachá inchi cruda en paiche fue de 4.24 Mcal/kg (base seca).

## **VI. RECOMENDACIONES**

A partir del presente trabajo de investigación se recomienda lo siguiente:

1. Se recomienda utilizar el valor de energía digestible obtenido de la torta de sachu inchi cruda en la formulación de alimentos balanceados para juveniles de paiche.
2. Se recomienda realizar pruebas para determinar los valores óptimos de inclusión en dietas comerciales para paiche.
3. Se recomienda hacer una evaluación económica del uso de torta de sachu inchi cruda en remplazo de torta de soya en dietas para juveniles de paiche.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**ABIMORAD, E; CARNEIRO, D.** 2004. Métodos de Coleta de Fezes e Determinação dos Coeficientes de Digestibilidade da Fração Proteica e da Energia de Alimentos para o Pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887). Revista Brasileira de Zootecnia. v,33, n.5, p.1101-1109. (En línea). Consultado 29 Mar.2016. Disponible en: <http://translate.google.com.pe/translate?hl=es419&sl=pt&u=http://www.revista.sbz.org.br/artigo/index.php%3Fartigo%3D4106&prev=/search%3Fq%3Dsistema%2Bguelph%26biw%3D1366%26bih%3D683>

**AIRE, Y; TAIPE, K.** 2011. Elaboración y caracterización de bebida esterilizada a partir de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.). Tesis Ing. Ind. Alimentarias. Perú. UNDAC. 123p.

**AKIFUMI, E; SANTIAGO, E; CAMPOS, J; PEREIRA, M; ROUBACH, R.** 2008. Digestibilidade aparente de dietas práticas com diferentes relações energia:proteína em juvenis de pirarucu. Pesq. agropec. bras., Brasília, 43:249-254.

**ALDEA, M; ALCÁTARA, F; PADILLA, P.** 2002. Cultivo de “paiche” *Arapaima gigas* (Cuvier, 1829) con dietas artificiales en jaulas flotantes. Tesis Biol. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana-Facultad de Ciencias Biológicas. Iquitos-PE. 54 p.

**BARBOZA, C.** 2015. Determinación de la digestibilidad de nutrientes y energía digestible de la torta de soya (*Glycine max*) en gamitana (*Colossoma macropomum*). Tesis Ing, Zoot. Perú. UNALM. 74 p.

**BETANCOURTH, C.** 2013. Aprovechamiento de la torta residual de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo) mediante extracción por solventes de su aceite. Mg. Sc. en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente Colombia. Universidad de Manizales. 32 p.

**BONDI, A.** 1989. Nutrición Animal. Editorial Acribia. Zaragoza. ES. 546 p.

**BORTONE, E.** 2002. Interacción de Ingredientes y Procesos en la Producción de Alimentos Hidroestables para Camarones. Avances en Nutrición Acuícola VI. Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. 3 al 6 de Septiembre del 2002. Cancún, Quintana Roo, México.

**CHO, C; SLINGER, SJ** 1979. Apparent Digestibility measurements in feedstuffs for rainbow trout. P. 239-247

**CALZADA, B.** 1982. Métodos estadísticos para la investigación. Ed. Acribia. ES.

**CAMACHO, R.** 2012. Evaluación de tres niveles de harina de subproducto de calamar gigante (*Dosidicus gigas*), en dietas para alevines de tilapia roja (*Oreochromis spp.*). Tesis Ing, Zoot. Perú. UNALM. 86 p.

**CAMPAGNOLI, P; MACHADO, D.** 2006. Coeficientes de digestibilidad aparente de ingredientes para juvenis de jundiá. R. Bras. Zootec. 35(4):1581-1587

**CAMPOS, L.** 2001. Historia Biológica del Paiche o Pirarucu *Arapaima gigas* (Cuvier) y Bases para su cultivo en la Amazonía. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. Programa de Biodiversidad. PE. (En línea). Consultado 28 Oct.2015. Disponible en <http://www.iiap.org.pe/Upload/Publicacion/ArapaimaGigasHist.pdf>

**CHIRINOS, O; ADACHI, L; CALDERÓN, F; DÍAZ, R; LARREA, L; MUCHA, G; ROQUE, L.** 2009. Exportación de sacha inchi al mercado de Estados Unidos. Universidad ESAN. Primera edición. 172p.

**CIED.** 2008. Protocolo del cultivo de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.). Perú. (En línea). Consultado 21 Oct.2015. Disponible en [http://www.ciedperu.org/admin/files/publicaciones/26062012194925\\_protocolo\\_sacha\\_inchi.pdf](http://www.ciedperu.org/admin/files/publicaciones/26062012194925_protocolo_sacha_inchi.pdf)

**CLAVIJO, L.** 2011. Desarrollo de metodología para la determinación de la digestibilidad de materias primas no convencionales en cachama blanca (*Piaractus brachyomus*). Trabajo de grado Mg. Ciencias Agrarias. Palmira. CO. UNC. 76 p.

**CÓRDOVA, J; GARCÍA, F.** 2002. Nutritive value of squid and hydrolyzed protein supplement in shrimp feed. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. ME. (En línea). Consultado 12 Abr. 2016. Disponible en <http://www.bashanfoundation.org/carreno/carrenosquid.pdf>

**CRESENCIO, R; ITUASSÚ, D; ROUBACH, R; PEREIRA, M; SAGRATSKI, B; LIMA, A.** 2005. Influencia do periodo de alimentacao no consumo e ganho de peso do pirarucu. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.40, n.12, p.1217-1222

**DA COSTA; GABRIEL, F; PONTINI, F; FAVORETO, E; MOREIRA, D; ALVES, A.** 2010. Monitoramento da qualidade da água de um viveiro de cultivo de tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*).

**DAL, G.** 2015. Adaptações respiratórias em peixes: os efeitos das vantagens evolutivas sobre o sucesso de espécies em ambientes extremos. Consultado 23 Mar. 2016 en <http://gia.org.br/material-de-comunica%C3%A7%C3%A3o/jogo-educativo/19not%C3%ADcias/296-adaptacoes-respiratorias-em-peixes-os-efeitos-das-vantagens-evolutivas-sobre-o-sucesso-de-especies-em-ambientes-extremos>.

**DEL RISCO, M.; VELÁSQUEZ, J.; SANDOVAL, M.; PADILLA, P.; MORIPINEDO, L; CHUKOO, F.** 2008. Efecto de tres niveles de proteína dietaria en el crecimiento de juveniles de paiche, *Arapaima gigas* (Shinz, 1822). Folia Amazónica. 17:29-37.

**DMS NUTRITIONAL PRODUCTS PERU S.A.** 2014. Premezcla de vitaminas y minerales para suplementar (microficha). Lima, PE. 10.5 x 18.5 cm

**DOS SANTOS, F.** 2015. Apparent digestibility of energetic ingredients by pirarucú juveniles, *Arapaima gigas* (Schinz, 1822). (En línea). Consultado 29 Mar.2016. Disponible en [http://www.lajar.cl/pdf/imar/v43n4/Articulo\\_43\\_4\\_18.pdf](http://www.lajar.cl/pdf/imar/v43n4/Articulo_43_4_18.pdf)

**EMBRAPA.** 2015. Alimentação e nutrição do pirarucu (*Arapaima gigas*). Brasil. 24 p.

**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 Camarón. Universidad Autónoma de Nuevo León, Mty. N.L., México. (En línea). Consultado 29 Mar.2016.Disponible [http://www.uanl.mx/utillerias/nutricion\\_acuicola/X/archivos/manual\\_metodologias.pdf](http://www.uanl.mx/utillerias/nutricion_acuicola/X/archivos/manual_metodologias.pdf)

**FRANCO, H.** 2005. Contribución al Conocimiento de la Reproducción del Pirarucú *Arapaima gigas* (CUVIER, 1817) (PISCES: ARAPAMIDAE) en Cautiverio. Universidad de la Amazonía. Facultad de Ciencias Básicas. Programa de Biología con énfasis en biorrecursos. Florencia. (En línea). Consultado 12 Abr.2016. Disponible en <http://www.colcrea.com/CONTRIBUCI%20N%20AL%20CONOCIMIENTO%20DE%20LA%20REPRODUCCI%20N%20DEL.pdf>

**FRANCO, H; PELÁEZ, M.** 2007. Cría y producción de pirarucú en cautiverio. Experiencias en el piedemonte caquetense. Primera edición. 50 p. Colombia.

**GARCÍA, C.** 2010. Influencia del alimento extruido en el crecimiento de alevinos de paiche (*Arapaima gigas*) utilizando diferentes tasas de alimentación, bajo sistema de cultivo en jaulas flotantes. Tesis Ing, Agr. Perú. UNSM. 83 p.

**GATLIN, D.** 2010. Principles of fish nutrition. Southern Regional Aquaculture Center, *SRAC Publication*, 5003, july.

**GUILLAUME, J; KAUSHIK, S; BERGOT, P; METAILLER.** 2004. Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos. España. 475 p.

**GUIMARAES, I; MIRANDA, E; ARAÚJO, J.** 2013. Coefficients of total tract apparent digestibility of some feedstuffs for Tambaqui (*Colossoma macropomum*). *Animal Feed Science and Technology*. Brasil.

**GUTIERREZ, F; ZALDIVAR, J; CONTRERAS, G.** 2009. Coeficientes de digestibilidad aparente de harina de pescado peruana y maíz amarillo duro para *Colossoma macropomum* (Actinopterygii, Characidae). UNMSM. Rev. Perú. Biol. 15(2):111- 115. Perú.

**HURTADO, Z.** 2013. Análisis composicional de la torta y aceite de semillas de Sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) cultivada en Colombia. Tesis M. Sc. Ciencias Biológicas. Colombia. Universidad Nacional de Colombia. 87 p.

**IIAP.** 2002. Producción y manejo de alevinos de paiche. Manual. 106 p.

**IIAP.** 2007. Aspectos de Manejo, Reproducción y Alimentación del Paiche (*Arapaima gigas*) en la Amazonia Peruana. PE. (En línea). Consultado 28 Oct.2015. Disponible en [www.promamazonia.org.pe](http://www.promamazonia.org.pe)

**IIAP.** 2009. Estudio de viabilidad económica del cultivo de *Plukenetia volubilis* Linneo. Primera edición. Perú. (En línea). Consultado 29 Oct.2015. Disponible en <http://www.iiap.org.pe/cdpublicaciones2011/documentos/pdf/analisis/3.pdf>

**ITUASSÚ, D; PEREIRA, M; ROUBACH, R; CRESCENCIO, R; SAGRATZKI, B; LIMA, A.** 2005. Níveis de proteína bruta para juvenis de pirarucú. Pesq. agropec. bras., Brasília, 40(3):255-259

**JARA, E.** 2013. Determinación de la digestibilidad y energía digestible de la torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo) extruida en trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). Tesis Ing, Zoot. Perú. UNALM. 70 p.

**KOPRUCU, K; OZDEMIR, Y.** 2005. Apparent digestibility of selected feed ingredients for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Firat University, Fisheries Faculty. Turquía. (En línea). Consultado 30 Oct.2015. Disponible en [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

**LENA** (Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos). 2009. Análisis químico proximal.

**MANRÍQUEZ, J.** 1994. La digestibilidad como criterio de evaluación de alimentos - Su aplicación en peces y en la conservación del medio ambiente. FAO. Control y calidad de insumos y dietas acuícolas. México.

**MARCULINO, A.** 2012. Influência da adição de protease e lipase sobre a digestibilidade de ingredientes da dieta em juvenis de pirarucu (*Arapaima gigas*). Tesis Mg. Sc. Acuicultura. Brasil. UNL. 53 p.

**MCDONALD, P; EDWARDS, R; GREENHALGH, J; MORGAN, C.** 2006. Nutrición Animal. Sexta edición. España. 587 p.

**MINAGRI.** 2015. Anuario estadístico de la producción agrícola y ganadera 2015. Disponible: en [http://siea.minagri.gob.pe/siea/sites/default/files/anuario\\_produccion\\_agricola\\_ganadera2015.pdf](http://siea.minagri.gob.pe/siea/sites/default/files/anuario_produccion_agricola_ganadera2015.pdf)

**MONDRAGÓN, I.** 2009. Estudio farmacognóstico y bromatológico de los residuos industriales de la extracción del aceite de *Plukenetia volubilis* L. (Sacha inchi). Tesis Quim. Far. Lima, Perú. UNMSM. 121p.

**OLIVEIRA, V; BARRETO, A; ARAÚJO, T; CAMPOS, P; MOREIRA, A. GONCALVEZ, E; GAZZINEO, M; ROCHA, R; HIRAN, F.** 2013, Preliminary Studies on the Optimum Feeding Rate for Pirarucu *Arapaima gigas* Juveniles Reared in Floating Cages, International Journal of Aquaculture, 3(25):147-151

**PADILLA, P; ISMIÑO, R; ALCANTARA, F; TELLO, S.** 2005. Efecto de la tasa de alimentación en el crecimiento del Paiche *Arapaima gigas*. Memorias, Manejo de fauna silvestre en Amazonia y Latinoamérica. Iquitos – Perú.

**PEZZATO, LE; CARVALHO, E; BARROS, M; MATSSUMITU, W; QUINTERO, LG.** 2004. Digestibilidade aparente de la materia seca e da proteína bruta digestível de alguns alimentos alternativos pela tilapia do nilo (*Oreochromis niloticus*). Acta scientiarum. Animal sciences. Maringa, 29(3):329-337

**PRODUCE.** 2015. Anuario Estadístico Pesquero y Acuícola. Disponible en <http://www.produce.gob.pe/images/stories/Repositorio/estadistica/anuario/anuario-estadistico-pesca-2015.pdf>

**REÁTEGUI, V; FLORES, J; RAMIREZ, J; YALTA, R; MANRIQUE, J. A; D'AZEVEDO, G.** 2010. Evaluación de la Torta de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis*) y su uso como fuente alternativa y proteica en la alimentación de pollos de engorde y gallinas de postura en Zungaro – Cocha. UNAP. Iquitos, PE.

**RICQUE, D; NIETO, M; TAPIA, M; GUAJARDO, C; VILLAREAL, D; PEÑA, A; CRUZ, L.** 2008. Métodos utilizados por la Universidad Autónoma de Nuevo León para determinar la Digestibilidad *in vivo* en Camarón. Manual de Metodologías de Digestibilidad *in vivo* e *in vitro* para Ingredientes y Dietas para Camarón. Universidad Autónoma de Nuevo León, Mty. N.L., México.

**RIOS, R.** 2012. Torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo) cruda y extruida en reemplazo de la torta de soya en dietas de alevines de tilapia gris (*Oreochromis niloticus*). Tesis Ing, Zoot. Lima, Perú. UNALM. 67 p.

**ROSALES, J; TANG, T.** 1996. Composición química y digestibilidad de Insumos alimenticios de la zona de Ucayali. IIAP. Folia Amazónica Vol. 8(2). (En línea). Consultado 2 Nov.2015. Disponible en <http://www.iiap.org.pe/Upload/Publicacion/PUBL676.pdf>

**ROTTA, M.** 2003. Aspectos gerais da fisiologia e estrutura do sistema digestivo dos peixes relacionados à piscicultura. Corumbá: Embrapa Pantanal. 48 pp.

**RUIZ, C; DIAZ, C; ANAYA, J; ROJAS, R.** 2013. Análisis proximal, anti nutrientes, perfil de ácidos grasos y aminoácidos de semillas y tortas de 2 especies de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* y *Plukenetia huayllabambana*). (En línea). Consultado 5 Nov.2015. Disponible en <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v79n1/a05v79n1.pdf>

**RUIZ, J; VELA, M.** 2007. Utilización de la torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo) en raciones para alevinos de gamitana (*Colossoma macropomun*) criados en jaulas flotantes. Tesis Ing. Biol. PE. UNAP. 68 p.

**SAGRATZKI, B; ITUASSÚ, D; PEREIRA, M; ROUBACH, R; MOREIRA, A; LEO, F; AKIFUMI, E.** 2003. Uso de alimento vivo como dieta inicial no treinamento alimentar de juvenis de pirarucú. Pesq. Agropec. Bras. 38(8):1011-1015

**SANZ, F.** 2009. La nutrición y alimentación en piscicultura. Madrid, ES. Fundación Observatorio Español de Acuicultura. 406 p.

**SIHUAYRO, D.** 2013. Evaluación del rendimiento en la extracción del aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis l.*) del ecotipo predominante en el valle del río Apurímac (Ayacucho) y su caracterización físico-química y sensorial. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna. (En línea). Consultado 29 Oct.2015. Disponible en [http://tesis.unjbg.edu.pe:8080/bitstream/handle/unjbg/294/178\\_2013\\_Sihuayro\\_Larico\\_FCAG\\_Aliemtarias\\_2013\\_Resumen.pdf?sequence=1](http://tesis.unjbg.edu.pe:8080/bitstream/handle/unjbg/294/178_2013_Sihuayro_Larico_FCAG_Aliemtarias_2013_Resumen.pdf?sequence=1)

**SILVA, C.** 2012. Diferentes métodos de coleta de fezes sobre os coeficientes de digestibilidade aparente para o tambaqui (*Colossoma macropomum*). Tesis Bach. Zoot. Brasil. UFG. 54p.

**TORRES, D.** 2009. Valor energético e digestibilidade da proteína em alimentos para tilápia vermelha. UENF Tesis Mg. Ciencia Animal. Brasil. 52p

**VASQUEZ, W.** 2004. Principios de nutrición aplicada al cultivo de peces. Universidad de los Llanos. CO. 71 p.

**VASQUEZ-TORRES, W; YOSSA, M; GUTIERREZ, M.** 2013. Digestibilidad aparente de ingredientes de origen vegetal y animal en la cachama. Universidad de los Llanos. Instituto de Acuicultura. Colombia. (En línea). Consultado 01 Dic.2015. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/pab/v48n8/v48n8a19.pdf>

**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.*). Rev Colomb Cienc Pecu. 207-216.

**VERGARA, V; CAMACHO, R; BUSTAMANTE, P.** 2016. Determinación del requerimiento de energía digestible para el paiche (*Arapaima gigas*). LAQUA16.

**VERGARA, V; CAMACHO, R; BUSTAMANTE, P.** 2016. Determinación del requerimiento de proteína cruda para el paiche (*Arapaima gigas*). LAQUUA16.

**VERGARA, V; CAMACHO, R; FERRER, S.** 2015. Determinación de la digestibilidad y obtención del nivel óptimo de uso de la torta de sachá inchi (*Plutenekia volúbilis*) en reemplazo de la torta de soya en la alimentación de la gamitana (*Colossoma macropomum*). UNALM. Perú.

**YOUNG, C; BUREAU, D.** 1999. Bioenergética en la Formulación de Dietas y Estándares de Alimentación para la Acuicultura del Salmón: Principios, métodos y aplicaciones. Avances en Nutrición Acuícola III. Memorias del Tercer Simposio Internacional de Nutrición y Tecnología de Alimentos. México. (En línea). Consultado 15 Nov.2015. Disponible en [http://www.uanl.mx/utillerias/nutricion\\_acuicola/III/archivos/2.pdf](http://www.uanl.mx/utillerias/nutricion_acuicola/III/archivos/2.pdf)

## VIII. ANEXOS

### ANEXO I. Distribución de las dietas en los acuarios

ACUARIO	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	N° 6
REPETICION	R1	R2	R3	R1	R2	R3
TIPO DE DIETA	Dieta referencial			Dieta de prueba		

\*Dieta referencial = 99.5% de dieta estándar y 0.5% de óxido de cromo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ )

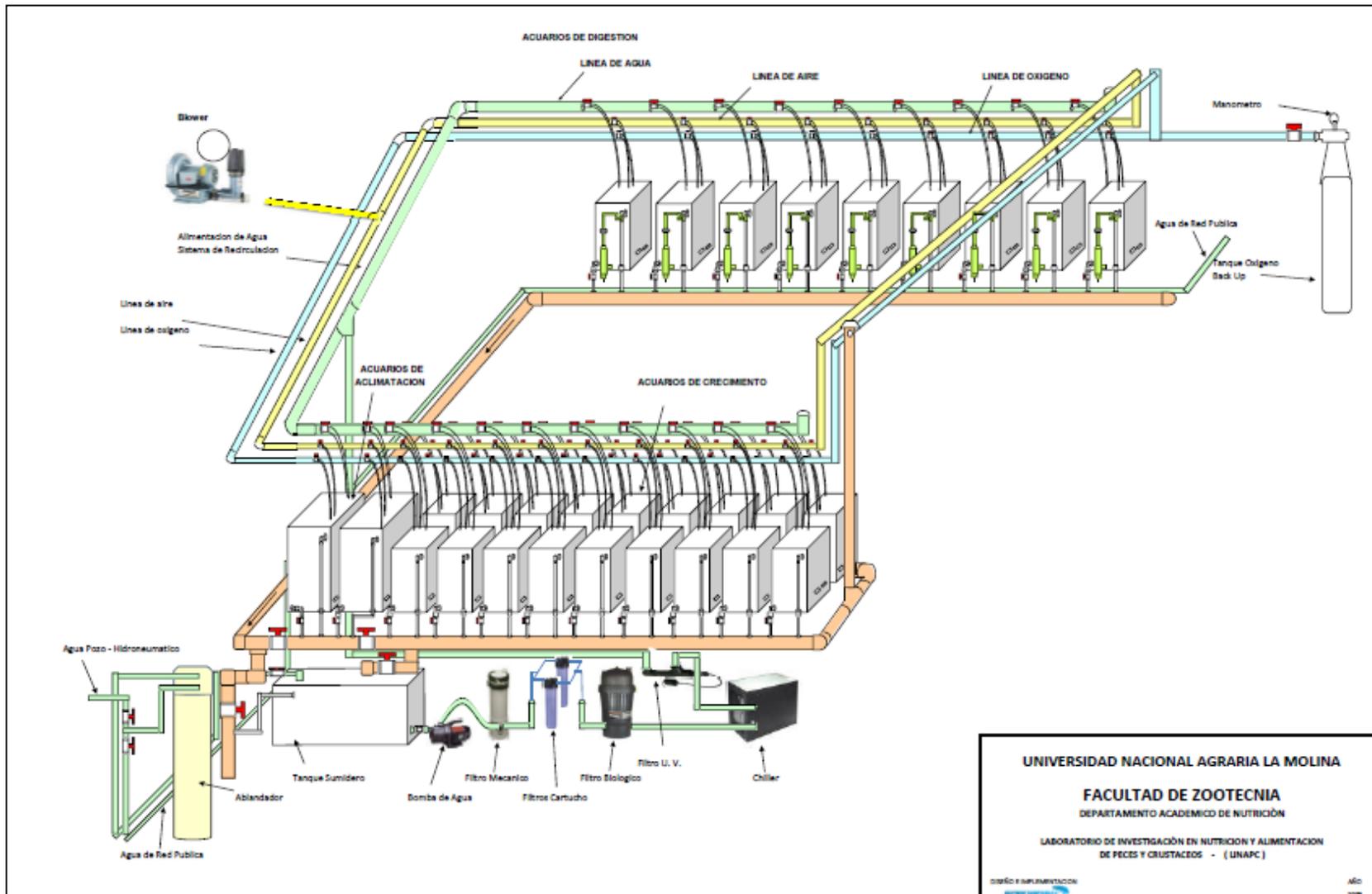
\*Dieta prueba = 30% de torta de sachá inchi cruda, 69.5% de dieta estándar y 0.5% de óxido de cromo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ )

✓

## ANEXO II. Instalaciones y equipos del LINAPC

<b>EQUIPO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>FUNCIÓN</b>
Ablandador de agua	1m <sup>3</sup>	Disminuye la dureza (concentraciones de iones de Ca <sup>++</sup> y Mg <sup>++</sup> ) del agua de La Molina de 1500 ppm a hasta 16 ppm
Tanque sumidero	Capacidad 360 l	Recepciona directamente el agua del ablandador. Consta de un 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 los acuarios.
Filtro mecánico (Reemy)	1 unidad	Tiene la capacidad para retener partículas de hasta un mínimo de 20 µm.
Filtros Housing	2 unidades	Apoyan el filtro mecánico con la retención de partículas de 20 µm.
Enfriador/calentador de agua	2 HP de potencia	Enfría o calienta el agua entre un rango de 13 – 32 °C.
Esterilizador UV	25 watts	Esteriliza el agua disminuyendo de esta forma la presencia de algas, bacterias y virus no deseado en los acuarios.
Filtros Cuno	4 unidades	Compuesto por dos pares de filtros (5 µm y 1 µm), 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 6 mm y dimensiones de 0.47x0.47x0.50m.

### ANEXO III. Laboratorio de investigación en nutrición y alimentación de peces y crustáceos (LINAPC)



#### ANEXO IV. Parámetros de calidad de agua medidos durante el ensayo

Parámetros		Semana				Promedio final
		1	2	3	4	
Temperatura acuarios (°C)	8:00 am	27.6	26.9	27.2	27.5	27.3
	12:00 m	27.5	26.9	27.2	27.0	27.2
	4:00 pm	27.5	27.4	27.0	27.0	27.2
Temperatura ambiental (°C)	8:00 am	21	21	22.0	22.0	21.5
	12:00 m	24	24	25.0	24.5	24.4
	4:00 pm	25	24	25.5	26.0	25.1
Oxígeno disuelto (mg/l)		7.6	6.9	7.1	7.9	7.4
Dureza (ppm)		160	170	170	150	162.5
pH		7	6.9	7	6.8	6.9
Nitrógeno amoniacal (mg/l)		<1	<1	<1	<1	

**ANEXO V. Contenido de materia seca, proteína, extracto etéreo y energía de la dieta referencial y dieta de prueba (base fresca)**

	<b>Dieta Referencial</b>	<b>Dieta prueba</b>
Materia Seca, %	88.900	92.300
Extracto etéreo, %	9.420	9.440
Proteína, %	37.813	48.500
Energía Bruta, Mcal/kg	4.273	4.351

**ANEXO VI. Contenido de materia seca, proteína, extracto etéreo y energía de la dieta referencial y dieta de prueba (base seca)**

	<b>Dieta Referencial</b>	<b>Dieta prueba</b>
Materia Seca, %	100.000	100.000
Extracto etéreo, %	10.596	10.228
Proteína, %	42.534	52.546
Energía Bruta, Mcal/kg	4.806	4.714

**ANEXO VII. Contenido de materia seca, proteína, extracto etéreo y energía de las heces obtenidas de la dieta referencial y dieta de prueba (base parcialmente seca)**

	Dieta Referencial			Dieta prueba		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Materia Seca, %	92.250	92.500	92.375	92.250	91.000	91.750
Extracto etéreo, %	2.070	2.009	2.040	3.440	3.510	2.950
Proteína, %	12.625	11.750	12.188	19.250	17.875	19.250
Energía Bruta, Mcal/kg	3.908	3.812	3.860	3.740	3.820	3.753

**ANEXO VIII. Contenido de materia seca, proteína, extracto etéreo y energía de las heces obtenidas de la dieta referencial y dieta de prueba (base seca)**

	Dieta Referencial			Dieta prueba		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Materia Seca, %	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
Extracto etéreo, %	2.244	2.172	2.208	3.729	3.857	3.215
Proteína, %	13.686	12.703	13.194	20.867	19.643	20.981
Energía Bruta, Mcal/kg	4.236	4.121	4.179	4.054	4.198	4.090

**ANEXO IX. Valores de óxido de cromo en las dietas y las heces**

<b>Muestra</b>	<b>Repeticiones</b>	<b>Óxido de Cromo (%)</b>	
		<b>Base fresca</b>	<b>Base seca</b>
Dieta referencial		0.513	0.577
Dieta de prueba		0.486	0.527
Heces de la dieta referencial	R1	1.357	1.491
	R2	1.485	1.605
	R3	1.430	1.548
Heces de la dieta de prueba	R1	1.512	1.639
	R2	1.548	1.701
	R3	1.585	1.727

**ANEXO X. Cantidad de heces colectadas de los acuarios con la dieta referencial\***

		Acumulado (g)		Promedio/día (g)	
		Heces húmedas	Heces secas	Heces húmedas	Heces secas
Semana 1	R1	32.61	3.49	4.66	0.50
	R2	18.1	1.28	2.59	0.18
	R3	25.40	2.385	3.62	0.34
Semana 2	R1	33.63	3.09	4.80	0.44
	R2	33.56	2.89	4.79	0.41
	R3	33.60	2.99	4.80	0.43
Semana 3	R1	33.29	2.44	4.76	0.35
	R2	55.11	3.22	7.87	0.46
	R3	44.2	2.83	6.31	0.40

\*Dieta referencial = 99.5% de dieta comercial y 0.5% de óxido de cromo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ).

**ANEXO XI. Cantidad de heces colectadas de los acuarios con la dieta de prueba\***

		Acumulado (g)		Promedio/día (g)	
		Heces húmedas	Heces secas	Heces húmedas	Heces secas
Semana 1	R1	24.95	2.09	3.56	0.30
	R2	25.67	1.78	3.67	0.25
	R3	25.96	2.38	3.71	0.34
Semana 2	R1	27.29	1.92	3.90	0.27
	R2	40.02	2.28	5.72	0.33
	R3	34.8	2.18	4.97	0.31
Semana 3	R1	52.17	4.57	7.45	0.65
	R2	45.8	3.47	6.54	0.50
	R3	36.02	3.45	5.15	0.49

\*Dieta de prueba = 69.5% de dieta comercial, 30% de TSI cruda y 0.5% de óxido de cromo (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

**ANEXO XII. Coeficientes de digestibilidad aparente de la torta de sachá inchi (base fresca)**

<b>Repetición (%)</b>	<b>Materia Seca</b>	<b>Extracto etéreo</b>	<b>Proteína cruda</b>	<b>Energía Bruta</b>
R1	74.93	74.18	79.23	78.35
R2	78.63	74.32	82.95	78.57
R3	80.08	80.85	81.07	82.04
Promedio (%)	77.88	76.45	81.08	79.65
Desv. estándar	2.66	3.81	1.86	2.07
Coef. de variab. (%)	3.41	4.98	2.30	2.60
Intervalo de confianza	3.01	4.31	2.11	2.34

**ANEXO XIII. Coeficientes de digestibilidad aparente de la torta de sachá inchi (base seca)**

<b>Repetición (%)</b>	<b>Materia Seca</b>	<b>Extracto etéreo</b>	<b>Proteína cruda</b>	<b>Energía bruta</b>
R1	79.86	79.07	84.44	83.51
R2	83.81	79.22	88.41	83.75
R3	85.36	86.18	86.41	87.44
Promedio (%)	83.01	81.49	86.42	84.90
Desv. estándar	2.83	4.06	1.99	2.21
Coef. de variab. (%)	3.41	4.98	2.30	2.60
Intervalo de confianza	3.21	4.60	2.25	2.50

**ANEXO XIV. Digestibilidad y energía digestible aparente de la torta de sachá inchi (base fresca)**

<b>Repetición</b>	<b>Materia seca (g/100 g)</b>	<b>Extracto etéreo (g/100 g)</b>	<b>Proteína cruda (g/100 g)</b>	<b>Energía dig. (Mcal/kg)</b>
R1	74.92	6.71	52.07	3.91
R2	78.63	6.73	54.52	3.92
R3	80.08	7.32	53.28	4.09
Promedio (%)	77.88	6.92	53.29	3.97
Desv. estándar	2.49	0.32	1.15	0.10
Coef. de variab. (%)	3.41	4.98	2.30	2.60
Intervalo de confianza	2.82	0.37	1.30	0.11

**ANEXO XV. Digestibilidad y energía digestible aparente de la torta de sachá inchi (base seca)**

<b>Repetición</b>	<b>Materia seca (g/100 g)</b>	<b>Extracto etéreo (g/100 g)</b>	<b>Proteína cruda (g/100 g)</b>	<b>Energía dig. (Mcal/kg)</b>
R1	79.86	7.15	55.50	4.17
R2	83.81	7.17	58.11	4.18
R3	85.36	7.80	56.79	4.36
Promedio (%)	83.01	7.37	56.80	4.24
Desv. estándar	2.83	0.37	1.30	0.11
Coef. de variab. (%)	3.41	4.98	2.30	2.60
Intervalo de confianza	3.21	0.42	1.48	0.12