

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE ZOOTECNIA**



**“EVALUACIÓN DE TRES NIVELES DE INCLUSIÓN DE HARINA  
DE SUBPRODUCTO AVÍCOLA EN DIETAS DE ACABADO PARA  
PECES PACO (*Piaractus brachypomus*)”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ZOOTECNISTA**

**GERALDINE TRAZY VILCHEZ CLEMENTE**

**LIMA – PERÚ**

**2019**

---

**La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación**

**(Art. 24 – Reglamento de Propiedad Intelectual)**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE ZOOTECNIA**

**“EVALUACIÓN DE TRES NIVELES DE INCLUSIÓN DE HARINA  
DE SUBPRODUCTO AVÍCOLA EN DIETAS DE ACABADO PARA  
PECES PACO (*Piaractus brachypomus*)”**

**Presentado por:**

**GERALDINE TRAZY VILCHEZ CLEMENTE**

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

---

**Ph. D. Víctor Guevara Carrasco  
PRESIDENTE**

---

**Mg. Sc. Víctor Vergara Rubín  
PATROCINADOR**

---

**Mg. Sc. Gloria Palacios Pinto  
MIEMBRO**

---

**M.V. Otto Zea Mendoza  
MIEMBRO**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mis padres y a mis hermanos, quienes siempre confían en mí y me motivan a seguir adelante; son mi fuerza, mi motor y mi motivo.

*“Al final todo saldrá bien, y si no sale bien es que no es el final”*

*El Exótico Hotel Marigold*

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi patrocinador Mg Sc. Ing. Víctor Vergara por la confianza depositada, por su orientación y apoyo brindado para la realización del presente trabajo.

A los miembros del jurado, por los aportes brindados en esta investigación.

A los ingenieros Justo Miranda y Jorge Rivadeneyra por su colaboración en la parte experimental de la investigación.

A las ingenieras Andrea Marchán, Noelia Valverde y Andrea Espinoza por su apoyo en el proceso de la tesis.

Al CONCYTEC, al Programa de Alimentos y al LINAPC, quienes fueron los colaboradores para esta investigación.

A mi familia y a mis amigos de siempre, quienes me alientan y acompañan en cada paso que doy.

A mi alma mater la Universidad Nacional Agraria la Molina.

## ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
2.1 Paco ( <i>Piaractus brachypomus</i> ).....	3
2.1.1 Aspectos generales .....	3
2.1.2 Morfología.....	3
2.1.3 Fisiología digestiva .....	4
2.1.4 Alimentación .....	6
2.1.5 Condiciones medioambientales (calidad del agua) .....	6
2.1.6 Requerimientos nutricionales .....	7
2.2 Harina de subproducto avícola (HSA).....	10
2.2.1 Aspectos generales .....	10
2.2.2 Composición de la harina de subproducto avícola.....	11
2.2.3 Procesamiento de la harina de subproducto avícola.....	11
2.2.4 Valor nutricional de la harina de subproducto avícola.....	14
2.2.5 Calidad de la harina de subproducto avícola.....	15
2.2.6 Restricciones legales .....	18
2.2.7 Uso de harina de subproducto avícola en peces.....	19
III. MATERIALES Y METODOS .....	22
3.1 Lugar y duración del experimento .....	22
3.2 Animales experimentales .....	22
3.3 Instalaciones y equipos .....	23
3.4 Producto evaluado.....	23
3.5 Tratamientos .....	24
3.6 Dietas experimentales .....	24
3.7 Procedimiento Experimental.....	26
3.7.1 Suministro de Alimento .....	26
3.7.2 Manejo de los peces .....	26
3.7.3 Análisis químico del alimento.....	27
3.8 Variables respuesta .....	27
3.9 Calidad de agua.....	28

3.9.1 Parámetros de evaluación de calidad del agua .....	29
3.10 Diseño experimental y análisis estadístico .....	31
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
4.1 Peso (P), ganancia de peso (GP) .....	32
4.2 Talla (T) y ganancia de talla (GT) .....	33
4.3 Consumo de alimento .....	36
4.4 Conversión alimenticia (CA) .....	36
4.5 Tasa de crecimiento específica (TCE) .....	37
4.6 Retribución económica .....	38
V. CONCLUSIONES .....	40
VI. RECOMENDACIONES .....	41
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42
VIII. ANEXOS .....	53

## ÍNDICE DE TABLAS

		<b>Página</b>
Tabla 1	Requerimientos nutricionales del paco ( <i>Piaractus brachypomus</i> )	9
Tabla 2	Estimación de requerimiento de aminoácidos esenciales y de la Proteína ideal del paco	9
Tabla 3	Valor nutritivo de la harina de subproducto de avícola	16
Tabla 4	Fórmula y valor nutritivo calculado de las dietas experimentales (Tal como ofrecido)	25
Tabla 5	Fórmula del Premix-Acuicultura	26
Tabla 6	Análisis químico de las dietas experimentales (base parcialmente seca)	27
Tabla 7	Registro de parámetros de calidad de agua	30
Tabla 8	Efecto de los diferentes niveles de harina de subproducto avícola en el desarrollo productivo de pacos en etapa de acabado	34
Tabla 9	Consumo estimado de los componentes nutricionales de las dietas (g)	35
Tabla 10	Retribución económica	39

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura 1	13

Flujo del proceso básico para la producción de la harina de subproducto avícola

## ÍNDICE DE ANEXOS

		<b>Páginas</b>
ANEXO I.	Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos	54
ANEXO II.	Instalaciones y equipos del LINAPC	55
ANEXO III.	Peso y ganancia de peso (g)	56
ANEXO IV.	Ganancia de biomasa (g)	57
ANEXO V.	Consumo de alimento acumulado (g)	58
ANEXO VI.	Conversión alimenticia	59
ANEXO VII.	Tasa de crecimiento específico	60
ANEXO VIII.	Ganancia de talla (cm)	61
ANEXO IX.	Análisis de variancia del peso inicial	61
ANEXO X.	Análisis de variancia de peso final	62
ANEXO XI.	Análisis de variancia de la ganancia de peso	62
ANEXO XII.	Análisis de variancia de biomasa inicial	62
ANEXO XIII.	Análisis de variancia de biomasa final	63
ANEXO XIV.	Análisis de variancia de la ganancia de biomasa	63
ANEXO XV.	Análisis de variancia del consumo total de alimento por pez	63
ANEXO XVI.	Análisis de variancia de la conversión alimenticia	64
ANEXO XVII.	Análisis de variancia de talla inicial	64
ANEXO XVIII.	Análisis de variancia de talla final	64
ANEXO XIX.	Análisis de variancia de ganancia de talla	65
ANEXO XX.	Análisis de variancia de la tasa de crecimiento específico	65

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo la evaluación de cuatro dietas isoproteicas (30%) e isoenergéticas (3.0 Mcal/kg), con niveles de inclusión de 0, 5, 10 y 15% de harina de subproducto de avícola (HSA) en reemplazo de harina de pescado (HP), en dietas de acabado para paco (*Piaractus brachypomus*), bajo condiciones controladas. El experimento se realizó en el Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos (LINAPC) de la Universidad Nacional Agraria la Molina. La duración fue de 42 días y se utilizaron 32 pacos en acabado de 519.57 g promedio, adquiridos de la estación piscícola “Fundo Palmeiras. Los peces fueron distribuidos en cuatro tratamientos: Tratamiento control o T1, con 0% de HSA y 7.5% de HP; T2, con 5% de HSA y 1.5% de HP; T3, con 10% de HSA y T4 con 15% de HSA. Los parámetros de evaluación fueron: peso vivo, ganancia de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia, longitud, tasa de eficiencia de crecimiento y tasa de eficiencia económica. Los datos fueron sometidos a análisis de varianza bajo un DBCA, siendo el criterio de bloque el peso (pequeño, mediano, grande y muy grande); para la diferencia de medias se utilizó la prueba de Tukey. Los resultados obtenidos no mostraron diferencias significativas ( $P>0.05$ ) para ninguno de los parámetros evaluados, sin embargo, numéricamente se observan mejores rendimientos con 10 y 15% de HSA. Los resultados del presente estudio indican que la HSA puede ser utilizada hasta en un 15% de inclusión en dietas para paco en etapa de acabado, sin repercusiones en los parámetros productivos.

Palabras clave: *Piaractus brachypomus*, paco, nutrición, subproducto avícola, harina de pescado, parámetros productivos

## ABSTRACT

The aim of the present study was the evaluation of four isoprotein (30%) and isoenergetic (3.0 Mcal / kg) diets, with inclusion levels of 0, 5, 10 and 15% of poultry by-product meal (PBM) instead of fish meal (FM), in finisher diets for paco (*Piaractus brachypomus*), under controlled conditions. The experiment was performed at the Laboratory of Fish and Shellfish Nutrition (LINAPC) of the National Agrarian University of La Molina. The duration was 42 days and 32 finisher pacos were used with an average of 519.57 g BW, obtained from "Fundo Palmeiras" fishing station, Satipo - Junín. The fish were distributed in four treatments: Treatment control or T1, with 0% PBM and 7.5% FM; T2, with 5% PBM and 1.5% FM; T3, with 10% of PBM and T4 with 15% of PBM. The measured parameters were: body weight, weight gain, feed intake, feed conversion rate, length, specific growth rate and economic efficiency rate. All data was analyzed by an analysis of variance (ANOVA), using a generalized randomized block design (DBCA), the block criteria was the body weight (small, medium, large and very large); for multiple comparison, Tukey test was used. The results show no significant differences ( $P>0.05$ ) for any of the parameters evaluated; however, numerically, gave the best results with 10 and 15% PBM are observed. In conclusion, the results give us an indication that PBM can be used up to 15% in diets for finisher pacos.

Key words: *Piaractus brachypomus*, paco, nutrition, poultry by-product, fish meal, productive parameters

## I. INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), señala que en los últimos 50 años se ha registrado un crecimiento del consumo mundial de pescado de 3,2%, superior al crecimiento de la población (1.6%) y al crecimiento del consumo de carne de todos los animales terrestres (2.8%). Asimismo, el 52% del pescado consumido en el mundo proviene del sector acuicultura y el 48% de la pesca y captura (FAO, 2018).

El Perú es un país con potencial acuícola para el cultivo de peces amazónicos debido a las condiciones ambientales y recursos hídricos que ofrece en su territorio. Entre estas especies tenemos al Paco (*Piaractus brachypomus*), como es conocido en el país, considerada como la segunda especie amazónica con mayor nivel de producción solo después de la gamitana. Según PRODUCE (2016), esta especie ha tenido un crecimiento en producción de 38 TM en el 2006 a 1400 TM en el 2016. El alto potencial de cultivo del paco se debe a su baja exigencia nutricional, con un nivel de proteína en la dieta de 34% (Briones, 2019); su rusticidad, buen crecimiento y rápida adaptación a varios tipos de alimentos y condiciones de cultivo (Deza *et al.* 2002).

Según información de la FAO (2018), se prevé una reducción en la producción mundial de la harina de pescado y además esta provendría principalmente de subproductos del pescado de captura, lo que puede disminuir su contenido nutricional. Dicha situación disminuirá la oferta del ingrediente y por lo tanto, aumentará aún más su precio. Por ello, se vienen investigando sustitutos de la harina de pescado para la alimentación animal tales como los subproductos del beneficio de ganado vacuno y aves, insectos, etc; que permitan el reemplazo total o parcial de la harina de pescado, sin afectar el comportamiento productivo de la especie. La harina de subproducto avícola podría ser un sustituto importante, ya que tiene un alto contenido de proteínas, aminoácidos esenciales y lípidos, además de tener un menor precio.

Para el 2017 en el Perú se produjeron cerca de 350 000 toneladas de subproducto de camal avícola, y solo el 15% de éstos es recuperado para la alimentación de otras especies (MINAGRI, 2017); por lo tanto, existe un gran potencial de uso de este subproducto para la alimentación animal. Su utilización se presenta como una alternativa económica y productivamente sostenible; sin embargo, en nuestro medio aún no se han reportado investigaciones de su uso como ingrediente en la alimentación del paco, desconociendo el nivel óptimo de uso para establecer el rendimiento productivo apropiado, siendo necesario realizar pruebas de alimentación.

Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar tres niveles de inclusión de harina de subproducto de avícola en 5, 10 y 15 por ciento, en reemplazo de la harina de pescado, en dietas para la etapa de acabado del paco, mediante los parámetros de peso vivo, ganancia de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia, longitud, tasa de eficiencia de crecimiento y retribución económica.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Paco (*Piaractus brachypomus*)

#### 2.1.1 Aspectos generales

El Paco (*Piaractus brachypomus*) es una especie nativa que se encuentra ampliamente distribuida por el río Orinoco, cuencas de los ríos Amazonas, y La Plata en América de Sur, así como en los bajos andes de Bolivia y Guyana. (Lauzanne y Loubens, 1985; Aliaga, 2004).

Woynarovich (1998), manifiesta que los nombres comunes para esta especie en los diferentes países se presentan de la siguiente manera: En Bolivia, Tambaquí; en Brasil, Pirapitinga, Tambaqui, Caranha; en Colombia, Cachama blanca, Paco; en Perú, Paco y en Venezuela, Morocoto, Cachama.

#### 2.1.2 Morfología

El Paco presenta una coloración clara, blanco plateado, a veces azuladas en el dorso y flancos, el abdomen es blanquecino, con ligeras manchas anaranjadas (Aliaga, 2004). La aleta adiposa es carnosa; los juveniles suelen tener un color más claro con tonalidades rojo intenso en la parte anterior del abdomen y en las aletas anal y caudal. En los adultos, durante el desove, aparece un color rojo intenso en la parte pectoral.

Esta especie presenta fuertes dientes, los cuales se componen de 2 series de incisivos molariformes situados en el premaxilar y 1 fila de dientes del dentario (Schleser, 1997), es por ello que pueden alimentarse de hojas grandes, semillas o frutas que caen de los árboles, a través de la trituración (Lauzanne y Loubens, 1985).

La presencia, disposición, tamaño y cantidad de branquiespinas son muy importantes a la hora de determinar el hábito alimenticio, ya que una función importante de éstas es la retención de pequeños organismos que servirán de alimento y el número y distancia entre ellas pueden indicar si la especie es capaz de aprovechar la productividad del agua del estanque (Landines *et al.*, 2011). De esta manera, se pudo determinar que el paco es un pez omnívoro y además, debido al poco número de branquiespinas que posee (37 en el primer arco branquial), se sabe que presenta una baja capacidad de filtración (Woynarovich, 1998).

Severi *et al.* (1997) afirman que los peces de aguas cálidas como el paco, son capaces de experimentar imperceptibles adaptaciones morfológicas de la cabeza, que permiten un mayor volumen opercular y como consecuencia un aumento en la ventilación branquial.

Los individuos más grandes de esta especie pueden pesar hasta 25 kg y miden 88 cm, aunque estos números son generalmente más bajos en cautiverio (Schleser, 1997). Por otro lado, el tiempo de crianza del paco para alcanzar un peso comercial de 500 g es de aproximadamente 6 meses, con una densidad de siembra recomendada de 5000 peces/ha (Deza *et al.* 2002).

### **2.1.3 Fisiología digestiva**

Según Landines *et al.* (2011), el tracto digestivo del paco puede dividirse en anterior y posterior, donde lo primero corresponde a la boca y la faringe, junto a las estructuras anexas utilizadas por los peces para tomar su alimento; y lo segundo está conformado por el esófago, el estómago, el intestino y los ciegos pilóricos, lugar donde ocurren los procesos de digestión del alimento y de absorción de nutrientes; su coeficiente intestinal es cercano a 2, propio de los peces omnívoros.

En la mayoría de los peces el estómago está recubierto de células que secretan ácidos, concretamente el ácido clorhídrico (HCl), con lo que se consigue la hidrólisis de proteínas y proporciona el pH óptimo para la actividad de las enzimas secretadas por dicho órgano. Asimismo, existen tres tipos de enzimas digestivas en peces, al igual que en otros vertebrados; entre ellas las enzimas secretadas por el páncreas y el estómago, en forma de proenzimas inactivas mezcladas con jugo digestivo; las enzimas intestinales y enzimas de las células del tubo digestivo. Los peces en general a diferencia de los vertebrados superiores carecen de secreciones enzimáticas en la boca, por lo que estas proenzimas se activan en el

estómago y en el duodeno o parte distal del intestino. Entre ellas se encuentra la pepsina, que se secreta en forma de pepsinógeno (forma inactiva) y es activada por la presencia del HCl, se encarga de hidrolizar enlaces peptídicos produciendo peptonas y polipéptidos (Guillaume, 2004; Zamora y Cruz, 2009).

Las proteínas y péptidos que ingresan al intestino se diluyen y se disuelven en secreciones alcalinas del hígado, el páncreas y la pared intestinal. Las acciones de las endopeptidasas pancreáticas tripsina, quimotripsina y elastasas I y II, así como las exopeptidasas carboxipeptidasas a y b, dan como resultado una mezcla de aminoácidos libres y péptidos más pequeños (Kuz'mina, 2008; citado por Gutiérrez, 2018). Los péptidos de gran tamaño, así como las proteínas intactas, pueden ser absorbidos por los enterocitos mediante pinocitosis o pasar directamente a la sangre mediante una ruta paracelular (Zamora y Cruz, 2009).

Los carbohidratos son digeridos por las amilasas producidas principalmente en el páncreas, dando lugar a oligosacáridos que a su vez son digeridos por otras glucosidasas y disacaridasas secretadas por el páncreas y las células intestinales produciendo monosacáridos que son absorbidos por la pared intestinal (Zamora y Cruz, 2009).

Respecto a los lípidos, se han detectado la presencia de la lipasa pancreática, común a otros vertebrados, una lipasa no-específica y fosfolipasas. En general, las lipasas precisan que los lípidos se encuentren en una interfase lípido-agua para poder ejercer su acción. En el intestino las sales biliares emulsionan finamente los lípidos, incrementando su superficie por la disminución de la tensión superficial (Zamora y Cruz, 2009).

Cualitativamente las enzimas en los peces son similares a los vertebrados superiores; sin embargo, cuantitativamente hay una marcada diferencia respecto a la actividad proteolítica total, incluso en peces herbívoros. La actividad lipolítica es muy variable, de moderada a considerable. En cuanto, a la actividad amilolítica hay un gran contraste respecto a las proteasas; no obstante, la concentración de éstas varía dependiendo de los hábitos alimentarios de los peces, así en los herbívoros y omnívoros los niveles de amilasas tienden a ser superiores que en los carnívoros (Guillaume, 2004).

#### **2.1.4 Alimentación**

Mediante técnicas de captura de animales silvestres y la extracción del contenido estomacal de los peces, se puede definir su tipo de dieta y hábitos alimenticios. De esta manera, se pueden desarrollar dietas artificiales y métodos de alimentación, como se hizo con el paco; donde se encontró que su dieta estaba constituida principalmente de frutas y semillas de diferentes especies de árboles tropicales, de insectos y de peces más pequeños, por lo cual se le denomina una especie omnívora (Landines *et al.*, 2011).

Asimismo, Goulding (1981) señala que estos peces son de fácil adaptación, pudiendo aprovechar diversos recursos alimenticios e incluso soportar ausencia de alimento por periodos prolongados, los cuales pueden variar según la estación climática o asociarse a la migración reproductiva.

Por otro lado, la alimentación de los peces difiere sustancialmente de las demás, ya que los requerimientos de energía de éstos son mucho más bajos que otras especies. El primer factor es debido a la ectotermia, donde los peces tienen una temperatura interna cercana a la del agua donde viven, no gastan energía para mantener constante su temperatura corporal. Otro factor es la amoniotelia, donde el amonio es el catabolito nitrogenado que se excreta en la orina y en el agua a través de las branquias, lo cual es un proceso de bajo costo energético a comparación de la síntesis y excreción de urea y ácido úrico; y por último, la flotación. (Guillaume *et al.*, 2004).

#### **2.1.5 Condiciones medioambientales (calidad del agua)**

En el cultivo de peces, el oxígeno disuelto es el factor más importante de la calidad del agua, ya que en bajas concentraciones tiene efectos negativos sobre la ganancia de peso y conversión alimenticia (Valbuena *et al.*, 2006; Valbuena y Cruz, 2006). En el paco, el consumo de oxígeno se relaciona de manera inversa con el peso corporal, lo cual es similar a lo observado en otras especies ícticas tropicales (Peñuela *et al.*, 2007).

Por otro lado, la relación entre la temperatura del agua y la tasa respiratoria de los peces es de manera directa (Saint-Paul, 1983 y Sastre *et al.*, 2004). Esto se debe a que la temperatura acelera las reacciones químicas en general y, por lo tanto, aumenta el consumo de O<sub>2</sub> (Saint-Paul, 1986). Además, las altas temperaturas reducen la solubilidad del oxígeno en el agua y

la afinidad de la hemoglobina por el O<sub>2</sub> en el torrente circulatorio del pez (Brix *et al.*, 2004). Asimismo, los resultados del experimento de Tomalá *et al.* (2014), indican que el consumo de oxígeno mantiene una relación directa con la temperatura del agua e inversa con el peso corporal de los organismos.

Las condiciones fisicoquímicas del agua que se recomiendan para el cultivo de *P. brachypomus* son las siguientes: temperatura de 25 a 32°C, pH entre 6.5 y 8.5, dureza de 50 a 350 ppm y alcalinidad en un rango de 50 a 300 ppm (OLDEPESCA, 2010). Respecto al nivel de oxígeno disuelto, Dabrowski *et al.* (2003) recomienda que sea mínimo 4.0 mg/l.

### **2.1.6 Requerimientos nutricionales**

Los peces herbívoros y omnívoros tienen un menor requerimiento de proteína en comparación a los carnívoros, esto se debe a la diferente bioquímica para utilizar los nutrientes. En promedio un alimento comercial típico para tilapia (especie omnívora) tiene entre 30 a 40 % de proteína dietaria, mientras que en salmón está entre 42 a 50 % (Ayoola, 2010).

Wilson y Halver (1986) señalan que el requerimiento de proteína en los peces está influenciado por el balance de proteína-energía, por la composición de aminoácidos, por la digestibilidad de la dieta y por la cantidad de la energía no proteica de la dieta. Asimismo, el requerimiento proteico disminuye a medida que avanzan en peso y edad.

Respecto a los ácidos grasos, las especies de agua dulce pueden clasificarse en tres categorías principales: especies de agua fría, incluyendo salmónidos, que requieren principalmente 18:3  $\omega$ -3, especies de aguas cálidas como la tilapia que principalmente requieren 18:2  $\omega$ -6 y especies que requieren cantidades significativas de ambas, como el pez gato (*Ictalurus punctatus*) y la carpa común (*Cyprinus carpio L.*) (Sargent *et al.*, 2002; citado por Tueros, 2018).

Se sabe que un aumento en el contenido de lípidos de la dieta puede disminuir el consumo de alimento y el crecimiento del pez, así como también aumentar la deposición de grasa corporal, afectando la calidad y el valor nutritivo de la carne (Vásquez-Torres *et al.* 2012). Asimismo, la relación proteína-grasa es crucial para cualquier dieta, ya que un exceso de

grasa en el alimento contamina el agua y un nivel insuficiente afecta al crecimiento (Saavedra, 2008).

El requerimiento de lípidos para peces omnívoros es menor debido a su mayor capacidad de utilizar carbohidratos como fuente de energía, a diferencia de los peces carnívoros (FONDEPES, 2004). De acuerdo con los estudios realizados por Vasquez-Torres *et al.* (2012) en pacos juveniles, valores de lípidos superiores en la dieta a 40 g/kg tienen efectos negativos sobre el crecimiento y la utilización de nutrientes.

Según Akiyama (1995); citado por Saavedra (2008), los peces de aguas cálidas pueden digerir 85% de la energía bruta procedente de proteínas y lípidos, de la harina de pescado y de otros ingredientes de origen animal; así como un 90% de energía bruta proveniente de la fibra y carbohidratos de la harina de soya y otras semillas oleaginosas. Asimismo, el exceso de energía está relacionado a un aumento de la deposición de grasa corporal, lo cual es indeseable ya que se reduce el rendimiento de la carcasa, la calidad de carne y vida en anaquel del producto final (Crovatto *et al.* 2010).

Un adecuado balance de proteína cruda y energía digestible mejora las tasas de crecimiento, la eficiencia alimenticia y utilización proteica, minimiza la acumulación excesiva de lípidos y glucógeno en los tejidos somáticos y el hígado; y minimiza la excreción de desechos nitrogenados mejorando por lo tanto la calidad del agua (Bicudo *et al.* 2009).

En las Tablas 1 y 2 se presentan los resultados de diferentes experimentos realizados en paco sobre sus requerimientos nutricionales.

En la Tabla 1 se observan los resultados de las investigaciones realizadas en el 2018 en el Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos (LINAPC) de la UNALM. Asimismo, los requerimientos estimados de aminoácidos esenciales (Tabla 2) pueden ser usados para formular dietas para juveniles de paco hasta que se realicen pruebas de dosis respuestas para determinar con precisión los requisitos de aminoácidos esenciales.

**Tabla 1: Requerimientos nutricionales del paco (*Piaractus brachypomus*)**

Nutrientes	Unid	Requerimiento	Referencias
Proteína	%	34.00 <sup>a</sup>	Briones, 2019 Gutiérrez <i>et al.</i> , 1996 Vergara <i>et al.</i> , 2011 Vasquez-Torres <i>et al.</i> , 2012
		29.80 <sup>b</sup>	
		29.20 <sup>b</sup>	
		29.20 <sup>b</sup>	
Energía Digestible	Mcal/kg	2.70 <sup>b</sup>	Gutiérrez <i>et al.</i> , 1996 Miranda, 2018 Vergara <i>et al.</i> , 2011
		3.41 <sup>b</sup>	
		3.096 <sup>b</sup>	
Relación Pt-ED	g Pt/Mcal ED	110.00 <sup>b</sup>	Gutiérrez <i>et al.</i> , 1996 Salinas, 2018
		100.00 <sup>b</sup>	
Relación $\omega$ -6/ $\omega$ -3		5.40:1 <sup>c</sup>	Tueros, 2018
		7.46:1 <sup>d</sup>	

<sup>a</sup> alevines de paco <sup>b</sup> juveniles de paco <sup>c</sup> para ganancia de peso y tasa de crecimiento específico <sup>d</sup> para conversión alimenticia.

**Tabla 2: Estimación de requerimiento de aminoácidos esenciales y de la proteína ideal del paco**

Nutrientes	Requerimiento de aminoácidos	Proteína ideal	Aminoácidos en el alimento*
	g/16g N	%	%
Lisina	5.67	100	1.78
Arginina	7.53	133	2.36
Histidina	1.66	29	0.52
Isoleucina	2.27	40	0.71
Leucina	3.78	67	1.19
Metionina+Cisteína	1.78	31	0.56
Fenilalanina+Tirosina	4.65	82	1.46
Treonina	2.69	47	0.84
Triptofano	0.55	10	0.17
Valina	3.01	53	0.94

\*Obtenida de una dieta con 31.36% Pt

Fuente: Ochoa, 2018

## **2.2 Harina de subproducto avícola (HSA)**

### **2.2.1 Aspectos generales**

La harina de pescado es una fuente de proteína convencional en la acuicultura debido a su perfil de aminoácidos esenciales bien equilibrado, ácidos grasos esenciales, energía digestible, vitaminas y minerales (Tacon, 1993). Por ello, la demanda de este ingrediente en el sector acuícola a nivel mundial es significativa. Por otro lado, esta harina presenta unos costos ambientales altos, debido a que su obtención se da a través de la pesca extractiva generando peligros a la biodiversidad (Buschmann, 2001); además de una producción no sustentable, ya que para producir 1 tonelada de harina de pescado se requiere en promedio 5 toneladas de peces enteros (Buschmann, 2001). Asimismo, Sandbol (1993), señala que durante la elaboración de la harina y el aceite de pescado según criterios industriales de pesca, el rendimiento normal es de un 22% de harina, un 6% de aceite y un 72% de agua. De la misma manera, Tacon y Metian (2008), reportaron cifras cercanas, con un 22.5% para producción de harina de pescado y 5% para el aceite; además, señalaron que se requiere una captura de 4.9 toneladas de peces enteros para producir 1 tonelada de salmón.

Por lo anteriormente expuesto, el sector acuícola tiene la necesidad de reducir su dependencia de la industria pesquera, ya que la harina de pescado es un ingrediente cuyo suministro y precio son inciertos en el futuro (Tacon, 1984). En medio del camino para buscar sustitutos de la harina de pescado, se opta por utilizar harinas de tipo vegetal; sin embargo, éstas también poseen desventajas: los factores antinutricionales, como las saponinas, lectinas e inhibidores de proteasas, fitatos y carbohidratos no digeribles, además de una baja palatabilidad (Francis *et al.*, 2001). Por ello, dentro de otras fuentes alternativas de proteína se encuentran las de origen animal, como la harina de sangre, la harina de plumas, la harina de carne y huesos y la harina de subproducto avícola, grandes candidatos para sustituir a la harina de pescado en dietas para especies acuícolas.

Si bien la utilización de los subproductos avícolas se ha venido limitando debido a su alto contenido de ceniza, pobre digestibilidad y a la calidad variable, debido a las nuevas técnicas de procesamiento han permitido la producción y desarrollo de nuevos ingredientes que cumplen con criterios de calidad para la nutrición de organismos acuáticos (Bureau, 1996).

### **2.2.2 Composición de la harina de subproducto avícola**

Un subproducto se define como un producto secundario obtenido durante la fabricación de un producto principal, en este caso en base a aves sacrificadas en camal (Hamilton, 2004).

Según Ravindran y Blair (1993); citado por Verástegui (2007), años atrás la harina de subproducto avícola se clasificaba de dos tipos, de acuerdo al contenido de plumas, como harina de subproducto avícola o harina de subproducto de camal avícola, donde la primera estaba compuesta por vísceras, cabezas, patas e intestinos (siempre y cuando se haya removido su contenido previamente); mientras que la segunda harina estaba compuesta por una mezcla de 45% de harina de subproducto de ave, 40% de harina de pluma hidrolizada y 15% de grasa de ave. Sin embargo, actualmente se viene produciendo dos presentaciones de esta harina, como de harina de subproducto avícola de grado alimenticio y otra de mejor calidad para mascotas, como harina de subproducto avícola de grado alimento para mascota.

Asimismo, Mendoza *et al.* (2000) señala que para la actualidad la harina de subproducto avícola (HSA) o Poultry by-product meal (conocido por sus siglas en inglés PBM), consiste en las partes molidas, procesadas y limpias de las aves sacrificadas en camal, tales como cuellos, patas, cabezas, vísceras y digestivo, tejidos magros, grasa y plumas; sin embargo, hay quienes no consideran a ésta última.

En el Perú, hay consumo de vísceras como la molleja, corazón, hígado y extremidades (patas) del ave, por lo que la composición de la HSA va a variar respecto a otros lugares, cambiando también el valor nutricional. Es importante recalcar que la HSA nacional tiene un bajo contenido de plumas, pero que de igual manera eleva en cierto grado el contenido de proteína cruda (Verástegui, 2007).

### **2.2.3 Procesamiento de la harina de subproducto avícola**

Dale (1997) afirmó que el rendimiento de aves al beneficio es del 75%, teniendo un 25% de desperdicios o subproductos que se pueden utilizar a través del proceso de reciclaje. Por otro lado, Chiang (1999) mencionado por Hereña (2002), reportaron un rendimiento para residuos orgánicos provenientes del matadero de aves para producir HSA es de 6.64%.

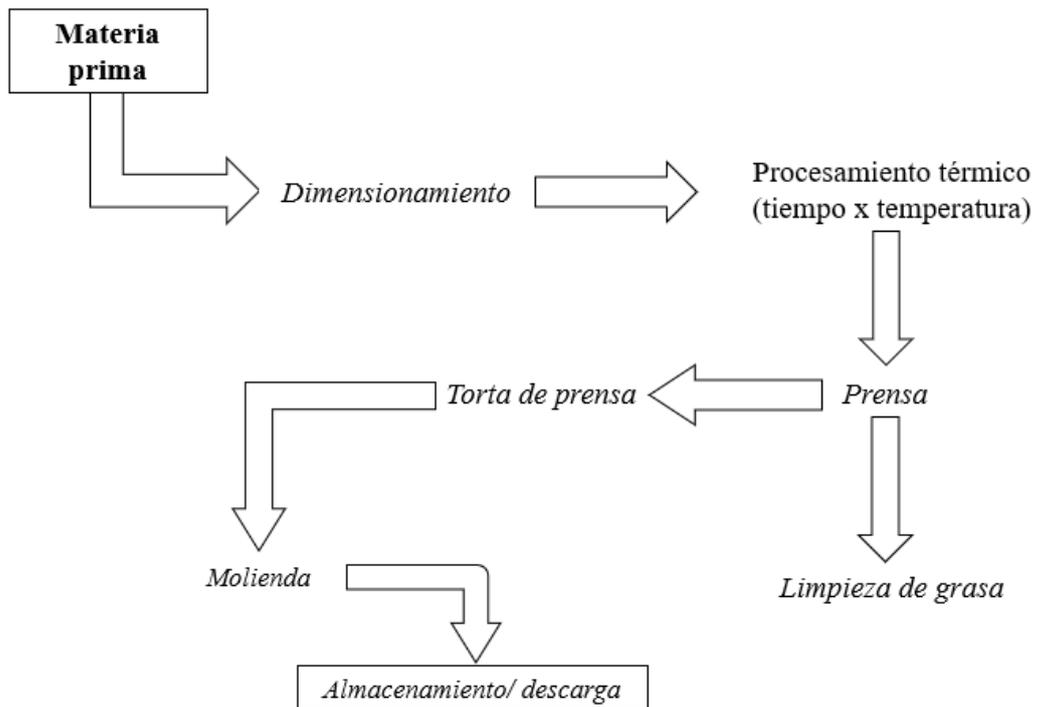
El proceso utilizado para producir la harina de subproducto avícola se denomina reciclaje o "rendering", el cual consiste en una transformación física y química que utiliza una gran

variedad de equipos y procesos. Todos los procesos de reciclaje incluyen la aplicación de calor, la extracción de la humedad y la separación de la grasa. Las variables como la temperatura y el tiempo del proceso de cocción constituyen los principales factores determinantes de la calidad del producto terminado. Asimismo, los procesos van a variar según la composición de la materia prima (Hamilton, 2004).

El procesamiento de la harina de subproducto avícola (Figura 1) comienza con el dimensionamiento o trituración, lo cual consiste en reducir el tamaño de partícula de la materia prima (no mayor a 50 mm), lo que permite estandarizar el tratamiento térmico, además de facilitar la posterior separación de fases (aceite, agua y sólidos). Acto continuo se realiza la cocción (proceso térmico de las materias primas), para el cual existen dos sistemas de tratamiento: por vía seca, por vía húmeda, ya sea en proceso continuo o por lotes. En los procesos por vía seca, la humedad de la materia prima se elimina totalmente por evaporación aplicando calor y en los procesos por vía húmeda la eliminación de humedad se hace parcialmente por medio de centrifugación o decantación y finalmente por evaporación (De Paz, 1993; Meeker y Hamilton, 2006).

Por lo general, en Estados Unidos la cocción se logra con vapor y temperaturas de aproximadamente 115°C a 145°C durante 40 a 90 minutos, sin incorporar la cocción bajo presión (excepto para las plumas y otros tejidos con alto contenido de queratina) dependiendo del tipo de sistema y materiales (Meeker y Hamilton, 2006). Por otro lado, De Paz (1993) señala que, para cumplir las condiciones de la Unión Europea, se trabaja con una temperatura de cocción de 133°C, por 20 minutos a 3 bares de presión, todo ello para asegurar la esterilización del producto, poder fundir la grasa y pasar al proceso de secado y finalmente a la molienda. La cocción es de suma importancia, ya que se inactiva bacterias, virus, protozoarios y parásitos (Hamilton, 2004) y se produce la fusión de la grasa contenida (De Paz, 1993).

Luego continúa el prensado, en esta operación se separan la fase sólida (chicharrones o cracklings) y la fase fundida (grasa). Esta operación se realiza generalmente con prensas de tornillo (Meeker y Hamilton, 2006). El chicharrón entra a la prensa con 25-30% de grasa y se obtiene un producto con 12 a 15% de ésta (De Paz, 1993).



**Figura 1.** Flujo del proceso básico para la producción de la harina de subproducto avícola

Fuente: Meeker y Hamilton, 2006

Los chicharrones obtenidos (torta de prensa) se someten a un proceso de molienda en un molino de martillos para lograr la granulometría deseada por el sector de alimentos balanceados. Finalmente, el producto pasa por un tamizado y posteriormente es ensacado y almacenado (Meeker y Hamilton, 2006).

#### **2.2.4 Valor nutricional de la harina de subproducto avícola**

La NRC (2011) indica que la harina de subproducto avícola se complementa muy bien con ciertos ingredientes proteicos vegetales como la harina de soya.

Los subproductos de origen animal tienen un alto contenido de proteína y lípidos, lo que los hace especialmente muy aptos para usarse en alimentos acuícolas. Sin embargo, el valor nutricional y la calidad de la harina de subproducto avícola van a depender directamente de la materia prima y del proceso de reciclaje (Dong *et al.*, 1993). Así también lo reportaron Aldrich y Daristotle (1998), quienes compararon la calidad de proteína de las diferentes partes procesadas del ave, usando la tasa de eficiencia de proteína (PER); donde se obtuvo una menor eficiencia para las patas con 0.87, luego estaban los huesos con 1.22 y las cabezas con 2.50. Respecto a los órganos internos se obtuvo 3.04; con la molleja, con el hígado y el corazón se tuvo 3.08; y del ave entera sin plumas se tuvo 3.43.

Dentro de las harinas de origen animal, la HSA es la que posee un perfil de aminoácidos más semejante a la harina de pescado. Sin embargo, hay autores que reportan que la HSA puede tener deficiencia de lisina y metionina (Nengas *et al.*, 1999; Watanabe y Pongmaneerat, 1991; citado por Hu *et al.*, 2008). Por ello, se han realizado estudios donde se suplementa la HSA con estos aminoácidos. Así tenemos a Hu *et al.* (2008), cuyo experimento se realizó en carpas, alimentadas con HSA suplementadas con metionina y lisina, donde finalmente recomienda la utilización de aminoácidos sintéticos siempre y cuando la HSA diste mucho del perfil de aminoácidos respecto a la harina de pescado. Por su parte Piñeros *et al.* (2013), utilizó en pacos harina de vísceras suplementada con los mismos aminoácidos; señalando que no es necesaria la suplementación, ya que solo acarrea mayor gasto sin obtener un beneficio considerable. Por otro lado, Yu (2004) quien utilizó HSA en reemplazo de la harina de pescado en tilapias, señala que para la formulación de dietas con HSA se deben utilizar niveles óptimos de inclusión, para ello es importante saber el valor nutricional del ingrediente; y si fuera el caso, se puede añadir aminoácidos sintéticos, coincidiendo con Hu *et al.* (2008).

Respecto a la digestibilidad de proteína de la HSA, en los primeros estudios se arrojaban valores muy bajos, como lo señalaron Cho y Slinger (1979) con un coeficiente de digestibilidad aparente de proteína (CDA) de 70%. En estudios recientes se muestra una gran mejora en este aspecto, teniendo valores entre 87% a 91% en truchas arco iris, según Bureau *et al.* (1999). Asimismo, Hernández *et al.* (2010) reportó un coeficiente de digestibilidad de este nutriente en un 87.9% en tilapia de Nilo; mientras que el NRC (2011) reporta un 90% en la misma especie. Finalmente, en instalaciones de la UNALM, se realizó un estudio de digestibilidad en juveniles de paco, donde se reporta un CDA para proteína de 85.39% (Pillaca, 2019).

En relación con el contenido de minerales, Bul Bul y Bragg (1981) citados por Ureña (2002), reportaron 90% de disponibilidad para el calcio y 93% para fósforo; y para magnesio, manganeso, zinc y cobre, una disponibilidad de 84, 73, 79 y 74%, respectivamente. En la Tabla 3 se observa que los valores de P y Ca para la HSA de National Renderers Association (NRA) (2003) son mayores a comparación del NRC (2011).

Los niveles de los aminoácidos de la Tabla 3 varían entre sí; sin embargo, si se comparan los valores de metionina encontrados (1.20 a 1.43%), respecto al valor reportado por la NRC (2011) para la harina de pescado (1.95%), éstos no se alejan tanto; lo cual no ocurre con los valores de lisina de la HSA que varían de 2.70 a 4.71%, siendo para la NRC (2011) un nivel de 5.11% de este aminoácido para la harina de pescado.

Por otro lado, la harina de subproducto avícola tiene un gran aporte de vitaminas del complejo B, pero no contiene las vitaminas A, B12, D y K (NRC, 2011).

### **2.2.5 Calidad de la harina de subproducto avícola**

La calidad del subproducto reciclado va a determinar su capacidad para un propósito dado. Esto va a depender de una operación adecuada y de la calidad en sí de la materia prima que se usa para la producción. A continuación, se mencionan algunos factores que afectan la calidad de la harina de subproducto avícola:

**Tabla 3: Valor nutritivo de la harina de subproducto avícola**

<b>Nutrientes (%)</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Materia seca	93.50	95.10	95.56	92.40	89.00
Proteína cruda	60.00	72.40	69.25	71.00	62.10
Grasa	12.00	16.10	10.91	14.30	19.80
Fibra cruda	2.10		0.49	0.00	-
Ceniza	15.50	4.80	-	14.60	7.50
Energía total (Kcal/ kg)		5 612.0			
<b>Minerales</b>					
Calcio	4.00		-		3.51
Fósforo	2.00		-		1.80
<b>Aminoácidos</b>					
Lisina	2.70		3.51	4.61	3.44
Metionina	1.20		1.43	-	1.29
Triptófano	0.50			1.94	-

Fuente: 1. (NRA) (2003) 2. Verástegui (2007) 3. Shapawi *et al.* (2007) 4. Hu *et al.* (2008) 5. NRC (2011)

- Contaminación microbiana

La que causa mayor preocupación es la Salmonella, la cual pueden ser destruidas por el calor cuando se exponen a temperaturas de 55°C por una hora o 60°C durante 15 a 20 minutos (Franco, 1993; citado por Hamilton, 2004). Asimismo, las temperaturas de procesamiento en el reendering están entre 115°C y 145°C, por lo que la parte microbiológica se puede controlar. Sin embargo, el transporte y el almacenamiento son otros factores a tomar en cuenta para evitar esta contaminación microbiana (Hamilton, 2004). Por otro lado, Brooks (1989) demostró que el riesgo de contaminación por esta bacteria es menor para las proteínas animales que para la harina de soya.

- Peroxidación de grasas

Los ingredientes de origen animal poseen un alto porcentaje de grasa, por lo cual fácilmente tiende a oxidarse con el inicio de la formación de radicales libres. La temperatura, la presencia de enzimas, luz e iones metálicos, pueden influenciar en la formación de estos compuestos. Las moléculas formadas que contiene radicales libres se romperán para formar productos de peso molecular más bajo (aldehídos, cetonas, alcoholes y ésteres), los cuales son volátiles y responsables por los olores de la rancidez (Bellaver, 2002; citado por Macavilca, 2013); por ello, es vital la administración de antioxidantes, los cuales detienen la auto-oxidación absorbiendo radicales libres que son los causantes de este proceso (Hereña, 2002).

- El sobrecalentamiento (> 140°C) reduce la disponibilidad de los aminoácidos, especialmente de la lisina y puede reducir el valor energético de la grasa (Hamilton, 2004).

- El tiempo entre el beneficio y el procesamiento es otro factor para tomar en cuenta. Bellaver (2002); citado por Macavilca (2013), señala que el procesamiento debe ser realizado lo más pronto posible al beneficio, de tal modo que no debería sobrepasar las 24 horas para poder evitar la putrefacción y la oxidación de las grasas.

### **2.2.6 Restricciones legales**

En el contexto mundial, la Comunidad Europea regula el uso de las harinas de origen animal mediante el reglamento 1774/2002, con el cual se prohíbe su uso en la alimentación de animales, estableciendo a la vez 3 categorías de subproductos animales, según el riesgo de Encefalopatía Espongiforme Transmisible (EEB). De esta manera, sólo se permite el uso de los productos de la categoría 3 para la alimentación animal. Asimismo, el reglamento 999/2001 prohíbe explícitamente el uso de subproductos provenientes de mamíferos en la alimentación de rumiantes (Comunidad Europea, 2002; citado por Marchán, 2012).

En el Perú, la entidad estatal encargada de regular la seguridad y sanidad en el sector agropecuario es el Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA). Dicha entidad mediante la Resolución Jefatural N°064-2009, prohíbe en todo el territorio nacional el uso de proteínas de origen animal, ya sea como ingrediente o mezcladas con otros productos, para la alimentación de rumiantes. Asimismo, hace referencia que las proteínas de origen animal son las harinas de carne y hueso, harinas de carne, harinas de hueso, harinas de sangre, plasma seco u otros productos derivados de la sangre, harinas de órganos, harinas de pezuñas, harinas de astas, los chicharrones desecados, harinas de desechos y/o harinas de vísceras de aves de corral, con excepción de proteínas lácteas, harinas de huevo y harinas de plumas. Sin embargo, no hay una restricción para la utilización de HSA en la alimentación de peces (SENASA, 2009).

Por otro lado, SENASA exige que las proteínas de origen animal que se importen o produzcan, deben ser reducidas a partículas de un tamaño máximo de 50 mm antes de ser elaboradas mediante procesos que garanticen temperaturas de 133° C, presiones de 3 bares o 43.5 libras de presión por pulgada cuadrada (PSI), por lo menos durante 20 minutos o cualquier otro procedimiento que inactive los agentes causantes de la EEB; independiente de otras exigencias sanitarias que deben cumplir para la importación (SENASA, 2009).

En la actualidad, SENASA viene aprobando la importación de HSA de países específicos tales como Portugal (SENASA, 2016), Italia (SENASA, 2017) y de Brasil (SENASA, 2019) mediante resoluciones dictatoriales de MINAGRI-SENASA-DSA.

### 2.2.7 Uso de harina de subproducto avícola en peces

Existen diferentes investigaciones en peces sobre el reemplazo de la harina de pescado con ingredientes no convencionales como la harina de subproducto avícola. Según Yu (2004), recomienda una tasa de inclusión de HSA de 8% en tilapia y de 25% en trucha. Sin embargo, investigaciones realizadas de la especie en estudio (paco) referente a la utilización de HSA son muy escasas. Entre ellas tenemos a Piñeros *et al.* (2013), donde se evaluaron 3 tratamientos para juveniles paco: la primera dieta control a base de 30 % de harina de pescado y otras dos con niveles de inclusión de 30 % de harina de vísceras de pollo, donde la tercera fue suplementada con aminoácidos (lisina, metionina y treonina). En dicho experimento no se encontró diferencias significativas entre los tratamientos para los parámetros productivos, excepto para el consumo de alimento, favorable a los tratamientos con HSA. Asimismo, concluyó que no es necesaria la inclusión de aminoácidos sintéticos, ya que no hay un impacto negativo en los parámetros y más bien se generaría un mayor costo del alimento. Por otro lado, Pillaca (2019) reportó mejores resultados con la HSA en comparación de la harina de pescado y la harina de sangre para juveniles paco; encontrando diferencia significativa en los parámetros productivos favor del tratamiento con mayor inclusión de HSA (15%), excepto para la conversión alimenticia.

Entre otras investigaciones realizadas a la harina de subproducto avícola en otras especies, como la tilapia, tenemos a Yousif *et al.* (1996), quien realizó un experimento en alevines de tilapia (*Oreochromis aureus*), donde probó HSA con 27.14% de inclusión y harina de sangre con 18.82% en reemplazo total de la harina de pescado (22.71%), incluyendo además en todas las dietas (menos en la dieta control) “dates” o dátiles y “dates pits” o semillas de dátiles (15% de inclusión cada una). El autor reportó mejores resultados para dietas con inclusión de HSA, superando así a la dieta control. Dentro de los parámetros evaluados estuvieron la ganancia de peso, la tasa específica de crecimiento y la tasa de eficiencia proteica. Si bien estos resultados difieren mucho de otros experimentos, Yousif *et al.* nos indican que haya sido muy probable que las propiedades nutricionales de la harina de pescado, en particular del perfil de aminoácidos y de ácidos grasos insaturados, pudieron verse afectados durante su procesamiento, por lo cual la HSA tuvo mejor performance que esta harina.

Otro experimento realizado por Hernández *et al.* (2010), utilizaron harina de subproducto avícola de grado alimento para mascotas y harina de subproducto de porcino en alevines de

tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) en reemplazo total de harina de pescado (dieta control). Los niveles de inclusión en las dietas fueron de 26.5%, 34% y 27%, respectivamente. Además, también utilizaron alimento comercial como un cuarto tratamiento. La dieta con HSA junto con la dieta control reflejaron mejores parámetros productivos, lo cual puede atribuirse al alto coeficiente de digestibilidad aparente determinado en materia seca, proteína y de energía de la HSA, siendo sus valores muy similares a la de la harina de pescado. Los autores mencionan que la proporción adecuada de ingredientes vegetales y animales evitará la deficiencia de grasa en las dietas, de no ser así, esto puede provocar retraso del crecimiento y síntomas fisiológicos.

Toledo *et al.* (2014) también realizaron un estudio en alevines de tilapia del Nilo, donde utilizaron HSA en sustitución de la harina de pescado. Los tratamientos fueron un alimento comercial con 10 % de harina de pescado (dieta control) y una dieta experimental con 10 % de HSA, en los cuales se encontraron diferencias significativas en los pesos finales, en conversión alimenticia y en la supervivencia, a favor de la dieta control, con lo que no fue posible el reemplazo total. Según los autores esto pudo deberse a limitaciones en el contenido de aminoácidos (como histidina, metionina+cistina, lisina y fenilalanina), al contenido de tejidos conectivos, huesos y piel, que disminuyen la digestibilidad del ingrediente, o la cocción de la materia prima a altas temperaturas por largos periodos de tiempo, que disminuye la disponibilidad de aminoácidos.

En el estudio de Webster *et al.* (2015) con juveniles de tilapias del Nilo, utilizaron dietas a base de granos secos de destilación con solubles (que se había utilizado como sustrato para la producción de larvas de mosca soldado negro, *Hermetia illucens*), en combinación con harina de subproducto avícola (inclusión de 25%) y con harina de soya, con o sin suplementación de aminoácidos (DL-metionina y L-lisina) y una enzima comercial de polisacárido no amiláceo. Del experimento se tuvo que el consumo diario promedio fue más alto en dietas con granos secos con inclusión de HSA en comparación a la dieta control de harina de pescado; además, de no mostrar diferencia significativa para dietas con o sin inclusión de aminoácidos.

En trucha también se ha realizado estudios para reemplazar la harina de pescado por harina de subproducto avícola, tal es así que Parés *et al.* (2014), utilizaron niveles de inclusión de HSA de grado alimento para mascota, 0, 24, 44 y 59%, donde se reportó diferencia significativa entre los tratamientos para el peso final, donde la inclusión con 59% de HSA

tuvo el menor valor. No obstante, no se encontró diferencias significativas para los demás parámetros de crecimiento como la conversión alimenticia, ganancia de peso, consumo de alimento y tasa de crecimiento térmica.

González-Rodríguez *et al.* (2016) realizaron un estudio en juveniles de tenca (*Tinca tinca L.*), donde se reemplazó parcialmente a la harina de pescado con 8 niveles de inclusión de HSA. El nivel de reemplazo a la harina de pescado fue hasta un 25% (inclusión de 18.48% de HSA) sin que afectara los parámetros productivos (supervivencia, crecimiento, rendimiento y composición corporal). También, se señaló que el mayor reemplazo de la harina de pescado condujo a una reducción en dos aminoácidos esenciales, lisina y metionina, en comparación con la dieta control, lo que conllevó que a mayor nivel de inclusión de HSA hubiera mayor deficiencia de nutrientes, por lo que los parámetros se veían afectados.

En experimento realizado por Hekmatpour *et al.* (2017), se probaron 5 niveles de inclusión de harina de subproducto avícola (11%, 18%, 25%, 32% y 39%) en reemplazo de harina de pescado, para evaluar el efecto sobre el rendimiento de crecimiento en juveniles de la dorada (*Sparidentex hasta*). Los mejores resultados de performance se obtuvieron con niveles de inclusión de hasta 25%, a comparación de la dieta control, en términos de ganancia de peso y tasa de crecimiento.

### **III. MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1 Lugar y duración del experimento**

La investigación se realizó en el Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos (LINAPC) que pertenece al departamento académico de Nutrición de la Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). El experimento tuvo una duración de 42 días. La elaboración del alimento balanceado fue en la Planta de Alimentos Balanceados del Programa de Investigación y Proyección Social en Alimentos, Facultad de Zootecnia. El análisis químico (proteína y humedad) de las dietas se llevó a cabo en el Laboratorio de Calidad Total La Molina.

#### **3.2 Animales experimentales**

Para el experimento se utilizaron 32 pacos (en etapa de acabado) provenientes de la estación piscícola “Fundo Palmeiras” ubicado en Rio Negro – Satipo – Junín, con un peso promedio inicial de 519.57 g y de longitud promedio de 27.27 cm, pesados y medidos individualmente. Se armaron bloques por peso, ya que se encontraron 4 grupos de peces con pesos similares en cada grupo; luego fueron distribuidos al azar en los 16 acuarios formando grupos homogéneos de 2 peces por acuario (unidad experimental).

La distribución de los bloques fue de la siguiente manera: Bloque 1, peces muy grandes de 576.98 a 570.51 g; bloque 2, peces grandes de 542.29 a 537.62 g; bloque 3, peces medianos de 509.81 a 489.78 g y bloque 4, peces pequeños de 471. a 465.11 g.

### **3.3 Instalaciones y equipos**

Las instalaciones del LINAPC cuentan con varios equipos y un sistema de recirculación el cual permitió mantener la calidad de agua, todo ello detallado en el ANEXO I y II.

#### **a. Instalaciones**

Las instalaciones del LINAPC, cuenta con un moderno sistema de recirculación, el cual permite el control de los estándares de calidad de agua óptimo para la especie en estudio. Para el experimento se utilizaron 16 acuarios de crecimiento de fibra de vidrio, de color blanco, liso por dentro y afuera, y frontis de vidrio de 6 mm de grosor con capacidad de 55 – 75 litros, con medidas de 45 cm. de ancho, 45 cm. de profundidad, 50 cm. de altura.

#### **b. Equipos**

Durante el manejo de los peces se utilizó malla Sera, recipientes de plástico para el control biométrico, balanza digital marca RAD WAG modelo PS 4500.B1 con 0.01g de precisión y capacidad de 4500 g, utilizada en el pesaje del alimento suministrado y obtención del peso individual de cada animal, además de cinta métrica, para medir la talla de los peces y de esta manera obtener el incremento de talla total de la respectiva unidad experimental. También se utilizaron instrumentos para medir la calidad de agua.

### **3.4 Producto evaluado**

Se evaluó la harina de subproducto avícola (HSA), procedente de una planta de Arequipa (PROCINSUR S.R.L.). Esta harina es elaborada a partir de subproductos del beneficio de aves en camales (básicamente vísceras, cabezas, aves muertas antes del beneficio, con exclusión mayoritaria de plumas) mediante un proceso de reciclaje que incluye trituración, cocción, prensado y molienda. La harina es procesada por cocción en seco por lotes.

Según los análisis realizados en el Laboratorio de Calidad Total La Molina, la HSA evaluada contiene 71.44% de proteína cruda, 90.66% de materia seca, 12.12% de extracto etéreo, 0.11% de fibra cruda y 3.43% de ceniza. La energía digestible utilizada fue de 4 135Kcal/kg, según lo reportado por Pillaca (2019).

### **3.5 Tratamientos**

Se evaluaron cuatro tratamientos, con diferentes niveles de inclusión de la harina de subproducto avícola:

- T1: Dieta control – 0% de Harina de subproducto avícola.
- T2: 5 por ciento de Harina de subproducto avícola.
- T3: 10 por ciento de Harina de subproducto avícola.
- T4: 15 por ciento de Harina de subproducto avícola.

### **3.6 Dietas experimentales**

Para la elaboración de las dietas se utilizó la formulación al mínimo costo, por programación Lineal. Asimismo, las dietas fueron isoproteicas (30% PB) e isoenergéticas (3.0 Mcal/kg ED). La elaboración se realizó en la Planta de Alimentos Balanceados del PIPSA, UNALM. Para ello, los ingredientes se fueron pesando de acuerdo a la fórmula de cada dieta para luego ser incorporadas a la mezcladora horizontal de cintas, la mezcla se dio durante 6 minutos. Posteriormente se utilizó la peletizadora Bühler, obteniendo pellets de 3.5 mm de diámetro y una longitud de 4 mm. Respecto a las pruebas de control de calidad realizada a los pellets se encontraron los siguientes resultados: Dureza 96.71%, estabilidad 78.86%, flotabilidad 0.091cm/s y finos 0.25%.

La Tabla 4 muestra las fórmulas de las dietas experimentales con el valor nutritivo estimado y la Tabla 5 el aporte nutricional de la premezcla de vitaminas y minerales para la acuicultura, utilizado en la preparación de las dietas.

**Tabla 4: Fórmula y valor nutritivo calculado de las dietas experimentales (Tal como ofrecido)**

<b>Ingredientes %</b>	<b>Tratamiento 1</b>	<b>Tratamiento 2</b>	<b>Tratamiento 3</b>	<b>Tratamiento 4</b>
Harinilla de trigo	53.14	53.16	57.76	64.25
Torta de soya, 47 %	34.00	34.00	26.00	15.00
Harina de pescado prime, 66%	7.50	1.50	0.00	0.00
Aceite de pescado	2.60	3.01	2.80	2.35
Carbonato de calcio	0.90	1.18	1.18	1.16
Aglutinante	0.80	0.80	0.80	0.80
Sal	0.25	0.38	0.38	0.30
L-Lisina	0.20	0.32	0.41	0.46
DL-Metionina	0.21	0.25	0.27	0.28
Premix acuicultura	0.20	0.20	0.20	0.20
Cl. Colina, 60 %	0.10	0.10	0.10	0.10
Inhibidor de hongos	0.10	0.10	0.10	0.10
Harina de subproducto avícola	0.00	5.00	10.00	15.00
<b>TOTAL</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>
Materia seca	89.950	90.21	90.33	90.41
Proteína bruta	30.000	30.00	30.00	30.00
Fibra	4.980	4.92	5.00	5.15
Grasa	5.800	6.00	6.20	6.35
E.D. Mcal/Kg	3.000	3.00	3.00	3.00
Lisina	1.970	1.97	1.97	1.97
Metionina	0.710	0.67	0.65	0.64
Cistina	0.470	0.51	0.54	0.55
Arginina	2.090	2.09	2.09	2.04
Treonina	1.130	1.13	1.13	1.12
Triptófano	0.390	0.38	0.37	0.31
Valina	1.520	1.53	1.54	1.58
Met.- cis.	1.190	1.19	1.19	1.19
AG omega-3	0.760	0.58	0.52	0.42
AG omega-6	1.770	1.88	1.86	1.81
Fósforo total	0.880	0.90	0.90	0.90
Calcio	0.800	0.82	0.84	0.90
Sodio	0.250	0.26	0.26	0.21

**Tabla 5: Fórmula del Premix-Acuicultura**

Nutriente	Cantidad	Unidad
Vitamina A	14 000 000	UI
Vitamina D3	2 800 000	UI
Vitamina E	140 000	UI
Tiamina (B1)	18	G
Riboflavina (B2)	20	G
Niacina	150	G
Ácido Pantoténico	50	G
Piridoxina (B6)	15	G
Biotina	0.8	G
Ácido fólico	4	G
Ácido ascórbico	600	G
Vitamina B12	0.03	G
Cloruro de colina	600	G
Manganeso	40	G
Hierro	20	G
Zinc	20	G
Cobre	1.5	G
Yodo	1.5	G
Selenio	0.3	G
Cobalto	0.15	G
Antioxidante	120	G
Excipientes c.s.p.	3 000	G

Fuente: DSM Nutritional Products Perú S.A.

### **3.7 Procedimiento Experimental**

#### **3.7.1 Suministro de Alimento**

Los peces recibieron cinco comidas diarias, ofrecidas a las 9:00 am, 11:00 am, 2:00 pm, 4:00 pm y 6:00 pm, asegurándose que todo el alimento ofrecido sea ingerido por los peces (a punto de saciedad). La cantidad de alimento suministrado se fue regulando en el tiempo, aumentando de acuerdo con el crecimiento de los peces.

#### **3.7.2 Manejo de los peces**

Al iniciar la prueba los peces se pesaron obteniendo un peso promedio de 519.57 gramos y una longitud promedio de 27.27 gramos, fueron alimentados por 6 semanas, y se realizaron registros biométricos cada dos semanas, para ir monitoreando el crecimiento.

### 3.7.3 Análisis químico del alimento

El análisis químico de las cuatro dietas experimentales de los diferentes tratamientos fue realizado en el Laboratorio de Calidad Total de la Universidad Nacional Agraria la Molina, UNALM. Se pesó 500 g de cada muestra, depositados y rotulados convenientemente en una bolsa plástica, para luego ser remitidas al laboratorio. Los resultados se presentan en la Tabla 6.

**Tabla 6: Análisis químico de las dietas experimentales (base parcialmente seca)**

<b>Tipo de Análisis</b>	<b>Tratamiento 1</b>	<b>Tratamiento 2</b>	<b>Tratamiento 3</b>	<b>Tratamiento 4</b>
Materia Seca, %	86.2	87.4	86	85.8
Proteína cruda, %	31.5	30.5	31.1	29.8

Fuente: La Molina Calidad Total Laboratorios, 2019

### 3.8 Variables respuesta

#### a. Peso y longitud

Se realizaron al inicio, a la segunda semana (14 días), a la cuarta semana (28 días) y la sexta semana (42 días) del estudio.

#### b. Ganancia de peso e incremento de longitud

La ganancia de peso fue hallada por la diferencia entre el peso final y el peso inicial y el incremento de longitud fue hallado por la diferencia entre el peso final y el peso inicial.

#### c. Ganancia de Biomasa

La ganancia de biomasa fue hallada por diferencia entre la biomasa final e inicial.

#### d. Consumo de alimento

La cantidad de alimento ofrecido fue hasta que el animal llegó al punto de saciedad. Luego, se pesó el alimento restante y por diferencia se obtuvo la cantidad de alimento consumido, cada día se tendrá el consumo total.

#### **e. Conversión alimenticia (CA)**

La conversión alimenticia se determinó con los datos obtenidos en los controles biométricos y el registro de alimento ingerido en cada periodo de muestreo, mediante el empleo de la siguiente expresión:

$$C.A. = \frac{\text{Alimento Consumido}}{\text{Incremento de peso}}$$

#### **f. Tasa Específica de Crecimiento (TEC)**

La tasa de crecimiento específico expresa el crecimiento en peso del pez diariamente, la cual fue determinada mediante la siguiente fórmula:

$$TEC (\%/día) = \frac{\ln(\text{peso final}) - \ln(\text{peso inicial}) \times 100}{\text{Periodo (días)}}$$

#### **g. Retribución económica**

Para determinar la retribución económica del alimento hasta el final del experimento, se consideró la ganancia de peso (kg), el precio del pescado entero (S/ kg), el consumo total del alimento (kg) y el costo del alimento (S/ kg).

### **3.9 Calidad de agua**

El agua utilizada para alimentar el sistema de recirculación del LINAPC viene de la red de agua potable pública del distrito de La Molina. Se realizó la limpieza de los acuarios y filtros dos veces por semana, al igual que el recambio del 80 por ciento de agua del sistema. Los parámetros de calidad de agua se midieron 2 veces por semana (2 veces al día), siendo el punto de medición los acuarios de crecimiento. A continuación, se detallan los equipos utilizados:

- Temperatura: la temperatura se tomó con termómetros digitales. Rango de medición de 0.0 – 60.0°C, precisión 0.01°C; el cual era verificado con el termostato del

Laboratorio. La temperatura ambiental se tomó con un termómetro ambiental de mercurio. Rango de medición de -50.0 – 50.0°C, precisión 1°C. Ambos de marca Sper Scientific.

- Dureza: Se utilizó el kit de tres reactivos La Motte. Rango de medición 0 – 200 ppm, precisión 4 ppm.
- Nitrógeno Amoniacal: Se utilizó el kit colorimétrico de La Motte. Rango de medición de 0.2 – 3.00 mg/l.
- Potencial de hidrógeno (pH): La medida del pH se realizó mediante el phmetro lápiz Phestr 10. Rango de medición de 0.0 – 14.0, precisión 0.1.
- Nitritos: la concentración de nitritos se determinó con el kit colorimétrico Sera. Rango de medición de 0.0 – 5.0 mg/l.
- Oxígeno disuelto (mg/l): Se utilizó un oxímetro PINPOINT II, el cual midió el oxígeno disuelto mediante electrodos.

### **3.9.1 Parámetros de evaluación de calidad del agua**

Los resultados de los parámetros de calidad de agua del experimento se mantuvieron dentro de los rangos recomendados para la especie (Tabla 7).

La temperatura del agua está directamente relacionada con los procesos fisiológicos como la tasa de respiración, eficiencia en la alimentación y asimilación, crecimiento, comportamiento y reproducción (Timmons *et al.*, 2002). Este parámetro alcanzó un valor promedio de 26.72°C en el experimento, estando dentro en el rango recomendado (25 a 32°C) por OLDEPESCA (2010). En el experimento la concentración de oxígeno fue de 7.05 mg/l, estando dentro en el rango recomendado (4 a 12 mg/l) por OLDEPESCA (2010). El resultado se pudo deber a que se mantuvo una baja densidad de peces y al recambio mínimo de agua recomendado.

El cultivo en aguas con excesiva acidez o alcalinidad conlleva a reducciones del nivel de glucosa y proteínas en la sangre, lo que ocasiona un estado de estrés en el animal, lo cual puede afectar a la ganancia de peso de los peces (García *et al.*, 2014). OLDEPESCA (2010) recomienda que los valores óptimos de pH del agua para el paco se encuentran entre 6.5 a 8.5. En el experimento el pH promedio fue de 7.0, encontrándose dentro de lo recomendado.

De acuerdo con OLDEPESCA (2010), niveles de dureza entre 50 y 350 ppm son recomendables para un óptimo desarrollo de la especie. Los valores del ensayo se encuentran dentro de lo recomendado (203.83 ppm).

Da Costa *et al.* (2004) reportaron valores de  $1.82 \pm 0.98$  mg/l de nitritos como tóxicos para gamitanas juveniles (*Colossoma macropomum*), indicando una alta sensibilidad de la especie a este compuesto. Asimismo, el valor promedio de nitritos que se alcanzó en el experimento fue de 0.15 mg/l, estando muy por debajo del valor reportado como tóxico. Por su parte, Salinas (2018) menciona que los procesos de nitrificación del amonio en nitritos pueden verse incrementados por las altas temperaturas características del cultivo de estas especies. El valor de nitrógeno amoniacal promedio fue de 0.23 mg/l.

**Tabla 7: Registro de parámetros de calidad de agua**

Semana	Temperatura °C			O <sub>2</sub> mg/l	pH	Dureza Ppm	Nitritos mg/l	Nitrógeno amoniacal mg/l
	9:00 a. m.	4:00 p. m.	X					
1	26.40	26.70	26.55	6.75	7.10	195.00	0.15	0.20
2	26.45	26.80	26.63	6.90	7.00	203.00	0.20	0.25
3	26.60	27.10	26.85	7.40	6.95	193.00	0.11	0.22
4	26.50	27.00	26.75	7.35	6.85	207.00	0.18	0.24
5	26.65	26.95	26.80	6.90	7.10	215.00	0.25	0.25
6	26.50	27.00	26.75	7.00	7.00	210.00	0.02	0.21
<b>Máximo</b>	26.65	27.10	26.88	7.40	7.10	215.00	0.25	0.25
<b>Mínimo</b>	26.40	26.70	26.55	6.75	6.85	193.00	0.02	0.20
<b>Promedio</b>	26.52	26.93	26.72	7.05	7.00	203.83	0.15	0.23

### 3.10 Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó el Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con cuatro tratamientos (niveles de harina de subproducto avícola 0, 5, 10 y 15 por ciento) y 4 bloques (categorías por peso, pequeños, medianos, grandes y muy grandes), la unidad experimental está definida por cada acuario y conformada por 2 peces.

El modelo aditivo lineal fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \pi_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

$i=1,2,3, 4$  tratamientos

$j=1,2,3, 4$  bloques

$Y_{ij}$  = Observación en la unidad experimental

$\mu$  = Media aritmética general de la población

$\pi_i$  = Efecto del  $i$ -ésimo nivel de harina de subproducto avícola

$\beta_j$  = Efecto del  $j$ -ésimo categoría de peso

$\varepsilon_{ij}$  = Error que se comete al aplicar a la de  $j$ -ésima categoría de peso el  $i$ -ésimo nivel de harina de subproducto avícola

Los datos obtenidos de las variables evaluadas fueron analizados estadísticamente mediante el análisis de Varianza (ANOVA) y prueba de comparación de medias de Tukey. Todos los datos fueron analizados utilizando el Software SAS System for Windows V8 (1998).

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Peso (P), ganancia de peso (GP)

Los pesos obtenidos al inicio y final del experimento, así como la ganancia de peso, se muestran en la Tabla 8 y en los ANEXOS III, IX, X y XI. Al realizar el análisis de variancia no se encontró diferencias significativas ( $P>0.05$ ) entre los tratamientos para el peso inicial, peso final y la ganancia de peso, es decir los peces ganaron peso con similar eficiencia; sin embargo, sí se observaron diferencias de forma numérica, donde el tratamiento 3 (10% de HSA) tuvo mayor peso final y ganancia de peso, mientras que el tratamiento 1 (dieta control) tuvo los valores más bajos. Respecto a los bloques, se encontró diferencias altamente significativas ( $P<0.001$ ) para los pesos iniciales y finales.

Estos resultados coinciden con los reportados por Piñeros *et al.* (2013), quienes realizaron un estudio en pacos juveniles con reemplazo total de la harina de pescado con 30% de HSA, donde no encontraron diferencias significativas para la ganancia de peso. Sin embargo, se han reportado resultados con diferencia significativa en ganancia de peso a favor de la HSA en comparación de la harina de pescado. Entre ellos, Hekmatpour *et al.* (2017) quienes recomiendan una inclusión de HSA de hasta 25% en juveniles de dorada (*Sparidentex hasta*). Por su parte, Pillaca (2019) obtuvo mejores resultados con inclusión de 15% de HSA a comparación de la harina de sangre y de pescado en pacos juveniles. De igual manera, Yousif *et al.* (1996), al evaluar dietas con HSA y harina de sangre, reportaron diferencia significativa a favor de la dieta con 27.14% de inclusión de HSA, en alevines de tilapia (*Oreochromis aureus*).

Parés *et al.* (2014) quienes trabajaron en truchas, reportaron diferencia significativa a favor de la harina de pescado para el peso final, donde la dieta con 59% inclusión de HSA tuvo el menor valor, pero no obtuvieron diferencia significativa para la ganancia de peso. Por otro lado, González-Rodríguez *et al.* (2016), obtuvieron diferencia estadística a favor de la dieta con inclusión de 18.48% de inclusión parcial de HSA. Sin embargo, indicaron que a medida

que se aumentaba la inclusión de HSA, los parámetros se veían afectados, y ello guarda relación con la posible deficiencia de aminoácidos en las dietas a mayor inclusión.

Diversos autores reportan que la HSA puede tener deficiencia de dos de los aminoácidos esenciales, lisina y metionina (Nengas *et al.*, 1999; Watanabe y Pongmaneerat, 1991; citado por Hu *et al.*, 2008). Sin embargo; en la Tabla 8 se puede observar que las dietas con inclusión de HSA tienen mayores valores para peso final y ganancia de peso, superando a la dieta control. Esto indicaría que los peces no fueron afectados por alguna deficiencia de aminoácidos, ya que también tienen los mayores valores para consumo de alimento y por ende de nutrientes (Tabla 9). Asimismo, los niveles de lisina y met.+cist. que requiere el paco en las dietas son 1.78 y 0.56%, respectivamente (Tabla 1); y los valores estimados en las dietas formuladas con HSA fueron 1.97 y 1.49%, respectivamente (Tabla 4), cubriendo los niveles requeridos; lo mismo sucede con los demás aminoácidos.

#### **4.2 Talla (T) y ganancia de talla (GT)**

Los resultados obtenidos de talla inicial, final y del incremento de talla se muestran en la Tabla 8 y en los Anexos VIII, XVII, XVIII y XIX. El análisis de variancia indica que no existen diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) entre los tratamientos para la talla inicial, final e incremento de talla. Sin embargo, se puede observar que la dieta control, numéricamente tiene una mayor talla final y ganancia de talla, respecto a los otros tratamientos. Respecto a los bloques, sí se encontró diferencias altamente significativas ( $P < 0.001$ ) para las tallas iniciales y finales.

Estos resultados coinciden con González-Rodríguez *et al.* (2016), quienes realizaron un experimento en juveniles de tenca (*Tinca tinca L.*) donde probaron diferentes inclusiones de HSA en reemplazo de la harina de pescado, recomendado como inclusión hasta un 18.48% (reemplazo parcial de harina de pescado) sin afectar la talla de los peces. De la misma manera, Hekmatpour *et al.* (2017) no obtuvo diferencia significativa para este parámetro.

**Tabla 8: Efecto de los diferentes niveles de harina de subproducto avícola en el desarrollo productivo de pacos en etapa de acabado**

Parámetros	Niveles de inclusión de harina de subproducto avícola			
	0%	5%	10%	15%
Peso inicial, g	513.28 <sup>a</sup>	522.94 <sup>a</sup>	519.02 <sup>a</sup>	523.04 <sup>a</sup>
Peso final, g	629.05 <sup>a</sup>	642.81 <sup>a</sup>	648.11 <sup>a</sup>	645.31 <sup>a</sup>
<b>Ganancia de peso, g</b>	115.77 <sup>a</sup>	119.88 <sup>a</sup>	129.10 <sup>a</sup>	122.28 <sup>a</sup>
Biomasa inicial, g	1026.56 <sup>a</sup>	1045.88 <sup>a</sup>	1038.03 <sup>a</sup>	1046.07 <sup>a</sup>
Biomasa final, g	1258.10 <sup>a</sup>	1285.63 <sup>a</sup>	1296.23 <sup>a</sup>	1290.62 <sup>a</sup>
<b>Ganancia de biomasa, g</b>	231.54 <sup>a</sup>	239.75 <sup>a</sup>	258.20 <sup>a</sup>	244.55 <sup>a</sup>
Consumo total de alimento por pez, g	186.36 <sup>a</sup>	215.83 <sup>a</sup>	222.44 <sup>a</sup>	226.60 <sup>a</sup>
<b>Conversión alimenticia</b>	1.61 <sup>a</sup>	1.80 <sup>a</sup>	1.72 <sup>a</sup>	1.85 <sup>a</sup>
Talla inicial, cm	27.25 <sup>a</sup>	27.34 <sup>a</sup>	27.31 <sup>a</sup>	27.19 <sup>a</sup>
Talla final, cm	28.75 <sup>a</sup>	28.63 <sup>a</sup>	28.56 <sup>a</sup>	28.58 <sup>a</sup>
<b>Ganancia de talla, cm</b>	1.50 <sup>a</sup>	1.29 <sup>a</sup>	1.25 <sup>a</sup>	1.39 <sup>a</sup>
<b>Tasa específica de crecimiento, %/día</b>	0.48 <sup>a</sup>	0.49 <sup>a</sup>	0.53 <sup>a</sup>	0.50 <sup>a</sup>

\*Letras iguales en una columna indican que no existe diferencia estadística significativa

**Tabla 9: Consumo estimado de los componentes nutricionales de las dietas (g)**

Nutrientes (g)	Niveles de inclusión de harina de subproducto avícola			
	0%	5%	10%	15%
Proteína total	55.91	64.75	66.73	67.98
Fibra	9.28	10.62	11.12	11.67
Grasa	10.81	12.95	13.79	14.39
Lisina	3.67	4.25	4.38	4.46
Metionina	1.32	1.45	1.45	1.45
Triptófano	0.73	0.82	0.82	0.70
Met.+cis.	2.22	2.57	2.65	2.70
AG omega-3	1.42	1.25	1.16	0.95
AG omega-6	3.30	4.06	4.14	4.10

### **4.3 Consumo de alimento**

Los resultados obtenidos del consumo de alimento se muestran en la Tabla 8 y los Anexo V y XV. El análisis de variancia no muestra diferencias significativas ( $P>0.05$ ) para el consumo de alimento entre los tratamientos. Sin embargo, las dietas que contenían HSA, numéricamente presentaron mayor consumo de alimento a comparación de la dieta control. Asimismo, a medida que se incrementó el nivel de inclusión de la HSA en las dietas, también se incrementó el consumo de alimento. De tal manera, que el tratamiento 4 con mayor inclusión de HSA (15%), obtuvo hasta un 17.76% de mayor consumo comparado con la dieta control. Respecto a los bloques, no se encontró diferencias significativas ( $P>0.05$ ).

Estos resultados coinciden con Hernández *et al.* (2010), quienes reportaron que no había diferencia estadística para consumo de alimento en alevines de tilapia entre los tratamientos con 26.5% de HSA y 27% de harina de pescado, a diferencia de la harina de subproducto de cerdo, que sí presentó menor consumo. Por su parte, Webster *et al.* (2015), realizaron una prueba en juveniles de tilapia de Nilo, donde utilizaron dietas con granos secos de destilería, más HSA y harina de soya (con y sin suplementación de metionina y lisina), concluyeron que la dieta que contenía 25% de inclusión de HSA obtuvo mejores resultados para consumo de alimento a comparación de la dieta control ( $P<0.05$ ). Así también Piñeros *et al.* (2013), registraron mayor consumo en juveniles de paco con 30% de HSA, indicando que la HSA puede llegar a ser igual o más palatable que la harina de pescado, lo que puede explicar el mayor consumo, numéricamente hablando, sobre las dietas con inclusión de HSA en comparación con la dieta control.

### **4.4 Conversión alimenticia (CA)**

En la Tabla 8 y los Anexos VI y XVI se observan los resultados de la conversión alimenticia. El análisis de variancia no muestra diferencias significativas entre los tratamientos y los bloques ( $P>0.05$ ). Los valores obtenidos estuvieron entre 1.61 a 1.85, demostrando que los tratamientos tuvieron similar efecto sobre la relación alimento consumido y ganancia de peso. A pesar de que no se presentaron diferencias significativas, numéricamente se observa que la inclusión de HSA en las dietas, disminuyó la conversión alimenticia (hasta 15.12% menos) en comparación a la dieta control, lo que guarda relación con el mayor consumo de alimento para estos tratamientos.

Los resultados coinciden con Piñeros *et al.* (2013) y Pillaca (2019), quienes no obtuvieron diferencias significativas para la conversión alimenticia cuando se incluyó harina de vísceras y HSA en juveniles de paco y Parés *et al.* (2014) en truchas. Asimismo, Hernández *et al.* (2010), quienes incluyeron 26.5% de harina de subproducto avícola de grado alimento para mascotas, no encontraron diferencias significativas en alevines de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*). Los autores señalaron que esto puede atribuirse al alto coeficiente de digestibilidad aparente determinado en materia seca, proteína y de energía de la HSA, siendo sus valores muy similares a la de la harina de pescado.

Partiendo de lo último, el ingrediente utilizado en la presente investigación también fue evaluado por Pillaca (2019) en pacos juveniles, quien reporta un CDA para proteína de 85.39%, para energía 78.40% y para materia seca 71.46%; dichos valores son cercanos a los reportados por Hernández *et al.* (2010) para la HSA, lo que explicaría los resultados obtenidos respecto a los parámetros que se han evaluado.

Por otro lado, Toledo *et al.* (2014) incluyeron 10% de HSA en reemplazo de la harina de pescado en alevines de tilapia del Nilo, encontrando diferencias significativas en la conversión alimenticia a favor de la dieta control. Según los autores esto pudo deberse a limitaciones en el contenido de aminoácidos o al contenido de tejido conectivos huesos y piel, que disminuyen la digestibilidad del ingrediente; sin embargo, como ya se ha mencionado, las dietas formuladas cubren los requerimientos de estos nutrientes. Además, la inclusión tanto de plumas como huesos se da en mínima proporción en la HSA evaluada, lo que se reflejaría en los buenos coeficientes de digestibilidad aparente calculados por Pillaca (2019).

#### **4.5 Tasa de crecimiento específica (TCE)**

En la Tabla 8 y en los Anexos VII y XX se muestran la tasa de crecimiento específico. El análisis de variancia no muestra diferencias significativas ( $P > 0.05$ ), para los tratamientos durante la evaluación. Sin embargo, la inclusión de 10% de HSA en la dieta presenta una mayor TCE, ya que también se obtuvo una mayor ganancia de peso con dicho tratamiento.

Resultados reportados por Yousif *et al.* (1996), coinciden con los de este experimento, ya que el crecimiento de tilapia (*Oreochromis aureus*), no se vio afectado por dietas en las que

la HSA fue la única la fuente de proteína animal, por el contrario, respondieron mejor ante ella a comparación de otras dietas que contenían harina de sangre y harina de pescado. De la misma manera, Piñeros *et al.* (2013) en juveniles paco y Parés *et al.* (2014) en truchas, no mostraron diferencias significativas.

Hernández *et al.* (2010) obtuvieron mejores resultados a favor de la utilización de la HSA (26.5%) en comparación a la harina de pescado ( $P < 0.05$ ) en alevines de tilapia del Nilo, respecto a la tasa de crecimiento específica. Es importante mencionar que la evaluación de dicho experimento se realizó con peces de pesos menores, los cuales tienden a tener una TEC más eficiente. Así también lo reportaron Hekmatpour *et al.* (2017) en juveniles de dorada (*Sparidentex hasta*) con una inclusión de hasta 25%.

#### **4.6 Retribución económica**

En la Tabla 10 se muestran los resultados sobre el análisis económico de las dietas experimentales por kilogramo de peso de pescado entero, teniendo en cuenta los precios de los insumos de las dietas suministradas y del precio de venta de la carne del pez.

La mayor retribución económica (16.28%) se logró con el tratamiento 3, seguido del tratamiento 4 con 10.52% y el tratamiento 2 con 7.05% de retribución económica; mientras que el peor rendimiento económico se obtuvo con el tratamiento 1 o dieta control. De estos resultados, podemos indicar que el reemplazo total de la harina de pescado por HSA (tratamientos 3 y 4) sí interfiere directamente en los costos de alimentación de manera positiva; ya que el precio actual de la harina de pescado triplica al de la HSA; y además, se obtuvo mayor ganancia de peso numérica con dichos tratamientos.

**Tabla 10: Retribución económica**

<b>Rubro</b>	<b>Niveles de inclusión de harina de subproducto avícola</b>			
	<b>0%</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>15%</b>
Ganancia de peso, kg	0.116	0.120	0.129	0.122
Precio del pescado entero (S/kg)	15.00	15.00	15.00	15.00
<b>Ingresos (soles)</b>	1.737	1.798	1.936	1.834
Consumo (kg)	0.232	0.240	0.258	0.245
Costo del alimento (S/ kg)	1.890	1.700	1.650	1.630
<b>Costo total (S/)</b>	0.438	0.408	0.426	0.399
Retribución económica (S/) por Kg de ganancia de peso	1.299	1.391	1.510	1.436
<b>Retribución económica relativa (%)</b>	<b>100.00</b>	<b>107.05</b>	<b>116.28</b>	<b>110.52</b>

\*Los precios están referidos al mes de octubre del 2019

## **V. CONCLUSIONES**

De acuerdo a los resultados obtenidos en las condiciones detalladas en la presente investigación, se concluye que:

1. La inclusión de 15 por ciento de harina de subproducto avícola en dietas para paco en etapa de acabado, no afecta el comportamiento productivo en el peso, crecimiento, longitud, consumo de alimento, conversión alimentaria ni la tasa de crecimiento específico.
2. Los niveles de inclusión entre 10 y 15 por ciento de harina de subproducto avícola, generaron mayor retribución económica del 16.28 y 10.52 por ciento, respectivamente; debido al reemplazo total de la harina de pescado.

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda la inclusión de harina de subproducto avícola en un nivel de 10 a 15 por ciento, en dietas de acabado para pacos.
2. Realizar evaluaciones en diferentes etapas, como inicio, crecimiento y reproducción en paco y otras especies acuícolas.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aldrich, C.G. y Daristotle, L. (1998). Petfood and the economic impact. Proc. California Animal Nutrition Conference, Fresno, CA. pp. 140-148.
- Aliaga, P. (2004). Variabilidad genética de *Colossoma macropomum* y *Piaractus brachypomus* en la región del Alto Madera (Amazonía Boliviana) para el análisis del Polimorfismo de la longitud de secuencias intrónicas (Epic-Pcr) (tesis de pregrado). Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. Pp. 103.
- Ayoola, A. (2010). Replacement of Fishmeal with Alternative Protein Source in Aquaculture Diets. Thesis Mg. Sc. Nutrition and Food Science. EE.UU. North Carolina State University.
- Bicudo, A; Sado, R; Cyrino, J. (2009). Growth and haematology of pacu, *Piaractus mesopotamicus*, fed diets with varying protein to energy ratio. *Aquaculture Research*. 40, 846 – 495.
- Briones, K. (2019). Digestibilidad de ingredientes proteicos y requerimiento de proteína para el paco (*Piaractus brachypomus*) en la etapa de alevinos (tesis de maestría). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Brix, O.; Thorkildsen S.; Colosimo, A. (2004). Temperature acclimation modulates the oxygen binding properties of the Atlantic cod (*Gadus morhua L.*) genotypes - HbI\*1/1, HbI\*1/2, and HbI\*2/2 by changing the concentrations of their major hemoglobin components (results from growth studies at different temperatures). *Comparative Biochemistry and Physiology A* 138: 241-51

- Brooks, P. (1989). Technical Service Publication, National Renderers Association, Inc. Canadian Food Inspection Agency, 1999
- Bureau, D. P. (1996). Nutritional value of rendered animal protein ingredients for salmonids in the 90'S. pp. 239-246 In: The Canadian Feed Industry Association and 1996 Eastern Nutrition Conference. Dartmouth, Nova Scotia.
- Bureau, D.P.; Harris, A.M.; Cho, C.Y. (1999). Apparent digestibility of rendered animal protein ingredients for rainbow trout. *Aquaculture*, 180, 345–358.
- Buschmann, A. (2001). Impacto ambiental de la acuicultura el estado de la investigación en Chile y el mundo un análisis bibliográfico de los avances y restricciones para una producción sustentable en los sistemas acuáticos. Departamento de Acuicultura Universidad de Los Lagos Osorno, Chile. Terram publicaciones. 10- 12.
- Cho, C. y Slinger, S. (1979). Apparent digestibility measurement in feedstuffs for rainbow trout. In: Proceedings of World Symposium on Finfish Nutrition and Fishfeed Technology (Halver, J.E. & Tiews, K. eds), Hamburg, 1978, Vol. II, pp. 239–247.
- Crovatto, G; Salaro, A; Sampaio, J; Souza, A; Vasconcelo, D; Solis, L. (2010). Growth performance and body composition of giant trahira fingerlings fed diets with different protein and energy levels. *Pesq. Agropec.* 45(9):1021-1027.
- Dabrowski, K; Rinchar, J; Ottobre, J; Alcántara, F; Padilla, P; Ciereszko, A; De Jesús, M; Kohler, C. (2003). Effect of Oxygen Saturation in Water on Reproductive Performances of Pacu *Piaractus brachypomus*. *Journal of the World Aquaculture Society*. 34(4):441-449
- Da Costa, O.; Ferreira, D.; Mendonca, F.; Fernandes, M. (2004). Susceptibility of the Amazonian fish, *Colossoma macropomum* (Serrasalminae), to short-term exposure to nitrite. *Aquaculture*. 232:627-636

- Dale, N. (1997). La Utilización de los Subproductos de la Industria Avícola. Industria Avícola. Abr. 38p.
- De Paz, SF. (1993). Procesado y calidad de las harinas de carne, carnes desangradas y carnes ricas en grasa. FEDNA (Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal). Barcelona, España.
- Deza, S; Quiroz, S; Rebaza, M; Rebaza, C. (2002). Efecto de la densidad de siembra en el crecimiento de *Piaractus brachypomus* (cuvier, 1818) “Paco” en estanques seminaturales de Pucallpa. Folia Amazónica. 13(1):49-64
- Dong, M.F.; Hardy, R.W.; Haasd, F.N.; Barrows, F.T.; Rasco, B.; Fairgrieve, W.; Forster, I. (1993). Chemical composition and digestibility of poultry by-product meals for salmonid diets. Aquaculture. 116: 149-158.
- FONDEPES. (2004). Manual de cultivo de gamitana. Perú. 106 p.
- Francis, G.; Makkar, H.P.S.; Becker, K. (2001). Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. Aquaculture 199,197–227.
- García, L; Espinosa, M; Torres, W; Baldisserotto, B. (2014). Dietary protein levels in *Piaractus brachypomus* submitted to extremely acidic or alkaline pH. Ciência Rural, Santa Maria. 44(2):301-306.
- González-Rodríguez, A.; D Celada, J.; Carral, J.; Sáez-Royuela, M.; García, V.; Fuertes, J. (2016). Evaluation of poultry by-product meal as partial replacement of fish meal in practical diets for juvenile tench (*Tinca tinca L.*). Aquaculture Research, 2016, vol.47, Pp.1612–1621.
- Goulding, M. (1981). The fishes and the forest: Explorations in Amazonian natural history. University of California Press. 281 p.

- Guillaume, J., Kaushik, S., Bergot, P., Metailler. (2004). Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos. España. Pg. 74, 94-95.30
- Gutiérrez, N. (2018). Evaluación comparativa de tres perfiles de proteína ideal para pacos (*Piaractus brachypomus*) en la etapa de crecimiento (tesis de maestría). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Gutiérrez, W.; Zaldívar, J.; Deza, S.; Rebaza, M. (1996). Determinación de los requerimientos de proteína y energía de juveniles de "paco" (*Piaractus brachypomus*), Pisces Characidae. Folia Amazónica 8(2): 35-45.
- Hamilton, C.R. (2004). Real and Perceived Issues Involving Animal Proteins. In Protein Sources for the Animal Feed Industry. Expert Consultation and Workshop. Bangkok, April 29, 2002. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. pp. 255-276.
- Hekmatpour, F.; Kochanian, P.; Marammazi, J.; Zakeri, M.; Mousavi, S. (2017). Inclusion of poultry by-product meal in the diet of Sparidentex hasta: Effects on production performance, digestibility and nutrient retention. Animal Feed Science and Technology Volume 241. July 2018. Pp. 173-183
- Hereña, R. (2002). Evaluación de la harina de vísceras de pollo en reemplazo de la harina de pescado en el engorde de machos de la codorniz japonesa (tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Hernández, C.; Olvera-Novoa, M.; Hardy, R.; Hermosillo, A.; Reyes, A.; González, B. (2010). Complete replacement of fish meal by porcine and poultry by-product meals in practical diets for fingerling Nile tilapia *Oreochromis niloticus*: digestibility and growth performance. Aquaculture Nutrition, 2010, vol. 16., Pp. 44-53.
- Hu, M.; Wang, Y.; Wang, Q.; Zhao, M.; Xiong, B.; Quian, X.; Zhao, Y.; Luo, Z. (2008). Replacement of fish meal by rendered animal protein ingredients with lysine and methionine supplementation to practical diets for gibel carp, *Carassius auratus gibelio*. Aquaculture 275 (2008) 260-265.

- Landines, M; Rodríguez, L.; Rodríguez, D. (2011). Estrategias de alimentación para cachama y yamú a partir de prácticas de restricción alimenticia. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Lauzanne, L. y Loubens, G. (1985). Peces del río Mamoré. Orstom-Cordebeni-UTB: 1985.
- Macavilca, Y. (2013). Evaluación del concentrado proteico de subproducto de camal avícola utilizando tres tratamientos de alimentación en pollos de carne (tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Marchán, A. (2012). Evaluación de un concentrado proteico de subproductos de camal avícola en dietas de postura sobre el comportamiento productivo de la codorniz japonesa (*coturnix coturnix japónica*) (tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Meeker, D.L. y Hamilton, C.R. (2006). An overview of the rendering industry. Essent. Rendering Nacional Renderers Association. Virginia – USA.
- Mendoza, R.; Aguilera, C.; Montemayor, J. (2000). Utilización de subproductos avícolas en las dietas para organismos acuáticos. pp 398-439 En: Civera-Cerecedo, R., Pérez-Estrada, C.J., Ricque-Marie, D. y Cruz-Suárez, L.E. (Eds.) Avances en Nutrición Acuícola IV. Memorias del IV Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. Noviembre 15-18, 1998. La Paz, B.C.S., México.
- MINAGRI. (2017). Anuario Estadístico de la Producción Pecuaria y Avícola 2017. Disponible en <http://siea.minag.gob.pe/siea/sites/default/files/anuario-produccion-pecuaria-2017-261118.pdf>
- Miranda, J. (2018). Digestibilidad de nutrientes y determinación del requerimiento energético de juveniles de paco (*Piaractus brachypomus*) (tesis de maestría). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

- National Renderers Association (NRA). (2008). Pocket information manual a buyer's guide to rendered products. Alexandria, Virginia, USA.
- National Research Council (NRC). (2011). Nutrient requirements of fish. National Academy Press, Washington, D.C. USA.
- Nengas, I.; Alexis, M.; Davies, D. (1999). High inclusion levels of poultry meals and related byproducts in diets for gilthead seabream *Sparus aurata* L. Aquaculture, 1999. Vol.179. Pp.13-23
- Ochoa, D. (2018). Estimación del requerimiento de aminoácidos esenciales del paco (*Piaractus Brachypomus*) en base a la composición de aminoácidos en el músculo. (tesis de maestría). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- OLDEPESCA. (2010). Estudio sobre los efectos del cambio climático en las especies acuícolas más importantes de la región, junio 2009. (21º: 2010: San Francisco de Campeche, México). Memorias de la XXI Conferencia de Ministros. San Francisco de Campeche (México).
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2018). El estado mundial de la pesca y acuicultura 2018. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible. Roma. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- Parés-Sierra, G.; Durazo, E.; Ponce, M.; Badillo, B.; Correa-Reyes G.; Viana, M. (2014). Partial to total replacement of fishmeal by poultry by-product meal in diets for juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and their effect on fatty acids from muscle tissue and the time required to retrieve the effect. Aquaculture Research, 2014, vol. 45, Pp. 1459–1469.
- Peñuela, Z.; Hernández, G.; Corredor, J.; Cruz, P. (2007). Consumo de oxígeno en cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) durante diferentes etapas de desarrollo corporal. Orinoquia, vol. 11, N°1, 2007, pp. 49-55 Universidad de Los Llanos Meta, Colombia.

- Pillaca, R. (2019). Valor nutritivo del subproducto y harina de sangre avícola y efecto en la performance de juveniles de paco (*Piaractus brachypomus*) (tesis de maestría). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Piñeros, A.; Gutiérrez, M.; Castro, S. (2013). Sustitución total de la harina de pescado por subproductos avícolas suplementados con aminoácidos en dietas para juveniles de *Piaractus brachypomus*, Cuvier 1818. Redalyc. Vol. 18, No. 2, pp. 13-24.
- PRODUCE. (2016). Anuario Estadístico Pesquero y Acuícola. Disponible en <http://www.produce.gob.pe/images/stories/Repositorio/estadistica/anuario/anuario-estadistico-pesca-2015.pdf>
- Saavedra, U. (2008). Evaluación de la inclusión de harina de plumas hidrolizada en dietas de alevines de tilapia roja (*Oreochromis spp.*) (tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Saint, U. (1983). Investigations on the respiration of the neotropical fish, *Colossoma macropomum* (Serrasalmidae). The influence of weight and temperature on the routine oxygen consumption. Amazoniana, 7: 433-43.
- Saint, U. (1986). Potential for aquaculture of South American freshwater fishes: a review. Aquaculture 54: 205 - 40.
- Salinas, A. (2018). Niveles de energía y relación proteína a energía sobre el desempeño productivo y composición corporal del paco (*Piaractus brachypomus*) (tesis de maestría). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Sandbol, P. (1993). Nueva tecnología en la producción de harina de pescado para piensos: implicaciones sobre la evaluación de la calidad. En: IX Curso de Especialización FEDNA. Barcelona, España: FEDNA. 8 p
- Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA). (2009). Resolución Jefatural N° 064-2009-AG-SENASA. La Molina, 6 de marzo de 2009.

- Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA). (2016). Resolución Directoral N°0030-2016-MINAGRI-SENASA-DSA. La Molina, 28 de diciembre de 2016.
- Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA). (2017). Resolución Directoral N°0026-2017-MINAGRI-SENASA-DSA. La Molina, 25 de octubre de 2017.
- Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA). (2019). Resolución Directoral N°0039-2019-MINAGRI-SENASA-DSA. La Molina, 4 de julio de 2019.
- Severi, W.; Rantin, F.; Fernandez, M. (1997). Respiratory gill surface of the serrasalmid fish *Piaractus brachypomus*. *Journal of Fish Biology* 50:127-136.
- Schleser, D. (1997). *Piranhas: A Complete Owner's Manual*. Hauppauge, NY: Barron's Educational Series, Inc.
- Shapawi, R.; Ng, W-K.; Mustafa, S. (2007). Replacement of fish meal with poultry by-product meal in diets formulated for the humpback grouper, *Cromileptes altivelis*. *Aquaculture* 273 (2007) 118–126
- Tacon, A. G. J. (1984). Feed ingredients for carnivorous fish species: Alternatives to fishmeal and other fishery resources. Rome, FAO Fisheries Circular.: 89-114.
- Tacon, A.G.J. (1993). Feed Ingredients for Warmwater Fish: Fish Meal and Other Processed Feedstuffs. FAO Fish Circ. No. 856, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Tacon, A.G.J. y Metian, M. (2008). Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aqua feeds: trends and future prospects. *Aquaculture* 285(1–4):146–158.
- Timmons, M.B; Ebeling, J.M; Wheaton, F.W; Summerrfelt, S.T. Y Vinci, B.J. (2002). *Recirculating aquaculture systems*. 2nd ed. New York: Cayuga Aqua Venture. 769p.

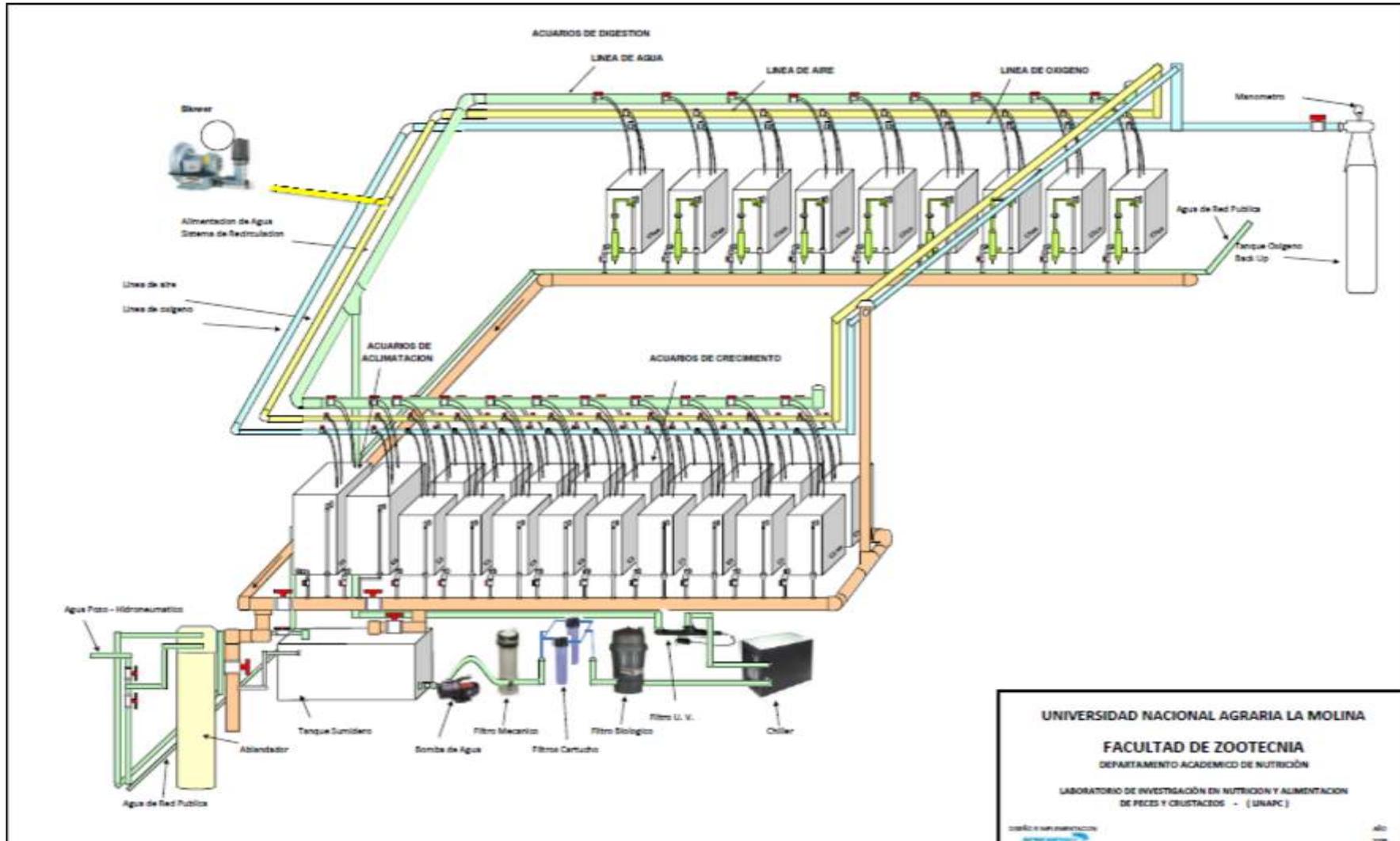
- Toledo, J.; Llanes, J.; Romero, C. (2014). Sustitución de la harina de pescado por harina de subproductos de aves en la alimentación de alevines de tilapias del Nilo (*Oreochromis niloticus*). Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras. Enero-junio, 2014, vol. 31, NO. 1, ISSN 0138-8452, pp. 22-24.
- Tomalá, D.; Chavarría, J.; Escobar, E. (2014). Evaluación de la tasa de consumo de oxígeno de *Colossoma macropomum* en relación al peso corporal y temperatura del agua. Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE), Ecuador. Facultad de Pesquería, Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú. Lat. Am. J. Aquat. Res., 42(5): 971-979, 2014.
- Tueros, G. (2018). Comportamiento productivo y composición lipídica del paco (*Piaractus brachypomus*) alimentado con diferentes relaciones de ácidos grasos omega 6 a 3 2018. Digestibilidad de ingredientes y determinación del requerimiento de proteína para el paco (*Piaractus brachypomus*) (tesis de maestría). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Valbuena, M.; Cruz, P.; Velasco, Y. (2006). Efecto del peso corporal sobre el consumo de oxígeno en yamú (*Brycon amazonicus* Spix & Agassiz 1829): Reporte preliminar. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias 19: 175 - 179.
- Valbuena, R. y Cruz, P. (2006). Efecto del peso corporal y temperatura del agua sobre el consumo de oxígeno de tilapia roja (*Oreochromis sp*). Orinoquía 10(1): 57 - 63.
- Vásquez-Torres, W; Arias-Castellanos, J. (2012). Effect of Dietary carbohydrates and lipids on growth in cachama (*Piaractus brachypomus*). Aquaculture Research 1-9.
- Verástegui, M. (2007). Determinación de la Energía Metabolizable Aparente Corregida por Nitrógeno (EMAn) para Aves de la Harina de Subproducto de Aves. Tesis ing. Zootec. UNALM. Lima-Perú.

- Vergara, V.; Lafeta, Y.; Camacho, R. (2011). Determinación de la digestibilidad de Ingredientes y el requerimiento de proteína y energía digestible en el paco (*Piaractus brachypomus*). IV Congreso Internacional de Acuicultura. Simposio llevado a cabo en la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Watson, H. (2006). Poultry meal vs poultry byproduct meal. Dogs. Canadá. 2006.
- Webster, C.D.; Rawles, S.D.; Koch, J.F.; Thompson, K.R., Kobayashi, Y.; Gannam, A.L.; Twibell, R.G.; Hyde, N.M. (2015). Bio-Ag reutilization of distiller's dried grains with solubles (DDGS) as a substrate for black soldier fly larvae, *Hermetia illucens*, along with poultry by-product meal and soybean meal, as total replacement of fish meal in diets for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture Nutrition* 2015, vol. 22., Pp. 976-988.
- Wilson, R.; Halver, J. (1986). Protein and amino acids requirements of fishes. *Ann. Rev. Nutr.* 1986. 6:225-44.
- Woynarovich, A. (1998). Guía detallada para la producción de alevines de gamitana, paco y caraña. Edición fondo nacional de desarrollo pesquero FONDEPES. Lima - Perú. Pp. 7 - 41.
- Yousif, O.; Oman, M.; Alhadrami, G. (1996). Evaluation of dates and date pits as dietary ingredients in tilapia (*Oreochromis aureus*) diets differing in protein sources. *Bioresource Technology* 57 (1996) 81-85.
- Yu, Y. (2004). Replacement of fishmeal with poultry byproduct meal and meat and bone meal in shrimp, tilapia and trout diets. In: Cruz Suárez, L.E., Ricque Marie, D., Nieto López, M.G., Villarreal, D., Scholz, U. y González, M. *Avances en Nutrición Acuícola VII. Memorias del VII Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*. Hermosillo, Sonora, México.
- Zamora, S. y Cruz, V. (2009). La nutrición y alimentación en piscicultura. Fundación Observatorio Español de Acuicultura Consejo Superior de Investigaciones

Científicas. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid, España.

## **VIII. ANEXOS**

# ANEXO I. Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos.



## 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 360Lt.	Recepción directa de agua del ablandador. Consta de un desagüe por rebose y una salida hacia la bomba de agua.
Bomba de agua	1HP 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 Esterilizador UV	2HP de potencia 25 watts	Enfría o calienta el agua entre n rango de 13 – 32 °C. 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)	1/3HP 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 crecimiento	18 unidades	Alberga a los peces durante la evaluación. Cada acuario de fibra de vidrio tiene capacidad de 55 a 75 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. Peso y ganancia de peso (g)**

Tratamiento	Repetición	Días				Ganancia de peso (g)
		0	14	28	42	
T-1	B1	572.57	608.75	653.75	698.00	125.44
	B2	541.41	575.05	610.55	650.61	109.20
	B3	489.78	505.82	545.77	613.22	123.44
	B4	469.58	504.39	534.54	574.58	105.01
T-2	B1	576.98	606.93	642.60	685.10	108.12
	B2	540.03	584.83	640.08	699.58	159.55
	B3	503.30	531.37	563.87	608.97	105.68
	B4	471.45	496.55	531.50	577.62	106.17
T-3	B1	570.55	616.80	674.30	737.10	166.55
	B2	537.62	573.02	617.32	664.51	126.89
	B3	502.79	539.70	581.10	623.09	120.30
	B4	465.11	494.95	532.15	567.76	102.65
T-4	B1	570.51	608.91	653.91	698.11	127.61
	B2	542.29	573.27	612.17	662.07	119.78
	B3	509.81	539.51	576.56	622.96	113.16
	B4	469.54	504.24	544.39	598.11	128.57

**ANEXO IV. Ganancia de biomasa (g)**

<b>Tratamiento</b>	<b>Repetición</b>	<b>Biomasa inicial</b>	<b>Biomasa final</b>	<b>Ganancia biomasa (g)</b>
T-1	B1	1145.13	1396.00	250.87
	B2	1082.82	1301.21	218.39
	B3	979.56	1226.44	246.88
	B4	939.15	1149.16	210.01
T-2	B1	1153.96	1370.19	216.23
	B2	1080.05	1399.15	319.10
	B3	1006.59	1217.94	211.35
	B4	942.90	1155.23	212.33
T-3	B1	1141.09	1474.19	333.10
	B2	1075.24	1329.02	253.78
	B3	1005.58	1246.18	240.60
	B4	930.22	1135.52	205.30
T-4	B1	1141.01	1396.22	255.21
	B2	1084.58	1324.13	239.55
	B3	1019.61	1245.92	226.31
	B4	939.08	1196.22	257.14

**ANEXO V. Consumo de alimento acumulado (g)**

<b>Tratamiento</b>	<b>Repetición</b>	<b>Días</b>		
		<b>14</b>	<b>28</b>	<b>42</b>
T-1	B1	143.95	261.37	430.05
	B2	119.51	200.1	300.25
	B3	125.78	255.84	399.46
	B4	95.47	239	361.09
T-2	B1	150.5	304.54	405.31
	B2	145.9	363.38	564.35
	B3	138.99	228.34	390.01
	B4	124.89	221.6	366.99
T-3	B1	159.62	355.59	587.31
	B2	130.64	290.94	460.5
	B3	109.87	255.93	401.2
	B4	90.33	200.5	330.5
T-4	B1	166.21	370.4	515.82
	B2	119.82	242.94	384.41
	B3	135.66	323.51	492.21
	B4	134.67	264.32	420.37

## ANEXO VI. Conversión alimenticia

Tratamiento	Repetición	Consumo total/ pez	Ganancia de peso	C.A.	Promedio
T-1	B1	215.03	125.44	1.71	1.61
	B2	150.13	109.20	1.37	
	B3	199.73	123.44	1.62	
	B4	180.55	105.01	1.72	
T-2	B1	202.66	108.12	1.87	1.80
	B2	282.18	159.55	1.77	
	B3	195.01	105.68	1.85	
	B4	183.50	106.17	1.73	
T-3	B1	293.66	166.55	1.76	1.72
	B2	230.25	126.89	1.81	
	B3	200.60	120.30	1.67	
	B4	165.25	102.65	1.61	
T-4	B1	257.91	127.61	2.02	1.85
	B2	192.21	119.78	1.60	
	B3	246.11	113.16	2.17	
	B4	210.19	128.57	1.63	

## ANEXO VII. Tasa de crecimiento específico

Tratamiento	Repetición	Peso inicial	Peso final	TCE	Promedio
T-1	B1	572.57	698.00	0.47	0.48
	B2	541.41	650.61	0.44	
	B3	489.78	613.22	0.54	
	B4	469.58	574.58	0.48	
T-2	B1	576.98	685.10	0.41	0.49
	B2	540.03	699.58	0.62	
	B3	503.30	608.97	0.45	
	B4	471.45	577.62	0.48	
T-3	B1	570.55	737.10	0.61	0.53
	B2	537.62	664.51	0.50	
	B3	502.79	623.09	0.51	
	B4	465.11	567.76	0.47	
T-4	B1	570.51	698.11	0.48	0.50
	B2	542.29	662.07	0.48	
	B3	509.81	622.96	0.48	
	B4	469.54	598.11	0.58	

### ANEXO VIII. Ganancia de talla (cm)

Tratamiento	Repetición	Talla inicial (cm)	Talla final (cm)	Ganancia de talla (cm)
T-1	B1	28.1	29.75	1.65
	B2	28	28.8	0.8
	B3	27.15	29.35	2.2
	B4	25.75	27.1	1.35
T-2	B1	28.45	28.95	0.5
	B2	27.25	29.6	2.35
	B3	27.55	27.9	0.35
	B4	26.1	28.05	1.95
T-3	B1	28.35	29.9	1.55
	B2	27.7	29	1.3
	B3	26.7	28.6	1.9
	B4	26.5	26.75	0.25
T-4	B1	28.05	28.85	0.8
	B2	27.5	28.75	1.25
	B3	27.3	28.8	1.5
	B4	25.9	27.9	2

### ANEXO IX. Análisis de variancia del peso inicial

FV	GL	SC	CM	F-value	P-value	Sig.
Tratamiento	3	252.74775	84.24925	0.95	0.456	ns
Bloque	3	25410.813	8470.271	95.68	<.0001	**
Error	9	796.755	88.52833			
Total	15	26460.316	2			

C.V.= 1.810911

ns: no significativo

\*\* : altamente significativo

### ANEXO X. Análisis de variancia de peso final

FV	GL	SC	CM	F-value	P-value	Sig.
Tratamiento	3	859.38427	286.46142	0.82	0.5129	ns
Bloque	3	37828.0504	12609.35	36.27	<.0001	**
Error	9	796.755	88.52833			
Total	15	26460.3162				

C.V.= 2.907202

ns: no significativo

\*\* : altamente significativo

### ANEXO XI. Análisis de variancia de la ganancia de peso

FV	GL	SC	CM	F-value	P-value	Sig.
Tratamiento	3	373.97535	124.65845	0.32	0.81	ns
Bloque	3	1262.8269	420.9423	1.08	0.4038	ns
Error	9	3491.89045	387.98783			
Total	15	5128.6927				

C.V.= 16.17757

ns: no significativo

### ANEXO XII. Análisis de variancia de biomasa inicial

FV	GL	SC	CM	F-value	P-value	Sig.
Tratamiento	3	1011.2203	337.0734	0.95	0.456	ns
Bloque	3	101640.8633	33880.288	95.67	<.0001	**
Error	9	3187.2067	354.1341			
Total	15	105839.2904				

C.V.= 1.810973

ns: no significativo

\*\* : altamente significativo

### ANEXO XIII. Análisis de variancia de biomasa final

FV	GL	SC	CM	F-value	P-value	Sig.
Tratamiento	3	3437.9086	1145.9695	0.82	0.5129	ns
Bloque	3	151307.4420	50435.814	36.27	<.0001	**
Error	9	12514.1111	1390.4568			
Total	15	167259.4616				

C.V.= 2.907184

ns: no significativo

\*\* : altamente significativo

### ANEXO XIV. Análisis de variancia de la ganancia de biomasa

FV	GL	SC	CM	F-value	P-value	Sig.
Tratamiento	3	1496.78237	498.92746	0.32	0.8099	ns
Bloque	3	5050.90072	1683.6336	1.08	0.4039	ns
Error	9	13970.11401	1552.23489			
Total	15	20517.79709				

C.V.= 16.17942

ns: no significativo

### ANEXO XV. Análisis de variancia del consumo total de alimento por pez

FV	GL	SC	CM	F-value	P-value	Sig.
Tratamiento	3	3967.22872	1322.4096	0.88	0.4853	ns
Bloque	3	6631.27197	2210.424	1.48	0.2852	ns
Error	9	13464.1778	1496.0198			
Total	15	24062.6785				

C.V.= 18.17504

ns: no significativo

**ANEXO XVI. Análisis de variancia de la conversión alimenticia**

FV	GL	SC	CM	F-value	P-value	Sig.
Tratamiento	3	0.14541875	0.0484729	1.91	0.1985	ns
Bloque	3	0.13056875	0.0435229	1.71	0.2331	ns
Error	9	0.22840625	0.0253785			
Total	15	0.50439375				

C.V.= 9.132567

ns: no significativo

**ANEXO XVII. Análisis de variancia de talla inicial**

FV	GL	SC	CM	F-value	P-value	Sig.
Tratamiento	3	0.05421875	0.0180729	0.15	0.9247	ns
Bloque	3	10.0817188	3.3605729	28.56	<.0001	**
Error	9	1.05890625	0.1176563			
Total	15	11.1948438				

C.V.= 1.257745

ns: no significativo

\*\* : altamente significativo

**ANEXO XVIII. Análisis de variancia de talla final**

FV	GL	SC	CM	F-value	P-value	Sig.
Tratamiento	3	0.40221875	0.13407292	0.98	0.4433	ns
Bloque	3	9.89071875	3.29690625	24.16	0.0001	**
Error	9	1.22820625	0.13646736			
Total	15	11.52114375				

C.V.= 1.261798

ns: no significativo

\*\* : altamente  
significativo

**ANEXO XIX. Análisis de variancia de ganancia de talla**

FV	GL	SC	CM	F-value	P-value	Sig.
Tratamiento	3	0.40700000	0.13566667	1.85	0.2080	ns
Bloque	3	0.11675000	0.03891667	0.53	0.6720	ns
Error	9	0.65905000	0.07322778			
Total	15	1.18280000				

C.V.= 1.1828000

ns: no significativo

**ANEXO XX. Análisis de variancia de la tasa de crecimiento específico**

FV	GL	SC	CM	F-value	P-value	Sig.
Tratamiento	3	0.146625	0.048875	0.67	0.591	ns
Bloque	3	0.372625	0.1242083	1.71	0.235	ns
Error	9	0.655525	0.0728361			
Total	15	1.174775				

C.V.= 9.022371

ns: no significativo