

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN NUTRICIÓN**



**“VALOR NUTRITIVO DEL SUBPRODUCTO Y HARINA DE
SANGRE AVÍCOLA Y EFECTO EN LA PERFORMANCE DE
JUVENILES DE PACO (*Piaractus brachypomus*)”**

Presentada por:

ROXANA PILLACA LLAMOCCA

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO MAGISTER
SCIENTIAE EN NUTRICION**

LIMA – PERÚ

2020

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN NUTRICIÓN**

**“VALOR NUTRITIVO DEL SUBPRODUCTO Y HARINA DE
SANGRE AVÍCOLA Y EFECTO EN LA PERFORMANCE DE
JUVENILES DE PACO (*Piaractus brachypomus*)”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
MAGISTER SCIENTIAE**

Presentada por:

ROXANA PILLACA LLAMOCCA

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Mg.Sc. Jessie Marina Vargas Cárdenas

PRESIDENTE

Mg.Sc. Víctor Vergara Rubín

PATROCINADOR

Mg.Sc. Victor Hidalgo Lozano

MIEMBRO

Ph.D. Víctor Guevara Carrasco

MIEMBRO

DEDICATORIA

A Dios,

En memoria de mi padre Armando,

A mi madre Ana y mi tía Emilia por su inmenso cariño y apoyo incondicional.

A mi familia y amigos por ser mi motivación e impulso.

A Kili y Nieves mis compañeros de casa.

AGRADECIMIENTOS

Al CONCYTEC-FONDECYT por el apoyo financiero para realizar la maestría y la colaboración en la investigación

A mi patrocinador Mg Sc. Víctor Vergara por su orientación y apoyo en la realización del presente trabajo.

A los miembros del Jurado de Tesis: Mg Sc Jessie M. Vargas Cárdenas, Ph.D. Víctor Guevara y Mg Sc Victor Hidalgo Lozano, por sus estrictas correcciones para la realización del trabajo.

Al Ing. Jorge Rivadeneyra Pizarro encargado del LINAPC y a la Ing. Andrea Marchán Timorán, por sus consejos y apoyo en la etapa experimental.

A mis queridos amigos Cynthia, Dely, Masuli, Liz, Julio, David, Geraldine, Norah y Heymi que hicieron de esta investigación una experiencia inolvidable.

Ing Jairo Luis Zare Vergara por sus consejos durante la maestría.

A mi alma mater la Universidad Nacional Agraria la Molina.

A mi familia que es y será el motor de mi vida.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar el valor nutritivo de harina de subproducto avícola (HSA) y harina de sangre avícola (HS) en juveniles de paco (*Piaractus brachypomus*) evaluando la digestibilidad y energía digestible; así como el efecto en la performance productiva. Para hallar los coeficientes de digestibilidad aparente se utilizaron acuarios con sistema tipo “*Guelp*” para la colecta de heces y como indicador el óxido de cromo; los peces (336 ± 0.80 g) fueron alimentados hasta alcanzar el punto de saciedad con raciones que contenían 69.5 por ciento de la dieta referencial, 30 por ciento del ingrediente evaluado y 0.5 por ciento de óxido crómico. Para la determinación del efecto en la performance, los peces (362 ± 0.75 g) fueron alimentados durante 42 días con 5 dietas isoprotéicas (32%) e isoenergéticas (3.2 Mcal /kg), un control y las otras cuatro con inclusión de 5 y 15 por ciento de HSA y HS. Los Coeficientes de digestibilidad aparente (CDA) para materia seca fueron 71.46 y 61.52 %, los CDA para proteína fueron 85.39 y 70.0 % y los CDA de grasa fueron 94.07 y 96.11 % para HSA y HS, respectivamente. Los valores de energía digestible fueron de 4556 y 3510 kcal/kg para HSA y HS, respectivamente. Dichos resultados se ven reflejados en el performance de juveniles de paco, siendo la dieta con 15 por ciento de inclusión de HSA la que presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) con respecto a ganancia de peso (GP), ganancia de biomasa (GB), tasa de crecimiento (GR) y tasa de crecimiento específico (SGR) frente a los demás tratamientos.

Palabras claves: *Piaractus brachypomus*, paco, digestibilidad, comportamiento productivo, harina de subproducto avícola, harina de sangre avícola.

ABSTRACT

Two experiments were conducted to determine the nutritional value of poultry by-products meal (PBM) and poultry blood meal (BM) in practical diets of paco juveniles (*Piaractus brachypomus*). First, a reference diet and two test diets that contained 70% reference diet and 30% of test ingredient were evaluated in paco juveniles (*Piaractus brachypomus*) to determine the Apparent Digestibility Coefficients (ADC) for dry matter, crude protein, lipid and energy. Feces were collected by the “*Guelp*” system and coefficients were calculated using chromic oxide as an inert marker; fish (336 ± 0.80 g) were fed to apparent satiation with pellet practical diets. In the second experiment, the effect of partial replacement of fish meal (FM) by rendered animal meal was studied. Fish (362 ± 0.75 g) were fed for 42 days with five isoproteic (32%) and isoenergetic (3.2 Mcal / kg) diets, the control diet containing 15% of FM and the other four diets were formulated with inclusion rates of 5% and 15% of PBM and BM. The apparent digestibility coefficients and digestible energy value of PBM were higher compared to values of BM. The ADC of dry matter were 71.46 and 61.52 %, the ADC of crude protein were 85.39 and 70.0 %, the ADC of lipid were 94.07 and 96.11 % and the digestible energy values were 4556 and 3510 kcal/kg for PBM and BM, respectively. Results showed that a 15% inclusion rate of PBM in paco juveniles diet significantly improved ($p < 0.05$) weight gain (WG), biomass gain (BG), growth rate (GR) and specific growth rate (SGR) compared to the other diets. Therefore, PBM can be used at the 15% inclusion rate in paco juveniles feed formulations.

Keywords: *Piaractus brachypomus*, paco, digestibility, performance, poultry by-productmeal, poultry blood meal.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	1
REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1. Aspectos generales del Paco (<i>Piaractus brachipomus</i>).....	2
2.1.2 Fisiología digestiva del paco (<i>Piaractus brachypomus</i>).....	3
2.1.3. Requerimientos nutricionales para paco (<i>Piaractus brachipomus</i>)	4
2.2 Subproductos animales	7
2.2.1 Harina de subproducto avícola (HSA)	8
2.2.3 Harina de sangre (HS).....	11
2.2.5 Calidad de las harinas provenientes de subproductos avícolas	14
2.2.6 Restricciones legales del uso de subproductos de origen animal	15
2.3 Coeficiente de Digestibilidad Aparente (CDA).....	16
2.3.1 Métodos para determinar digestibilidad	17
2.3.2 Factores que afectan la digestibilidad	17
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
3.1 Lugar y Periodo de Ejecución.....	19
3.2 Ingredientes evaluados.....	19
3.3 Calidad de agua.....	20
3.5 Experimento I - Determinación de la digestibilidad y el contenido de energía digestible	22
3.5.1 Animales experimentales.....	22
3.5.2 Instalaciones, equipos y materiales	22
3.5.3 Dietas experimentales	22
3.5.4 Formulación y elaboración de dietas	22
3.5.5 Procedimiento experimental.....	23
3.5.6 Cálculo del coeficiente de digestibilidad aparente (CDA).....	25
3.5.7 Cálculo de energía digestible	26

3.5.8	Diseño experimental y evaluación estadística	27
3.6	Experimento II- Determinación del efecto de la inclusión de los subproductos sobre la performance de juveniles de paco	27
3.6.1	Animales experimentales.....	27
3.6.2	Instalaciones, equipos y materiales	27
3.6.3	Tratamientos.....	27
3.6.4	Formulación de dietas	28
3.6.6	Diseño experimental y evaluación estadística	31
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
4.2.	Experimento I - Determinación de la digestibilidad y el contenido de energía digestible	33
4.2.1.	Coeficiente de digestibilidad aparente de la harina de subproducto avícola (HSA) y de la harina de sangre avícola (HS)	33
4.3.	Experimento II- Determinación del efecto de la inclusión de los subproductos sobre la performance de juveniles de paco	39
V.	CONCLUSIONES	49
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
VIII.	ANEXO.....	62

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Etapas de crecimiento del paco (<i>Piaractus brachypomus</i>).....	3
Cuadro 2: Perfil de aminoácidos en el musculo de paco (<i>Piaractus brachypomus</i>).....	6
Cuadro 3: Valor nutritivo de la Harina de Subproducto Avícola.....	9
Cuadro 4: Composición de aminoácidos, minerales y vitaminas de la harina de subproducto avícola.....	10
Cuadro 5: Valor nutritivo de la Harina de sangre.....	12
Cuadro 6: Composición de aminoácidos, minerales y vitaminas de la harina de sangre.....	13
Cuadro 7: Análisis químicos proximales de la harina de subproducto avícola (HSA) y harina de sangre (HS) tal como ofrecido.....	20
Cuadro 8: Parámetros de calidad de agua.....	21
Cuadro 9: Fórmula de las dieta referencial para la prueba de digestibilidad.....	24
Cuadro 10: Fórmulas de las dietas experimentales para la prueba de crecimiento.....	30
Cuadro 11: Análisis químico proximal de las dietas experimentales para la prueba de crecimiento.....	31
Cuadro 12: Análisis químico proximal de las dietas y heces (base parcialmente seca).....	35
Cuadro 13: Contenido nutricional y digestibilidad de la materia seca, proteína cruda y extracto etéreo de la harina de sangre y harina de subproducto avícola (base seca).....	36
Cuadro 14: Contenido de energía bruta, digestibilidad de la energía bruta y energía digestible de la harina de sangre y harina de subproducto avícola (base seca).....	36
Cuadro 15: Efecto de la harina de subproducto avícola y harina de sangre en el performance de juveniles de paco (<i>Piaractus brachypomus</i>).....	40

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: A) juvenil de paco (<i>Piaractus brachypomus</i>); B) sistema digestivo del paco (<i>Piaractus brachypomus</i>): a) branquias y esófago; b) hígado; c) estómago; d) ciegos pilóricos; e) intestino.....	4
Figura 2: Esquema de la distribución de las unidades experimentales.....	20
Figura 3: Efecto de las dietas con inclusión de subproductos sobre la ganancia de peso (g) en juveniles de paco.	42
Figura 4: Efecto de las dietas con inclusión de subproductos sobre la tasa de crecimiento específico (%/d) de juveniles de paco.	44
Figura 5: Efecto de las dietas con inclusión de subproductos sobre la tasa de eficiencia alimenticia (%FER) de juveniles de paco.....	46
Figura 6: Efecto de las dietas con inclusión de subproductos sobre la tasa de eficiencia protéica (TEP) de juveniles de paco.....	47

INDICE DE ANEXOS

Anexo I: Peso y talla inicial de los peces para la prueba de digestibilidad.....	63
Anexo II: Contenido de materia seca, proteína bruta, extracto etéreo, fibra cruda, extracto libre de nitrógeno, ceniza y energía bruta de las dietas para la prueba de digestibilidad (base fresca).....	63
Anexo III: Contenido de materia seca, proteína bruta, extracto etéreo y energía bruta de las heces obtenidas de la dieta referencial y de las dietas pruebas (parcialmente seca).....	64
Anexo IV: Valores de óxido de cromo en las dietas y las heces.....	64
Anexo V: Coeficientes de digestibilidad aparente de la harina de sangre y la harina de subproducto avícola (base seca).....	65
Anexo VI: Peso y talla inicial de los peces para la prueba de crecimiento.....	66
Anexo VII Contenido de materia seca, proteína bruta, extracto etéreo, fibra cruda, extracto libre de nitrógeno, ceniza de las dietas para la prueba de crecimiento (base fresca).....	67
Anexo VIII: Análisis de varianza del peso inicial.....	67
Anexo IX: Análisis de varianza del peso final.....	67
Anexo X. Análisis de varianza de la ganancia de biomasa.....	68
Anexo XI: Análisis de varianza de la ganancia de peso.....	68
Anexo XII: Análisis de varianza de la tasa de crecimiento.....	68
Anexo XIII: Análisis de varianza de la tasa de crecimiento específico.....	68
Anexo XIV: Análisis de varianza de la tasa de conversión alimenticia.....	68
Anexo XV: Análisis de varianza de la eficiencia alimenticia.....	69
Anexo XVI: Análisis de varianza de la tasa de eficiencia protéica.....	69
Anexo XVII: Parámetros productivos calculados para la dieta control.....	69
Anexo XVIII: Parámetros productivos calculados para las dietas con harina de subproducto avícola.....	70
Anexo XIX: Parámetros productivos calculados para las dietas con harina de sangre avícola.....	71
Anexo XXI: Parámetros de calidad de agua.....	72
Anexo XXI: Instalaciones y equipos del LINAPC.....	73

I. INTRODUCCIÓN

La FAO (2018) reportó que en el 2016 la acuicultura continental representó más de la mitad de la producción acuícola a nivel mundial, lo que muestra un gran avance en el desarrollo del cultivo de especies dulceacuícolas, incluidas las amazónicas; muchas de las cuales se encuentran amenazadas por el desmedido esfuerzo de pesca realizado en su medio natural. Por ello, la acuicultura es considerada como fuente sostenible de alimentos, de empleo e ingresos directos; también es uno de los impulsores de crecimiento económico, ya que no solo contribuye a la seguridad alimentaria sino que además representa un medio de subsistencia.

En la actualidad el cultivo de peces amazónicos se concentra en pocas especies nativas que cuentan con algunas tecnologías de cultivo conocidas. Siendo el cultivo del paco (*Piaractus brachypomus*) uno de los más prometedores debido a las excelentes características que presenta la especie, dentro de las cuales se mencionan su eficiente reproducción en cautiverio, fácil adaptación al manejo, aceptación de alimento balanceado, y rápido crecimiento (Válquez-Torres, 2005). Por su parte PRODUCE (2017) reportó que la extracción de paco alcanzó 213.48 TM frente a 1623.94 TM provenientes de la acuicultura.

Sin embargo, uno de los mayores retos a los que se enfrenta esta actividad tiene relación con la dependencia de la harina de pescado para la producción de alimento balanceado, cuyo aumento en su demanda conlleva a generar mayores gastos. Por ello la necesidad de buscar ingredientes alternativos como las harinas de subproductos avícolas, los cuales puedan reemplazar a la harina de pescado, supliendo las necesidades nutricionales de las especies a un menor costo asegurando la sostenibilidad de la actividad (FAO, 2012).

El presente trabajo tiene como objetivos determinar el valor nutritivo de subproductos y harina de sangre avícola en juveniles de paco (*Piaractus brachypomus*); evaluando la digestibilidad y energía digestible de los nutrientes; así como, estudiar el efecto de dichas harinas en la performance del paco.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Aspectos generales del Paco (*Piaractus brachipomus*)

La cachama blanca o paco es un pez de consumo nativo de la cuenca del Amazonas y del Orinoco, aunque también se ha reportado como especie introducida en Asia. Habita en ciénagas y ríos, y se la conoce con los siguientes nombres: Tambaqui (Bolivia, Brasil), Morocoto (Venezuela), Paco (Perú), Pacú (Uruguay), Pirapitinga (Brasil), Cachama blanca (Colombia).

Es un pez omnívoro, consume normalmente frutas, insectos y zooplancton. Se le ha reportado en zonas de Bolivia, Perú, Brasil, Venezuela, Colombia y Ecuador. Se caracteriza por desovar masivamente una vez al año, noviembre – diciembre, al inicio de la época de lluvia antes de producirse los niveles máximos de agua. Alcanza su madurez sexual entre los 2 y 3 años de edad. En su medio natural puede alcanzar 88 cm de longitud y 20 kg de peso (FAO, 2010). Presenta una coloración blanca plateada y presenta tonos amarillo-rojizos en las aletas pectorales y abdominales (Zarpellon, 2015).

Es una especie de gran importancia comercial con características corporales que atraen al mercado consumidor, presenta un tamaño de cabeza pequeño y facilidad de descamación; dentro de sus parámetros productivos, su hábito alimenticio omnívoro, resistencia y rusticidad al manejo en cautiverio; presenta una fácil adaptación a condiciones limnológicas desfavorables, soporta bajos niveles de oxígeno disuelto y elevadas temperaturas; su crecimiento es acelerado y uniforme, además presenta resistencia a enfermedades.(Chagas *et al.* 2005, Machado *et al.* 2016, Zarpellon, 2015).

El paco alcanza una talla comercial entre 180 a 365 días con pesos que promedian 0.8 a 1.3 kg, con una densidad de 1.5 a 3 peces/ m² en tanques, llegando a una productividad de 12 a 30 toneladas por hectárea (Válquez-Torres, 2005). En el cuadro 1 se observa las etapas de crecimiento para el paco.

Cuadro 1: Etapas de crecimiento del paco (*Piaractus brachypomus*)

Etapa de crianza	Peso (g)
Alevín	5-50
Juvenil	50 - 600
Engorde	Mayores a 600

Fuente: FONDEPES (2019)

Dentro de los parámetros de calidad de agua que esta especie tropical requiere para su cultivo se menciona que, el rango óptimo de temperatura se encuentra entre 25 °C y 32°C, los niveles de oxígeno disuelto encuentran en 4 ppm hasta 12 ppm como máximo valor, el rango de pH se encuentra entre 6.5 – 8.5; con respecto a la dureza, el rango optimo se mueve entre 50 y 350 ppm, similar a los valores de alcalinidad entre 50 y 300 ppm (OLDEPESCA, 2010).

Según el PRODUCE (2019) la producción de paco para el 2017 registró un total de 1623.94 TM provenientes de la acuicultura, frente a 213.48 TM provenientes de la extracción. Dentro de los departamentos que cultivan paco se registran las siguientes: Loreto con 56.16 TM, Madre de Dios con 279.21 TM, San Martín con 307.86 TM, Ucayali con 123.68 TM, Cusco 800 TM.

2.1.2 Fisiología digestiva del paco (*Piaractus brachypomus*)

La cavidad oral del paco ocupa el 60 por ciento de la superficie de la cabeza, presenta una boca inmóvil rodeada por estructuras labiales, premaxilas que presentan dientes molariformes especializados en triturar alimentos duros como frutos y semillas; paladares superior e inferior, opérculos y arcos branquiales. La faringe es un tubo corto que conecta la cavidad bucal con el esófago, presenta pequeños y puntiagudos dientes faríngeos comparados con los ubicados en la cavidad oral. El esófago es la primera sección del tubo digestivo, es un tubo corto que presenta pliegues mucosos longitudinales y limita con el estómago. El estómago presenta forma de jota y es el órgano digestivo que presenta cambios evolutivos dados por posición, tamaño y forma; presenta tres secciones, cardíaca, fúndica y pilórica. Presenta un número promedio de 20 a 35 ciegos pilóricos ubicados en la región anterior del intestino después del estómago pilórico. El intestino es un tubo sigmoideo con dos asas intestinales, la cual alcanza una elongación tres veces el largo del cuerpo del pez.

Presenta un hígado parenquimatoso de gran tamaño, ocupa cerca del 40 por ciento de la cavidad celómica, no presenta lobulaciones. El páncreas se presenta muy difuso, como una membrana delgada que rodea órganos como el intestino y ciegos pilóricos; con dos porciones, endocrino y exocrino (Mendoza *et al.* 2013; De Oliveira *et al.* 2019).

La habilidad fundamental de los peces en procesar el alimento depende de características específicas como el perfil enzimático, el cual varía con el hábito alimenticio y la morfología del intestino. Por ello mayores actividades de carbohidrasas son reportadas en peces herbívoros, mientras que mayores actividades proteolíticas en los carnívoros; adicionalmente cabe mencionar que la actividad proteolítica es menos dependiente del hábito alimenticio que la actividad amilolítica (Morales y De Almeida, 2014).

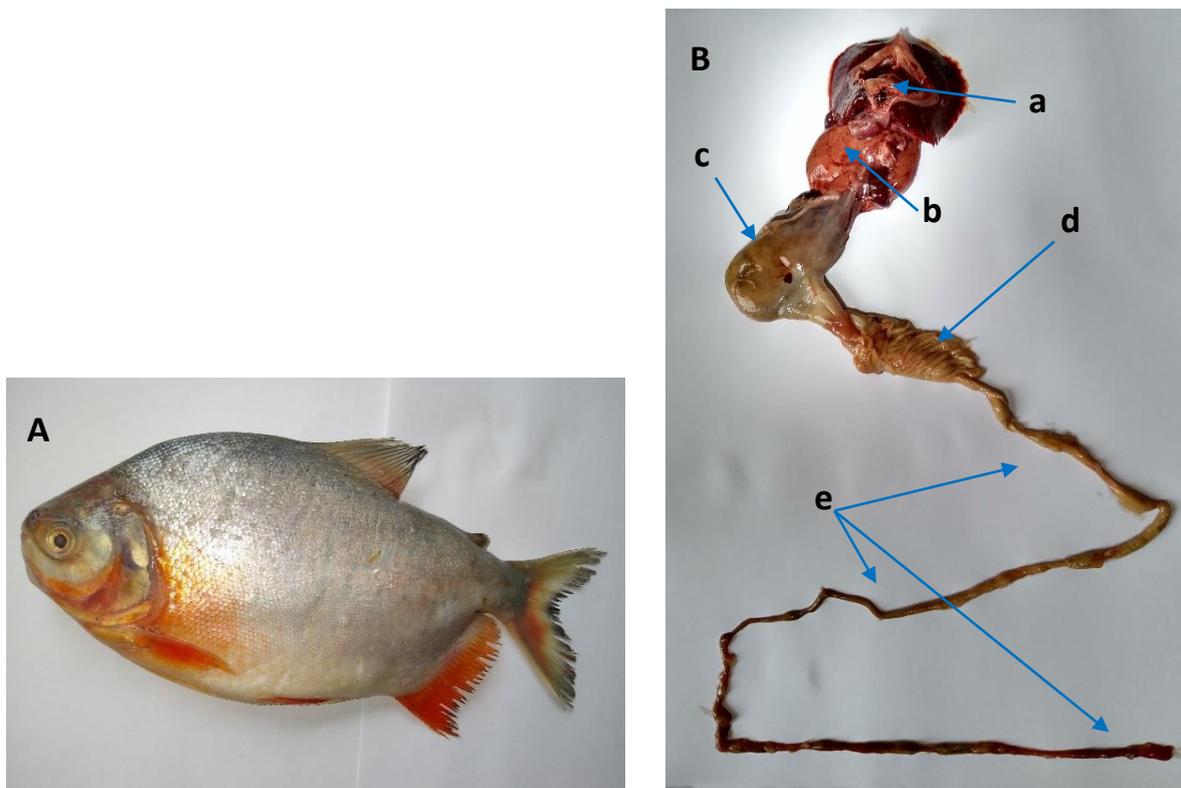


Figura 1: A) juvenil de paco (*Piaractus brachypomus*); B) sistema digestivo del paco (*Piaractus brachypomus*): a) branquias y esófago; b) hígado; c) estómago; d) ciegos pilóricos; e) intestino.

2.1.3. Requerimientos nutricionales para paco (*Piaractus brachipomus*)

De acuerdo con la NRC (2011) y la FAO (2010) un correcto balance de proteína y energía es importante cuando se formulan dietas para peces. Una dieta deficiente o un exceso de energía digestible (ED) pueden reducir los índices de crecimiento en los peces. Una dieta deficiente en energía en relación a la proteína, representará que la proteína es usada como energía para satisfacer el mantenimiento antes que ser destinado para el crecimiento. En contraste, una dieta que contiene exceso de energía puede reducir el consumo de alimento y así, reducir la ingesta de la cantidad necesaria de proteína u otros nutrientes esenciales para un máximo crecimiento. Así mismo, proporciones excesivamente altas de energía pueden conducir a la deposición de grandes cantidades de grasa corporal que pueden ser indeseables. Halver y Hardy (2002) sostienen que la composición de aminoácidos de la dieta es un factor que tiene un efecto determinante en la eficiencia de utilización del nitrógeno. El balance de aminoácidos disponibles, particularmente los esenciales, en la proteína dietaria y la proporción de proteína y energía digestible en la dieta son los más importantes. Así mismo, sostienen que la mejora en la retención de la proteína es importante en dietas para animales acuícolas como indicador de calidad y eficiencia por parte de los peces, lo que reducirá el impacto de los materiales de desecho en el ambiente.

En el trabajo de Ochoa (2018) se estimó el perfil de aminoácidos esenciales y no esenciales en el tejido muscular de juveniles de paco como se observa en el cuadro 2. Además, menciona que los requerimientos estimados de aminoácidos esenciales para el paco son superiores a los reportados en cuanto a los requerimientos del pacú (*Piaractus mesopotamicus*).

Los lípidos son fuente importante de energía y de ácidos grasos esenciales, los cuales son necesarios para un desarrollo y un normal crecimiento en los peces. Participan también en la absorción de vitaminas liposolubles y en la síntesis de varios compuestos celulares para obtener energía (NRC, 2011). Del mismo modo Bell *et al* (1986) citado en NRC (2011) menciona que la fluidez de la membrana depende del balance de los ácidos grasos saturados e insaturados como componentes de los fosfolípidos de la membrana.

En el trabajo de Tueros (2018) se determinó que la relación óptima de omega-6 a omega-3 para la ganancia de peso fue de 5.43:1, para la conversión alimenticia fue de 7.63:1 y para

la tasa de crecimiento 5.40:1. Así mismo, se evidenció la capacidad del paco para la elongación y desaturación de ácidos poliinsaturados y la deposición en el músculo.

Cuadro 2: Perfil de aminoácidos en el músculo de paco (*Piaractus brachypomus*)

Aminoácidos esenciales	g/16gN
Arginina	11,69
Histidina	2,58
Isoleucina	3,53
Leucina	5,86
Lisina	8,8
Metionina	2,77
Fenilalanina	3,66
Treonina	4,18
Triptófano	0,86
Valina	4,67
Aminoácidos no esenciales	g/16gN
Alanina	3,58
Ácido Aspártico	11,29
Ácido Glutámico	15,01
Glicina	5,52
Prolina	3,76
Serina	4,5
Tirosina	3,56

Fuente: Ochoa (2019)

Según Briones (2019), los niveles mínimos de 34.78 y 33.99 por ciento de proteína bruta, son los requeridos por juveniles de paco en dietas de crecimiento para obtener una adecuada ganancia de peso y conversión alimenticia. Así mismo, Miranda (2018) determinó el requerimiento de energía digestible para juveniles de paco, siendo 3287 y 3413 Kcal/kg tomando en consideración como respuesta los parámetros ganancia de peso y conversión alimenticia respectivamente. Salinas (2018) por su parte determinó el efecto de dos niveles de energía (3.2 y 3.4 Mcal ED/kg) y tres relaciones de proteína a energía (90, 100 y 110g Pt/Mcal ED) en dietas de juveniles de paco, siendo el nivel de energía de 3.4Mcal/kg el que mostró los mejores valores en parámetros como ganancia de peso, conversión alimenticia, tasa de crecimiento específico y valor productivo de la energía; la relación 100g Pt/Mcal ED disminuyó en un 21 por ciento la conversión alimenticia y redujo en un 13 por ciento el costo de alimentación por kilogramo de peso.

2.2 Subproductos animales

SENASA (2018) define como subproductos de origen animal a los cuerpos, partes de cuerpos, excreciones o secreciones de animales de especies domésticas, animales de caza o silvestres. Así mismo se clasifican como subproductos elaborados aquellos que han sido sometidos a un proceso de transformación físico o químico. Por otro lado Hazarika (1994) menciona que un subproducto animal se define como la parte de un animal sacrificado que no contribuye directamente en la alimentación humana.

La utilización de subproductos se ha venido limitando debido a su alto contenido en ceniza, baja digestibilidad y su calidad variable. No obstante, la innovación en técnicas de procesamiento ha permitido la producción y desarrollo de nuevos ingredientes que satisfagan los requerimientos y criterios de calidad para la nutrición de organismos acuícolas (Bureau, 1996; Mendoza *et al.* 2000).

Todos los procesos de reciclaje de subproductos o *Rendering* incluyen la aplicación de calor, extracción de la humedad y separación de la grasa. La temperatura y el tiempo de proceso de cocción son de importancia fundamental y constituyen los principales factores determinantes de la calidad del producto final. Los procesos varían con la composición de la materia prima. Todas las tecnologías del sistema del proceso de reciclaje incluyen la recolección y el transporte sanitario de la materia prima a una planta donde serán molidas, transferidas a un cocedor, de flujo continuo o por lotes. Por lo general la cocción se logra con vapor y temperaturas de aproximadamente 115 a 145 °C durante 40 a 90 minutos, dependiendo del tipo de sistema y materiales. Sin importar el tipo de cocción, la grasa se separa de los sólidos y se elimina una porción grande de humedad. Lo que es más importante, el proceso de cocción inactiva bacterias, virus, protozoarios y parásitos (Mendoza *et al.* 2000).

La aceptación del alimento es un factor importante en acuicultura y depende de las características químicas, nutricionales y físicas las cuales se ven influenciadas por los ingredientes del alimento (Joblin *et al.* 2001; Latif, 2013). Una de las características que se destaca de los ingredientes proteicos de subproductos animales, en adición a su atractivo precio y perfiles de aminoácidos interesantes, es que suelen ser más palatables que los ingredientes proteicos vegetales (Mendoza *et al.* 2000).

2.2.1 Harina de subproducto avícola (HSA)

La Asociación Americana Oficial de Control de Alimentos (AAFCO) mencionado por Watson (2006) define la harina de subproducto avícola como partes molidas, trituradas y limpias de la carcasa de aves de corral sacrificadas entre los que se menciona cuellos, patas, huevos sin desarrollar e intestinos, las plumas son excluidas, excepto las cantidades que puedan resultar inevitablemente del procesamiento.

Los subproductos son sometidos en el digestor a un proceso térmico (mayor a 130 °C) por aproximadamente 2 horas con la finalidad de eliminar la presencia de enterobacterias o *Salmonella*, el digestor consiste en un cilindro horizontal con chaqueta de vapor y en cuyo interior cuenta con paletas que permiten el movimiento circular favoreciendo la transferencia de calor. Luego el producto es sometido a un proceso de prensado continuo para facilitar la separación del aceite; para lograr la granulometría deseada la torta obtenida es llevada a un molino de martillos, siendo finalmente tamizada, enfriada y envasada (Avalos, 2012)

2.2.2 Valor nutritivo de la harina de subproducto avícola (HSA)

Aldrich (2006) menciona que no existe materia prima estándar para la elaboración de la harina de subproductos de aves, cada planta puede incluir diversas partes del pollo tales como canales deshuesados, vísceras no comestibles y comestibles, aves muertas enteras, etc, debido a ello se presenta una gran variación en el contenido nutricional; las harinas que contengan una mayor proporción de tejido óseo serán las que presenten mayor contenido de cenizas y en consecuencia su contenido de proteína será menor. En resultados obtenidos en diferentes investigaciones (cuadro 3), se encontró que el rango del porcentaje de proteína fue 56 a 72.4, en el caso del extracto etéreo la variación fue menor, de 13.4 a 19.8 por ciento. Se puede observar que entre la bibliografía revisada, la variación en el contenido de energía es de 5087 a 5652 Kcal/kg.

La calidad de la proteína de la harina de subproducto avícola es menor comparado con la harina de pescado, sin embargo las harinas de origen animal son buenas fuentes protéicas y de aminoácidos esenciales con una adecuada relación calidad – precio frente a fuentes protéicas vegetales (Macavilca, 2013) a pesar de tener un bajo contenido de cistina y triptófano (Wang y Parsons, 1998). Meeker (2009) por su parte menciona que la HSA presenta una alta palatabilidad. Además es considerada como una excelente fuente de

vitaminas y minerales (Cuadro 4) especialmente colina, niacina, ácido pantoténico, calcio y cobre. Sin embargo son deficientes en vitamina B12 y ácido fólico

Se debe tener en cuenta que en nuestro país parte de las vísceras, tales como corazón, hígado y molleja son destinadas al consumo humano. Por lo tanto esta diferencia varia el contenido nutricional final de las harinas de subproductos avícolas nacionales. Se debe tener en cuenta que la inclusión de plumas dentro de la preparación de la harina modifica también los valores nutricionales, si bien la harina de subproducto avícola nacional tiene un contenido bajo de plumas, de igual manera elevará en cierto grado el nivel de proteína cruda en la harina (Verastegui, 2007; Marchán, 2012)

Cuadro 3: Valor nutritivo de la Harina de Subproducto Avícola (tal como ofrecido)

	Materia seca (%)	Proteína cruda (%)	Lípidos (%)	Ceniza (%)	Ca (%)	P (%)	Energía bruta (Kcal/kg)
1	96	66.3	19.0	7.2	2.49	1.20	5652
2	95,1	72,4	16,1	4,8			5612
3	89	62,1	19,8	7,5	3,51	1,8	
4	90,3	61,8	19,3	6,1	1,62	0,72	
5	92,1	56	13,4	15,4			
6	94,35	55,98	13,89	19,5	5,17	2,5	5087,42
7	95,1	72,4	16,1	4,8			

1 Johnson y Parsons (1997); 2 Verastegui (2007); 3 NRC (2011); 4 FEDNA (2018), 5 Yones y Metwalli (2015); 8 Araujo *et al.* (2018); 7 Torres (2019).

Cuadro 4: Composición de aminoácidos, minerales y vitaminas de la harina de subproducto avícola

Aminoácidos	
Arginina (%)	4,99
Histidina (%)	1,17
Isoleucina (%)	2,38
Leucina (%)	4,14
Lisina (%)	3,44
Metionina (%)	1,24
Cistina (%)	-
Fenilalanina (%)	1,63
Tirosina (%)	1,3
Treonina (%)	2,39
Triptófano (%)	-
Valina (%)	3,03
Minerales	
Calcio (%)	0,27
Fósforo (%)	0,61
Sodio (%)	0,07
Cloro (%)	0,03
Potasio (%)	1,16
Magnesio (%)	0,27
Azufre (%)	0,31
Cobre (mg/kg)	15
Hierro (mg/kg)	142
Manganeso (mg/kg)	26,7
Selenio (mg/kg)	-
Zinc (mg/kg)	20
Vitaminas	
Biotina (mg/kg)	0,33
Colina (mg/kg)	1896
Acid. Fólico (mg/kg)	0,7
Niacina (mg/kg)	178
Acid. Pantoténico (mg/kg)	46,6
Piridoxina (mg/kg)	6,38
Rivoflavina (mg/kg)	9,1
Tiamina (mg/kg)	5,7
Vit. B12 (mg/kg)	0
Vit. E (mg/kg)	2,9

Fuente: NRC (2011)

2.2.3 Harina de sangre (HS)

La harina de sangre se define como el producto obtenido por secado de la sangre de animales de sangre caliente sacrificados, dicho producto debe estar libre de sustancias extrañas como plumas, contenido estomacal y orina, excepto en lo que inevitablemente ocurra en las buenas prácticas de procesamiento (McDonald *et al.* 2010; Macavilca, 2013).

Según la FAO (s.f) la sangre constituye aproximadamente 2 por ciento del peso vivo de las aves, la cual presenta una alta concentración de proteínas cuando es filtrada y secada para ser convertida en harina. La sangre suele ser recogida separadamente de las vísceras y puede necesitar el uso de anticoagulantes dependiendo de las condiciones de refrigeración y tiempo de almacenamiento previos al procesamiento.

Madrid (1999) citado por Beltran y Perdomo (2007) menciona que para eliminar la humedad y grasa existen diferentes procesos tales como:

- Secado convencional con o sin coagulación y prensado, es un proceso continuo en el cual luego de que la sangre haya sido filtrada para eliminar residuos como plumas, es llevado a un secador convencional a más de 300°C por 6 horas donde por calentamiento el agua será evaporada, siendo la humedad del producto final entre 5 – 10 por ciento, previamente se realizará el prensado y finalmente se procederá al secado.
- Secado por aspersión, la sangre es concentrada en un evaporador hasta tener 28 por ciento de materia seca aproximadamente, luego mediante un atomizador se convierte el producto en pequeñas partículas; debido a que la boquilla de atomización incrementa en 700 veces la superficie de las mismas, son secadas de forma rápida a una temperatura de 170°C y el producto final es un polvo a 70 -80°C que finalmente es ensacado.
- Secado centrífugo mencionado por Delgado (2014), donde la sangre se somete a un tratamiento térmico (95°C) por aproximadamente 40 a 60 minutos con la finalidad de lograr la coagulación completa y eliminar la presencia de organismos patógenos. Luego el material sólido decantado, obtenido por un proceso de centrifugación horizontal donde es eliminado el 75 por ciento de humedad es sometido a un proceso de secado por 1 a 3 horas. Para uniformizar el producto es llevado a un molino de martillo para obtener la granulometría adecuada y finalmente es ensacado.

2.2.4 Valor nutritivo de la harina de sangre (HS)

En resultados obtenidos en diferentes investigaciones (cuadro 5), se encontró que el rango del porcentaje de proteína fue 95 a 98.5, en el caso del extracto etéreo la variación fue mayor, de 0.8 a 4.9 por ciento. Se puede observar que entre la bibliografía revisada, la variación en el contenido de energía es de 4920 a 6095 Kcal/kg. Autores como Meeker (2009); McDonald *et al.* (2010); Abowei y Ekubo (2011) mencionan que la harina de sangre es considerada como una de las fuentes protéicas para la formulación de dietas animales, debido a que es una buena fuente de aminoácidos esenciales tales como lisina, fenilalanina, valina y leucina; sin embargo, presenta deficiencias en los valores de isoleucina (Cuadro 6). La HS es una buena fuente de minerales como el hierro, cobre y manganeso, así como vitaminas del complejo B como niacina y B12.

Cuadro 5: Valor nutritivo de la Harina de sangre (tal como ofrecido)

	Materia seca (%)	Proteína cruda (%)	Lípidos (%)	Ceniza (%)	Ca (%)	P (%)	Energía bruta (Kcal/kg)
1	89,5	94,5	2,5	1,6	-	-	6095
2	93,33	81,84	3,06	3,73	-	-	4920
3	93	88,6	1,4	5,8	0,41	0,3	-
4	95	86,76	4,98	3	0,26	0,22	-
5	92	87	0,8	3,5	0,16	0,21	-

Fuente: 1 Bureau *et al.* (1999); 2 Pezzato *et al.* (2002); 3 NRC (2011); 4 INASSA (2011) citado en Delgado (2014), Batal y Dale (2016); 5 FEDNA (2018).

Cuadro 6: Composición de aminoácidos, minerales y vitaminas de la harina de sangre

Aminoácidos	
Arginina (%)	2,35
Histidina (%)	5
Isoleucina (%)	0,8
Leucina (%)	10,3
Lisina (%)	7,1
Metionina (%)	1
Cistina (%)	1,4
Fenilalanina (%)	5,1
Tirosina (%)	2,3
Treonina (%)	3,8
Triptófano (%)	1
Valina (%)	5,2
Minerales	
Calcio (%)	0,41
Fósforo (%)	0,3
Sodio (%)	0,38
Cloro (%)	0,25
Potasio (%)	0,15
Magnesio (%)	0,15
Azufre (%)	0,34
Cobre (mg/kg)	8,2
Hierro (mg/kg)	2769
Manganeso (mg/kg)	6,4
Selenio (mg/kg)	-
Zinc (mg/kg)	306
Vitaminas	
Biotina (mg/kg)	0,28
Colina (mg/kg)	-
Acid. Fólico (mg/kg)	-
Niacina (mg/kg)	22
Acid. Pantoténico (mg/kg)	3,2
Piridoxina (mg/kg)	4,45
Rivoflavina (mg/kg)	2,9
Tiamina (mg/kg)	0,3
Vit. B12 (mg/kg)	13
Vit. E (mg/kg)	-

Fuente: NRC (2011)

2.2.5 Calidad de las harinas provenientes de subproductos avícolas

Entre los factores que afectan la calidad de las harinas podemos mencionar los siguientes:

La composición de ingredientes de muchas de las harinas provenientes de subproductos de aves puede variar ampliamente dependiendo del país, en algunos puede referirse a harinas producidas solo con vísceras, cabezas, patas y sangre; y en otros puede referirse a harinas hechas con todos los subproductos de aves incluyendo plumas y desechos de incubadora. Por lo tanto la calidad de una harina dependerá de la proporción de sus ingredientes usados en su producción (Dales *et al*, 1993). Pokniak y Gonzales (1984) citado por Torres (2019), mencionan que el grado de inclusión de vísceras y la edad de beneficio de las aves modifican el contenido de grasa y energía de las harinas avícolas; así como, una proporción mayor de huesos incrementan el contenido de ceniza reduciéndose el contenido de proteína y de aminoácidos dentro del alimento.

El tiempo entre el sacrificio y el procesamiento es muy importante, es preferiblemente que el procesamiento sea hecho después del sacrificio, siempre dentro de las 24 horas evitando así la presencia de aminas biogénicas, las cuales reducen la calidad y utilidad de harinas de origen animal. Dichas aminas son bases de bajo peso molecular caracterizadas por la presencia de un grupo amino, algunas de las cuales tienen funciones fisiológicas; sin embargo, muchas aminas son el resultado de una descarboxilación bacteriana de aminoácidos, los cuales han sido identificados en productos cárnicos deteriorados y son usados como indicadores de frescura (Tamim y Doerr, 2003). Además, el procesamiento determina la humedad final de la harina, una humedad mayor al 8 por ciento podría facilitar la contaminación bacteriana y por otro lado con una humedad muy baja, indicaría la quema del ingrediente en el proceso (Bellaver, 2002).

Factores como temperatura, tiempo y presión son necesarios para incrementar la disponibilidad de nutrientes de las harinas; sin embargo, en condiciones como el sobrecalentamiento, se reduce la disponibilidad de los aminoácidos marcadamente cuando la temperatura de procesamiento se eleva de 116 a 160 °C principalmente la lisina y cistina se ven afectados; además, el valor energético de las grasas se ve reducido (Johnson *et al*. 1998; FEDNA, 2010; Macavilca, 2013).

Las harinas de origen animal son ricas en grasas, por lo mismo tienen la facilidad de oxidarse iniciando la formación de radicales libres mediante factores como temperatura, presencia de enzimas, luz e iones metálicos. Los radicales libres en contacto con el oxígeno molecular son capaces de formar más radicales y producir moléculas de bajo peso molecular como aldehídos, cetonas, alcoholes y ésteres, los cuales son los responsables de los olores de la rancificación; además, perjudican la disponibilidad de nutrientes como las vitaminas liposolubles. Por lo tanto es importante evitar la aparición de estos radicales mediante el manejo adecuado de la producción y el almacenamiento, así como el uso de antioxidantes (Bellaver, 2002).

2.2.6 Restricciones legales del uso de subproductos de origen animal

La Unión Europea regula el uso de subproductos de origen animal mediante dos reglamentos (UE, 2002):

- El reglamento del subproducto animal (CE) 1774/2002, el cual prohíbe la alimentación de animales con proteínas de la misma especie y define tres categorías según el riesgo de encefalopatía espongiforme transmisible. De donde se menciona que, solo los subproductos que se encuentren en la categoría 3, tales como sangre procedentes de animales rumiantes y no rumiantes, partes de animales sacrificados, pezuñas, pieles, plumas, etc, declarados aptos para el consumo humano o que no presenten signos clínicos de ninguna enfermedad transmisible, pueden ser utilizados para la alimentación de animales de granja.
- El reglamento (CE) 999/2001, el cual indica la prohibición explícita del uso de subproductos de mamíferos en la alimentación de rumiantes.

En nuestro país el Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA) es el organismo encargado de regular estos productos con la finalidad de controlar y prevenir el ingreso de virus y enfermedades como la encefalopatía espongiforme bovina (EEB); asimismo, mediante la resolución jefatural N° 064-2009-AG-SENASA, se prohíbe en todo el territorio nacional el uso de proteína de origen animal, ya sea como ingrediente o mezclada con otros productos, para la administración con fines alimenticios o suplementarios de exclusivamente animales rumiantes; exceptuándose el uso de dichos productos en la alimentación acuícola. De la misma manera, menciona que las proteínas de origen animal que se importen o produzcan, deben ser reducidas a un tamaño de partícula máximo de 50 mm; antes de ser elaboradas mediante procesos que garanticen temperaturas de 133 °C y 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 (SENASA, 2009).

2.3 Coeficiente de Digestibilidad Aparente (CDA)

La digestibilidad aparente es una forma de medir el aprovechamiento de un alimento; es decir, la facilidad con que este es convertido en el aparato digestivo en sustancias útiles para la nutrición, la cual comprende dos aspectos (INPA, 1996):

Hidrolisis o digestión, que corresponde al rompimiento de las moléculas complejas de los alimentos y la absorción o asimilación de las pequeñas moléculas resultado de la digestión como aminoácidos, ácidos grasos, vitaminas y minerales, en el intestino.

La digestibilidad constituye una excelente medida de la calidad para cuantificar el valor nutricional de los insumos utilizados en la alimentación acuícola; ya que no basta que los elementos nutricionales se encuentren en altos porcentajes en el alimento o los insumos, sino que, debe ser digerible para que puedan ser asimilados (INPA, 1996). Así mismo, la determinación de los coeficientes de digestibilidad aparente (CDA) es el primer paso en la evaluación de la calidad nutricional y la eficiencia de la utilización de un ingrediente en dietas para animales. Estos coeficientes, proveen información acerca del nutriente o fracción de energía ingerida con los piensos que no son excretadas en las heces, pero que son usado en el metabolismo del animal (NRC, 2011). Por otra parte, la información de los CDA puede ser útil para la reducción de la excreción de nutrientes en el ambiente, contribuyendo a una pesquería sostenible y proporcionando las bases para nuevos estudios sobre las necesidades nutricionales en organismos acuícolas (Buzollo *et al.* 2018).

Estas determinaciones se denominan “aparentes” porque no se ha corregido la posible interferencia que involucra la excreción de materia fecal de origen endógeno (descamación de las células digestivas, enzimas secretadas en el lumen, bacterias) (INPA 1996). Los valores de la digestibilidad aparente no reflejan la naturaleza de los productos finales de la digestión que son absorbidos, ni la cantidad de energía perdida como resultado de los procesos digestivos (Tobal, s.f). Para obtener el coeficiente de digestibilidad real (CDR) se debe alimentar en forma paralela otro set de peces con una dieta control libre del elemento que se quiere evaluar (INPA, 1996).

2.3.1 Métodos para determinar digestibilidad

Existen dos metodologías para la determinación de CDA: Método directo y Método indirecto. El primero, consiste en la medición total del alimento ingerido correspondiente a una o varias comidas y la recolección total de heces. Este método es aplicable siempre que se permita recoger cuantitativamente las materias fecales derivadas de la ración dada a los peces (Guillaume *et al.* 2004).

El método indirecto para determinar digestibilidad, se basa en la colección de las heces de un grupo de peces, sin la necesidad de medir la ingesta total de alimento. Este método se basa en la adición de un marcador inerte a la dieta mezclado homogéneamente, el cual es recuperado en las heces. El principio de eficacia es que el aumento de la concentración del marcador en comparación con la de los nutrientes, permite cuantificar la desaparición de estos nutrientes en el proceso de absorción (Guillaume *et al.* 2004).

Un marcador inerte para la estimación de la digestibilidad debe cumplir lo siguiente (Austreng *et al.* 2000):

- 1) Debe ser incorporado homogéneamente en la alimentación y analizado con facilidad y precisión, incluso a bajas concentraciones.
- 2) Ser indigestible y no afectar al metabolismo del animal.
- 3) Pasar a través del tracto gastrointestinal al mismo ritmo que los nutrientes dietéticos.
- 4) Ser higiénico e inofensivo para las personas y el medio ambiente.

El marcador más frecuentemente utilizado es el óxido de cromo (Cr₂O₃) (INPA, 1996).

2.3.2 Factores que afectan la digestibilidad

La digestibilidad de un alimento está estrechamente relacionada con:

- Composición de los alimentos: la digestibilidad de los ingredientes puede reducirse por la deficiencia o el exceso de nutrientes, la fracción de fibra de un alimento tiene gran influencia, tanto la calidad y cantidad de la misma son muy importantes. Otro ejemplo son los antinutrientes presentes en leguminosas como taninos y saponinas, los cuales se unen a proteínas y aminoácidos reduciendo su digestibilidad (Halver y Hardy, 2002).
- Tecnología de procesamiento: la digestibilidad de un ingrediente está influenciado no solo por su propia composición; sino además por el tipo de procesamiento y

tratamiento térmico al cual están expuestas los nutrientes de las dietas, como por ejemplo, la extrusión mejora la digestibilidad del almidón de proteínas vegetales, mientras que una elevada temperatura reduce la digestibilidad de ingredientes protéicos como la harina de sangre (NRC, 2011).

- Factor animal: La especie y la estado fisiológico de los individuos afectan la digestibilidad, debido a las diferentes características que presentan en sus tractos digestivos (NRC, 2011; Morales y De Almeida, 2014).
- Nivel de alimentación: un incremento en la cantidad consumida de alimento puede causar un incremento en la velocidad de paso de la digesta. La dieta es expuesta por un periodo de tiempo corto a la acción de las enzimas lo que reduce su asimilación (NRC, 2011).
- Temperatura: la primera respuesta de los peces al incremento en la temperatura es incrementar el consumo de alimento, se incrementa su tasa metabólica y el tránsito intestinal, lo cual afecta la digestibilidad de la dieta. Mientras que a bajas temperaturas se da una reducción de la actividad enzimática y de los procesos de absorción (Halver y Hardy, 2002).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar y Periodo de Ejecución

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), entre los meses de febrero a junio 2018.

La elaboración del alimento balanceado se realizó en la Planta de Alimentos Balanceados del Programa de Investigación y Proyección Social en Alimentos, Facultad de Zootecnia (PIPSA).

Los análisis químicos proximales de las dietas y heces fueron realizados en el Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos (LENA); así como, la determinación de óxido crómico en el Laboratorio de la empresa certificadora World Survey Services S.A.

3.2 Ingredientes evaluados

Se evaluó una harina de subproducto avícola comercial, procedente de una planta de procesamiento de insumos para alimentos balanceados en Arequipa. Esta harina es procesada mediante cocción, secado y molienda de los subproductos del beneficio de aves (vísceras, cabezas), y aves muertas antes del beneficio; con exclusión mayoritaria de las plumas. También, se evaluó una harina de sangre avícola comercial proveniente de la misma planta de procesamiento, dicho producto es obtenido mediante el método de coagulación, centrifugado y secado. Los análisis químicos proximales se muestran en el cuadro 7.

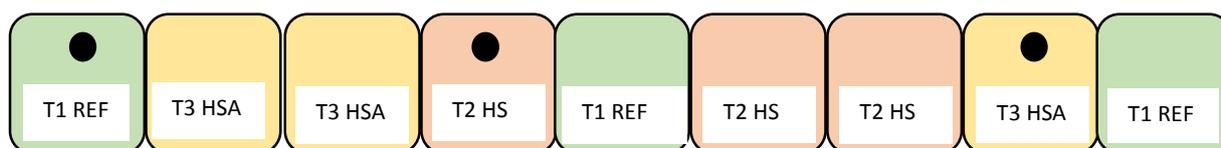
Cuadro 7: Análisis químicos proximales de la harina de subproducto avícola (HSA) y harina de sangre (HS) tal como ofrecido.

Contenido nutricional (%)	HSA	HS
Materia seca	90,66	90,07
Proteína cruda	71,44	82,36
Extracto etéreo	12,12	1,39
fibra	0,11	0
Ceniza	3,43	4,91
ELN	3,56	1,41
Energía (kcal/kg)	5268,7	4866,7

3.3 Calidad de agua

El Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos (LINAPC) presenta un sistema de recirculación cerrada, que permite mantener y regular los parámetros de calidad de agua exigidos por la especie; la cual está alimentada por la red de agua potable pública del distrito de La Molina. Dos veces por semana, se procedió a la limpieza de los acuarios, filtros y recambio del 100 por ciento del agua del sistema.

En la medición de la calidad de agua fueron utilizados los equipos y kits colorimétricos descritos en el cuadro 8 y en la figura 2 se observa la distribución aleatoria de las unidades experimentales en el laboratorio de donde fueron tomadas las muestras de agua.



Acuarios para pruebas de digestibilidad



Acuarios de crecimiento

● Punto de muestreo de agua

Figura 2: Esquema de la distribución de las unidades experimentales

Cuadro 8: Parámetros de calidad de agua

Parámetro	Unidad	Equipo	Periodicidad	Lugar de muestreo
Temperatura	°C	Termómetro <i>Digital Thermometer</i>	3 veces por semana (3 veces al día)	Acuarios de digestibilidad y de crecimiento
Oxígeno Disuelto	mg/L	Oxímetro Pinpoint II <i>American Marine Inc</i>	3 veces por semana (1 veces al día)	Acuarios de digestibilidad y de crecimiento
pH		pHmetro <i>OAKTON</i>	3 veces por semana (1 veces al día)	Acuarios de digestibilidad y de crecimiento
Dureza	ppm (CaCO ₃)	Kit colorimétrico <i>La Motte</i>	3 veces por semana (1 veces al día)	Acuarios de digestibilidad y de crecimiento
Nitrógeno amoniacal	mg/L	Kit colorimétrico <i>La Motte</i>	3 veces por semana (1 veces al día)	Acuarios de digestibilidad y de crecimiento
Nitrito	mg/L	Kit colorimétrico <i>Sera</i>	3 veces por semana (1 veces al día)	Acuarios de digestibilidad y de crecimiento

3.4 Etapas

La investigación constó de dos etapas, en la primera (experimento I) se determinaron los coeficientes de digestibilidad aparentes de los nutrientes y energía digestible de la harina de subproducto y harina de sangre avícola. En la segunda (experimento II) se evaluó el efecto de la inclusión de dichos subproductos sobre la performance de juveniles de paco (*Piaractus brachypomus*).

3.5 Experimento I - Determinación de la digestibilidad y el contenido de energía digestible

3.5.1 Animales experimentales

Para las pruebas de digestibilidad y energía digestible se utilizaron 18 juveniles de paco con un peso promedio de 336 g, fueron pesados y medidos individualmente para luego ser distribuidos al azar en 9 acuarios, formando grupos homogéneos de 2 peces por acuario. Los pesos y tallas de los peces para la etapa de digestibilidad se presentan en el Anexo I.

3.5.2 Instalaciones, equipos y materiales

Las instalaciones del Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos (LINAPC) cuenta con 9 acuarios para las pruebas de digestibilidad; los cuales están diseñados para la colección de heces según el sistema Guelph, sus bases cuentan con un grado de inclinación de 13°; de fibra de vidrio de color blanco, liso por dentro y fuera, poseen un frontis de vidrio de 6 mm de grosor; presentan una capacidad de 55 litros cada uno y cuyas medidas son 45 cm de ancho, 45 cm de profundidad y 50 cm de altura.

Además fueron necesarios el uso de mallas de 100 µm, cucharillas de metal, placas petri, estufa, refrigeradora, mortero y balanza electrónica.

3.5.3 Dietas experimentales

Se evaluaron 3 dietas cada uno por triplicado, los cuales fueron los siguientes:

T1: dieta referencial

T 2: dieta referencial y 30 por ciento harina de subproducto avícola.

T 3: dieta referencial y 30 por ciento harina de sangre avícola.

3.5.4 Formulación y elaboración de dietas

La dieta referencial (cuadro 9) se obtuvo utilizando formulación al mínimo costo por programación lineal, cubriendo así el requerimiento nutricional de los pacos; se tomó como referencia el requerimiento nutricional propuesto por Lafeta *et al.* (sf).

En las dietas experimentales la inclusión de subproductos y del indicador, fueron hechos mediante una regla de tres simple a partir de la fórmula de la dieta referencial, como se detalla a continuación:

- T1: consistió en 99.5 por ciento de la dieta referencial y 0.5 por ciento de óxido de cromo (Cr_2O_3).
- T2: que corresponde al 69.5 por ciento de la dieta referencial, 0.5 por ciento de óxido de cromo (Cr_2O_3) y 30 por ciento de la harina de subproducto avícola.
- T3: que corresponde al 69.5 por ciento de la dieta referencial, 0.5 por ciento de óxido de cromo (Cr_2O_3) y 30 por ciento de la harina de sangre avícola.

Posteriormente, la elaboración de las dietas se realizó en la Planta de Alimentos Balanceados de la UNALM, donde los ingredientes menores y mayores fueron pesados, y mezclados durante 5 minutos utilizando una mezcladora horizontal de cintas; para finalmente ser llevadas a la peletizadora Bühler y obtener pellets de 3.5 mm de diámetro.

3.5.5 Procedimiento experimental

Para determinar los coeficientes de digestibilidad aparente de la materia seca, proteína cruda, extracto etéreo y la energía digestible, de harina de subproductos y de la harina de sangre avícola; se utilizó el método de digestibilidad aparente y se empleó el óxido crómico (Cr_2O_3) como marcador inerte.

Se usaron 9 acuarios de digestibilidad con sistema tipo Guelph, donde los peces tuvieron una etapa de adaptación a la dieta sin colección de heces; cuya duración dependió de la aceptación de los animales a las dietas experimentales.

Cada acuario fue una repetición teniéndose tres por cada dieta suministrada.

a) Alimentación

Una vez fueron aceptadas las dietas por los peces, el suministro de alimento fue pellet por pellet; de manera que, todo lo entregado fuera consumido hasta alcanzar el punto de saciedad. Posteriormente se sifonearon los residuos no ingeridos.

b) Colección y manejo de heces

Una hora después de la última alimentación del día, cada acuario fue limpiado para eliminar del sistema cualquier residuo de heces o alimento; y para asegurarse de una limpieza completa se procedió a eliminar un tercio de agua de los acuarios. A las 8:00 am del día siguiente, las heces sedimentadas fueron cuidadosamente extraídas del sistema de colección de heces y pasadas por una malla de 100 μm ; posteriormente fueron colocadas en placas Petri eliminando escamas que pudiesen encontrarse y finalmente fueron pesadas. Luego, las muestras fueron llevadas a secar en la estufa a 65°C por seis horas, para reducir la humedad; posteriormente fueron congeladas y almacenadas.

Finalmente, con un mortero se pulverizaron las muestras, eliminando posibles contaminantes como escamas y otros cuerpos extraños. Las muestras representativas fueron aquellas libres de contaminantes producidas por día. El procedimiento fue repetido hasta coleccionar 15 g de heces por acuario para realizar los análisis de laboratorio.

Cuadro 9: Fórmula de la dieta referencial para la prueba de digestibilidad

Ingredientes (%)	Dieta referencial
Maíz	34.00
Harina de pescado prime, 66	20.00
Torta de soya, 47	24.15
Harinilla de trigo	15.16
Aceite de soya	5.93
Premezcla acuicultura	0.5
Ligante	0.08
Antioxidante	0.03
Inhibidor de hongos	0.15
Total kilos	100

Toma de Datos

Los datos tomados en la primera etapa fueron los siguientes:

- Energía bruta de cada dieta.
- Porcentaje de proteína de cada dieta.
- Porcentaje de extracto etéreo de cada dieta.
- Porcentaje de extracto libre de nitrógeno de cada dieta.
- Porcentaje de óxido de cromo (Cr₂O₃) en cada dieta.
- Porcentaje de óxido de cromo (Cr₂O₃) en las heces de cada repetición

c) Análisis de laboratorio

En el Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos (LENA), se realizaron los análisis proximales de las dietas experimentales y las heces, empleando el método AOAC (2005) y la energía total fue calculada mediante bomba calorimétrica de oxígeno.

La concentración de óxido crómico de las dietas y heces de cada unidad experimental se determinó mediante el análisis químico de cromo empleando el método interno (P-LQ-11 AA/N2O ACET) en el laboratorio World Survey Services S.A.

3.5.6 Cálculo del coeficiente de digestibilidad aparente (CDA)

Las estimaciones del CDA se determinaron sobre la base de la cantidad de heces colectadas en cada uno de los tratamientos. Con los resultados obtenidos en el laboratorio del porcentaje de óxido de cromo (Cr₂O₃) en las dietas y las heces, se determinaron los Coeficientes de Digestibilidad Aparente (CDA) de las dietas experimentales. Posteriormente se utilizaron estos CDA para determinar la energía digestible de cada dieta. Las ecuaciones utilizadas fueron las siguientes:

Fórmula de la determinación del CDA (Cho *et al.* 1982):

$$CDAd = 100 - 100 \frac{\%Cr2O3d}{\%Cr2O3h} * \frac{\%Nh}{\%Nd}$$

Donde:

CDA_d = Coeficiente de digestibilidad aparente de la dieta.

%Cr₂O₃_h = Porcentaje del óxido de cromo en las heces.

%Cr₂O₃_d = Porcentaje del óxido de cromo en la dieta.

%N_h = Porcentaje de un nutriente (%MS) o energía bruta (Kcal/Kg) en las heces.

%N_d = Porcentaje de un nutriente (%MS) o energía bruta (Kcal/Kg) en la dieta

La fórmula para la determinación del CDA de cada nutriente o de la energía bruta de un ingrediente evaluado fue el siguiente (Pezzato *et al.* 2002).

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

Donde:

CDA_{ing} = Coeficiente de digestibilidad de la energía bruta o de un nutriente del ingrediente evaluado.

CDA_{dp} = Coeficiente de digestibilidad de la energía bruta o de un nutriente en la dieta prueba.

CDA_{dr} = Coeficiente de digestibilidad de la energía bruta o de un nutriente en la dieta referencial.

a = Porcentaje del ingrediente evaluado.

b = Porcentaje de la dieta referencial.

3.5.7 Cálculo de energía digestible

Con los resultados que se obtuvieron del coeficiente de digestibilidad aparente (CDA) de la harina de subproductos y la harina de sangre avícola, se determinó el nivel energía digestible y los nutrientes digestibles, mediante la siguiente fórmula:

$$(ED \text{ o } ND)_{ing} = EB \text{ o } NT * CDA_{ing}$$

Donde:

(ED o ND)_{ing} = Energía digestible (Kcal/Kg) de la dieta ingerida o Digestibilidad de los nutrientes (proteína, extracto etéreo o materia seca) del ingrediente evaluado.

EB o NT = Energía bruta (Kcal/Kg) o porcentaje de nutrientes (proteína, extracto etéreo o materia seca) del ingrediente evaluado.

CDA_{ing} = Coeficiente de digestibilidad aparente de la energía o nutrientes obtenidos en la prueba de digestibilidad.

3.5.8 Diseño experimental y evaluación estadística

Se utilizó estadística descriptiva, empleando como indicadores los promedios, la desviación estándar y el coeficiente de variación.

3.6 Experimento II- Determinación del efecto de la inclusión de los subproductos sobre la performance de juveniles de paco

3.6.1 Animales experimentales

Para las pruebas de performance, se utilizaron 30 peces con un peso promedio de 362 g; fueron pesados y medidos individualmente para luego ser distribuidos al azar en 15 acuarios, formando grupos homogéneos de 2 peces por acuario. Los pesos y tallas de los peces para la segunda etapa se presentan en el Anexo VI.

3.6.2 Instalaciones, equipos y materiales

Las instalaciones del Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos (LINAPC), cuentan con acuarios de base plana para pruebas de performance; de fibra de vidrio de color blanco, liso por dentro y fuera, poseen un frontis de vidrio de 6 mm de grosor; presentan una capacidad de 55 litros cada uno y cuyas medidas son 45 cm de ancho, 45 cm de profundidad y 50 cm de altura. En el presente trabajo fueron usados 15 acuarios. Además de balanza electrónica e ictiómetro para realizar las biometrías

3.6.3 Tratamientos

Se evaluaron 5 tratamientos, los cuales fueron los siguientes:

Tratamiento 1: dieta control

Tratamiento 2: dieta con 5 por ciento de inclusión harina de subproducto avícola.

Tratamiento 3: dieta con 15 por ciento de inclusión harina de subproducto avícola.

Tratamiento 4: dieta con 5 por ciento de inclusión de harina de sangre avícola.

Tratamiento 5: dieta con 15 por ciento de inclusión de harina de sangre avícola.

Los cuales fueron evaluados por triplicado.

3.6.4 Formulación de dietas

Las 5 dietas experimentales isoprotéicas (Cuadro 10 y 11) fueron obtenidas mediante la formulación al mínimo costo por programación lineal. Los niveles de inclusión de los subproductos avícolas correspondientes al 5 y 15 por ciento en reemplazo de la harina de pescado, fueron planteados en base a los resultados obtenidos en el ensayo de digestibilidad y a los valores de energía digestible.

3.6.5 Procedimiento experimental

Se utilizaron 15 acuarios de base plana, en los cuales fueron distribuidos aleatoriamente los cinco tratamientos; cada acuario es una repetición teniéndose tres repeticiones por cada dieta suministrada o tratamientos.

a) Suministro de alimento

El alimento fue entregado hasta alcanzar el punto de saciedad, es decir a voluntad de la especie.

b) Manejo de los peces

Al iniciar la prueba, los peces fueron pesados obteniendo un peso promedio de 362 g, fueron alimentados por 42 días; y los registros biométricos de peso y talla, fueron realizaron cada dos semanas.

c) Toma de datos

Los datos a tomar durante el experimento II fueron los siguientes:

- Peso vivo de los peces al iniciar el experimento.
- Talla de los peces al iniciar el experimento.
- Peso vivo de los peces al finalizar el experimento.
- Ganancia de peso total al finalizar el experimento.
- Incremento de talla total al finalizar el experimento.
- Consumo de alimento total.
- Conversión alimenticia al finalizar el experimento

Cuadro 10: Fórmulas de las dietas experimentales para la prueba de crecimiento.

Ingredientes (%)	Tratamientos				
	1	2	3	4	5
Torta de soya, 47	34	35	32	35	35
Maíz	16	20	26	25	25
Harinilla de trigo	27,87	24,18	19,05	17,84	17,06
Harina de pescado prime, 65	15	9	0	10	0
Harina subproducto avícola	0	0	0	5	15
Harina de sangre avícola	0	5	15	0	0
Aceite	4	4	4	4	4
Fosfato dicálcico	0,85	0,68	1,8	0,9	2
Ligante	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Sal	0,5	0,38	0,65	0,38	0,5
Carbonato de calcio	0,4	0,4	0	0,56	0
Premix acuicultura	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Cl.colina, 60	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
DL-metionina	0,18	0,16	0,3	0,12	0,18
l-lisina	0	0	0	0	0,06
Inhibidor de hongos	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Total	100	100	100	100	100
Valor Nutritivo (%) tal como ofrecido					
Materia seca	89,98	89,99	90	89,98	89,97
Proteína	32,32	32,35	32,37	32,3	32,48
Fibra	3,76	3,86	3,45	3,95	3,93
Grasa	7,49	7,25	7,15	7,42	7,5
Energía Digestible Mcal/kg	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20
Lisina	2,07	2,07	2,07	2,07	2,07
Metionina	0,71	0,72	0,73	0,7	0,74
Cistina	0,48	0,48	0,49	0,47	0,49
Arginina	2,22	2,22	2,23	2,21	2,25
Treonina	1,28	1,27	1,28	1,26	1,29
Triptófano	0,41	0,42	0,43	0,4	0,44
Valina	1,69	1,67	1,69	1,66	1,69
Met-Cis	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19
Ac. Gs. n-3	1,22	1,2	1,18	1,21	1,23
Ac. Gs. n-6	2,09	2,07	2,05	2,08	2,1
Fósforo total	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Calcio	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Sodio	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3

Cuadro 11: Análisis proximal de las dietas experimentales para la prueba de crecimiento

Análisis proximal (%) tal como ofrecido					
Nutrientes	Tratamientos				
	1	2	3	4	5
Materia seca (%)	89,89	91	91,09	90,52	90,39
Proteína cruda	33,06	33,67	33,93	32,7	33,63
Extracto etéreo	7,96	7,75	6,97	7,85	8,23
Fibra	2,41	2,63	2,35	3,68	3,07
Ceniza	6,89	7,45	5,99	7,69	1,99
ELN	39,57	39,5	41,85	38,6	43,47

Para determinar el efecto de la inclusión de subproductos avícolas en la performance de juveniles de paco (*Piaractus brachyomus*), fueron medidos los siguientes parámetros basados en las fórmulas mencionadas por Silva *et al.* (2007), Abimorad y Carneiro (2007), Abdel-Tawwad y Ahmad (2009):

- Ganancia de peso (g) = $Wf - Wi$
- Ganancia de biomasa (g) = $Biomasa\ final - Biomasa\ inicial$

Donde: Biomasa (g) = $N^{\circ}\ de\ individuos \times\ peso\ promedio$

- Tasa de crecimiento (g/d) = $\frac{Wf - Wi}{t2 - t1}$
- Tasa de crecimiento específico (%/day) = $\left(\frac{\ln(Wf) - \ln(Wi)}{t2 - t1}\right) \times 100$

Donde: W1= peso inicial (g); W2 = peso final (g); t2-t1= duración entre W2 y W1

- Tasa de conversión alimenticia (FCR) = $\frac{alimento\ consumido}{ganancia\ de\ peso}$
- Tasa de eficiencia alimenticia (%FER) = $\frac{(Wf - Wi) \times 100}{alimento\ ingerido}$

- Tasa de eficiencia protéica =

$$Wf - Wi / \text{proteína del alimento}$$

Donde: proteína en el alimento =

$$\% \text{ proteína en dieta } \times \text{ total dieta consumida} / 100$$

3.6.6 Diseño experimental y evaluación estadística

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con 5 tratamientos (niveles de inclusión) y 3 repeticiones para cada uno. El modelo aditivo lineal fue el siguiente:

$$X_{ij} = \mu + t_i + \epsilon_{ij}$$

$i=1, 2, 3, 4, 5$ tratamientos

$j=1, 2, 3, 4, 5$ repeticiones

Dónde:

X_{ij} = Variable respuesta que se obtiene de la unidad experimental que recibió el i -ésimo tratamiento y la j -ésima repetición

μ = Media aritmética general de la población

t_i = Efecto del i -ésimo tratamiento

ϵ_{ij} = Efecto de la j -ésima unidad experimental a la que se le aplicó el i -ésimo tratamiento (error experimental).

Las medias de los parámetros productivos fueron evaluadas por medio de un ANVA. Para el análisis estadístico se utilizó el software Minitab 17.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Calidad de agua

Los valores de los parámetros de calidad de agua se muestra en el Anexo XXI, siendo los valores promedios los siguientes: 26.5 °C para la temperatura del acuario, nitrógeno amoniacal <0.22 ppm, nitritos 0.35 mg/L, 50 mg/L de dureza y 7.1 de pH; los cuales concuerdan con los rangos registrados por Poleo *et al.* (2011), quienes evaluaron la tolerancia de alevines de paco (*Piaractus brachypomus*) en cultivos de altas densidades en sistemas de cerrados.

4.2. Experimento I - Determinación de la digestibilidad y el contenido de energía digestible

4.2.1. Coeficiente de digestibilidad aparente de la harina de subproducto avícola (HSA) y de la harina de sangre avícola (HS)

Los valores de los análisis proximales de las dietas y heces se muestran en el cuadro 12 y Anexo II y III; los valores de los coeficientes de digestibilidad aparentes para ambos ingredientes se muestran el cuadro 13 y Anexo V.

Los valores obtenidos de coeficiente de digestibilidad aparente de la materia seca (CDAmS), fueron 71.46 ± 6.67 y 61.52 ± 0.61 por ciento para la harina de subproducto y harina de sangre avícola respectivamente; estas diferencias en los valores podrían estar influenciados por la tecnología utilizada en la elaboración de las harinas las cuales pueden determinar la composición de los productos finales. En otro estudio, Briones (2019) reportó valores de CDAmS de 67.35 para harina de pescado en alevines de paco (*Piaractus brachypomus*); la naturaleza de la fuente protéica es otro factor que puede influir en la digestibilidad.

Con respecto a la harina de subproducto avícola (HSA), el valor del CDAmS hallado en este trabajo es similar al reportado por Pezzato *et al.* (2002), quienes obtuvieron un CDAmS de

73.87 ± 0.10 por ciento para tilapia (*Oreochromis niloticus*). En cuanto a la harina sangre avícola (HS), podemos mencionar que el valor de CDAs obtenido fue menor al observado en el trabajo de Vasquez-Torres *et al.* (2013) realizado en la misma especie, paco (*Piaractus brachypomus*) y cuyos valores de CDAs fueron 78.6 ± 3.7 por ciento. En otros trabajos referidos a la harina de sangre como el de Hussain *et al.* (2011) y Pezzato *et al.* (2002) reportaron valores menores de CDAs, 56.85 ± 0.64 por ciento en alevines de carpa (*Labeo rohita*) y 53.30 ± 0.13 por ciento en tilapia (*Oreochromis niloticus*). Estas diferencias en los resultados podrían estar influenciados por varios factores mencionados por diversos autores como Guillaume *et al.* (2004), NRC (2011); Halver y Hardy (2002), Morales y De Almeida (2014) entre otros, donde indican que la especie supone un factor importante a tener en cuenta, cada especie presenta características propias en cuanto a su tracto digestivo y paquetes enzimáticos, los cuales determinarán el grado de asimilación de los nutrientes.

Los valores de coeficiente de digestibilidad aparente de la proteína (CDAp) obtenidos se muestran en el cuadro 13 y anexo V, los cuales fueron 85.39 ± 5.58 y 70.0 ± 4.75 por ciento para la harina de subproducto y harina de sangre avícola, respectivamente. Por su parte, Briones (2019) reportó en alevines de paco (*Piaractus brachypomus*) valores de CDAp de 82.43 por ciento para la harina de pescado. Comparando dicho resultado con los obtenidos y teniendo en cuenta que los valores de CDAp de ingredientes ricos en proteína se encuentran en el rango de 75 a 95 por ciento (Koprucu y Ozdemir, 2005), podemos mencionar que la harina de subproducto avícola presenta una buena digestibilidad protéica para juveniles de paco.

Con respecto a la harina de subproducto avícola (HSA), podemos mencionar que el valor del CDAp obtenido es similar a los reportados por Abiimorad y Carneiro (2004) quienes indican un CDAp de 83.40 ± 5.21 por ciento para pacú (*Piaractus mesopotamicus*); y Buzollo *et al.* (2018) quienes obtuvieron un CDAp de 86.02 ± 0.52 por ciento para gamitana (*Colossoma macropomum*), dos especies con las cuales se relaciona mucho al paco debido a que presentan características comunes con respecto a sus hábitos alimenticios y al hábitat natural donde se desarrollan. En trabajos con tilapia (*Oreochromis niloticus*) y harina de subproducto avícola, Pezzato *et al.* (2002) y Guimaraes *et al.* (2008) reportaron valores muy cercanos a los obtenidos en este trabajo,

Cuadro 12: Análisis químico proximal de las dietas y heces (base parcialmente seca)

Grupo experimental	MS dieta (%)	MS heces (%)	Proteína dieta (%)	Proteína heces (%)	Extracto etéreo dieta (%)	Extracto etéreo heces (%)	EB dieta (Mcal/kg)*	EB heces (Mcal/kg)*	Óxido de cromo en dietas (%)**	Óxido de cromo en heces (%)**
Dieta referencial	91.53	88.58	31.35	10.32	10.28	1.37	4472.5	3731.40	0.51	1.77
Dieta prueba harina de subproducto avícola	91.35	89.15	46.16	17.55	9.92	1.53	4685.1	3790.30	0.49	1.70
Dieta prueba Harina de sangre avícola	91.44	88.98	47.18	22.96	7.47	0.89	4573.7	3911.63	0.46	1.44

MS: materia seca

EB: energía bruta

*Determinación de la energía bruta realizado en el Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos (LENA)

**Análisis de óxido de cromo realizados en el laboratorio World Survey Services S.A

Cuadro 13: Contenido nutricional y digestibilidad de la materia seca, proteína cruda y extracto etéreo de la harina de subproducto avícola (HSA) y harina de sangre avícola (HS) (base seca).

Ingredientes	Materia seca (%)	Proteína cruda (%)	Extracto etéreo (%)	Coeficientes de digestibilidad aparente (%)			Valores digestibles (g / 100 g de alimento)		
				Materia seca	Proteína cruda	Extracto etéreo	Materia seca	Proteína cruda	Extracto etéreo
HSA	100	78.80	13.37	71.46±6.67	85.39±5.58	94.07±3.06	71.46	67.28	12.58
HS	100	91.44	1.54	61.52±0.61	70.00±4.75	96.11±2.55	61.52	64.00	1.48

Cuadro 14: Contenido de energía bruta, digestibilidad de la energía bruta y energía digestible de la harina de subproducto avícola y harina de sangre (base seca).

	Harina de subproductos avícolas	Harina de sangre avícola
Energía bruta (Kcal/Kg)	5812	5403
Coefficiente de digestibilidad aparente de la energía bruta (%)	78.40.±5.28	64.96.±2.27
Energía digestible (Kcal/Kg)	4556	3510

87.24 ± 0.32 y 89.97 por ciento, respectivamente. Con relación a la harina de sangre avícola (HS), el valor de CDAP obtenido fue ligeramente menor al reportado por Vásquez-Torres *et al.* (2013) quienes reportaron valores de CDAP de 77.8 ± 3.9 por ciento en paco (*Piaractus brachypomus*); sin embargo Abiimorad y Carneiro (2004) y Pezzato *et al.* (2002) señalan CDAP menores al determinado en el presente estudio, 57.72 ± 7.14 y 50.69 ± 0.27 por ciento para pacú (*Piaractus mesopotamicus*) y para tilapia (*Oreochromis niloticus*).

Cabe mencionar que la digestibilidad de ingredientes de origen animal se ve afectado por diferencias en la calidad de la materia prima respecto a su composición, procedencia de los animales y sobre todo por el proceso al cual es sometido para obtener la harina; tratamientos térmicos como la cocción o el secado pueden causar desnaturalización en las proteínas y aminoácidos a través de la degradación oxidativa, entrecruzamiento no peptídico, reacción de Maillard, pirólisis, entre otros; los cuales afectan el valor nutritivo de los ingredientes (Bureau *et al.* 1999, NRC 2011 y Vásquez-Torres *et al.* 2013).

Los valores de coeficiente de digestibilidad aparente del extracto etéreo (CDAee) obtenidos se muestran en el cuadro 13 y anexo V, los cuales fueron 94.07 ± 3.06 y 96.11 ± 2.55 y por ciento para harina de subproducto y harina de sangre avícola respectivamente, los cuales fueron mayores al reportado por Briones (2019) para harina de pescado en alevines de paco (*Piaractus brachypomus*) cuyo valor de CDAee fue 89.91 por ciento.

Con respecto a la harina de subproducto avícola (HSA), podemos mencionar que el valor del CDAee obtenido es similar con los reportados por Pezzato *et al.* (2002) y Buzollo *et al.* (2018) quienes encontraron valores de CDAee de 95.10 ± 0.30 y 96.60 ± 3.07 por ciento para tilapia (*Oreochromis niloticus*) y gamitana (*Colossoma macropomum*) respectivamente. Con relación a la harina de sangre avícola (HS), el valor de CDAee obtenido en el presente trabajo fue mayor al reportado por Pezzato *et al.* (2002), quienes obtuvieron un CDAee de 89.36 ± 0.16 por ciento en tilapia (*Oreochromis niloticus*). La digestibilidad del extracto etéreo está relacionado a la composición de los ingredientes, Sklan *et al.* (2004) menciona que el CDAee se incrementa con el contenido de proteína de la dieta. Por su parte Cho y Kaushik (1990) citados en Bureau (1999), mencionan que el contenido de altos niveles de ácidos grasos saturados presentes en ingredientes provenientes del *rendering*, pueden afectar los valores del CDAee. Guillaume *et al.* (2004) concuerdan que

los peces utilizan bien los lípidos de bajo punto de fusión independientemente de su origen, animal o vegetal.

Los valores obtenidos de coeficiente de digestibilidad aparente de la energía bruta (CDA EB) y energía digestible (ED) se muestran en el cuadro 14 y anexo V, los cuales fueron 78.40 ± 5.28 por ciento y 4556.32 kcal/kg para harina de subproducto avícola; y para la harina de sangre avícola 64.96 ± 2.27 por ciento y 3509.80 kcal/kg. Por su parte, Briones (2019) reportó para alevines de paco (*Piaractus brachypomus*) un CDA EB de 80.46 por ciento y una ED de 3720 kcal/kg para la harina de pescado. La diferencia en estos valores podría ser explicado por la composición proximal de cada ingrediente, principalmente lípidos y extracto libre de nitrógeno (ELN). De acuerdo con Abimorad y Carneriro (2007) el incremento de carbohidratos en la dieta del paco (*Piaractus brachypomus*) no interfiere en la digestibilidad de la proteína, por el contrario mejora los coeficientes de digestibilidad de la materia seca y energía; demostrándose así, que esta especie es más efectiva aprovechando los carbohidratos y lípidos como fuente de energía, generando un efecto-ahorro en las proteínas.

Con respecto a la harina de subproducto avícola (HSA), podemos mencionar que el valor obtenido en el presente trabajo es mayor al reportado por Abimorad y Carneiro (2004) para pacú (*Piaractus mesopotamicus*) con un CDA EB de 69.99 ± 5.81 por ciento y una ED de 3141.87 kcal/kg; pero es menor al reportado por Buzollo *et al.* (2018) para gamitana (*Colossoma macropomum*) con un CDA EB de 83.83 ± 0.99 por ciento y una ED de 4363.71 kcal/kg, estas diferencias en los valores se presentan debido a que los requerimientos nutricionales específicos para cada especie están determinados por su fisiología (Guimaraes y Martins, 2015). Con respecto a la harina de sangre avícola (HS), los valores obtenidos fueron menores a los reportados por Vasquez-Torres *et al.* (2013) para paco (*Piaractus brachypomus*) con un CDA EB de 78.2 ± 2.9 por ciento y ED de 4146.8 kcal/kg; y por Abimorad y Carneiro (2004) para pacú (*Piaractus mesopotamicus*) con un CDA EB de 67.41 ± 3.71 por ciento y ED de 3257.08 kcal/kg.

El valor de la energía digestible representa la sumatoria de los CDA de los nutrientes (NRC, 2011). Por lo tanto, podemos mencionar que los subproductos avícolas presentan buenos valores para ser considerados como ingredientes en la alimentación de juveniles de paco (*Piaractus brachypomus*).

4.3. Experimento II- Determinación del efecto de la inclusión de los subproductos sobre la performance de juveniles de paco

El efecto de la inclusión de subproductos avícolas, harina de subproducto avícola (HSA) y harina de sangre avícola (HS), sobre la performance de juveniles de paco se muestran en el cuadro 15 y anexos XVII, XVIII y XIX.

4.3.1. Ganancia de peso (P) y Ganancia de biomasa (GB)

Respecto a la ganancia de peso se puede apreciar que existe diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos con mayor porcentaje de inclusión de subproductos durante la fase experimental de 42 días, siendo el T3 (15% HSA) el que presentó mayor promedio con 155.51 g comparado con T5 (15%HS) el cual registró el menor desempeño con 77.98 g. Asimismo, no se presentaron diferencias significativas entre T1 (control), T2 (5%HSA) y T4 (5%HS). Con respecto la ganancia de biomasa, no se observaron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre T1 (control), T2 (5%HSA) y T4 (5%HS). Sin embargo, se presentan diferencias significativas con respecto a T5 (15%HS) y T3 (15%HSA) siendo los tratamientos de menor y mayor respuesta con 155.95 g y 311.02 g respectivamente.

Los valores de ganancia de peso (GP) reportados para la harina de subproducto avícola en este trabajo son menores a los encontrados por El-Sayed (1998) quien reportó 235.5 g para GP de alevines de tilapia (*Oreochromis niloticus*) alimentadas con dietas que incluían harina de subproducto avícola durante 150 días. Asimismo, en el trabajo de Hernández *et al.* (2010) donde evaluaron el uso de harina de subproducto avícola como ingrediente protéico para alevines de tilapia (*Oreochromis niloticus*), registraron mejores valores productivos en cuanto a GP frente a una dieta comercial y una respuesta similar a la harina de pescado. Por su parte Abdel-Warith *et al.* (2001) probaron 5 dietas con inclusiones de harina de subproducto avícola en bagre (*Clarias gariepinus*), donde reportaron mayores valores de GP con la dieta que contenía una inclusión del 20 por ciento registrando 164.3 g; mientras que el menor valor de GP fue 87.3 g reportado para la dieta con un 100 por ciento de reemplazo de harina de pescado por harina de subproducto avícola.

Cuadro 15: Efecto de la harina de subproducto avícola (HSA) y harina de sangre (HS) en el comportamiento productivo

Parámetros	Control	HSA		HS	
	T1 (0%)	T2 (5%)	T3 (15%)	T4 (5%)	T5 (15%)
Peso inicial (g)	360,29 ^a	364,10 ^a	371,05 ^a	357,47 ^a	357,12 ^a
Peso final (g)	463,11 ^{ab}	518,89 ^{ab}	526,56 ^a	472,97 ^{ab}	435,09 ^b
Ganancia de peso (g)	102,82 ^{ab}	124,42 ^{ab}	155,51 ^a	115,50 ^{ab}	77,98 ^b
Ganancia de biomasa (g)	205,64 ^{ab}	248,85 ^{ab}	311,02 ^a	231,00 ^{ab}	155,95 ^b
Tasa de crecimiento (g/d)	2,45 ^{ab}	2,96 ^{ab}	3,70 ^a	2,75 ^{ab}	1,86 ^b
Tasa de crecimiento específico (%/día)	0,60 ^{ab}	0,71 ^{ab}	0,83 ^a	0,67 ^{ab}	0,47 ^b
Tasa de conversión alimenticia	1,83 ^a	1,60 ^a	1,55 ^a	1,81 ^a	2,13 ^a
Tasa de eficiencia alimenticia (%)	55,61 ^a	62,40 ^a	65,42 ^a	55,52 ^a	50,01 ^a
Tasa de eficiencia protéica	1,68 ^a	1,91 ^a	1,95 ^a	1,65 ^a	1,47 ^a

Medias seguidas por letras diferentes en las filas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

Estas diferencias podrían estar relacionadas con las especies estudiadas y las diferencias en la fisiología de sus tractos digestivos, tamaño y tipo de estómago, tiempo de tránsito y eficiencia enzimática, entre otros; de los cuales dependerá la eficiencia con la que un alimento es ingerido y asimilado (Moraes y De Almeida, 2014). En estudios de fisiología realizados por Kamal *et al.* (2017) y Mendoza *et al.* (2013) mencionan que el bagre (*Clarias gariepinus*) y el paco presentan un estómago tipo jota lo que les permitiría extender la duración de la comida en el estómago asegurándose un mayor grado de digestión; mientras que Caceci *et al.* (1997) reportan que la tilapia (*Oreochromis niloticus*) presenta uno en forma de “Y” el cual permite una retención mucho mayor de ciertos alimentos. En investigaciones sobre evacuación intestinal Uscanga *et al.* (2011) mencionan que en peces omnívoros como la tilapia (*Oreochromis niloticus*) se estimó en 7.5 h y que en especies carnívoras este periodo es mayor, mientras que Gómez y Clavijo (2013) en su trabajo con paco demostraron que a mayor contenido estomacal el tiempo de vaciado del estómago se incrementa, siendo alrededor de 6 horas. Cabe mencionar que el perfil enzimático de los peces es un factor importante a tomar en cuenta, De Almeida *et al.* (2006) observaron que las enzimas digestivas distribuidas a lo largo del tracto intestinal de juveniles de gamitana (*Colossoma macropomum*) permiten mejorar la capacidad de digestión y absorción de los nutrientes, e incrementar su digestibilidad.

En cuanto a la harina de sangre avícola los valores de GP reportados en este trabajo son menores al obtenido por El-Sayed (1998), quien señala un valor de GP de 187.5 g para tilapias (*Oreochromis niloticus*) alimentadas con dietas en las cuales la harina de pescado fue reemplazada en su totalidad por harina de sangre. Por otra parte, los valores determinados en el presente trabajo son mayores a los encontrados en harina de sangre bovina; Martins y Guzmán (1994) trabajaron con juveniles de gamitana (*Colossoma macropomum*) alimentadas por 147 días, obteniéndose el mejor desempeño con un valor de 97.81 g para GP correspondiente a una inclusión de 25 por ciento de harina de sangre. Asimismo, Montoya-Mejía *et al.* (2017) registraron una GP de 91.9 g para juveniles de tilapia (*Oreochromis niloticus*) alimentadas durante 60 días con dietas que contenían 15 por ciento de inclusión de harina de sangre bovina. Además de la especie, también se debe considerar a las fuentes protéicas de los insumos como otro factor que puede influir sobre la ganancia de peso.

El las figuras 3 se muestra el desarrollo de ganancia de peso a lo largo del experimento, donde se puede observar que las dietas con harina de subproducto avícola presentaron un mejor desempeño, sobretodo T3 (15% HSA). Mientras que los tratamientos que contenían harina se sangre avícola fueron los que presentaron menores respuestas a lo largo del experimento. Cabe mencionar que el marcado descenso de GP a partir del día 28 fue originado por factores relacionados con la capacidad de carga de los acuarios debido al desarrollo de los peces.

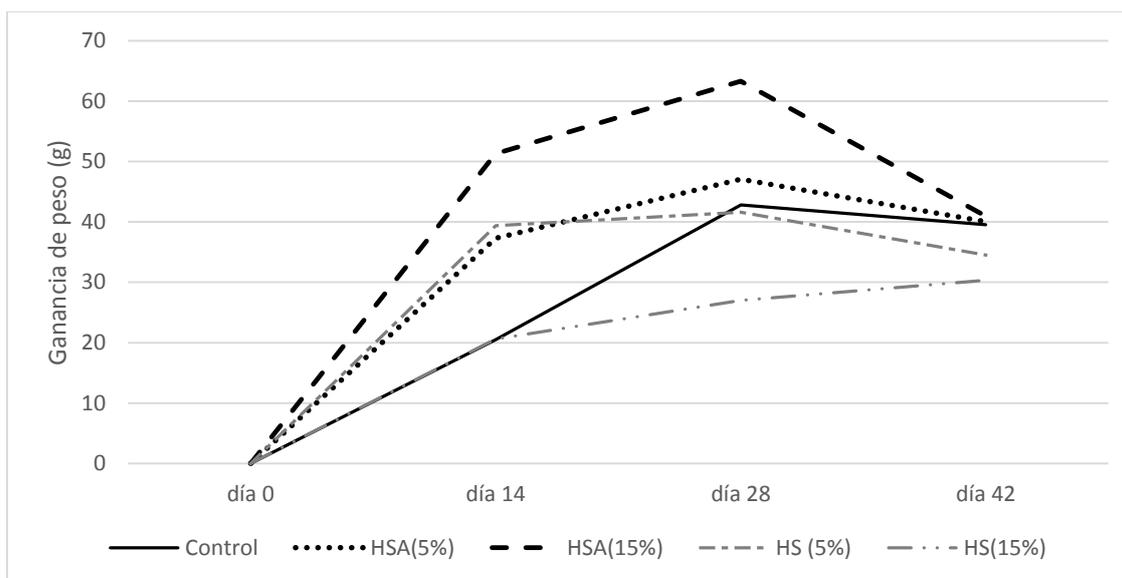


Figura 3: Efecto de las dietas con inclusión de subproductos sobre la ganancia de peso (g) en juveniles de paco.

4.3.2. Tasa de crecimiento (TC) y Tasa de crecimiento específico (TCE)

Con respecto a la tasa de crecimiento y tasa de crecimiento específico, no se observaron diferencias significativas ($p > 0.05$) (Cuadro 15) entre los valores de T1 (control), T2 (5%HSA) y T4 (5%HS). Mientras que, si se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos que contenían una mayor inclusión de los ingredientes para ambos parámetros (TC y TCE), T3 (15%HSA) y T5 (15% HS). T5 reportó promedios menores para la tasa de crecimiento con 1.86 g/día y 0.47 %/día para la tasa de crecimiento específico; por otro lado, el tratamiento T3 mostró los mejores promedios con 3.70 g/día y 0.83 %/día para los mismos parámetros respectivamente.

Los valores de TC y TCE para la harina de subproducto avícola reportados en este trabajo son menores a los encontrados por Piñeiros *et al.* (2014), quienes reportaron un valor de TCE de 5.1%/día para juveniles de paco (*Piaractus brachypomus*). En estudios llevados a cabo

en especies omnívoras, los valores de TCE y TC para harina de subproducto avícola son mayores a los determinados en el presente trabajo; El-Sayed (1998) reportó un valor de TC de 1.57 g/día y 2.02 %/día de TCE para alevines de tilapia (*Oreochromis niloticus*); mientras que, Hernández *et al.* (2010) reportan un valor de TCE de 2.8 %/día para alevines de la misma especie. Por su parte, Abdel-Warith *et al.* (2001) registraron una TCE de 3.68 %/día para juveniles de bagre (*Clarias gariepinus*) alimentados con dietas que incluían 20 por ciento de harina de subproducto avícola y 2.83 %/día para una dieta con un 100 por ciento de sustitución de harina de pescado por harina de subproducto avícola.

Los valores de TC y TCE para la harina de sangre avícola reportados en este trabajo son menores a los reportados por El-Sayed (1998) quien reportó una TC de 1.25 g/día y TCE de 1.87 %/día para alevines tilapia (*Oreochromis niloticus*) alimentados con dietas que incluían harina de sangre. Así mismo nuestros valores de TCE fueron menores a los reportados en trabajos con harina de sangre bovina, Martins y Guzmán (1994) reportaron valores de TCE de 1.14 %/día para juveniles de gamitana (*Colossoma macropomum*) alimentadas con dietas con 25 por ciento de inclusión de harina de sangre bovina. Mientras que Montoya-Mejía *et al.* (2017) determinaron una TCE de 4.3 %/día para juveniles de tilapia (*Oreochromis niloticus*) alimentadas con dietas con 15 por ciento de inclusión de harina de sangre bovina.

Cabe mencionar que las variaciones en las tasas de crecimiento pueden estar explicadas por la edad de la especie; la cual influencia de forma marcada la velocidad de crecimiento, de manera que la tasa de crecimiento específico disminuye de forma exponencial en función del tiempo (Mambrini y Guillaume, 2004). Por su parte, Shapawi *et al.* (2007) mencionan que la variabilidad en los resultados de performance pueden estar influenciados principalmente por factores como la especie y a la variabilidad en la calidad de los ingredientes, los cuales se ven significativamente influenciados por el método de procesamiento empleado para su elaboración. Por otro lado, los resultados obtenidos en la prueba de digestibilidad se ven reflejados en las tasas de crecimiento, correspondiéndole a un mayor coeficiente de digestibilidad una mejor tasa de crecimiento.

En la figura 4 se muestra el desarrollo de la tasa de crecimiento específico de las dietas experimentales durante los 42 días de ensayo, donde se observa que durante los primeros 14 días los tratamientos presentaron respuestas positivas, siendo T1 (control) 0.40 %/día; T2

(5%HSA) 0.70 %/día; T4 (5%HS) 0.75 %/día, T5 (15%HS) 0.40 %/día, destacando T3 (15%HSA) con 0.92 %/día. Además se observó que la mejor velocidad de crecimiento se evidenció durante la tercera biometría (día 28), siendo para T1 (control) 0.76 %/día; T2 (5%HSA) 0.80 %/día; T4 (5%HS) 0.71 %/día; T5 (15%HS) 0.49 %/día, siendo T3 (15%HSA) con 1.00 %/día el tratamiento con mejor desempeño. Cabe mencionar que el marcado descenso de TCE a partir del día 28 fue originado por factores relacionados con la capacidad de carga de los acuarios debido al desarrollo de los peces.

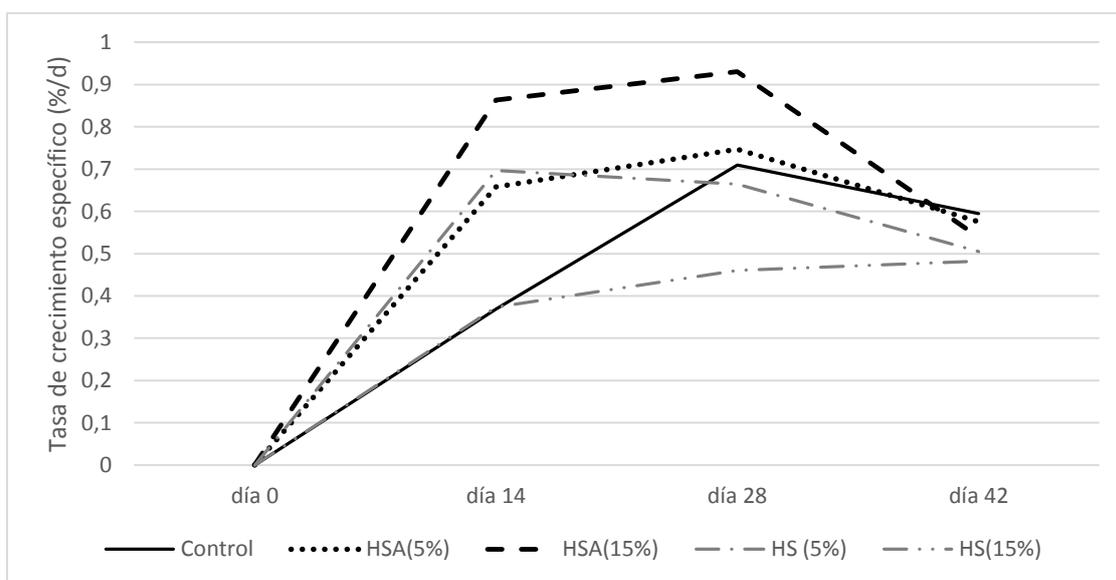


Figura 4: Efecto de las dietas con inclusión de subproductos sobre la tasa de crecimiento específico (%/día) de juveniles de paco.

4.3.3. Tasa de conversión alimenticia (TCA) y Tasa de eficiencia alimenticia (TEA)

Con respecto a la tasa de conversión alimenticia no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los cinco tratamientos (Cuadro 15). Sin embargo, T3 (15%HSA) numéricamente presenta el menor promedio de TCA con respecto a los demás tratamientos con un valor de 1.55 seguido por el T2 (5%HSA) con 1.60. Mientras que, los tratamientos con inclusión de harina de sangre avícola presentaron los mayores valores de TCA, 1.81 y 2.13 para T4 (5%HS) y T5 (15%HS) respectivamente.

Las tasas de conversión alimenticia (TCA) reportadas para la harina de subproducto avícola en este trabajo fueron mayores al determinado por Piñeros *et al.* (2014) quienes reportaron valores de 1.2 de TCA para juveniles de paco (*Piaractus brachypomus*) alimentadas con

dietas con un 30 por ciento de harina de subproducto avícola como ingrediente protéico. Sin embargo, en estudios con otras especies los valores de TCA determinados en el presente trabajo fueron menores; El-Sayed (1998) quien trabajó con juveniles de tilapia (*Oreochromis niloticus*) alimentadas con dietas con harina de subproducto avícola registrando valores de 2.24 de TCA. Hernández *et al.* (2010) reportaron valores de 1.3 de TCA para juveniles de la misma especie. Por su parte, Abdel-Warith *et al.* (2001) determinaron que el mejor valor de TCA para bagre (*Clarias gariépinus*) fue de 1.58 en dietas con 25 por ciento de inclusión de harina de subproducto avícola; mientras que, una sustitución completa mostró valores de 2.25.

Las tasas de conversión alimenticia (TCA) encontradas para la harina de sangre avícola en este trabajo son menores a los reportados por El-Sayed (1998) quien registró valores de 2.57 de TCA para alevines de tilapia (*Oreochromis niloticus*) alimentadas con dietas con Harina de sangre. No obstante nuestros valores de TCA fueron mayores a los reportados en trabajos con harina de sangre bovina; Martins y Guzmán (1994) reportaron para una dieta con 25 por ciento de inclusión de harina de sangre bovina un TCA de 1.59 para juveniles de gamitana (*Colossoma macropomum*). Montoya-Mejía *et al.* (2017) reportaron valores de 1.9 de TCA para juveniles de tilapia (*Oreochromis niloticus*) alimentadas con dietas con 15 por ciento de inclusión de sangre bovina.

En relación a la tasa de eficiencia alimenticia (TEA) no se encontraron diferencias significativas entre los cinco tratamientos como se observa en el cuadro 15. Sin embargo, T3 (15%HSA) numéricamente presenta un mayor promedio, 65.42 por ciento frente a los demás tratamientos. En la figura 5, se muestra el desenvolvimiento de la tasa de eficiencia alimenticia (%TEA) durante el experimento. Donde se muestra que las dietas con harina de sangre avícola presentan una tendencia a disminuir, sobretodo T4 (5%HS) a partir de la segunda biometría (14 días). Mientras que el mayor valor de TEA fue obtenido con el tratamiento T3(15%HSA).

Estos resultados podrían estar influenciados por el grado de palatabilidad que presentan las harinas. Piñeros *et al.* (2014) reportaron que la palatabilidad de la harina de subproducto avícola en juveniles de paco (*Piaractus brachyomus*) puede llegar a ser igual o mayor que la harina de pescado, incrementándose el consumo del alimento. Con respecto a la harina de

sangre esta es variable, debido a que la tecnología usada para su elaboración influye en la palatabilidad y la disponibilidad de sus aminoácidos (Ravindran y Blair 1993).

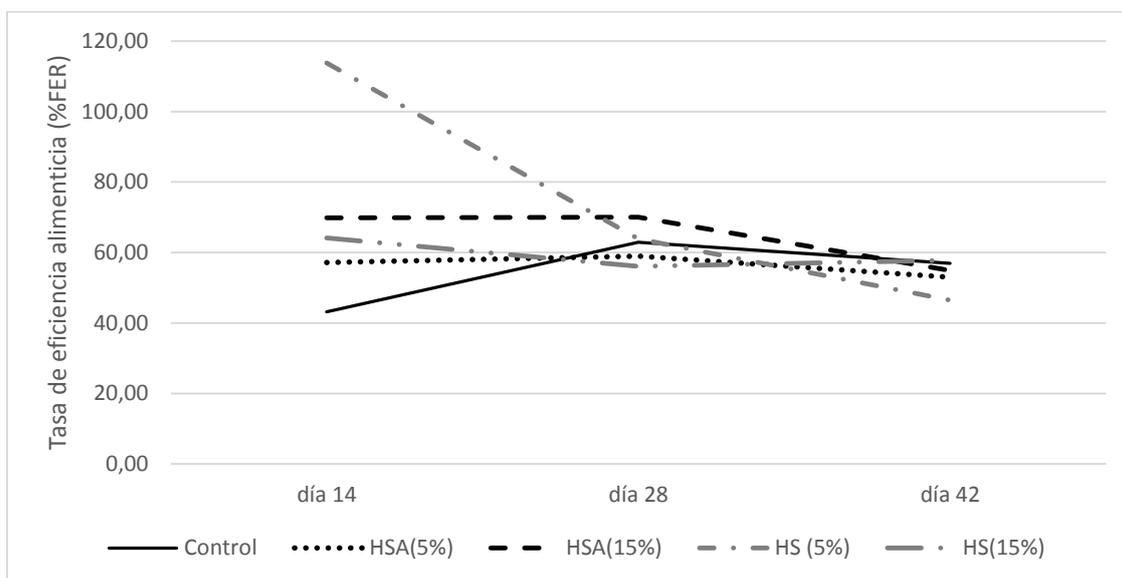


Figura 5: Efecto de las dietas con inclusión de subproductos sobre la tasa de eficiencia alimenticia (%FER) de juveniles de paco.

4.3.4. Tasa de eficiencia proteica (TEP)

Con respecto a la tasa de eficiencia protéica no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los cinco tratamientos (Cuadro 15). El T2 (5%HSA) y T3 (15%HSA) fueron los que numéricamente presentaron un promedio mayor a los demás tratamientos con un TEP de 1.91 y 1.95 respectivamente. Mientras que T4 (5%HS) y T5 (15%HS) mostraron los menores promedios con 1.65 y 1.47 respectivamente.

Las tasas de eficiencia protéica (TEP) reportadas la harina de subproducto avícola en el presente trabajo son mayores que los reportados por El-Sayed (1998) quien determinó un TEP de 1.55 para alevines de tilapia (*Oreochromis niloticus*) usando harina de subproducto avícola como sustituto de la harina de pescado; mientras que, Hernández *et al.* (2010) reportaron un TEP de 2.2 para alevines de la misma especie. Por otra parte en especies como el bagre (*Clarias gariepinus*) Abdel-Warith *et al.* (2001) demostraron un TEP de 1.73 para dietas con 20 por ciento de inclusión de harina de subproducto avícola y 1.24 para dietas con un 100 por ciento de sustitución.

Las tasas de eficiencia protéica (TEP) reportadas para la harina de sangre avícola en el presente trabajo son mayores que los valores reportados por El-Sayed (1998) quien determinó un TEP de 1.30 para tilapia (*Oreochromis niloticus*) usando harina de sangre como sustituto de la harina de pescado. No obstante, nuestros resultados son menores a los reportados en trabajos con harina de sangre bovina; Montoya-Mejía *et al* (2017) determinaron un TEP de 1.5 para juveniles de tilapia (*Oreochromis niloticus*) alimentadas por 60 días con dietas que contenían 15 por ciento harina de sangre bovina como ingrediente protéico. Por otra parte Martins y Guzmán (1994) reportaron un TEP de 2.09 para juveniles de gamitana (*Colossoma macropomum*) alimentados con una inclusión de 25 por ciento de harina de sangre bovina durante 147 días.

En la figura 6, se muestra la tasa de eficiencia protéica durante la experimentación; en el día 28 se observa que los menores valores de TEP fueron mostrados por los tratamientos con inclusión de HS, principalmente T4 (5%HS) presentó una mayor disminución a partir de la segunda biometría. Por otra parte los mejores valores de TEP se observaron con los tratamientos con inclusión de HSA, destacando T3 (15%HSA).

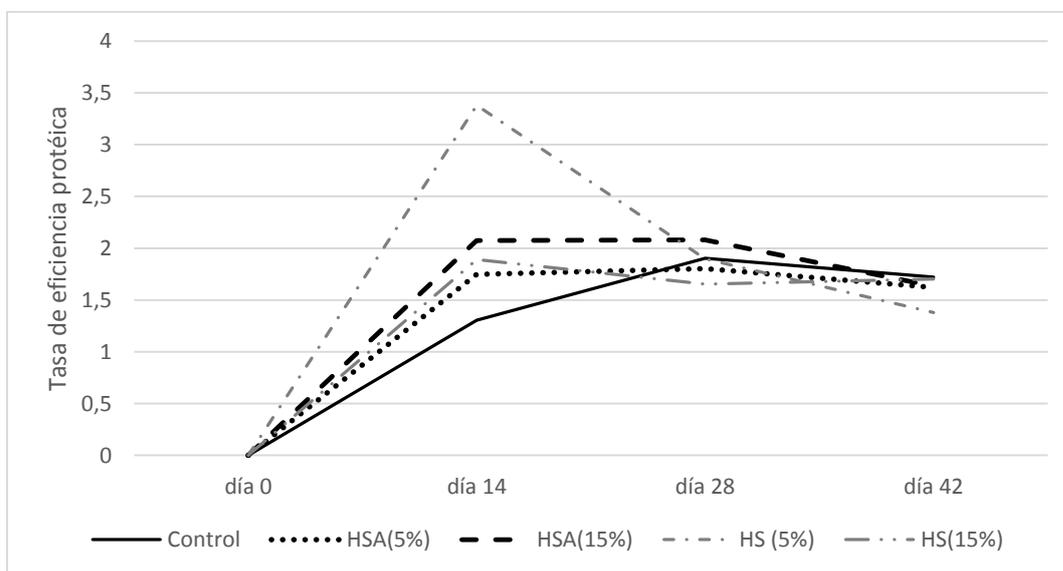


Figura 6: Efecto de las dietas con inclusión de subproductos sobre la tasa de eficiencia protéica (PER) de juveniles de paco.

Estos resultados se corresponden con los obtenidos en la prueba de digestibilidad donde la harina de subproducto avícola presentó mejores coeficientes de digestibilidad en comparación con la harina de sangre; lo que indicaría que esta harina a pesar de ser una buena fuente de lisina posiblemente sea deficiente en otros aminoácidos esenciales, como lo

indican en sus trabajos El-sayed (1998), Guillaume *et al.* (2004) y Hardy y Barrows (2002). Por su parte, Halver y Hardy (2002) mencionan que la deficiencia de aminoácidos esenciales en la dieta de organismos acuícolas tiene efectos negativos sobre la utilización de las proteínas, reduciendo el crecimiento y la eficiencia alimenticia; siendo las proteínas que poseen una mayor digestibilidad las que promueven una significativa deposición. Del mismo modo Rollin *et al.* (2003) señalan que la calidad de las proteínas presentes en un ingrediente depende de la composición y disponibilidad de sus aminoácidos.

Diversos autores concluyeron que la inclusión de ingredientes protéicos alternos tales como los subproductos avícolas, los cuales han sido investigados en la alimentación de diferentes especies acuícolas, pueden ser usados como sustitutos parciales o totales de la harina de pescado sin generar efectos perjudiciales en los parámetros de cultivo (Yang *et al.* 2004; Gutierrez-Espinosa, 2010; Hernández *et al.* 2010; Piñeros *et al.* 2014). Cabe mencionar que la determinación de la digestibilidad es importante para poder determinar la calidad de un ingrediente, la cual se ve influenciada por factores como las características fisiológicas propias de cada especie, la naturaleza y composición del ingrediente, así como, el procesamiento tecnológico utilizado en su elaboración.

Los mejores coeficientes de digestibilidad fueron obtenidos por la harina de subproducto avícola, mientras que los menores coeficientes fueron reportados para la harina de sangre avícola; lo cual se vio reflejado en la performance productiva de los juveniles de paco (*Piaractus brachypomus*).

V. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en las cuales se llevó a cabo el presente trabajo de investigación y en función a los resultados obtenidos, podemos concluir lo siguiente:

1. El valor nutritivo de la harina de subproducto avícola para juveniles de paco (*Piaractus brachypomus*) es mayor al valor de la harina de sangre avícola.
2. Los valores de coeficiente de digestibilidad aparente en juveniles de paco (*Piaractus brachypomus*) de la materia seca, proteína cruda y extracto etéreo fueron mayores en la harina de subproducto avícola, 71.5, 85.4 y 94.1 por ciento respectivamente, a diferencia de la harina de sangre, 61.5, 70.0 y 96.1 por ciento respectivamente.
3. El valor de energía digestible para juveniles de paco (*Piaractus brachypomus*) fue mayor en la harina de subproducto avícola (4556 kcal/kg en base seca), en comparación con el valor de la harina de sangre (3510 kcal/kg en base seca).
4. La inclusión de 15 por ciento de harina de subproducto avícola presentó una mejor performance en los parámetros productivos para juveniles de paco (*Piaractus brachypomus*) frente a los demás tratamientos, presentando diferencias significativas en cuanto a ganancia de peso (155.5 g), ganancia de biomasa (311.0 g) y tasa de crecimiento específico (0.83 %/día).

VI. RECOMENDACIONES

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

1. Utilizar el valor 4131 kcal ED/kg (base fresca) en harina de subproducto avícola para la formulación de alimentos balanceados de juveniles de paco (*Piaractus brachypomus*).
2. Incluir 15 por ciento de harina de subproducto avícola en dietas para juveniles de paco (*Piaractus brachypomus*) y evaluar mayores valores de inclusión en reemplazo de torta de soya.
3. Utilizar el valor 3161 kcal ED/kg (base fresca) en harina de sangre avícola para la formulación de alimentos balanceados de juveniles de paco (*Piaractus brachypomus*).
4. Incluir 5 por ciento de harina de sangre avícola en dietas para juveniles de paco (*Piaractus brachypomus*).

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdel-Warith, A; Russell, P; Davie, S. 2001. Inclusion of a commercial poultry by-product meal as a protein replacement of fish meal in practical diets for African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell 1822). *Aquaculture Research*, 2001, 32 (Suppl.1), 296 - 305

Abdel-Tawwab, M; Amad, M. 2009. Effect of dietary protein regime during the growing period of growth performance, feed utilization and whole body chemical composition of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) *Aquaculture Research*. 40 (13): 1532 – 1537.

Abowei, J; Ekubo, A. 2011. A Review of Conventional and Unconventional Feeds in Fish Nutrition. *British Journal of Pharmacology and Toxicology* 2(4): 179-191, 2011

Abiimorad, E;Carneiro, D. 2004. Métodos de coleta de fezes e determinação dos coeficientes de digestibilidade da fração proteica e da energia de alimentos para pacu (*Piaractus mesopotamicus* Holberg, 1887). *R. Bras. Zootec.*, v.33, n.5, p.1101 - 1109.

Abiimorad, E;Carneiro, D. 2007. Digestibility and performance of pacu (*Piaractus mesopotamicus*) juveniles – fed diets containing different protein, lipid and carbohydrate levels. *Aquaculture Nutrition* 13, 1 – 9.

Aldrich, G. 2006. Essential rendering. Rendered products in pet food. National renderes. Association. Virginia – usa.

Araujo, J; Nebo, C; Pádua, D; Souto, C; Guimaraes, I. 2018. Apparent digestibility of minerals from several ingredients for tambaqui, *Colossoma macropomum*, juveniles. *Journal of the world aquaculture society*.

Avalos, V. 2012. Obtención de aceite y harina proteica de alta calidad a partir de pollos de descarte y vísceras. Tesis. Callao. Perú. Universidad Nacional del Callao. Pags 48 (En línea). Consultado 18 Set.2018. Disponible en:

http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/UNAC/2037/Avalos_Informefinal_2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Austreng, E; Storebakken, T; Thomassen, M; Refstie, S; Thomassen, Y. 2000. Evaluation of selected trivalent metal oxides as inert markers used to estimate apparent digestibility in salmonids. *Aquaculture* 188: 65 -78

Batal, A; Dale, N. 2016. Feedstuffs Ingredient Analysis Table: 2016 edition (En línea).

Consultado 22 Set. 2018. Disponible en:

http://feedstuffs.farmcentric.com/mdfm/Feeess50/author/427/2015/11/Feedstuffs_RIBG_Ingredient_Analysis_Table_2016.pdf

Bell, M; Henderson, R; Sargent, J. 1986. The role of polyunsaturated fatty acids in fish. *Comp. Biochem. Physiol.* 83 B: 711-719

Bellaver, C.2002. Uso de residuos de origem animal na alimentacao de frangos de corte. III simposio Brasil Sul de Avicultura. Chapecó – Brasil.

Beltrán, C; Perdomo, W. 2007. Aprovechamiento de la sangre de bovino para la obtención de harina de sangre y plasma sanguíneo en el matadero Santa Cruz de Malambo Atlántico. Tesis. Bogotá. Colombia. Universidad de La Salle. Pags 193 (En línea). Consultado 22 Set. E2018. Disponible en:

<http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/15765/T43.07%20B419a.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Briones, K. 2019. Digestibilidad de ingredientes proteicos y requerimiento de proteína para el paco (*Piaractus brachypomus*) en la etapa de alevinos. Tesis para optar el grado de Maestro Magister Scientiae en Nutrición. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Bureau, D; Harris, A; Cho, C. 1999. Aparent digestibility of rendered animal protein ingredients for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 180, 345-358.

Bureau, D. 1996. Nutritional value of rendered animal protein ingredients for salmonids in the 90'S. In: The Canadian Feed Industry Association and 1996 Eastern Nutrition Conference. May 15 – 17. Dartmouth, Nova Scotia.pp. 239-246

- Buzollo,H; do Nascimento, T; de Sandre, L; Neira, L; Jomori, R; Carneiro,D. 2018. Apparent digestibility coefficients of feedstuff used in tambaqui diets. Bol. Inst. Pesca, 44(2): e316.
- Caceci, T; El-Habbak, H; Smith, S; Smith, B. 1997. The stomach of *Oreochromis niloticus* has three regions. J Fish Biol. 50: 939 - 52
- Chagas, E; Carvalho, G; Júnior, H; Roubach, R; Lourenço, J. 2005. Desempenho de tambaqui cultivado em tanques-rede, em lago de várzea, sob diferentes taxas de alimentação. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 40, 833 - 835.
- Cho, C; Slinger, S; Bayley, H. 1982. Bioenergetics of salmonid fishes: energy intake, expenditure and productivity. Comp. Biochem. Physiol. 73B, 25 - 41
- Cho, C; Kaushik, S. 1990. Nutritional energetics in fish: Energy and protein in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) In: Bourne, G.H. (Ed). Aspects of food production, consumption and energy values. World Rev. Nutr. Diet. 61, 132 - 172.
- Dales, N; Fancher, B; Zumbado, M; Villacres, A. 1993. Metabolizable energy content of poultry offal meal. Journal Applied Poultry science. 2: 40 – 42.
- Delgado, E. 2014. Efecto de tres niveles de harina de sangre avícola en la dieta sobre el comportamiento productivo de la codorniz (*Coturnix coturnix japonica*) en postura. Tesis. Lima. Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. Págs. 65 (En línea). Consultado 20 Set. 2018. Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2383>
- De Almeida, L; Lundstedt, L; Moraes, G. 2006. Digestive enzyme response of Tambaqui (*Colossoma macropomum*) fed on different levels of protein and lipid. Aqua. Nutr. 12, 443 – 450
- De Oliveira, M; De Matos, L; Da Silva, L; Chagas, E; Da Silva, G; Gomes, A. 2019. The digestive tube of *Piaractus brachipomus*: gross morphology, histology/histochemistry of the mucosal layer and the effects of parasitism by *Neoechinorhynchus sp.* J.Fish Biol. 1 – 12.
- El-sayed, A. 1998. Total replacement of fish meal with animal protein sources in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) feed. Aquaculture Research. 29, 275 - 280.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura).S.F. revisión del desarrollo Avícola: Gestión de residuos de aves de corral en los países en desarrollo. (En línea) Consultado 18 Set. 2018. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/016/al716s/al716s00.pdf>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2010. Peces nativos de agua dulce de América del Sur de interés para la acuicultura: Una síntesis del estado de desarrollo tecnológico de su cultivo Requerimiento energético Requerimiento energético de mantenimiento. Serie Acuicultura en Latinoamérica. Número 1. 200 pags.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2012. Alimentar al sector de la acuicultura en crecimiento: Un análisis. Comité de pesca. Subcomite de acuicultura. Sexta Reunión. Ciudad del Cabo – Sudáfrica.

FAO (Organización de las Naciones Unida para la Agricultura y la Alimentación). 2018. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2016. Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos. Roma. 224 pp.

FEDNA (Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal). 2018. Tablas FEDNA: Composición de alimentos. Valor Nutritivo (En línea) Consultado 05 Jul 2018. Disponible en: <http://www.fundacionfedna.org/tablas-fedna-composicion-alimentos-valor-nutritivo>

FEDNA (Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal). 2010. Concentrados de proteína animal (En línea) Consultado 19 Set 2019. Disponible en: http://www.fundacionfedna.org/concentrados_proteina_animal

FONDEPES (Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero). 2019. Manual de cultivo de gamitana en ambientes convencionales (En línea). Consultado 04 Nov. 2019. Disponible en: <http://www.fondepes.gob.pe/Portal2018/index.php/portfolio>

Gomez, J; Clavijo, L. 2013. Evaluación del tiempo de evacuación gástrica de la cachama blanca *Piaractus brachypomus* (Cuvier, 1818), utilizando diferentes frecuencias de alimentación y ayuno. Acta Agronomica 62 (4). Pag: 321 – 325.

Guillaume, J, Kaushik, S; Bergot, P; Mètailler, R. 2004. Nutrición y alimentación de peces y crustáceos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid España. Pags 475.

Guimaraes, I; Pezzato, L; Barros, M.2008. Amino acid availability and protein digestibility of several protein sources of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquaculture Nutrition 14; 396 – 404.

Guimaraes, I; Martins, G. 2015. Nutritional requirements of two Amazonian aquacultured fish species, *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1816) and *Piaractus brachypomus* (Cuvier, 1818): a mini review. Journal of Applied Ichthyology. 31 (4): 57 – 66.

Gutierrez-Espinosa, M. 2010. Efecto de la sustitución de la harina de pescado por materias primas alternativas en la digestibilidad, crecimiento y retención de proteína y energía en tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) Linnaeus 1758. Instituto de Acuicultura de los Llanos, Universidad de los Llanos. Tesis – Maestría.

Halver, J; Hardy, R. 2002. Fish Nutrition. 3rd Ed. Academic Press, New york.

Hardy, R; Barrows, F. 2002. Diet formulation and manufacture. In: Halver, J; Hardy, R (Eds). Fish Nutrition. 3rd Ed. Academic Press, New york.

Hazarika, M. 1994. Utilization of animal by-product animal feed. Livestock adviser, 19: 14 - 14.

Hernandez, C; Olvera-Novoa, M; Hardy, R; Hermosillo, A; Reyes, C; Gonzales, 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. 16 (2): 44-53.

Hussain, S; Afzal, M; Salim, M; Javid, A; Khichi, T; Husain, M; Raza, S. 2011. Apparent digestibility of fish meal, blood meal and meat meal for *Labeo rohita* fingerlings. The Journal of Animal and Plant Science, 21 (4): 807 – 811.

INPA (Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura). 1996. Fundamentos de nutrición y alimentación en acuicultura. Eds. M Soler, H Rodríguez y P Victoria. Santa Fe de Bogotá. Págs. 341.

Jobling, M; Gomes, E; Dias, J. 2001. Feed types, manufacture and ingredients. In: Houlihan, D; Boujard, T; Jobling, M. (Eds.). Food Intake in Fish Blackwell Science, Oxford, UK. Pp: 25 - 42.

Johnson, M; Parsons, C. 1997. Effects of raw material source, ash content, and assay length on protein efficiency ratio and net protein ratio values for animal protein meals. *Poultry Science* 76:1722 – 1727.

Johnson, M; Parsons, C; Fayg, Jr C; Merchen, N; Aldrich, C. 1998. Effect of raw material source, ash content and processing temperature on amino acid digestibility of animal by-product meal by cecectomized rosters and ileally cannulated dogs. *Journal of Animal Science*. 76: 112 – 1122.

Kamal, U; Sayed, A; Gomaa, M. 2017. Histomorphological, histochemical, and ultrastructural studies on the stomach on the adulta African catfish (*Clarias gariepinus*). *Journal of Microscopy and Ultrastructure* 5: 155 – 166.

Kopruçu, K; Ozdemir, Y. 2005. Apparent digestibility of select feed ingredients for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 250. 308 – 316.

Lafeta, Y; Vergara, V; Camacho, R. sf. Determinación de la digestibilidad de ingredientes y el requerimiento de proteína y energía digestible en paco (*Piaractus brachypomus*). Universidad Agraria La Molina Laboratorio de Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos. Acuioriente. Universidad Nacional de Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. La molina, Perú.

Latif, L. 2013. Impact of fishmeal replacement with poultry meal on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) nutrition, physiology and performance. Thesis of Doctor of Philosophy. University of Tasmania.

Macavilca, Y. 2013. Evaluación del concentrado protéico de subproducto de camal avícola utilizando tres programas de alimentación en pollos. Tesis Ingeniero Zootecnista. Lima – Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Zootecnia.

Machado, F; Xavier, P; Oliveira, E; Martins, R; Assis, T; Menezes, A; Oliveira, T; Carvalho, A. 2016. Alimentação e nutrição de pirapitinga (*Piaractus brachypomus*) e tambaqui (*Colossoma macropomum*): Revisao. *Publicaciones em Medicina Veterinaria e Zootecnia*. V.10, n.12, p.873 - 882.

Madrid, A. 1999. Aprovechamiento de los subproductos cárnicos. Primera Edicion. Madrid – España. Mundi-Prensa.

Mambrini, M y Guillaume, J. 2004. Nutrición proteica. In: Guillaume, J, Kaushik, S; Bergot, P; Métailier, R. Nutrición y alimentación de peces y crustáceos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid España. Pags 475

Marchán, A. 2012. Evaluación de un concentrado protéico de subproducto de camal avícola en dietas de postura sobre el comportamiento productivo de la codorniz. Tesis Ingeniero Zootecnista. Lima –Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Zootecnia.

Martins, S; Guzmán, E. 1994. Effect of drying method of bovine ood on the performance of growing diets for tambaqui (*Colossoma macropomum*, Cuvier 1818) in experimental culture tanks. *Aquaculture* 124 (1994) 335 - 341.

McDonald, P; Edwards, R; Greenhalgh, J; Morgan, C; Sinclair, R; Wilkinson, R. 2010. *Animal Nutrition*. Seventh edition. UK. Pearson. Págs 692

Mendoza, R; Aguilera, C y Montemayor, J. 2000. Utilizacion de subproductos avícolas en las dietas para organismos acuáticos. In: Civeda-Cerecedo, R; Pérez-Estrada, C; Riquemarie, D y Cruz-Suárez, L. (Eds.) *Avances en Nutricion Acuícola IV*. Memoria de IV Simposium Internacional de Nutricion Acuícola. Noviembre 15-18. 1998. La Paz, B.C.S, Mexico. Pp: 398 - 439

Mendoza, M; Comas, J; Romero,H. 2013. Estudio Histologico del sistema digestivo en diferentes estadios de desarrollo de la cachama blanca (*Piaractus brachypomus*). *Rev. Med. Vet.* (25), 21 – 38.

Miranda, J. 2018. Digestibilidad de nutrientes y determinación del requerimiento energético de juveniles de paco (*Piaractus brachypomus*). Tesis para optar el grado de Maestro Magister Scientiae en Nutrición. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Meeker, D. 2009. *Lo Imprescindible del Reciclaje*. Todo sobre la industria de los subproductos de origen animal. Ruiz, B. Virginia. EUA. Kirby Lithographic Company Inc. Pags 374.

Montoya-Mejia, M; Garcia-Ulloa, M; Hernandez-Llamas, A; Nolasco-Soria, H; Rodriguez-Gonzales, H. 2017. Digestibility, growth, blood chemistry, and enzyme activity of juvenile *Oreochromis niloticus* fed isocaloric diets containing animal and plant by-products. *Revista Brasileira de Zootecnia* 46 (12): 873 - 882.

Morales, G; De Almeida, L. 2014. Nutrição e aspectos funcionais da digestao de peixes. In. Baldisserotto, B; Possebon, J; Criscuolo, E. Biologia e fisiologia de peixes neotropicais de água doce. Jabotibacal: FUNEP; UNESP. Pag. 336.

Njieassam, ES. 2016. Effects of using Blood Meal on the Growth and Mortality of Catfish. J Ecosys Ecograph 6: 204

NRC (National Research Council). 2011. Nutrient Requirements of Fish. National Academy Press. Washington, D.C. Usa. Pags 399.

Ochoa, D. 2018. Estimación del requerimiento de aminoácidos esenciales del paco (*Piaractus brachypomus*) en base a la composición de aminoácidos en el músculo. Tesis para optar el grado de Maestro Magister Scientiae en Nutrición. Universidad Nacional Agraria La Molina.

OLDEPESCA (Organización Latinoamericana De Desarrollo Pesquero). 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) 74 p.

Pezzato, L; Carvalho, E; Barros M; Quintero, L; Massamitu, W; Pezzato, A. 2002. Digestibilidade aparente de ingredientes pela tilapia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). R. Bras.Zootec., v.31, n.4, p.1595-1604.

Piñeros, A; Gutiérrez, M; Castro, S. 2014. Sustitución total de la harina de pescado por subproductos avícolas suplementados con aminoácidos en dietas para juveniles de *Piaractus brachypomus*, Cuvier 1818. Orinoquia, vol. 18, núm. 2. pp. 13 - 24

Pokniak, J; Gonzales, N. 1984. Evaluación química y contenido de Energía Metabolizable aparente de la harina de subproductos de matadero de aves. Archivo Médico Veterinario. Santiago de Chile. 16 (1):21 – 27

Poleo, G; Aranbario, J; Mendoza, L; Romero, O. 2011. Cultivo de cachama blanca en altas densidades y en dos sistemas cerrados. Pesq. Agropec. bras. Brasilia, V. 46, n.4, pag. 429 – 437.

PRODUCE (Ministerio de Producción). 2019. Anuario estadístico pesquero y acuícola 2017 (En línea). Consultado 17 Jul. 2019. Disponible en: <http://ogeiee.produce.gob.pe/index.php/shortcode/oe-documentos-publicaciones/publicaciones-anuales/item/825-anuario-estadistico-pesquero-y-acuicola-2017>

Rollin, X; Mambrini, M; Abboudi, T; Larondelle, Y; Kaushik, S. 2003. The optimum dietary indispensable amino acid pattern for growing Atlantic salmon (*Salmo salar*) fry. *British Journal Nutrition* 90:865-876.

Salinas, A. 2018. Niveles de energía y relación proteína a energía sobre el desempeño productivo y composición corporal del paco (*Piaractus brachypomus*) en la etapa de alevinos. Tesis para optar el grado de Maestro Magister Scientiae en Nutrición. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Ravindran, V; Blair, R. 1993. Feed resources for poultry production in Asia and the Pacific. III Animal Protein Sources. *World Poultry Science Journal*. Vol. 49.

SENASA (Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria). 2009. RJ. N°064-2009-AG-SENASA (En línea). Consultado 15 Set. 2019. Disponible en: <https://www.senasa.gob.pe/senasa/descargasarchivos/2014/10/RJ-64-2009.pdf>

SENASA (Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria). 2018. Subproductos (En línea). Consultado 17 Set. 2018. Disponible en: <http://www.senasa.gob.ar/cadena-animal/bovinos-y-bubalinos/industria/productos-y-subproductos/subproductos>

Shapawi, R; Mostafa, SD. (2007) Replacement of fish meal with poultry by product meal in diets formulated for the humpback grouper (*Cromileptes altivelis*). *Aquaculture* 273: 118 – 389.

Silva, C; Carvalho, L; Rodrigues, B. 2007. Effect of feeding rate and frequency in Tambaqui (*Colossoma macropomum*) growth, production, and feeding costs during the first growth phase in cage. *Aquaculture*. 264, 135 – 139.

Sklan, D; Prag, T; Lupatsch, I. 2004. Apparent digestibility coefficients of feed ingredients and their prediction in diets for tilapia *Oreochromis niloticus* X *Oreochromis aureus* (Teleostei, Cichlidae). *Aquaculture Research*. 35, 358-364.

Tamim, N; Doerr, J. 2003. Effect of putrefaction of poultry carcasses prior to rendering on biogenic amine production. *Journal of Applied Poultry Science*. 12: 456 – 460.

Tobal C. (s.f). Evaluación de los alimentos a través de los diferentes métodos de digestibilidad (En línea). Consultado 02 Apr. 2017. Disponible en: <http://www.biblioteca.unlpam.edu.ar/pubpdf/anuavet/n1999a16tobal.pdf>

Torres, N. 2019. Evaluación de con niveles de harina de subproducto de aves en el alimento de las codornices en postura. Trabajo monográfico Ingeniero Zootecnista. Lima –Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Zootecnia.

Tueros, G. 2018. Comportamiento productivo y composición lipídica del paco (*Piaractus brachyomus*) alimentado con diferentes relaciones de ácidos grasos omega 6 a 3. Tesis para optar el grado de Maestro Magister Scientiae en Nutrición. Universidad Nacional Agraria La Molina.

UE (Unión Europea). 2002. Reglamento (CE) N° 1774/2002 del Parlamento Europeo y del consejo de 3 de octubre 2002 por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales no destinados al consumo humano (En línea). Consultado 16 Set. 2019. Disponible en: <https://publications.europa.eu/es/publication-detail/-/publication/1c9c9e54-f89c-4bcc-9de1-ea3ed76d499d/language-es>

Uscanga, A; Moyano, F; Álvarez, C; Perales, N. 2011. Aplicaciones a la mejora de la utilización nutritiva del alimento en cíclidos cultivado en México. In: Cruz, L; Ricque, D; Tapia, M; Nieto, M; Villareal; D; Gamboa, J; Hernández, L. (Eds) Avances en nutrición acuícola XI – Memorias del Décimo Primer Simposio Internacional de Nutrición Acuícola, 23 – 25 de noviembre, San Nicolás de los Garza N L, México. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México. Pag. 46 – 104.

Vàlquez-Torres, W. 2005. A pirapitinga: Reprodução e cultivo. In Baldisserotto, B; Gomes, L. Espécies nativas para piscicultura no Brasil. Santa María. Editora UFMS. P. 203 – 224.

Vasquez-Torres, W; Yossa, M; Gutierrez-Espinosa, M. 2013. Digestibilidad aparente de ingredientes de origen vegetal y animal en la cachama. *Pesq. agropec.bras.*, Brasília, v.48, n.8, p. 920 – 927.

Verastegui, M. 2007. Determinación de la energía metabolizable aparente corregida por nitrógeno para aves de la harina de subproducto de aves. Tesis Ingeniero Zootecnista. Lima – Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Zootecnia.

Yones, AMM; Metwalli, AA. 2015. Effects of Fish Meal Substitution with Poultry By-product Meal on Growth Performance, Nutrients Utilization and Blood Contents of Juvenile Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). J Aquac Res Development 6: 389.

Wang, X; Parsons, C. 1998. Order of aminoacid limitation in poultry by product meal. British Poultry Science, 39:1, 113 – 116.

Watson, H. 2006. Poultry Meal vs Poultry Byproduct Meal (En línea). Consultado 18 Set. 2018. Disponible en: <http://www.hilarywatson.com/chicken.pdf>

Yang, Y; Xie, S; Lei, W; Zhu, X, Yang, Y. 2004. Effect of replacement of fish meal by meat and bone meal and poultry by-product meal in diets on the growth and immune response of *Macrobrachium nipponense*. Fish and Shellfish Immunology. 17(2): 105 – 114.

Zarpellon, I. 2015. Taxa de alimentação para juvenis de pirapitinga criados em hapas. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. Goiânia-Brasil. Universidade Federal de Goiás. 61 pags (En línea). Consultado 18 Set. 2018. Disponible en: https://ppgz.evz.ufg.br/up/442/o/2015014_Idayana_Zarpellon.pdf

VIII. ANEXO

Anexo I: Peso y talla inicial de los peces para la prueba de digestibilidad

Dieta Referencial					
R1		R2		R3	
Peso (g)	Talla (cm)	Peso (g)	Talla (cm)	Peso (g)	Talla (cm)
331,31	23,5	334,15	23	411,86	24
341,05	23,5	339,05	23,2	259,53	21,6
Harina de Sangre					
R1		R2		R3	
Peso (g)	Talla (cm)	Peso (g)	Talla (cm)	Peso (g)	Talla (cm)
312,57	22,7	341,22	24	393,81	24
359,87	24,3	331,1	22,7	278,34	22,2
Harina de Subproducto Avícola					
R1		R2		R3	
Peso (g)	Talla (cm)	Peso (g)	Talla (cm)	Peso (g)	Talla (cm)
292,55	21,8	364,05	24	304,34	22,5
377,83	24,3	304,95	22,4	368,26	24,4

Anexo II: Contenido de materia seca, proteína bruta, extracto etéreo, fibra cruda, extracto libre de nitrógeno, ceniza y energía bruta de las dietas para la prueba de digestibilidad (base fresca)

	Dieta referencial	Dieta prueba con harina de sangre	Dieta prueba con harina de subproducto avícola
Materia seca (%)	91,53	91,44	91,35
Proteína bruta (%)	31,35	47,18	46,16
Extracto etéreo (%)	10,28	7,47	9,92
Fibra cruda (%)	1,5	0,83	1,13
Ceniza (%)	6,35	6,15	7,27
ELN (%)	42,05	29,81	26,87
Energía (Kcal/Kg)	4472,5	4573,7	4685,1

Anexo III: Contenido de materia seca, proteína bruta, extracto etéreo y energía bruta de las heces obtenidas de la dieta referencial y de las dietas pruebas (parcialmente seca)

	Dieta referencial			Dieta prueba con harina de sangre			Dieta prueba con harina de subproducto avícola		
	R1	R5	R9	R3	R4	R6	R2	R7	R8
Materia seca (%)	88,54	88,60	88,61	88,95	89,05	88,95	89,16	88,87	89,42
Proteína bruta (%)	9,92	10,33	10,71	24,46	21,21	23,21	17,54	14,98	20,11
Extracto etéreo (%)	1,44	1,36	1,3	1,17	0,81	0,69	1,54	1,25	1,8
Energía (Kcal/Kg)	3658,5	3731,50	3804,3	3955,8	3949,9	3829,2	3790,5	3736,2	3844,4

Anexo IV: Valores de óxido de cromo en las dietas y las heces

Muestra	Repeticiones	Oxido de cromo (%)
Dieta referencia		0,51
Dieta Prueba con harina de sangre		0,46
Dieta Prueba con harina de subproductos avícolas		0,49
Heces de la dieta de referencia	R1	1,52
	R2	1,92
	R3	1,88
Heces de la dieta prueba con harina de sangre	R1	1,30
	R2	1,53
	R3	1,49
Heces de la dieta prueba con harina de subproductos avícolas	R1	1,65
	R2	1,82
	R3	1,62

Anexo V: Coeficientes de digestibilidad aparente de la harina de sangre y la harina de subproducto avícola (base seca)

Dieta con Harina de sangre						
	R1	R2	R3	x	σ	CV
Materia seca (%)	61,00	62,40	61,17	61,52	0,76	0,01
Proteína cruda (%)	63,62	75,37	71,00	70,00	5,94	0,08
Extracto etéreo (%)	92,49	97,33	98,50	96,11	3,18	0,03
Energía Bruta (%)	62,03	65,16	67,68	64,96	2,83	0,04
Dieta con Harina de subproducto avícola						
	R1	R2	R3	x	σ	CV
Materia seca (%)	79,12	72,69	62,59	71,46	8,33	0,12
Proteína cruda (%)	87,16	91,30	77,70	85,39	6,97	0,08
Extracto etéreo (%)	95,60	96,89	89,71	94,07	3,83	0,04
Energía Bruta (%)	83,95	80,14	71,11	78,40	6,60	0,08

X: Promedio; **σ** : Desviación estándar; **CV:** Coeficiente de variación

Anexo VI: Peso y talla inicial de los peces para la prueba de crecimiento

Tratamiento	ACUARIO	PESO (g)	TALLA (cm)
T1	4	369,86	23,8
		331,75	23,8
	11	385,9	24,1
		347,21	24,1
	7	378,49	24,8
		367,63	24,6
T2	5	397,89	25,4
		329,68	23,2
	14	386,02	25
		318,41	23,7
	16	399,47	25,4
		313,34	23,5
T3	8	346,71	23,7
		375,07	24,6
	15	304,9	23
		409,12	25,5
	18	308,21	22,4
		398,68	25,5
T4	3	380,06	24,7
		328,63	23,4
	6	353,3	23,9
		376,48	24,7
	7	378,49	24,8
		367,63	24,6
T5	9	352,23	23,8
		391,7	25
	10	367,79	23,5
		372,84	24,6
	12	406,13	25
		335,6	23,8

Anexo VII Contenido de materia seca, proteína bruta, extracto etéreo, fibra cruda, extracto libre de nitrógeno, ceniza de las dietas para la prueba de crecimiento (base fresca)

	Dieta con harina de sangre		Dieta con harina de subproducto avícola		
	Dieta referencial	Trat 2 (5%)	Trat 3 (15%)	Trat 4 (5%)	Trat 5 (15%)
Materia seca (%)	89,89	91	91,09	90,52	90,39
Proteína bruta (%)	33,06	33,67	33,93	32,7	33,63
Extracto etéreo (%)	7,96	7,75	6,97	7,85	8,23
Fibra cruda (%)	2,41	2,63	2,35	3,68	3,07
Ceniza (%)	6,89	7,45	5,99	7,69	1,99
ELN (%)	39,57	39,5	41,85	38,6	43,47

Anexo VIII: Análisis de varianza del peso inicial

Fuente de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	P-valor
<i>Tratamiento</i>	4	400,8	100,2	2,42	0,117
<i>Error</i>	10	413,4	41,34		
<i>Total</i>	14	814,2			

Anexo IX: Análisis de varianza del peso final

Fuente de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	P-valor
<i>Tratamiento</i>	4	17929	4482	4,19	0,03
<i>Error</i>	10	10698	1070		
<i>Total</i>	14	28627			

Anexo X: Análisis de varianza de la ganancia de biomasa

Fuente de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	P-valor
<i>Tratamiento</i>	4	38625	9656	5,76	0,014
<i>Error</i>	9	15096	1677		
<i>Total</i>	13	53721			

Anexo XI: Análisis de varianza de la ganancia de peso

Fuente de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	P-valor
<i>Tratamiento</i>	4	9656	2414,1	5,76	0,014
<i>Error</i>	10	3774	419,3		
<i>Total</i>	14	13430			

Anexo XII: Análisis de varianza de la tasa de crecimiento

Fuente de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	P-valor
<i>Tratamiento</i>	4	5,474	1,3685	5,76	0,014
<i>Error</i>	9	2,139	0,2377		
<i>Total</i>	13	7,614			

Anexo XIII: Análisis de varianza de la tasa de crecimiento específico

Fuente de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	P-valor
<i>Tratamiento</i>	4	0,2163	0,05408	4,49	0,029
<i>Error</i>	9	0,1084	0,01204		
<i>Total</i>	13	0,3247			

Anexo XIV: Análisis de varianza de la tasa de conversión alimenticia

Fuente de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	P-valor
<i>Tratamiento</i>	4	0,5952	0,1488	1,13	0,401
<i>Error</i>	9	1,1842	0,1316		
<i>Total</i>	13	1,7794			

Anexo XV: Análisis de varianza de la tasa de eficiencia alimenticia

Fuente de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	P-valor
<i>Tratamiento</i>	4	427	106,76	1,27	0,35
<i>Error</i>	9	756,7	84,07		
<i>Total</i>	13	1183,7			

Anexo XVI: Análisis de varianza de la tasa de eficiencia protéica

Fuente de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	P-valor
<i>Tratamiento</i>	4	0,4243	0,10608	1,43	0,3
<i>Error</i>	9	0,6666	0,07407		
<i>Total</i>	13	1,0909			

Anexo XVII: Parámetros productivos calculados para la dieta control.

Parámetros	Dieta control		
	R1	R2	R3
Biomasa inicial (g)	701,61	733,11	727,02
Biomasa final (g)	937,50	910,70	930,46
Ganancia de biomasa (g)	235,89	177,59	203,44
Peso inicial (g)	350,805	366,555	363,51
Peso final (g)	468,75	455,35	465,23
Consumo de alimento	185,03	187,55	182,54
Tasa de crecimiento (g/d)	2,81	2,11	2,42
Tasa de crecimiento específico (%/day)	0,69	0,52	0,59
Tasa de conversión alimenticia (FCR)	1,57	2,11	1,79
Tasa de eficiencia alimenticia (%FER)	63,75	47,34	55,73
tasa de eficiencia proteica	1,93	1,43	1,69

Anexo XVIII: Parámetros productivos calculados para las dietas con harina de subproducto avícola.

Parámetros	Dieta con harina de subproducto avícola 5%			Dieta con harina de subproducto avícola 15%		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Biomasa inicial (g)	708,69	729,78	719,20	743,93	740,63	741,73
Biomasa final (g)	971,56	964,60	968,05	1044,77	1090,59	1023,98
Ganancia de biomasa (g)	262,87	234,82	248,81	300,84	349,96	282,25
Peso inicial (g)	354,345	364,89	360	371,965	370,315	370,865
Peso final (g)	485,78	482,3	484,01	522,385	545,295	511,99
Consumo de alimento (g)	211,74	187,16	199,45	252,11	230,42	232,64
Tasa de crecimiento (g/d)	3,13	2,80	2,94	3,58	4,17	3,36
Tasa de crecimiento específico (%/day)	0,75	0,66	0,70	0,81	0,92	0,77
Tasa de conversión alimenticia (FCR)	1,61	1,59	1,59	1,68	1,32	1,65
Tasa de eficiencia alimenticia (%FER)	62,08	62,73	62,41	59,66	75,94	60,66
tasa de eficiencia proteica	1,90	1,92	1,90	1,77	2,26	1,80

Anexo XIX: Parámetros productivos calculados para las dietas con harina de sangre avícola.

Parámetros	Dieta con harina de sangre avícola 5%			Dieta con harina de sangre avícola 15%		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Biomasa inicial (g)	727,57	704,43	712,81	721,78	714,02	706,89
Biomasa final (g)	964,29	895,08	978,44	878,50	807,59	924,45
Ganancia de biomasa (g)	236,72	190,65	265,63	156,72	93,57	217,56
Peso inicial (g)	363,785	352,215	356,405	360,89	357,01	353,445
Peso final (g)	482,145	447,54	489,22	439,25	403,795	462,225
Consumo de alimento (g)	210,55	187,23	223,46	150,95	134,86	171,48
Tasa de crecimiento (g/d)	2,82	2,27	3,16	1,87	1,11	2,59
Tasa de crecimiento específico (%/day)	0,67	0,57	0,75	0,47	0,29	0,64
Tasa de conversión alimenticia (FCR)	1,78	1,96	1,68	1,93	2,88	1,58
Tasa de eficiencia alimenticia (%FER)	56,21	50,91	59,44	51,91	34,69	63,44
tasa de eficiencia proteica	1,67	1,51	1,77	1,53	1,02	1,87

Anexo XX: Instalaciones y equipos del LINAPC

Equipo	Unidad	Función
Ablandador de agua	1m ³	Disminuye la dureza (concentraciones de iones de Ca ⁺⁺ y Mg ⁺⁺) del agua de La Molina de 1500 ppm a hasta 16 ppm
Tanque sumidero	Capacidad 360 l	Recepciona directamente el agua del ablandador. Consta de un desagüe por rebose y una salida hacia la bomba de agua.
Bomba de agua	1 HP de potencia	Permite el movimiento del agua desde el tanque sumidero a través de todos los filtros hacia los acuarios.
Filtro mecánico (Reemy)	1 unidad	Tiene la capacidad para retener partículas de hasta un mínimo de 20 µm.
Filtros Housing	2 unidades	Apoyan el filtro mecánico con la retención de partículas de 20 µm.
Enfriador/calentador de agua	2 HP de potencia	Enfría o calienta el agua entre n rango de 13 – 32 °C.
Esterilizador UV	25 watts	Esteriliza el agua disminuyendo de esta forma la presencia de algas, bacterias y virus no deseado en los acuarios.
Filtros Cuno	4 unidades	Compuesto por dos pares de filtros (5 µm y 1 µm), permite que el agua llegue con mayor pureza a los acuarios.
Bomba de aire (Blower)	1/3 HP de potencia	Toma aire del ambiente y lo traslada a través de las líneas de aire hacia los acuarios, donde se encuentran las piedras difusoras de aire.
Acuarios para pruebas de digestibilidad	9 unidades	Alberga a los peces durante la evaluación. Cada acuario de fibra de vidrio tiene capacidad de 55 litros de color blanco, liso por dentro y fuera, con frontis de vidrio de 6 mm y dimensiones de 0.47x0.47x0.50m.

Anexo XXI: Calidad de agua

	semana 24/02 - 02/03			semana 3/3 - 9/03			semana 9/03 16/03			semana 17/03 - 23/03			semana 24/03 - 30/03		
	d1	d2	d3	d1	d2	d3	d1	d2	d3	d1	d2	d3	d1	d2	d3
Temperatura °C	26,3	26,5	25,2	26,7	26	26,5	26,6	26,3	26,5	26,8	25,5	26,7	26,4	26,6	26,2
OD mg/L	9,2	9	9,2	9,1	9,2	9,1	9	9,3	9,1	9	9,3	9,4	9,4	9,1	9,3
pH	7	7,1	7,1	7,2	7,1	7,3	7,3	7,2	7,2	7	7,3	7,1	7,1	7,1	7,2
Dureza ppm (CaCO3)	30	40	50	70	30	80	60	40	20	30	60	50	30	90	100
NH4 mg/L	0,22	0,2	0,2	0,2	0,22	0,22	0,2	0,22	0,22	0,2	0,2	0,22	0,22	0,2	0,2
NO3 mg/L	0,35	0,35	0,3	0,3	0,25	0,35	0,25	0,4	0,35	0,4	0,3	0,35	0,4	0,35	0,35
Conduct mS/cm	0,8	0,87	0,9	0,88	0,82	0,97	0,99	0,86	0,85	0,84	0,97	0,89	0,83	0,99	0,99

	semana 31/03 - 06/04			semana 7/4 - 13/4			semana 14/04 - 20/04			semana 21/04 - 27/04			semana 28/04 - 04/05		
	d1	d2	d3	d1	d2	d3	d1	d2	d3	d1	d2	d3	d1	d2	d3
Temperatura °C	26,6	26,3	26,7	25,9	26,7	26,7	26,5	26,7	26,3	26,3	26,4	26,7	26,4	26,7	26,6
OD mg/L	9,2	9,4	9,1	9	9,2	9,4	9	9,3	9,4	9,4	9,2	9,1	9,2	9,1	9,2
pH	7,1	7	7,2	7,2	7,1	7,1	7,3	7,1	7,2	7	7,3	7,1	7,3	7,2	7,3
Dureza ppm (CaCO3)	50	30	70	80	40	30	50	20	60	40	30	20	90	80	20
NH4 mg/L	0,22	0,2	0,2	0,22	0,2	0,22	0,2	0,2	0,22	0,22	0,2	0,2	0,22	0,2	0,22
NO3 mg/L	0,3	0,4	0,35	0,35	0,35	0,4	0,25	0,35	0,35	0,4	0,35	0,35	0,35	0,4	0,35
Conduct mS/cm	0,88	0,84	0,97	0,92	0,95	0,87	0,94	0,87	0,98	0,91	0,84	0,85	0,99	0,98	0,96

	semana 5/5 - 11/5			semana 12/05 - 18/05			semana 19/05 - 25/05			semana 26/05 - 01/06			semana 02/06 - 08/06			semana 9/06 - 13/06		
	d1	d2	d3	d1	d2	d3	d1	d2	d3	d1	d2	d3	d1	d2	d3	d1	d2	d3
Temperatura °C	26,5	26,3	26,7	26,7	26,8	26,5	26,6	26,3	26,8	26,8	26,6	26,3	26,7	26,4	26,3	26,2	26,7	26,7
OD mg/L	9,2	9,3	9,1	9,1	9	9,3	9,2	9,4	9,1	9,2	9,1	9,5	9,2	9,3	9,4	9,3	9,2	9,2
pH	7	7,1	7,2	7,1	7,3	7,2	7,1	7,2	7,2	7,1	7,1	7,2	7,3	7,1	7	7	7	7,1
Dureza ppm (CaCO3)	30	50	70	60	20	110	20	50	70	40	50	20	80	70	50	30	50	40
NH4 mg/L	0,22	0,2	0,22	0,2	0,2	0,22	0,22	0,2	0,22	0,22	0,22	0,2	0,2	0,22	0,2	0,2	0,2	0,22
NO3 mg/L	0,25	0,35	0,4	0,35	0,4	0,35	0,35	0,25	0,35	0,35	0,4	0,35	0,35	0,4	0,25	0,35	0,35	0,4
Conduct mS/cm	0,84	0,94	0,98	0,95	0,87	0,99	0,97	0,96	0,95	0,87	0,95	0,86	0,96	0,96	0,89	0,87	0,9	0,94